

*Étude du canal ttH , $H \rightarrow bb$ pour la
recherche du boson de Higgs de
masse $120 \text{ GeV}/c^2$ avec
l'expérience ATLAS au LHC*

AAD Georges

Centre de Physique des Particules de Marseille
(CPPM)

Dirigé par Alexandre ROZANOV et Laurent VACAVANT

Plan

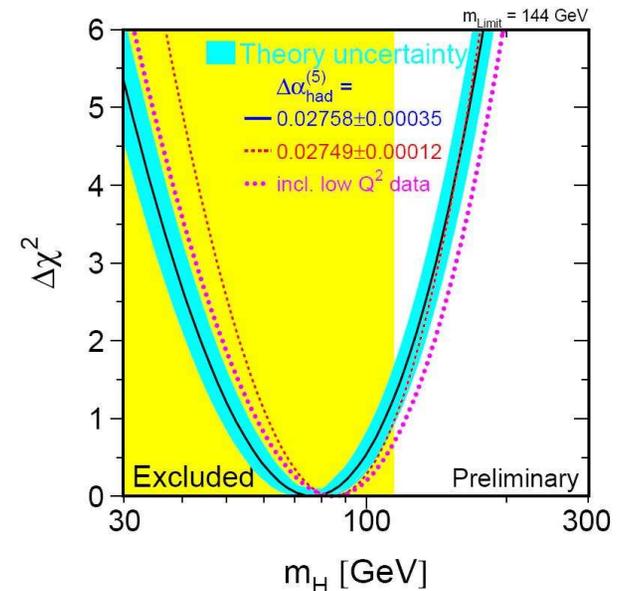
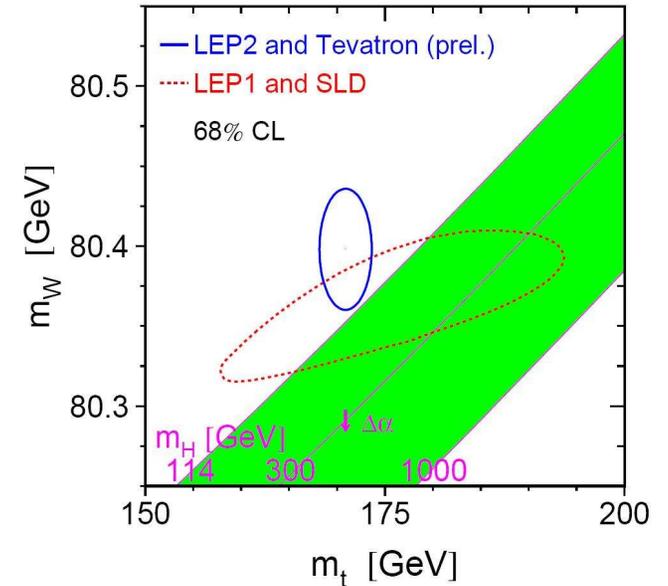
- Introduction
 - Le boson de Higgs
 - Le canal ttH
- L'analyse
 - Présélection des objets particules
 - Reconstruction du signal
 - Difficultés et problèmes
- Le détecteur à pixels
 - Propriétés et calibration
 - Vérification avec les muons cosmiques
- Conclusion et perspectives

Le boson de Higgs

- Le boson de Higgs:
 - Particule nécessaire pour avoir des masses dans le cadre du modèle standard
 - Recherche directe (LEP)
 - $m_H > 114.4 \text{ GeV}/c^2$ @ 95% CL
 - Ajustement électrofaible
 - $m_H = 76^{+33}_{-24} \text{ GeV}/c^2$
 - $m_H < 144 \text{ GeV}/c^2$ @ 95% CL
- $m_H < 182 \text{ GeV}/c^2$ @ 95% CL

Les ajustements électrofaibles préfèrent un boson de Higgs de faible masse proche de la limite directe observée au LEP

- A **faible masse** le Higgs se désintègre préférentiellement en une **paire de quarks b**
 - Difficile à extraire du bruit QCD
 - Problème du déclenchement du système de prise de données
- Une des solutions:
 - Production associée (**ttH**)
- L'association de plusieurs canaux est nécessaire



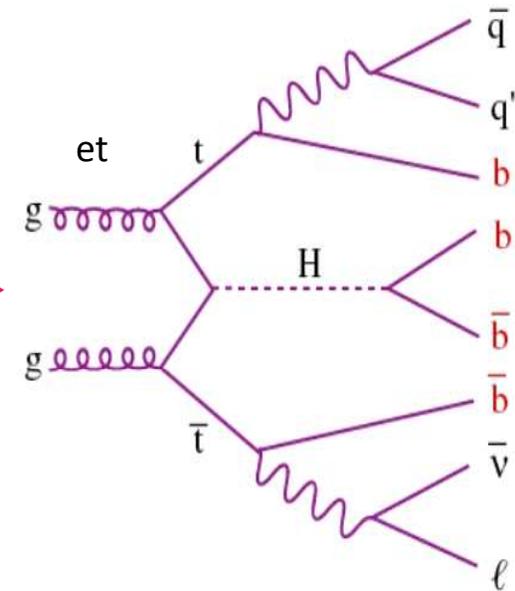
Le canal ttH

- Le canal ttH est le seul moyen au LHC de voir la désintégration du Higgs en une paire de quark b
 - Permet la mesure du couplage de Yukawa

- Le top se désintègre en un boson W et un quark b

➤ Trois configurations possibles:

- Leptonique (petit rapport d'embranchement présence de deux neutrinos)
- Hadronique (noyée dans le QCD)
- Lepton+jet(choix pour cette analyse)



- Bruit de fond principal: tt+jets

➤ **ttbb:**

- Bruit de fond **irréductible**, même signature que le signal

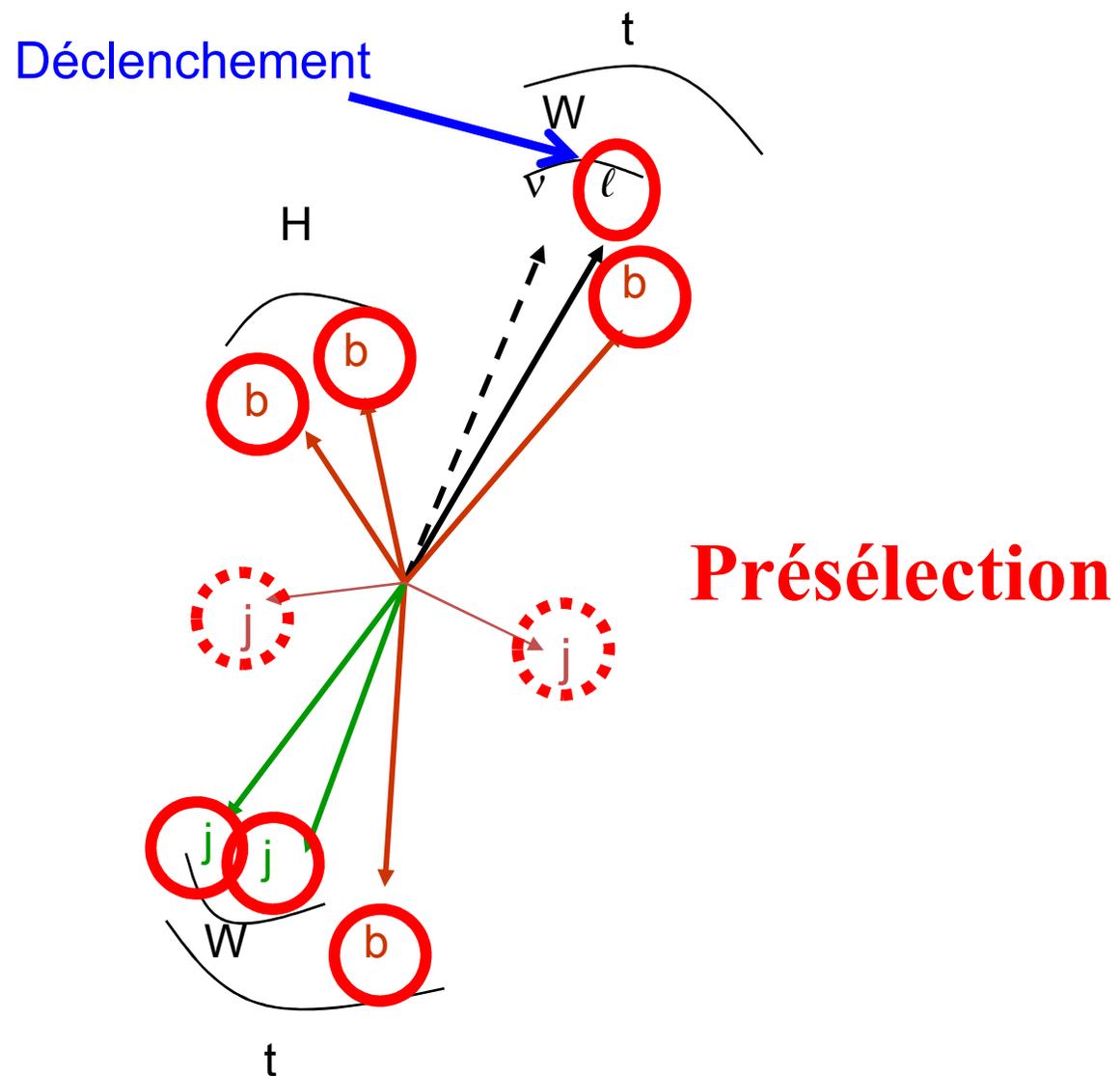
➤ **ttjj:**

- Énorme section efficace
- Réductible grâce à la discrimination entre jets légers et jets b (**b-tagging**)

