

Rapport de stage de L3

Morgane König

Université Pierre et Marie Curie
Licence 3 PM

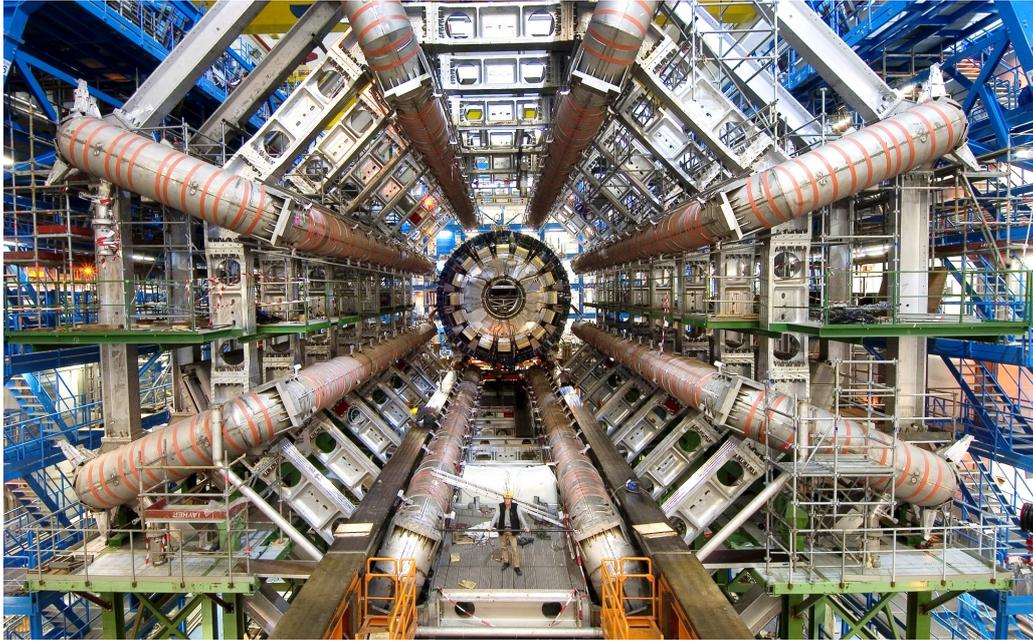


FIGURE 1 – Le détecteur ATLAS.

Table des matières

1	Présentation du laboratoire d'accueil	3
1.1	Le LPNHE	3
1.2	Le groupe ATLAS	3
2	Présentation du stage	4
2.1	Le LHC	4
2.2	ATLAS	5
2.2.1	Le détecteur interne	5
2.2.2	les calorimètres	6
2.2.3	Le spectromètre à muons	6
2.3	la physique du quark top	6
2.3.1	le Modèle Standard	6
2.3.2	Le quark top	7
3	Travail effectué pendant le stage	9
3.1	Etude préliminaire et mise en place	9
3.2	Présentation des données fournies	9
3.3	Traitement des données	12
3.4	Résultats et conclusion	15
4	Stage à Desy Zeuthen	19
4.1	Présentation de l'équipe d'accueil	19
4.2	Présentation du stage	19
4.3	La physique du détecteur de pixel en silicium	19
4.3.1	Le détecteur de pixel en silicium	19
4.3.2	Le montage de l'expérience	21
4.4	Travail effectué	21
4.4.1	Mise en route de l'expérience	21
4.4.2	Prise de données	22
4.4.3	Analyse des données	23
5	Conclusion	25
6	Remerciements	25

1 Présentation du laboratoire d'accueil

1.1 Le LPNHE

Le LPNHE , Laboratoire de Physique Nucléaires et des Hautes énergies situé sur le campus de Jussieu, est un laboratoire qui dépend de l'Institut National de Physique Nucléaire et de Physique de Particules (IN2P3), de l'institut du CNRS et des universités Paris 6 (Pierre et Marie Curie), et Paris 7 (Denis Diderot). Avec un effectif de 141 personnes, ce laboratoire se compose de 5 équipes de recherche, 3 services techniques (informatique, électronique, mécanique), et de 2 services de support (administration, logistique).

La branche de recherche du Laboratoire est constituée de 12 groupes de recherche :

- ATLAS
- CDF
- D0
- BABAR
- LHCB
- T2K
- Physique théorique
- Supernovae et cosmologie
- HESS
- AUGER
- SimBioPhys

Le laboratoire est engagé dans plusieurs grands projets expérimentaux, poursuivi dans le cadre de collaborations internationales auprès de grandes infrastructures de recherche du monde entier, centres d'accélérateur de particules et d'observation. Ces programmes couvrent les enjeux actuels de la physique des particules, de l'astrophysique et de la cosmologie.

1.2 Le groupe ATLAS

Le groupe ATLAS, est un des principaux groupes du LPNHE. Il regroupe une vingtaine de chercheurs permanents et 7 doctorants. Ce groupe s'intéresse surtout à la recherche du boson de Higgs , aux propriétés du quark top dans le canal dileptonique et à la caractérisation du bruit de fond dans le canal de désintégration du boson de Higgs en deux photons. Les travaux de recherche se basent principalement sur l'analyse des données enregistrées au LHC (Large Hadron Collider), sur l'expérience ATLAS. Le laboratoire a participé à la réalisation de certaines parties d'ATLAS en collaboration avec d'autres équipes.

