



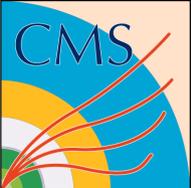
Quelles données prendrons-nous avec CMS ?



M. Vander Donckt (CERN)



- Le détecteur CMS
- Le LHC au CERN
- Déclenchement de la prise de données (Trigger)
 - Les muons en détails
- Sommes nous prêts pour le démarrage ?



Le LHC



4 points d'interaction

CMS

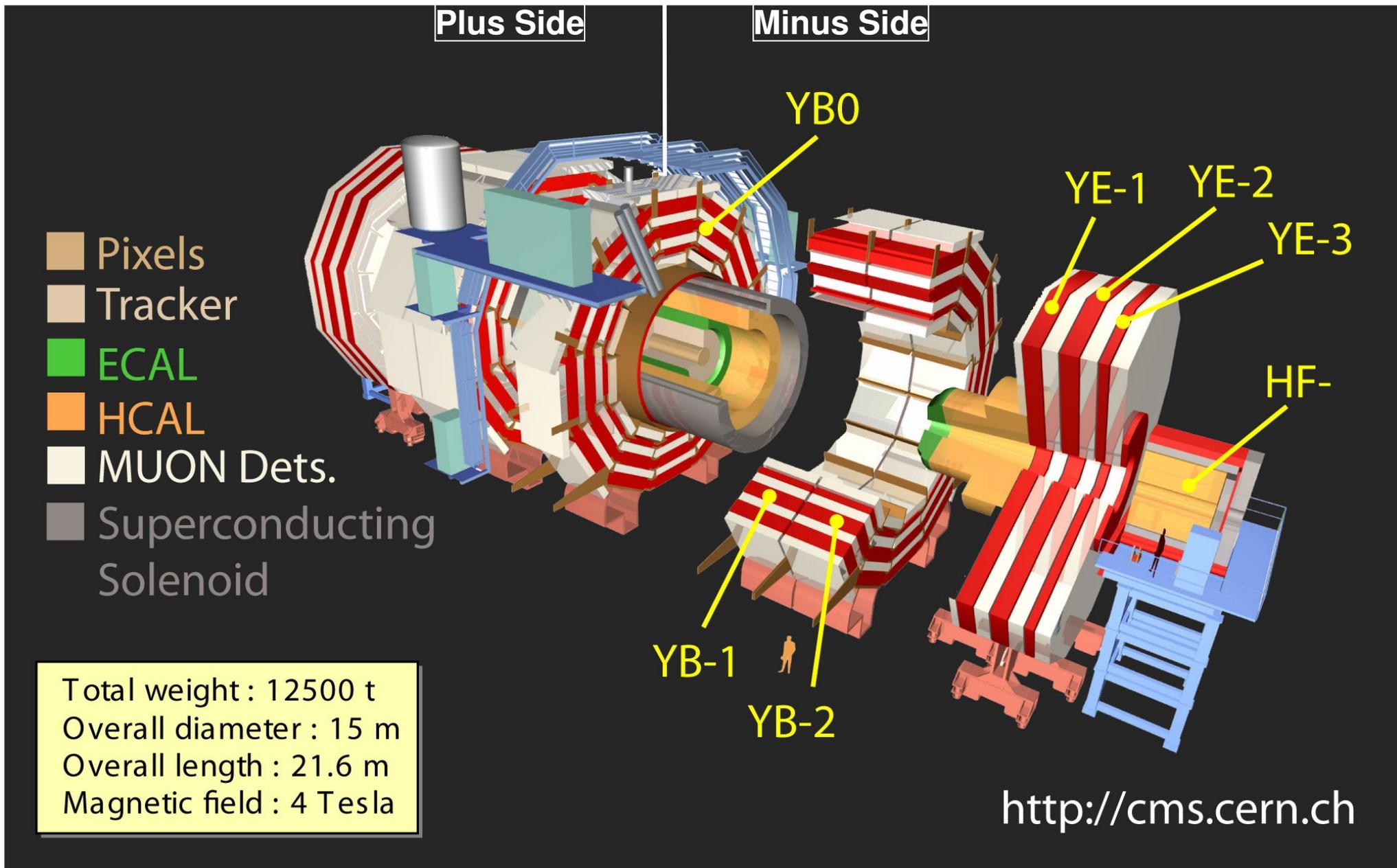
LHCb

ALICE

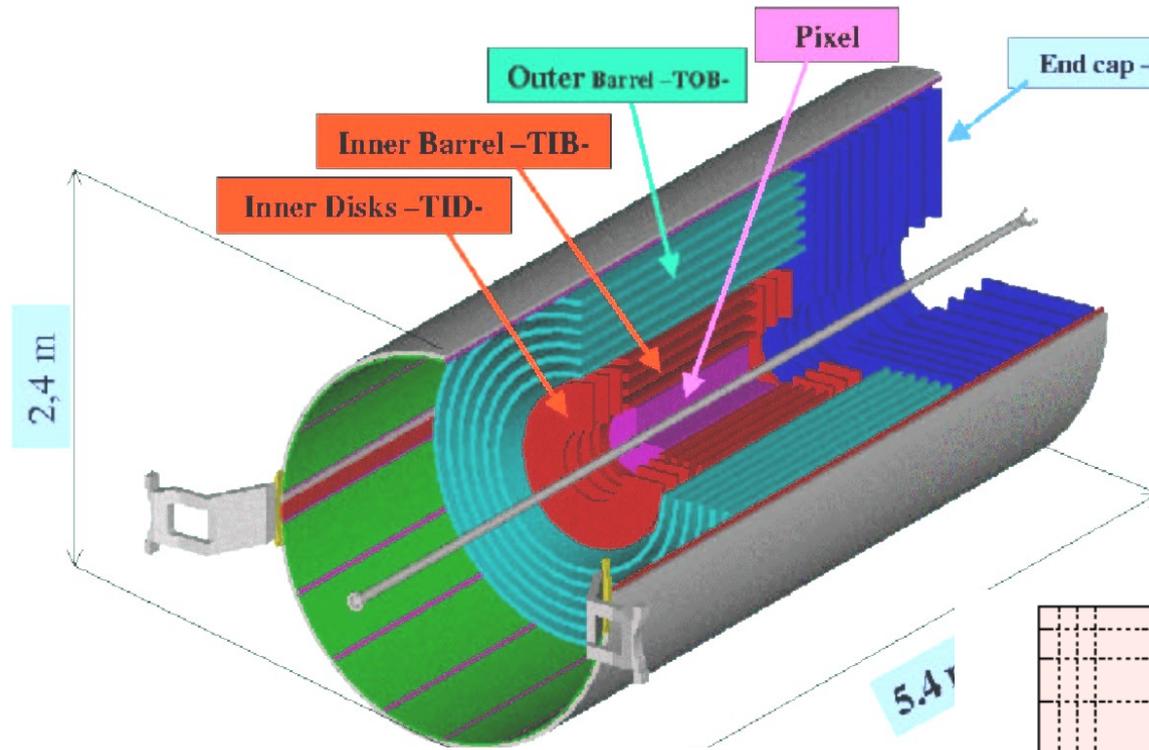
ATLAS



CMS... le détecteur

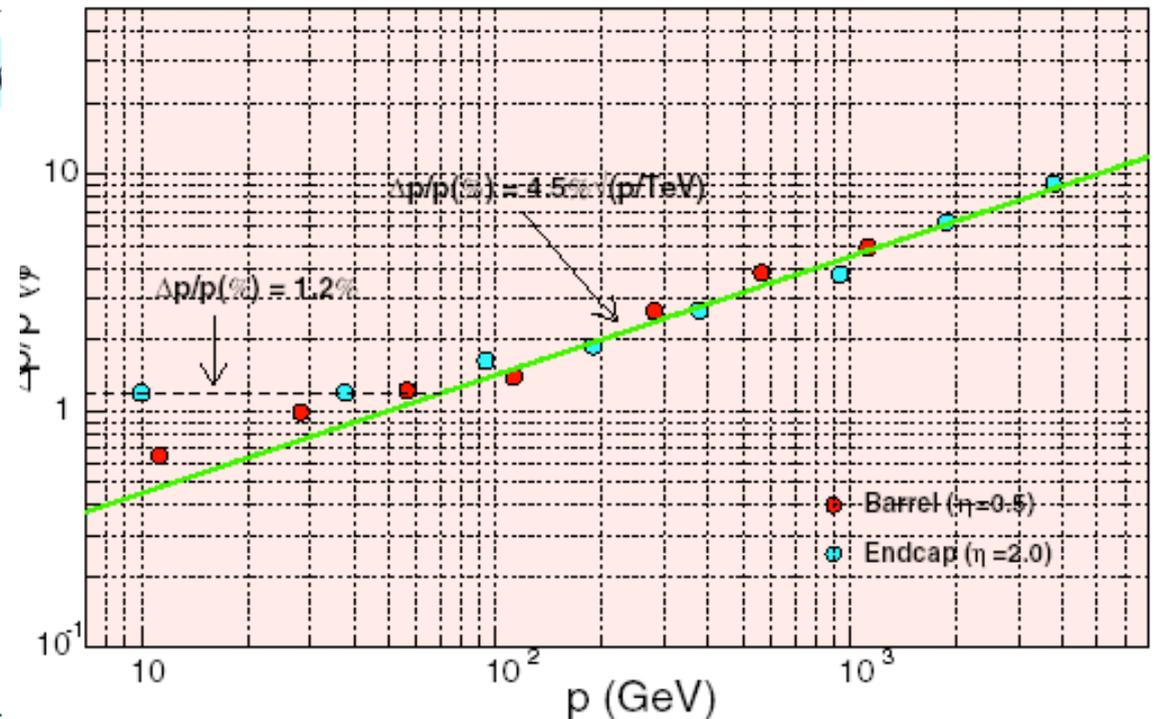
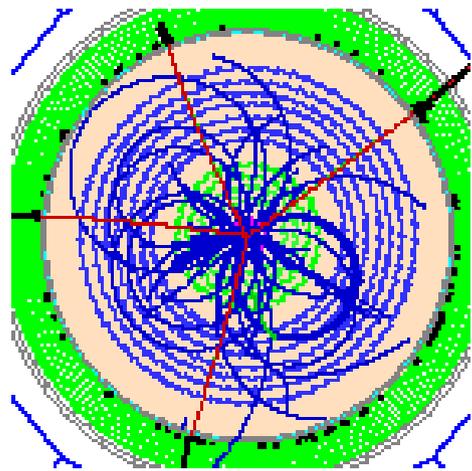
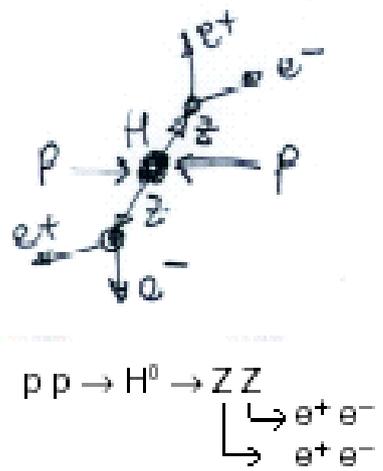


