

Contribution à la calibration des photons par les désintégrations radiatives $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$, et application à l'étude de potentiel de découverte et recherche des bosons de Higgs dans l'expérience CMS au LHC (CERN)

Clément BÂTY

Institut de Physique Nucléaire de Lyon, France



Journées Jeunes Chercheurs 2008

03 décembre 2008

1 Présentation générale

- Présentation du contexte scientifique au LHC
- Présentation de l'expérience CMS
- Aller au delà du modèle standard

2 Mon travail de thèse

- Présentation et intérêt de mon sujet de recherche
- Mon travail actuel, la sélection des évènements $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$

3 Résumé et Perspectives

Plan du séminaire

1 Présentation générale

- Présentation du contexte scientifique au LHC
- Présentation de l'expérience CMS
- Aller au delà du modèle standard

2 Mon travail de thèse

- Présentation et intérêt de mon sujet de recherche
- Mon travail actuel, la sélection des évènements $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$

3 Résumé et Perspectives

Contexte scientifique général de la physique des particules

« État de l'art » : où en est t'on au moment du démarrage du LHC ?

Les familles et grands types du Modèle Standard

Famille	I	II	III
Spin $+\frac{1}{2}$	u	c	t
Spin $-\frac{1}{2}$	d	s	b

Les familles de quarks

Famille	I	II	III
Leptons	e^+, e^-	μ^+, μ^-	τ^+, τ^-
(Anti-)neutrinos	$\nu_e, \bar{\nu}_e$	$\nu_\mu, \bar{\nu}_\mu$	$\nu_\tau, \bar{\nu}_\tau$

Les familles de leptons et de neutrinos

Force	Forte	Électromagnétique	Faible	Gravitation	
Bosons	8 gluons	W^\pm, Z^0	γ	Graviton	Boson de Higgs

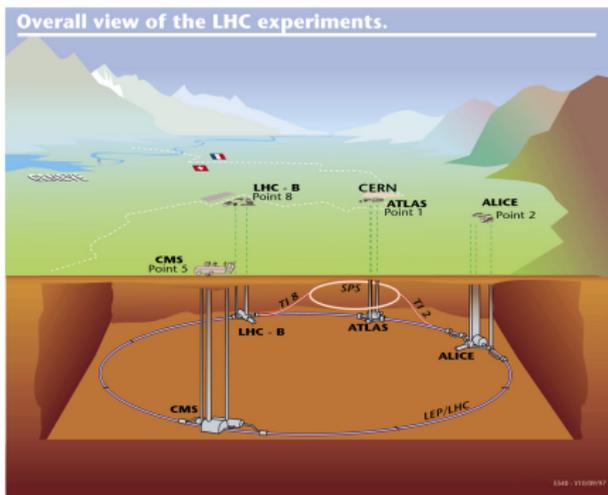
Les bosons de jauge

- + modèle prédictif, précis et efficace basé sur les quatre forces fondamentales
- n'explique pas la masse (existence et différence), l'existence de la matière noire / énergie noire et l'assymétrie baryonique.

L'expérience CMS @LHC

Le Large Hadron Collider en quelques mots

Le LHC, qui a démarré le mercredi 10 Septembre, est un accélérateur circulaire de 27.6 km de circonférence situé à 100 mètres sous terre à la frontière franco-suisse.



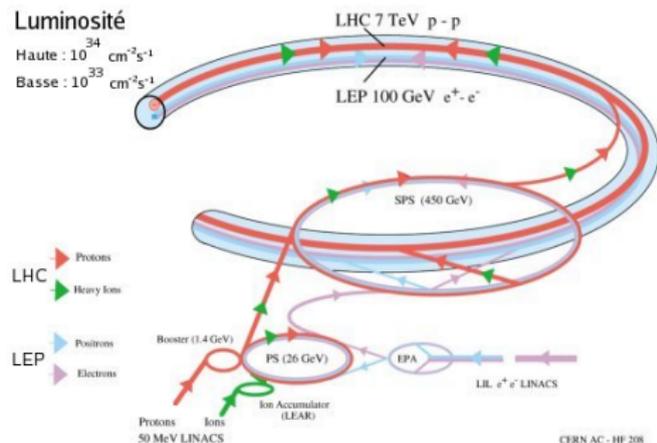
Le Large Hadron Collider (LHC)

The LHC injection complex

Luminosité

Haute : $10^{34} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$

Basse : $10^{33} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$



Le mécanisme d'injection du LHC

L'expérience CMS @LHC

Le LHC au niveau mondial : le fer de lance de la recherche en physique des particules.