2 Présentation du stage

Le stage a consisté en une analyse de données provenant de collisions hadroniques réalisées dans l'expérience ATLAS afin d'étudier la physique du quark top, plus précisément pour améliorer la mesure de sa masse.

2.1 Le LHC

Le LHC (Large Hadron Collider, ou Grand collisionneur de hadrons), est un accélérateur de particules du CERN situé à la frontière franco-suisse. C'est actuellement le plus puissant accélérateur de particules au monde. Plus précisément, cet accélérateur est un collisionneur proton-proton (d'où le terme de collisionneur de hadrons) à une énergie de 7 Tev. Initialement, l'énergie totale résultant de la collision de deux protons devait atteindre 14 Tev, mais des problèmes techniques ont conduit à repousser l'échéance à 2014. Le LHC est également utilisé pour accélérer des ions lourds comme le Plomb. Six accélérateurs dont quatre de très grande taille sont installés sur cet accélérateur à savoir ALICE, ATLAS, CMS, LHCb, LHCf et TOTEM.

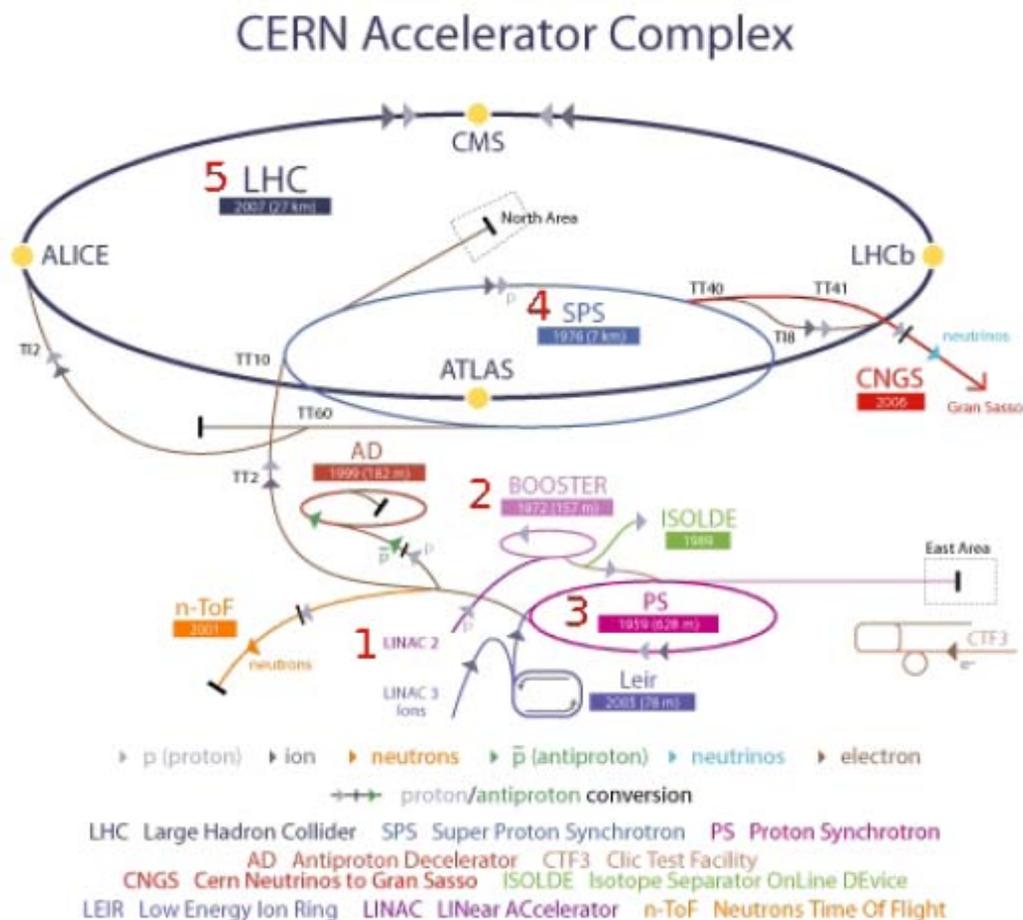


FIGURE 2 – Représentation schématique des accélérateurs de particules du LHC.

Aspect technique :

Le tunnel dans lequel est construit le LHC est long d'environ 27 kilomètres possède un diamètre de 3 mètres et est de forme circulaire. Les protons sont successivement accélérés dans plusieurs accélérateurs (préaccélérateurs), dont les principaux sont SPS(Super Protons Synchrotron), PS(Proton Synchrotron) et Proton Synchrotron Booster .