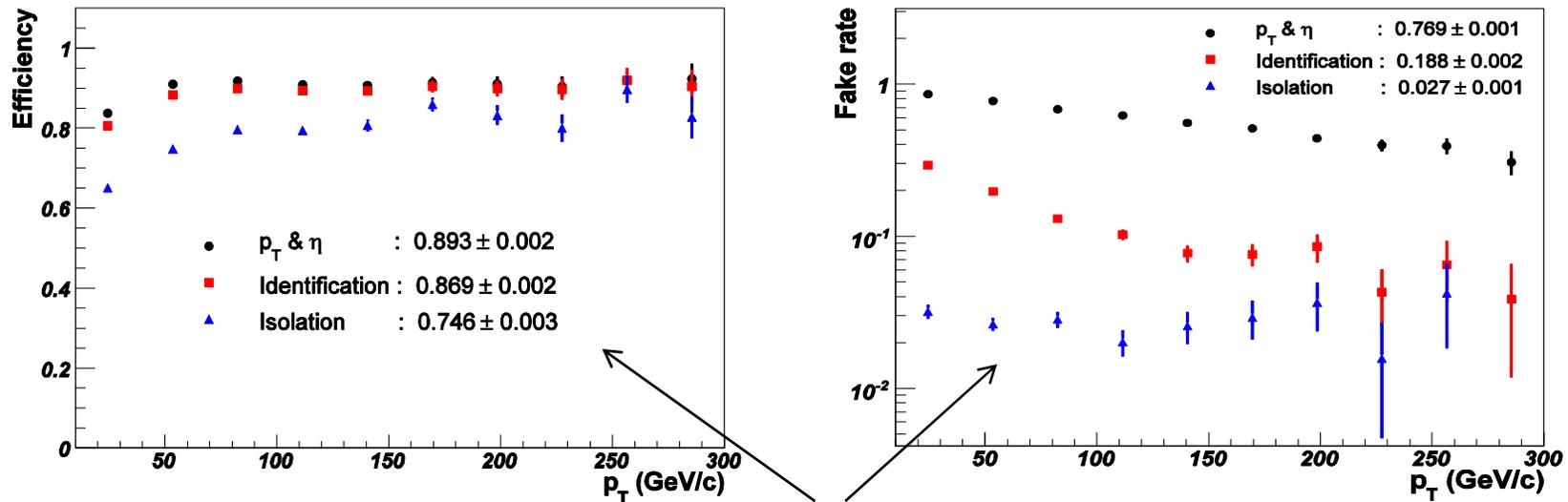
	ttH(LO)	ttbb(LO)	ttX(NLO)
Section efficace (pb)	0.519	9	760

Le b-tagging réduit le bruit ttjj d'un facteur 1000

L'analyse ttH

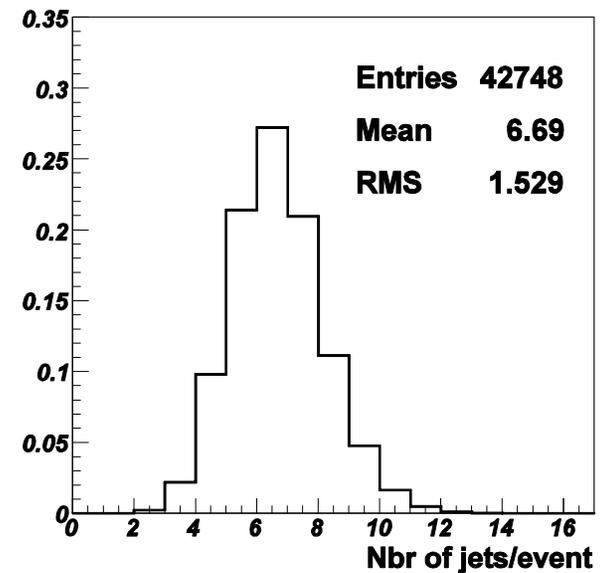


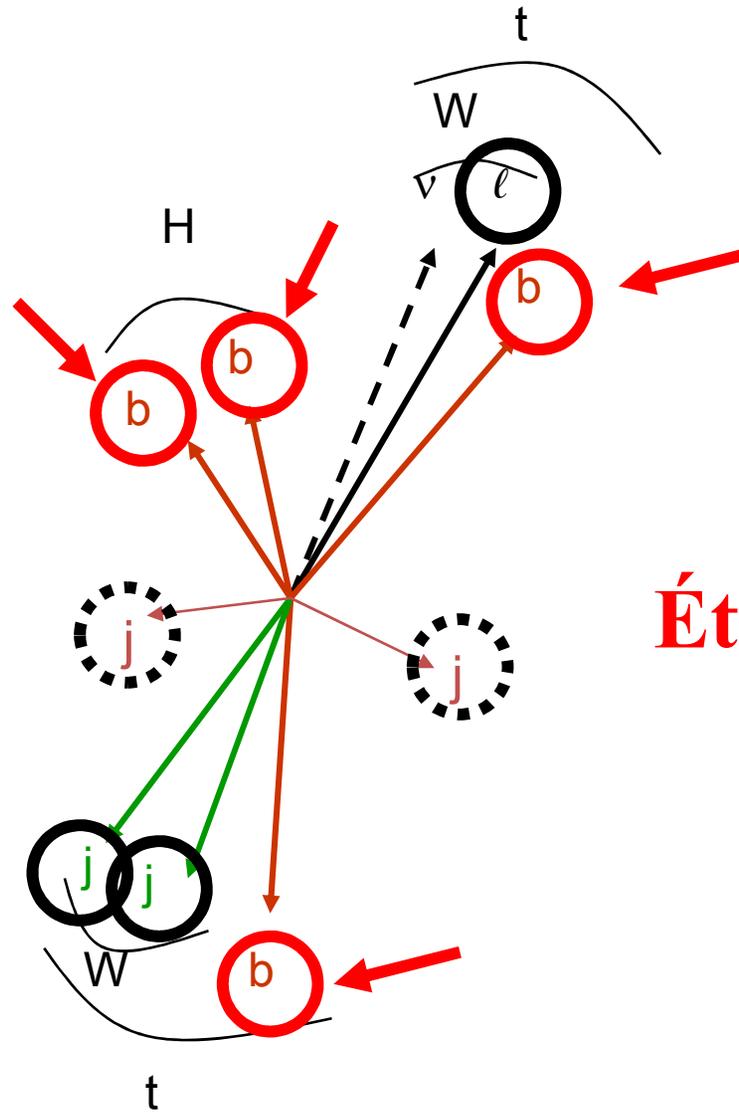
Présélection



Cas de l'électron

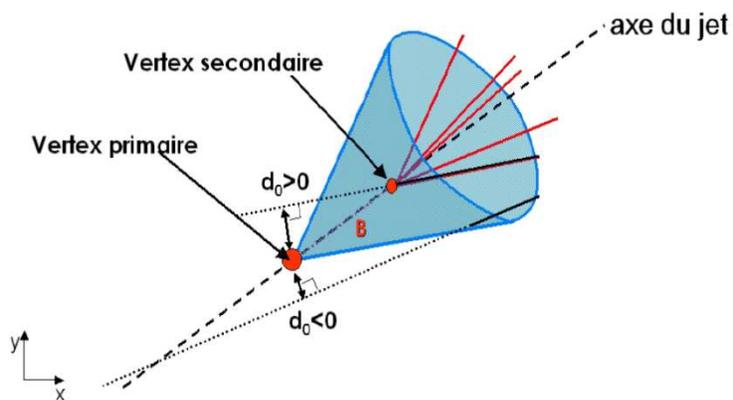
- On demande la présence d'un lepton isolé et au moins 6 jets
 - Efficacité pour le ttH: 41%
- Les leptons (électrons, muons) et les jets doivent passer des coupures d'identification spécifiques



