

# ULB - Service de Physique des Particules

## Sujets de mémoire et de stage pour l'année académique 2016-2017

July 14, 2016

### Le service de physique des particules

**Membres du service:** Juan Antonio Aguilar Sanchez, Barbara Clerbaux, Gilles De Lentdecker, Laurent Favart, Pascal Vanlaer, Yifan Yang

**Adresse:** IIHE, Campus Plaine, CP 230, Bâtiment G de la VUB, niveaux 0 et 1

**Secrétariat:** A. Terrier, [audrey.terrier@ulb.ac.be](mailto:audrey.terrier@ulb.ac.be), tél. : 02/629.32.02, fax: 02/629.38.16

**Page web du service:** <http://w3.iihe.ac.be/>

Les sujets proposés peuvent en général être pris par plusieurs étudiants. Les étudiants sont encouragés à discuter avec les personnes de contact pour plus d'information sur les sujets, et sur l'organisation pratique des stages de BA3 et de MA1, ou encore du mémoire.

Le service de physique des particules participe à deux grandes expériences: CMS au CERN (Genève) et IceCube au Pôle Sud, ainsi qu'à des développements R&D (Recherche et Développement) dans les technologies de pointe appliquées aux détecteurs de particules et à l'acquisition des données. Pour information, le CERN et DESY (Hambourg) organisent des stages d'été de 8 à 13 semaines durant les mois de juillet et août pour les étudiants ayant suivi au minimum 3 années d'étude universitaire (la date limite pour postuler étant généralement fin janvier pour l'été qui suit). Ces stages peuvent être valorisés dans le cadre du cursus universitaire.

Grâce à un accord de collaboration en physique des particules entre les Universités de Beihang (Chine, Pékin) et l'ULB, le service offre la possibilité aux étudiants de MA2 d'effectuer un séjour en Chine (Pékin) de plusieurs mois dans le cadre de leur mémoire. L'étudiant fera son travail de mémoire au sein d'une équipe dirigée par le Prof. Chengping SHEN. Le travail de recherche et la rédaction du mémoire seront en anglais. Les sujets proposés sont indiqués à la fin de ce document.

## EXPERIENCE ICECUBE - télescope à neutrinos

Contact: Juan Antonio Aguilar Sanchez (Juan.Antonio.Aguilar.Sanchez@ulb.ac.be)

Le détecteur IceCube est un télescope à neutrinos enfoui dans la glace de l'antarctique. Les neutrinos sont détectés par la mise en évidence des leptons (muons, électrons et taus) émis lors de leur interaction avec la matière de la glace ou de la terre. IceCube est une collaboration internationale regroupant plus de 300 physiciens et ingénieurs issus de laboratoires américains, européens et asiatiques. L'étude des neutrinos d'origine galactique et extra galactique ouvre un nouveau champ d'investigation dans le domaine cosmologique (recherche de la matière noire, mécanisme d'accélération des rayons cosmiques, information sur les noyaux actifs des galaxies, rayonnement des trous noirs, tests de modèles cosmologiques, dimensions supplémentaires...). Depuis décembre 2010, le détecteur fonctionne avec 86 lignes d'instrumentation déployées dans la glace.