2.2 ATLAS

ATLAS (A Large Thoroidal Lhc ApparatuS) est l'un des quatre détecteurs de particules situés sur le LHC, les autres sont CMS, Alice et LHCb. ATLAS et CMS sont deux détecteurs généralistes qui concentrent leurs études sur la recherche du boson de Higgs, de particules très massives intervenant dans la théorie de la supersymétrie, et sur des mesures de précision concernant le Modèle Standard. Avec une hauteur de 22 mètres et une longueur de 44 mètres, le détecteur ATLAS est l'expérience de physique des particules ayant les plus grandes dimensions.

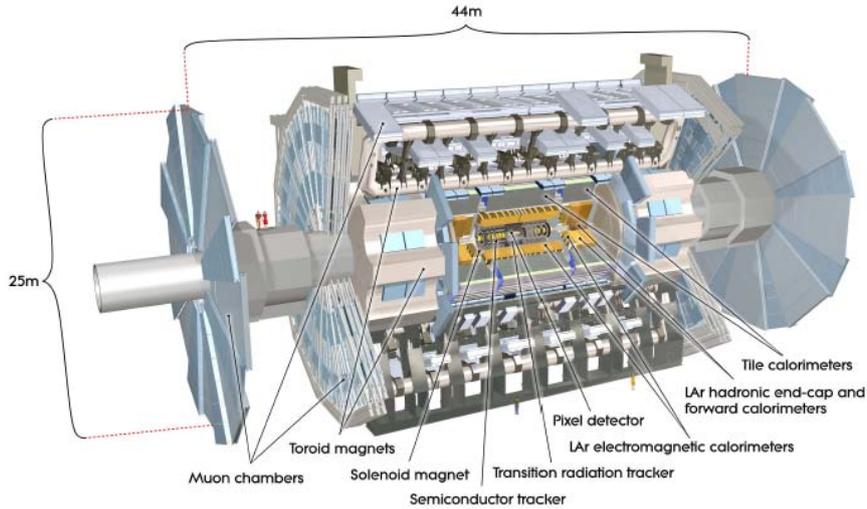


FIGURE 3 – Section du détecteur ATLAS.

2.2.1 Le détecteur interne

Le détecteur interne, qui mesure 6.8 mètres de long et possède un rayon de 1.15 mètre, est situé dans le solénoïde central et soumis à un champ magnétique de 2 Tesla. Son but est la mesure précise de la trajectoire des particules chargées : grâce au champ magnétique qui courbe les trajectoires, il est capable de déterminer l'impulsion transverse de ces particules.

Le détecteur à pixels :

Il y a trois couches de détecteurs à pixels en silicium qui fournissent la meilleure détection granulaire de la partie interne du détecteur. La partie sensible de chaque pixel mesure $250 \mu\text{m}$ d'épaisseur de silicium. La taille nominale d'un pixel résultant d'une estimation de l'espace occupé par une particule, est de $50 \times 400 \mu\text{m}^2$. Chacun des 1744 capteurs est doté de 47232 pixels, ce qui correspond environ à un total de 80 millions de canaux.

Le SCT ou le traqueur semiconducteur :

Le SCT constitué de microbande en silicium se situe dans le rang intermédiaire du détecteur interne. On y trouve quatre couches cylindriques de microbandes en silicium. Une microbande de silicium est constituée de deux capteurs p-n collés dos à dos. Chaque capteur est doté de 784 bandes avec un pas de $80 \mu\text{m}$ et il y a 15912 capteurs au total. Le pas a été déterminé à partir de la précision numérique requise, de la granularité, de l'espace occupé par une particule et du bruit. Afin de garder un bruit acceptable même après les dégradations dues aux radiations, les capteurs en silicium doivent être maintenus à basse température (entre -10 et 10C).

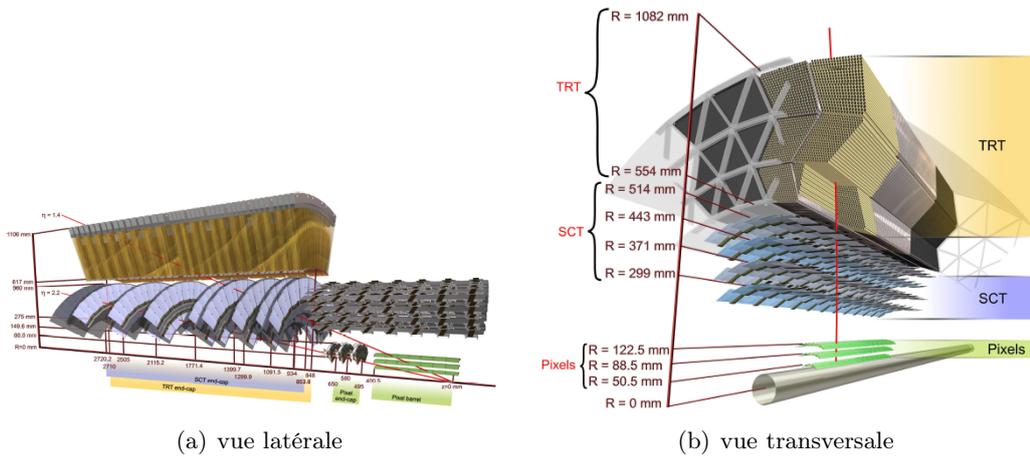


FIGURE 4 – Le détecteur interne

2.2.2 les calorimètres

Les calorimètres ont pour but principal la mesure de l'énergie et de la position des photons et des électrons, la mesure de l'énergie et de la direction des jets, la mesure de la composante transverse de l'énergie de l'évènement, l'identification des particules et le déclenchement du signal. Les calorimètres présents dans ATLAS sont de deux natures, à savoir électromagnétique, sensible aux particules intervenant dans l'interaction électromagnétique comme les photons et les bosons W^- , W^+ et Z^0 et hadronique sensible aux hadrons, composés de quarks.

