

Rapport de pré-thèse

Timothée Theveneaux-Pelzer

Université Pierre et Marie Curie
Master 2 NPAC

Résumé

Ce rapport a pour objet le stage de fin de master 2 spécialité Noyaux, Particules, Astroparticules et Cosmologie du 4 mai au 17 juin 2009 au Laboratoire de Physique Nucléaire et des Hautes Energies, encadré par Frédéric Derue. Le sujet de ce stage est “les événements top en multileptons dans ATLAS”. Il s’inscrit dans le cadre d’un projet de thèse dans le groupe ATLAS du LPNHE.

Table des matières

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introduction | 2 |
| 1.1 | Le LHC et ATLAS | 2 |
| 1.2 | Enjeux scientifiques | 2 |
| 2 | Présentation du laboratoire d’accueil | 3 |
| 2.1 | Le LPNHE | 3 |
| 2.2 | Le groupe ATLAS | 4 |
| 3 | Sujet du stage | 4 |
| 3.1 | Physique du quark top | 4 |
| 3.1.1 | Masse | 4 |
| 3.1.2 | Production | 4 |
| 3.1.3 | Désintégration | 5 |
| 3.2 | Les données ATLAS | 6 |
| 3.2.1 | Principe de la simulation | 6 |
| 3.2.2 | Reconstruction | 6 |
| 3.2.3 | Format des données | 7 |
| 3.2.4 | Identification des particules | 7 |
| 4 | Conclusion | 8 |
| 4.1 | Programme du stage | 8 |
| 4.2 | Perspectives | 9 |
| | Bibliographie commentée | 10 |
| A | Contenu d’un fichier de données simulées | 12 |
| B | Le LHC | 14 |
| C | Le détecteur ATLAS | 15 |
| | Liste des figures | 17 |
| | Liste des tableaux | 17 |

1 Introduction

1.1 Le LHC et ATLAS

Le Large Hadron Collider devrait commencer sa prise de données en octobre 2009. C'est un collisionneur proton-proton circulaire de 27 km de circonférence, situé dans le tunnel qui abrita le collisionneur $e^+ - e^-$ LEP jusqu'en 2000. Les collisions qui s'y produiront auront une énergie nominale de 14 TeV dans le référentiel du centre de masse, soit 7 fois plus que pour le collisionneur $p - \bar{p}$ Tevatron, à Fermilab (Chicago). Sa luminosité nominale sera de $10^{34} cm^2 s^{-1}$, contre $9.10^{31} cm^2 s^{-1}$ pour le Tevatron. Le LHC est donc le premier accélérateur capable d'étudier la physique de l'échelle du TeV .

Le LHC devait à l'origine entrer en service en 2005, mais différents problèmes ont eu pour conséquence de repousser la date de mise en service. Le LHC devrait donc prendre ses premières données à l'automne 2009, à une énergie de 10 TeV et à plus faible luminosité, tout de même 1000 fois plus faible que la luminosité nominale. Ces premières collisions permettront de bien caractériser la réponse des détecteurs (calibration, résolution, etc.) et d'étudier des processus standard (production de jets, de boson Z, de quarks top).

Les collisions auront lieu en 4 points de l'accélérateur, où seront placés 4 multi-détecteurs : ATLAS, CMS, ALICE et LHCb. Le détecteur LHCb est dédié à la physique des mésons B et étudiera notamment la violation de la symétrie CP. ALICE est consacré à l'étude de collisions d'ions plomb à 2,76 TeV par nucléon, ce qui apportera un éclairage essentiel sur le plasma de quark-gluons.

ATLAS et CMS sont deux détecteurs généralistes. Bien que leur conception soit radicalement différente, leurs objectifs de physique sont les mêmes. Ils seront les outils d'études de nombreux aspects de la physique des particules, que ce soit dans le cadre ou au delà du modèle standard. Plus de 1700 scientifiques issus de 37 pays participent à la collaboration ATLAS. L'acronyme ATLAS signifie "A Toroïdal LHC Apparatus".

Deux expériences plus petites complètent cette liste. TOTEM a pour objet la mesure de la section efficace d'interaction p-p près du détecteur CMS et LHCf l'étude des particules créées à petits angles par rapport aux faisceaux de protons.

1.2 Enjeux scientifiques

Un siècle de physique des hautes énergies a permis d'élaborer un modèle décrivant la matière et ses interactions de manière satisfaisante - à l'exception de la gravitation qui est négligeable aux échelles microscopiques (sauf dans des cas exotiques comme pour les trous noirs). Ce modèle appelé modèle standard contient 12 fermions élémentaires de spin 1/2 (6 quarks et 6 leptons) et leurs antiparticules, ainsi que des bosons de spin 1 qui sont les vecteurs des interaction électromagnétique, faible et forte (le γ , le Z^0 et les W^\pm , les 8 gluons respectivement). Les quarks et les leptons sont classés en trois générations, ou familles. La matière ordinaire est constituée de fermions de la première génération.

A chacune des trois interactions correspondent des symétries de jauge. Ces symétries forment pour chaque interaction un groupe de Lie : $U(1)$ pour l'interaction électromagnétique, $SU(2)$ pour l'interaction faible et $SU(3)$ pour l'interaction forte. Pour chaque interaction l'existence de bosons de spin 1 appelés bosons de jauge (autant que de générateurs du groupe correspondant) assure l'invariance de jauge du lagrangien du modèle standard, pour autant que ces bosons soient de masse nulle. On note que les interactions électromagnétique et faibles sont "mêlées" en une interaction électrofaible, le γ et le Z^0 sont des combinaisons linéaires du boson de jauge associé au groupe $U(1)$ et d'un des trois bosons de jauge associés au groupe $SU(2)$.

Or, les bosons de l'interaction faible Z^0 et W^\pm ont une masse non nulle. La symétrie électrofaible $U(1)_Y \otimes SU(2)_L$ est donc brisée, à moins d'introduire un champ supplémentaire de valeur moyenne dans le vide non nulle, correspondant à une particule scalaire appelée boson de Higgs. L'un des enjeux principaux du LHC et d'ATLAS en particulier est la découverte de ce boson de spin 0, véritable "chaînon manquant" du modèle (cf. fig. 1). D'autres faits restent inexplicables par ce modèle, c'est pourquoi des extensions du modèle standard sont envisageables, et seront étudiées au LHC.

D'autre part, en raison de sa grande luminosité et de l'énergie dans le centre de masse de ses collisions, le LHC sera un instrument privilégié pour l'étude de la physique du quark top. Cette particule

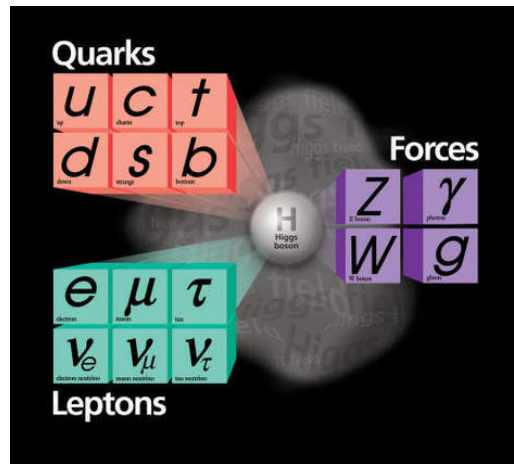


FIG. 1 – Les particules du modèle standard. Seul le boson de Higgs n’a pas encore été mis en évidence.