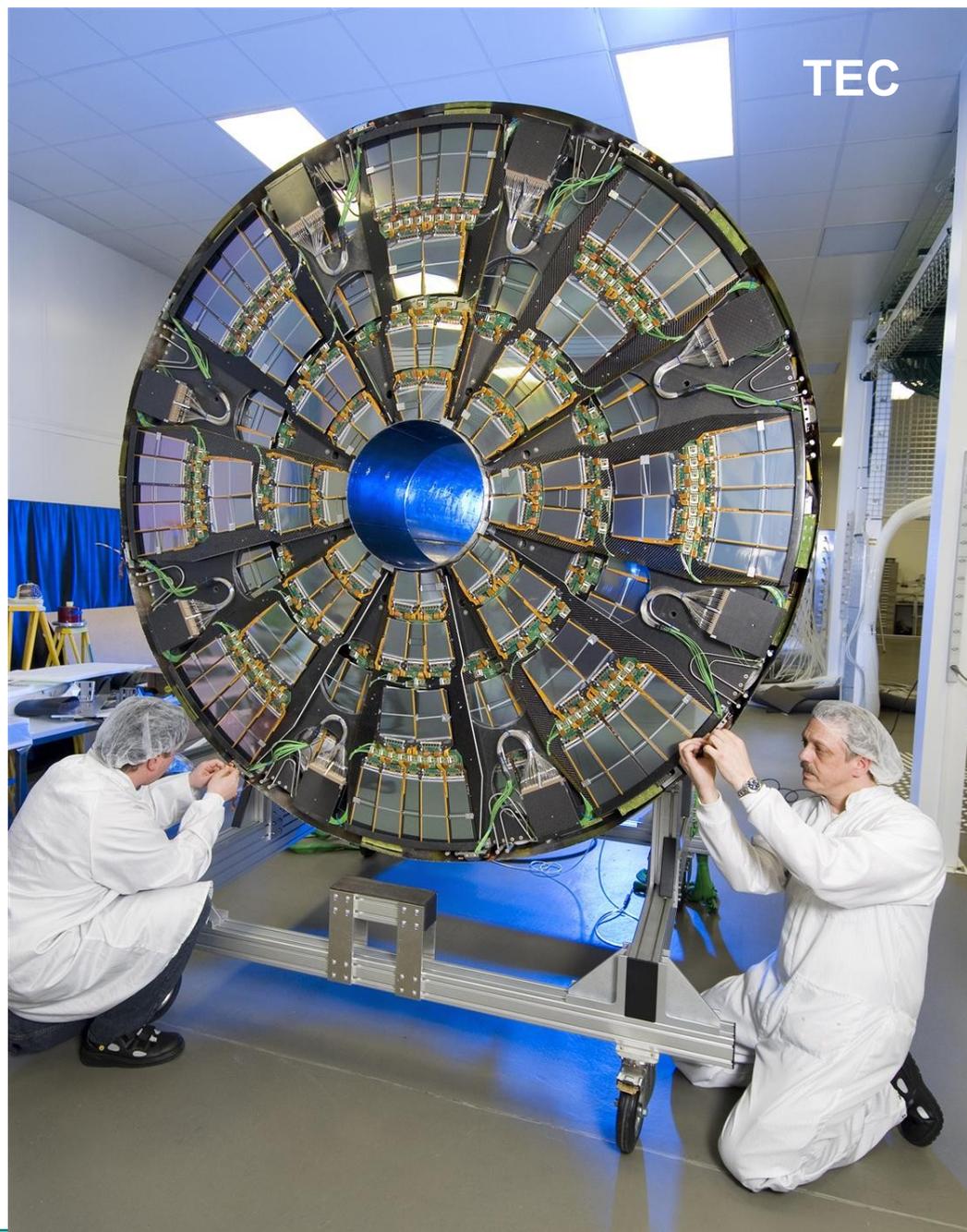
CMS trajectographe au silicium



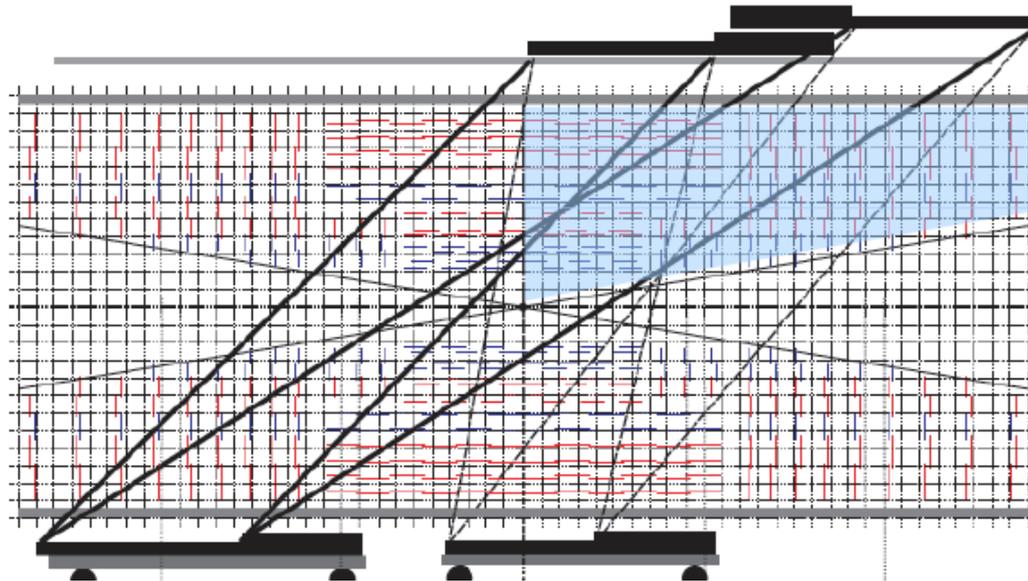
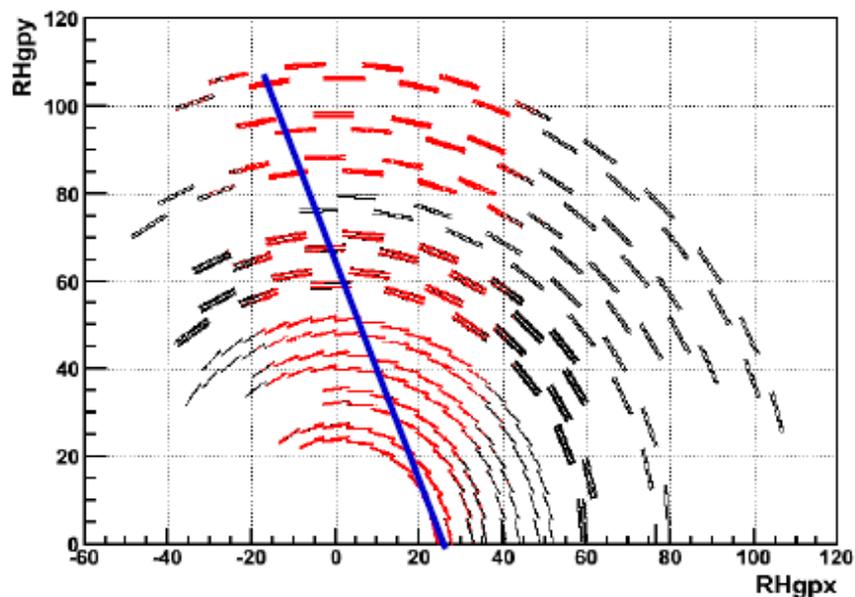
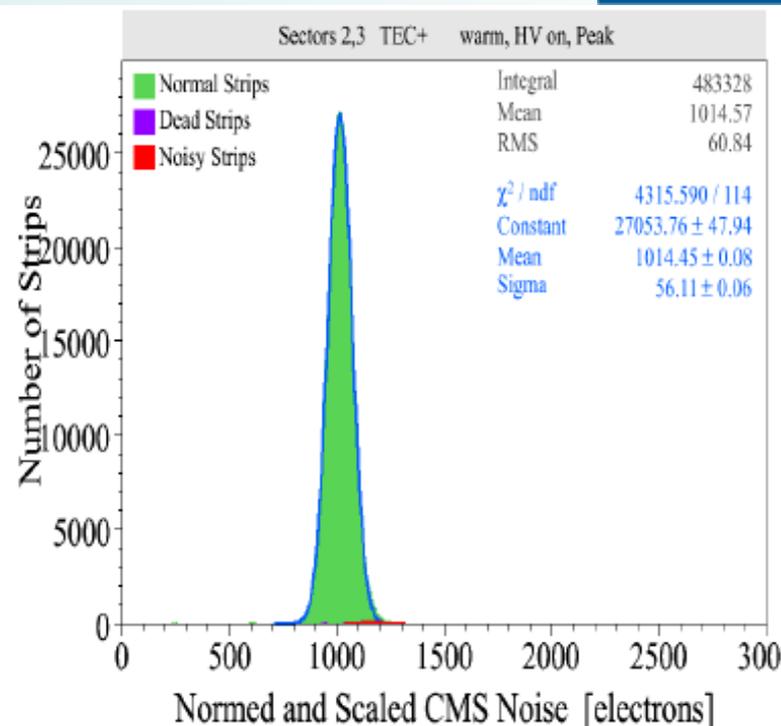
~15000 modules
~9600000 pistes

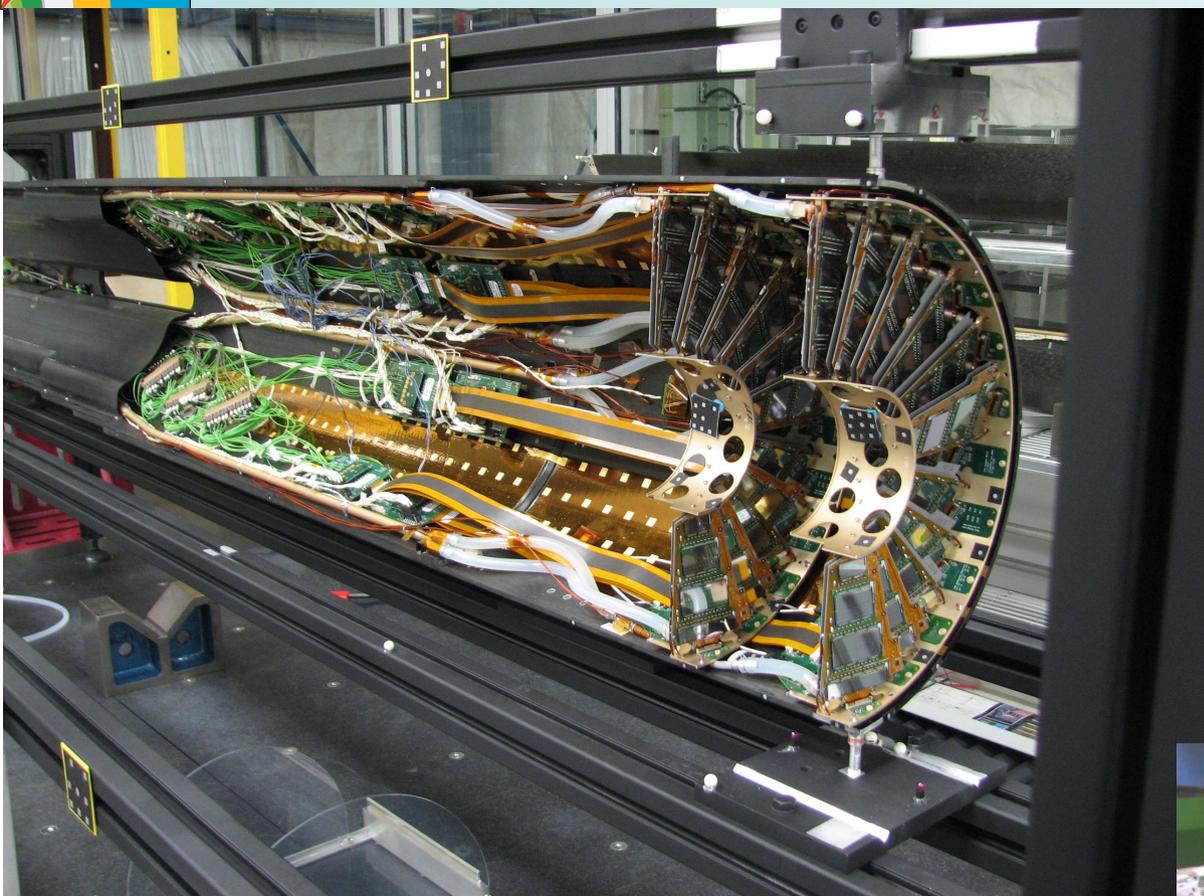
$\Delta p/p$ d'1.5% à 100GeV/c
Une entreprise sans précédent





- Muons cosmiques pris avec 12.5% du détecteur
 - Bruit stable avec le temps (5mois)
 - S/N = 27 (interne)-31 (externe et bouchon)
 - Pistes mortes/bruyantes < 0.3%



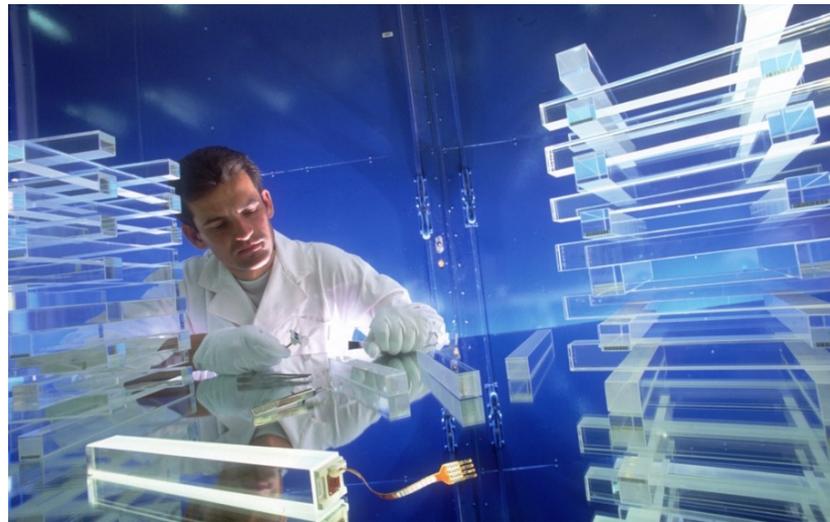


Pixels $100 \times 150 \mu\text{m}$
Résolution de $15 \mu\text{m}$

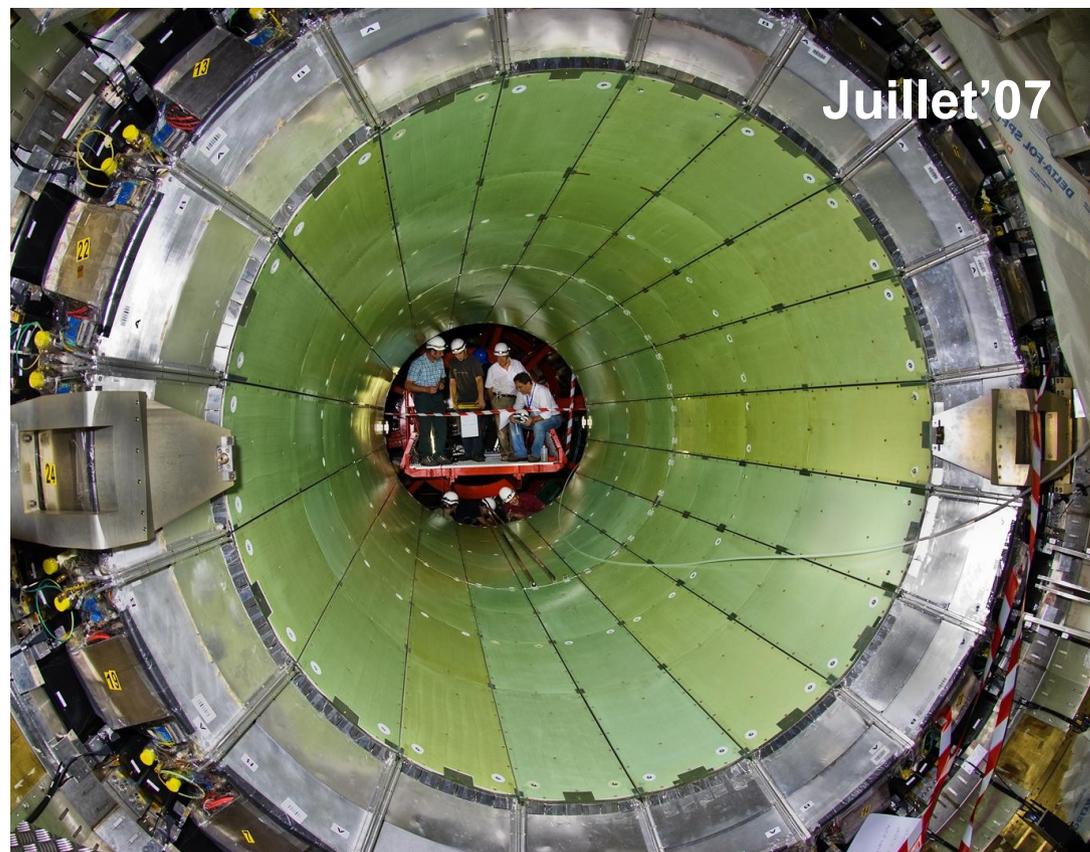


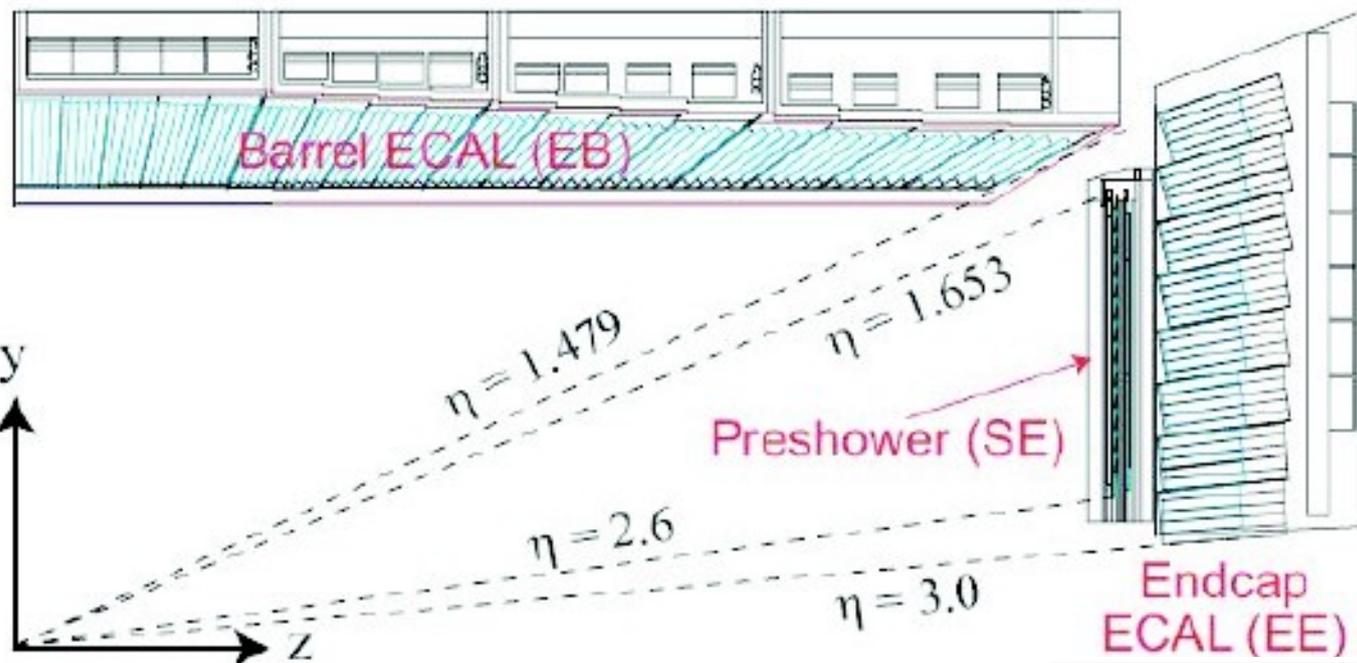
A insérer après la ligne de faisceau, avant la fermeture

Le calorimètre électromagnétique



- Tonneau inséré complètement fin juillet
- 1 bouchon avant la fermeture
- Le 2ème prévu en juin