2.2.3 Le spectromètre à muons

Afin de détecter les muons, le détecteur ATLAS est doté d'un spectromètre à muons : en effet, alors que les autres particules déposent toute leur énergie dans les détecteurs précédents ou se désintègrent avant d'atteindre le spectromètre à muons, les muons déposent une énergie quasiment nulle dans le calorimètre et dans les autres sous-détecteurs.

2.3 la physique du quark top

2.3.1 le Modèle Standard

Le Modèle Standard est une théorie quantique des champs qui permet de décrire la matière stable à l'aide d'un nombre limité de particules (constituants fondamentaux de la matière) et de forces. Dans ce modèle, les interactions sont décrites comme un échange de particules élémentaires appelées les bosons.

Ce modèle distingue deux grandes familles de particules à savoir les particules ou quanta de matière appelées les fermions, et les particules ou quanta de champs appelées les bosons.

-Les fermions :

Les fermions sont soumis au principe d'exclusion de Pauli et à la statistique de Fermi-Dirac. Ils se répartissent en leptons et en quarks selon trois générations en fonction de leur masse. La famille des leptons est constituée de : l'électron, du muon, du tau ainsi que des neutrinos électronique, muonique et tauique. La famille des quarks est constituée des quarks up et down, charme et strange et top et bottom.

-Les bosons :

Chaque boson modélise une des forces fondamentales : ce sont des particules de champ.

Les différents bosons sont :

- Le photon, médiateur de la force électromagnétique.
- Les bosons W, W, Z médiateurs de la force faible.

-et les huit gluons, médiateurs de la force forte.

On constate l'absence de boson médiateur de la force de gravitation. Celui-ci parfois appelé graviton pourrait correspondre au boson de Higgs qui permettrait d'expliquer la masse attribuée aux particules.

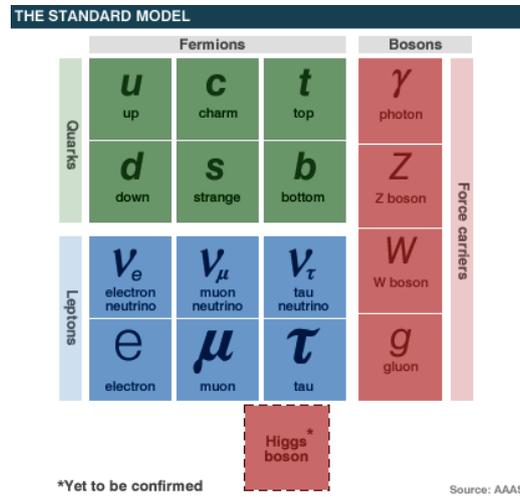


FIGURE 5 – Les particules du modèle standard.

2.3.2 Le quark top

La recherche de la masse du quark top s'inscrit dans le domaine de la physique des particules, qui a pour but la description des constituants fondamentaux et de leurs interactions.

Généralités :

Le quark top est un fermion de 3ème génération possédant une charge électrique de $+2/3 e$. Avec une masse d'environ $170 \text{ GeV}/c^2$ c'est le quark le plus massif. Sa durée de vie très faible, environ 10^{-25} s explique le fait que ce quark ne s'hadronise pas : les quarks possèdent une charge de couleur, bleu, rouge ou vert, et se regroupent pour former des hadrons de couleur blanche. Du fait de sa courte durée de vie, le quark top n'a pas le temps de s'hadroniser. Contrairement aux quarks up et down présents dans la matière (un proton est constitué de deux quarks up et d'un quark down, et un neutron de deux quarks down et d'un quark up), le quark top est un quark rare qui nécessite donc des expériences à très hautes énergies du fait de sa forte masse.