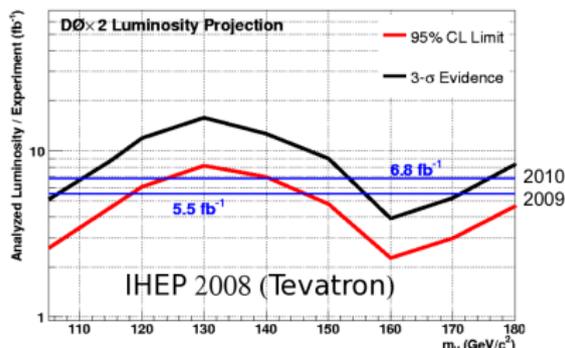
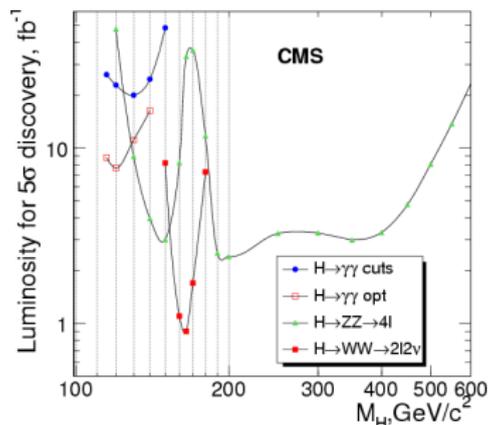
LHC@Cern(Genève) vs
Tevatron@Fermilab(Chicago)

▷ LHC

- Successeur du LEP, accélérateur pp ,
- En démarrage,
- $E = 14\text{TeV}$ (vs 2TeV pour le Tevatron).

▷ Tevatron

- Accélérateur fonctionnant depuis 1987, mais encore en plein fonctionnement (RUN II mars 2001-),
- Découvertes : quark Top en 1995 ($170.9 \pm 1.8\text{GeV}$) ...

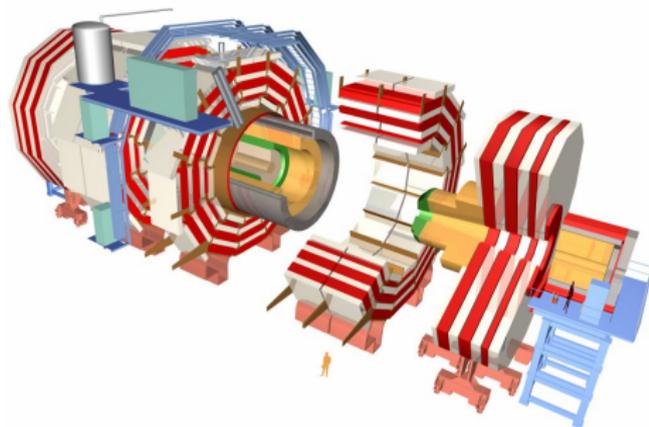


L'expérience CMS @LHC

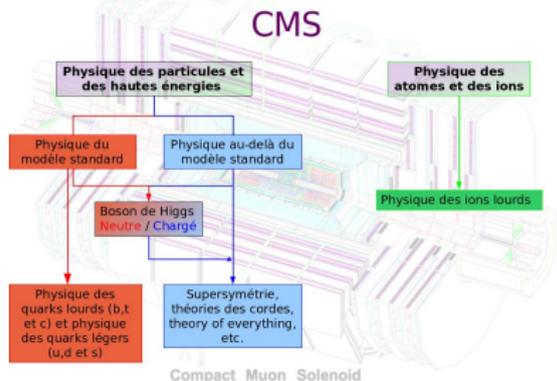
Le détecteur Compact Muon Solenoïd en quelques mots

Le détecteur Compact Muon Solenoïd (ou CMS) est un détecteur dit « généraliste » dans le sens où il est dédié à l'étude des phénomènes de nouvelle physique (et en particulier du Higgs) dans de multiples canaux mais aussi à la physique des ions lourds et plus généralement aux mesures de précisions des phénomènes déjà connus.

Masse du détecteur	12.500 tonnes
Diamètre du détecteur	15 m
Longueur totale	25 m
Personnel (de recherche)	3600 (3000)
Pays (instituts)	38 (183)



Le détecteur CMS

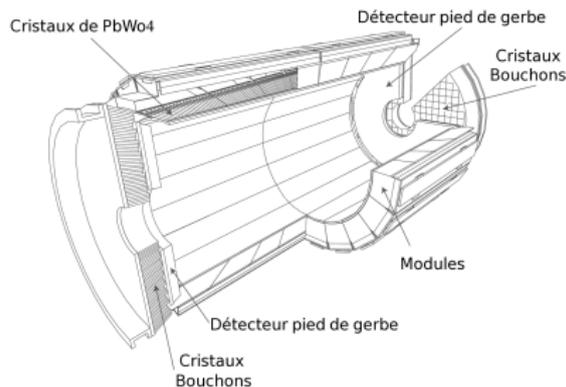


L'expérience CMS @LHC

ECAL : un calorimètre électromagnétique au sein du détecteur CMS

Le calorimètre électromagnétique

- 80000 cristaux de $PbWO_4$
- mesure l'énergie des e^\pm et des γ
- un tonneau ($|\eta| < 1.479$)
- deux bouchons ($1.48 < |\eta| < 3$)