élémentaire est la plus massive connue. Sa masse est du même ordre de grandeur que l’échelle de brisure de la symétrie électrofaible, c’est pourquoi il joue un rôle particulier dans les différentes théories au delà du modèle standard. Par exemple dans les théories dites top-color, le boson de Higgs est remplacé par un état lié $t\bar{t}$. L’identification et l’analyse des évènements top constituera une part importante du travail de traitement des données devant aboutir à une meilleure compréhension de la physique.

2 Présentation du laboratoire d’accueil

2.1 Le LPNHE

Le Laboratoire de Physique Nucléaire et des Hautes Energies est situé sur le campus de Jussieu, dans le cinquième arrondissement de Paris. Il dépend des Universités Paris 6 (Pierre et Marie Curie) et Paris 7 (Denis Diderot) ainsi que du CNRS. Il fait partie de L’Institut National de Physique Nucléaire et de Physique des Particules (IN2P3) qui regroupe 21 laboratoires français, et de la Fédération de Recherche des Interactions Fondamentale qui regroupe outre le LPNHE le LPTHE et le LP-TENS.

Le LPNHE est un laboratoire de taille moyenne au sein de l’IN2P3. Ses effectifs se répartissent ainsi :

- Enseignants-chercheurs : 23 ;
- Chercheurs : 27 ;
- Ingénieurs en informatique, mécanique, électronique et personnels administratifs : 48 ;
- Postdoctorants : 10 ;
- Doctorants : 21.

Les sujets de recherche du LPNHE couvrent un large éventail de la physique des hautes énergies - à l’exception de la physique nucléaire. Les différents groupes de recherche sont :

- ATLAS (12 permanents, 2 post-docs/ATER, 4 doctorants) ;
- CDF (1 permanent, 1 post-doc/ATER) ;
- D0 (1 permanent, 2 post-docs/ATER, 2 doctorants) ;
- BABAR (5 permanents, 1 post-doc/ATER, 2 doctorants) ;
- LHCb (5 permanents) ;
- Physique théorique (3 permanents, 1 post-doc/ATER) ;
- Supernovæ et Cosmologie (13 permanents, 1 post-doc/ATER, 4 doctorants) ;
- HESS (5 permanents, 1 post-doc/ATER, 3 doctorants) ;
- AUGER (3 permanents, 1 post-doc/ATER, 1 doctorant) ;
- SimBioPhys (2 permanents).

La diversité des sujets de recherche au LPNHE a contribué à motiver le choix de ce laboratoire pour le stage et pour la thèse qui devrait lui faire suite.

2.2 Le groupe ATLAS

Le groupe ATLAS du LPNHE est un des deux gros groupes de recherche de ce laboratoire. Les principaux sujets d'étude sont le boson de Higgs, le quark top et le W.

Le groupe a participé à la construction du calorimètre électromagnétique d'ATLAS. Il est responsable d'une partie de l'électronique d'ATLAS (carte contrôleur des châssis d'électronique Front-End et lien série spécialisé SPAC qui configure depuis la salle de contrôle les cartes se trouvant dans chaque châssis Front-End). Il a également participé au montage du calorimètre central et des calorimètres bouchons.

Le groupe participe à l'effort de développement logiciel sur la reconstruction des informations du calorimètre électromagnétique (déclenchement puis mise en opération) et d'outils de reconstruction et d'identification des électrons et des photons. Il est fortement engagé dans la mise en place d'une fédération de nœuds de la grille de calcul pour les expériences LHC en Ile de France (la Grille au service de la Recherche en Ile de France). Cette nouvelle ressource décentralisée se veut complémentaire du Centre de Calcul de l'IN2P3. Le LPNHE abrite un centre de calcul et de stockage Tier2/Tier3.

En ce qui concerne les analyses de physique, le groupe est essentiellement focalisé sur la physique du modèle standard, une partie se concentrant notamment sur le boson de Higgs (canal $H \rightarrow \gamma\gamma$ essentiellement), une partie sur le quark top (masse, section efficace), une troisième sur le boson W (états de polarisation).

3 Sujet du stage

Le stage a pour sujet "les événements top en multileptons dans ATLAS". Il s'agit de se familiariser avec l'interface logicielle de traitement des données ATLAS à partir de données simulées. Outre la connaissance de la phénoménologie associée aux événements top, la compréhension du processus de simulation et de reconstruction est essentielle.

3.1 Physique du quark top

L'essentiel des connaissances sur le quark top provient des expériences CDF et D0 du collisionneur $p - \bar{p}$ Tevatron, premier collisionneur à dépasser le seuil de production. Le top y fut découvert en 1995, confirmant la pertinence du modèle standard.

3.1.1 Masse

D'après les dernières données du Tevatron la masse du top est $172,4 \pm 1,2 \text{ GeV}/c^2$ (cf. [7]), contre $4,20_{-0,07}^{+0,17} \text{ GeV}/c^2$ pour le plus lourd des autres quarks, le b. Le top est donc la plus massive des particules connues à ce jour. Notons que la masse du top est quasiment égale à la valeur moyenne dans le vide $v/\sqrt{2}$ du champ de Higgs avec $v \simeq 246 \text{ GeV}$. Nul ne sait à l'heure actuelle si cela est dû au hasard ou bien si cela est la signature d'un modèle plus général que le modèle standard. Toujours est-il qu'en raison de la proportionalité de la masse des fermions et de leur couplage au boson de Higgs, le top intervient de manière importante dans le calcul des corrections radiatives lorsque l'on cherche à prédire la masse du boson de Higgs à partir des paramètres du modèle standard.

3.1.2 Production

Le quark top sera produit essentiellement par interaction forte, sous forme de paires $t\bar{t}$. Cette production se fera principalement par fusion de gluons au LHC (cf. fig. 2) : ce type de processus représentera environ 90% du total de la production de paires $t\bar{t}$ (cf. [3], [5]).

Pour décrire correctement les interactions pp , il faut décrire le proton en termes de fonctions de densité de partons, ou PDF (cf. fig. 3). Chaque parton emporte une fraction x de l'impulsion du proton (7 TeV au LHC). Le seuil de production d'une paire de top est d'environ 350 GeV soit deux fois la masse du top. Les partons qui interagissent pour produire le top doivent avoir $x \simeq 350/14000 \simeq 0,025$. On peut voir que pour ce domaine de fraction d'impulsion ce sont les gluons qui dominent. La situation est inversée au Tevatron, où la fusion de quarks est prépondérante.