Production du quark top :

Il existe deux principaux types de production du quark top. Le quark top observé au Tévatron (accélérateur de particules situé à Fermilab aux Etats-Unis) est produit en pair avec son antiparticule $q\bar{q} \rightarrow t\bar{t}$ par interaction forte. Au LHC, le quark top est également produit par interaction forte, mais il s'agit de la fusion entre deux gluons chacun provenant d'un proton d'un des faisceaux de protons, selon le diagramme de Feynman suivant :

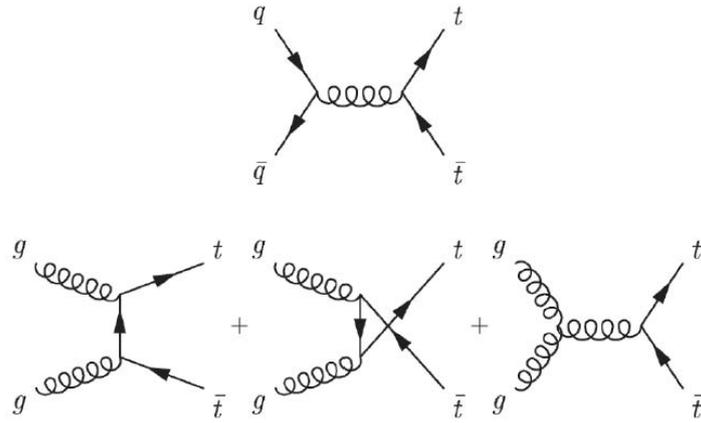


FIGURE 6 – Processus de production de paires $t \rightarrow \bar{t}$ dans les collisionneurs hadroniques par interaction forte.

Processus de désintégration :

Le quark top n'a pas le temps de s'hadroniser. Il se désintègre par interaction faible en un jet de b et un boson W^+ . Il existe deux modes de désintégration des bosons W, donc trois modes de désintégration des paires :

-complètement hadronique :

Les deux bosons W^+ et W^- donnent des jets (à savoir une multiplication de paires quark antiquark sous forme de hadrons).

-dileptonique :

Les deux bosons W se désintègrent par voie leptonique, c'est-à-dire qu'ils donnent chacun un jet de b, un lepton et son antineutrino associé.

-semi-leptonique :

Un des deux W donne des jets, le second se désintègre par voie leptonique.

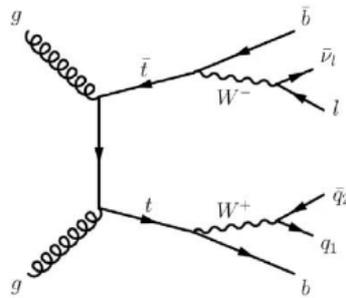


FIGURE 7 – Désintégration d'une paire de top par voie semi-leptonique.

3 Travail effectué pendant le stage

3.1 Etude préliminaire et mise en place

Afin de comprendre l'objet et le sujet du stage il m'a fallu effectuer un travail préliminaire. Tristan Beau m'a donc fourni plusieurs documents au sujet du quark top, en particulier la thèse de Pietro Cavalleri intitulée « Etude de la faisabilité de la mesure du quark top dans le canal électron-muon avec le détecteur ATLAS auprès du LHC ». Cela m'a permis de me familiariser avec les concepts utilisés en physique des particules.

Tristan m'a ensuite proposé de travailler sur l'étude de la désintégration par voie dileptonique du quark top, c'est-à-dire selon le diagramme de Feynman suivant :

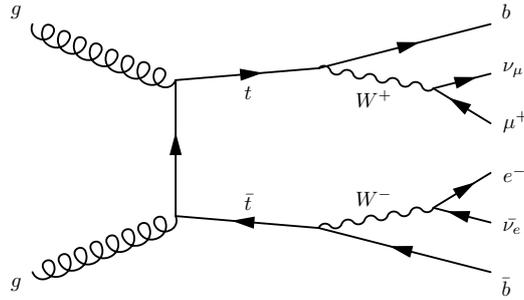


FIGURE 8 – Désintégration d'une paire de top par voie dileptonique.

A partir de données fournies par ATLAS, et de la méthode de simulation par Monte-Carlo, je devais vérifier la corrélation entre les données et l'évènement sélectionné, c'est-à-dire vérifier que les données correspondent bien à une désintégration par voie dileptonique, en comparant les informations sur la masse manquante correspondant aux deux neutrinos non détectés, avec la masse manquante déterminée par le calcul à partir des données sur les particules effectivement détectées.

3.2 Présentation des données fournies

Les deux premiers fichiers utilisés, data11v3_mw.txt et mc175_v3.txt sont des fichiers text de données datant de 2008. Dans chaque fichier il y a un évènement par ligne et une soixantaine de nombres sur chaque ligne. Les premiers champs sont les suivants :

```
id=1;          # numero d'identification
el_eta=2;
el_phi=3;
el_pt=4;
el_m=5;
el_ch=6;
mu_eta=7;
mu_phi=8;
mu_pt=9;
mu_m=10;
mu_ch=11;
j1_eta=12;
j1_phi=13;
j1_pt=14;
j1_m=15;
j1_ch=16;
j2_eta=17;
j2_phi=18;
j2_pt=19;
```

```

j2_m=20;
j2_ch=21;
me_eta=22;
me_phi=23;
me_pt=24;
me_m=25;
me_ch=26;

```

-eta et phi donnent des informations sur la direction de l'impulsion.