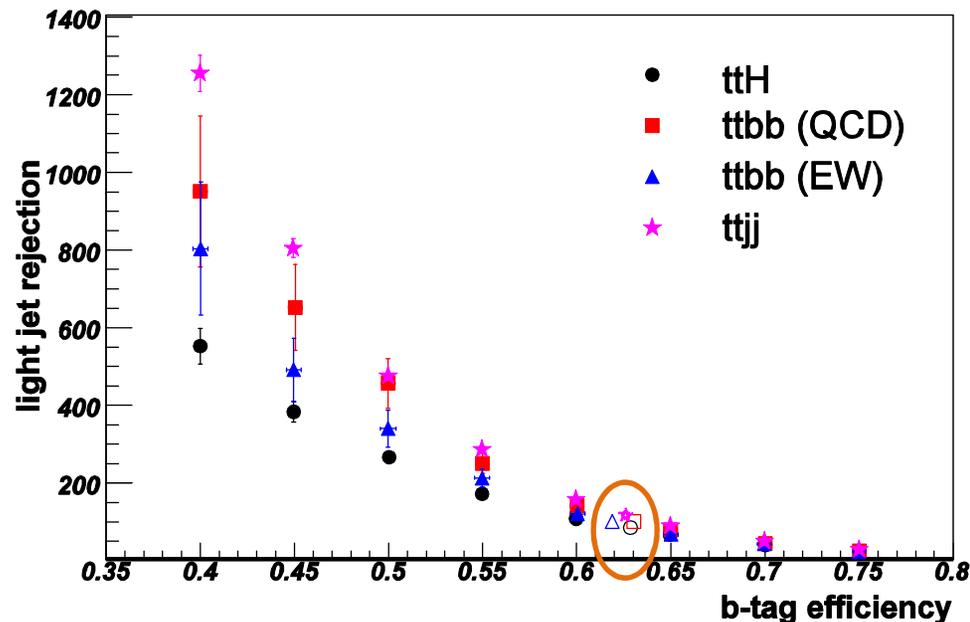
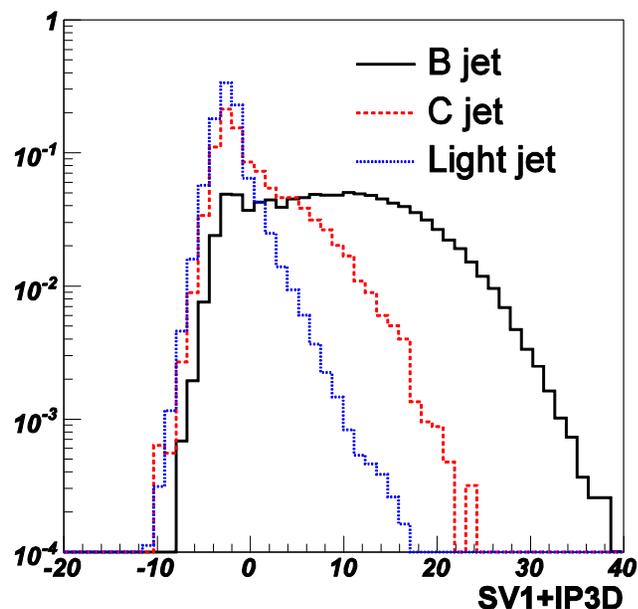


Étiquetage des jets b (b -tagging)

Etiquetage des jets b (b-tagging)

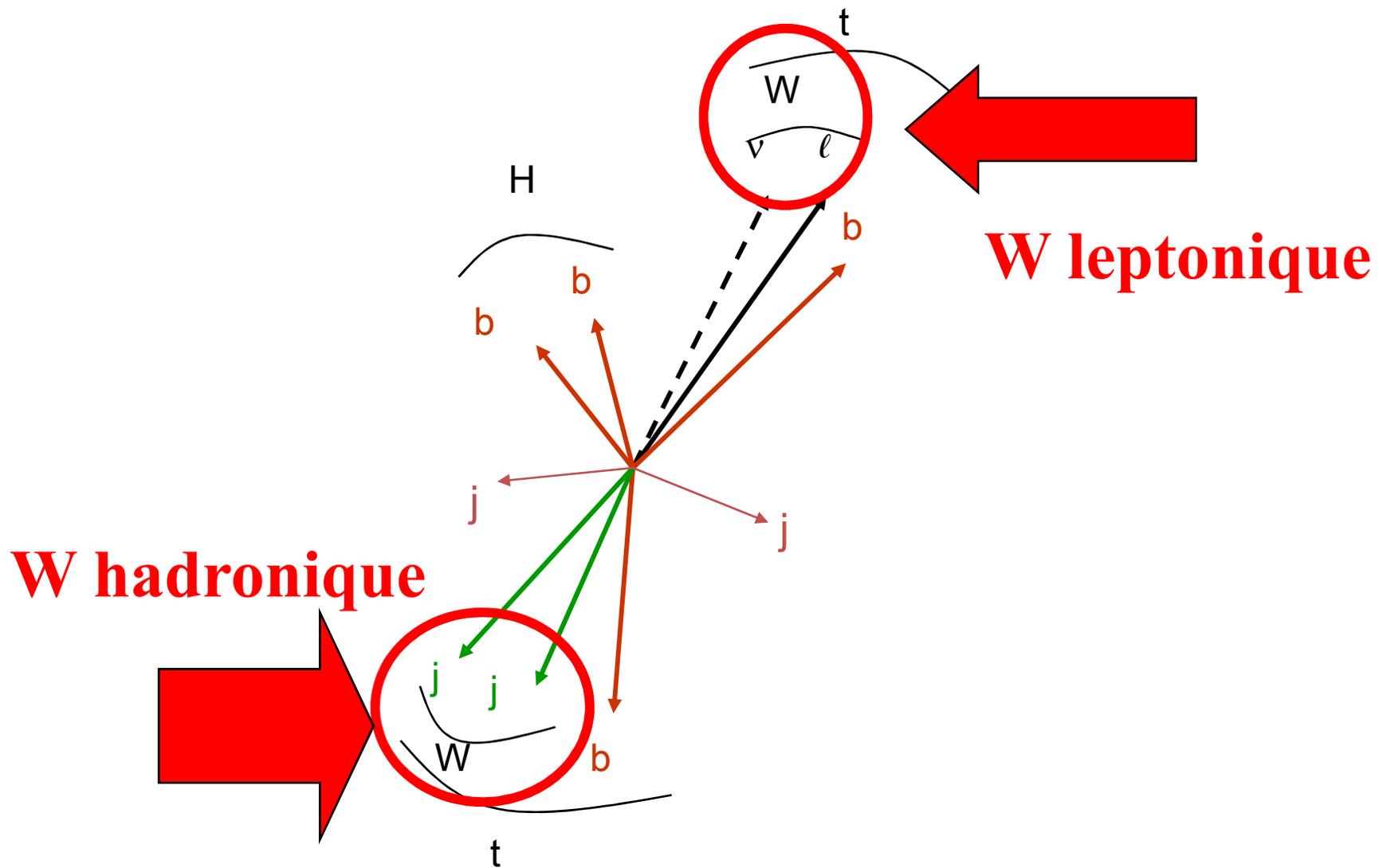


Durée de vie du méson B: 1.5 ps
 ➤ Se désintègre loin du vertex primaire

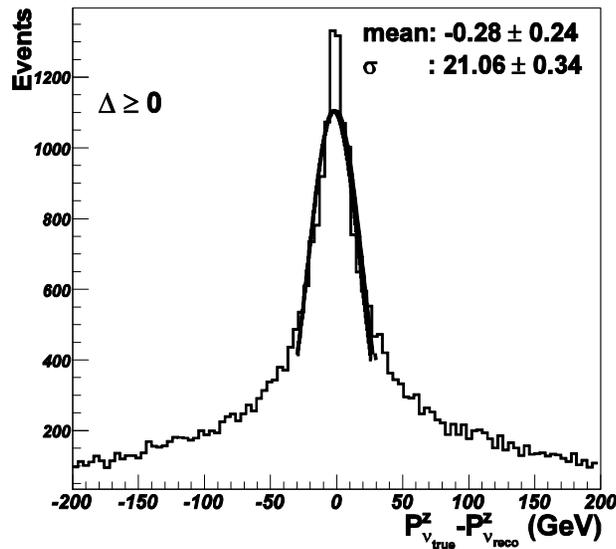


- Utilisation de deux fonctions de vraisemblance pour discriminer les jets b:
 - IP3D: basé sur le paramètre d'impact
 - SV1: basé sur quelques propriétés du vertex secondaire

Un jet est considéré comme b si $(IP3D+SV1) > 6$
 On demande 4 jets b dans chaque événement
 Efficacité: ttH 8.7%, ttj 0.09%



Reconstruction des Bosons W



- Collisionneur hadronique → p_z neutrino inconnue
- Energie transverse totale = 0 → p_T neutrino = p_T manquante
- On contraint le système neutrino-lepton par la masse du W

