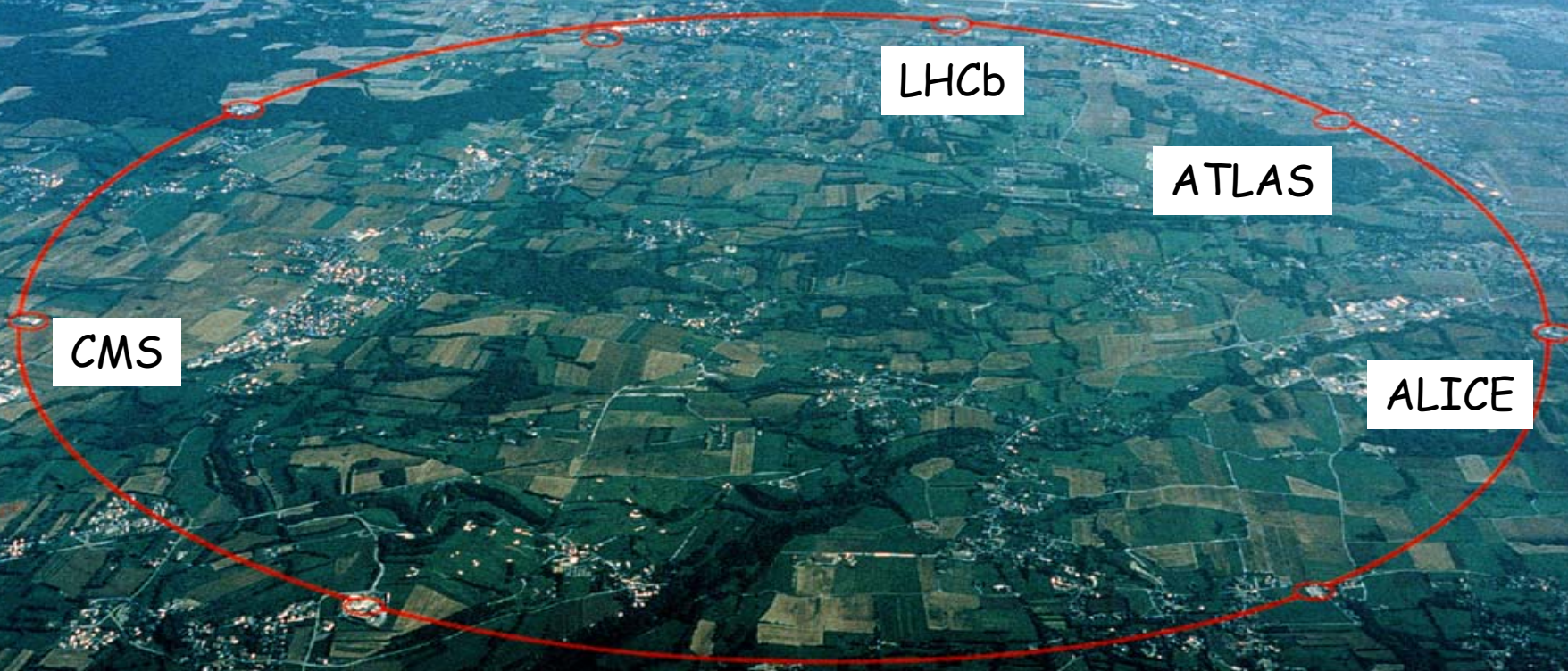
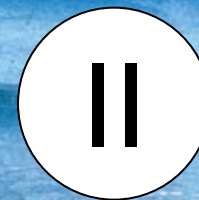
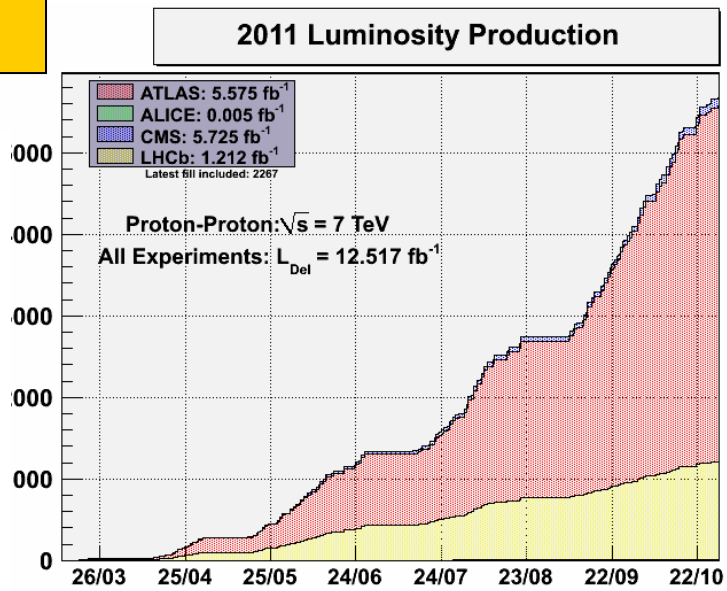
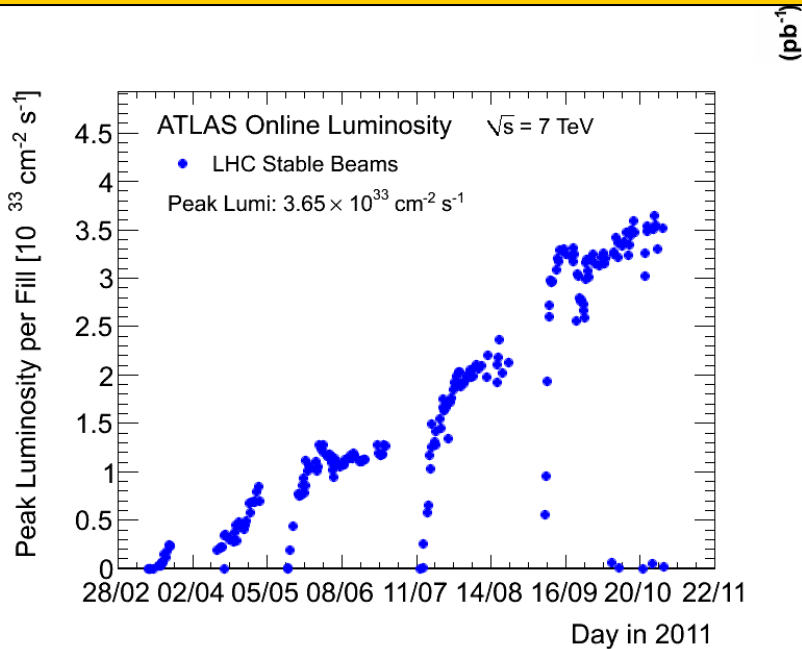


Les Détecteurs au LHC : Concept, comportement, performance, upgrades,....



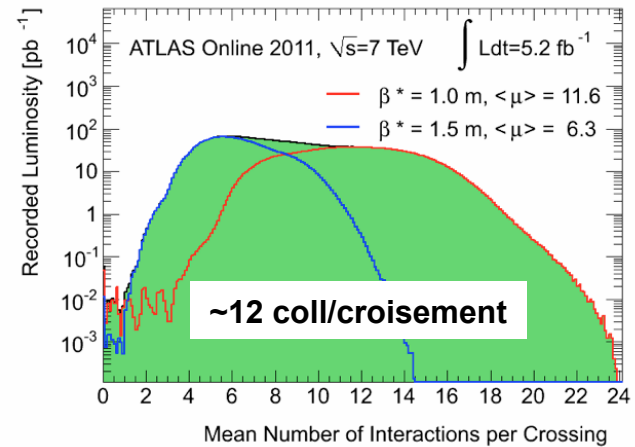
Conditions, luminosité...

2011

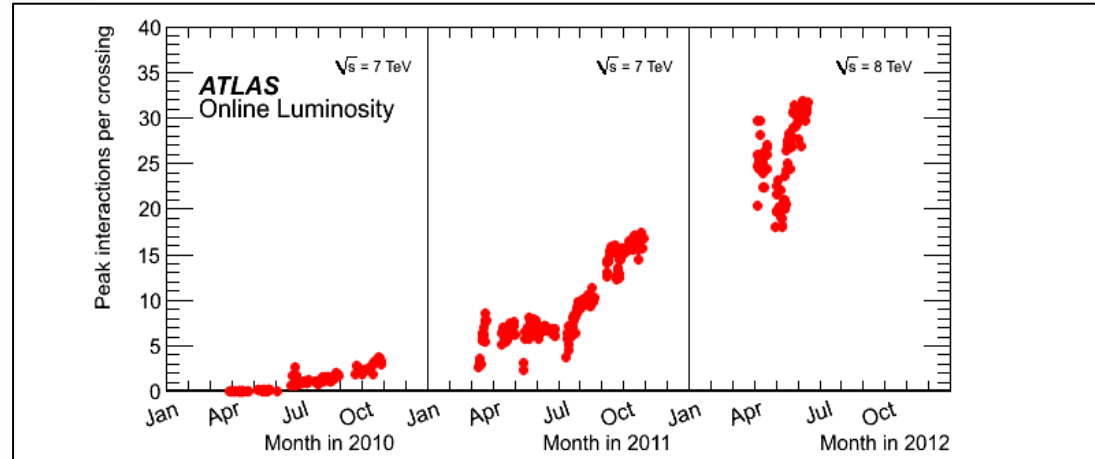
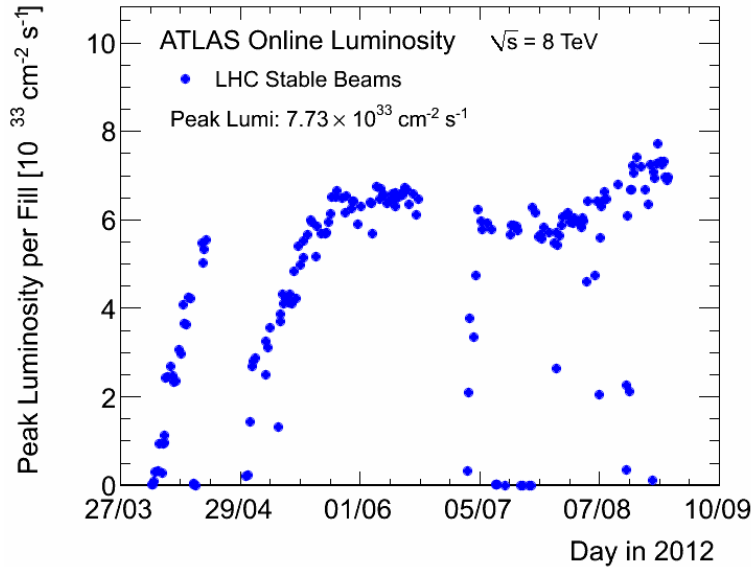


4 10¹⁴ events “traités”/ LVL1
4 10⁹ enregistrés
~1.5M Z→e⁺e⁻ reconstruits/exp
~15 M W→μν

Parameter	2010	2011	Nominal
N (10 ¹¹ p/b)	1.2	1.5	1.15
k (n bunches)	368	1380	2808
B. spacing	150	50	25
ε (μm rad)	2.4-4	1.9-2.3	3.75
β* (m)	3.5	1	0.55
L (cm ⁻² s ⁻¹)	2 10 ³²	3.6 10 ³³	10 ³⁴
Stored Energy(MJ)	28	110	360

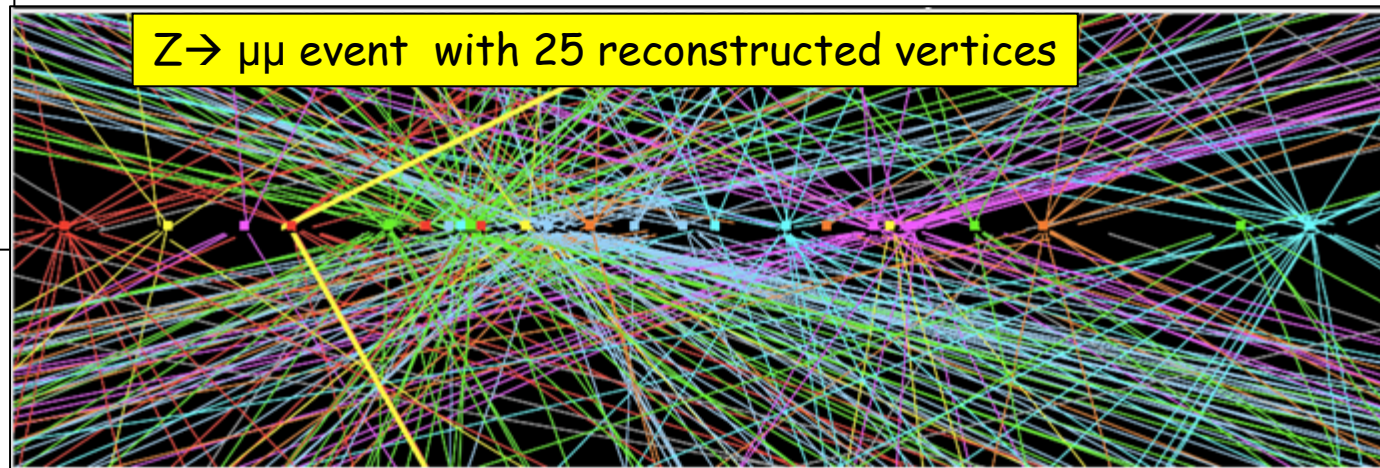


2012



Up to 40 coll/croisement

From 2011 to 2012
 β^* from 1m to 0.6m
Higher currents: $1.7 \text{ E}11$
Lower emittances



Difficulté ppale
Pile-up

Mesure de la Luminosité:VdM scan

Precise measurement of:

- size of the luminous region (VanderMeer scan) -->absolute luminosity calibration
- beam intensity (BCT)

in a Reference run, where Experiment's lumi monitors are also recorded
Used to extrapolate to a whole data taking period.

$$\mathcal{L} = \frac{n_b f_{\text{r}} n_1 n_2}{2\pi \Sigma_x \Sigma_y}$$

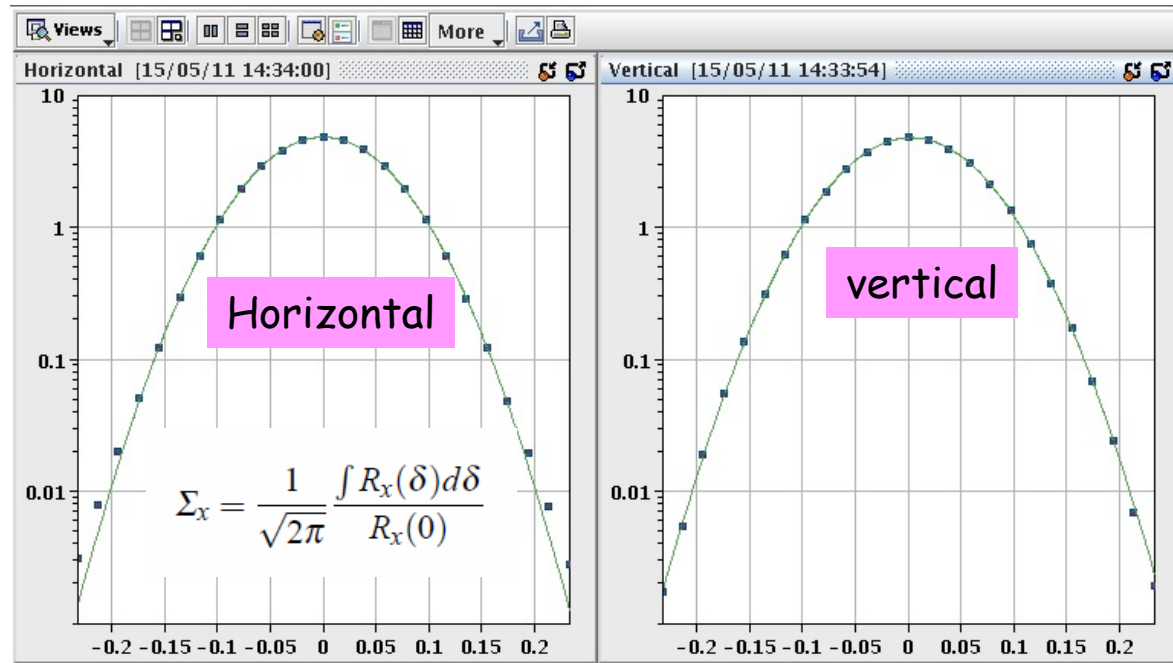
nb= nb of colliding bunches
n1,n2= nb of protons per bunch

Ete 2011

ATLAS $\delta L / L = 3.7 \%$

CMS $\delta L / L = 4.5 \%$

Amelioration/facteur 2(?)