-pt est l'impulsion transverse

-m ne sera pas utilisé

-ch indique la charge

-el correspond à l'électron, mu au muon, j1 et j2 aux deux jets et me à l'énergie manquante (missing energy)

Ces documents se présentent sous la forme de lignes de données :

```

4.1999973000000000000e+07 -4.617109999999999825e-01 4.1007650000
0037e-22 1.587071489999999884e-22 1.637132869999999971e-22 2.02
00000000178e+00 1.000000000000000000e+00 0.000000000000000000e+
539999999888e-30 8.441401599999999601e-314.2338497000000000000e+
5585020000000098e-26 1.745287389999999897e-26 1.776538310000000
1 7.32900999999999536e+01 4.700000000000000178e+00 1.000000000
25 2.839799699999999898e-25 3.545342329999999841e-25 9.58761537
0458e-23 5.534252939999999885e-23 5.412979660000000203e-23 5.34
99999977e+00 -1.387868000000000102e+00 2.07597999999999848e+01
00000000110e-28 1.875183809999999986e-28 1.812520159999999918e-
318547360000000154e-25 9.2045032500000000132e-25 9.1234937000000
+00 1.000000000000000000e+00 -6.386810000000000542e-01 -1.17559
36e-23 2.246371550000000107e-23 1.969194159999999988e-23 1.6109
440000000074e-25 5.411606839999999954e-25 6.748036799999999619e

```

FIGURE 9 – Aperçu des données.

Le deuxième type de fichiers correspond à des fichiers root.

Ces fichiers présentent leurs données sous la forme d'arbres et de branches de données. Les évènements correspondant à ces fichiers sont des évènements à 2, 3 ou 4 jets (on a donc toujours la présence d'un électron, d'un muon et des deux neutrinos, mais en plus il peut y avoir jusqu'à 4 jets) . Le traitement de ces données est alors plus compliqué que celui des fichiers txt pour deux raisons :

-le format root demande un travail préalable

-les évènements ne sont plus uniquement des évènements à deux jets

Pour pouvoir lire un fichier root, il faut tout d'abord créer sous root les fichiers que j'ai appelé myReadTree.h et myReadTree.C à l'aide des commandes suivantes :

TFile * f= new TFile("nomdufichier.root") : crée le fichier.

ici le nom du TTree est TreeDilpton

TreeDilepton->GetListOfBranches()->Print : affiche les branches

TreeDilepton->MakeClass("NomDuNouveauFichier") : crée le fichier.h

myReadTree.h : Ce programme permet de lire plus facilement les champs et nous informe sur le contenu des leaf, et de chaque branche. Il se présente sous la forme suivante :

```

#ifndef myReadTree_h
#define myReadTree_h

#include <TROOT.h>
#include <TChain.h>

```

```

#include <TFile.h>

class myReadTree {
public :
    TTree          *fChain;    //!

```

```

TBranch          *b_mcevt_weightpu;    //!<

myReadTree(TTree *tree=0);
virtual ~myReadTree();
virtual Int_t    Cut(Long64_t entry);
virtual Int_t    GetEntry(Long64_t entry);
virtual Long64_t LoadTree(Long64_t entry);
virtual void     Init(TTree *tree);
virtual void     Loop(string);
virtual Bool_t   Notify();
virtual void     Show(Long64_t entry = -1);
};

```

Ce qui nous intéresse ici ce sont les leaf, qui correspondent aux grandeurs avec lesquelles on travaille. On connaît donc la nature et le nom des champs considérés .

myReadTree.C : C'est à partir de ce programme que l'on travaille pour calculer les différentes grandeurs étudiées comme sur un fichier classique en C++. La différence consiste dans le fait que ce programme s'effectue directement avec les grandeurs contenues dans le fichier root. On n'a pas besoin de créer un tableau comme avec les fichiers text.

3.3 Traitement des données

En raison de la nature différente des fichiers il a fallu les traiter de façons différentes.

-Fichiers text (data11v3_mx.txt et mc175_v3.txt) :

Pour traiter les données, il m'a tout d'abord fallu mettre ces données dans un tableau, afin de pouvoir les utiliser :

```

while ( getline(ifs,line) ) {
st.clear();
st.str("");
st << line;
int j;
int i;
  for (j=0; j<26 ; j++){
  double a;
  st >> a; Tableau[j]=a;

  }

```

La façon la plus pertinente de vérifier la corrélation entre les données et l'évènement sélectionné, consiste à travailler sur le vecteur impulsion transverse, c'est-à-dire à déterminer celui correspondant à la somme vectorielle des vecteurs impulsion transverse de l'électron, du muon et des deux jets, que j'ai appelé Pt et à le comparer à celui correspondant à l'énergie manquante. Comme il s'agit d'un vecteur, les grandeurs étudiées sont donc la norme et l'argument de ce vecteur, il faut donc dans un premier temps déterminer les projections de l'impulsion transverse sur les axes x et y formant une base orthonormée dans le plan transverse du détecteur.