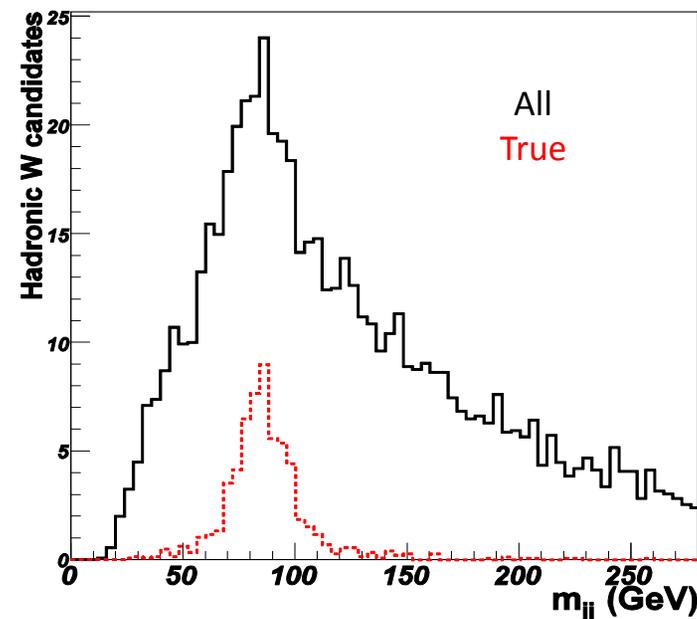
$$(P^\ell + P^\nu)^2 = m_W^2$$

$$\Rightarrow p_{z_\nu} = \frac{1}{2} \frac{p_{z_\ell} \beta \pm \sqrt{\Delta}}{E_\ell^2 - p_{z_\ell}^2}$$

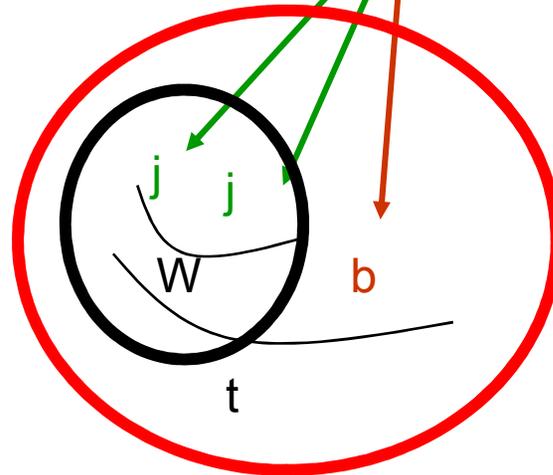
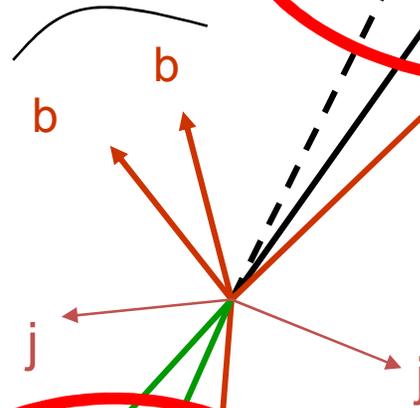
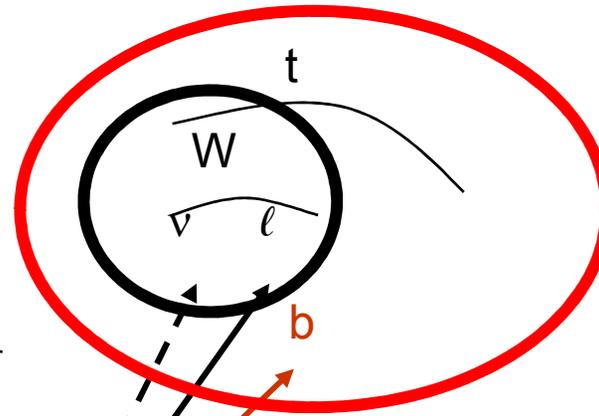
$$\beta = M_W^2 + 2p_{x_\ell} p_{x_\nu} + 2p_{y_\ell} p_{y_\nu}$$

$$\Delta = E_\ell^2 (\beta^2 + (2p_{z_\ell} p_{T_\nu})^2 - (2E_\ell p_{T_\nu})^2)$$

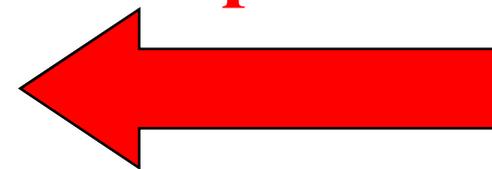
- On reconstruit le **W leptonique** à partir du **lepton** et du **neutrino**
- On reconstruit le **W hadronique** à partir de toutes les combinaisons possibles de **deux jets légers**
 - <1.9> combinaisons par événement



top leptonique



top hadronique



Reconstruction des quarks top

Résoudre la combinatoire. Utilisation de deux méthodes:

1. En minimisant un χ^2

$$|m_{jj} - m_W| < 25 \text{ GeV}/c^2$$

$$\chi^2 = \left(\frac{m_{\ell\nu b} - m_{\text{top}}}{\sigma_{m_{\ell\nu b}}} \right)^2 + \left(\frac{m_{jjb} - m_{\text{top}}}{\sigma_{m_{jjb}}} \right)^2$$

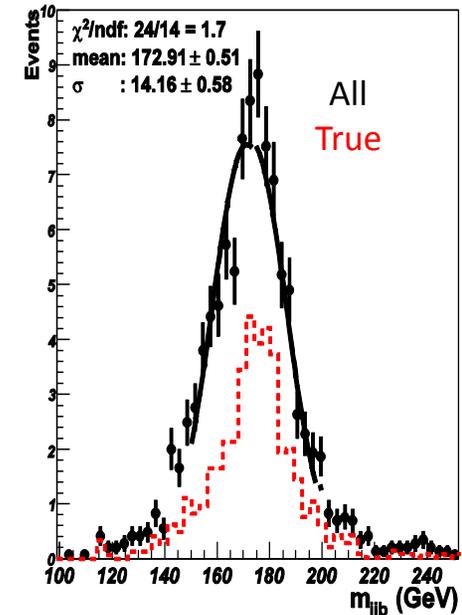
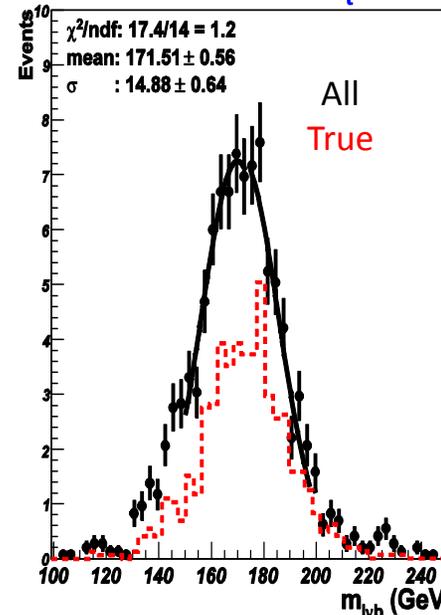
$$|m_{\ell\nu b} - m_{\text{top}}| \text{ et } |m_{jjb} - m_{\text{top}}| < 25 \text{ GeV}/c^2$$

2. Ou en maximisant une fonction de vraisemblance (likelihood)

$$L^j = \frac{\prod_{i=1}^{n_{\text{var}}} p_i^j}{\sum_{j=1}^{n_{\text{class}}} \prod_{i=1}^{n_{\text{var}}} p_i^j} \text{ avec } p_i^j = \frac{f_i^j}{\sum_{j=1}^{n_{\text{class}}} f_i^j}$$