Calorimètre électromagnétique (CMS)

Performances attendues sur la résolution en énergie :

$$\text{Tonneau} \quad \frac{\sigma E}{E} = \frac{2.7\%}{\sqrt{E(\text{GeV})}} + 0.55\% + \frac{0.155(0.210)}{E(\text{GeV})}$$

$$\text{Bouchons} \quad \frac{\sigma E}{E} = \frac{5.7\%}{\sqrt{E(\text{GeV})}} + 0.55\% + \frac{0.770(0.915)}{E(\text{GeV})}$$

$$\frac{\sigma E}{E} = \frac{A}{\sqrt{E(\text{GeV})}} + B + \frac{C}{E(\text{GeV})}$$

Lettre	Terme
A	Stochastique : Gerbe, Fluctuations
B	Constant : Calibration
C	Bruits : Électronique, Empilements

La recherche du boson de Higgs

Motivation de la recherche du boson de Higgs

✓ Le modèle standard

✗ Mais \exists boson de jauge sans masse (γ) **et** massifs (W^\pm & Z^0)

? Comment faire sans violer l'unitarité?
(introduction des masses dans L_{MS})?

\Rightarrow Le mécanisme de Higgs-Englert-Brout (1964), implémenté en 1967 par Glashow-Weinberg-Salam sur le groupe de jauge $U(1) \otimes SU(2)$, a permis de « sauver » le Modèle Standard :

- En rajoutant au modèle quatre champs scalaires réels disposés en un doublet complexe d'isospin
- Et en effectuant une brisure spontanée de symétrie avec pour choix de valeur de vide

$$\phi^+ \equiv \frac{\phi_1 + i\phi_2}{\sqrt{2}}$$

$$\phi^0 \equiv \frac{\phi_3 + i\phi_4}{\sqrt{2}}$$

$$\phi_0 \equiv \sqrt{\frac{1}{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ \nu \end{pmatrix}$$

La recherche du boson de Higgs

Motivation de la recherche du boson de Higgs

✓ Le modèle standard

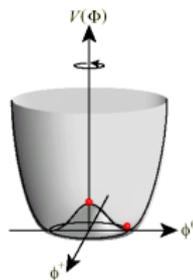
✗ Mais \exists boson de jauge sans masse (γ) **et** massifs (W^\pm & Z^0)

? Comment faire sans violer l'unitarité?
(introduction des masses dans L_{MS})?

\Rightarrow Le mécanisme de Higgs-Englert-Brout (1964), implémenté en 1967 par Glashow-Weinberg-Salam sur le groupe de jauge $U(1) \otimes SU(2)$, a permis de « sauver » le Modèle Standard :

- En rajoutant au modèle quatre champs scalaires réels disposés en un doublet complexe d'isospin
- Et en effectuant une brisure spontanée de symétrie avec pour choix de valeur de vide

$$\phi_0 \equiv \sqrt{\frac{1}{2}} \begin{pmatrix} 0 \\ \nu \end{pmatrix}$$

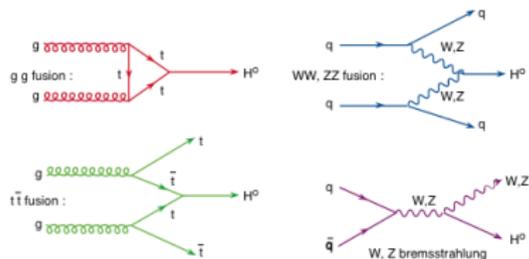


$$\phi^+ \equiv \frac{\phi_1 + i\phi_2}{\sqrt{2}}$$

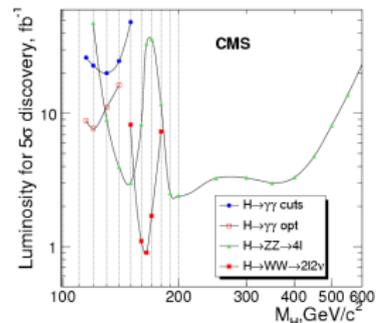
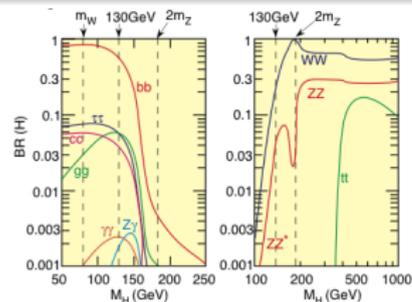
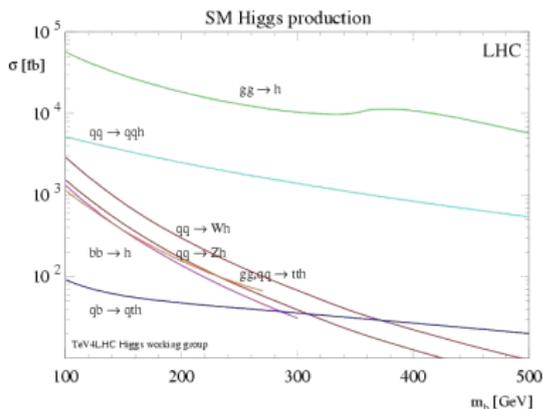
$$\phi^0 \equiv \frac{\phi_3 + i\phi_4}{\sqrt{2}}$$

La recherche du boson de Higgs

Canaux et potentiel de découvertes



- Le boson de Higgs va être créé selon les canaux ci contre
- Avec une section efficace dépendante de la M_H
- Avant de se désintégrer par les voies ci dessous ...