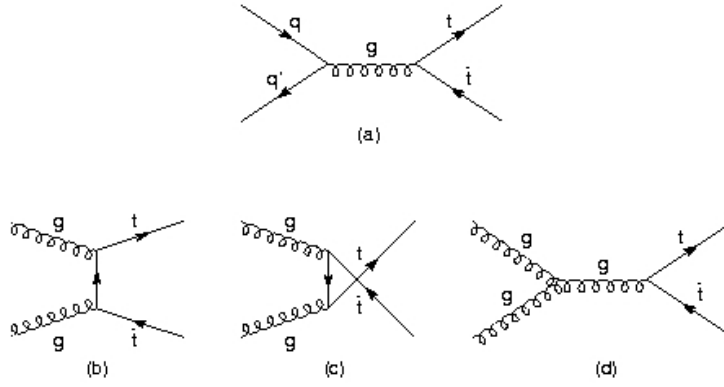


FIG. 2 – Canaux de production de paires de top. (a) : fusion de quarks. (b), (c) et (d) : fusion de gluons.

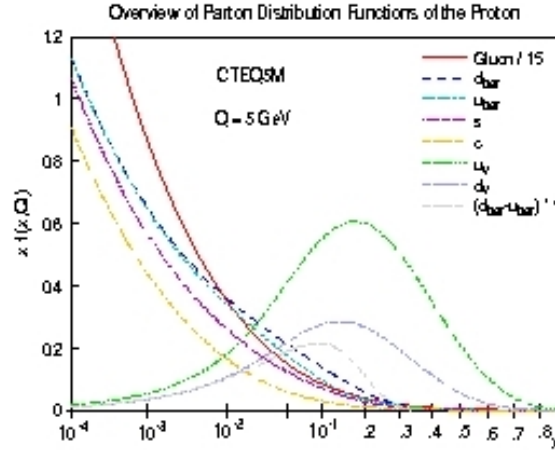


FIG. 3 – Fonctions de densité de partons dans le proton calculées par CTEQ5 pour $Q=5$ GeV. La courbe pour les gluons a été divisée par 15.

De tout ceci résulte que la section efficace de production de paires de top sera beaucoup plus élevée au LHC qu’au Tevatron. Les calculs donnent environ 800 pb au second ordre pour le LHC et 7 pb au troisième ordre pour le Tevatron (à $1,96 \text{ GeV}$ dans le référentiel du centre de masse). Le nombre de paires de top produites au LHC chaque année est de l’ordre de 80 millions à la luminosité nominale. Il est donc légitime de parler d’“usine à top”.

Il faut ajouter que la production de top célibataire par interaction faible a été observée récemment au Tevatron. Néanmoins il s’agit d’un processus rare, la section efficace de production calculée au second ordre pour le LHC est d’environ 300 pb .

3.1.3 Désintégration

Le top se désintègre par interaction faible. Il n’a pas le temps de s’hadroniser, contrairement aux cinq autres quarks. Il se désintègre donc à plus de 99% via : $t \rightarrow W b$ (les deux particules de l’état final sont sur leur couche de masse). Les quarks b s’hadronisent et forment des jets. L’identification des jets de b (b-tagging) est donc un enjeu important pour l’analyse des événements $t\bar{t}$. Les modes de désintégration des W et leurs rapports d’embranchements sont bien connus. Ils peuvent soit donner une paire de quarks qui donnent des jets (2/3 des cas environ) ou donner un lepton chargé et un neutrino (1/3 des cas).

On obtient 3 topologies pour les désintégrations des paires :

- complètement hadronique : les deux W donnent des jets, ce qui fait au moins 6 jets dont deux jets de b ; ce canal est toutefois difficile à exploiter en raison de l’important bruit de fond (4/9 des cas) ;

- di-leptonique : les deux W se désintègrent par voie leptonique ; on obtient deux jets de b , deux leptons chargés à haute impulsion transverse et de l'énergie manquante (1/9 des cas) :
- semi leptonique (cf. fig. 4) : un W se désintègre par voie hadronique, l'autre par voie leptonique ; on obtient au moins trois jets dont un jet de b , un lepton chargé de haute impulsion transverse et de l'énergie transverse manquante emportée par un neutrino dont on peut évaluer l'impulsion transverse (4/9 des cas).

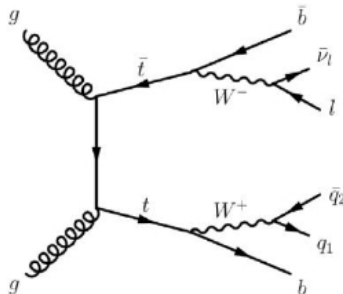


FIG. 4 – Désintégration d'une paire de top par voie semi-leptonique.

Dans la voie semi-leptonique, une possibilité intéressante est celle où la désintégration du W donne un quark c . Le rapport d'embranchement de $W \rightarrow c X$ est d'environ 1/3. Dans ce cas on peut avoir un J/ψ dans l'état final. Celui-ci se désintègre en 2 électrons dans 6 % des cas, et en 2 muons dans 6 % des cas (le reste du temps en hadrons). Le rapport d'embranchement finale est cependant très faible (environ 5.10^{-4}).

3.2 Les données ATLAS

Le LHC n'étant pas encore entré en service, les seules vraies données utilisées à ce jour dans la collaboration proviennent de tests en faisceaux et de rayons cosmiques. Au cours de ce stage seront utilisé des données provenant de simulations.

3.2.1 Principe de la simulation

Les évènements sont générés par un algorithme qui utilise une méthode Monte-Carlo. Cet algorithme reproduit le comportement statistique pour un ensemble d'évènements d'un type donné, par exemple la production d'une paire $t\bar{t}$ sans état final complètement hadronique (cf. 3.1.3). Ensuite, la simulation proprement dite prend en compte la réponse du détecteur pour chacun de ces évènements générés. Cette simulation utilise GEANT 4 qui simule le comportement de chaque particule entrante en prenant en compte tous les processus physiques possibles. De manière optionnelle on peut prendre en compte le pile-up (superposition de plusieurs évènements successifs) avant digitalisation du signal. On obtient ainsi des données du même type que les futures données réelles.

On peut alternativement utiliser l'algorithme de simulation rapide Altfast qui cherche le comportement statistique le plus probable des objets (méthode Monte-Carlo).

3.2.2 Reconstruction

La phase de reconstruction analyse les données brutes (RDO). Les signaux électroniques des éléments de détecteur sont traduits en points de mesure dans le détecteur de trace ou en dépôt d'énergie dans les cellules des calorimètres. Des algorithmes permettent alors de former des traces et des amas de cellules. On peut ainsi obtenir des informations utiles à l'estimation du type de la particule associée à chaque objet reconstruit.

On obtient un ensemble de paramètres physiques relatifs à chaque objet, comme les coordonnées spatiales, le quadrivecteur énergie-impulsion, l'énergie et l'impulsion transverse manquante. Le type de particule identifiée, de sa particule "mère" et "grand-mère" sont aussi connus puisque nous utilisons de la simulation.