Pour chaque évènement (=chaque ligne), après avoir mis les données dans un tableau de taille 26, j'ai calculé $pt_x=pt*\cos(\phi)$ et $pt_y=pt*\sin(\phi)$ pour l'électron , le muon, et les deux jets, et je les ai sommé à l'aide d'une boucle :

```

double sommeptx=0;
double sommepty=0;

  for (i=0; i<4 ; i++){

```

```

    Pt[i]=Tableau[3+i*5];
    Phi[i]=Tableau[2+i*5];
    Ptx[i]=Pt[i]*cos(Phi[i]);
    Pty[i]=Pt[i]*sin(Phi[i]);
    sommeptx=sommeptx+Ptx[i];
    sommepty=sommepty+Pty[i];
}

```

sommeptx et sommepty correspondent donc aux projections sur les axes x et y de Pt. On accède ainsi facilement à la norme, appelée Pt_computed et à l'argument appelé Phi_computed de ce vecteur :

```

double Pt_computed=sqrt(sommeptx*sommeptx+sommepty*sommepty);
double aPhi_computed=atan2(sommepty,sommeptx)+Pi;
double Phi_computed=modulo(aPhi_computed);

```

Les grandeurs pertinentes étudiées sont donc la norme (dpt) et l'argument (dphi) de la différence vectorielle (DPt) entre Pt et Pt_me, le vecteur impulsion transverse de l'énergie manquante :

```

double aabsoluephi=Phi_computed-me_phi;
double dphi=modulo(aabsoluephi);

```

```

double dpt=Pt_computed-me_pt;

```

L'utilisation d'histogramme afin d'étudier la répartition des différentes valeurs obtenues pour dphi et dpt est apparu comme une méthode efficace . J'ai donc créer un fichier root dans lequel j'ai mis les grandeurs qu'on étudie à savoir en particulier dpt et dphi :

```

t->Fill(Tableau[0],me_pt,jetsPt,me_phi,jetsPhi,dpt,dphi,ht);
}

```

-Fichiers root :

J'ai effectué un traitement de données similaire à celui effectué pour les fichiers text, la principale différence réside dans le calcul du vecteur Pt : Je n'ai pris en compte que les jets d'énergie la plus importante, j'ai donc du dans un premier temps déterminer quels étaient ces jets à l'aide du programme suivant :

```

for(k=0;k<jetsPt->size();k++){

    Pttabb=(jetsPt->at(k));
    Phitabb=(jetsPhi->at(k));

    if(k==0){
    Pttab[0]=Pttabb;
    Phitab[0]=Phitabb;
    cout<<"boucle 1 ok"<<endl;
    }

    if(k==1){
    Pttab[1]=Pttabb;
    Phitab[1]=Phitabb;
    cout<<"boucle 2 ok"<<endl;
    }

    if(k==1){

```

```

        if(Pttab[0]<=Pttab[1]){
            Pttab[0]=Pttab[1];
            Phitab[0]=Phitab[1];
            Pttab[1]=Pttab[0];
            Phitab[1]=Phitab[0];
        }
        cout<<"boucle 3 ok"<<endl;
    }
}

if(k>1){
    if(Pttabb>=Pttab[0]){
        Pttab[0]=Pttabb;
        Phitab[0]=Phitabb;
        Pttab[1]=Pttab[0];
        Phitab[1]=Phitab[0];
    }
    else if(Pttabb>=Pttab[1] & Pttabb<Pttab[0]){
        Pttab[1]=Pttabb;
        Phitab[1]=Phitabb;
    }
}
}

```

Pttab[0] et Phitab[0] correspondent respectivement à la norme et à l'argument du vecteur impulsion transverse du jet ayant la plus grande énergie. Pttab[1] et Phitab[1] correspondent aux même grandeurs pour le jet ayant la deuxième énergie la plus grande.

On peut donc déterminer de façon similaire la norme et l'argument des vecteurs Pt, Dpt :

```

double asommePtx=Pttab[0]*cos(Phitab[0])+Pttab[1]*cos(Phitab[1]);
double asommePty=Pttab[0]*sin(Phitab[0])+Pttab[1]*sin(Phitab[1]);

sommePtx=asommePtx+leadingPt*cos(leadingPhi)+secondPt*cos(secondPhi);
sommePty=asommePty+leadingPt*sin(leadingPhi)+secondPt*sin(secondPhi);

double Pt_computed=sqrt(sommePtx*sommePtx+sommePty*sommePty);
double aPhi_computed=atan2(sommePty,sommePtx)+Pi;
double Phi_computed=modulo(aPhi_computed);
double dPtr=fabs((Pt_computed-missEt)/Pt_computed);
double dPt=Pt_computed-missEt;
double adPhi=Phi_computed-missPhi;

```

Enfin on introduit le vecteur Pts (de norme pts et d'argument phis), vecteur somme de toutes les particules et de l'énergie manquante :

```

double sommePtxs=sommePtx+missEt*cos(missPhi);
double sommePtys=sommePty+missEt*sin(missPhi);

double Pts=sqrt(sommePtxs*sommePtxs+sommePtys*sommePtys);
double aphis=atan2(sommePtys,sommePtxs);
double phis=modulo(aphis);

```

(la fonction modulo permet de ramener les arguments entre $-\pi$ et $+\pi$:

```

double modulo(double x){
    double y;
    if(x<Pi & x>(-Pi)){
        y=x;
    }
    else if (x<=-Pi){
        y=x+2*Pi;
    }
    else if (x>=Pi){
        y=x-2*Pi;
    }
    return y;
}
)

```

3.4 Résultats et conclusion

Les résultats se présentent sous la forme d'histogrammes réalisés sous root.

