



Soutenance du stage de pré-thèse

Les évènements top en multileptons - avec un J/ψ dans l'état final - dans l'expérience ATLAS

Timothée Theveneaux-Pelzer

Master 2 Noyaux, Particules, Astroparticules et Cosmologie - Université Pierre et Marie Curie

19 *Juin* 2009

Laboratoire de Physique Nucléaire et des Hautes Energies
responsable : Frédéric Derue



1 ATLAS

- Le LHC
- Objectifs
- Le détecteur

2 Le quark top

- Intérêt
- Production et désintégration
- Event display

3 Identification des objets

- Différents types d'objets
- Identification des électrons
- Identification des jets

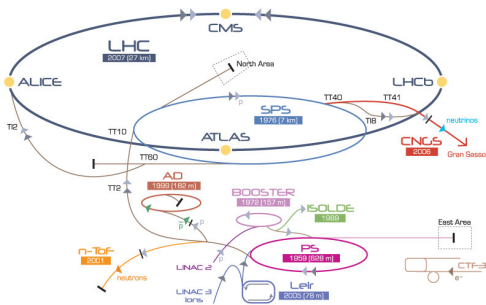
4 Sélection d'évènements top

- Topologie des évènements étudiés
- Mise en œuvre de la sélection
- Résultats



Le LHC

CERN Accelerator Complex



▶ p (proton) ▶ ion ▶ neutrons ▶ \bar{p} (antiproton) ↔ proton/antiproton conversion ▶ neutrinos ▶ electron

LHC Large Hadron Collider SPS Super Proton Synchrotron PS Proton Synchrotron

AD Antiproton Decelerator CTF-3 Clic Test Facility CNGS CERN Neutrinos to Gran Sasso ISOLDE Isotope Separator On-Line DEvice

LEIR Low Energy Ion Ring LINAC LINear ACcelerator n-ToF Neutrons Time Of Flight

- Large Hadron Collider : collisionneur proton-proton de 27km de circonférence situé au CERN, à Genève
- quatre principaux détecteurs : ATLAS, CMS, LHCb et ALICE



Objectifs

- permettra d'accéder à l'échelle du TeV avec $\sqrt{s} = 14 \text{ TeV}$, $L = 10^{34} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$
- permettra de confirmer l'existence du boson de Higgs et d'apporter un éclairage sur la physique au delà du modèle standard
- démarrage à l'automne 2009 à $\sqrt{s} = 10 \text{ TeV}$, $L = 10^{31} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$, essentiellement pour des mesures sur le modèle standard

Accélérateur	\sqrt{s}	Luminosité
Tevatron (Run II)	1,96 TeV	$2,86 \cdot 10^{32} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
LHC (démarrage)	10 TeV	$10^{31} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
LHC (basse luminosité)	14 TeV	$10^{33} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$
LHC (haute luminosité)	14 TeV	$10^{34} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$



Le multi-détecteur ATLAS

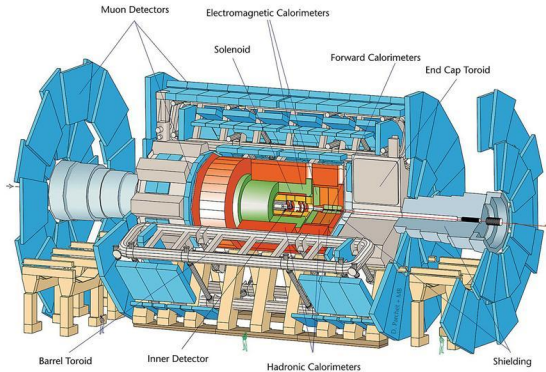
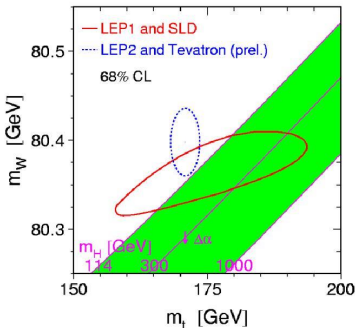


Schéma du détecteur ATLAS

- A Toroïdal LHC Apparatus
- 46m x 25n x 25m, 7000 t
- structure cylindrique autour de l'axe des faisceaux
- le LPNHE a participé à la construction du calorimètre électromagnétique



Le quark top et le modèle standard



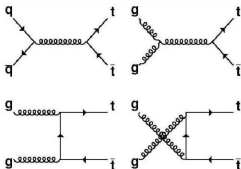
Correlation entre la masse du boson de Higgs et celle du top et du W.