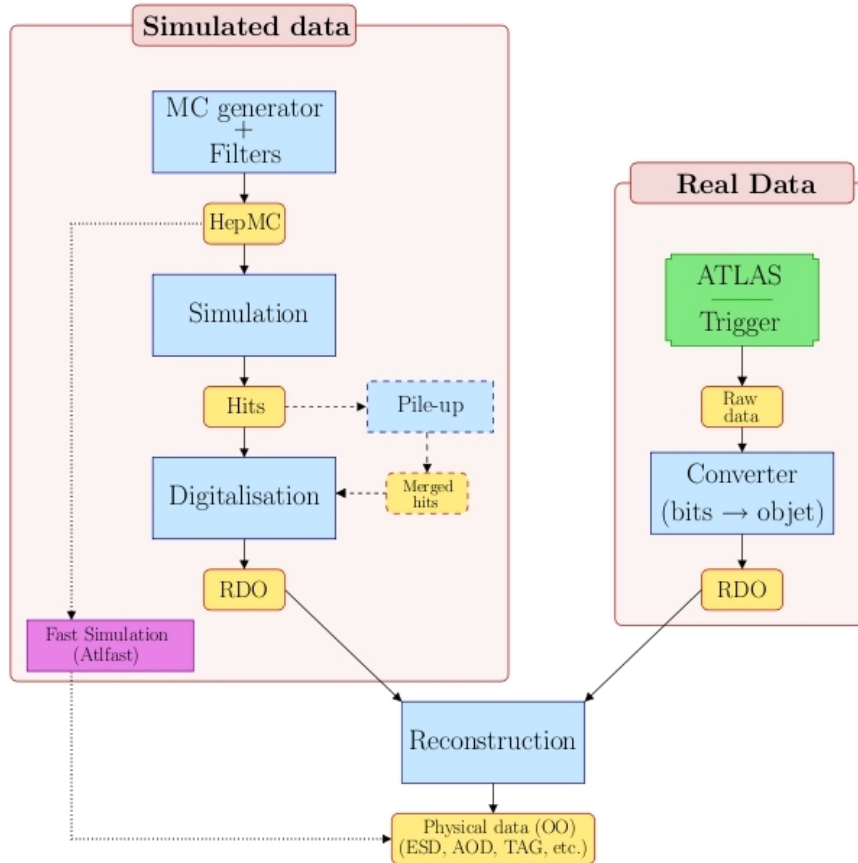


FIG. 5 – Principe de la simulation et de la reconstruction des évènements

3.2.3 Format des données

Les données sont issues d’une chaîne de traitement utilisant différents formats (cf. [4]). Après digitalisation on obtient des données brutes (Raw Data Object). La reconstruction se fait en deux étapes. On produit d’abord des ESD (Event Summary Data) puis des AOD (Analysis Object Data). Les ESD contiennent l’ensemble des informations de reconstruction et sont assez volumineux (environ 500 Ko par évènement), tandis que les AOD contiennent moins d’informations (environ 100 Ko par évènement) et sont utilisées plus facilement pour les analyses de physique. A partir des AOD sont produites enfin des DPD (Derived Physics Data) qui contiennent toutes les informations nécessaires aux analyses de physique et sont construits en ne conservant que des évènements avec une certaine topologie (par exemple des évènements avec au moins un électron).

Pendant le stage on utilisera des données de type DP3D. Il s’agit d’un format ROOT (cf. [8]) contenant des n-tuples et des histogrammes permettant l’analyse finale en dehors de l’environnement logiciel d’ATLAS. Chaque fichier ROOT contient un certain nombre d’arbres (TTree) contenant chacun plusieurs dizaines de feuilles (TLeaf), une pour chaque variable. Les fichiers contiennent un arbre pour chaque type d’objet : électron, muon, photon, jet. Chaque arbre contient les “vrais” paramètres, générés par Monte-Carlo (bloc de vérité Monte-Carlo) et les données reconstruites.

3.2.4 Identification des particules

On montre ici dans le cas des électrons - abordé au tout début du stage - comment un objet reconstruit peut être identifié à un type de particules.

Les particules sont identifiées grâce à des variables discriminantes, qui dans le cas des électrons caractérisent le développement des gerbes électromagnétiques dans le calorimètre et leur passage à travers le détecteur interne. On choisit un certain nombre de variables dont le comportement est supposé être différent selon la nature de l’objet physique. En mettant une coupure sur ces variables

on peut par exemple discriminer entre des électrons et des jets pour chaque candidat (cf. fig. 6).

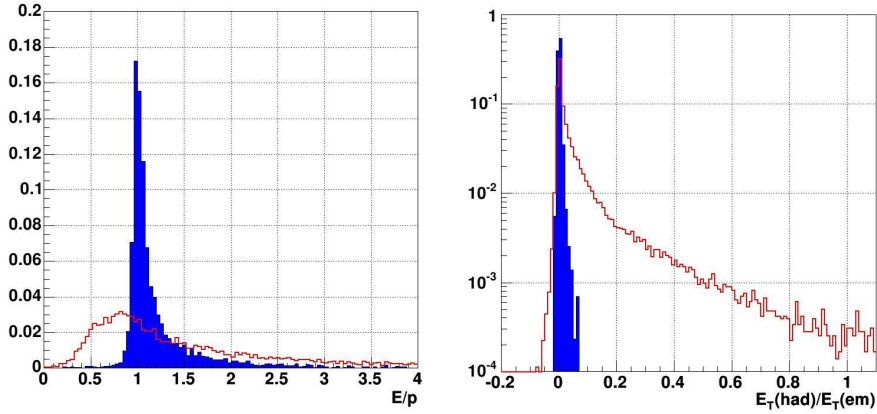


FIG. 6 – Exemple de variables de discrimination électron/jet (figures tirées de [4]). On a tracé pour des électrons (histogrammes hachurés) et pour des jets les distributions normalisées de deux variables de discrimination. A gauche : le rapport de l'énergie reconstruite dans le calorimètre et de l'impulsion reconstruite dans le trajectographe. A droite : fuites hadroniques, i. e. rapport de l'énergie transverse reconstruite dans le calorimètre électromagnétique et de celle reconstruite dans le calorimètre hadronique.

Pour évaluer la pertinence de ces coupures de manière quantitative on calcule l'efficacité d'identification qui est définie dans le cas des électrons comme le rapport du nombre d'électrons identifiés par le nombre d'électrons vrais (i.e. comptés à partir du bloc de vérité Monte-Carlo). On peut combiner différentes variables de discrimination. Au final on peut tracer l'efficacité d'identification en fonction de différents paramètres cinématiques (cf. fig. 7).

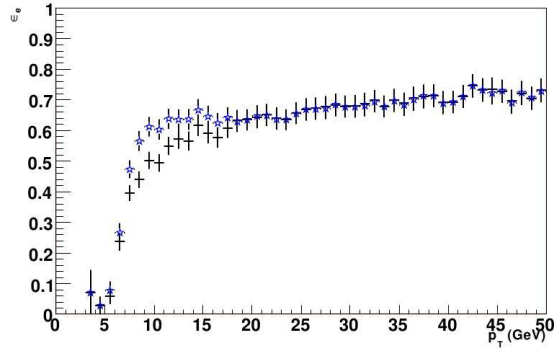


FIG. 7 – Efficacité d'identification d'un lot d'électrons d'énergie transverse 7-80 GeV en fonction de l'énergie transverse, pour deux types de coupures : standard (croix) et optimisée (étoiles) (figure tirée de [4]).