Plan du séminaire

1 Présentation générale

- Présentation du contexte scientifique au LHC
- Présentation de l'expérience CMS
- Aller au delà du modèle standard

2 Mon travail de thèse

- Présentation et intérêt de mon sujet de recherche
- Mon travail actuel, la sélection des évènements $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$

3 Résumé et Perspectives

Présentation de mon sujet de thèse

Un rapide tour d'horizon ...

Mon sujet de thèse est le suivant :

« Contribution à la calibration des photons par les désintégrations radiatives $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$, et application à l'étude de potentiel de découverte et recherche des bosons de Higgs dans l'expérience CMS au LHC (CERN) »

- 1 Je travaille sur le canal $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$ pour aider à la calibration du calorimètre électromagnétique [ECAL] ...
- 2 afin d'appliquer les résultats obtenus sur ce canal pour rechercher les bosons de Higgs (notamment $H \rightarrow \gamma\gamma$) ...
- 3 au sein de l'expérience CMS se situant sur l'accélérateur LHC au CERN

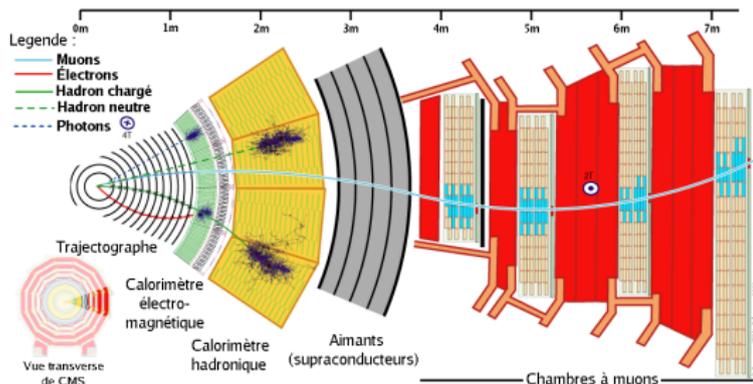
Présentation de mon sujet de thèse

Un rapide tour d'horizon ...

Mon sujet de thèse est le suivant :

« Contribution à la calibration des photons par les désintégrations radiatives $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$, et application à l'étude de potentiel de découverte et recherche des bosons de Higgs dans l'expérience CMS au LHC (CERN) »

- 1 Je travaille sur le canal $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$ pour aider à la calibration du calorimètre électromagnétique [ECAL] ...
- 2 afin d'appliquer les résultats obtenus sur ce canal pour rechercher les bosons de Higgs (notamment $H \rightarrow \gamma\gamma$) ...
- 3 au sein de l'expérience CMS se situant sur l'accélérateur LHC au CERN



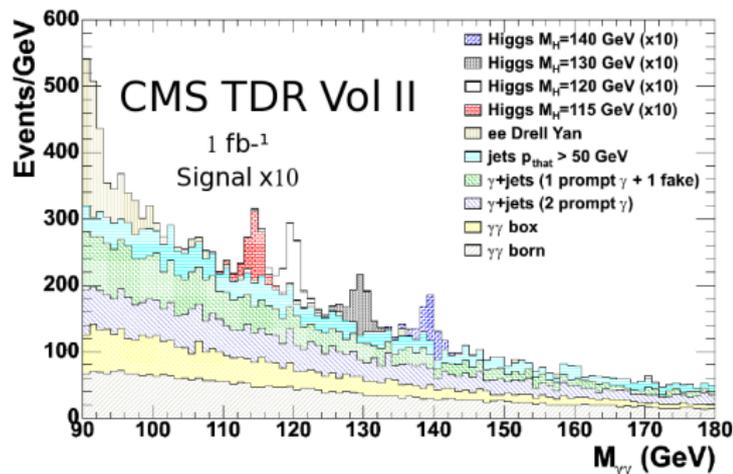
Présentation de mon sujet de thèse

Un rapide tour d'horizon ...