Dominant error from
Bunch charge current $n_1 \times n_2$

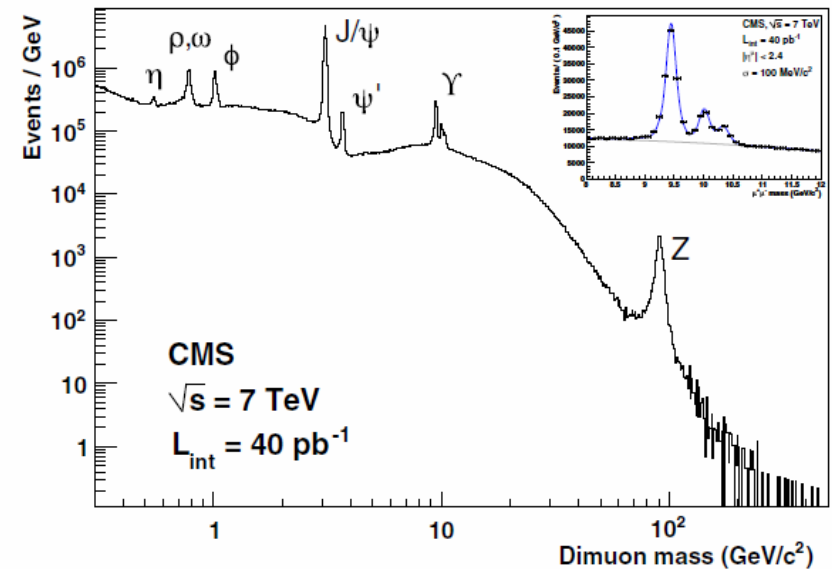
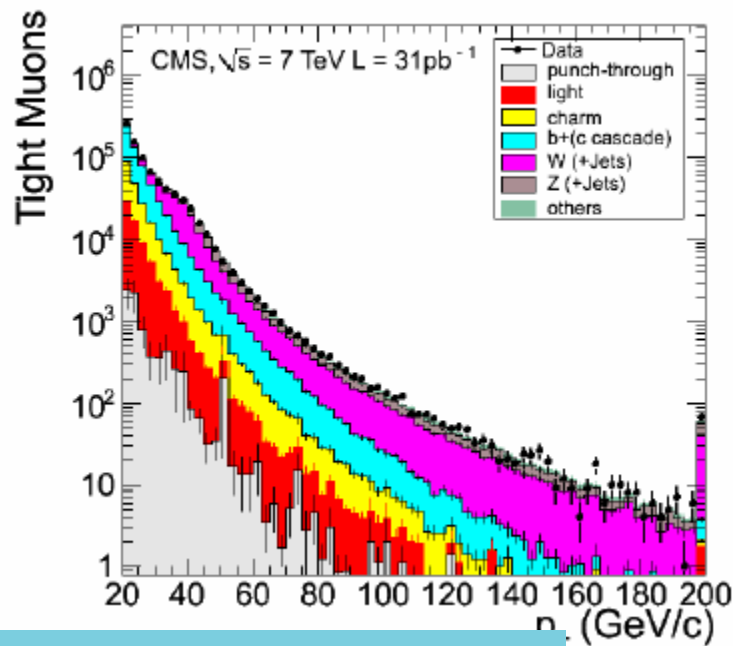
Exemple of counting rate R
D.Fournier –Gif-Sept 2 during a Van der Meer scan

3 Performances

- Muons
- Electrons et photons
- Jets
- Emiss
- B-tagging
- Taus

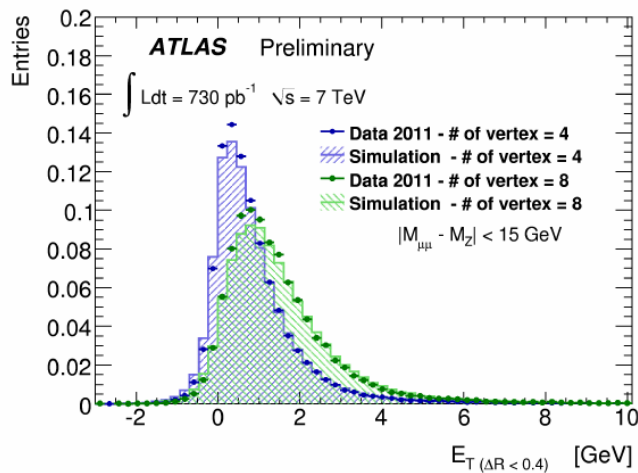
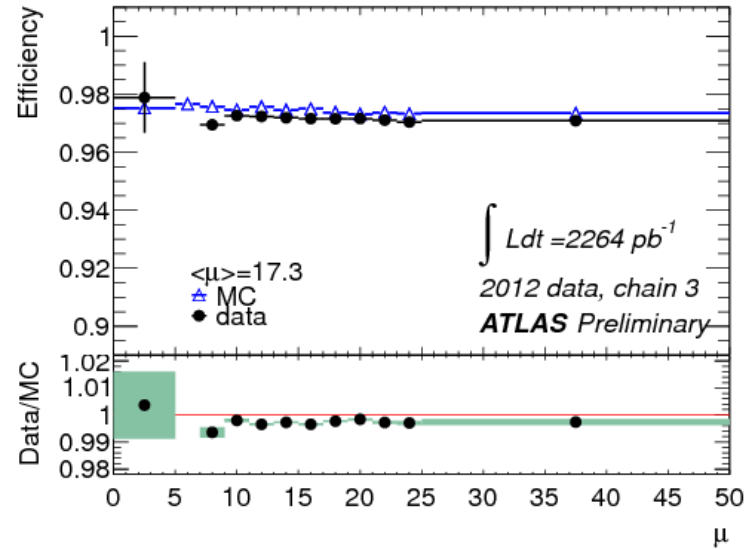
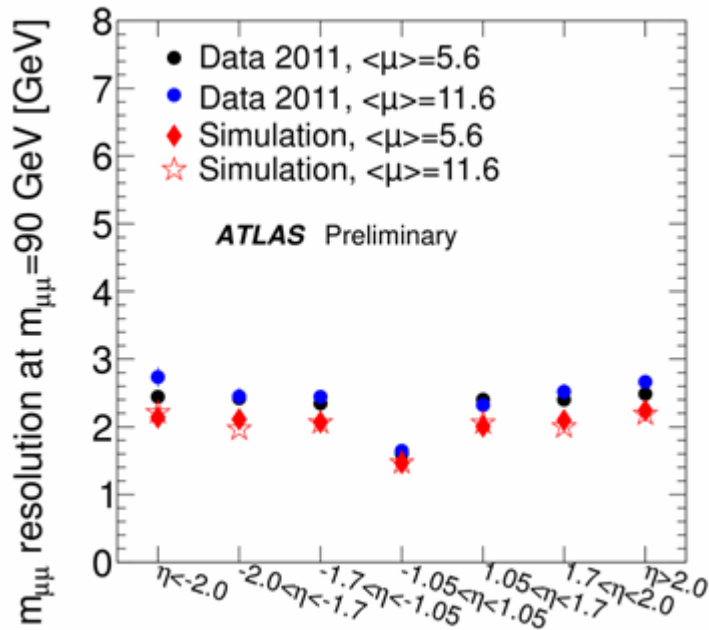
3/1-CMS performance dans la detection des muons

- Trigger: trace dans Muon Spectro (au dela du calo)->seuil de fait ~ 4 GeV pT
- Single muon pT $> \sim 24$ GeV/c (rate) (3×10^{33})
- Seuil di-muons : $\sim 20+10$ GeV/c



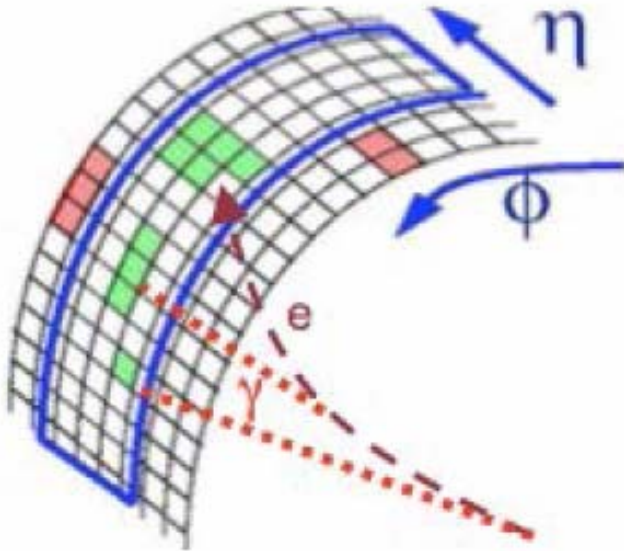
W/Z visible on inclusive spectrum
 Dominant at high PT

3/1 Atlas isolated muon perf. ; pile-up (non)-effect



Main issue: isolation in cone
 ΣpT in cone : tracks sorted/vertex
 ΣET cluster in cone: more involved

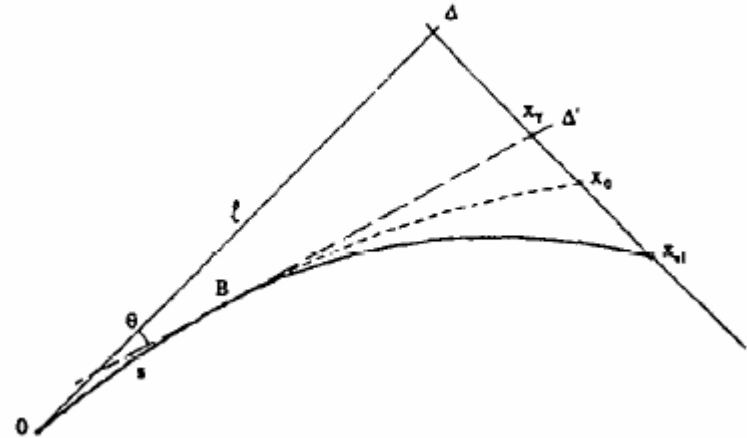
3-2 electron reconstruction, clustering



CMS: energie sommée dans le “super cluster”= $U\{\text{clusters}\}$

$$E_{e,\gamma} = F_{e,\gamma} \cdot \sum_{xtal} (G \cdot C_{xtal} \cdot L_{xtal}(t) \cdot A_{xtal})$$

- $F \rightarrow$ cluster energy corrections
 - particle dependent
 - compensate shower leakage and bremsstrahlung losses for electrons)



ATLAS: cluster de taille fixe (3x7).
Barycentre en phi indept brems
 \rightarrow test de compatibilité avec extrapolation de la trace depuis le vertex, avec $p_T = E_T(\text{cluster})$

Use of GSF in track reconstruction, to cope with bremsstrahlung

Bethe-Heitler: $f(z) = \frac{[-\ln z]^{a-1}}{\Gamma(a)}$, with $a = t/\ln 2$, $0 < z < 1$

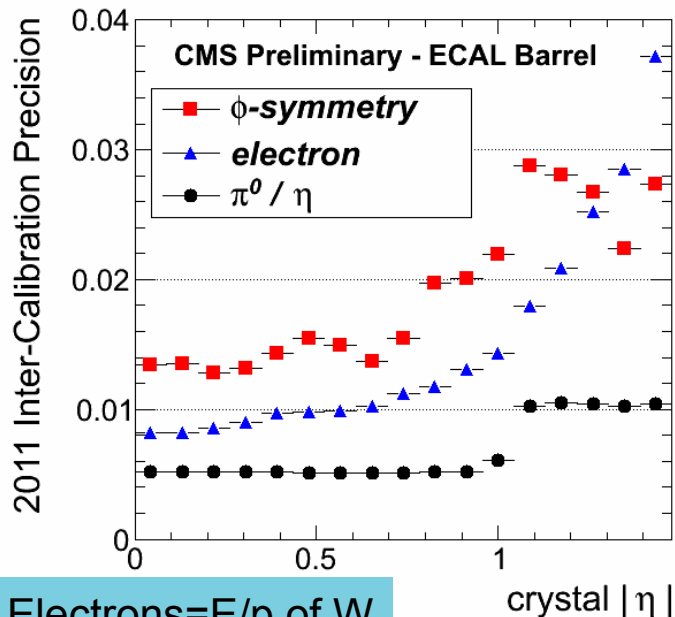
3/2: Electrons et Photons CMS calibration

Z lineshape (et E/p of W sample) → échelle d'énergie et résolution

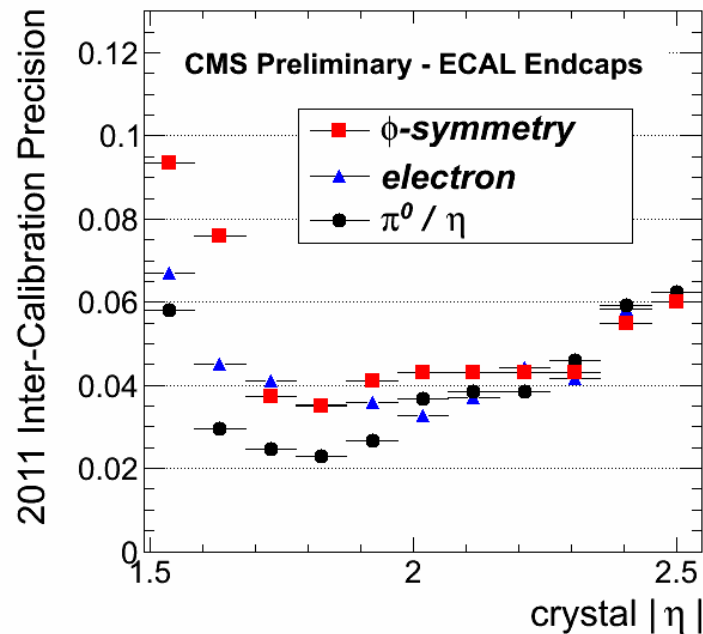
-des electrons : assez facile

-des photons convertis et non convertis : non trivial ; necessite MC

Autre source de calib/resol pour photons: $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$, $Z \rightarrow ee\gamma$

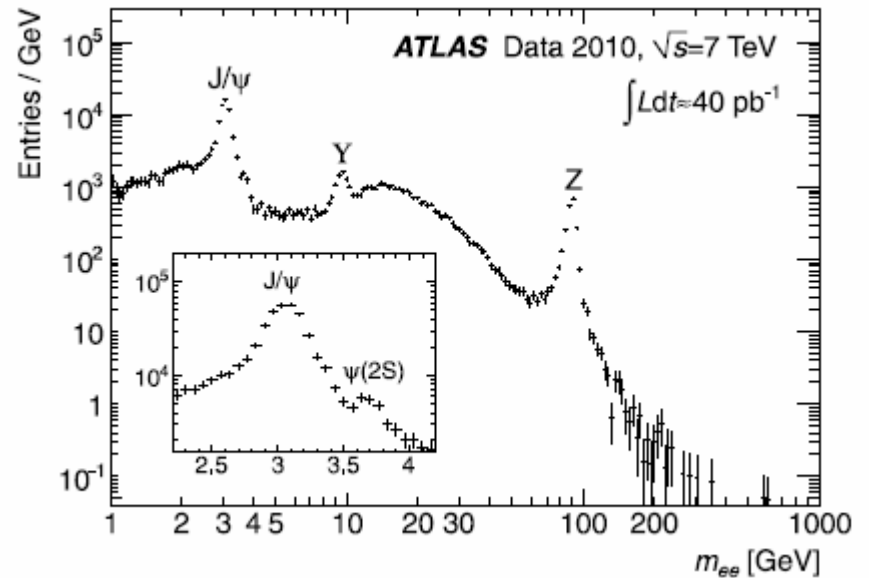
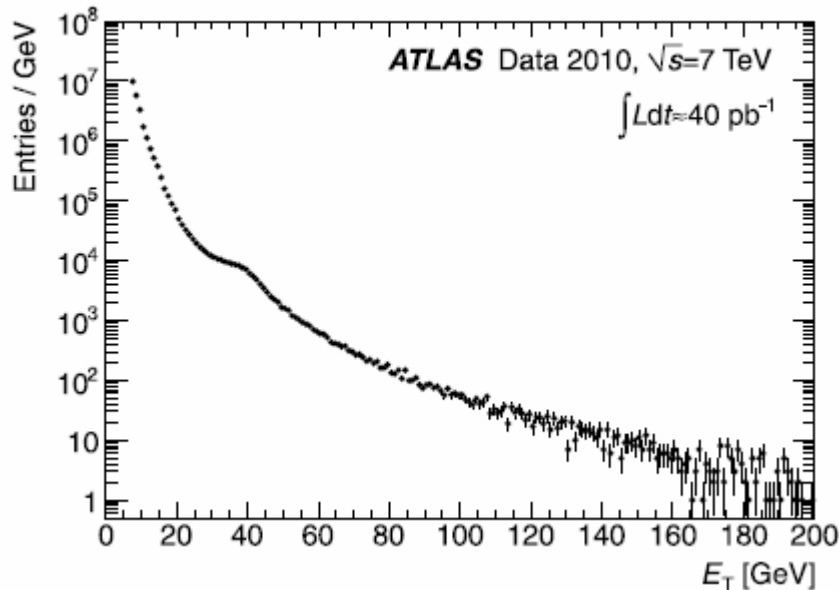


Electrons=E/p of W



3/2 electrons et photons

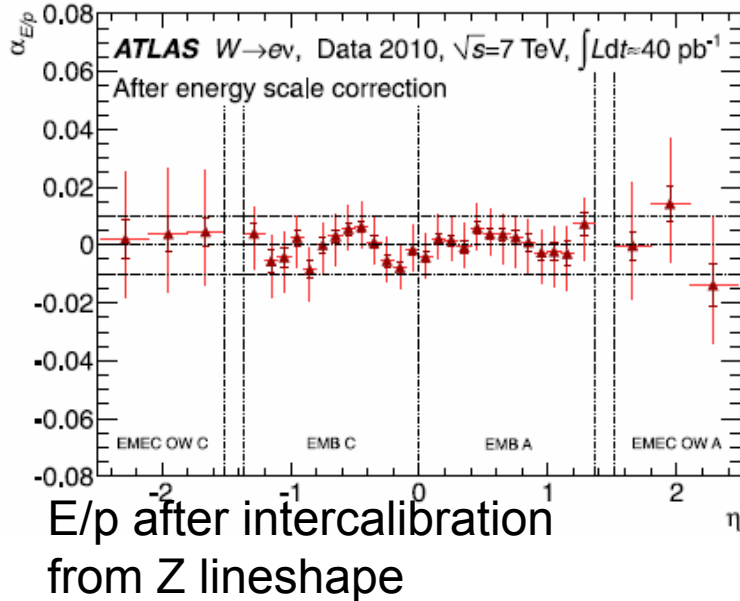
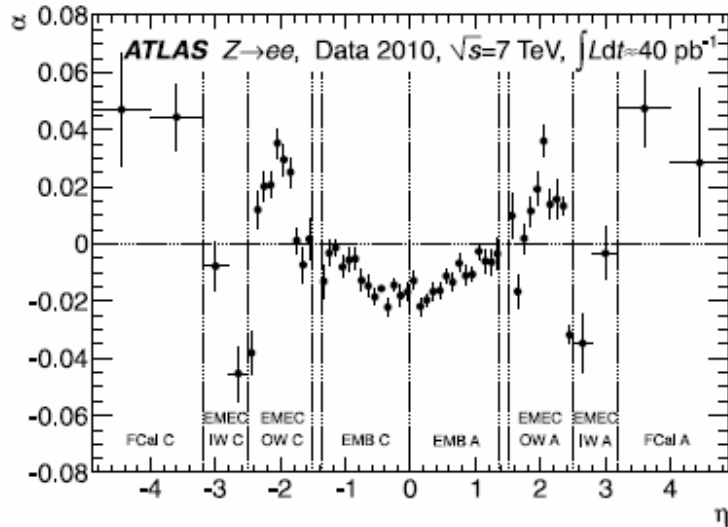
Atlas trigger and e pair spectrum