4 Conclusion

4.1 Programme du stage

Ce stage devrait permettre une bonne prise en main des outils logiciels de traitement des données de l'expérience ATLAS. Jusqu'ici on a utilisé des données électrons simulées pour des événements $t\bar{t}$ pour tracer quelques histogrammes et comprendre ce que sont les variables utilisées.

Dans la suite de ce stage on pourra mettre au point une chaîne de sélection d'évènements $t\bar{t}$ suivant la topologie des évènements. On a vu que l'on peut sélectionner des particules reconstruites et estimer l'efficacité de cette sélection. On a donné l'exemple des électrons (cf. fig. 6) mais on peut le faire également pour des muons ou pour des jets légers ou de quarks b. On étudiera le canal dilepton : $tt \rightarrow WbWb \rightarrow lljj + E_T$; on sélectionnera les évènements avec 2 électrons de haute énergie transverse (ceux des W), 2 jets de b et de l'énergie manquante. On étudiera également le canal "leptons + jets" avec le cas où un b donne un J/ψ qui donne 2 électrons de basse impulsion transverse ; on sélectionnera

donc les évènements avec 3 leptons dont 2 électrons “mous” plus 4 jets dont 2 jets de b, et de l’énergie manquante.

On s’intéressera au nombre typique d’évènements que l’on peut sélectionner pour chaque canal, aux bruits de fonds, et aux différences dans l’identification des électrons de W et de J/ψ .

Dans le cadre de ce stage je me rendrai au CERN avec plusieurs membres du groupe ATLAS du LPNHE lors d’une “physics and performance week” du 2 au 5 Juin 2009. J’assisterai à diverses réunions, ce qui me permettra de me familiariser d’avantage avec le fonctionnement de la collaboration ATLAS.

4.2 Perspectives

Ce stage s’inscrit dans un projet de thèse sur l’expérience ATLAS. Le sujet de la thèse proposé est “Mesure de la section efficace de production de paires de quarks top dans les canaux multileptons dans l’expérience Atlas”.

Certains aspects du futur travail de thèse seront abordés au cours du stage : la sélection d’évènements top, la reconstruction des électrons issus des W. L’étude des J/ψ permettra d’aborder la reconstruction d’électrons de basse impulsion transverse. Ceci est utile puisque les quarks b et c peuvent dans environ 20% des cas se désintégrer en un électron enchassé dans un jet. L’identification de ces électrons permet d’étiqueter les jets de b. Un algorithme de b-tagging est en cours de développement dans le groupe ATLAS du LPNHE et sera utilisé pour l’analyse des premières données, dans les évènements di-jets ainsi que dans les évènements top.

La perspective d’étudier ces différents aspects de la physique des particules expérimentale dans une équipe impliquée tant dans la construction du détecteur, que dans le schéma de calcul et que dans les analyses de physique ont motivé mon choix de thèse. Le démarrage du LHC en octobre de cette année me donnera l’opportunité de participer à l’analyse des premières données et à la compréhension du détecteur.

Bibliographie commentée

- [1] Florent FAYETTE “Strategies for precision measurements of the charge asymmetry of the W boson mass at the LHC within the ATLAS experiment” http://lpnhe-atlas.in2p3.fr/Atlas/Contacts/fayette/reports/fayette_thesis.pdf
Cette thèse sur la mesure de l’asymétrie de charge du boson W dans ATLAS a été soutenue en 2009. La première partie présente le sujet de la thèse. La deuxième partie présente le LHC et l’expérience ATLAS, décrit le détecteur ATLAS en insistant sur le détecteur de trace. La troisième partie explique la méthode de simulation des événements par la méthode Monte-Carlo et détaille les étapes de simulation, de reconstruction et d’analyse en insistant sur le format des données à chaque étape. La partie 4 est consacrée à la phénoménologie du boson W et la partie 5 à la méthode d’analyse et de réduction des erreurs systématiques.
- [2] Emmanuel BUSATO “Recherche de la production électrofaible du quark top dans le canal électron + jets dans l’expérience D0 auprès du Tevatron” [tel.archives-ouvertes.fr :tel-00009641_v1](http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00009641_v1)
Cette thèse soutenue en 2005 a pour sujet la production de quark top par interaction faible. La première partie est une synthèse sur le modèle standard et ses limites et sur la description des collisions $p\bar{p}$ (densités de partons etc.). La deuxième partie présente les bases de la physique du quark top : manifestations indirectes, découverte et mesure de sa masse, implications sur la masse du boson de Higgs, modes de production et de désintégration. La troisième partie présente le détecteur. Les parties 4 à 7 décrivent le processus de traitement des données (reconstruction des objets, impact du bruit, analyses de physique).
- [3] Bernardo RESENDE VAZ DE MELO XAVIER “Etude du quark top avec ATLAS au LHC. Mise en route du calorimètre électromagnétique” [tel.archives-ouvertes.fr :tel-00159908_v2](http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00159908_v2)
Cette thèse soutenue en 2007 a pour sujet le quark top dans ATLAS. La première partie présente les bases du modèle standard et ses limites. La deuxième partie est consacrée à la physique du quark top : production et désintégration, mesures de polarisation, implications éventuelle sur la nouvelle physique. La troisième partie décrit les différents éléments du multi-détecteur ATLAS. La quatrième partie est consacrée aux possibilités de découverte de nouvelle physique dans le secteur du quark top. Enfin la dernière partie décrit le travail de mise en route du calorimètre électromagnétique après avoir détaillé sa structure et son principe de fonctionnement.
- [4] Frédéric DERUE “Reconstruction et identification des électrons dans l’expérience ATLAS. Participation à la mise en place d’un Tier 2 de la grille de calcul.” [tel.archives-ouvertes.fr :tel-00265729_v1](http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00265729_v1)
Ce document est le mémoire présenté pour obtenir l’habilitation à diriger des recherches par Frédéric Derue (le responsable de ce stage). Il détaille de nombreux aspects phénoménologiques et technologiques sur l’expérience ATLAS, essentiellement concernant les électrons. La première partie présente l’expérience ATLAS en insistant sur le modèle de calcul d’ATLAS (environnement logiciel, formatage des données, structure de la grille de calcul) et présente le projet Grif (cf. 2.2). La deuxième traite des phénomènes qui auront pour signature la présence d’électrons : production de bosons W et Z, production de boson de Higgs, production de quarks b,c et t. La troisième partie est consacrée à la séparation électrons/jets : type de données utilisées, reconstruction, sélection et identification des électrons isolés. Cet aspect sera largement abordé durant le stage. La quatrième partie présente des travaux sur le J/ψ . La cinquième partie aborde la reconstruction des électrons dans les jets et l’étiquetage de jets par des électrons “mous” (i.e. de basse impulsion transverse), notamment dans le cas de jets de quarks b. La sixième partie expose des études sur le quark top, notamment sur la possibilité d’observer du signal $t\bar{t}$ dès le début de la prise de données, dans la phase de compréhension du détecteur. Enfin la septième partie aborde l’analyse de données provenant d’un test en faisceau en 2004.
- [5] ATLAS Collaboration, “Top Quark Physics”, in “Expected Performance of the ATLAS Experiment : Detector, Trigger and Physics” CERN-OPEN-2008-020, [arXiv :0901.0512](https://arxiv.org/abs/0901.0512)
Cette note est extraite du dernier “CSC book” de la collaboration ATLAS. Il s’agit d’une collection de notes sur les performances attendues du détecteur (trigger,tracking, électrons et photons, muons, taus, jets et énergie transverse manquante, b-tagging) et sur les différentes analyses de physique

(modèle standard, physique du top, physique des mésons B , boson de Higgs). Cette note présente les bases phénoménologiques de la physique du quark top, traite de la simulation des événements top par Monte Carlo, de la reconstruction des objets physiques et de l'estimation des erreurs systématiques.