Mon sujet de thèse est le suivant :

« Contribution à la calibration des photons par les désintégrations radiatives $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$, et application à l'étude de potentiel de découverte et recherche des bosons de Higgs dans l'expérience CMS au LHC (CERN) »

- 1 Je travaille sur le canal $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$ pour aider à la calibration du calorimètre électromagnétique [ECAL] ...
- 2 afin d'appliquer les résultats obtenus sur ce canal pour rechercher les bosons de Higgs (notamment $H \rightarrow \gamma\gamma$) ...
- 3 au sein de l'expérience CMS se situant sur l'accélérateur LHC au CERN



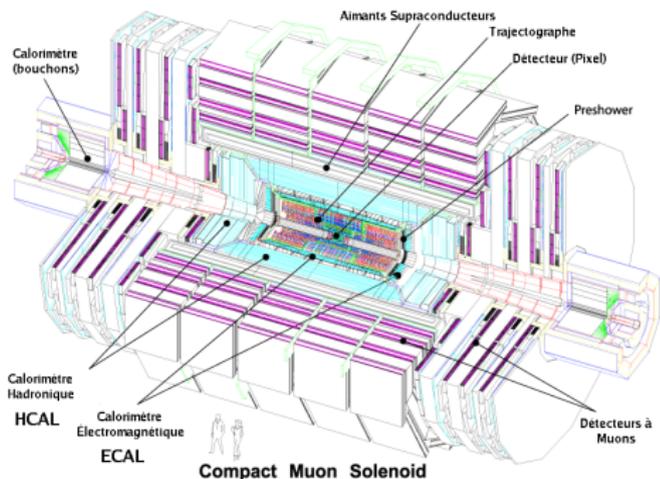
Présentation de mon sujet de thèse

Un rapide tour d'horizon ...

Mon sujet de thèse est le suivant :

« Contribution à la calibration des photons par les désintégrations radiatives $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$, et application à l'étude de potentiel de découverte et recherche des bosons de Higgs dans l'expérience CMS au LHC (CERN) »

- 1 Je travaille sur le canal $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$ pour aider à la calibration du calorimètre électromagnétique [ECAL] ...
- 2 afin d'appliquer les résultats obtenus sur ce canal pour rechercher les bosons de Higgs (notamment $H \rightarrow \gamma\gamma$) ...
- 3 au sein de l'expérience CMS se situant sur l'accélérateur LHC au CERN



Présentation de mon sujet de thèse I

Les différentes facettes de mon travail de thèse

I Contribution au PTDR II de CMS

- ▷ Participation à l'effort lyonnais pour le « CMS Technical Design Report, volume II : Physics performance » (J. Phys. G 34 995) pendant la période du stage de M2 (2007) : canal $t\bar{t}H \rightarrow \gamma\gamma + l + X$,
- ▷ Contribution à une note d'analyse de CMS (CMS-AN-2006/110).

II Contribution à la calibration de l'électronique

- ▷ Étude des rapports de gains sur l'électronique de lecture du calorimètre électromagnétique [« ECAL »] de CMS (CMS-DN-2007/008 & CMS-DN-2007/18),
- ▷ Compréhension du calorimètre et de ses propriétés notamment sur la stabilité dans le temps.

Présentation de mon sujet de thèse II

Les différentes facettes de mon travail de thèse

III Étude de la réaction $Z^0 \rightarrow \mu\mu(+\gamma)$ pour calibrer les γ de l'ECAL

1 Étude sur la description Monte Carlo des photons

- ▷ Procédé anti-double-comptage effectué avec des générateurs à éléments de matrices et à gerbe électronique,
- ▷ Interactions avec les théoriciens et les créateurs des générateurs (notamment ALPGEN),
- ▷ Travaux présentés dans le groupe de travail « Generator Tools » [Mai 2008 @CMS] et aux workshops « GDR SuSy » [Strasbourg, Avril 2008] & Generator Tools SuSy [Mars 2008],
- ▷ fera prochainement l'objet d'une note.

2 Sélection des évènements $Z^0 \rightarrow \mu\mu\gamma$, en vue d'une confrontation avec les premières données du LHC

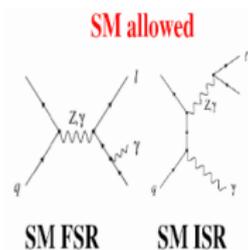
- ▷ Optimisation de la méthode de sélection d'évènements pour améliorer le rapport signal sur bruit : travail en cours ,
- ▷ Exploitation de ces évènements pour mesurer l'échelle de l'énergie des photons : travail en cours ...

Présentation de l'étude

Motivations (rappel)

Le canal $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$ peut déterminer avec les données réelles :