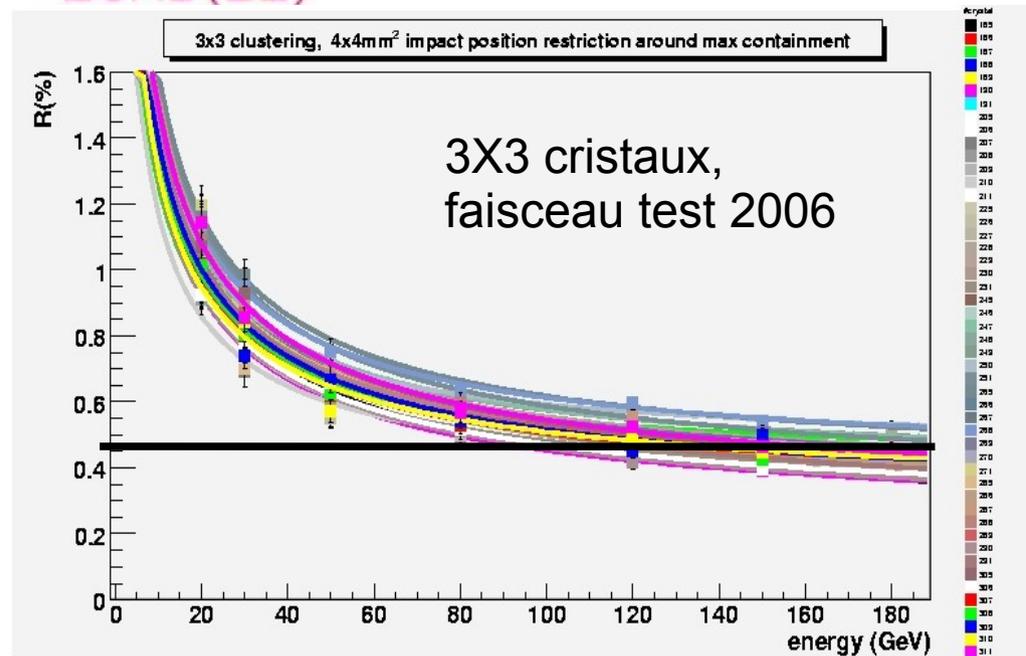


Résolution prévue :

$$\frac{\sigma}{E} = \frac{2.7\%}{\sqrt{E}} \oplus 0.5\% \oplus \frac{150 \text{ MeV}}{E}$$

$\frac{2.7\%}{\sqrt{E}}$ → Containment effets stat photons
 0.5% → intercalibration
 $\frac{150 \text{ MeV}}{E}$ → Bruit électronique

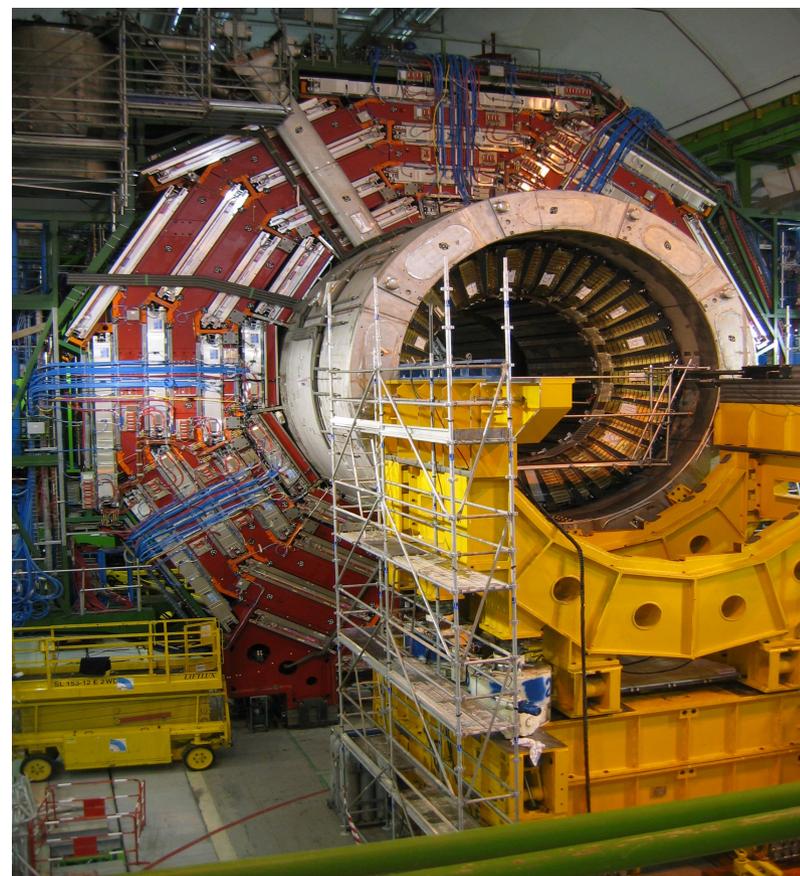
- ~75850 cristaux de PbWO4
- But: résolution de 0.5% à haute énergie.
- Les super-modules du tonneau testés en faisceau e⁻ (20-250 GeV)



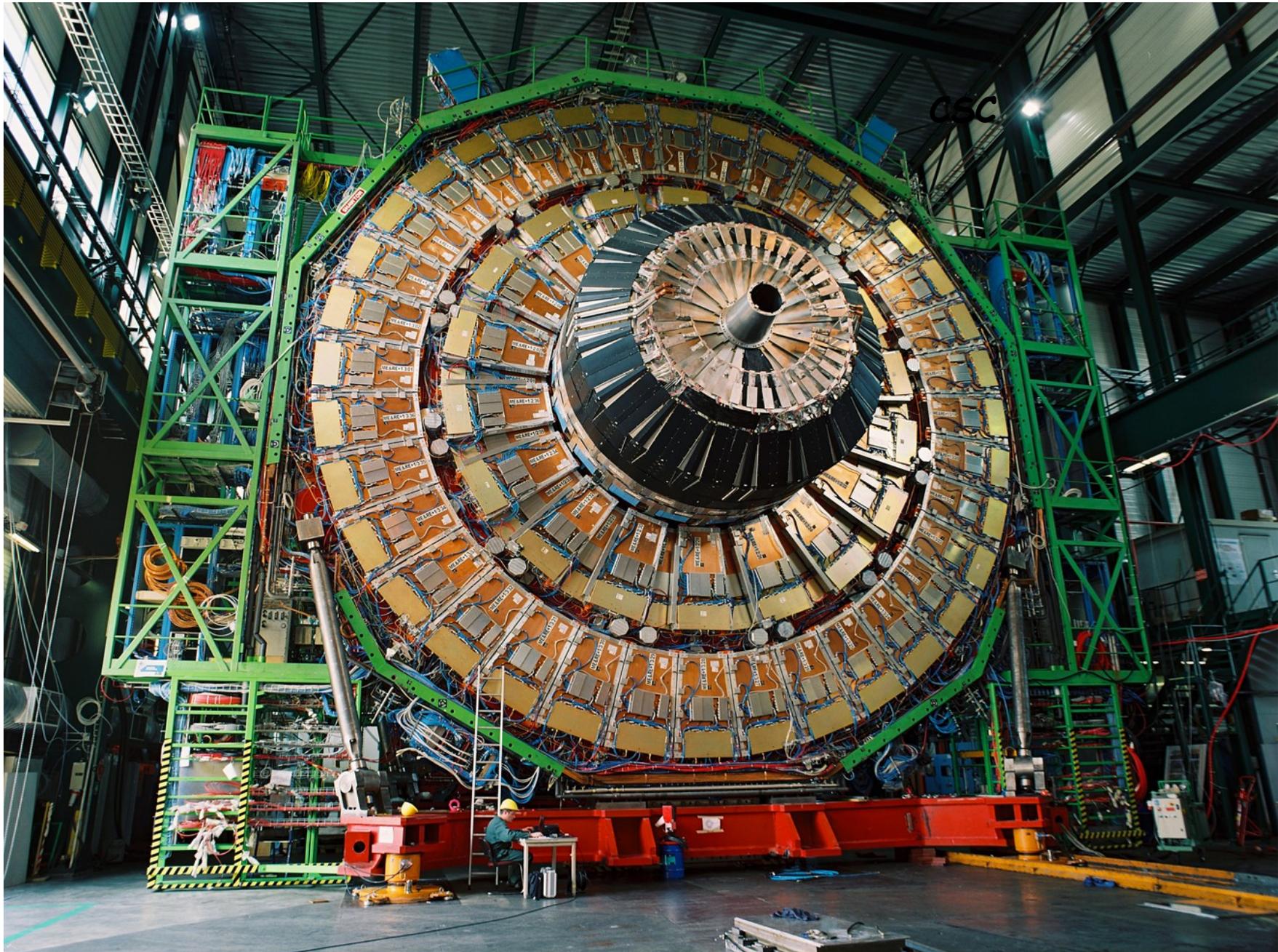
Insertion du tonneau de l'HCAL



$$\left| \frac{\sigma}{E} \right|^2 = \frac{115^2}{E} + 5.5^2$$

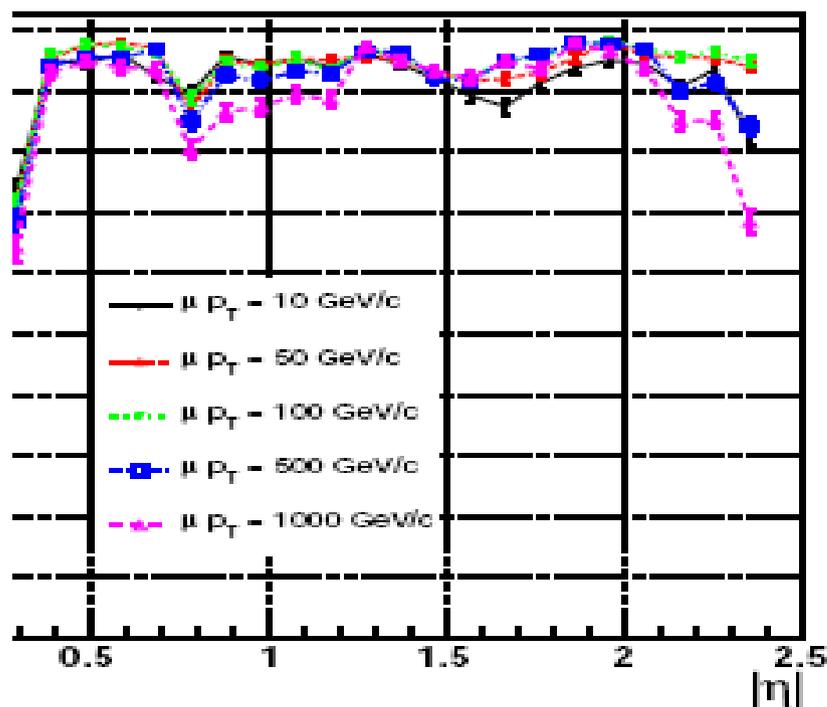


- HCAL calorimètre à échantillonnage en laiton+scintillateur $|\eta| < 3$
- HF acier + fibres de quartz $|\eta| < 5$



- Chambres à dérives dans le tonneau $|\eta| < 1.2$
- Chambres à pistes cathodiques dans le bouchon $0.9 < |\eta| < 2.4$
- RPC pour le trigger (résolution d'1ns) $|\eta| < 1.6$
- Un muon traverse 4 stations de détection.

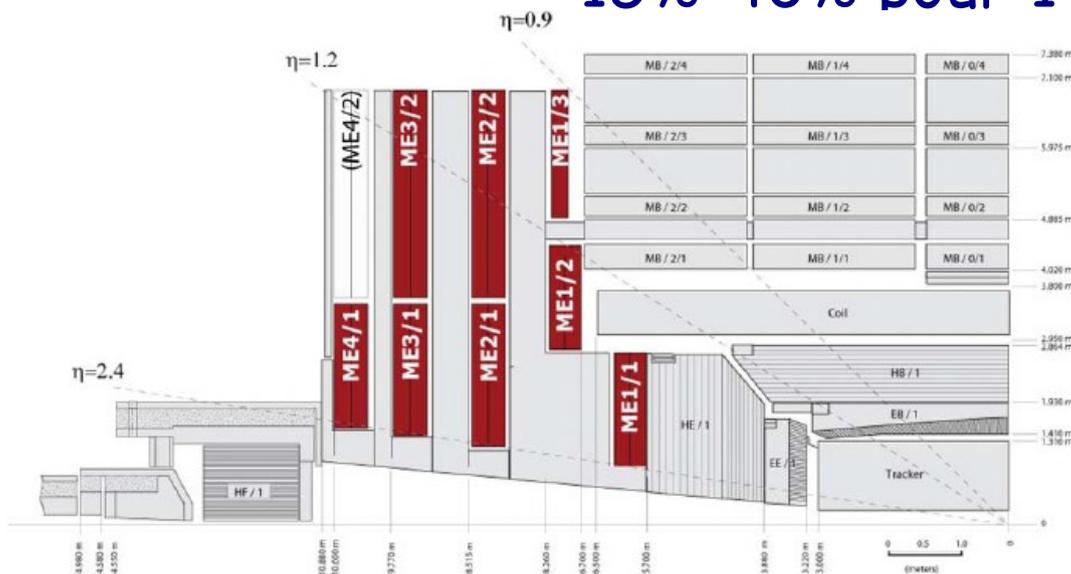
Efficacité de reconstruction



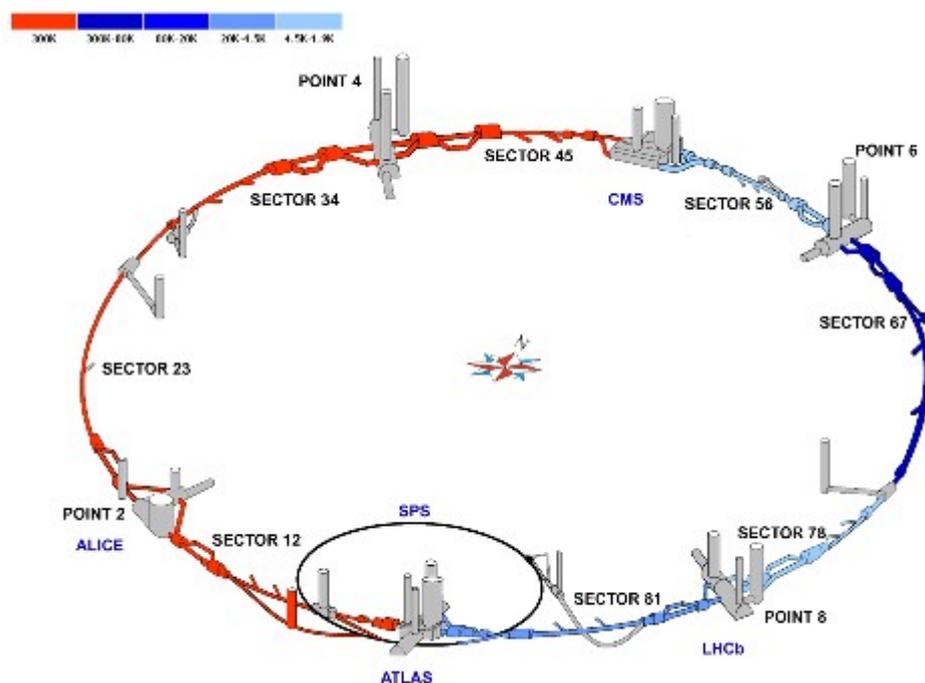
Résolution en position $\sim 100 \mu\text{m}$