Contribution de W et Z visible
sur spectre inclusif “tight”

3/2 Electrons et Photons Atlas calibration

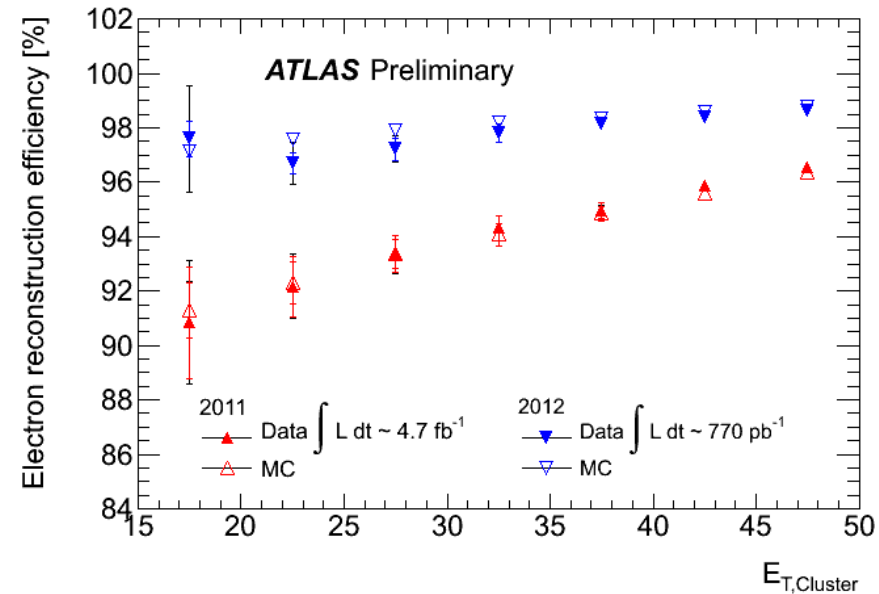
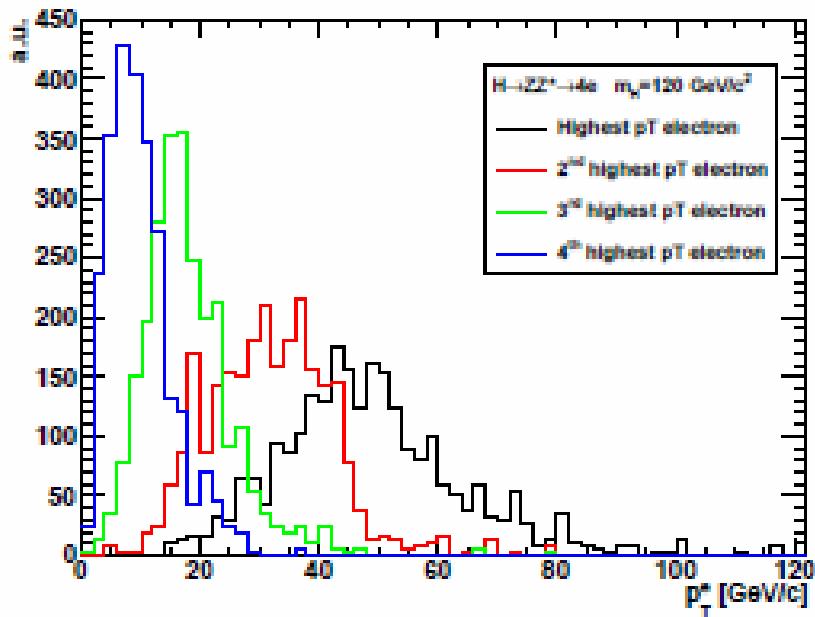
ATLAS Constant term (2011):
 - $< \sim 1\%$ for $|\eta| < 1.4$ and $|\eta| > 1.8$
 - $\sim 2\%$ for $1.5 < |\eta| < 1.8$



Essentiel pour la decouverte
 du Higgs et la mesure de sa masse
 $\sigma(M_H) = 1.6$ GeV (inclusif)
 pour $M_H = 126$ GeV

Efficacité aux electrons de bas pT

For $H \rightarrow ZZ^*$ Atlas ask for $p_{T\text{el}} > 7\text{GeV}$ ($p_{T\text{mu}} > 6\text{GeV}$)
CMS ask for $p_{T\text{el}} > 7\text{GeV}$ ($p_{T\text{mu}} > 5\text{GeV}$)



Delta_phi rescaled, GSF

3/2 Direction, identification, isolation des photons

Direction : ATLAS/3 samplings

$\rightarrow \sigma(Z_{VX}) 2\gamma_{NC} \sim 15 \text{ mm} \rightarrow \text{OK /mH}$

CMS: pas de mesure

Identification: forme de gerbes

$\sim 8000 \text{ rej}/\gamma$ at $\sim 90\%$ eff (ATLAS-cut based).

CMS: similar; less measurements; smaller R_M
MVA approach

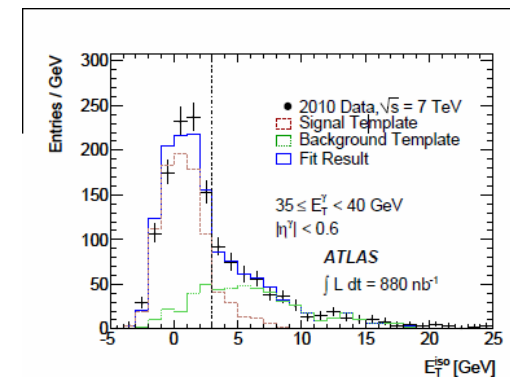
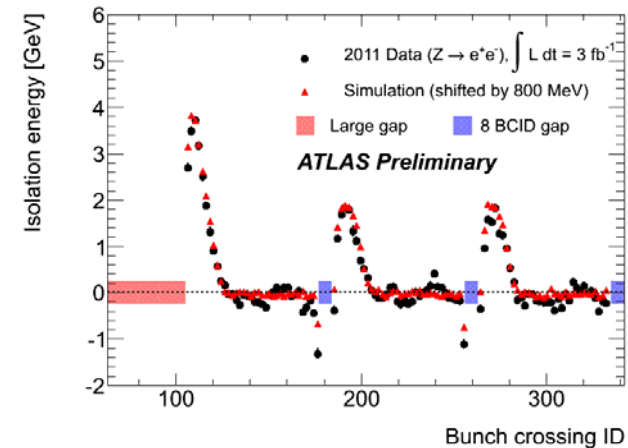
Isolation en ET: a priori dependant de μ (pile-up)

ATLAS : utilise “topo clusters” et soustrait le “bruit ambiant”, (pulse LAr d’integrale nulle ne traite pas les discontinuités dans le bunch train).

CMS : soustraction du ET “ambient”

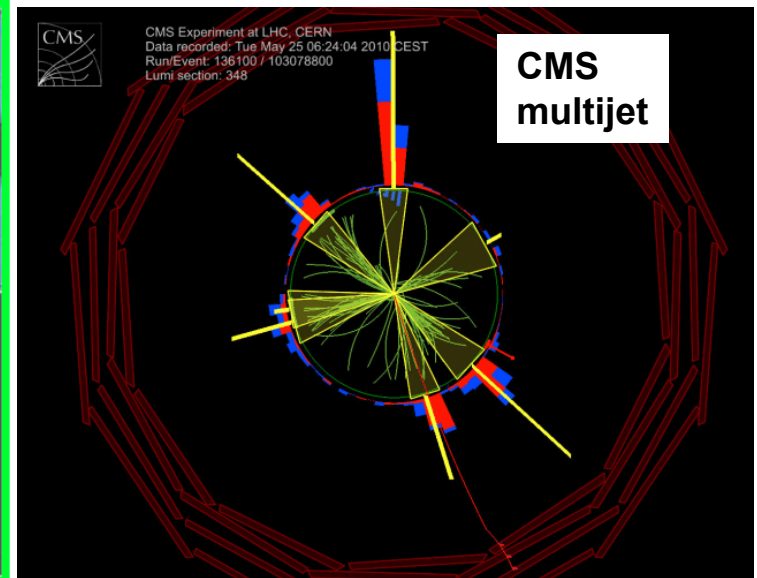
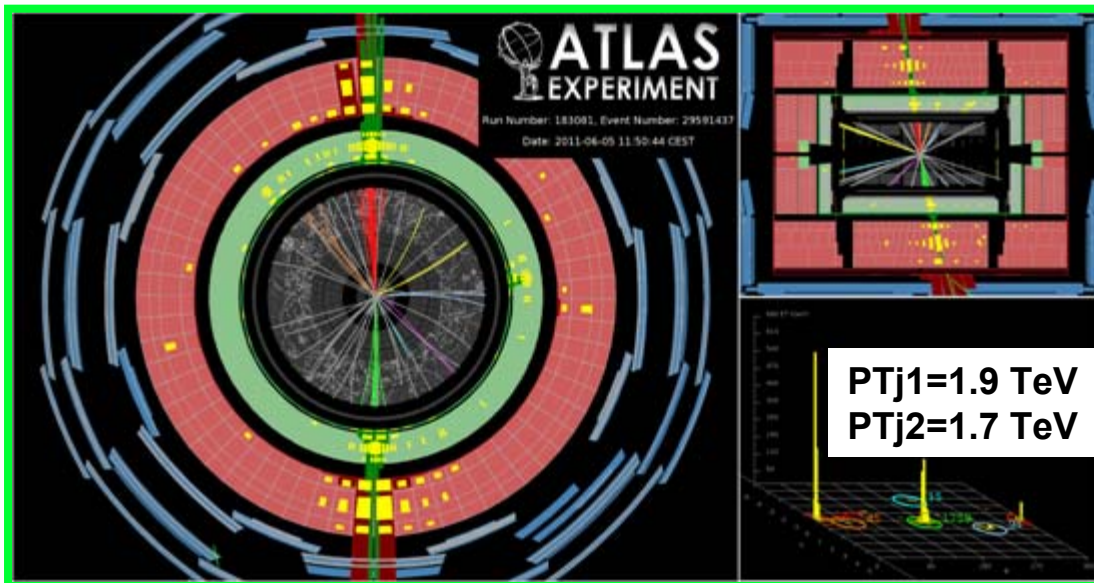
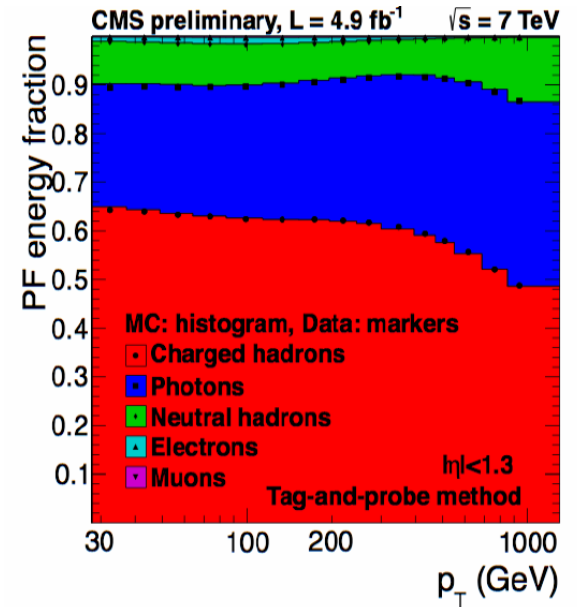
ΣpT peut souffrir d’un mauvais choix de vertex

Typical isolation cone : $\Delta R=0.4$ (ET) ou 0.3 (PT)



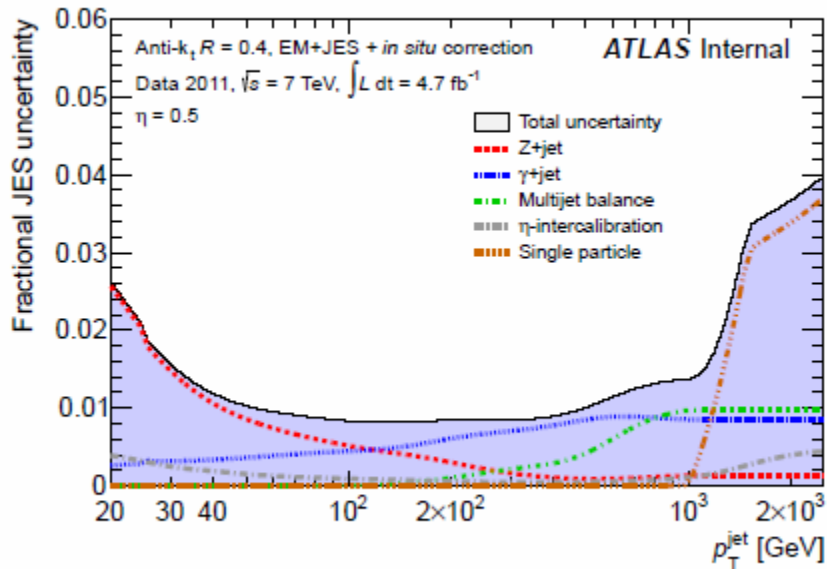
3/3 Jets

- Les deux expériences utilisent l'algorithme "anti-kT"
 - ATLAS: "topoclusters" purement calorimétriques
 - CMS: "Particle flow" = tracks + EM clusters + Had clusters
not overlapping tracks (idéally neutral hadrons: K0L,..)
- [correspond aux points forts/faibles des 2 exp]

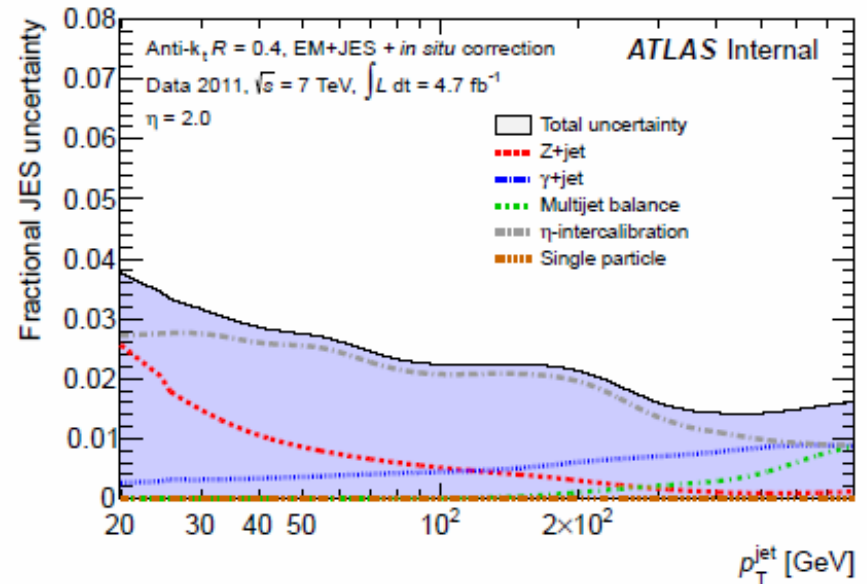


3/3 ATLAS jet calibration

- In situ calibration par “balance en pT” avec photons, Z^0 et également jets a petit η pour calibrer ceux a grand η .
- Utilisation aussi de single pions/check de la meme G4 list



(a) $\eta = 0.5$

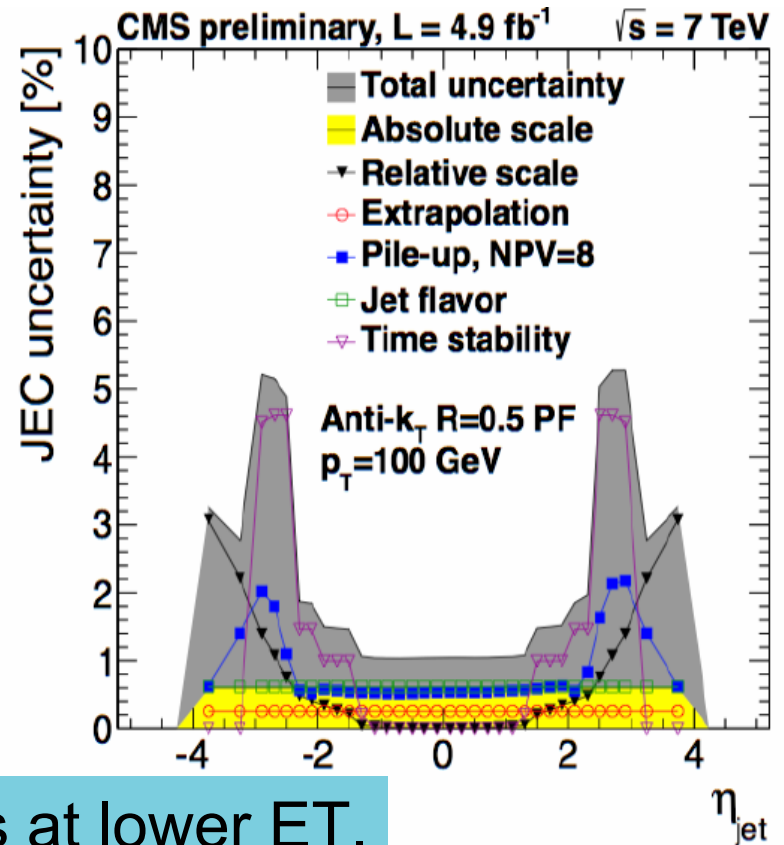
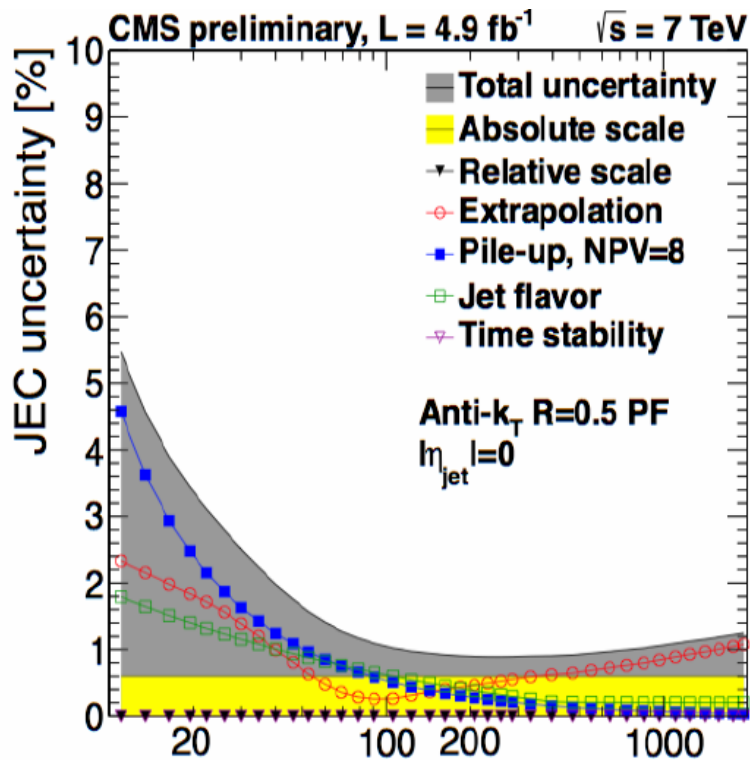


(b) $\eta = 2.0$

Uncertainty down to 1% (2% at $\eta=2$) remarquable.
(une mauvaise calibration a déjà conduit a des “evidences”
pour une sous-structure des quarks...)