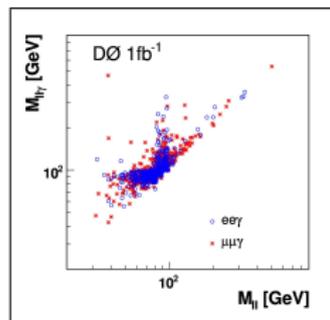
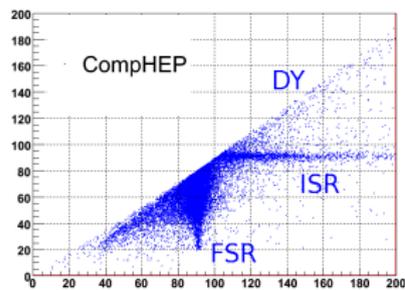
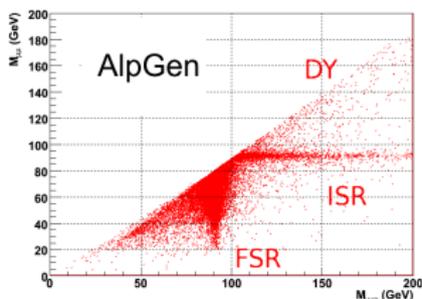
- Efficacité des processus de déclenchement sur les photons
- Détermination de l'échelle d'énergie des photons
- Détermination de l'efficacité d'identification des photons
- Détermination des corrections en énergies pour les photons



- **PTDR I** : *Y. Gershtein, AN 2005/040* : Résultats basés sur des bruits de fonds (Z+jets) et un signal dispersé au niveau générateur
- **Objectif actuel** :
 - Valider les sélections de l'**AN 2005/040** et les prédictions (nb d'événements) en simulation et reconstruction détaillée.
 - Améliorer la sélection afin de permettre une extraction précoce ($L \sim 100pb^{-1}$) de l'échelle d'énergie des photons.

Caractéristiques du signal et des bruits de fonds

- Signal : $\mu\mu\gamma$ avec $M_{\mu\mu} < M_Z$, $\Delta_R(\mu, \gamma)$ faible (FSR)



- Bruits de fonds considérés pour le PTDR I : $Z + \text{jets}$ (PYTHIA)
 - $Z + \text{jets}$: $\mu\mu + \text{fake } \gamma$ provenant des jets : Z quasiment réel ; pas de corrélation $\mu\gamma$
 - $Z (+\text{jets})$: $\mu\mu + \text{fake } \gamma$ ($\mu @ \text{ECAL}$) : Z quasiment réel ; μ_{ECAL} corrélé avec le γ
- Autres bruits de fonds (non considérés dans le PTDR1)
 - ▷ $\gamma + n\text{jets}$ (légers) : peu de muons (non-Z)
 - ▷ $b\bar{b}$ (supposés supprimable par la demande d'un muon isolé) :
 - $\gamma b\bar{b}$ $\gamma + \mu\mu$ provenant des b : muons non-isolés ; $\mu\gamma$ anti-corrélés
 - $j b\bar{b}$ fake $\gamma + \mu\mu$ provenant des b : muons non-isolés ; pas de corrélations $\mu\gamma$
 - ▷ $t\bar{t}$, et enfin les bruits de fonds $W^\pm + \text{jets}$: pas encore étudiés

Signal et bruits de fonds

Détails de la sélection PTDR I

Sélection PTDR I :

- 1 $> 1\mu$ global avec μ_1, μ_2 satisfaisant les coupures de présélection d'ALPGEN (signal) : $P_T > 10\text{ GeV}$, $|\eta| > 3.0$, $M(\mu_1, \mu_2) > 20\text{ GeV}$
- 2 $> 0\gamma$ corrigé où le γ_1 (de plus haut PT) valide les coupures de présélection d'ALPGEN : $P_T > 10\text{ GeV}$, $|\eta| > 3.0$, $\Delta_R(\gamma, \mu_{closest}) > 0.05$
- 4 $40\text{ GeV} < m_{\mu_1, \mu_2} < 80\text{ GeV}$ pour couper le Drell-Yan
- 5 $\Delta_R(\gamma_1, \mu_{closest}) < 0.8$ pour exploiter la corrélation $\mu\gamma$, $E_T(\gamma_1) > \text{GeV}$
- 6 $87.2\text{ GeV} < m_{\mu\mu\gamma} < 95.2\text{ GeV}$ fenêtre de masse pour le signal.
- 7 $70\text{ GeV} < m_{\mu\mu\gamma} < 110\text{ GeV}$ fenêtre de masse pour le bruit de fonds, diviser par 5 le nombre d'évènements (Poor man's Poisson)

- les critères 1 & 2 sont imposés aux bruits de fonds également
- les critères 4 – 7 servent à combattre les bruits de fonds.
- d'autres critères pourraient être nécessaires pour combattre les bruits de fonds autre que Z + jets.
- Possibilité d'utilisation de l'isolation des muons ou l'activité des jets pour tuer les bruits de fonds $(\gamma, j)bb$.