### Analyse des données IceCube :

- **Recherche de neutrinos venant du plan galactique:** A l'IIHE, nous recherchons des neutrinos émis à partir de régions étendues. Les implications dans les analyses de la détection de la composante neutrinos diffus provenant des interactions des rayons cosmiques dans le plan galactique sont encore à évaluer. Le travail proposé consiste à modifier le programme d'analyse et à introduire la simulation du signal qui imite l'émission de ces neutrinos du plan galactique.
- **Optimization des algorithmes de reconstruction des muons:** Les algorithmes de reconstruction des muons dans IceCube sont très importants car la grande quantité des événements de bruit de fond provient de muons atmosphériques. La reconstruction des muons est aussi essentielle pour la recherche de sources ponctuelles de neutrinos. Quelques-uns de ces algorithmes de reconstruction devraient être optimisés pour la géométrie actuelle du détecteur IceCube.
- **Le méthode de corrélation de deux points:** Le méthode de corrélation de 2 points est une technique statistique pour la recherche de structures dans un fond, apparemment uniforme. Il existe une méthode très simple mais aussi très robuste et indépendante du modèle. Pour cette raison, cette méthode est utile pour rechercher des anisotropies et des structures que d'autres techniques plus sophistiquées pourraient ne pas trouver.
- **Matière noire:** A l'IIHE, nous sommes aussi impliqués dans la recherche de la matière noire avec le détecteur IceCube. En particulier, nous cherchons des neutrinos qui proviennent de l'annihilation de la matière noire au centre de la terre. Le travail consiste à développer les critères de sélection des événements qui seront utilisés dans cette analyse.
- **Recherche de coïncidences entre neutrinos et rayons gamma:** Une autre stratégie utilisée pour la recherche de sources de neutrinos consiste à rechercher des coïncidences entre observation de neutrinos et observation de "fusées éclairantes" vues dans d'autres messagers, par exemple, avec les rayons gamma. Pour cette recherche un ensemble de courbes de lumière (photons en fonction du temps) du satellite Fermi-LAT devra être créé. L'étudiant apprendra à utiliser les outils d'analyse de Fermi et produira les courbes de lumière corrigées par le spectre mesuré par Fermi.
- **Une nouvelle technique RADAR pour la détection de neutrinos** La technique Radar consiste à observer des neutrinos en utilisant des signaux radios qui vont réfléchir dans le plasma généré par les interactions des neutrinos dans la glace de l'antarctique. Cette technique est encore en phase de viabilité. On propose d'étudier la sensibilité aux neutrinos de haute énergie avec la simulation et l'optimisation de différentes géométries d'un détecteur Radar.

## EXPERIENCE CMS - interactions proton-proton

Contacts: B. Clerbaux (bclerbau@ulb.ac.be), L. Favart (lfavart@ulb.ac.be), P. Vanlaer (pvanlaer@ulb.ac.be)

Les sujets de stages et mémoires portent essentiellement sur l'analyse des données du Grand Collisionneur de Hadrons, le LHC au CERN à Genève, à une énergie de 13 TeV dans le centre de masse proton-proton, qui sont récoltées par l'expérience CMS (Compact Muon Solenoid) depuis juin 2015. Le travail de l'étudiant s'intégrera directement dans les recherches du groupe CMS de l'ULB. Les sujets de recherche décrits ci-dessous sont proposés aussi bien pour un travail de mémoire que comme sujet de stage. Dans ce dernier cas, une partie du travail proposé sera effectuée. Suite à l'actualité, d'autres sujets peuvent être proposés au sein de l'expérience CMS. Nous encourageons les étudiants intéressés à prendre contact avec les membres du service.

- Depuis la découverte au LHC du boson scalaire de Brout-Englert-Higgs à une masse de 125 GeV ( $H$ ), les recherches se concentrent sur l'étude des propriétés de la particule découverte. Plusieurs sujets sont proposés:

- **Etude du canal de désintégration  $H \rightarrow ZZ \rightarrow 4l$**

Ce canal est le plus clair pour la découverte et l'étude des propriétés du boson scalaire  $H$ , car toutes les particules de l'état final sont mesurées précisément. Après sélection des événements, le travail consistera en la mesure de la masse du boson  $H$  (ajustement du signal), et les propriétés (spin) du boson  $H$  seront extraites via l'étude des distributions angulaires des leptons. Les données de CMS récoltées à 13 TeV seront analysées.

- **Etude du canal de désintégration  $H \rightarrow \tau^+\tau^-$**

L'étude de ce canal permet de mesurer le couplage du boson scalaire aux fermions. Le projet consiste en la sélection des événements avec une paire de leptons  $\tau$ , en l'estimation des bruits de fond, et en l'optimisation des coupures. Les données à 13 TeV seront analysées. L'étude portera notamment dans le cas des canaux de désintégration hadronique du lepton  $\tau$  qui permettra la mesure des caractéristiques (spin) du boson scalaire  $H$ .