3/3 CMS jet calibration

- Contribution des traces (importante) facilement calibrée
- In situ calibration par “balance en p_T ” avec photons, Z^0 et également jets a petit η pour calibrer ceux a grand η .



CMS better at high ET, Atlas at lower ET.

3/3 impulsion transverse manquante

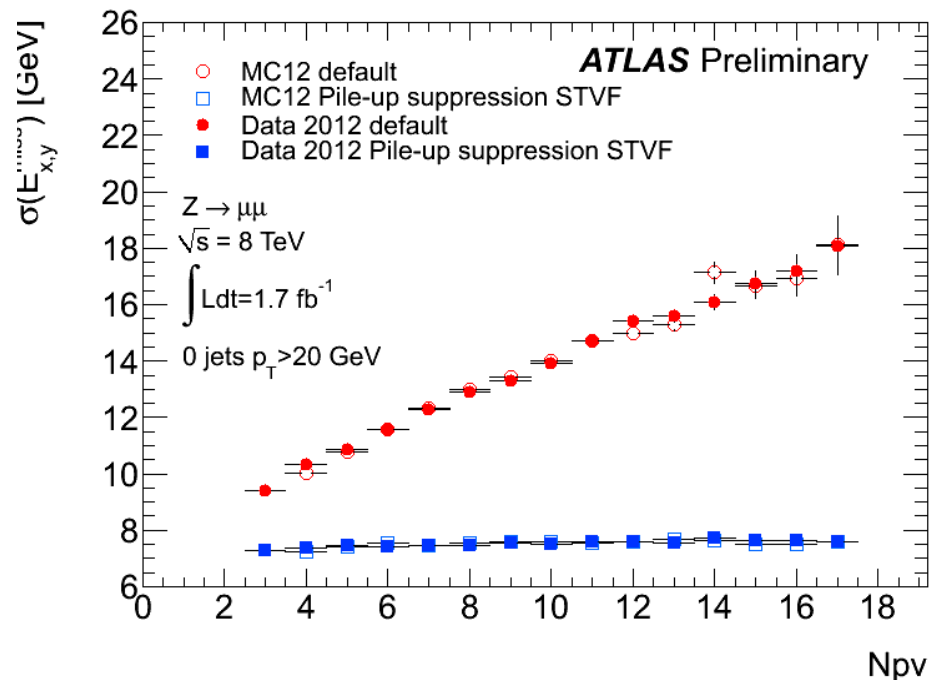
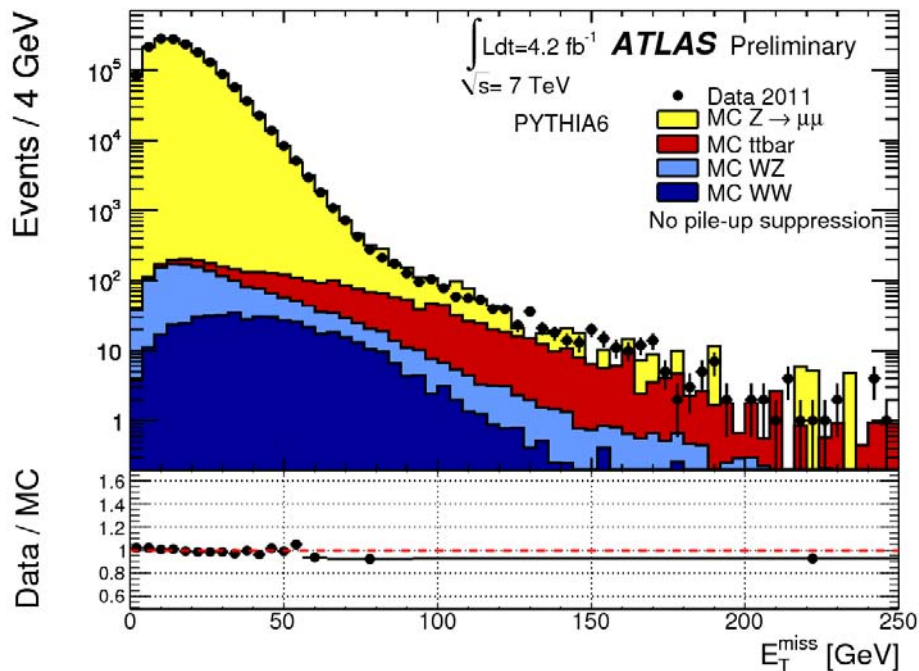
- Definition: opposé de la somme vectorielle de l'impulsion transverse de tous les objets observés(electrons,muons,jets)
- ATLAS : muons+ objets "calorimetriques" (electrons,photons,jets)
+ "soft jets" + "isolated topo" .
- CMS utilise les objets du "Particle flow"
- "Soft objects" particulièrement sensibles au "pile-up"
-ATLAS "pondère" la contribution des "isolated topo clusters" par la "fraction des traces venant du vertex principal" :STVF

Quantité essentielle pour nombre de canaux.

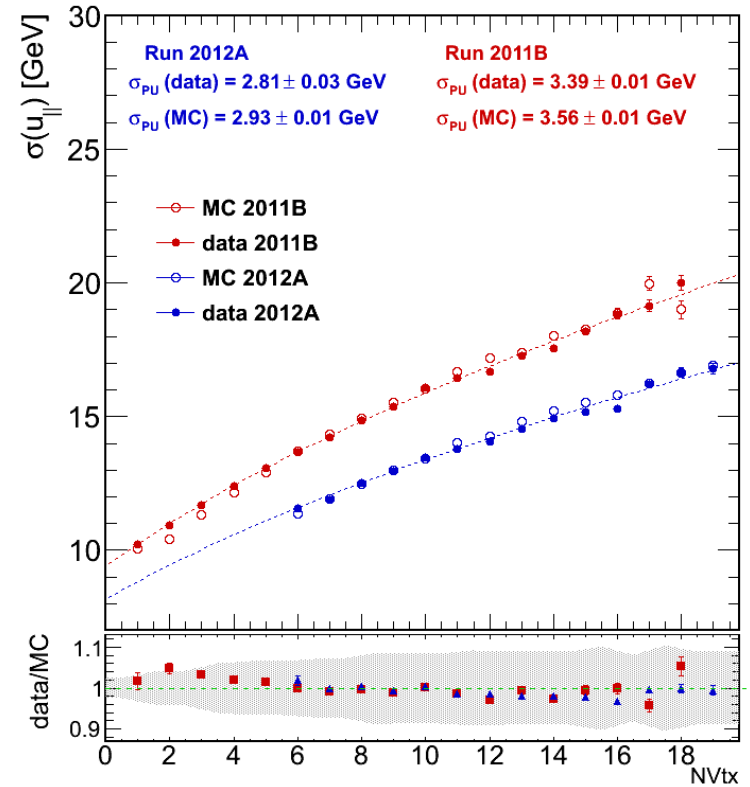
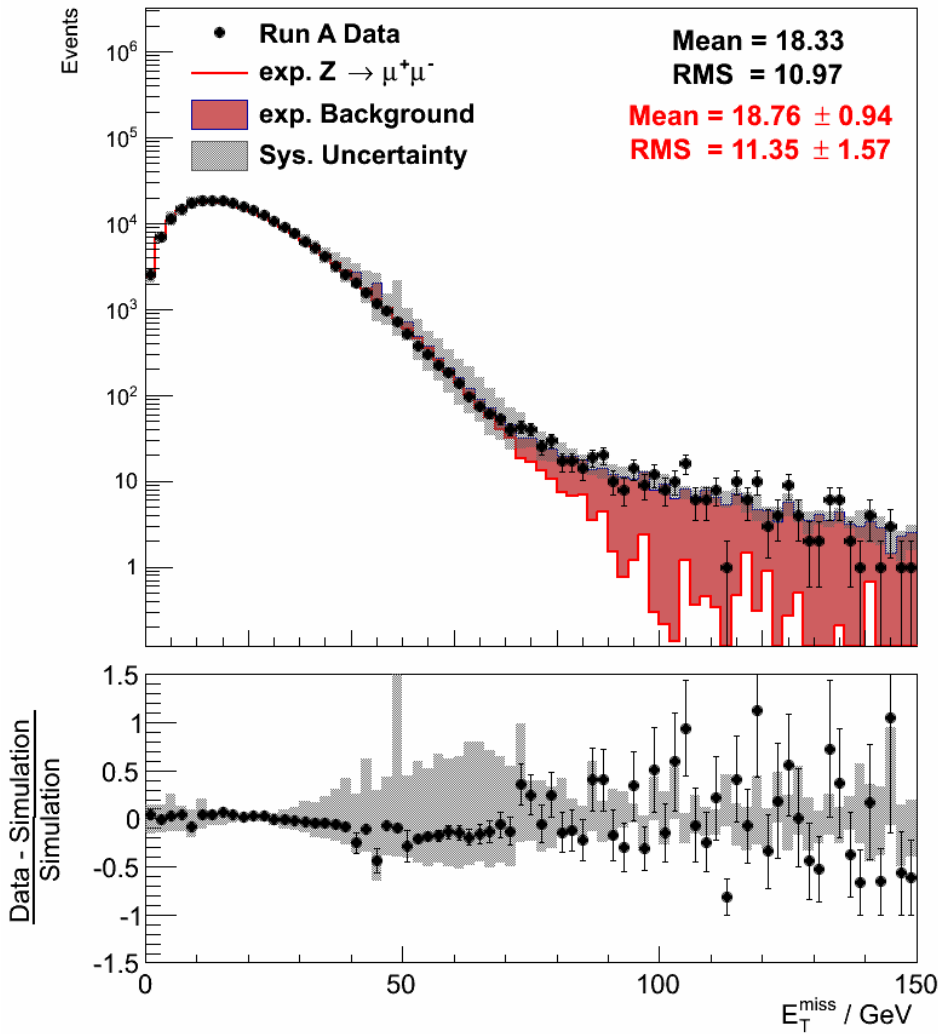
- Precision (avec des ETmiss pas tres grands), pour $H \rightarrow WW$, $H \rightarrow \tau\tau$
- Queues ennuyeuses pour les recherches demandant un grand ETmiss (SUSY,...)

3/4 ETmiss dans Atlas

Le spectre de ETmiss associé a la production inclusive de Z0 illustre bien la performance.

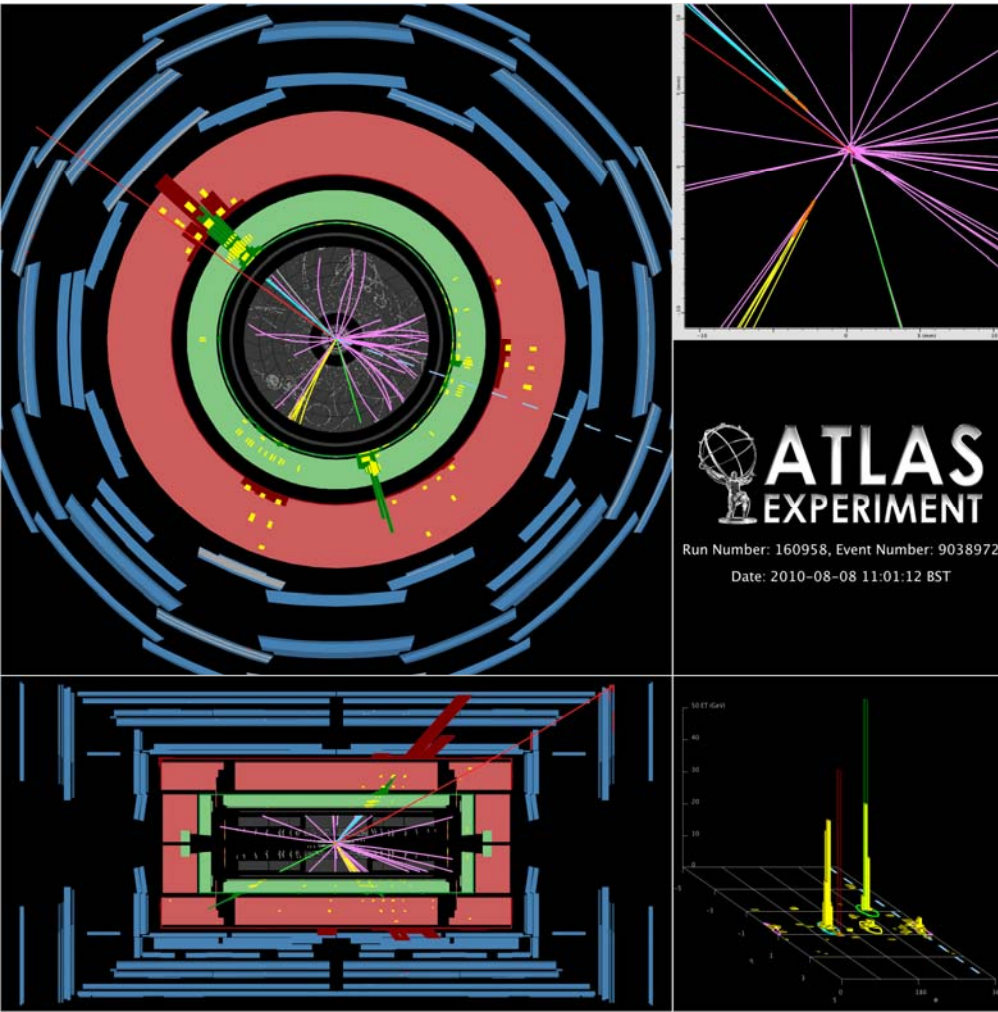


3/4 ETmiss dans CMS



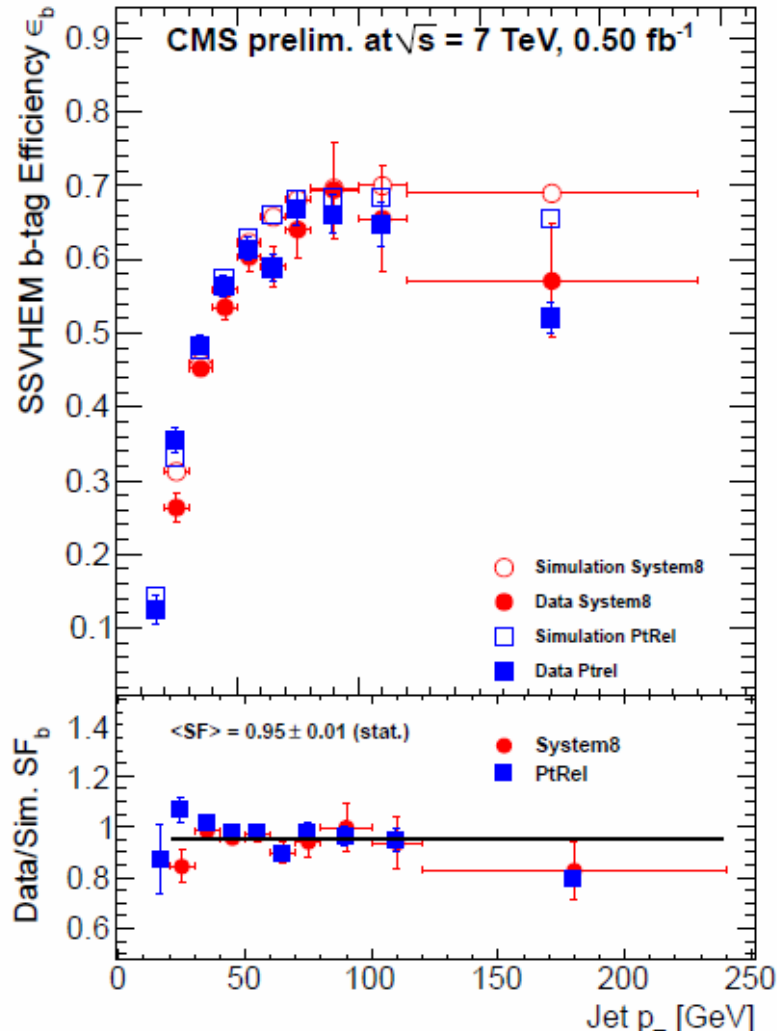
In(HWW)emu,0-jet,the cut on E_Tmiss uses the minimum of E_Tmiss and E_Tmiss with tracks only (free of pu).

3/5 B-tagging : une clé pour la physique du top, certains canaux Higgs,..