- le top est la particule la plus massive découverte à ce jour : $m_t = 172,4 \pm 1,2 \text{ GeV}$
- il intervient de manière prépondérante dans les corrections radiatives de la masse du boson de Higgs
- elle pourrait être la seule particule plus massive que le boson de Higgs
- m_t est sensiblement égal à la valeur moyenne dans le vide du champ de Higgs $v/\sqrt{2} \simeq 174 \text{ GeV}$
- le top joue un rôle particulier dans de nombreux modèles au delà du modèle standard

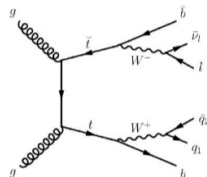


Production et désintégration

- le top est essentiellement produit par paires par interaction forte
- on attend au LHC environ 80 millions de paires par an à la luminosité nominale, 80 000 la première année
- il se désintègre par interaction faible : $t \rightarrow Wb$ à plus de 99%
- plusieurs topologies de l'état final sont possibles : hadronique (44%), semileptonique (44%) et dileptonique (12% dont 0.05% avec un J/ψ)



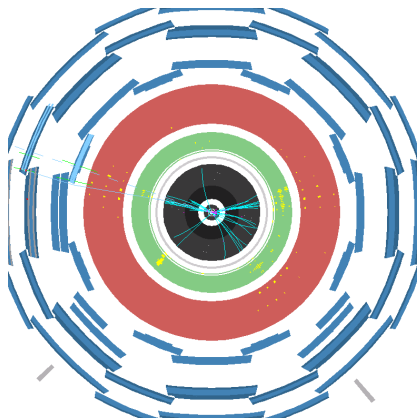
Modes de production de paires $t\bar{t}$: par fusion de quark (en haut à gauche) et par fusion de gluons (90% des paires produites au LHC).



Désintégration semileptonique d'une paire $t\bar{t}$.



Exemple d'évènement top



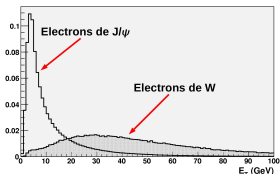
Event display d'un évènement $t\bar{t}$

- on représente le détecteur ATLAS en coupe transversale
- il s'agit d'un évènement $t\bar{t}$; l'un des W donne un électron, l'autre donne un muon
- on distingue les deux jets de b (dépôts dans les calorimètres), le muon (trace dans le détecteur interne et les spectromètres à muons) et l'électron (trace dans le détecteur interne et gerbe électromagnétique)

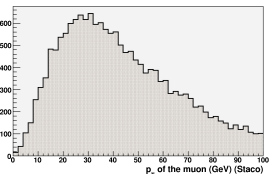


Différents types d'objets

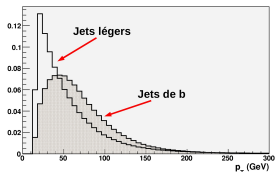
Différents types d'objets



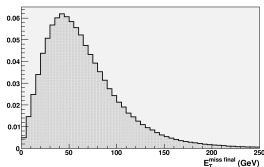
Distribution d'énergie transverse pour des électrons de W (en grisé) et de J/ψ .



Distribution d'impulsion transverse pour des muons.



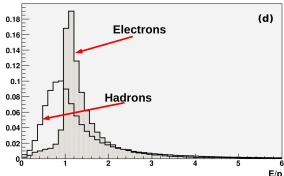
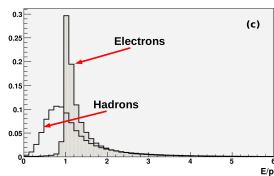
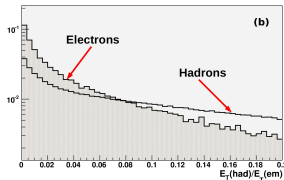
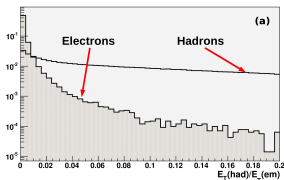
Distribution d'énergie transverse pour des jets de B (en grisé) et pour des jets légers.