Signal et bruits de fonds

État actuel de la sélection

Summary	Z $\rightarrow\mu\mu\gamma$ Signal	Z + jets	γ + jets (*)	Bbar	ttbar
Nevents (/pb-1)	26.2	2750.3	1.706E08 (**)	7.8E06 (**)	561
After (1)	19.1	336.3	0.127 (**)	990.8 (**)	14.6
(2)	16.7	41.0	0.127(**)	381.7 (**)	12.3
(4)	13.7	3.28	0.121(**)	136.6 (**)	5.5
(5)	6.2	0.234	0.116(**)	70.4 (**)	.82
(6)	4.0+ 0.6 + 0.03=4.63		---	---	
(7)	---	0.029	<0.03(**)	8.74 + 3.02 + 0.24=12 (**)	0.08

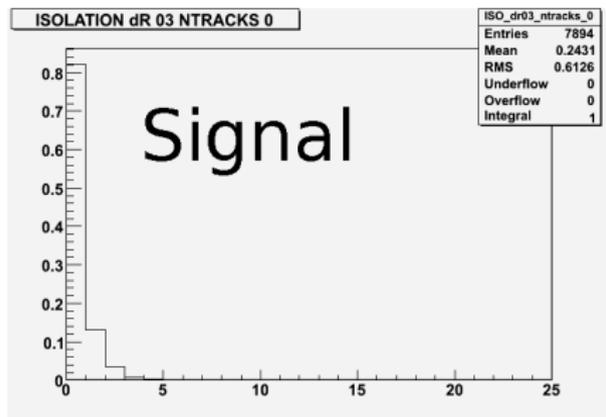
(*) \rightarrow Files in bins 30-50 and 80-120 could not be processed successfully Suzanne Gascon : EGAMMA POG

(**) \rightarrow insufficient stats (<1pb-1 eq. integrated lumi) could be as many as ~140 events/pb-1 from pthat bins<50 GeV for γ + jets

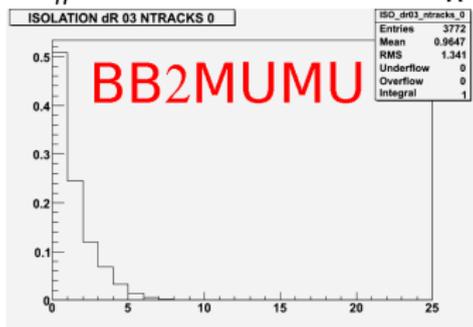
Travail : bruits de fonds à maîtriser

Le bruit de fonds $b\bar{b}$ est le bruit de fond le plus important qu'il reste à maîtriser.
La sélection actuelle donne ~ 4.8 évènements par pb^{-1} avec une pureté $\sim 97\%$

Recherche de variables pour discriminer le signal des bruits de fonds $b\bar{b}$ (faible statistique, grosse production en cours) par exemple, le nombre de traces |



Signal : # traces dans un cône $\Delta_R = 0.3$



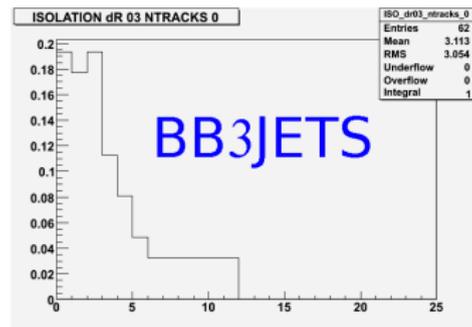
Variables d'isolations utilisées

- $\Delta_R = 0.3$ (0.5) autour du muon
- Muons proches et éloignés ensemble

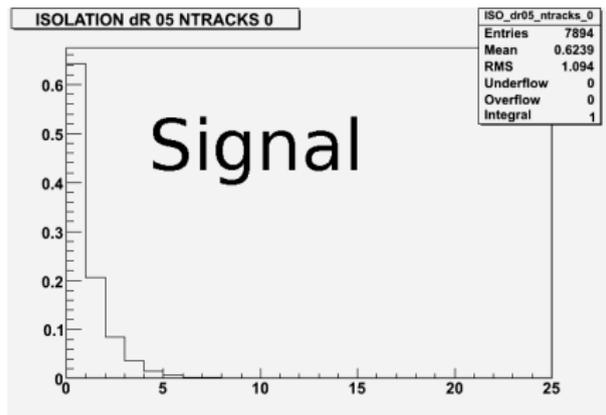
$$\Delta_R = \sqrt{\Delta_\eta^2 + \Delta_\phi^2}$$

η : pseudorapidité

ϕ : angle \perp à η



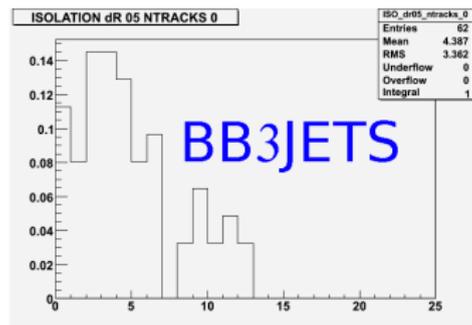
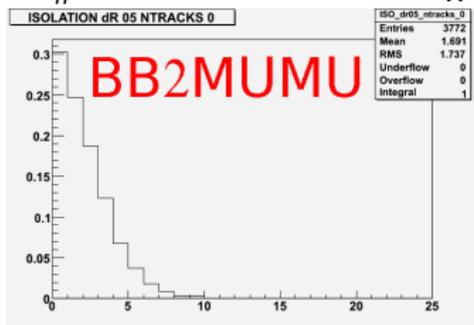
Recherche de variables pour discriminer le signal des bruits de fonds $b\bar{b}$ (faible statistique, grosse production en cours) par exemple, le nombre de traces II



Remarques

- Résultats préliminaires, variables en cours d'études
- Muons proches et éloignés étudiés séparément dans un proche futur ...