- [6] ATLAS Collaboration, “Top Quark Properties”, [ibid.](#)

Cette note extraite du même “CSC book” de la collaboration ATLAS traite des propriétés du quark top - couplages dans le modèle standard, topologie et sélection des événements top - et de différents sujets d'investigation - méthodes de détermination de la charge électrique, polarisation et anomalies sur les couplages, désintégration par courant neutre changeant la saveur, résonnances $t\bar{t}$.

- [7] Tevatron Electroweak Working Group, “Combination of CDF and D0 Results on the Mass of the Top Quark”, [arXiv :0808.1089v1](#)

Cette article du 7 août 2008 présente les résultats les plus récents sur la masse du quark top. Il s'agit d'une combinaison des données des expériences CDF et D0 du Tevatron. Les données collectées proviennent des Runs I et II. La masse obtenue est : $172.4 \pm 0.7(\text{stat.}) \pm 1.0(\text{syst.}) \text{ GeV}$ soit $172.4 \pm 1.2 \text{ GeV}$. L'erreur relative sur la mesure est 0.7%. Les auteurs pensent pouvoir améliorer cette mesure avec l'ensemble des données qui seront collectées jusqu'à la fin de l'exploitation du Tevatron.

- [8] “ROOT Users Guide” <http://root.cern.ch/root/doc/RootDoc.html>

Le guide de l'utilisateur du logiciel ROOT est indispensable pour travailler avec des fichiers au format .root.

- [9] <http://www-lpnhep.in2p3.fr>

Le site web du LPNHE.

- [10] <http://lpnhe-atlas.in2p3.fr/Atlas/index.html>

Le site du groupe ATLAS du LPNHE. Présente les activités du groupe, ses responsabilités au sein de la collaboration ATLAS, ses membres.

A Contenu d'un fichier de données simulées

Ceci est la liste des variables contenues dans le TTree relatif aux objets de type électrons d'un fichier de données au format .root. Ce TTree est organisé par bloc de données (kinematics, position, energy, MC True quantities etc.).

Electron tree

```
* elec_nParticle : total number of electrons in the events
* elec_nSel : number of electrons selected in an output container (here "softe, loose")
* elec_nSelPtEta : number of electrons selected in an output container
  (here "softe, likelihood")
* elec_author : author algorithm
* elec_isele : iseleg=1 if electron have been put in the output container, 0 either
* elec_istrack : istrack=1 if there is a track match
* kinematics
  o elec_pt : pT of the 4-mom
  o elec_et ET of the cluster
  o elec_eta : eta of the 4-mom
  o elec_phi : phi of the 4-mom
  o elec_pt_trk : pT of the track
  o elec_eta_trk : eta of the track
  o elec_phi_trk : phi of the track
  o elec_eta_cl : eta of the cluster
  o elec_phi_cl : phi of the cluster
  o elec_charge : charge of the track
  o elec_etacorr : eta extrapolated to calo
  o elec_etap : eta after pointing corr
  o elec_zvertex : z-vertex from pointing
  o elec_errz : error on z-vertex from pointing
  o elec_depth : pointing depth
* position
  o elec_eta0 : eta in presampler
  o elec_phi0 : phi in presampler
  o elec_eta1 : eta in 1st sampling
  o elec_phi1 : phi in 1st sampling
  o elec_eta2 : eta in 2nd sampling
  o elec_phi2 : phi in 2nd sampling
  o elec_eta3 : eta in 3rd sampling
  o elec_phi3 : phi in 3rd sampling
* energy
  o elec_e0 : energy in presampler
  o elec_e1 : energy in 1st sampling
  o elec_e2 : energy in 2nd sampling
  o elec_e3 : energy in 3rd sampling
  o elec_ethad : ET in hadronic
  o elec_ethad1 : ET in 1st scintillator of hadronic
* isolated electron identification (from isolated-id)
  o elec_iseleg : Iseleg from cut-based selection
  o elec_weleg : Electron weight from likelihood selection
  o elec_wpieg : Pion weight from likelihood selection
  o elec_wtoteleg : Ratio of weight from likelihood selection
  o elec_hmatrixeg : H-matrix
  o elec_nneg : Neural network
```

- * non-isolated electron identification (from non-isolated-id)
 - o elec_isemse : IsemSE from cut based selection
 - o elec_wesele : Electron weight from likelihood selection
 - o elec_wpise : Pion weight from likelihood selection
 - o elec_wtotse : Ratio of weight from likelihood selection
 - o elec_hmatrixse : H-matrix
 - o elec_nnse : Neural network
- * container info
 - o elec_loose : 0 if enter loose container
 - o elec_medium : 0 if enter medium container
 - o elec_medium_noiso : 0 if enter medium noiso container
 - o elec_tight : 0 if enter tight container
 - o elec_tight_noiso : 0 if enter tight noiso container
 - o elec_tight_trtnoiso : 0 if enter tight TRTnoiso container
- * discriminating variables
 - o elec_hadleak : Hadronic leakage
 - o elec_reta37 : E237/E277
 - o elec_rphi33 : E233/E237
 - o elec_weta2 : width in 2nd sampling
 - o elec_f1 : fraction of energy in 1st sampling
 - o elec_f1core : fraction of energy in core of 1st sampling
 - o elec_weta1 : width in 3 strips
 - o elec_weta40 : width in 40 strips
 - o elec_fracs1 : fraction of energy outside the core
 - o elec_deltae : difference of energy between 2max and min
 - o elec_demax2 : parameterization of energy 2max
 - o elec_f3core : fraction of energy in core of 3rd sampling
 - o elec_pos7 : position match in 1st sampling
 - o elec_deta1 : difference in eta in 1st sampling
 - o elec_dphi2 : difference in phi in 2nd sampling
 - o elec_eoverp : E/p
- * isolation
 - o elec_etcone : ET in cone 0.45
 - o elec_etcone20 : ET in cone 0.2
 - o elec_etcone30 : ET in cone 0.3
 - o elec_etcone40 : ET in cone 0.4
- * track information
 - o elec_nBL : hits in b-layer
 - o elec_nPix : hits in pixels
 - o elec_nPixHoles : holes in pixels
 - o elec_nSCT : hits in SCT
 - o elec_nSCTHoles : holes in SCT
 - o elec_nTRT : hits in TRT
 - o elec_nTRTOut : hits in TRT with outliers
 - o elec_nTR : high threshold hits in TRT
 - o elec_nTROut : high threshold hits in TRT with outliers
 - o elec_fhtr : fraction of high threshold hits in TRT
 - o elec_fhtrout : fraction of high threshold hits in TRT with outliers
 - o elec_d0 : transverse impact parameter
 - o elec_d0Err : transverse impact parameter error
 - o elec_z0 : transverse position in z
 - o elec_z0Err : transverse position z error
 - o elec_vertexx : vertex position in x