Distribution d'énergie transverse manquante.



Variables de discrimination pour les électrons

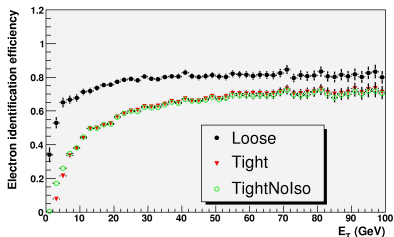


- on utilise de nombreuses variables pour distinguer les électrons des jets
- le profil de ces variable change selon le type d'électron (électron de W ou électron de b, "mou")

Fuite hadronique pour des électrons de W (a) et de b (b) et largeur de la gerbe pour des électrons de W (c) et de b (d) ; les distributions pour les électrons sont en grisé.



Efficacité d'identification des électrons



Efficacité de différentes sélections d'électrons en fonction de leur énergie, pour des électrons de W .

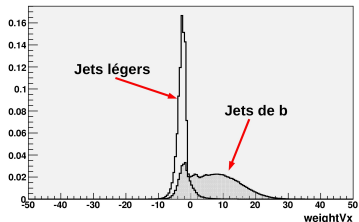
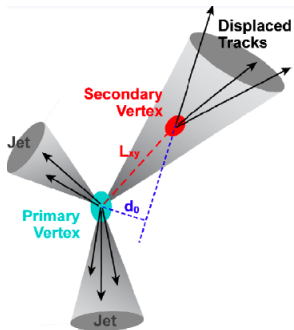
- on utilise des coupures sur ces nombreuses variables pour identifier les électrons
- on peut également les combiner entre elles pour calculer un rapport de fonctions de vraisemblance (optimisation pour les électrons non isolés)

Selection	électrons de W		électrons de J/Ψ	
	efficacité	pureté	efficacité	pureté
Loose (calorimètre)	78%	65%	51%	49%
Tight isolés (calorimètre+tracker)	66%	92%	20%	95%
Tight non isolés	66%	92%	30%	95%
vraisemblance (non isolés)	68%	75%	52%	86%



Identification des jets de b

- les jets de b sont associés à un vertex secondaire, à cause de la longue durée de vie des mésons B
- il existe une variable standard permettant d'identifier les jets de b en utilisant cette particularité (efficacité de 50% environ)



Distribution de la variable de b-tagging pour des jets de b et des jets légers.

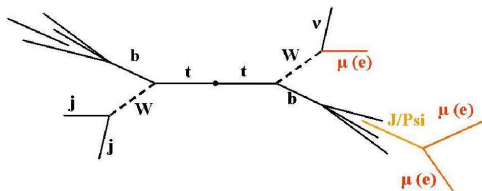


Topologie des évènements étudiés

- dans un premier temps on a étudié un lot $t\bar{t}$ contenant 450 000 évènements avec toutes les topologies possibles
- on a par la suite mis en œuvre une sélection d'évènements top avec un J/ψ dans l'état final sur un lot contenant des évènements $t\bar{t}$ où l'un des W donne deux jets, l'autre un muon et un neutrino ; l'un des b donne un J/ψ qui se désintègre en deux électrons
- le rapport d'embranchement est très faible ($5,5 \cdot 10^{-4}$), néanmoins il est possible de mesurer la masse du top grâce à ce canal ; la masse du top est corrélée à la masse invariante du système de 3 leptons
- c'est aussi une introduction aux électrons non isolés - les J/ψ seront produits de manière directe en grand nombre - et au b-tagging



Sélection

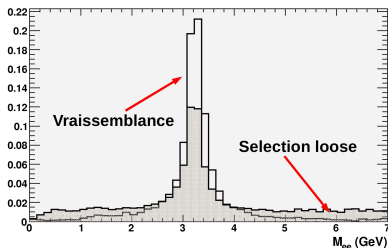


Graphes de Feynmann d'un évènement $t\bar{t}$ semileptonique où l'un des jets de b donne un J/ψ .