- **Etude de la production de paires de bosons  $H$  dans le canal  $HH \rightarrow ZZbb \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}bb$**

Le couplage triple des bosons  $H$  est un paramètre fondamental du Modèle Standard qui doit encore être mesuré. La mesure peut se faire à partir du processus de production de paires de bosons  $H$ . Nous proposons d'étudier, à l'aide de simulations et pour les prises de données futures du LHC, le potentiel du canal où un des bosons  $H$  se désintègre en une paire de bosons  $Z$  et l'autre, en une paire de quarks  $b$ . Il s'agira d'optimiser la sélection du signal par rapport aux bruits de fond dominants dus entre autres à la production d'une paire de quarks  $top$ , en exploitant si possible les propriétés du boson  $H$  (masse, spin).

- Malgré ses succès, le Modèle Standard ne peut répondre à une série de questions fondamentales. La recherche de nouvelle physique est une des priorités du LHC. Les sujets suivants ont pour cadre la recherche directe de nouvelles particules prédites par une série de modèles au-delà du Modèle Standard : soit de nouveaux bosons scalaires (par exemple modèle à deux doublets scalaires 2HDM ou SUSY), soit de nouveaux bosons de jauge (modèle de grande unification, modèle à dimensions supplémentaires). Trois sujets sont proposés.

- **Etude du canal  $H \rightarrow ZZ \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}$**

Malgré la récente découverte du boson scalaire léger, des extensions du secteur scalaire du Modèle Standard restent motivées théoriquement. Le canal  $H \rightarrow ZZ \rightarrow l^+l^-\nu\bar{\nu}$  est le plus sensible à la présence de nouveaux bosons scalaires massifs. Par une méthode originale explorée récemment, ce canal permet aussi de mesurer le temps de vie du boson scalaire léger. Les données récoltées à haute énergie (13 TeV) seront analysées.

- **Recherche de nouveau boson scalaire dans le canal diphoton :  $X \rightarrow \gamma\gamma$**

Lors de l'analyse des données récoltées en 2015, un excès localisé d'événements par rapport aux prédictions du Modèle Standard a été observé dans le spectre de masse invariante de 2 photons,  $X \rightarrow \gamma\gamma$ , pour une masse de l'ordre de 750 GeV. Cet excès est intrigant, car observé par les deux expériences CMS et ATLAS. Les données récoltées en 2016 seront analysées afin de confirmer ou d'infirmer un possible signal: sélection des événements et son optimisation, paramétrisation des bruits de fonds, et étude des modèles de nouvelle physique.

- **Recherche de nouvelles particules dans le canal diélectron à très haute énergie :  $Z' \rightarrow e^+e^-$**

Les données récoltées en 2016 seront analysées afin de rechercher de nouveaux bosons  $Z'$  massifs se désintégrant dans le canal diélectron. Leur recherche est considérée comme une des analyses phares de CMS. Le travail consistera en la sélection des événements intéressants, la mesure de l'efficacité de la reconstruction des électrons à haute énergie, ainsi qu'en l'étude des différents bruits de fonds.

- La nature de la matière noire (dark matter - DM) est une des grandes questions ouvertes en physique actuellement. Au LHC, les physiciens recherchent directement ou indirectement des nouvelles particules candidats matière noire (DM); deux sujets sont proposés:

- **Recherche directe de matière noire au LHC :  $q\bar{q} \rightarrow \chi\bar{\chi}$**

Au LHC, la recherche directe de DM se fait via l'annihilation d'une paire quark-antiquark en un pair de particules de DM:  $q\bar{q} \rightarrow \chi\bar{\chi}$ . Ce processus conduisant à un état final invisible par le détecteur, les recherches sont effectuées à l'aide des événements avec radiation dans l'état initial (ISR), appelés mono-X, X étant un gluon, un photon ou un boson électrofaible (W ou Z), conduisant à un état final avec une énergie transverse manquante importante. Le travail se concentrera sur les canaux mono-W/Z avec les états finals leptoniques. Ces canaux ont l'avantage d'avoir un faible bruit de fond du Modèle Standard. Le travail consistera en la mise au point de la sélection des événements et l'analyse des données à 13 TeV.

- **Boson scalaire  $H$  vers invisible (matière noire)**

Une autre possibilité est la recherche d'un signal via une interaction entre le boson scalaire et la DM. Le travail proposé consiste en la recherche d'événements où le boson scalaire  $H$  se désintègre en de nouvelles particules interagissant faiblement (DM), qui s'échappent du détecteur. Ici aussi, l'événement est identifié grâce à la présence d'un boson Z produit en association avec le boson scalaire H. La sélection des événements sera optimisée et les données à 13 TeV seront analysées.