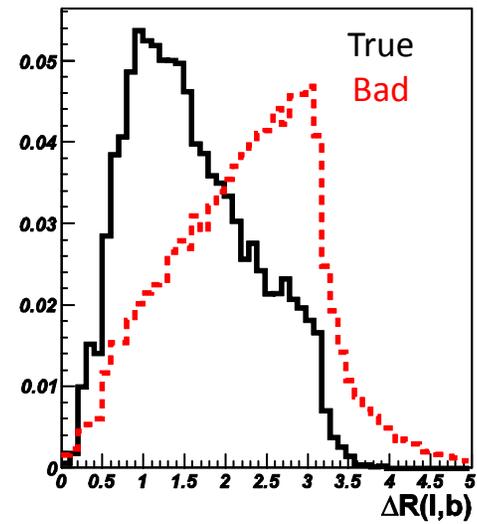
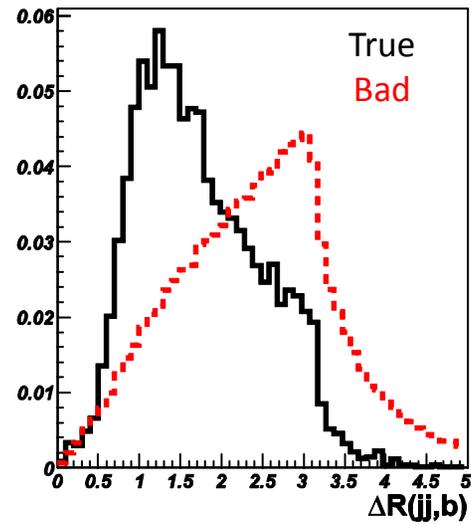
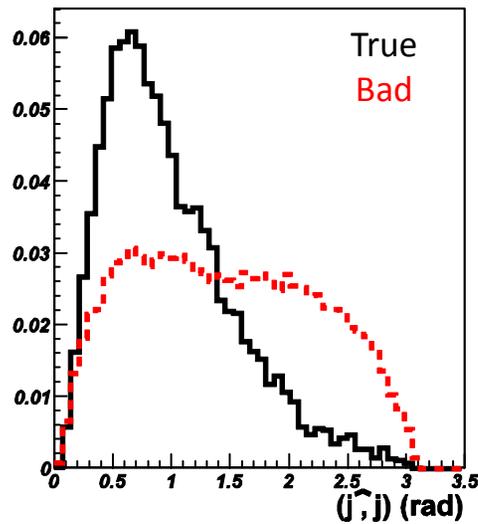
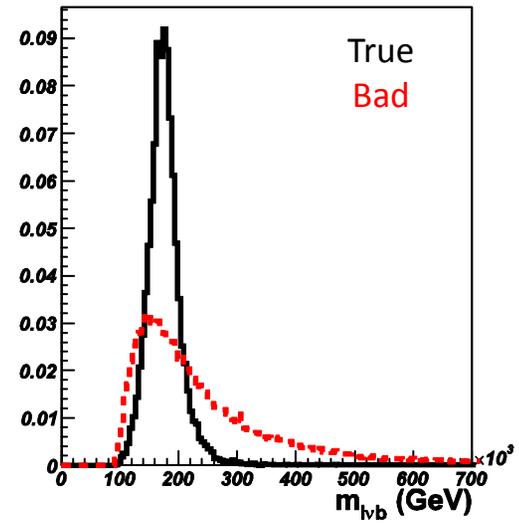
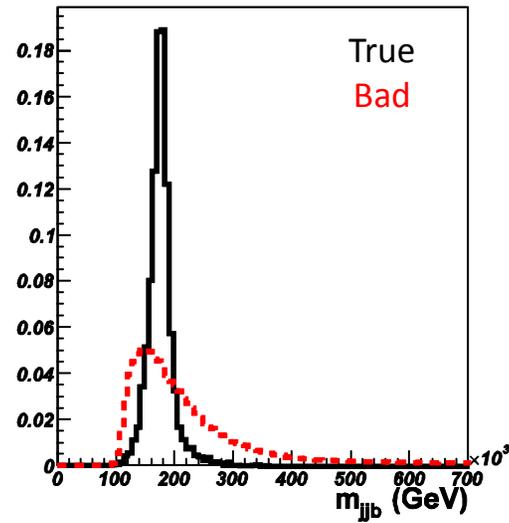
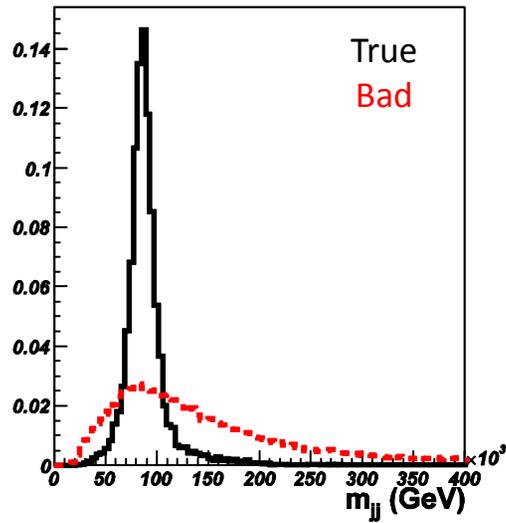
$$L^{j=\text{right}} > 0.9$$

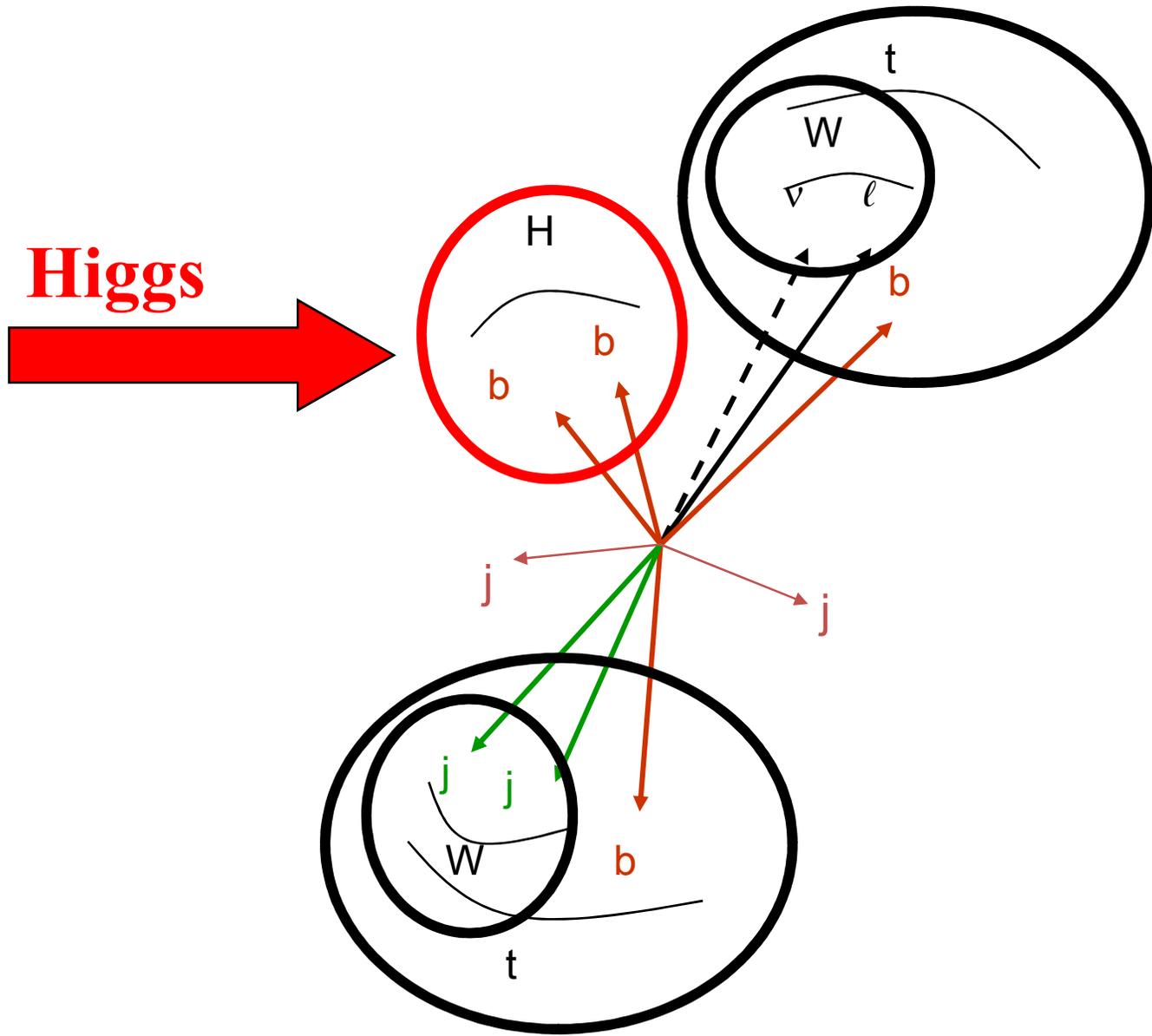
m_t simulée = 175 GeV/c²



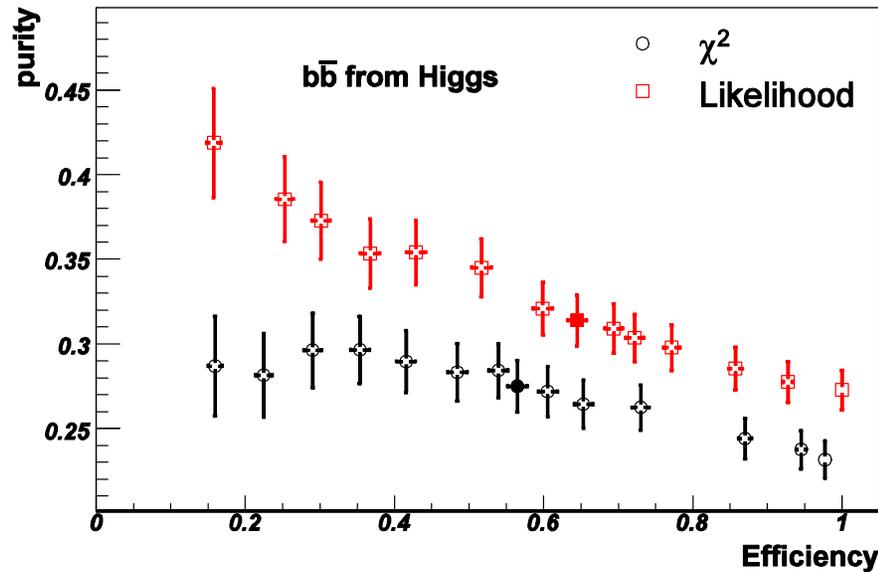
- Bon choix du b du top leptonique
 - χ^2 : 47%
 - Likelihood: 55%
- Bon choix du b du top hadronique
 - χ^2 : 43%
 - Likelihood: 47%