Signal : # traces dans un cône $\Delta_R = 0.5$



Conclusions (préliminaires) sur cette partie

- Validation des résultats de l'**AN 2005/040** avec les logiciels de CMS actuel (CMSSW)
- Travail en cours pour maîtriser les bruits de fonds $b\bar{b}$ (production d'une grande statistique)
- Travail à terme visant à optimiser la sélection (sans toucher aux photons) afin de réduire suffisamment les bruits de fonds permettant une extraction précoce de l'échelle d'énergie des γ (à $L \sim 100\text{pb}^{-1}$)

Plan du séminaire

- 1 Présentation générale
 - Présentation du contexte scientifique au LHC
 - Présentation de l'expérience CMS
 - Aller au delà du modèle standard
- 2 Mon travail de thèse
 - Présentation et intérêt de mon sujet de recherche
 - Mon travail actuel, la sélection des évènements $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$
- 3 Résumé et Perspectives

Résumé & Perspectives

Résumé de la présentation

Résumé du contexte

- Le LHC est un nouvel accélérateur dédié à la découverte de la « nouvelle physique » ... mais la concurrence avec le Tevatron à Chicago est rude (notamment pour la recherche du boson de Higgs),
- Le détecteur CMS est un détecteur de haute précision dont un des buts principaux est la découverte du boson de Higgs ... mais il n'est pas le seul en course : CDF & DO, ATLAS.

Résumé des travaux effectués

- Contribution à la calibration du détecteur CMS (partie ECAL) par l'étude des rapports de gains et de leur stabilité,
- Analyse sur les photons au niveau générateurs en vue de la création d'un mécanisme de veto anti-double-comptage,
- Travail sur le canal $Z \rightarrow \mu\mu\gamma$ pour permettre l'extraction de l'échelle d'énergie des photons y compris ceux pouvant provenir d'une désintégration d'un boson de Higgs.

Résumé & Perspectives

Perspectives

Travail actuel et futur : perspectives

- Fin et publication de l'étude sur le veto anti-double comptage des photons
- Extraction de l'échelle d'énergie des γ dans le calorimètre ECAL et validation des résultats obtenus pour le PTDR I.
- Contribution aux prises de données et aux études des premières données du LHC avec confrontation avec les données ... (ou pas)

Fin de la présentation

Ça y est, c'est fini!!!

Résumé & Perspectives

Perspectives

Travail actuel et futur : perspectives

- Fin et publication de l'étude sur le veto anti-double comptage des photons
- Extraction de l'échelle d'énergie des γ dans le calorimètre ECAL et validation des résultats obtenus pour le PTDR I.
- Contribution aux prises de données et aux études des premières données du LHC avec confrontation avec les données ... (ou pas)

Fin de la présentation

Ça y est, c'est fini!!!

Remerciements

J'aimerais remercier l'ensemble des auteurs des logiciels suivant qui m'ont permis de réaliser cette présentation :

- Le projet GNU et le noyau Linux, au sein des distributions Debian et Scientific Linux,
- L'ensemble de la chaîne de compilation T_EX / L^AT_EX 2_ε ainsi que le paquet Beamer pour cette présentation,
- Les éditeurs de texte Vim, Kile, Kwrite, Mousepad et Gedit pour m'avoir simplifié la vie,
- Les éditeurs graphiques GIMP et INKSCAPE pour leurs aspects pratiques,
- Les environnements de bureau XFCE et GNOME pour leur convivialité,
- Et enfin, tous les autres outils que j'utilise si souvent qu'ils finissent par se faire oublier et notamment les shell BASH, la chaîne de compilation GCC, ImageMagick et le fameux OpenSSH que l'on ne présente plus ...

Par ailleurs, j'aimerais aussi remercier les équipes qui développent les outils que j'utilise mais également certaines autres personnes :

Les équipes des générateurs d'évènements :

- ALPGEN,
- MADGRAPH,
- et PYTHIA.

Enfin, j'aimerais remercier :

- Les divers équipes de l'IPNL et du CCAL,
- Les doctorants de l'Institut (et les autres),
- et enfin Suzanne GASCON-SHOTKIN.

Licence de ce document

Licence du document

Ce travail est sous licence GFDL ou licence *GNU Free Documentation Licence*.

<http://www.gnu.org/licenses/fdl.html>

<http://cesarx.free.fr/gfdlf.html>

traduction (non officielle) en français

Notez que cette présentation ne possède

- pas de section inaltérable
- pas de texte de première page de couverture
- pas de texte de dernière page de couverture