Résolution en Pt : 9% jusque 200 GeV

15%-40% pour 1TeV



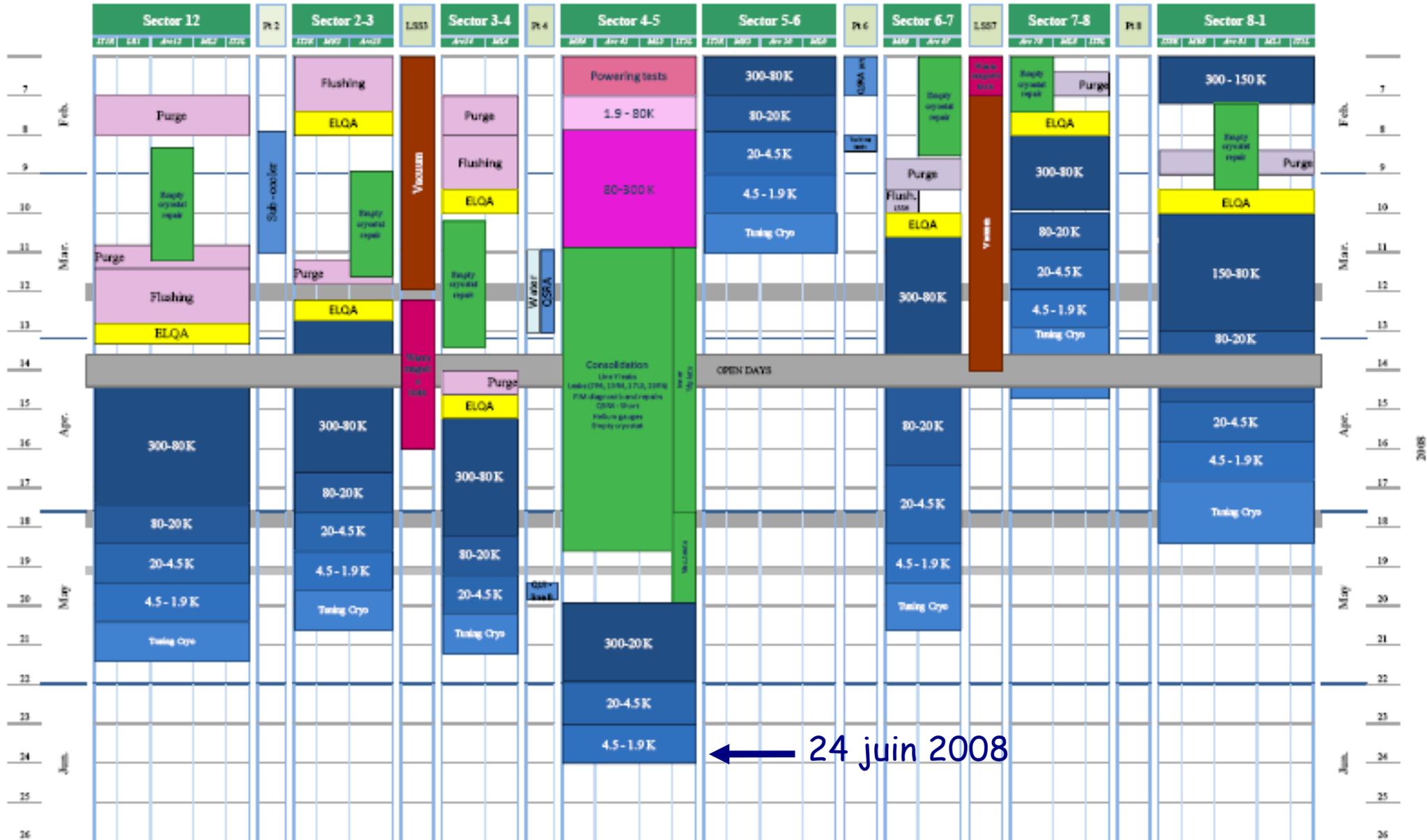
- Destiné à produire des collisions p-p à $\sqrt{s}=14\text{TeV}$ à une fréquence de 40MHz dans chacune des 4 expériences.

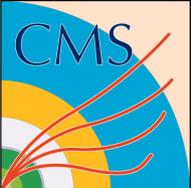


- La luminosité finale attendue est de $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$
- Le trigger doit permettre un taux de 150Hz, soit $\sim 450\text{Mb/s}$

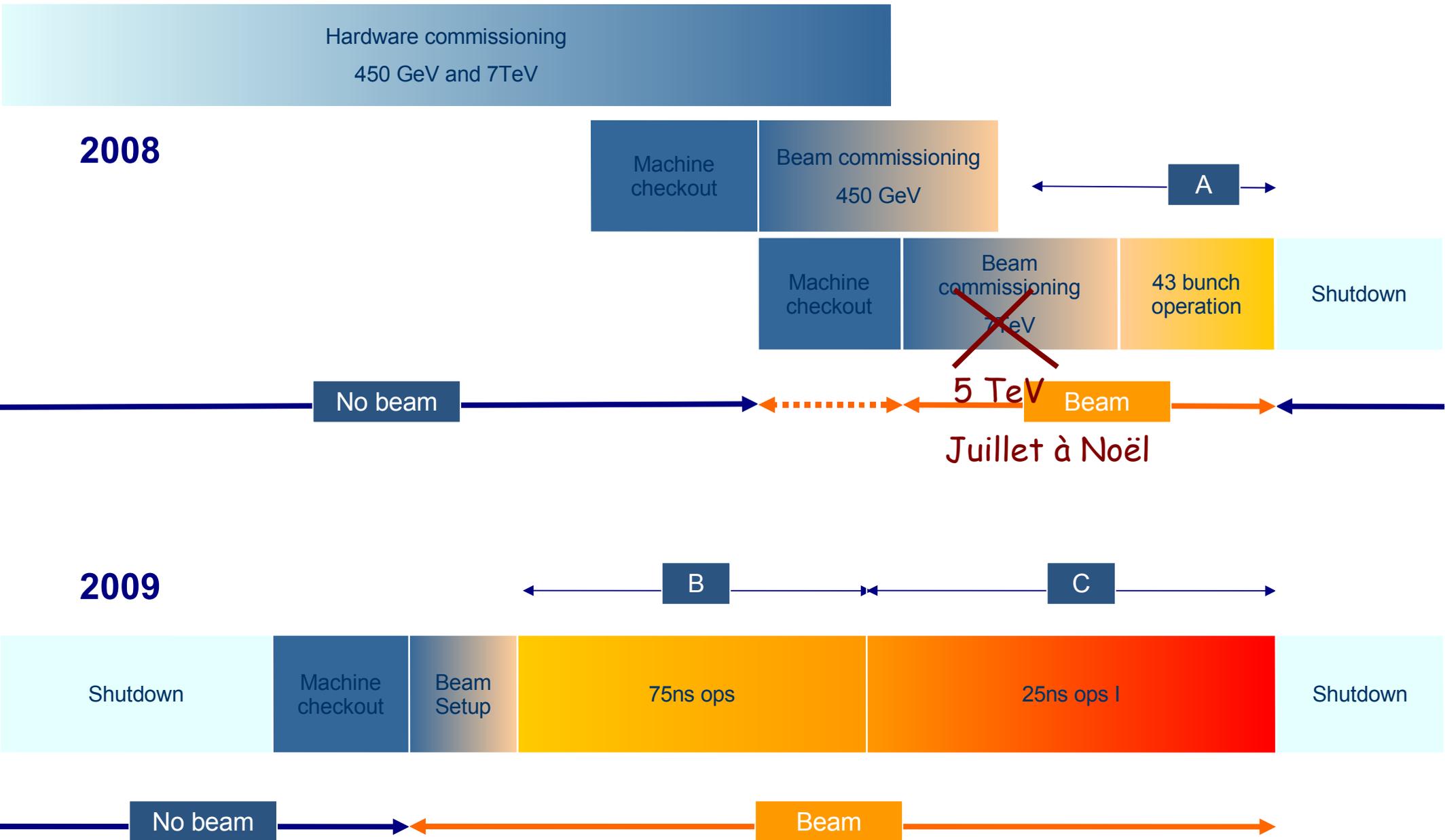


Programme du 6 mars 2008



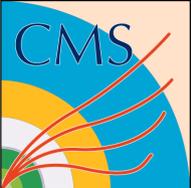


Commissionner le LHC...

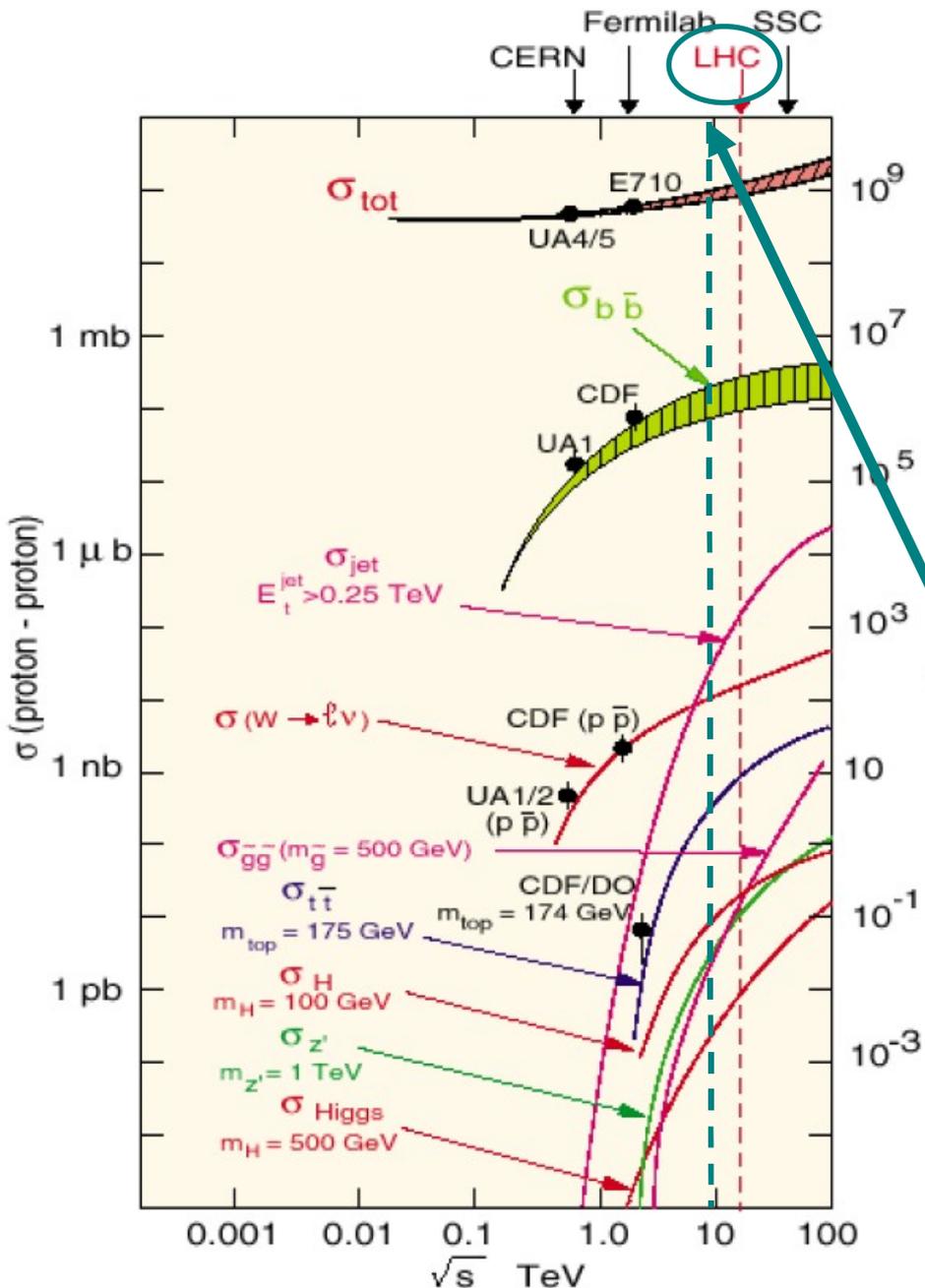


- Les débuts du LHC verront des changements rapides en luminosité
- Les détecteurs devront pouvoir s'adapter
- Dans cette optique le trigger de CMS à la flexibilité requise.

Bunches	β^*	I_b	Luminosité	Pileup	Taux de Min biais
1 x 1	18	10^{10}	10^{27}	Low	55 in $\sim 10^4$ xings
43 x 43	18	3×10^{10}	3.8×10^{29}	0.05	20 kHz
43 x 43	4	3×10^{10}	1.7×10^{30}	0.21	60 kHz
43 x 43	2	4×10^{10}	6.1×10^{30}	0.76	200 kHz
156 x 156	4	4×10^{10}	1.1×10^{31}	0.38	400 kHz
156 x 156	4	9×10^{10}	5.6×10^{31}	1.9	2MHz
156 x 156	2	9×10^{10}	1.1×10^{32}	3.9	4MHz



A quoi s'attendre au démarrage ?



$$\mathcal{L} = 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

Process	σ (nb)	Production rates (Hz)
Inelastic	10^8	10^7
$b\bar{b}$	5×10^5	5×10^3
$W \rightarrow \ell\nu$	15	1
$Z \rightarrow \ell\ell$	2	0.2
$t\bar{t}$	1	0.1
$H(100 \text{ GeV})$	0.05	10^{-3}
$Z'(1 \text{ TeV})$	0.05	10^{-3}
$\tilde{g}\tilde{g}(1 \text{ TeV})$	0.05	10^{-3}
$H(500 \text{ GeV})$	10^{-3}	10^{-4}

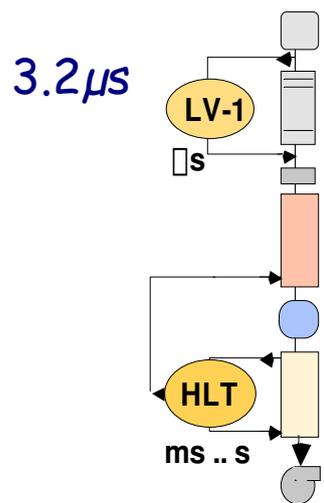
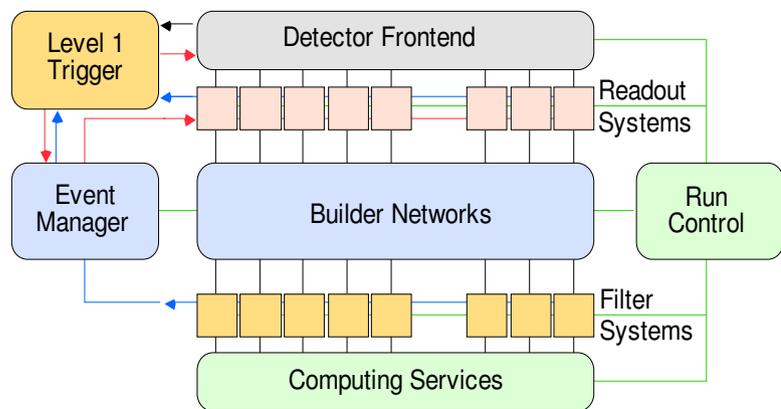
La botte de foin