- o elec_vertexy : vertex position in y
- o elec_vertexz : vertex position in z
- * conversion
 - o elec_convTrackMatch
 - o elec_convAngleMatch 1 if considered as conversion
- * brem-fit (calo)
 - o elec_bremInvpT : 1/pT estimate according EMBremFit
 - o elec_bremRadius : estimated brem radius (mm) [x-y plane]
 - o elec_bremX : EMBremfitted track impact in 2nd. sampling - cluster distance (mm) :
Delta phi(EMBremfitted track impact in 2nd. sampling, cluster)*bremClusterRadius
 - o elec_bremClusterRadius : cluster radius (mm) [x-y plane]
 - o elec_bremInvpTerr : error associated to 1/pT
- * brem fit (track)
 - o elec_brem_perigee_qOverP
 - o elec_brem_perigee_d0
 - o elec_brem_perigee_z0
 - o elec_brem_perigee_phi0
 - o elec_brem_perigee_theta
- * result of the egammaMCTruthClassifier
 - o elec_egmctruth_typeoftrack : type of track
 - o elec_egmctruth_originopart : type of the electron
- * track-truth matching
 - o elec_pid : pid of the true particle associated to the track
 - o elec_mpid : pid of the mother of the true particle associated to the track
 - o elec_gmpid : : pid of the grand mother of the true particle associated to the track
 - o elec_pttrue : pT of the true particle associated
 - o elec_ettrue : E of the true particle associated
 - o elec_nRes : number of good residuals
 - o elec_ptRatio : ratio of pT
- * MC True quantities
 - o elec_nTruth : number of MC true e
 - o elec_Truth_pt : pT of true e
 - o elec_Truth_eta : eta of true e
 - o elec_Truth_phi : phi of true e
 - o elec_Truth_mpid : pid of the mother of the true e
 - o elec_Truth_gmpid : pid of the grand mother of the true e
- * MC true match quantites
 - o elec_nTruthMatch : number of true muons which match a reconstructed electrons
 - o elec_TruthMatch_index : index of the reconstructed electron in the
reconstructed tree
 - o elec_TruthMatch_dR : distance dR between true and reconstructed electron
 - o elec_TruthMatch_pt : pT of true electron
 - o elec_TruthMatch_eta : eta of true electron
 - o elec_TruthMatch_phi : phi of true electron
 - o elec_TruthMatch_mpid : pid of the mother of the true electron
 - o elec_TruthMatch_gmpid : pid of the grand mother of the true electron

B Le LHC

Le LHC est un collisionneur $p-\bar{p}$ de 27 km de circonférence. Le tunnel de 4 m de diamètre est situé entre la France et la Suisse, à une profondeur d'environ 100m. Le LHC est le plus grand collisionneur jamais construit. Un total de 6 expériences auront lieu au LHC (cf. tab. 1).

CERN Accelerator Complex

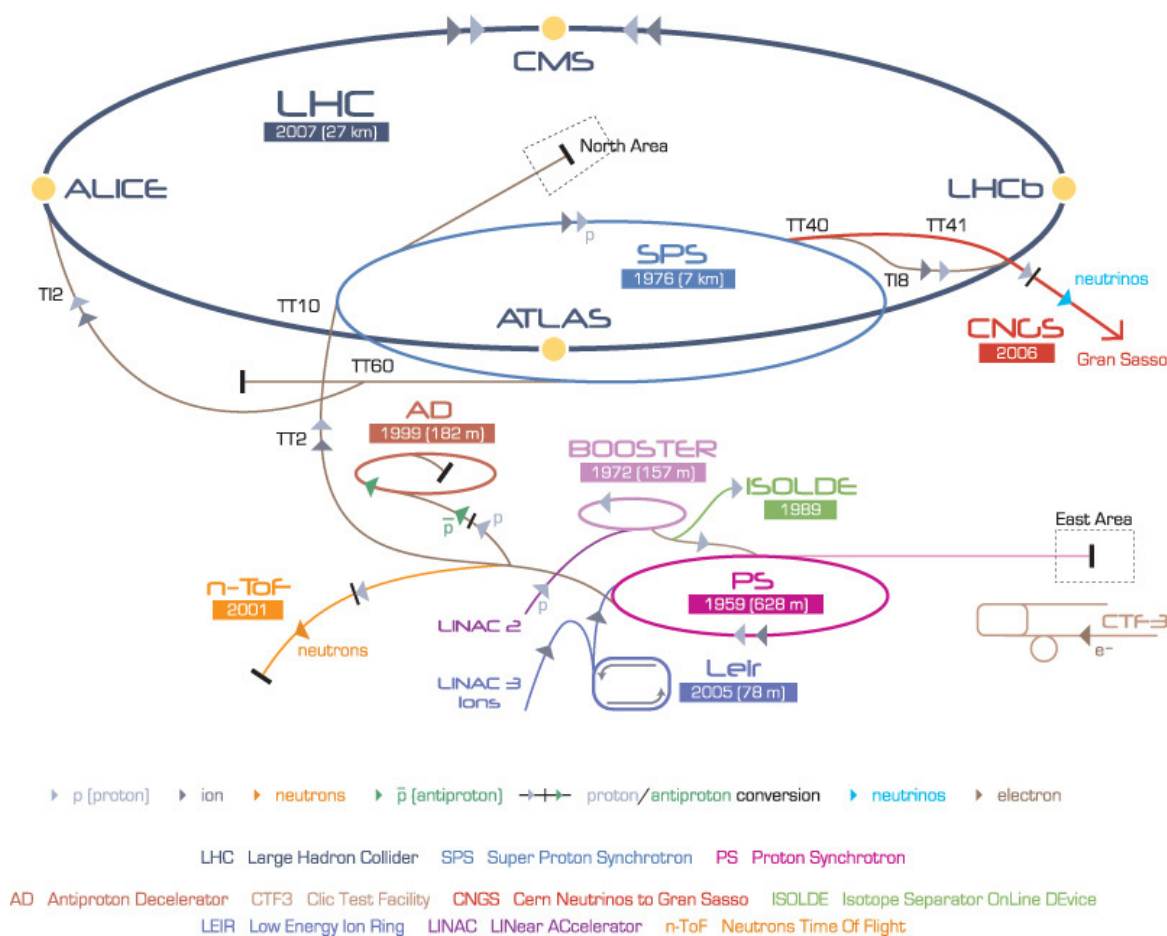


FIG. 8 – Schéma des accélérateurs du CERN, avec leurs dates de mise en service. Les protons circulant dans le LHC sont issus d'une chaîne d'accélération. D'autres expériences dans divers domaines de la physique des hautes énergies ont lieu au CERN.

| expérience | dimensions (Lxlxh) | poid | nombre de chercheurs |
|------------|------------------------|-----------|----------------------|
| ATLAS | 46m x 25m x 25m | 7 000 t | 1 700 |
| CMS | 21m x 15m x 15m | 12 500 t | 2 000 |
| ALICE | 26m x 16m x 16m | 10 000 t | 1 000 |
| LHCb | 21m x 13m x 10m | 5 600 t | 650 |
| TOTEM | 440m x 5m x 5m | 20 t | 50 |
| LHCf | 2x(30cm x 10cm x 80cm) | 2x(40 kg) | 22 |

TAB. 1 – Les 6 expériences du LHC.