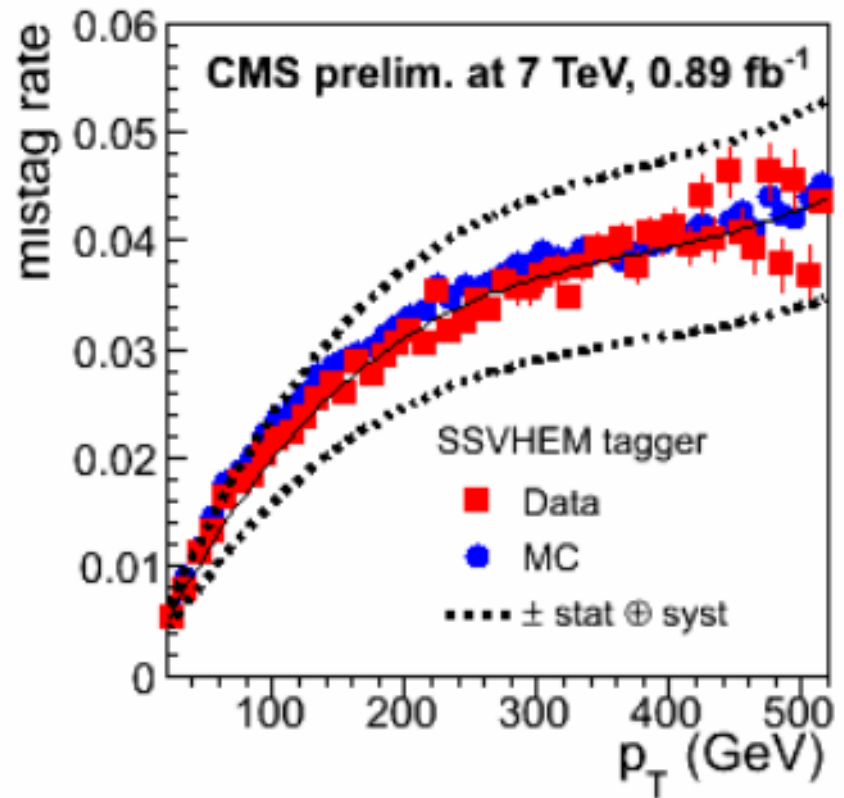


3/5 : CMS tagging haute efficacité

Several methods, depending on final state.
Exemple of SSVHEM
"Simple secondary Vertex, High Efficiency Medium"
(comparable to SVO in ATLAS)

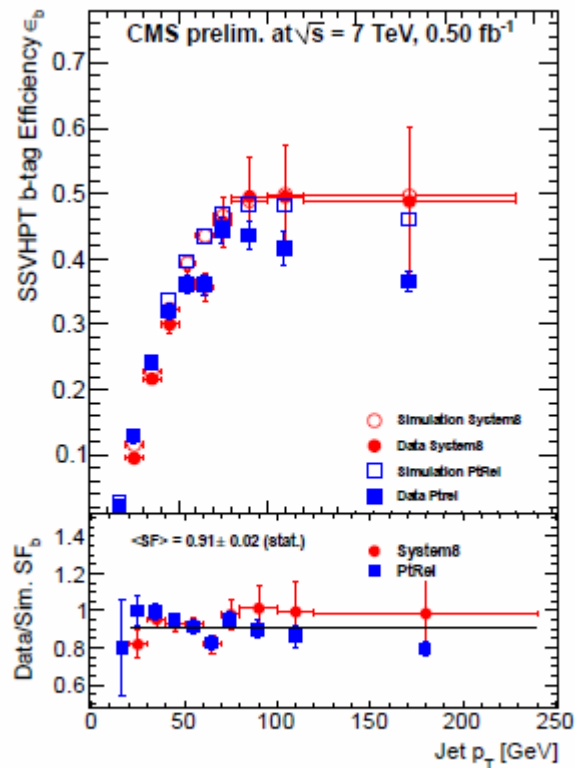


Efficiency measured in data with μ -tagged jets

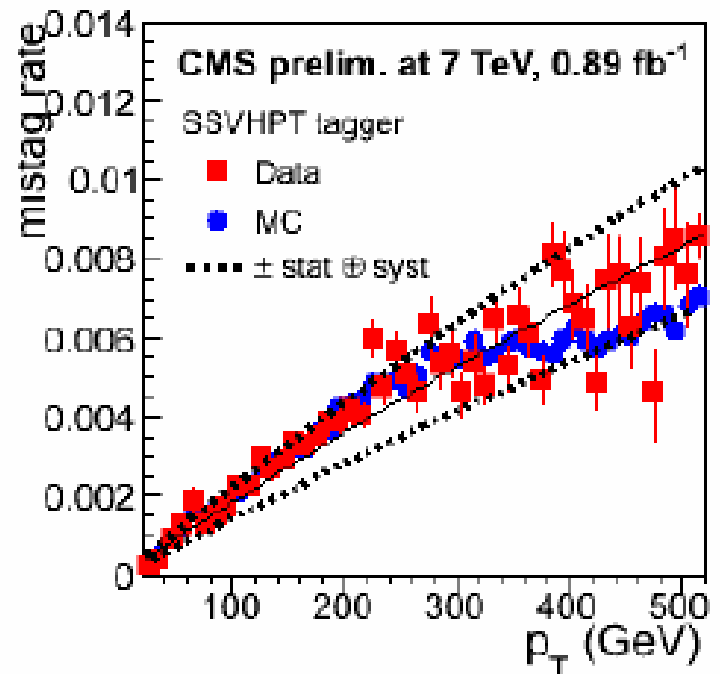


3/5 : CMS tagging “haute pureté”

Plusieurs methodes, dependant de l'etat final.
Exemple of SSVHPT



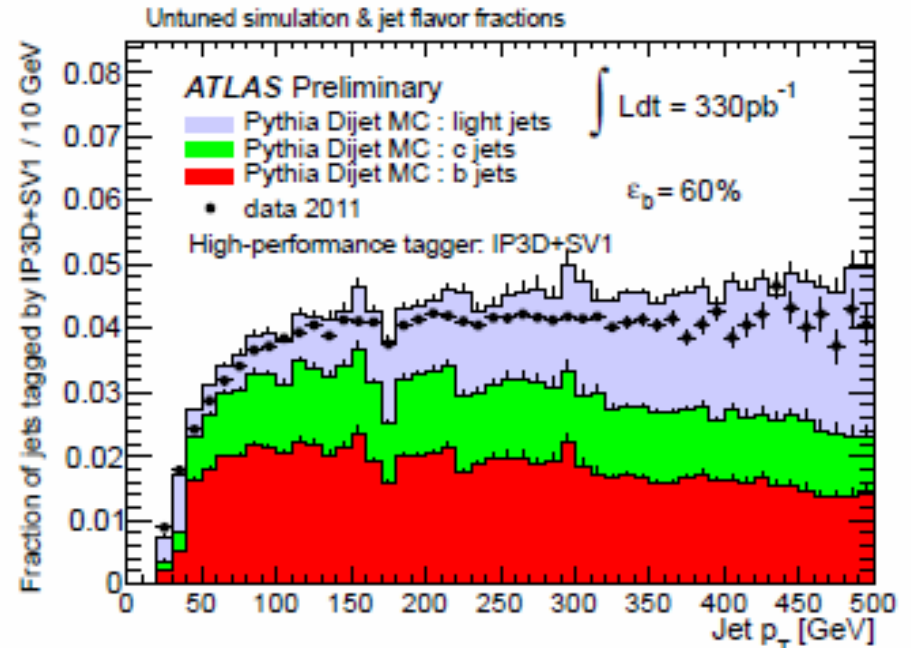
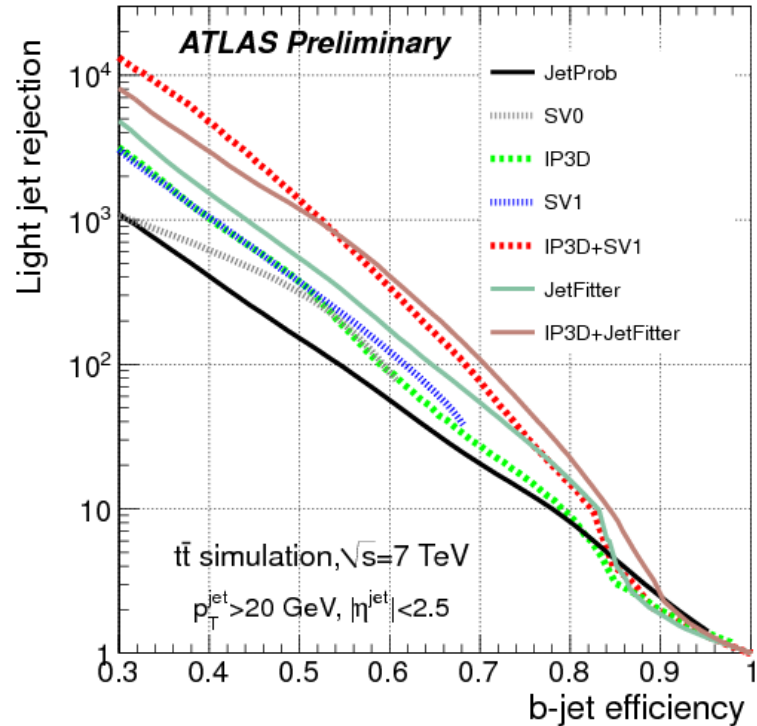
(b) SSVHPT tagger



Efficiency measured in data with μ -tagged jets

3/5 Atlas b-tagging

IP3D + SV1 une méthode de "tagging" de haut niveau validée avec données 2011



meilleure performance pour jets autour de 100 GeV pT

IP3D: impact parameter en $r\phi$ et z
 SV1 : vertex secondaire + "vertex mass"+..

Likelihood ratio de PDF representant b-jets et light jets

A 60% d'efficacité, IP3D+SV1 a une rejection ~4 fois meilleure que SV0

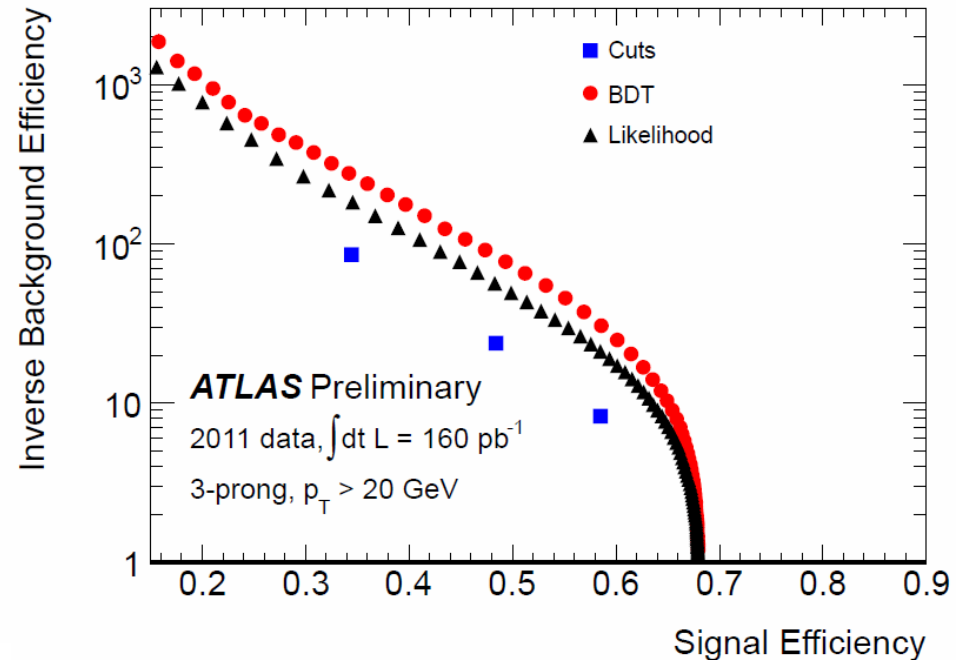
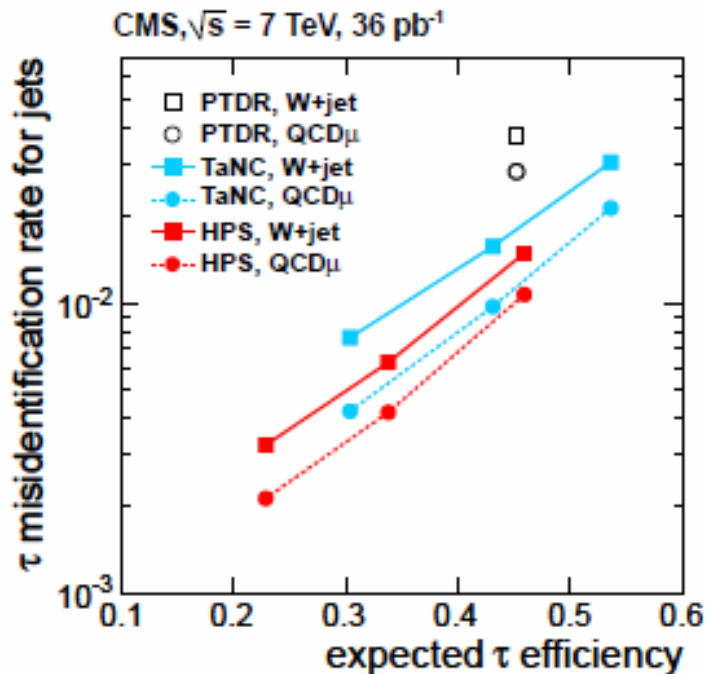
3/6 mesure et identification des taus

- Un lepton de plus/universalité? Avec une mauvaise efficacité!
(trigger, reconstruction, identification)
- Role privilégié /couplage au Higgs (SM,MSSM)
- Role particulier de la troisieme generation
- Possibilité de mesurer la polarisation, observable impossible pour electrons et muons.
- “astuces cinématiques” pour reconstruire la masse invariante
“vraie” d’une paire de taus
 - approximation collineaire= partage de E_{Tmiss} selon la direction des produits de decay observés (lepton,hadrons)
 - MMC

3/6 Identification/modes hadroniques

Nb traces+ shower shape+ vertex +...

T ~0.3 ps
B ~1.5 ps



HPS=hadron+”strip” (of EM cells)

TaNC=tau neutral classifier

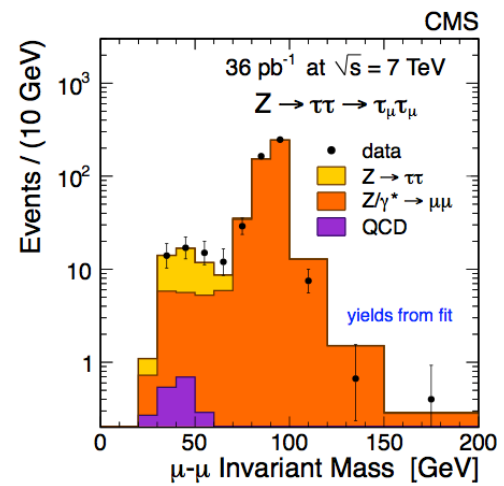
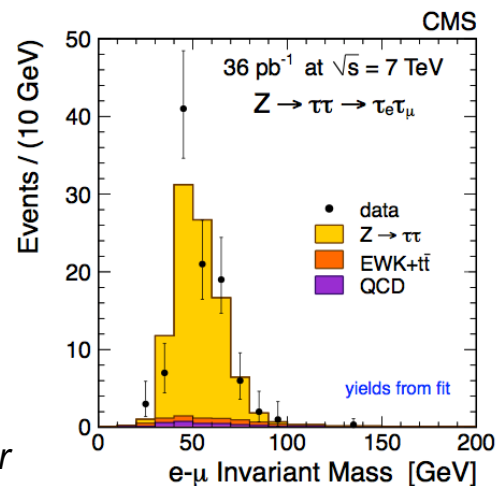
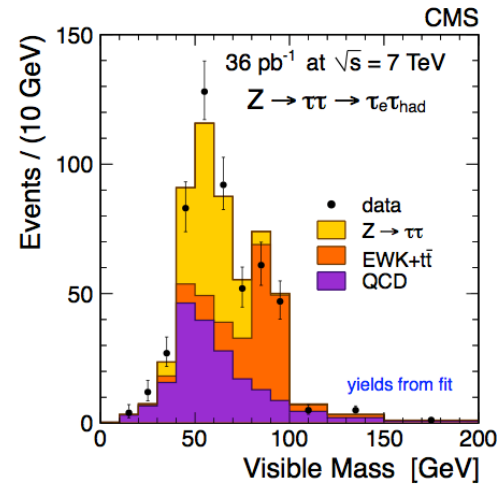
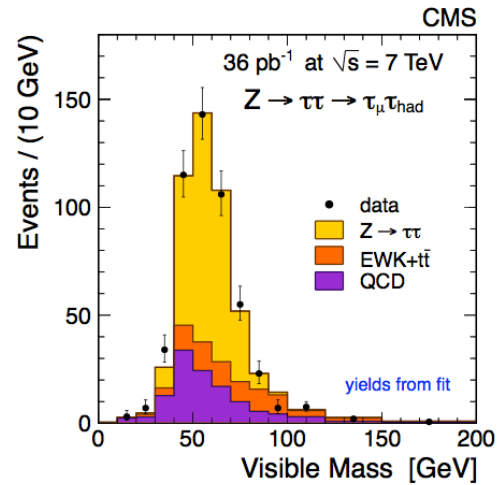
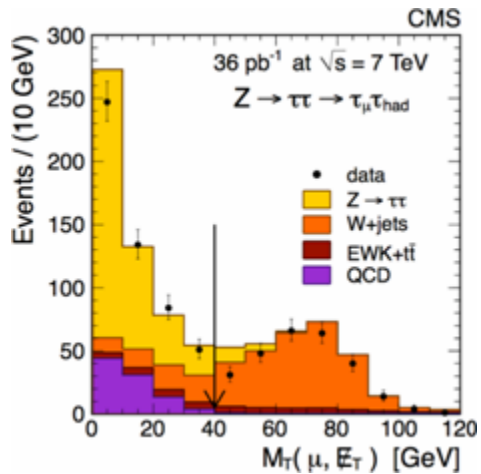
PTDR=fixed cone

3/6 Illustration: $Z \rightarrow \tau\tau$ dans CMS

Main background to l_h

=W +jets

Reduced by cut on transverse mass



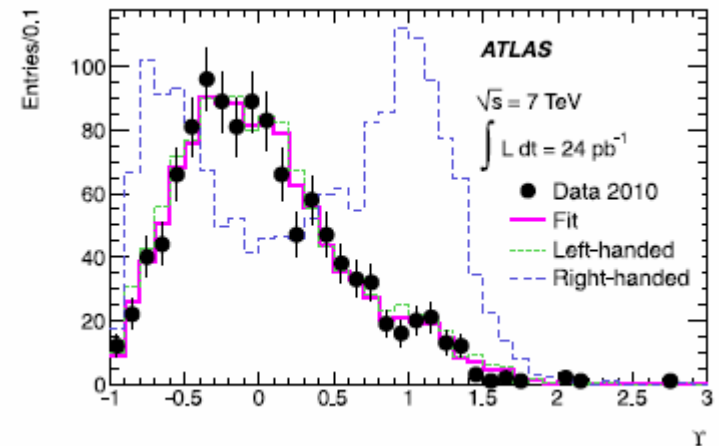
D.Fournier

3/6 Mesure et utilisation de la polarisation

La désintégration $\tau \rightarrow \rho \nu$ se fait selon le couplage V-A.
L'asymétrie de charge de la désintégration $\rho^- \rightarrow \pi^- \pi^0$ va refléter la polarisation du ρ , et donc celle du τ

$$\frac{E_T^{\pi^-} - E_T^{\pi^0}}{p_T} \approx 2 \frac{p_T^{\text{trk}}}{p_T} - 1 = \gamma.$$