Vous serez ici

L'aiguille

Le trigger CMS

Pour éliminer le foin / garder les aiguilles

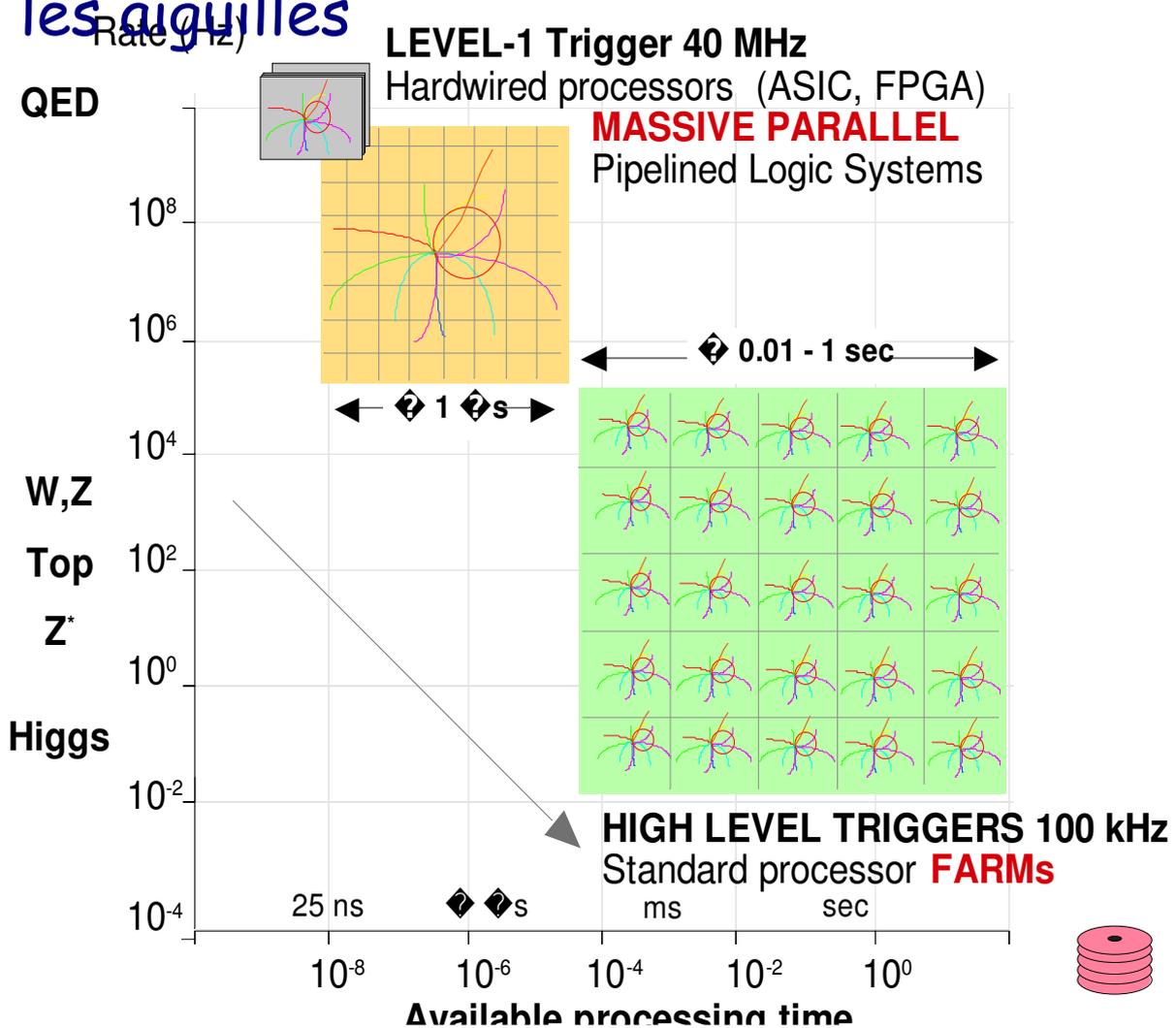


40 MHz
 10^5 Hz
1000 Gb/s
 10^2 Hz

<40ms>

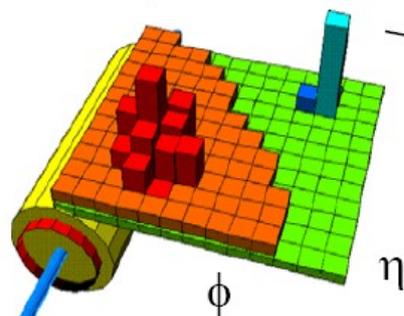
HLT (~2000 CPUs) : évènement complet

- algorithmes à la "offline" démarrés avec les objets L1



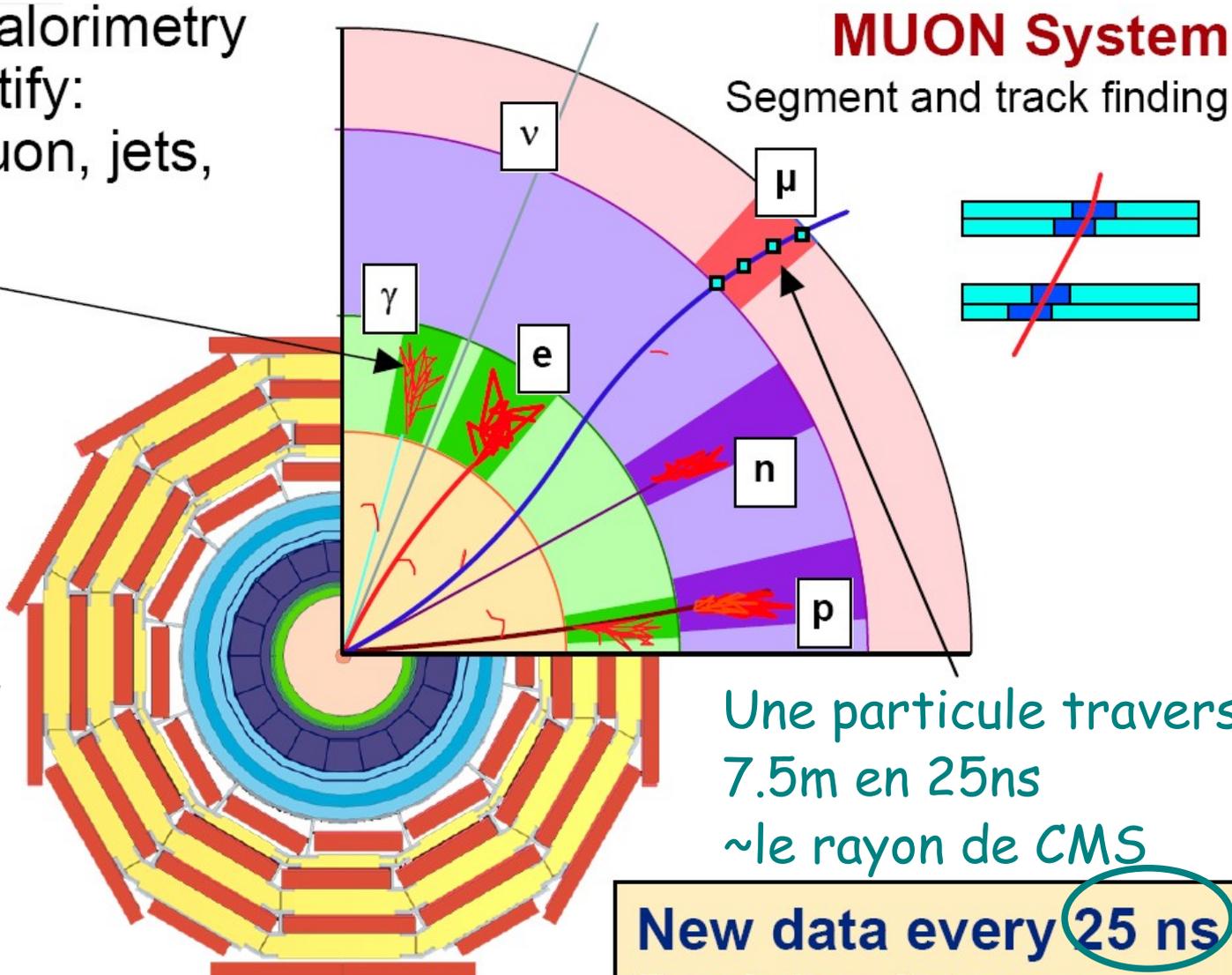
Niveau 1 (L1)

Use prompt data (calorimetry and muons) to identify:
High p_t electron, muon, jets,
missing E_T



CALORIMETERS

Cluster finding and energy deposition evaluation



MUON System

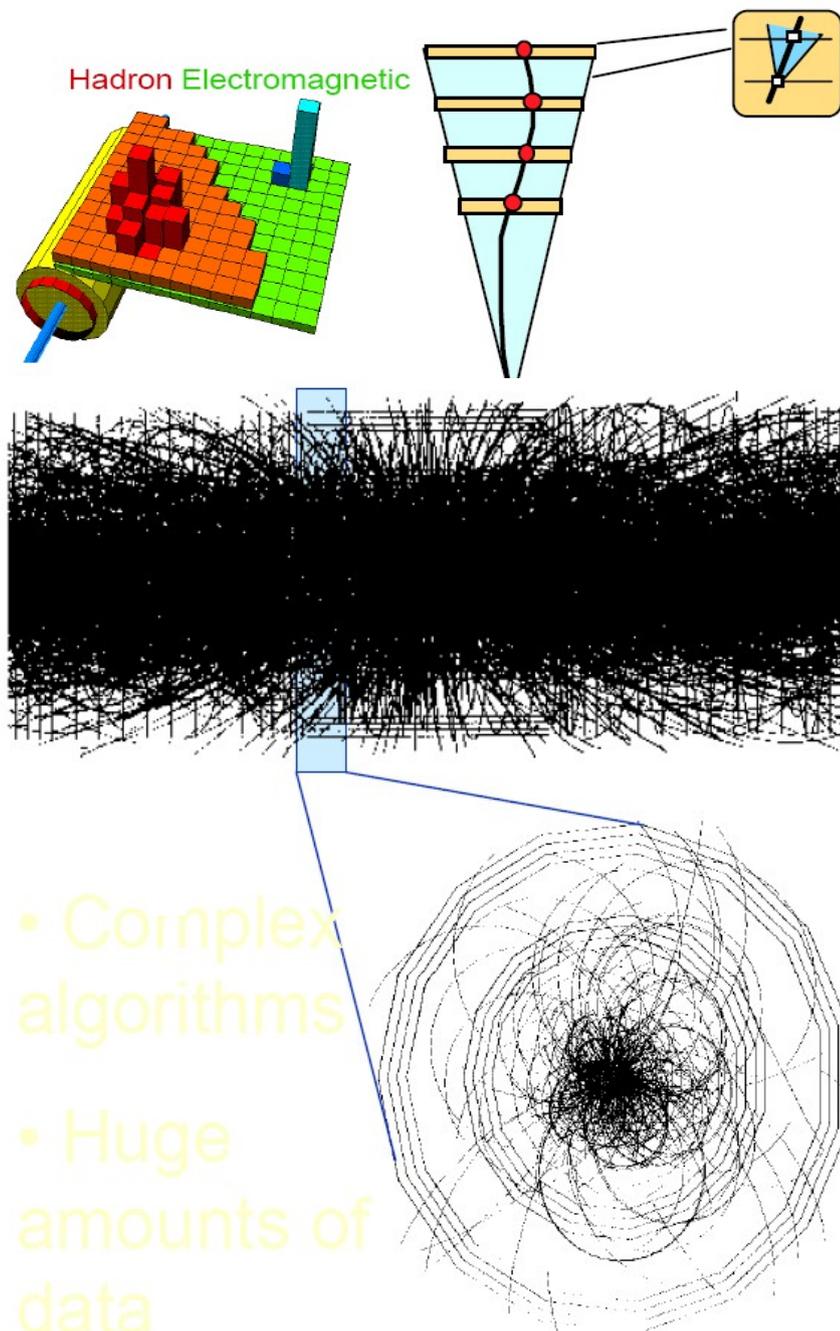
Segment and track finding

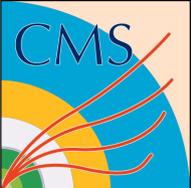
Une particule traverse
7.5m en 25ns
~le rayon de CMS

New data every 25 ns
Decision latency ~ μ s

N'utilise pas le tracker (sLHC ?)

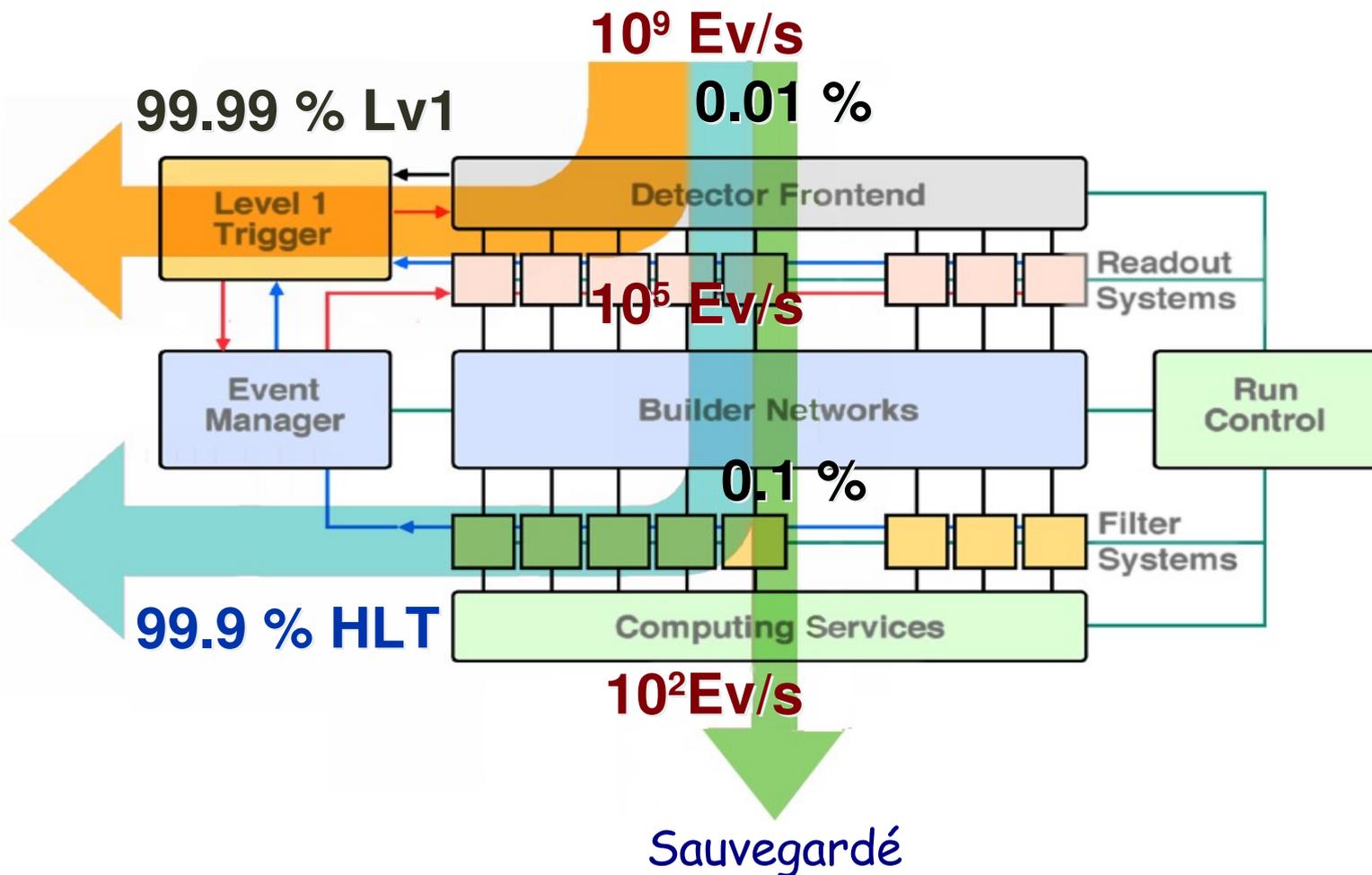
- Niveau 2 (L2):
 - unpacking régional des données calorimétriques
 - reconstruction « à la offline » dans les calorimètres et dans les chambres à muons
 - réjection (Pt, Et, provient de l'IP)
- Niveau 3 (L3):
 - Unpacking à la demande du tracker
 - Reconstruction utilisant le tracker
 - Réjection (pt, vertex, IP)





En résumé

Poubelle



Votre signal favori sera-t'il enregistré ?
 Et la physique dont nous n'avons pas prévu les signatures ?