- Le potentiel de découverte du LHC repose sur une connaissance approfondie de la dynamique engendrée par les interactions du Modèle Standard à haute énergie. Un groupe de l'ULB se concentre sur les aspects liés aux interactions fortes (QCD). Les sujets suivants sont proposés :

- **Etude des interactions fortes (QCD) à l'échelle du TeV**

Peu d'études sont encore disponibles sur les interactions forte à l'échelle du TeV, or c'est à cette échelle que la recherche de nouvelles résonnances est la plus prometteuse. Il est proposé d'étudier, dans ce domaine, les mécanismes de production *quark - quark*, *quark - gluon* et *gluon - gluon* donnant lieu à la production d'un boson Z accompagné de jets, sur base des données de CMS récoltées en 2015 et 2016.

- **Etude de la structure du proton**

En marge des données proton-proton ( $p - p$ ), le LHC fournit des collisions  $p - Pb$  et  $Pb - Pb$ . Les ions de plomb ayant une charge électrique élevée ( $Z = 82$ ), un facteur en  $Z^2$  favorise les interactions entre un photon émis par le  $Pb$  et l'autre faisceau (soit  $p$  soit  $Pb$ ). Par ce biais, on peut étudier les interactions  $\gamma - p$  ou  $\gamma - Pb$ , à très haute énergie, produisant exclusivement un méson vecteur. L'étude récente de ces processus très simples (comme  $\gamma - p \rightarrow J/\Psi p$ ) semblent montrer la présence d'une saturation de la densité de gluons dans le proton. La mesure de ces processus permet d'extraire des informations sur la structure 3D du proton (i.e. la localisation des quarks et des gluons dans le proton)

qui est actuellement très mal connue. Deux sujets sont proposés dans ce cadre :

- 1) étude de la production exclusive de méson rho:  $\gamma - Pb \rightarrow \rho Pb$  en utilisant les données  $Pb - Pb$  prises en 2012 ;
- 2) suivre la prise de données  $p - Pb$  prévue en décembre 2017 et y analyser de la production exclusive de  $J/\Psi$ , soit la réaction  $\gamma - p \rightarrow J/\Psi p$ .

## SUJETS D'INSTRUMENTATION

Contacts: J. Aguilar (Juan.Antonio.Aguilar.Sanchez@ulb.ac.be), G. De Lentdecker (gdelentd@ulb.ac.be), P. Vanlaer, pvanlaer@ulb.ac.be, Y. Yang (yyifan@ulb.ac.be)

L'institut IIHE a une longue tradition dans le R&D (Research and Development) en physique des particules, notamment dans le développement de nouvelles techniques pour les détecteurs de trace. Le groupe est aussi spécialisé dans le développement de systèmes d'acquisition utilisant des techniques de pointe, l'électronique digitale programmable (FPGAs).

- **Contribution à l'étude de détecteurs équipés de GEM pour les upgrades du spectromètre à muons de CMS**

Dans le cadre des upgrades (améliorations) de l'expérience CMS pour les phases de haute luminosité du LHC, nous étudions la possibilité d'installer des nouveaux détecteurs équipés de GEM (Gas Electron Multiplier) dans le spectromètre à muons. Durant l'hiver 2016-17, 8 détecteurs seront installés dans CMS. L'étudiant pourra participer à cette installation ainsi qu'aux réglages des détecteurs et en particulier de leur électronique digitale programmable (FPGA) dont l'ULB est responsable. Les toutes premières données enregistrées avec ces détecteurs dans CMS sont attendues pour Février-Mars 2017.

- **Détecteurs au silicium et reconstruction de traces - Upgrade du détecteur CMS**

Des détecteurs au silicium double couche sont prévus pour les 'upgrades' du détecteur de traces de CMS pour permettre de reconstruire les trajectoires des particules chargées des collisions proton-proton du LHC en temps réel, ce qui est impossible actuellement. Nous proposons d'étudier les performances des nouveaux prototypes de ces détecteurs et de les optimiser. Les données seront prises en rayonnement cosmique à l'IIHE et en faisceaux de particules auprès d'accélérateurs.