Likelihood PDF's

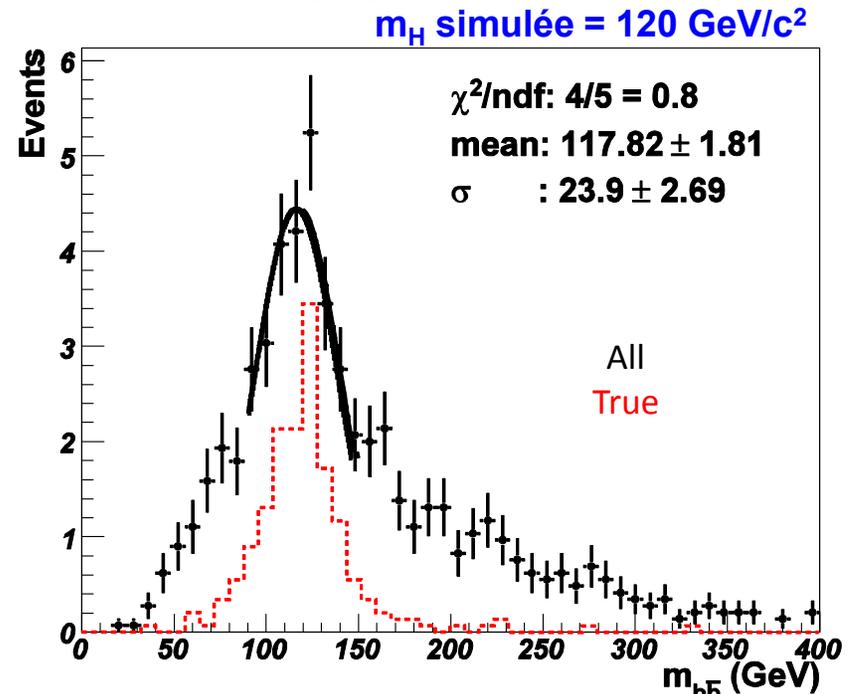




L'extraction du Higgs



- Meilleure pureté pour l'analyse utilisant le likelihood
- La pureté du Higgs est très faible
 - χ^2 : 27%
 - Likelihood: 31%



Longues queues dans la distribution de masse dues à la combinatoire

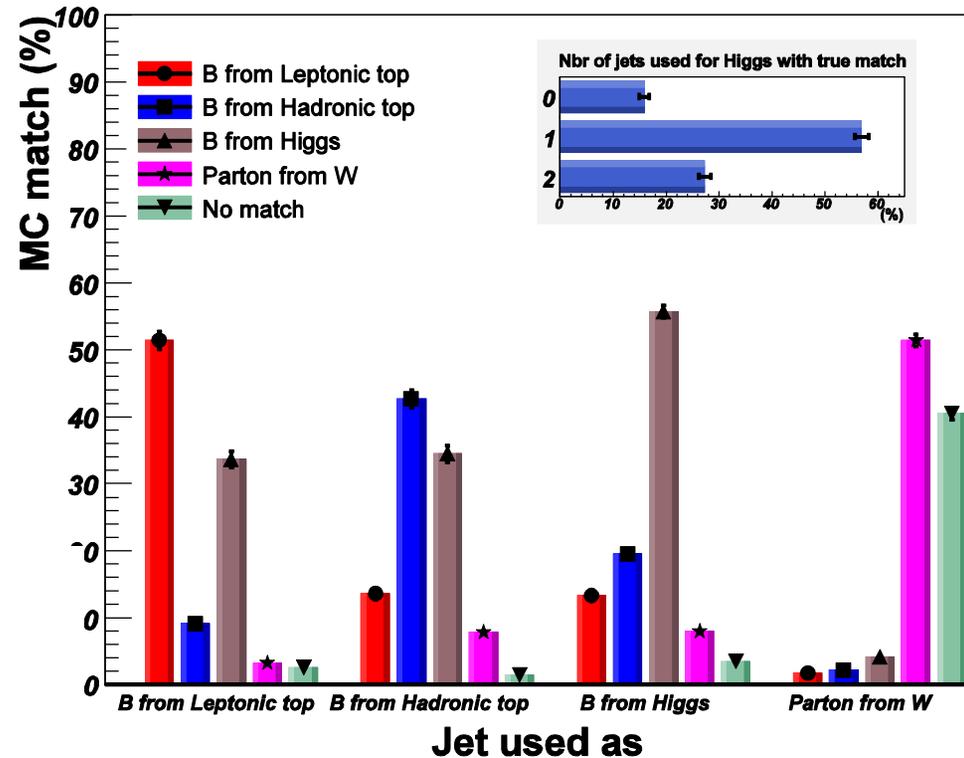
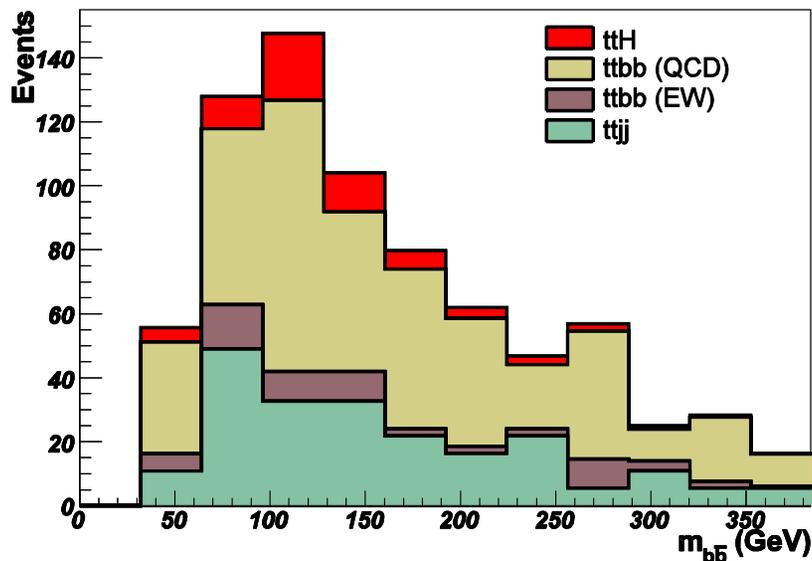
Événements*	ttH	ttbb	ttjj**	S/ \sqrt{B}
30 fb ⁻¹	2949±14	79K±0.6k	3M±4k	-
χ^2	26±1	144±25	56 ⁺³² ₋₂₃	1.8
Likelihood	32±1	142±25	60 ⁺³⁵ ₋₂₆	2.2

*Erreurs statistiques seulement

** Après un filtre sur ttx pour enrichir le lot en jets supplémentaires

Problèmes principaux

- Problème de combinatoire
 - Très grand échange de b entre le Higgs et les quarks top
 - Large distribution de la masse du Higgs ce qui diminue la signification et rend plus difficile l'extraction du signal
 - La combinatoire rend l'utilisation des propriétés du Higgs pour discriminer le signal du bruit du fond plus difficile



- Problèmes de la forme et de la normalisation du bruit de fond ttj(bb)
 - Erreur théorique très grande sur les sections efficaces
 - Le bruit présente un 'pic' dans la région du signal
 - Nécessité d'une très bonne connaissance du bruit en utilisant les données