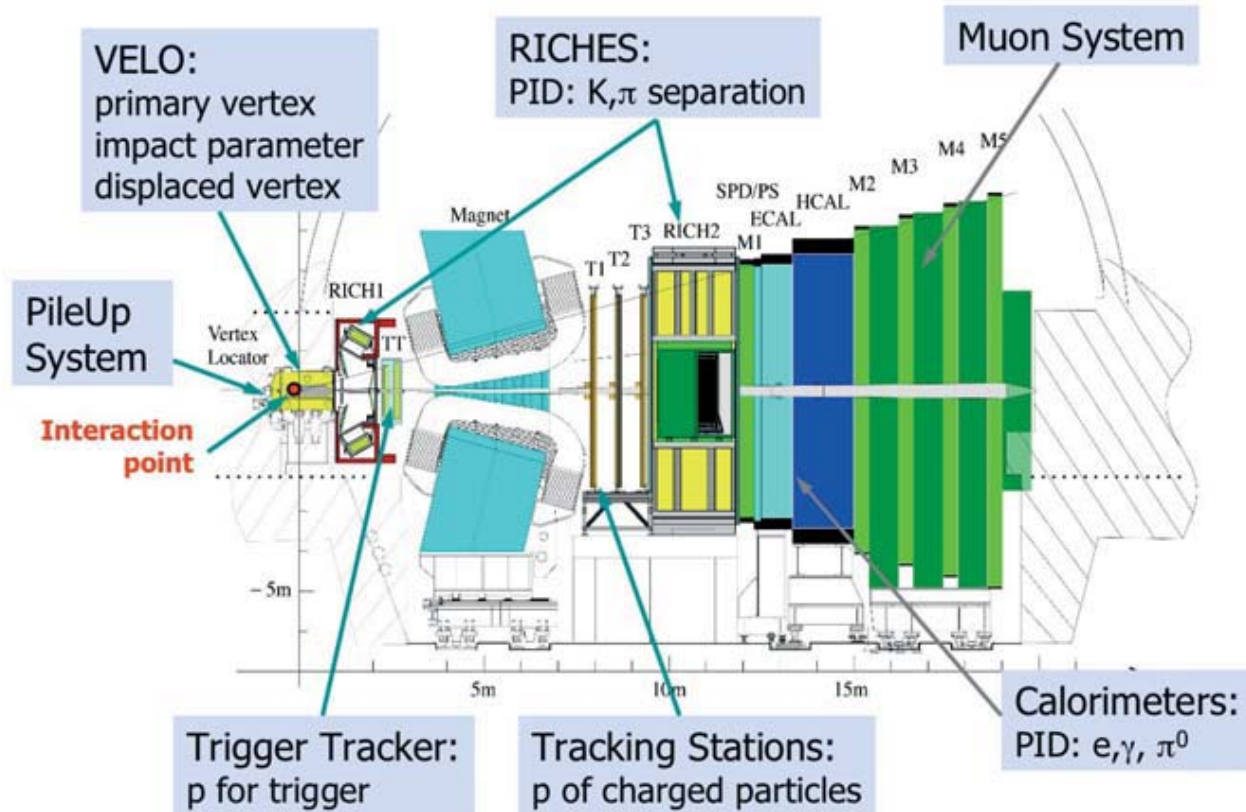
Généralisé à $\pi^- + \text{neutres}$



La distribution observée montre que le tau est produit complètement left-handed, comme attendu de $W \rightarrow \tau \nu$ selon V-A

La technique est applicable à toute réaction produisant des taus, et permettra –éventuellement– d’analyser le spin et la nature du couplage avec la particule mère (un SM Higgs se désintégrant en π donnera des taus non polarisés)

4) LHCb



Spectrometre a 1 bras. Acceptance $2.0 < \eta < 5.0$

Détecteur de vertex, tracking, PID, calo, filtre a muon

4-LHCb-PID

- Distinction π/K essentielle pour canaux importants ($B_s \rightarrow \pi\pi$, $B_s \rightarrow \pi K$, $B_s \rightarrow KK$)
- Doit fonctionner dans environnement “dense” et fournir des signaux rapides
- Choix de “RICH” avec 2 types de gaz pour des β differents

Rich1=aerogel: $n=1.03$

C4F10 : $n=1.0014$

Rich2=CF4 : $n=1.0005$

Detection des photons avec HPD

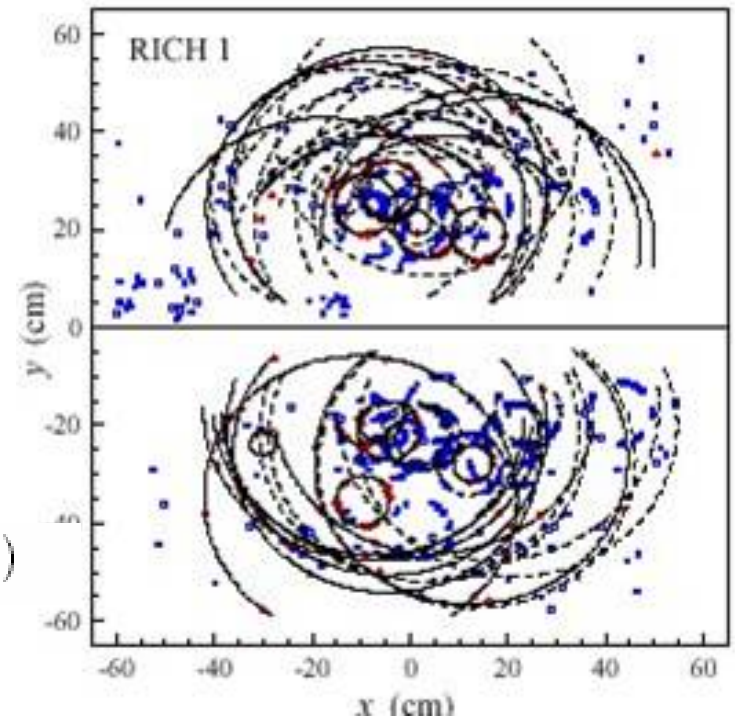
Photocathode+ HV acceleration+

image sur plan de pixels

Rayon anneau(connaissant son impulsion)

donne sa nature

$$\theta_c = \text{Arccos}(1/n\beta), \quad dN/dx d\lambda = 2\pi\alpha/\lambda^2(1 - 1/\lambda^2\beta^2)$$
$$= 370 \sin^2\theta_c \text{ eV}^{-1}\text{cm}^{-1}$$



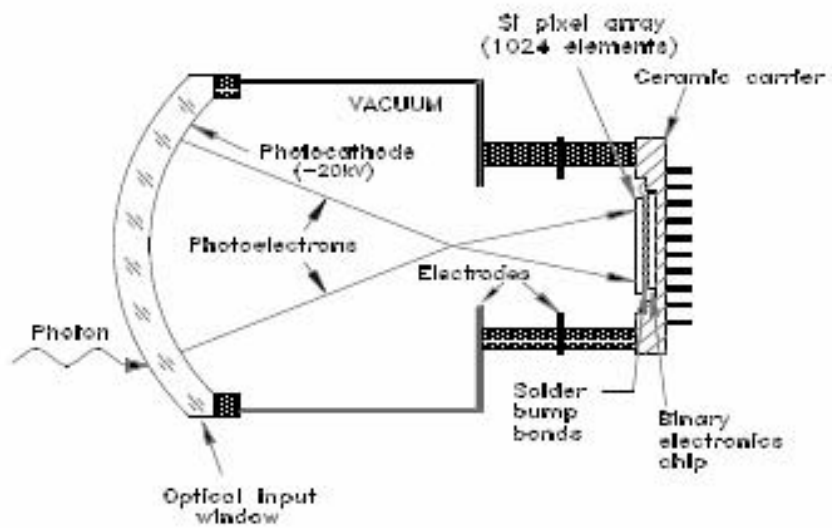
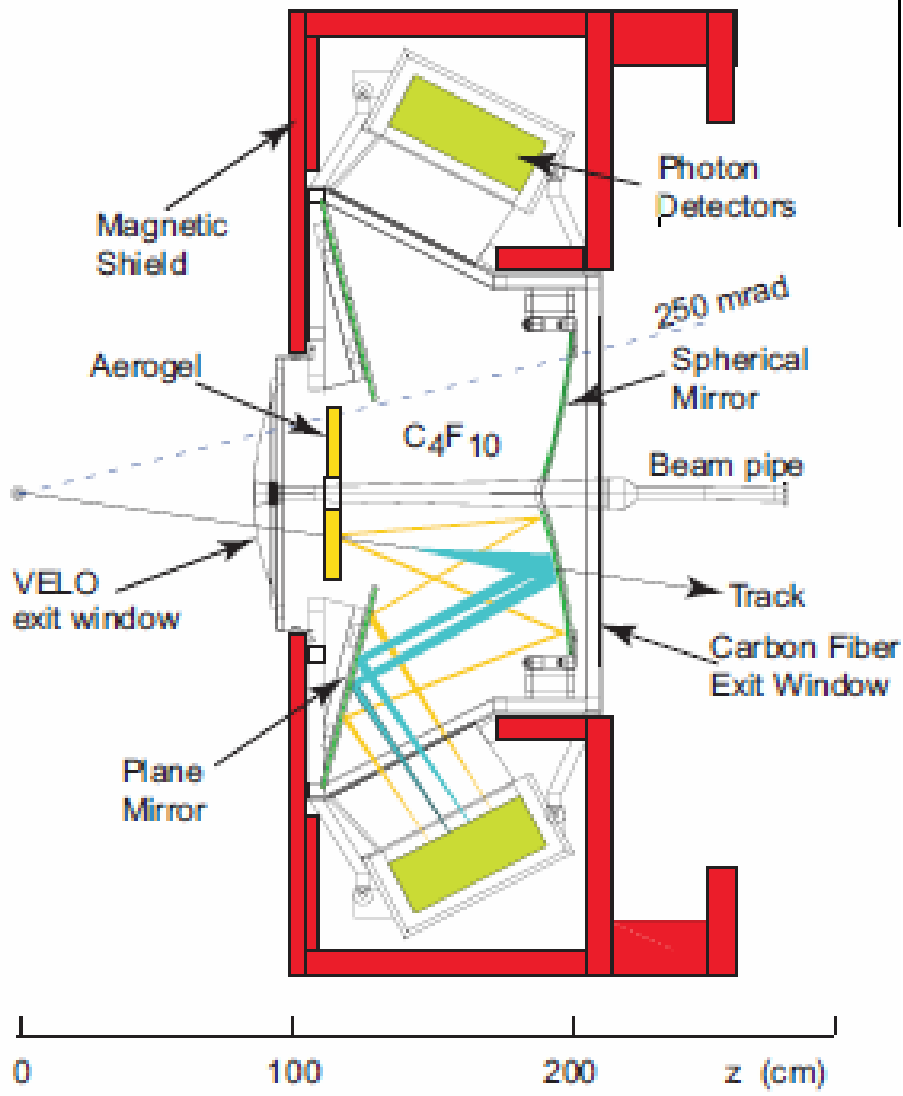
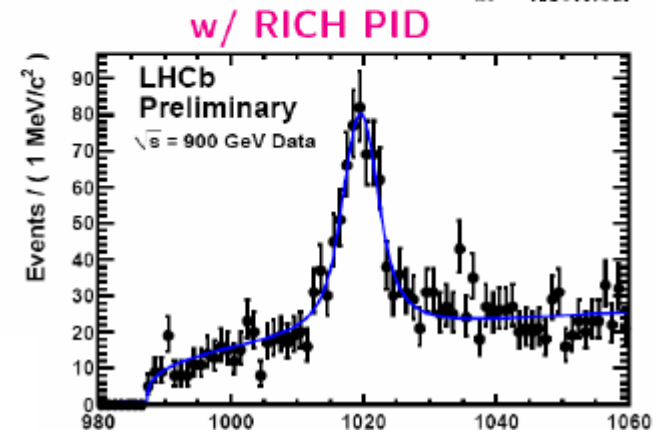
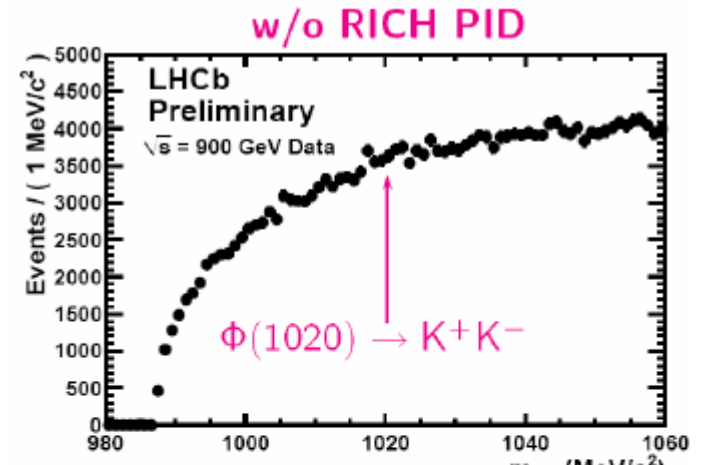
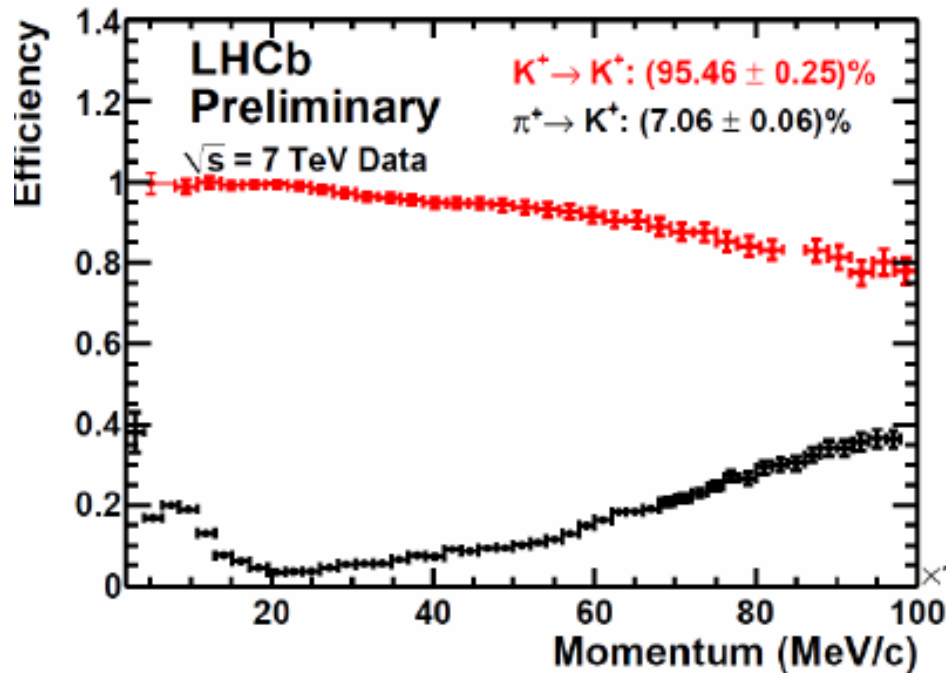


Figure 6.7: Left: a schematic and right: a photograph of the pixel-HPD.