C Le détecteur ATLAS

L'expérience ATLAS est la plus grande des 6 expériences du LHC. Le détecteur est organisé en couches cylindriques autour de l'axe du faisceau (cf. fig. 9). Au centre se trouve le détecteur de trace qui donne la position des particules chargées au cours du temps. La couche suivante est constituée du calorimètre électromagnétique, qui mesure l'énergie déposée par les particules chargées et par les photons. Puis vient le calorimètre hadronique qui fait de même avec les hadrons. Enfin les chambres à muons mesurent la position des muons au cours du temps.

Selon leur nature, les différentes particules sont détectées par différents éléments du détecteur (cf. fig. 10). Il est possible de combiner différents détecteurs pour analyser les différents objets. Par exemple

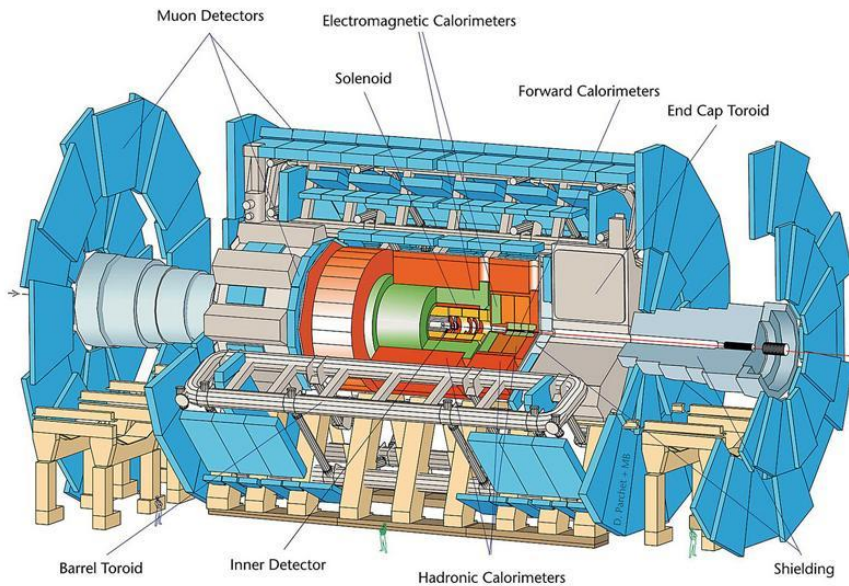


FIG. 9 – Schéma du multi-détecteur ATLAS. On distingue le détecteur de trace en jaune, le calorimètre électromagnétique en vert, le calorimètre hadronique en orange et les chambres à muons en bleu.

un dépôt d'énergie dans le calorimètre électromagnétique sera attribué à un électron si il est associé à une trace dans le trajectographe et à un photon en l'absence d'une telle trace. Les jets peuvent avoir une forte composante électromagnétique et déposer de l'énergie dans le calorimètre électromagnétique. Les muons laissent une trace dans le détecteur interne, dans les spectromètres à muons - sauf pour les muons pas assez énergétiques pour les atteindre - , mais déposent également un peu d'énergie dans le calorimètre. Enfin pour étiqueter les jets de b on a besoin en général de tous les détecteurs.

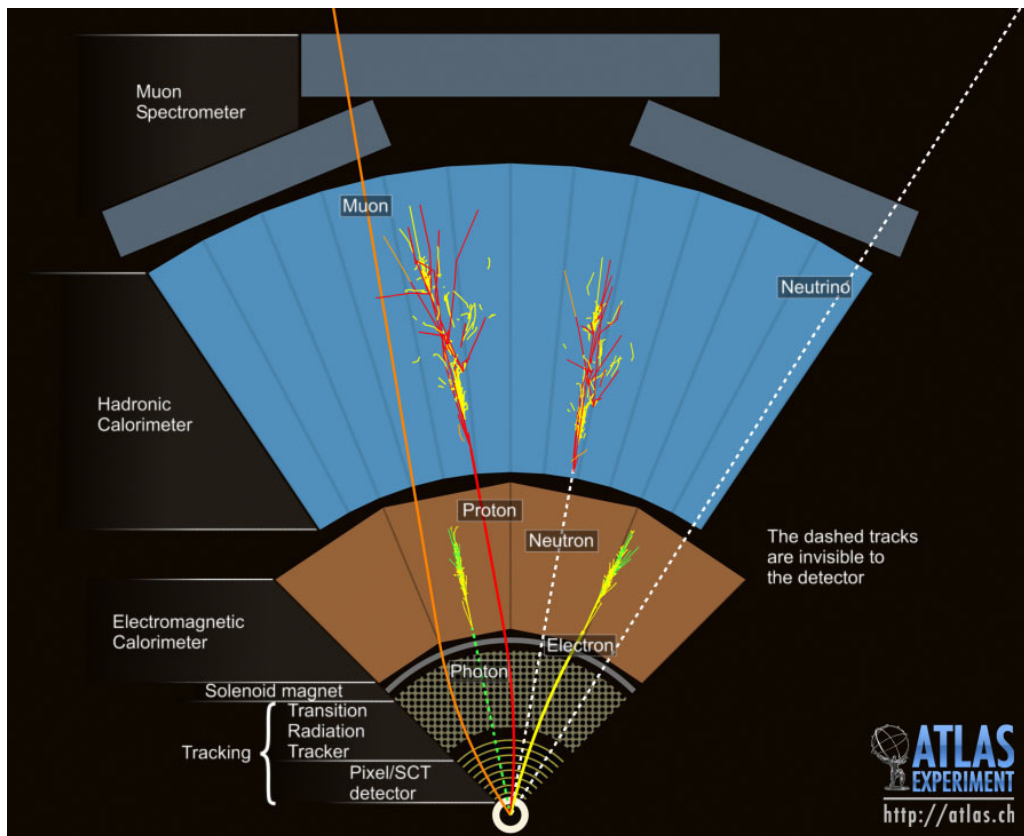


FIG. 10 – Représentation en coupe du détecteur ATLAS. Ce schéma montre de manière très simplifiée comment sont détectées les particules de différents types.

Liste des figures

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Le modèle standard | 3 |
| 2 | Canaux de production | 5 |
| 3 | PDFs dans le proton | 5 |
| 4 | Canaux de désintégration | 6 |
| 5 | Simulation et reconstruction | 7 |
| 6 | Variables de discrimination | 8 |
| 7 | Efficacité d'identification | 8 |
| 8 | Accélérateurs du CERN | 15 |
| 9 | ATLAS | 16 |
| 10 | Détection des particules dans ATLAS | 16 |

Liste des tableaux

| | | |
|---|-----------------------------------|----|
| 1 | Les 6 expériences du LHC. | 15 |
|---|-----------------------------------|----|