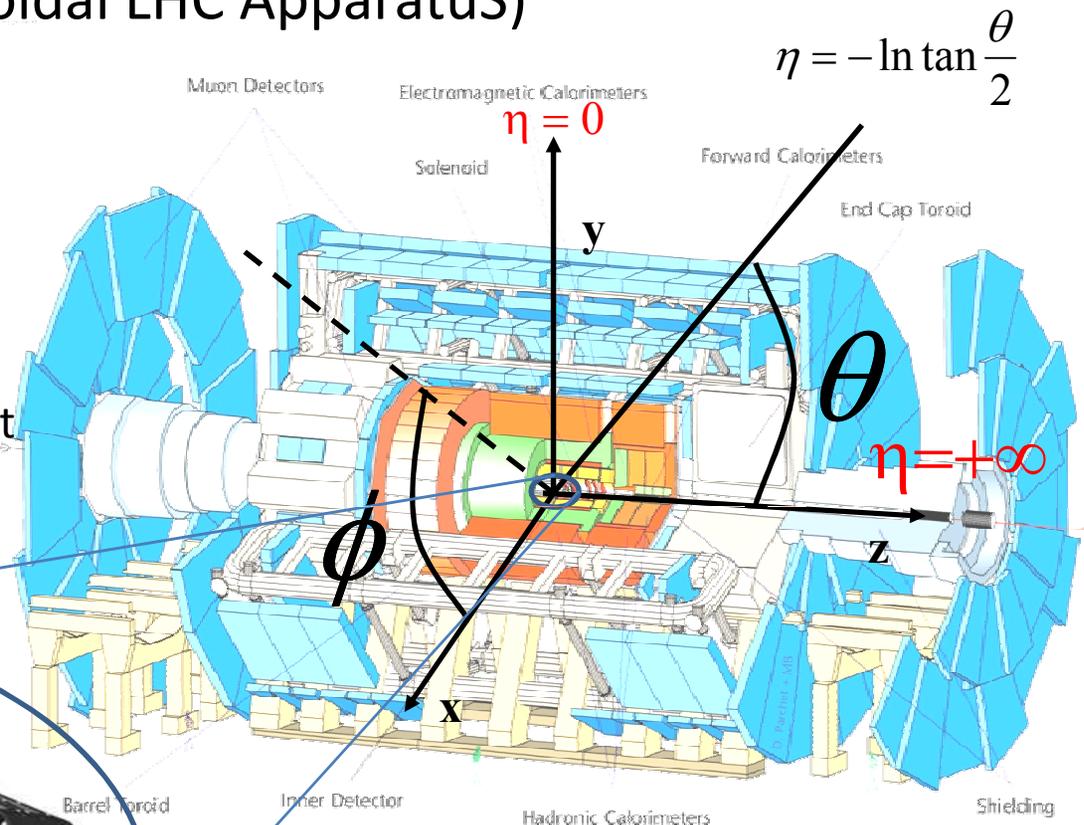
Le détecteur à pixels d'ATLAS

ATLAS

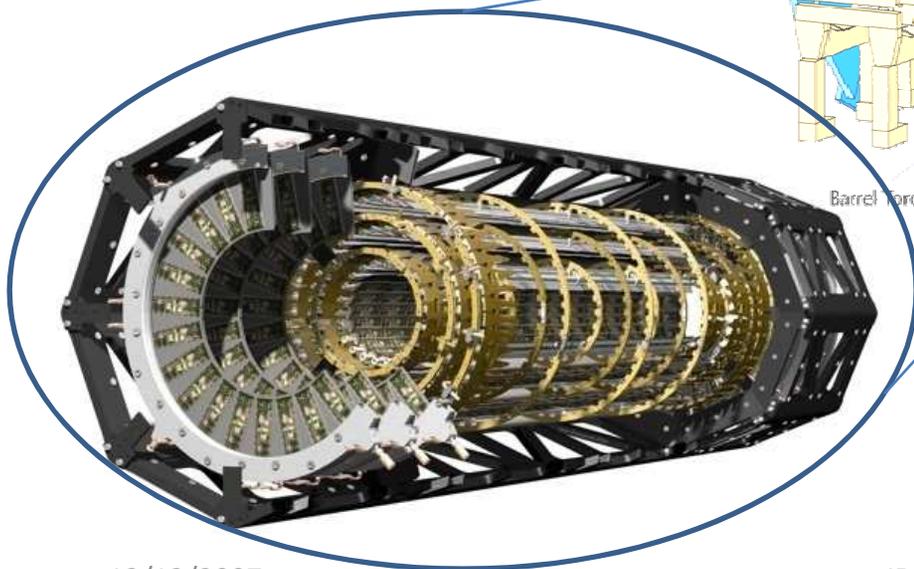
(A Toroidal LHC ApparatuS)

Le détecteur à pixels:

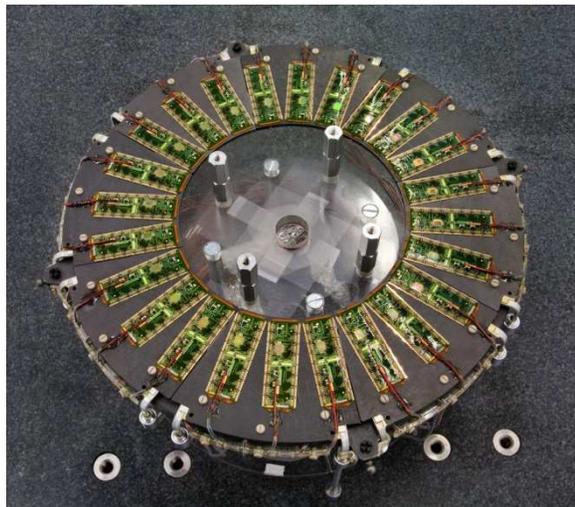
- 3 couches de pixels, la première à 5cm du faisceau
 - Très grande résistance aux radiations
 - La seule technologie qui puisse être placée si près du point d'interaction
- 2 bouchons avec 3 disques couvrant une région jusqu'à $|\eta| < 2.5$



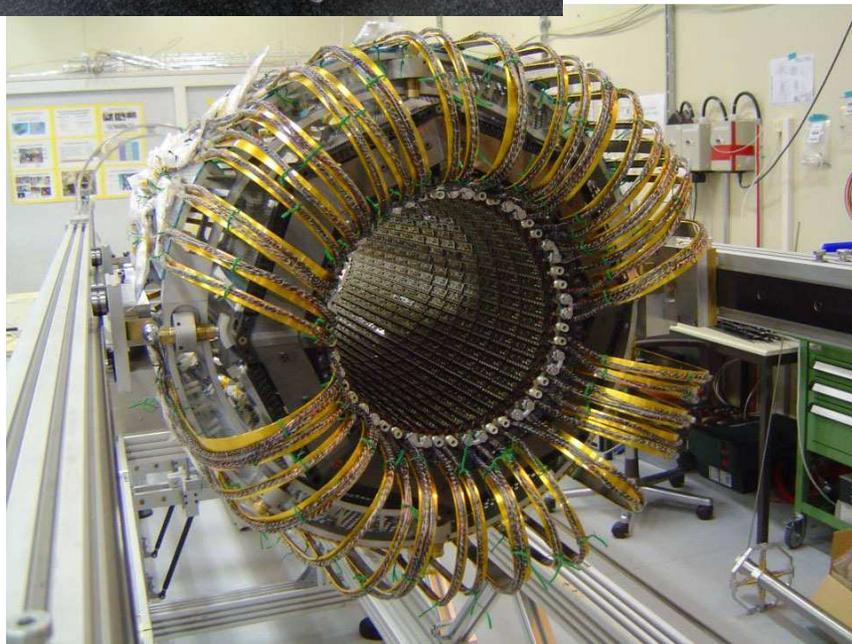
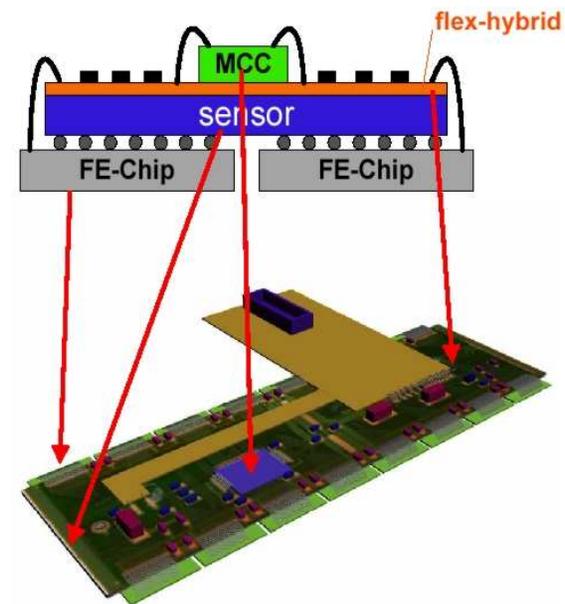
Détecteur indispensable pour l'étiquetage des jets b



Le détecteur à pixel



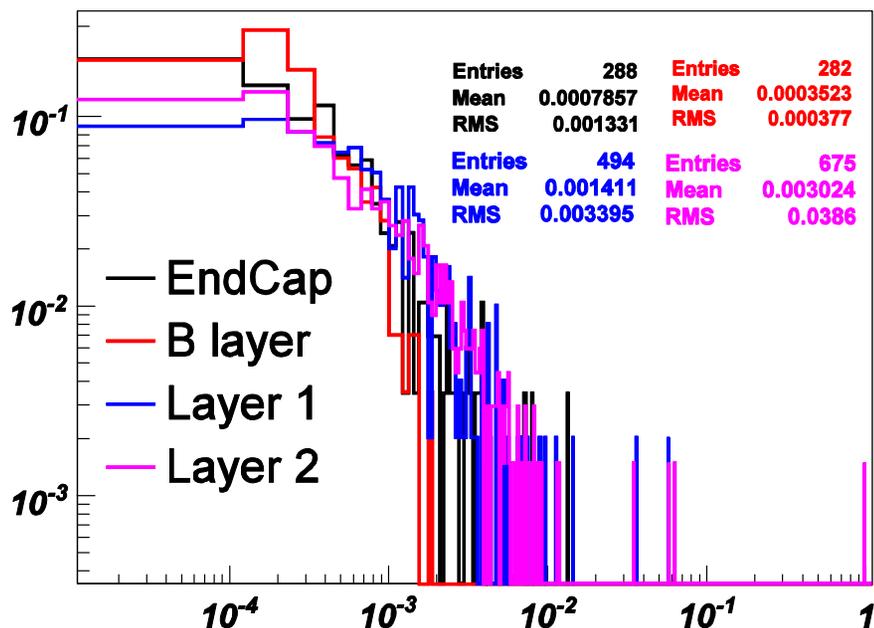
- 1744 modules
 - 144 dans chaque bouchon
 - 1456 dans les 3 couches du tonneau