- Un trigger :

- Robuste

- non-alignement, non-calibration, faisceau, problèmes de détecteur

- Redondant

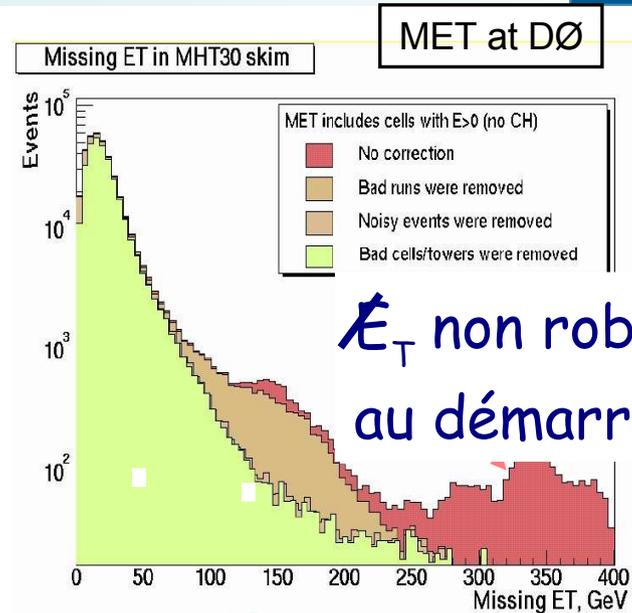
- couvrir les mêmes signaux de plusieurs manières

- Simple

- facile à commissionner, débogger, comprendre

- Inclusif

- un algorithme couvrant plusieurs signaux,
- ouvert à l'inattendu
- votre bruit de fond est le signal de quelqu'un d'autre



\cancel{E}_T non robuste
au démarrage



Construire le trigger



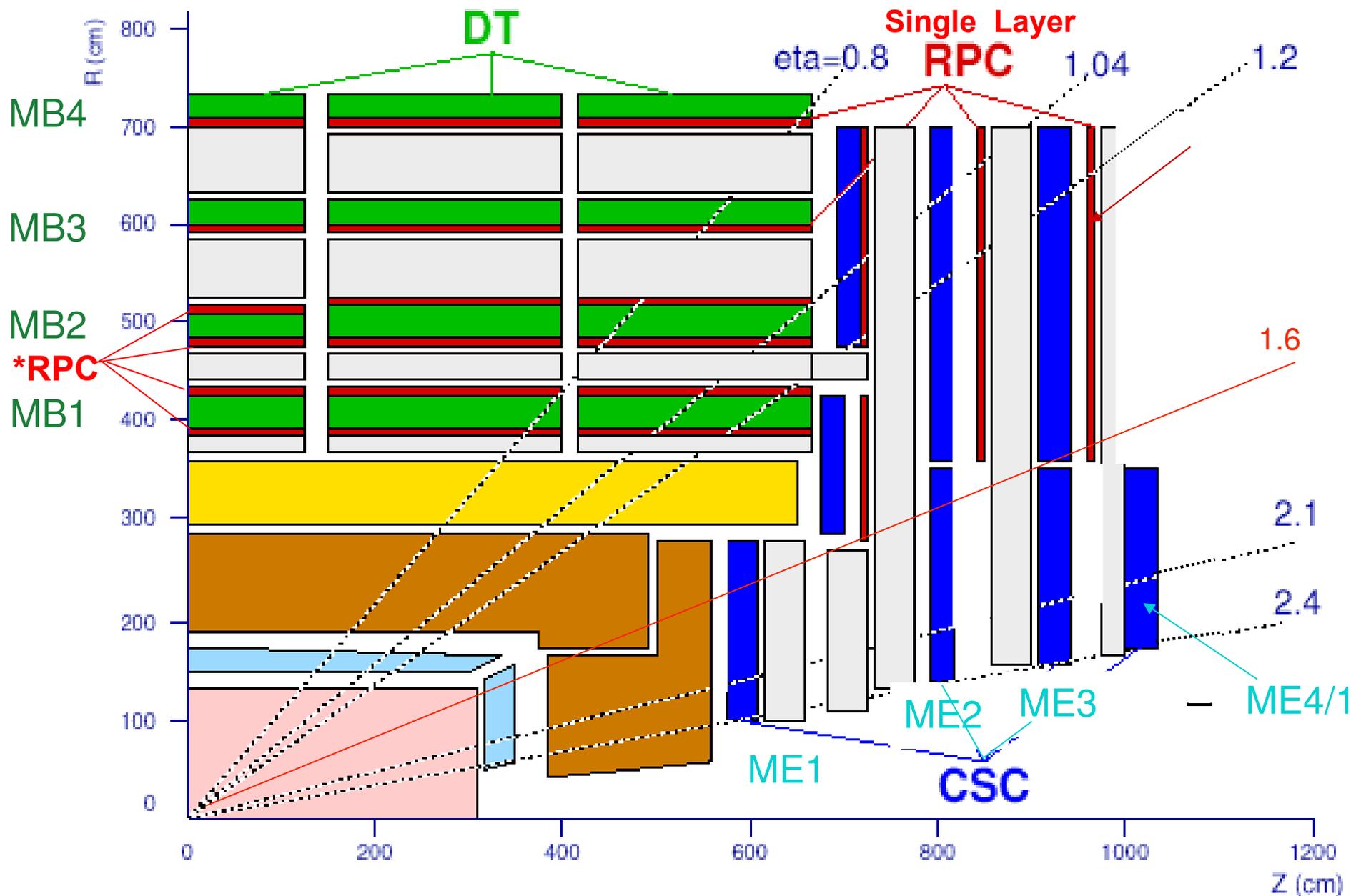
- Des objets simples :
 - Muons, électrons, photons, jets
- Plus compliqués :
 - Taus, b-jet
- Prérequis : sélectionner la physique / rejeter le bruit de fond
 - Seuil en p_{\perp} (pp produit en majorité des jets à bas p_{\perp})
 - Élevé pour les jets / plus bas pour les leptons
 - et/ou Multi-objets avec seuils abaissés
- Etude des taux de bruit de fond/efficacité pour le signal

Exercice HLT

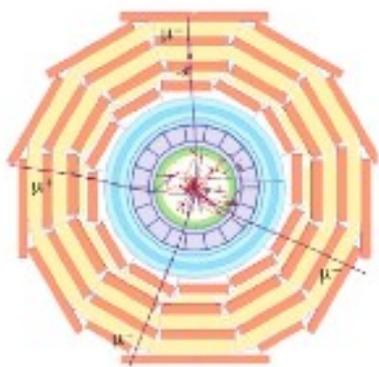


Le Trigger Muon dans CMS

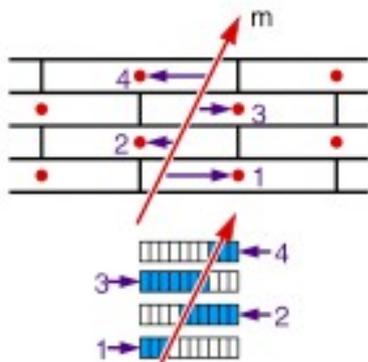
Les chambres à muons (actuellement)



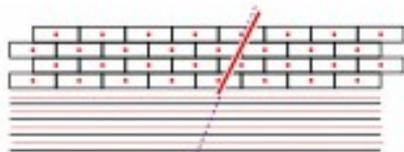
Drift Tubes (DT)



Drift Tubes



Meantimers recognize tracks and form vector / quartet.

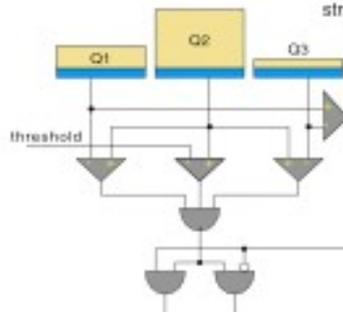
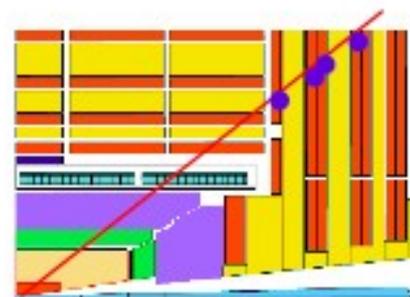
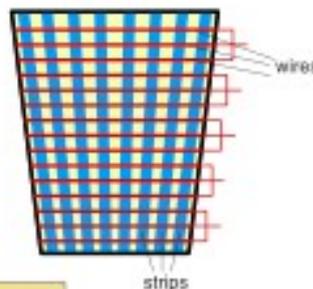


Correlator combines them into one vector / station.

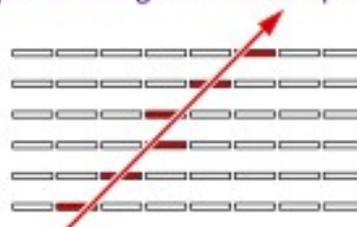


Cathod Strip Chambers (CSC)

CSC



Comparators give 1/2-strip resol.



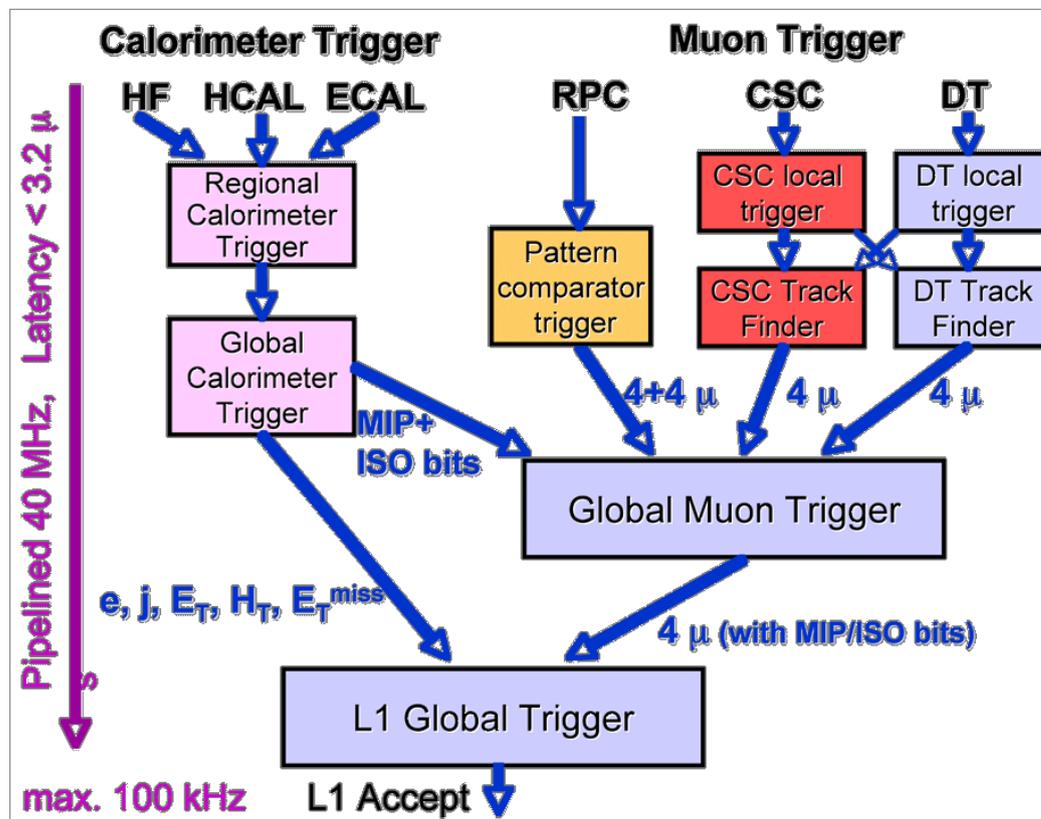
Hit strips of 6 layers form a vector.

Max 4 candidats ordonnés en P_T et qualité

Combinés au niveau suivant

Fournit les 4 muons avec le plus grand P_T et qualité muons et leur position

Niveau 1 - Muons



- 3 systèmes
- DT (tonneau)
- CSC (bouchons)
- RPC (tonneau et bouchons)
- Les DT & CSC Track Finders échangent l'information dans la région de chevauchement
- GMT sélectionne jusqu'à 4 candidats muons à partir de 16 candidats "régionaux"
- Le calorimètre peut fournir une information sur le caractère de MIP/isolation du muons. (pas implémenté)

- Le niveau L2 : utilise la sortie du L1 pour démarrer la recherche de segments dans les chambres à muons.
- Le niveau L3 : extrapole la trace L2 dans les pixels et repart des grains compatibles pour reconstruire toutes les traces compatibles dans le tracker. (L'unpacking des données est fait à la demande.)
- Une des trajectoires tracker est choisie et refittée avec le hits des détecteurs à muons
 - La reconstruction de l'extérieur vers l'intérieur existe et doit être testée - avantage : pas besoin des pixels
 - A tester : supprimer le refit permettrait d'être moins sensible à l'alignement inter-détecteurs et de gagner du temps
 - A tester : choisir d'office celle de plus haut pt



Exercice HLT : faire un menu pour

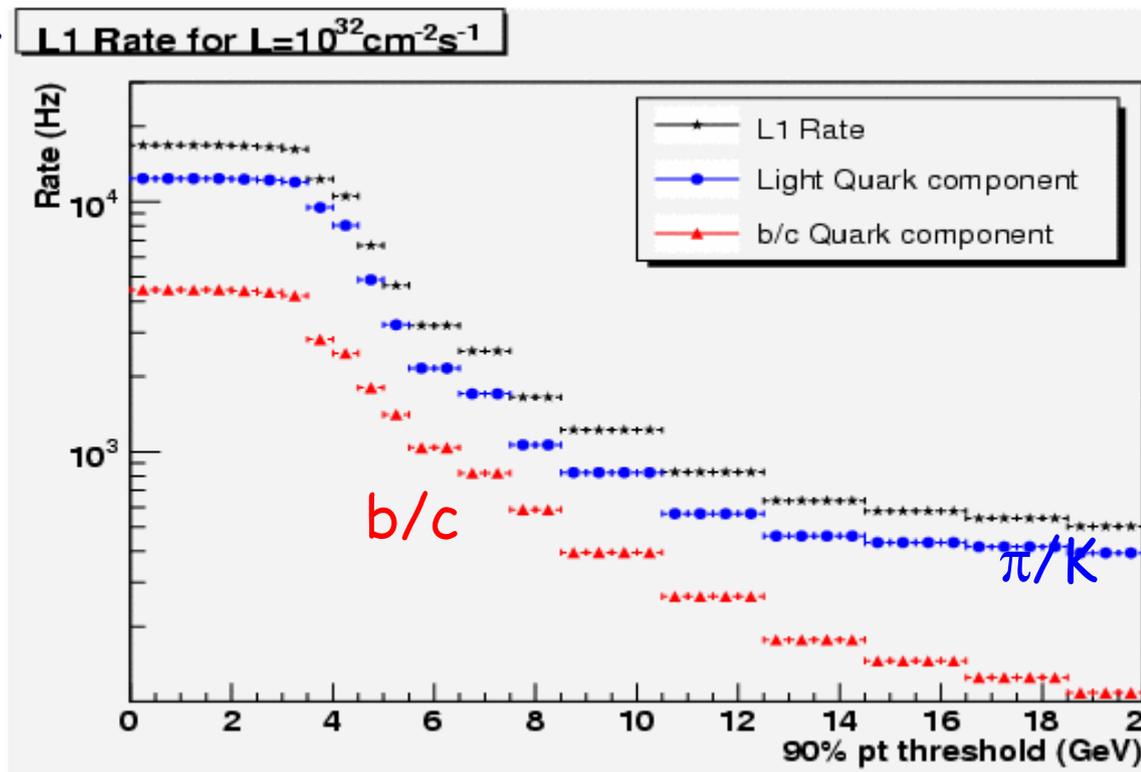


$$\mathcal{L}=10^{32}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$$

- Évaluer les efficacités pour le signal est « facile » : peu d'évènements sont nécessaires
- Évaluer le taux de déclenchement avec 10^{-7} de facteur de réduction est plus compliqué.
- Vérifier si l'on tient la moyenne de 40ms /évènement

- Au L1 : le bruit de fond vient des désintégrations de π/K de bas p_{T} , reconstruits à haut Pt

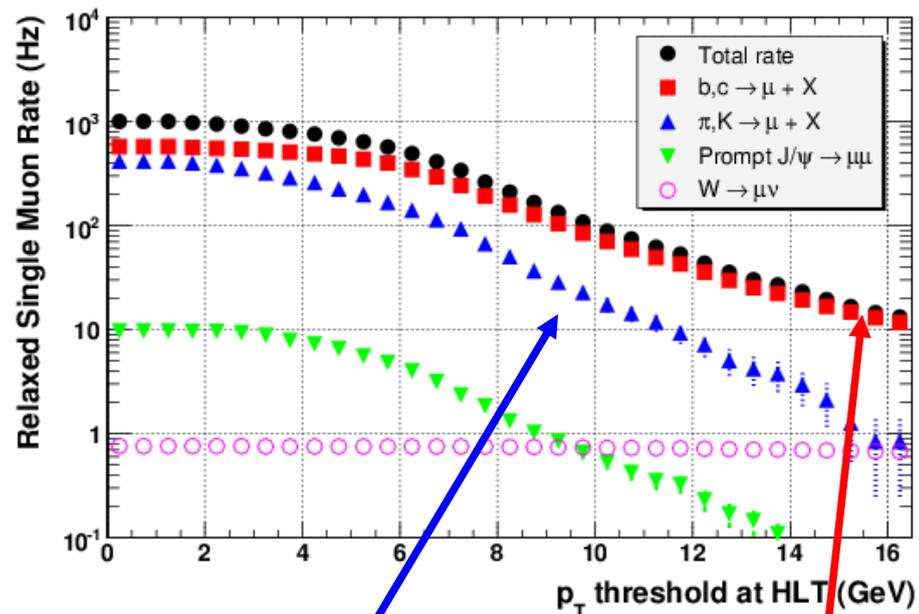
Nécessité d'échantillons spéciaux d'évènements de biais minimum avec désintégrations forcées de hadrons repondérées