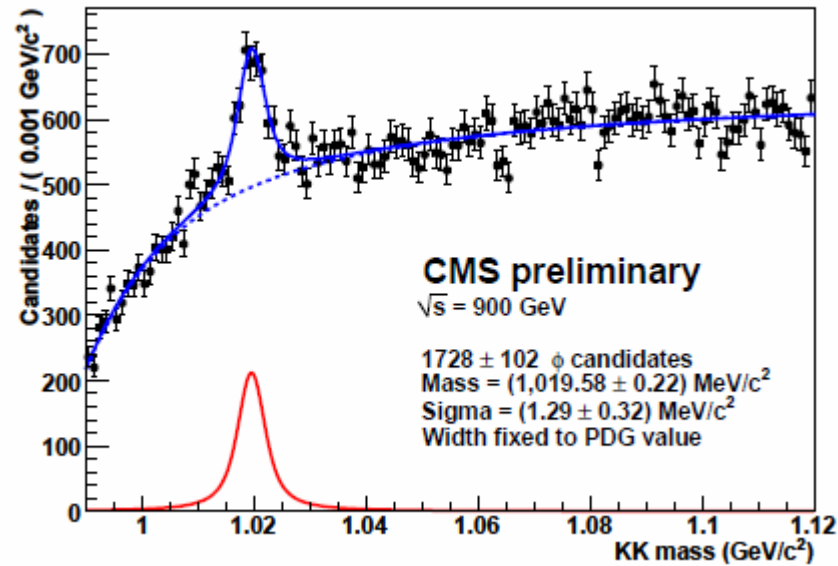
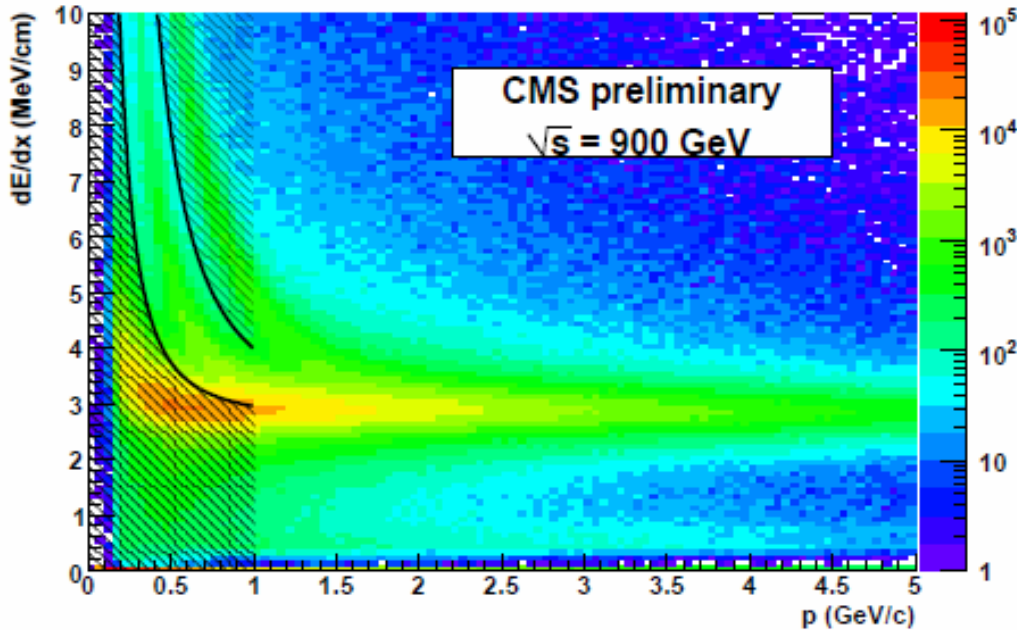


(a)

4-LHCb PID Performance de la separation π/K



PID avec dE/dx Exemple pixels de CMS



$dE/dx = K/\beta^2$ → séparation π/K up to ~ 1 GeV

4-LHCb Taux de production $\pi/K/\rho$ “min bias”

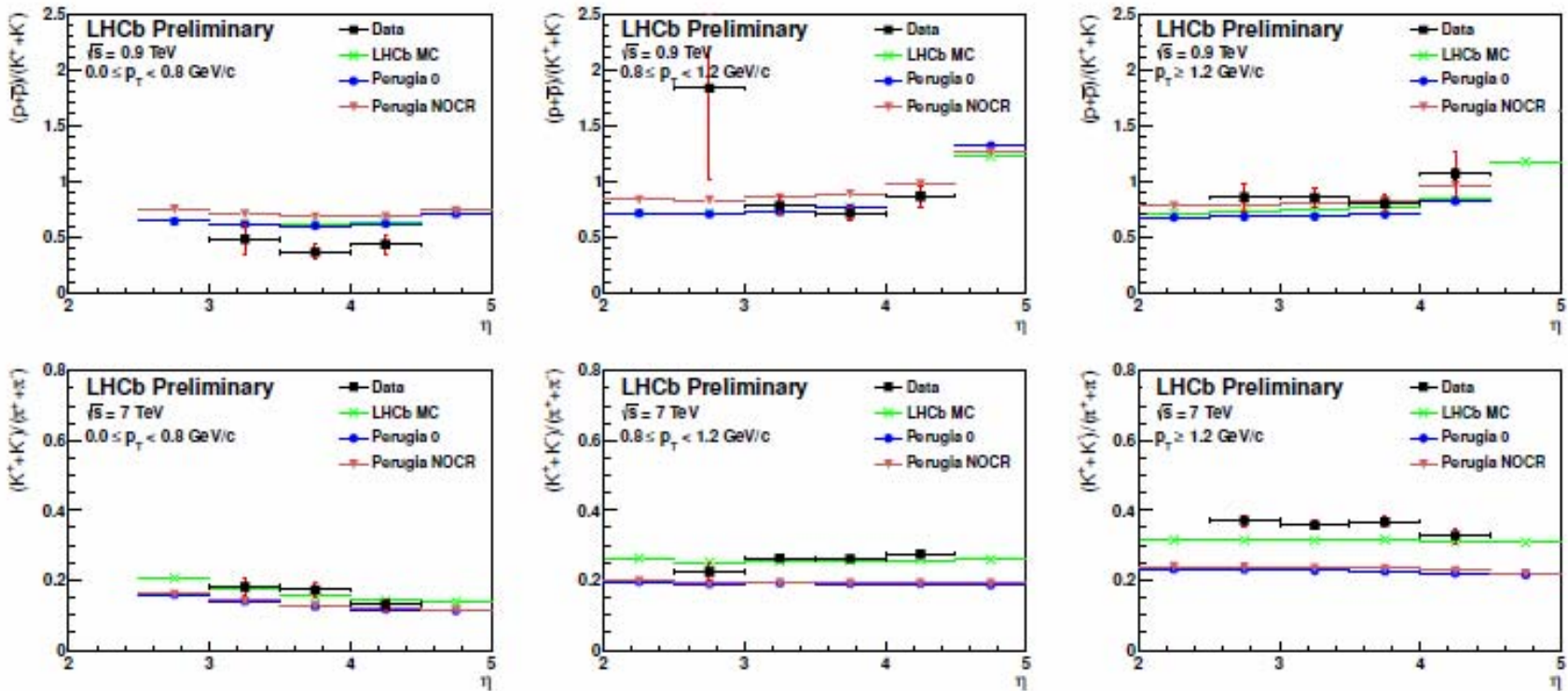


Figure 4: $\frac{\bar{p}+p}{K^-+K^+}$ $\sqrt{s} = 900$ GeV, and $\frac{K^-+K^+}{\pi^-+\pi^+}$ $\sqrt{s} = 7$ TeV. Left to right: $0 < p_T < 0.8$ GeV, $0.8 < p_T < 1.2$ GeV and $p_T > 1.2$ GeV. Black is data where the black error bars are the statistical errors (mostly invisible) and the red (grey) error bars are systematic errors.

Tuning des Monte-carlos
(Pythia, Herwig,..)

5 Upgrades

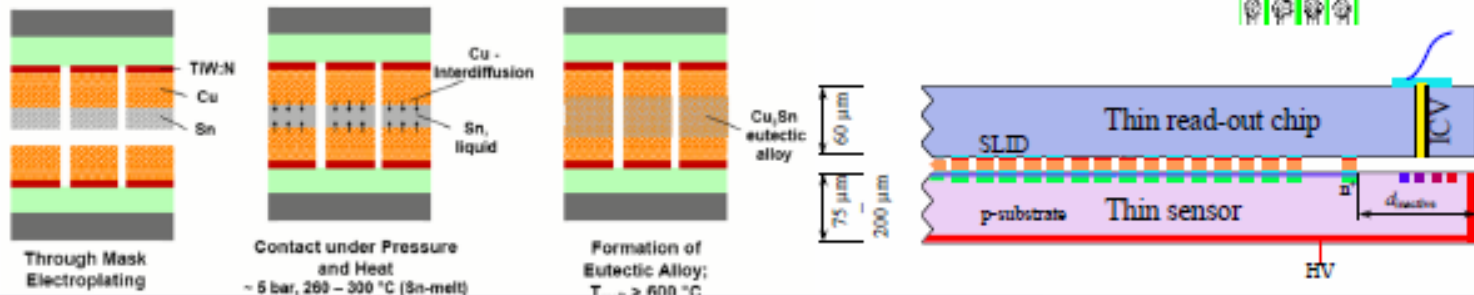
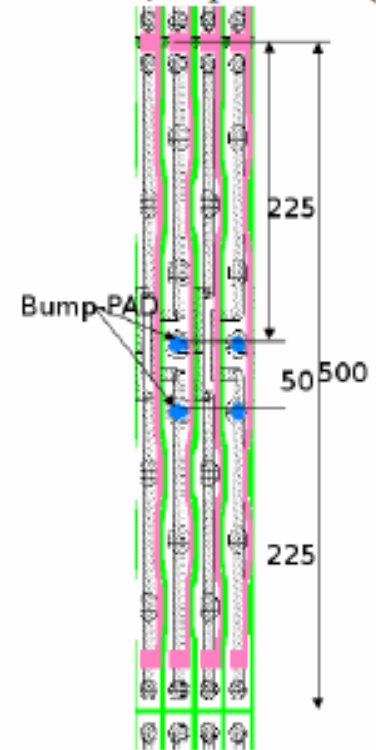
- $5 \cdot 10^{34}$ avec “luminosity levelling” (a partir de ~ 2022)
 - Probablement 50 ns entre collisions
 - ~ 250 collisions par bc
 - Difficulté pour déclencher sur evts intéressants(leptons $p_T < 30$ GeV p.exemple) critere d’isolation calorimétrique impraticable?
 - Mesurer avec precision photons($H \rightarrow \gamma\gamma$), muons et electrons, taus!, et quarks b , energie transverse manquante,...
- tracking entierement à revoir
idem pour déclenchement et le DAQ
et pas mal d’autres choses, dont peut-etre les plus importantes commandées par la “nouvelle physique” qu’on n’a pas encore observée(run a 13 TeV a partir de 2015)

5-1 Exemple d'upgrade: pixels

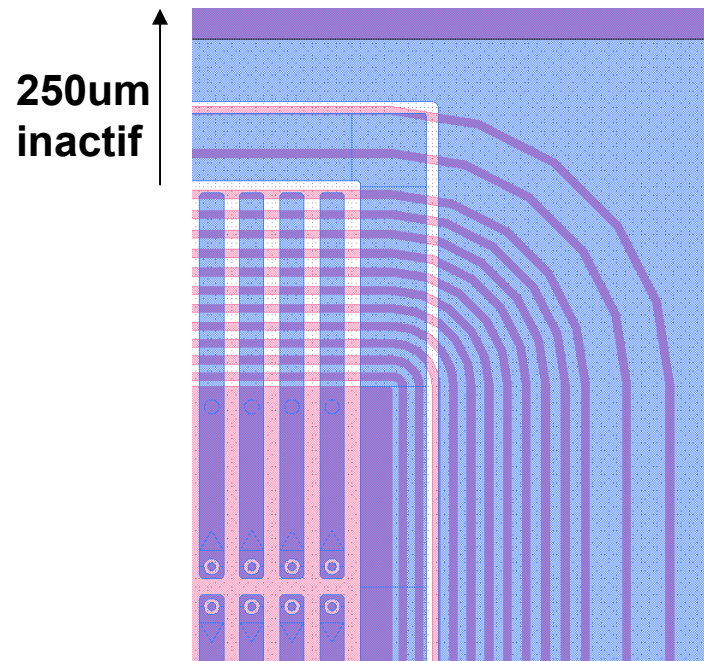
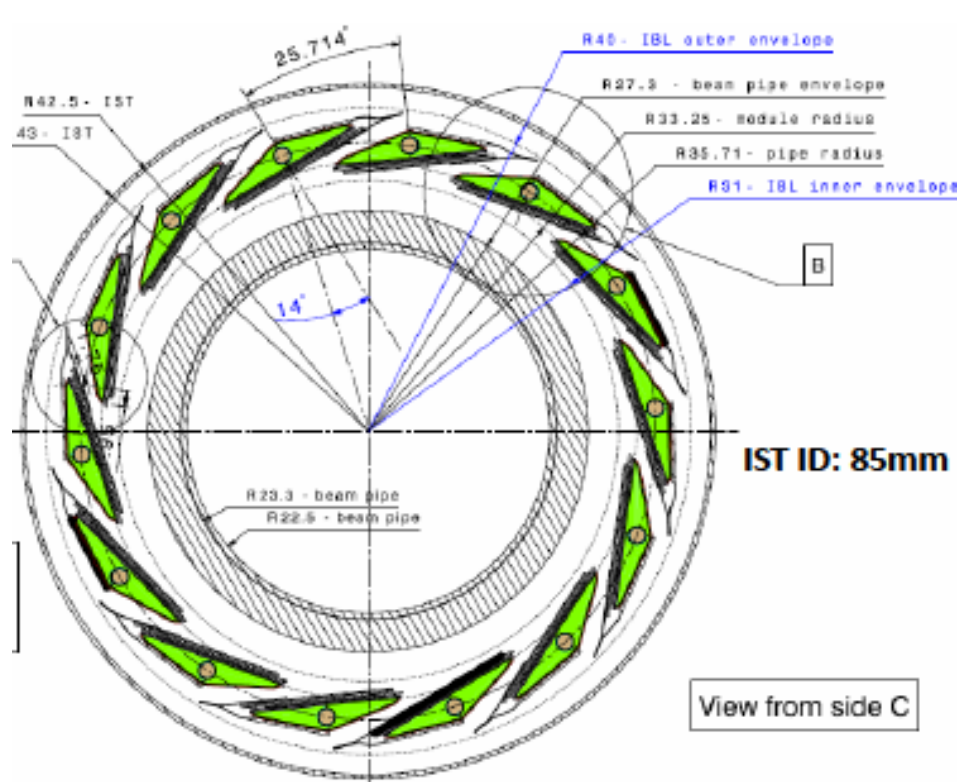
Couche proche du tube faisceau pose les plus grands défis...

- Best achievable resolution:
 - Reduce $R\phi$ -pitch to $25\ \mu\text{m}$, for sensor and chip
 - New/improved interconnection technique, e. g. SLID (below)
 - New KEK pixel design (right), still using present chip (FE-I4)
 - Smallest achievable radius \rightarrow no overlap \rightarrow Minimize inactive edge
- Thin sensors and chips to reduce multiple scattering, PPS uses $(75 - 150)\ \mu\text{m}$
- Radiation hardness: $2 \cdot 10^{16}\ \text{n}_{\text{eq}}/\text{cm}^2$

KEK $25\ \mu\text{m}$ pitch design



Premiere étape: ATLAS-IBL(inst=2013)



Couche additionnelle a ~30mm de la ligne de faisceau

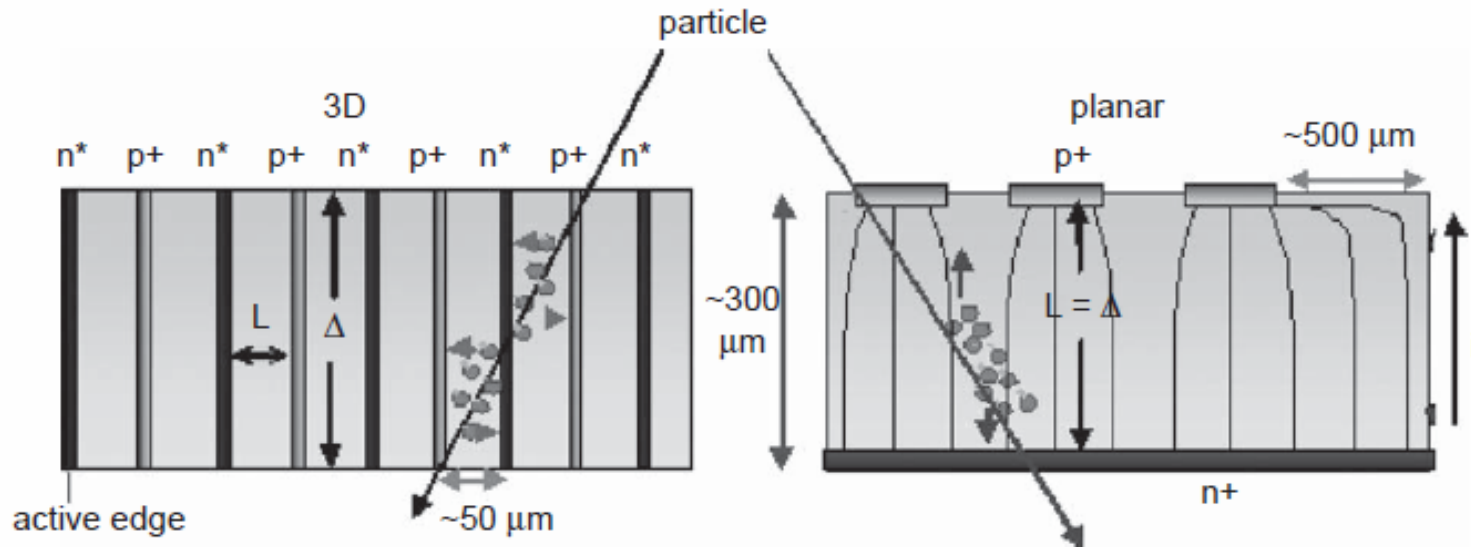
Pixels 50x250 µm

Chip FE-I4

Detecteur mince (200µm n-on-n)

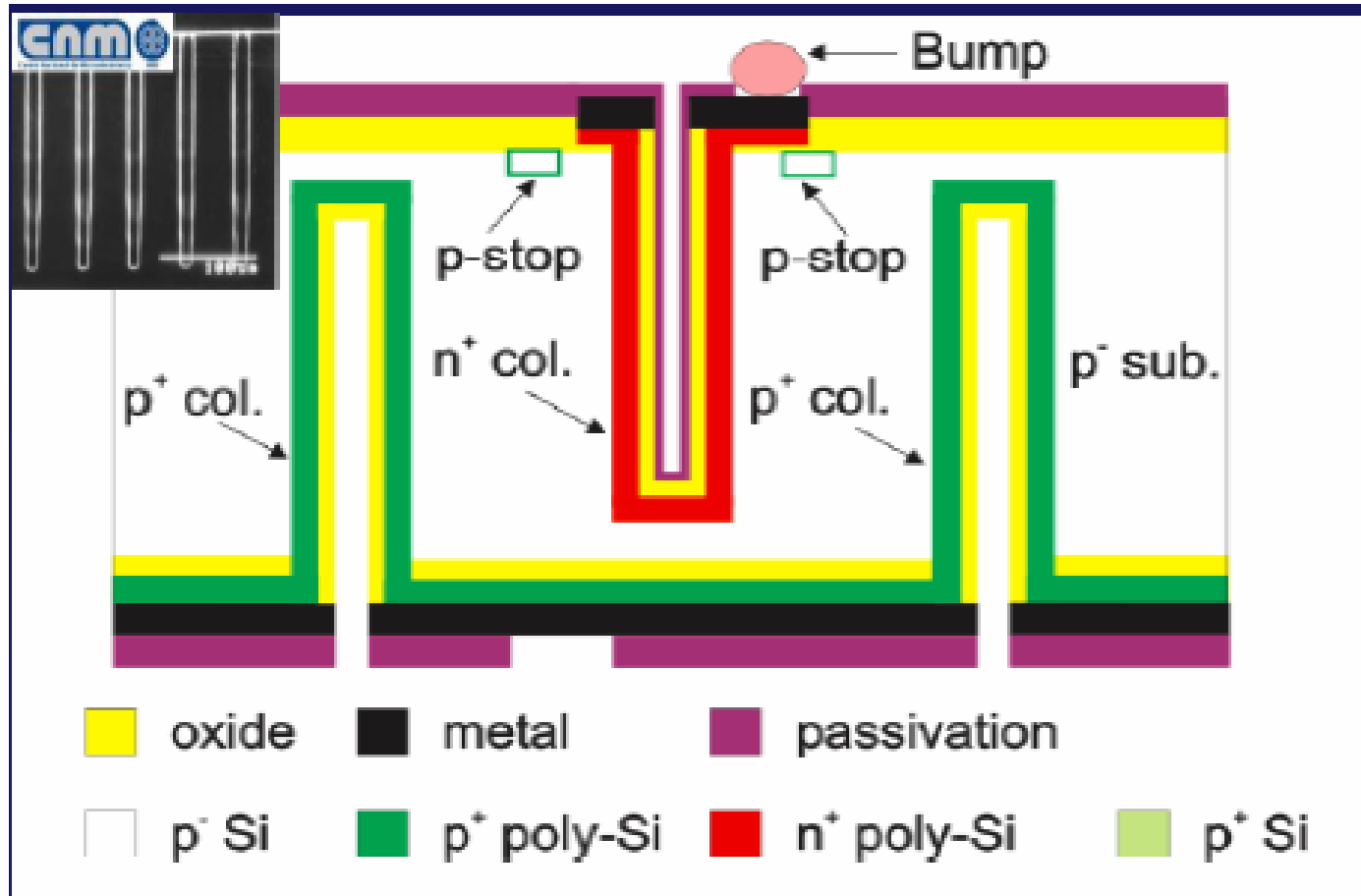
Active edges → overlap dans 1 seule direction

pixels 3D



Epaisseur de silicium et distance de collection de la Charge sont découplées dans la géométrie 3D