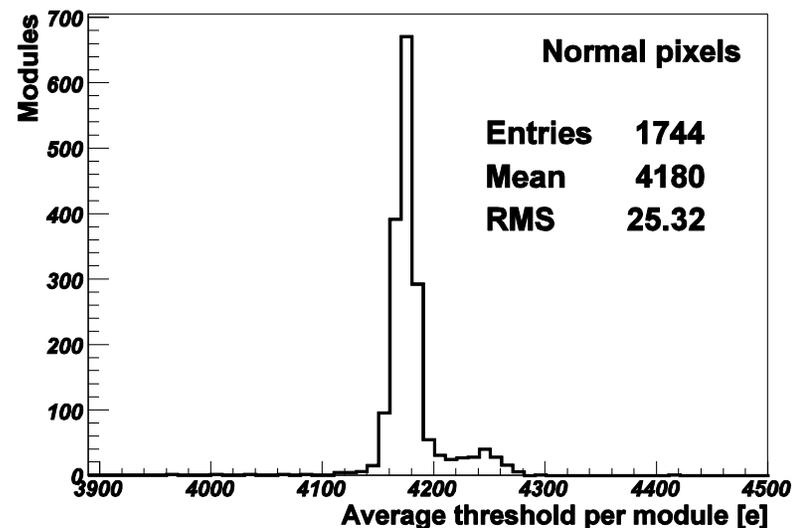
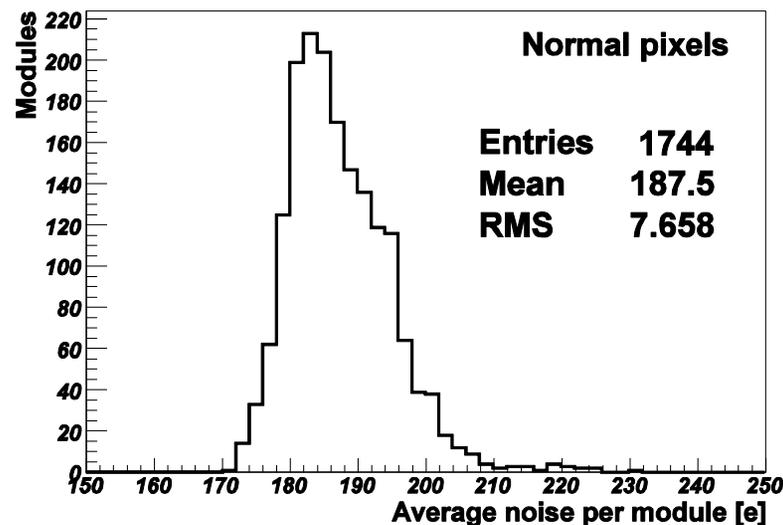
- Chaque module est formé de 46080 pixels
- Un pixel $\rightarrow 400 \times 50 \mu\text{m}^2$ + sa propre électronique de lecture
- **Assure une très grande précision dans la reconstruction des traces et des vertex**

Propriétés et calibration

fraction of special pixels per module



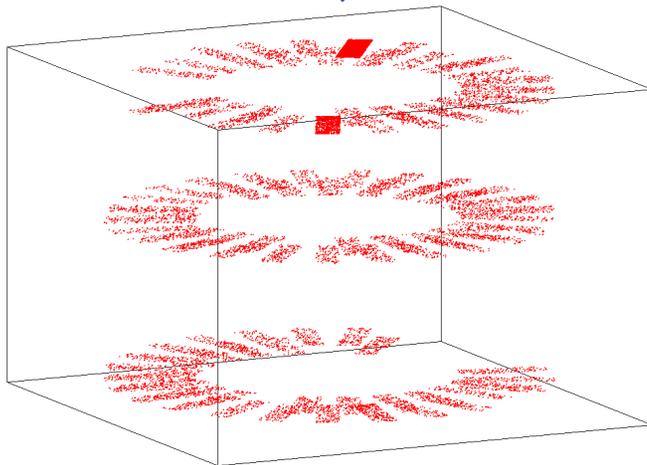
- Fraction des **pixels problématiques** (morts, bruyants...) de **3 à 0.3 %**
- Niveau de **bruit très bas** et cohérent entre les modules autour de **180 e**
- **Seuil** autour de **4200 e**



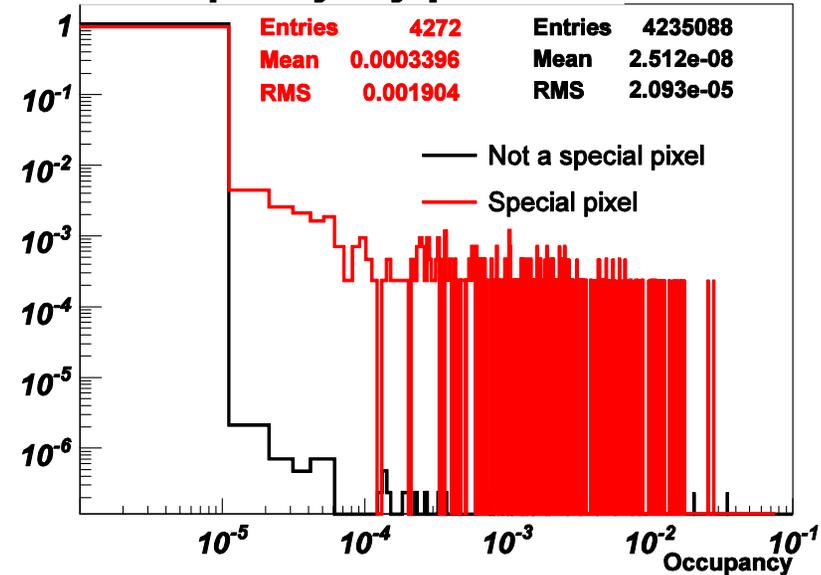
Vérification avec les muons cosmiques



Pixel EndCap A



Occupancy by pixel



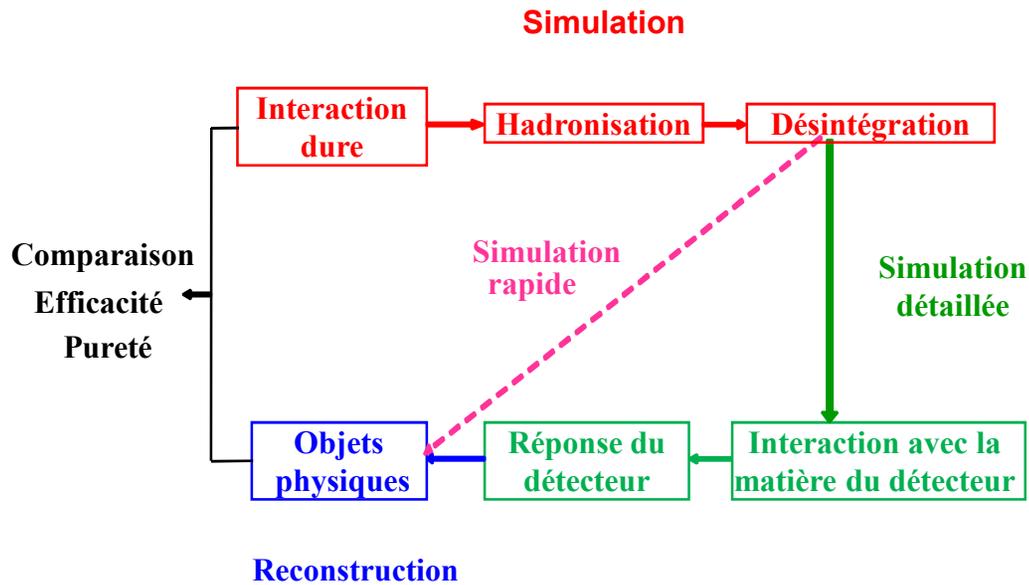
- Un des bouchons a été testé avec les muons cosmiques
- Ce test a permis la vérification des cartes de pixels bruyants
- Un niveau d'occupation de 10^{-9} a été trouvé en excluant ces pixels

Conclusions

- Détecteur à pixel:
 - Le détecteur à pixel d'ATLAS est déjà intégré avec les autres sous-détecteurs
 - Je participe à la mise en route de ce détecteur
- b-tagging
 - Le b-tagging est crucial pour pouvoir extraire le ttH du bruit ttjj
 - La continuation logique de mon travail sera l'étude des effets de l'utilisation des vraies données de calibration dans la simulation du détecteur à pixel sur le b-tagging
 - Une partie de ma thèse va aussi porter sur l'amélioration de la rejection surtout des quarks c
- Canal ttH
 - Le canal ttH ne sera pas accessible avec les premières données mais il sera très important de comprendre le b-tagging et le bruit ttjj
 - Les analyses ttH précédentes ont été répétées pour la première fois avec une simulation complète du détecteur mais malheureusement on trouve que ces analyses étaient plutôt optimistes
 - Le travail est en cours pour améliorer la combinatoire et prévoir des méthodes pour l'extraction de la normalisation et de la forme du bruit tt+jets
- Dans quelques mois le LHC va démarrer « vivement les données »

Backup

Les données Monte-Carlo



La simulation détaillée est utilisée dans cette analyse

Données générées avec

$$m_H = 120 \text{ GeV}/c^2$$

$$m_t = 175 \text{ GeV}/c^2$$