- **Etudes des photomultiplicateurs (PM) au Silicium : les SiPM**

Les SiPM sont des photodétecteurs qui ont plusieurs avantages par rapport aux PMTs traditionnels, mais souffrent d'un inconvénient: leur surface de détection est plus petite. Des études sont en cours afin d'augmenter la surface de collection des SiPMs en utilisant des matériaux fluorescents. Le travail consistera à simuler avec l'aide d'un programme optique (le programme "Zemax") les systèmes avec des matériaux fluorescents utilisés dans le cadre de panneaux solaires.

- **Mise au point d'un nouveau système d'acquisition de données pour la mesure du temps de vie du muon, avec des FPGAs**

Nous proposons de mettre au point un nouveau système d'acquisition de données pour l'expérience de mesure du temps de vie du muon, en utilisant les technologies modernes d'électronique digitale programmable: les FPGAs. Les FPGAs sont largement utilisés dans toutes les expériences de physique des particules et dans l'industrie de l'électronique embarquée.

## EXPERIENCES BES et BELLE - interactions électrons-positrons - en CHINE (PEKIN)

Contact: L. Favart lfavart@ulb.ac.be

Grâce à un accord de collaboration en physique des particules entre les Universités de Beihang (Chine, Pékin) et l'ULB, le service peut offrir la possibilité aux étudiants de MA2 d'effectuer un séjour en Chine

(Pékin) de plusieurs mois dans le cadre de leur mémoire. L'étudiant fera son travail de mémoire au sein d'une équipe dirigée par le Prof. Chengping SHEN. Le travail de recherche et la rédaction du mémoire seront en anglais. Deux sujets sont proposés.

- **Recherche de nouvelles particules hadroniques formées de 4 quarks dans l'expérience BESIII.**

En 2013, une nouvelle particule, la  $Z_c(3900)$ , a été découverte par la Collaboration BESIII au collisionneur  $e^+e^-$  BEPC (Pékin). Elle semble être constituée de 4 quarks (et non de 3 comme les baryons ou de 2 comme les mésons). Depuis, d'autres particules du même type ont été découvertes mais leur production est mal comprise dans le cadre de la Chromodynamique Quantique (QCD). Ce sujet de mémoire propose l'étude d'états liés  $H$  contenant, entre autres, une paire  $c\bar{c}$ , produits avec un photon :  $e^+e^- \rightarrow \gamma + H$ , où  $H = \eta_c, \chi_c, {}^1D_2$  à différents niveaux d'excitation. Le travail consistera en la mesure des sections efficaces sur base de données prises à des énergies dans le centre de masse de  $\sqrt{s} = 4.01, 4.26, 4.36$  et  $4.6$  GeV. Les mesures seront comparées aux prédictions théoriques (QCD non-relativiste).

- **Etude des transitions entre états hadroniques lourds dans l'expérience BELLE**

L'étude des transitions entre différents états hadroniques contenant des quarks lourds est un élément important pour la compréhension des interactions fortes dans le cadre de la QCD. En particulier les systèmes de quarkonia lourds (états liés quark-antiquark lourds) sont décrits avec succès dans une approche de QCD non-relativiste. La largeur de désintégration plus grande qu'attendue dans la transition du méson  $\Upsilon(5S) \rightarrow \Upsilon(mS)\pi^+\pi^-$  ( $m = 1, 2, 3$ ) fournit des informations supplémentaires. Nous proposons d'étudier la transition  $\Upsilon(5S) \rightarrow \chi_{bJ}(J = 0, 1, 2)\pi^+\pi^-\pi^0$  de façon similaire. Le processus  $e^+e^- \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0\chi_{bJ}$  sera étudié sur base des données prises par l'expérience BELLE sur le collisionneur  $e^+e^-$  KEK à Tsukuba au Japon. Le lot d'événements étudié correspond à une énergie dans le centre de masse de  $10.867$  GeV (c-à-d au pic du  $\Upsilon(5S)$ ), et à une luminosité intégrée de  $118 \text{ fb}^{-1}$ .