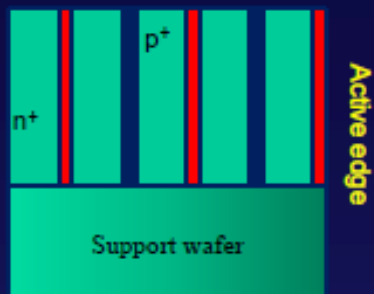
pixels 3D



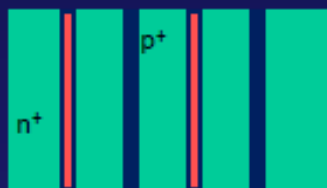
Nombre et géométrie des couches → pointu, et cher..

pixels 3D

3D sensors signal efficiency compatibility



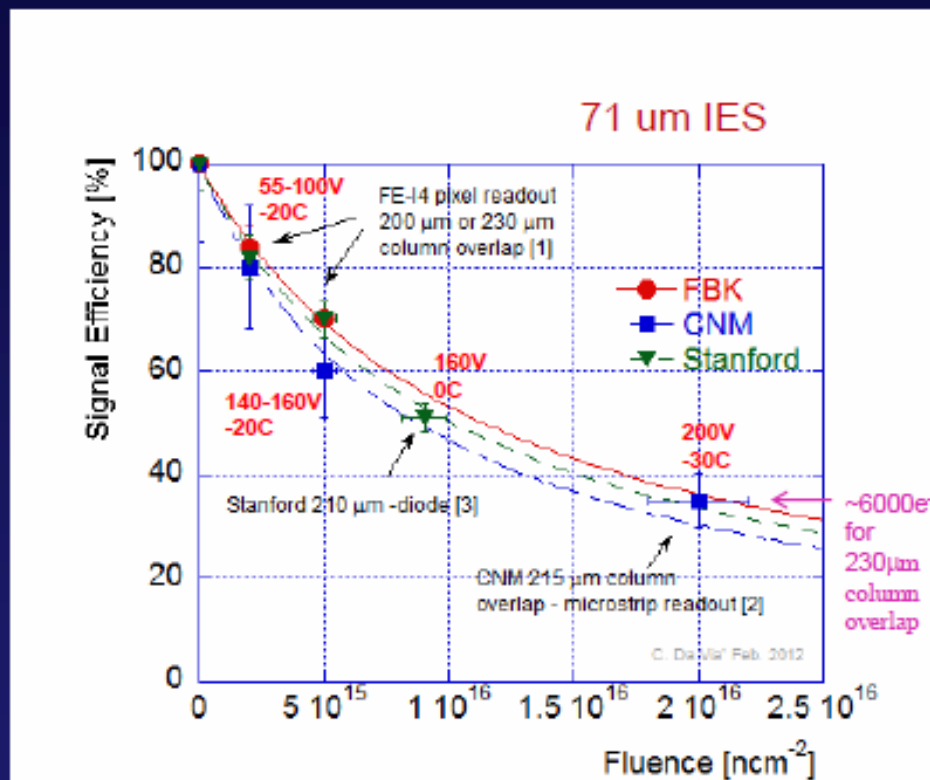
SINTEF/STANFORD



FBK



CNM

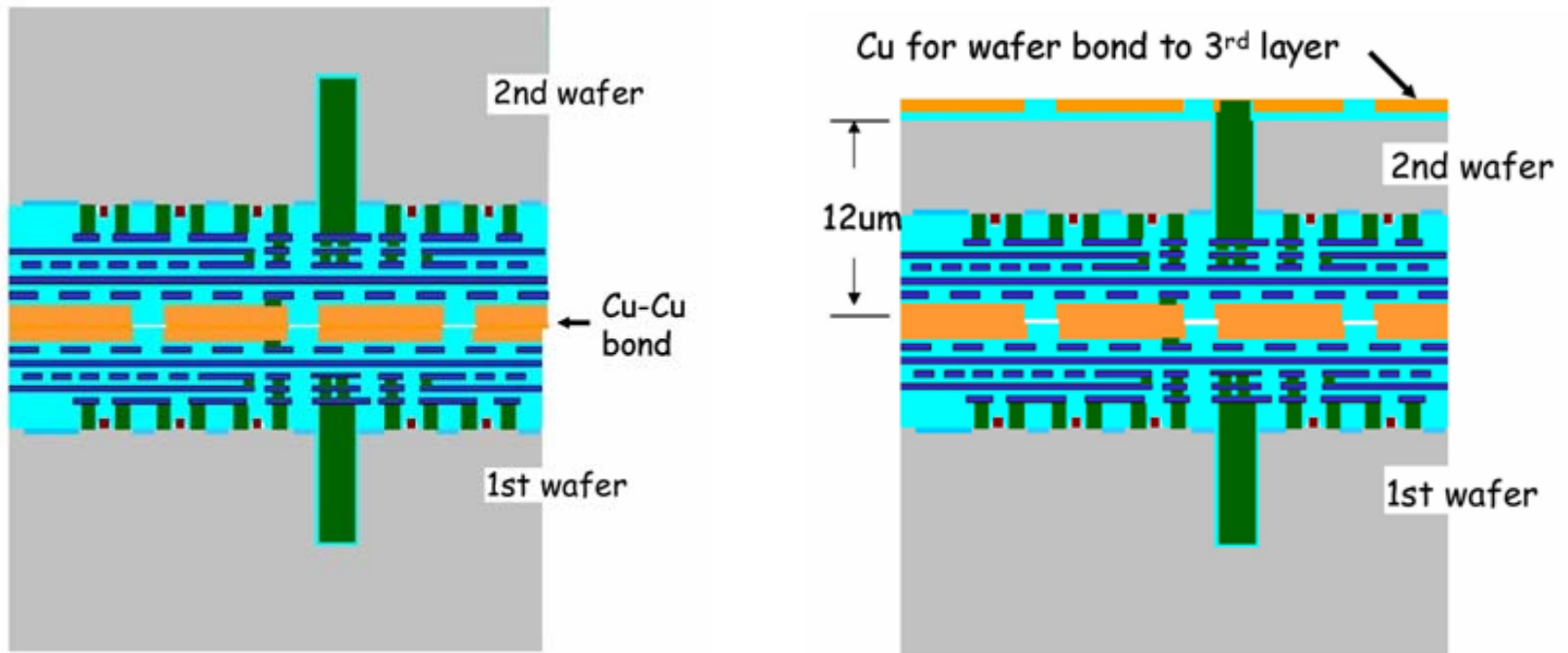


[1] 2011 CNM-FBK IBL Modules. (C. Gemme, A. Micelli, S. Grinstein, lab tests) (test beam coordinated by P. Grenier, J. Wingardet, A. La Rosa) , to be published in JINST.

[2] J.M. Kohler et al. IEEE Trans. Nucl. Sci. Volume 57, issue 5, 2010

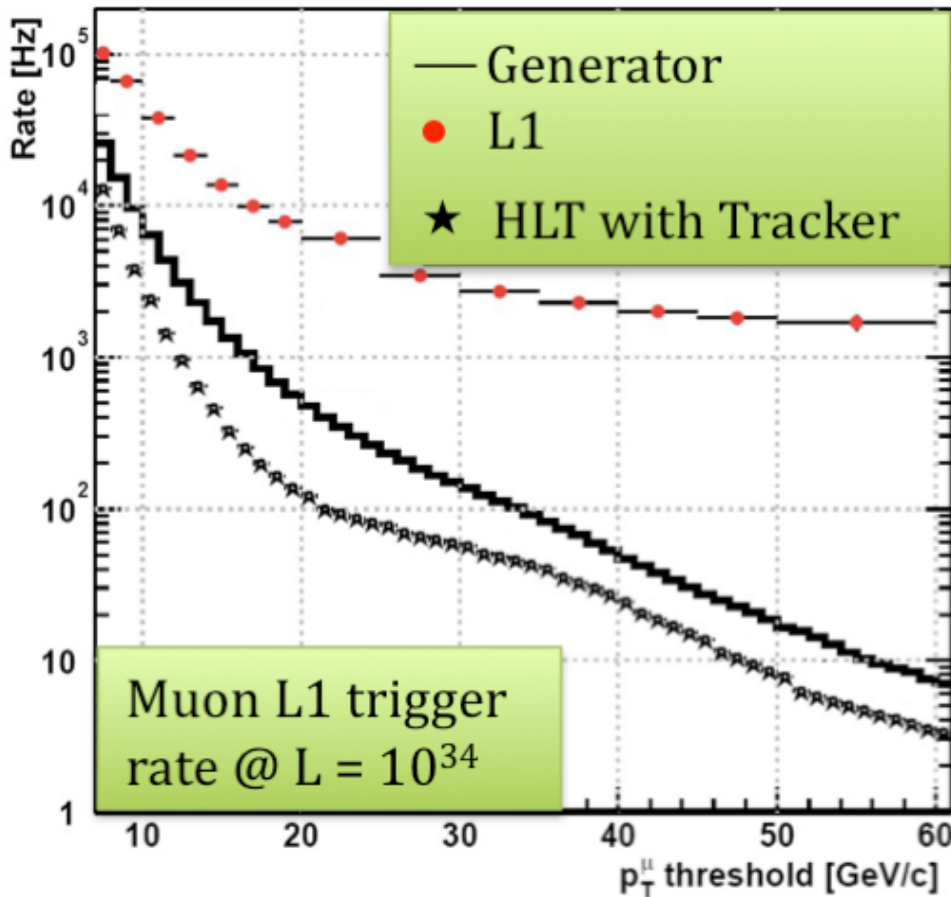
[3] C. Da Via, et al., Nucl.Instrum.Meth.A604:505-511,2009

Electronique 3D



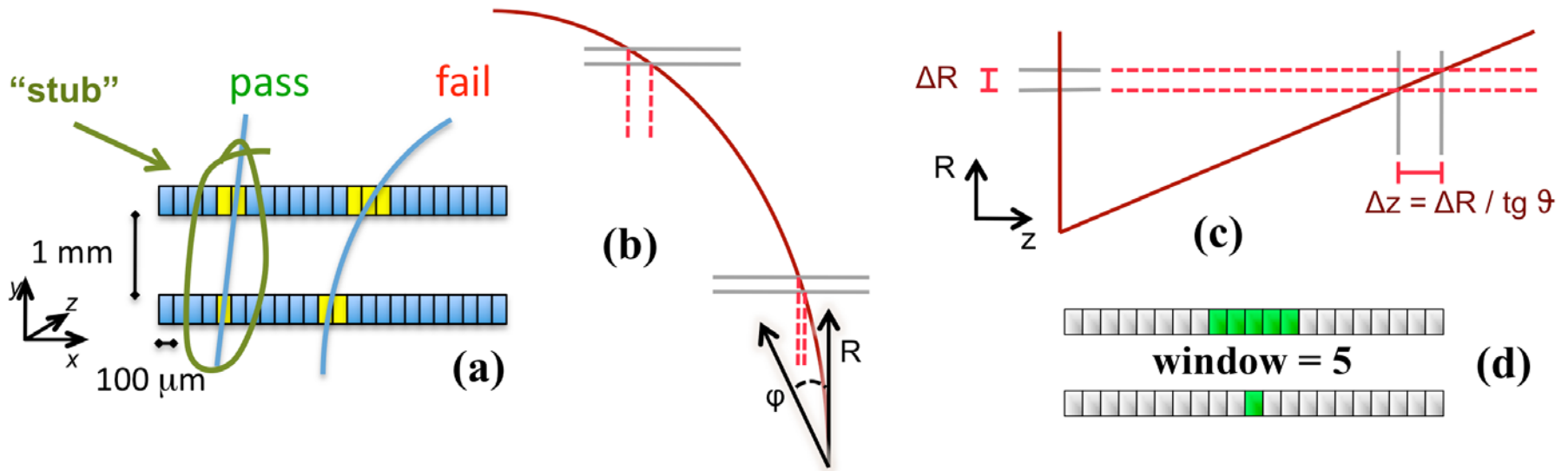
Developpements “en cours” dans l’industrie
Tests chips soumis en fabrication par IN2P3

5-2 Exemple d'upgrade : Track trigger CMS



Reponse L1 \sim plate/pT ($p_T > 30$)
→ coupure pT devient inoperante

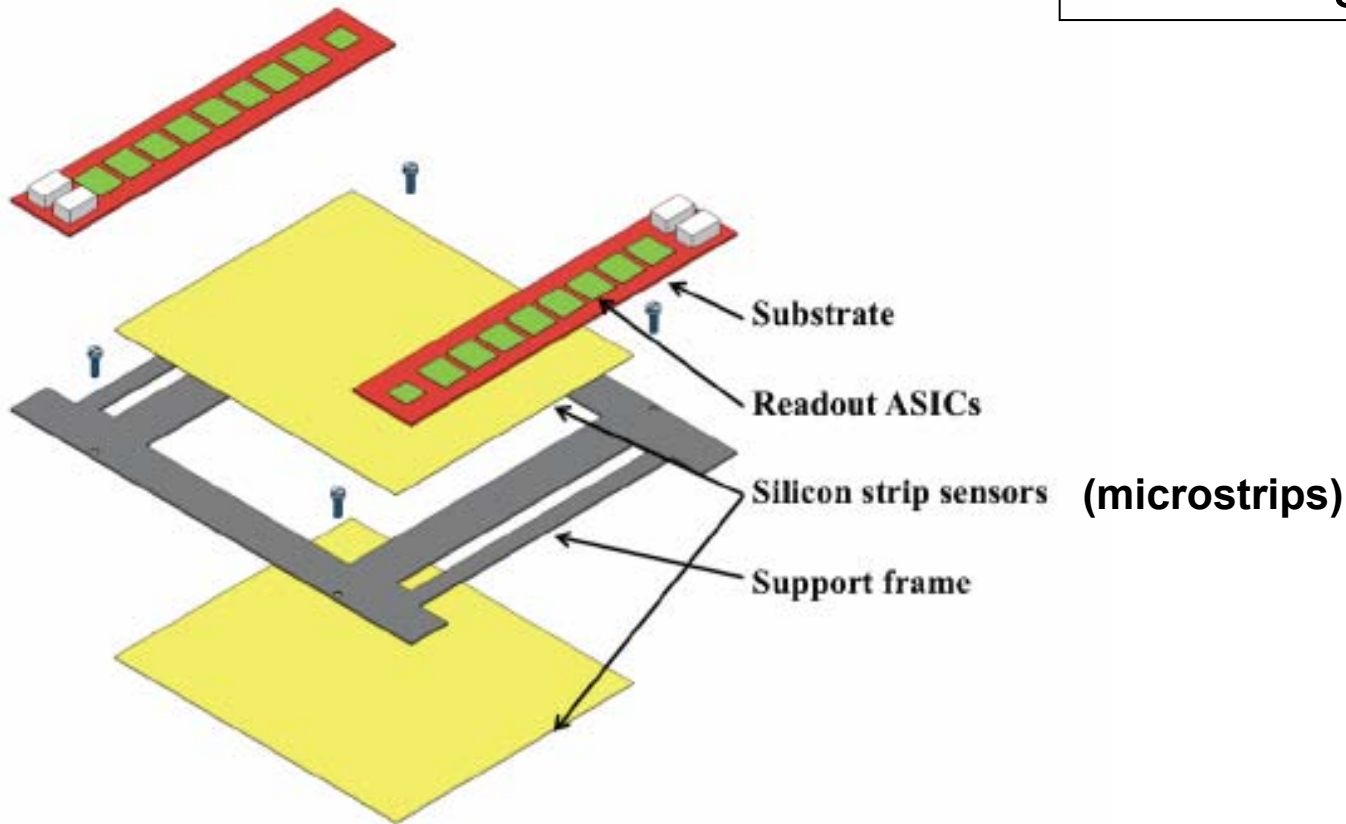
Ajouter de l'information
provenant de la partie
"tracking", dès le LVL1!



-Construire un "filtre" rapide permettant d'éliminer
Les traces de bas pT (de loin les plus nombreuses)

-dans une deuxième étape associer les traces de grand pT restantes
aux "candidats muons" définis par le spectro muon(RPC dans retour de fer)

Track Trigger



Niveau “conceptuel”/R&D pour l’instant (developpements “similaires” dans Atlas)
Implique un nouveau “concept”de tracking: les modules actuels parlent “au monde
exterieur” mais ne se parlent pas entre eux...

Un des problemes principaux: connectique liaison/2 couches

Conclusion/résumé

- Les choix stratégiques se font bien avant les premières collisions (~10 à 15 ans avant pour le LHC !)
- La performance de chaque détecteur doit être appréciée dans la perspective de son intégration dans l'expérience.
- Le développement de détecteurs (design initial, upgrades) offre des possibilités intéressantes de stimuler l'inventivité de ceux qui s'y consacrent (pour une période de temps...)
- Les performances ultimes de l'expérience demandent une quantité énorme de travail (en équipe) au jour le jour.
- Le suivi d'une l'expérience depuis le concept, jusqu'aux signaux de "découverte" est une aventure unique.