HLT muons

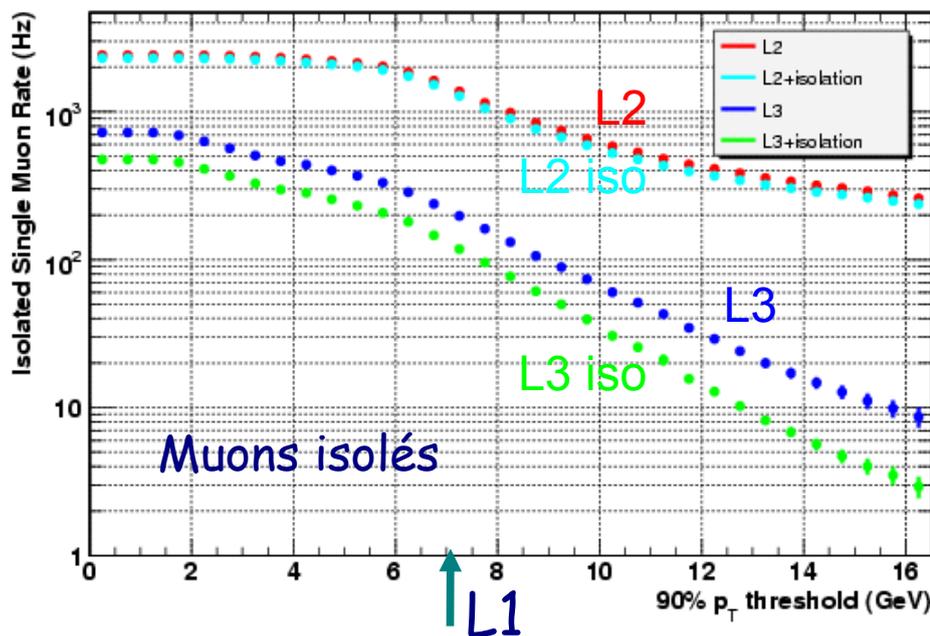
- L2 réduit d'un facteur 2
- Isolation calorimétrique non efficace
- L3 encore d'un facteur 20
- L3 isolation pixel plus efficace

Relaxed Muons (sans critère d'isolation)

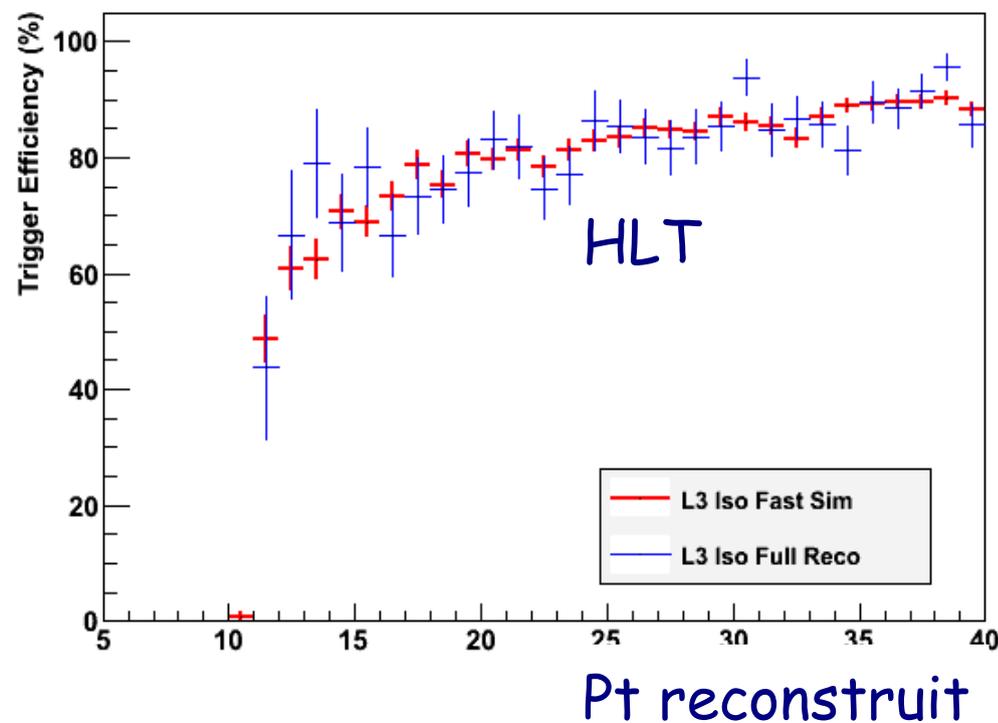
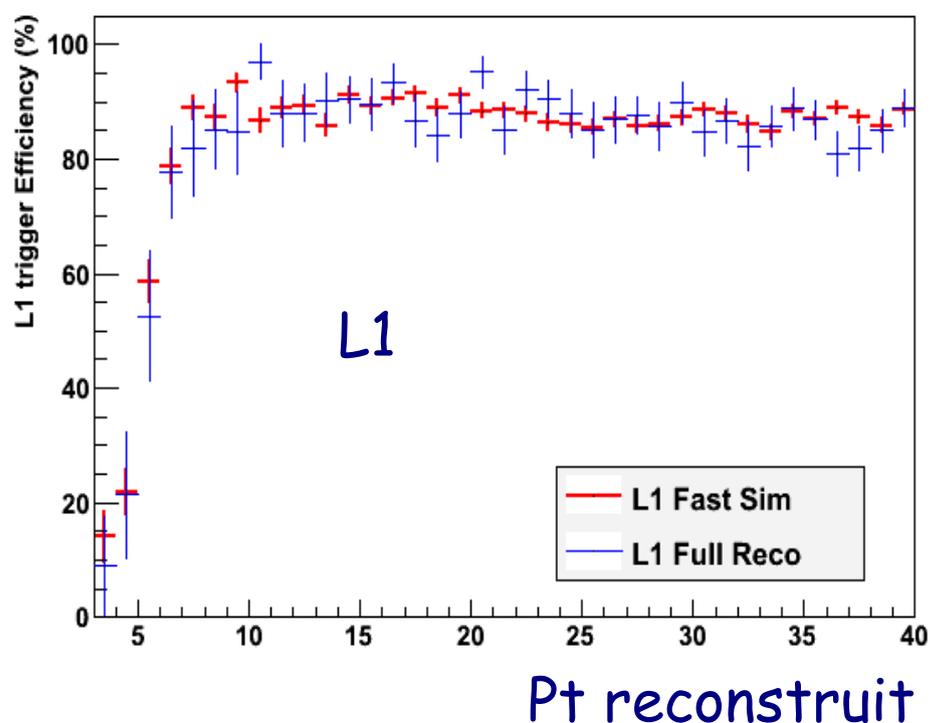


Après reconstruction précise p/K est rejeté car bas p_T

Sans Isolation les muons de b/c dominant



Aucune préselection d'acceptance...



- Les mêmes vérifications sont faites avec différents signaux (principalement Z,W,ttbar)

Muons

1kHz base du niveau 2



2.5kHz
Base du niveau 2

Electrons

L1 Trigger	Threshold (GeV)	Prescale	Rate (kHz)
A_SingleMu3	3	1000	0.01 ± 0.00
A_SingleMu5	5	1000	0.00 ± 0.00
A_SingleMu7	7	1	1.11 ± 0.04
A_SingleMu10	10	1	0.47 ± 0.03
A_SingleMu14	14	1	0.18 ± 0.02
A_SingleMu20	20	1	0.09 ± 0.01
A_SingleMu25	25	1	0.06 ± 0.01
A_SingleIsoEG5	5	10000	0.00 ± 0.00
A_SingleIsoEG8	8	1000	0.01 ± 0.00
A_SingleIsoEG10	10	100	0.04 ± 0.01
A_SingleIsoEG12	12	1	2.47 ± 0.06
A_SingleIsoEG15	15	1	1.10 ± 0.04
A_SingleIsoEG20	20	1	0.32 ± 0.02
A_SingleIsoEG25	25	1	0.14 ± 0.01
A_SingleEG5	5	10000	0.00 ± 0.00

Continued on next page

Jusqu'à 128 bits

$e/\gamma+jet$
 $e/\gamma+\tau$
 $\tau+MET$

L1 Trigger	Threshold (GeV)	Prescale	Rate (kHz)
A_IsoEG10_Jet30	10,30	1	1.95 ± 0.05
A_IsoEG10_Jet20	10,20	1	3.04 ± 0.06
A_IsoEG10_Jet70	10,70	1	0.26 ± 0.02
A_IsoEG10_TauJet20	10,20	1	1.95 ± 0.05
A_IsoEG10_TauJet30	10,30	1	1.33 ± 0.04
A_TauJet30_ETM30	30,30	1	1.96 ± 0.05
A_TauJet30_ETM40	30,40	1	0.26 ± 0.02
A_TripleMu3	3	1	0.01 ± 0.00
A_TripleJet50	50	1	0.22 ± 0.02
A_QuadJet30	30	1	0.58 ± 0.03
A_MinBias_HTT10	10	large	0.40
A_ZeroBias	0	large	0.40
Total L1 Trigger Rate (kHz)			16.67 ± 0.15

Table 8.1: Trigger table showing L1 rates at chosen thresholds for $\mathcal{L} = 10^{32} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$.

A_DoubleEG15	15	1	0.05 ± 0.01
A_DoubleJet70	70	1	0.58 ± 0.03
A_DoubleJet100	100	1	0.11 ± 0.01
A_DoubleTauJet20	20	1000	0.02 ± 0.01
A_DoubleTauJet30	30	100	0.08 ± 0.01
A_DoubleTauJet40	40	1	2.36 ± 0.06
A_Mu3_IsoEG5	3,5	1	0.95 ± 0.04
A_Mu5_IsoEG10	5,10	1	0.04 ± 0.01
A_Mu3_EG12	3,12	1	0.09 ± 0.01
A_Mu3_Jet15	3,15	20	0.30 ± 0.02
A_Mu5_Jet15	5,15	1	1.62 ± 0.05
A_Mu3_Jet70	3,70	1	0.10 ± 0.01
A_Mu5_Jet20	5,20	1	1.18 ± 0.04
A_Mu5_TauJet20	5,20	1	0.66 ± 0.03
A_Mu5_TauJet30	5,30	1	0.38 ± 0.02
A_IsoEG10_Jet15	10,15	20	0.15 ± 0.01

$\mu+e$
 $\mu+jet$
 $\mu+\tau$

Continued on next page ...

Seuils abaissés pour les objets doubles
SUSY, FCNC, H^{++} , top...



HLT Muons pour $\mathcal{L}=10^{32}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



HLT path	L1 condition	Thresholds (GeV)	HLT Rate (Hz)
Single Isolated μ	L1_SingleMu7	11	18.3 ± 2.2
Single Relaxed μ	L1_SingleMu7	16	22.7 ± 1.5
Double Isolated μ	L1_DoubleMu3	(3, 3)	—
Double Relaxed μ B_s	L1_DoubleMu3	(3, 3)	12.3 ± 1.6
$J/\psi \rightarrow \mu\mu$	L1_DoubleMu3	(3, 3) $M_{\mu\mu} \in [2.8, 3.4]$	2.0 ± 0.8
$\Upsilon \rightarrow \mu\mu$	L1_DoubleMu3	(3, 3) $M_{\mu\mu} \in [8, 11]$	1.8 ± 0.5
$Z \rightarrow \mu\mu$	L1_DoubleMu3	(7, 7) $M_{\mu\mu} > 70$	0.1 ± 0.0
Triple Relaxed μ	L1_TripleMu3	(3, 3, 3)	0.1 ± 0.0
Same-sign double μ	L1_DoubleMu3	(3, 3)	5.7 ± 1.2
Single Relaxed μ Prescale 4000	L1_SingleMu3	3	0.8 ± 0.0
Single Relaxed μ Prescale 2000	L1_SingleMu5	5	0.7 ± 0.0
Single Relaxed μ Prescale 400	L1_SingleMu7	7	0.8 ± 0.0
Single Relaxed μ Prescale 100	L1_SingleMu7	10	0.8 ± 0.0
L1 μ Prescale 1000	*	—	3.0 ± 0.0

W, Z, SUSY
 $H \rightarrow WW/ZZ$
 fake $e/\gamma W+j$,
 $A \rightarrow \mu\mu$
 $\tau \rightarrow \mu\mu\mu$
 Idem +
 top, b

 $BSM (H^{++})$

 Validation,
 efficacité,
 Turn-on

- Pour des muons $|\eta| < 2.4$ et $p_{\perp} > 10 \text{ GeV}$

Signal	HLT Single Relaxed muon eff.(%)	HLT Double muon eff.(%)	HLT Single Isolated muon eff.(%)	(Level-1)*HLT acceptance (%)
$Z \rightarrow \mu\mu$	98.6	91.2	95.8	98.1
$W \rightarrow \mu\nu$	86.9	-	81.4	76.7

LHCC-2007-21

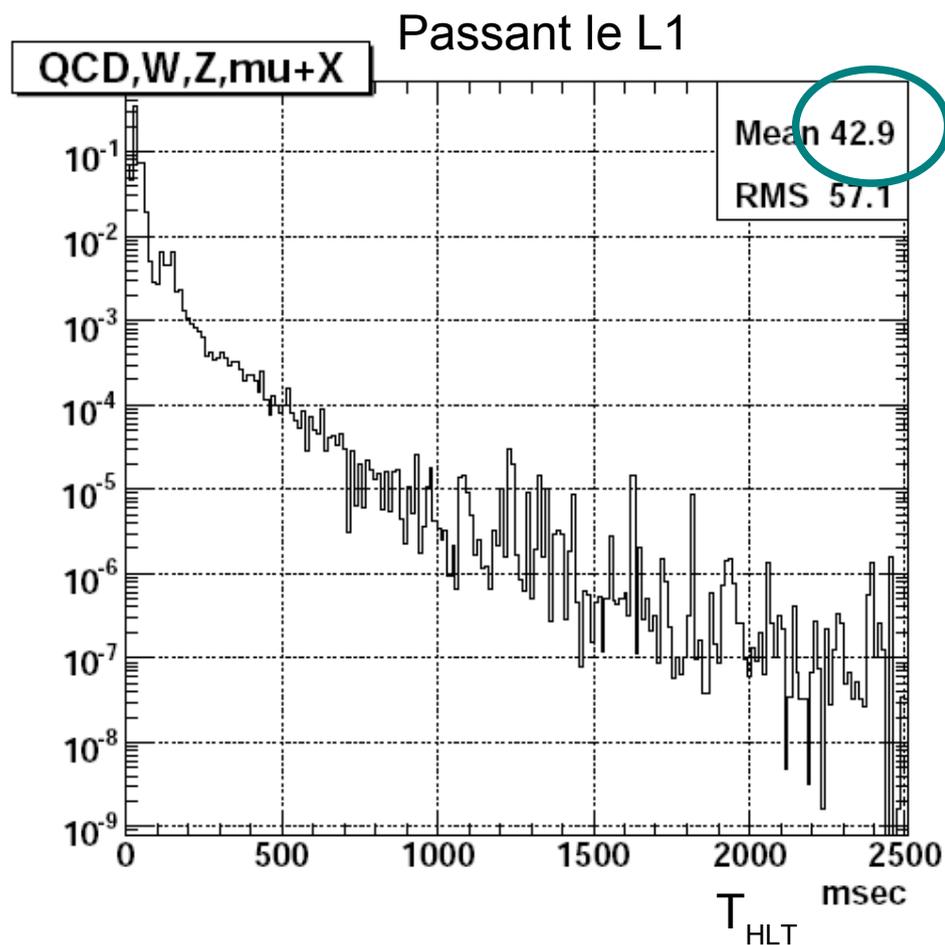
- Efficacités pour top aussi estimées (Groupe Top)