- on ne garde que les évènements ayant au moins 20 GeV d'énergie transverse manquante
- on ne garde que les muons reconstruits d'impulsion transverse supérieure à 20 GeV
- les jets de b sont identifiés grâce à la coupure sur la variable de b-tagging



Sélection des électrons

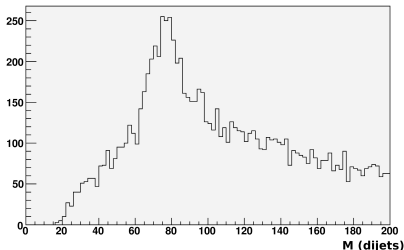


Spectre de masse invariante pour toutes les paires d'électrons reconstruits, en grisé pour les électrons loose, en clair pour les électrons identifiés avec le poids.

- les électrons pré-sélectionnés sont loose
 - sélection standard la moins sévère : environ 50% d'efficacité
- on a quelques candidats par événement ; on calcule la masse invariante des paires délectrons reconstruits et on garde la paire dont la masse invariante est dans une fenêtre autour de la masse du J/ψ
- l'efficacité de reconstruction des J/ψ est d'environ 27 % ; on gagne en pureté avec le poids par rapport à la sélection loose (99% contre 76%)



Sélection des jets



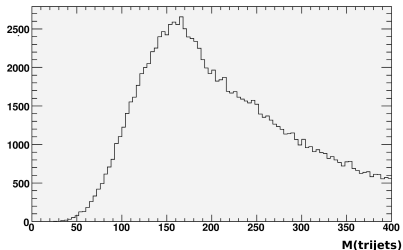
Spectre de masse invariante pour toutes les paires de jets légers reconstruits.

- on regarde tous les candidats jets reconstruits par l'algorithme standard
- ceux qui ne passent pas la coupure de la variable de b-tagging sont considérés comme jets légers
- on a une efficacité d'environ 50% pour un jet de b, soit 25% pour deux jets de b
- on garde la paire de jets légers dont la masse invariante est dans une fenêtre autour de la masse du W



Résultats(1)

- La masse invariante du système de trois jets permet de mesurer la masse du top
- l'efficacité totale de sélection des évènement est de l'ordre de 1% ; la pureté de l'ordre de 20% pour une sélection loose sur les électrons, et de 31% avec le poids
- on attend environ 4500 évènements de ce type pour $10fb^{-1}$ de données - soit une année de fonctionnement à haute luminosité

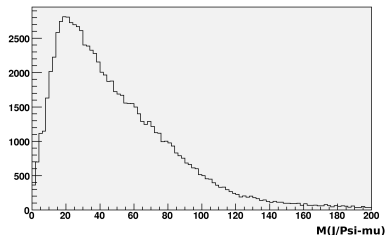


Masse invariante des combinaisons de 3 jets. On n'a pas appliqué de sélection. On devine le pic du top.



Résultats(2)

- on peut montrer que la masse du top est corrélée à la masse invariante du système de 3 leptons ($J/\psi-\mu$)
- l'efficacité est de l'ordre de 18%, avec une pureté de 73% pour des électrons loose, et 99% avec la vraisemblance
- on n'a pas étudié en détail les différents bruits de fond (mauvais appariement des jets et des leptons, QCD, production directe de $J/\psi\dots$)



Masse invariante des combinaisons de 3 leptons (sélection loose). La masse du système $J/\psi-\mu$ est corrélée à celle du top.



Conclusion

- ce stage m'a permis d'avoir un premier contact avec le travail de recherche sur ATLAS
- une certaine part de travail bibliographique fut nécessaire à la compréhension du sujet et des outils
- ce stage fut l'occasion de comprendre le fonctionnement du calorimètre électromagnétique sur lequel je devrais travailler pendant la thèse ; on s'est attardé sur l'identification des électrons (variables de discrimination, efficacité des différentes sélections)
- l'étude des événements $t\bar{t}$ avec un J/ψ a permis d'aborder diverses techniques de sélection (jets de b et électrons non isolés)
- 4 jours de conférence au CERN m'ont permis d'appréhender la complexité du sujet
- le sujet de thèse est "Mesure de la section efficace de production de paires de quarks top dans les canaux multileptons dans l'expérience ATLAS"



Remerciements

- Frédéric Derue, mon responsable de stage et futur directeur de thèse
- Philippe Schwemling, chef du groupe ATLAS
- Didier Lacour pour ses explications sur le fonctionnement du calorimètre électromagnétique
- Sandro de Cecco pour ses présentations, notamment sur la reconstruction des jets
- Lydia Roos pour son soutien au début du stage
- les différents membres du personnel technique et administratif