- à 81% pour tt semi- μ
- à 85% pour di- μ

Amélioré d'un facteur 2 depuis

Maintenant à la demande + rapide

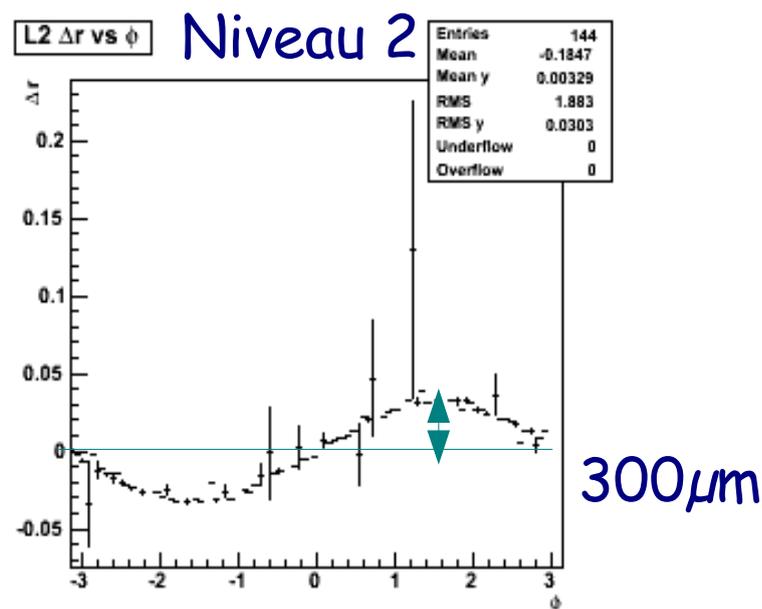
HLT step	Running time (ms)	Averaged time (ms)	Fraction of all L1 events processed
MUON unpacking	3.0	3.0	0.1090
MUON hits and segments	7.0	7.0	0.1090
Level-2 reconstruction	13.8	13.8	0.1090
ECAL unpacking	3.6	0.4	0.0135
HCAL unpacking	0.6	0.1	0.0135
ECAL RecHits	1.7	0.2	0.0135
HCAL RecHits	0.5	0.1	0.0135
CaloTowers	2.6	0.3	0.0135
Level-2 isolation	0.2	0.0	0.0135
Pixel unpacking	1.3	0.1	0.0101
SiStrip unpacking	0.2	0.0	0.0101
Pixel RecHit and clustering	5.5	0.5	0.0101
SiStrip clustering	0.1	0.0	0.0101
Level-3 reconstruction	50.1	4.6	0.0101
Pixel Tracks	6.3	0.1	0.0012
Level-3 isolation	0.1	0.0	0.0012
Total		30.2	



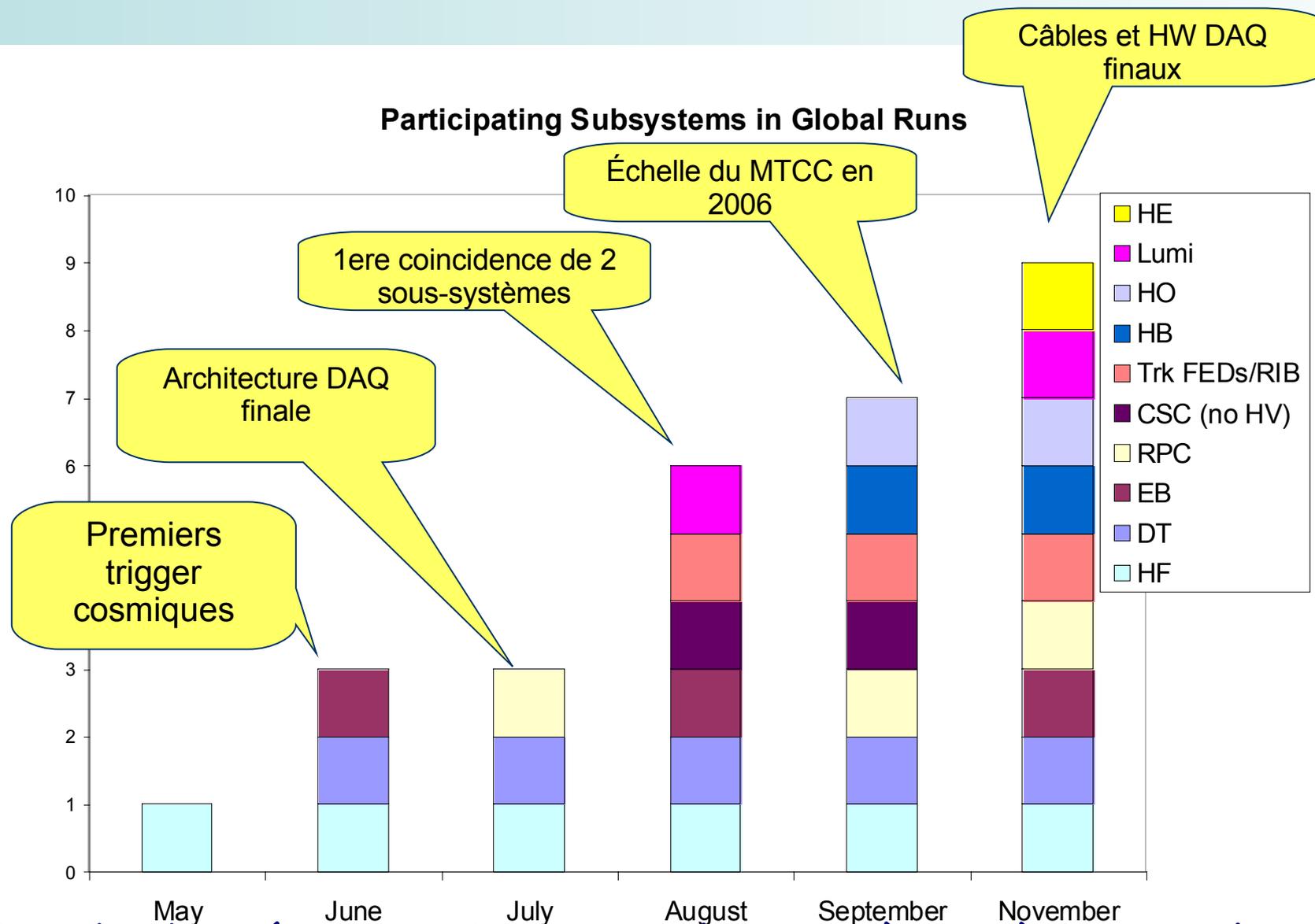
- Un menu pour $10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ a été produit et testé sur les bruits de fonds attendus
- Le temps de traitement est en moyenne de 43ms
- Pour un taux total de déclenchement de 150Hz
- Une première efficacité pour les signaux connus du modèle standard, ainsi que pour différents signaux recherchés (Higgs, SUSY, Z' , ...) a été déterminée.

- Toutes la reconstruction adaptée à un IP non centré
- Le monitoring des données du trigger Muon pourrait mesurer en 1 minute la position d'un nouvel IP moyen (à $10^{30} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$)

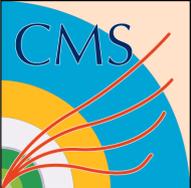
Impact p/r
à l'IP utilisé



- L'efficacité de déclenchement des muons rendu insensible à ces changements



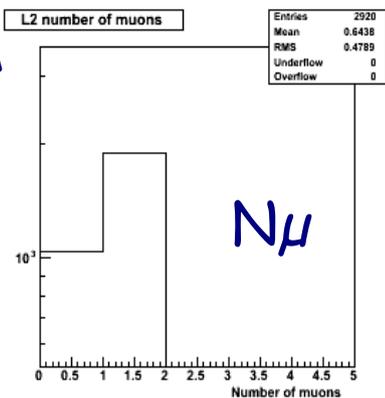
- *Prise de données cosmique avec les systèmes à Muons, les calorimètres et le trigger*



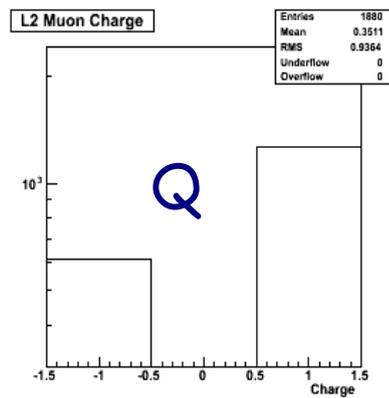
Trigger Cosmiques au niveau 2



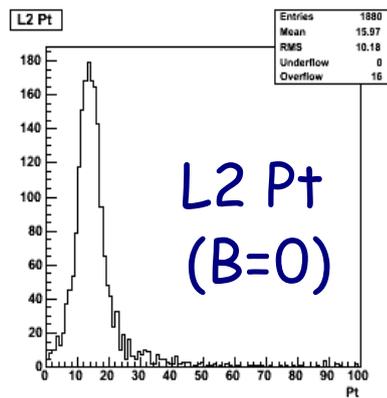
DQM



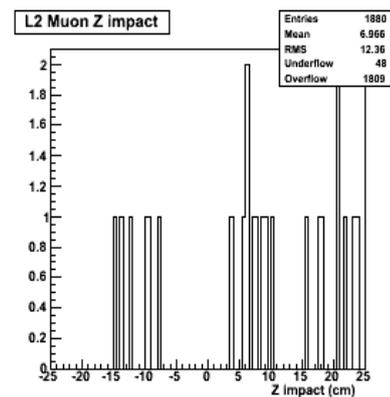
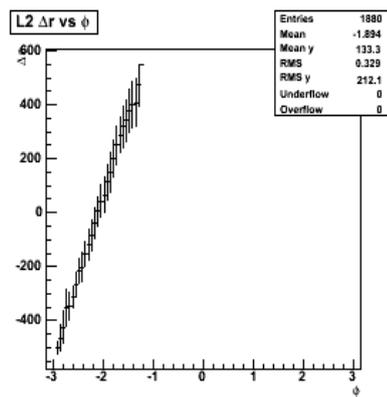
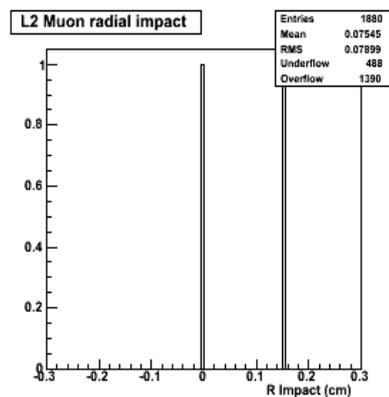
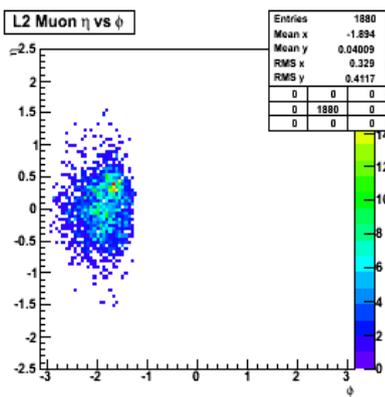
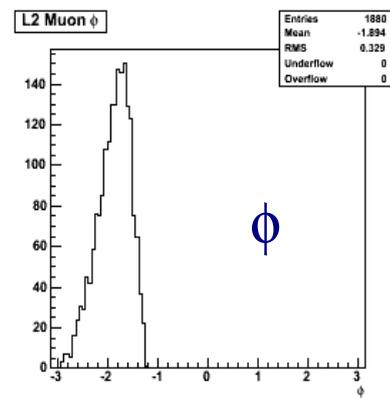
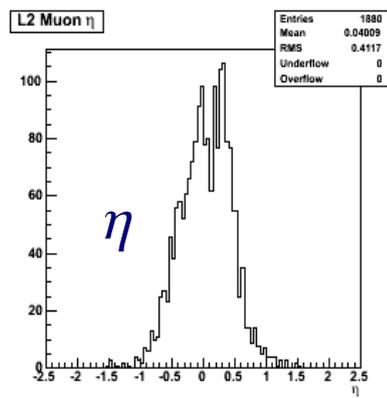
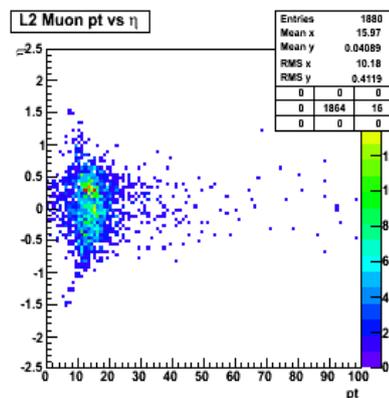
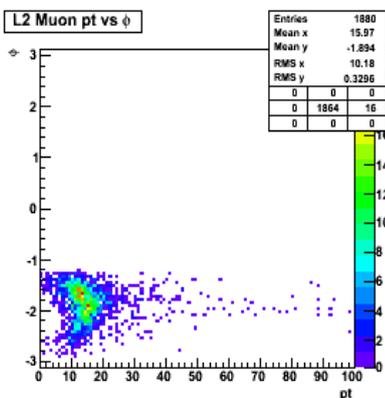
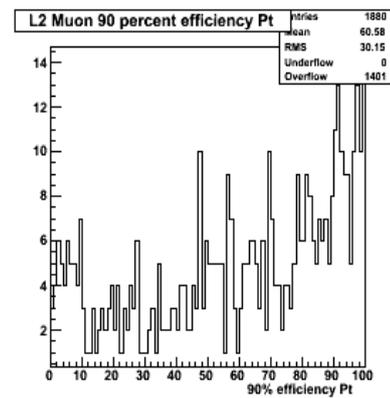
N_{μ}



Q



L2 Pt
(B=0)





Préparation à la prise de données



- Quasi tout le détecteur est dans la caverne
- La prise données est testée aux moyens de rayons cosmiques
- En 2006 des données avaient été prises en champ magnétique
- Actuellement chaque mois voit ses tests avec de plus en plus de détecteurs intégrés.
- La chaîne de déclenchement est en test (il manque encore le tracker, en avril ?)
- Le Trigger de Niveau 1 fonctionne (pour les cosmiques dans les DT et les CSC)
- Le monitoring de la qualité du déclenchement aussi



Menus pour le démarrage



- En 2008 nous n'arriverons au mieux à $10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ que juste avant la fermeture annuelle
- En attendant des « menus » avec seuils abaissés pour $10^{29}, 10^{30}, 10^{31} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ sont en préparation avec des seuils abaissés, les coupures relâchées.
- Des trigger techniques d'alignement ont été mis au point
- Avec 10 pb^{-1} , ~ 10000 Z en leptons dans l'acceptance ainsi que de J/ψ , qui permettront de déterminer les efficacités de trigger d'après les données (tag et probe)
- Les triggers à seuils relâchés et l'utilisation des triggers orthogonaux (ex e/jet pour les muons) permettront de comprendre les bruits et les efficacités.

- Il y a actuellement énormément d'activité afin d'assurer que nous ferons le maximum des premières collisions
- Les menus sont en phase de finalisation pour les toutes basses luminosités
- Les tests de robustesse face aux conditions de non-calibration, non-alignement vont s'amplifier avec la production CSA08
- Des muons cosmiques sont pris ~1 semaine/mois au PA.5
- La chaîne de prise de données fonctionne
- Les méthodes de validation et les logiciels de monitoring se mettent en place et sont testés sur les données de muons cosmiques
- Dès que nous aurons du faisceau : nous enregistrerons les collisions en en gardant le plus intéressant !