-procédure pour réaliser un histogramme sous root (à partir par exemple du fichier MC180DileptonOutput.root) :

```

TFile *f=newTFile("MC180DileptonOutput.root") : ouvre le fichier root
.L myReadTree.C
myReadTree t180(TreeDilepton) : attribue à l'arbre étudié la variable "t180".
tt.Loop("myReadTree180.root") : exécute la boucle contenue dans myReadTree.c, et crée donc le fi-
chier myReadTree180.root.
TFile f("myReadTree180.root") : ouvre le fichier.
t.Draw("dphi") : réalise l'histogramme des dphi.
t.Draw("dphi","njets==2") : réalise l'histogramme des dphi en effectuant la coupure njets=2.

```

On constate que pour les diagrammes représentant dpt et dphi il y a un pic en 0, ce qui est en accord avec le fait que le vecteur somme des impulsions transverse de l'e⁻, du muon et des jets et le vecteur impulsion transverse de l'énergie manquante doivent théoriquement être de même norme et opposés pour pouvoir se compenser et être en accord avec la conservation de l'énergie :

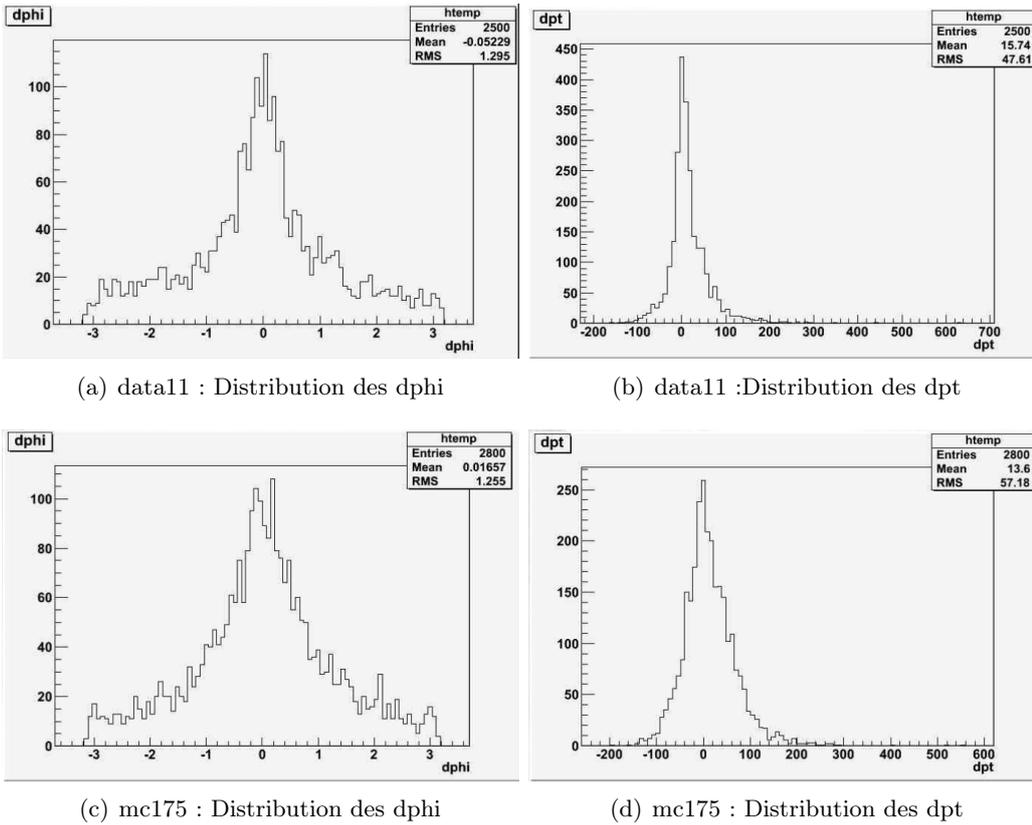


FIGURE 10 – fichiers text : dphi et dpt

La figure 10 présente la distribution des dphi et des dpt provenant des données du traitement des fichiers text. data11 correspond à de véritables données et mc175 correspond à des données obtenues par une méthode de simulation appelée monte-carlo. On remarque tout d'abord que les histogrammes data11 et mc175 ont la même allure et les valeurs prises par dpt sont sensiblement les mêmes (entre -100 et 300), la simulation monte-carlo est donc satisfaisante. Néanmoins on constate également que les pics au niveau du 0 sont plus fins sur les histogrammes data11 que sur les histogrammes mc175 (alors que les deux fichiers ont à peu près le même nombre d'entrées, 2500 pour data11, 2800 pour mc175). Les données issues de mesures paraissent donc mieux concorder à la réalité que les données issues du monte-carlo.

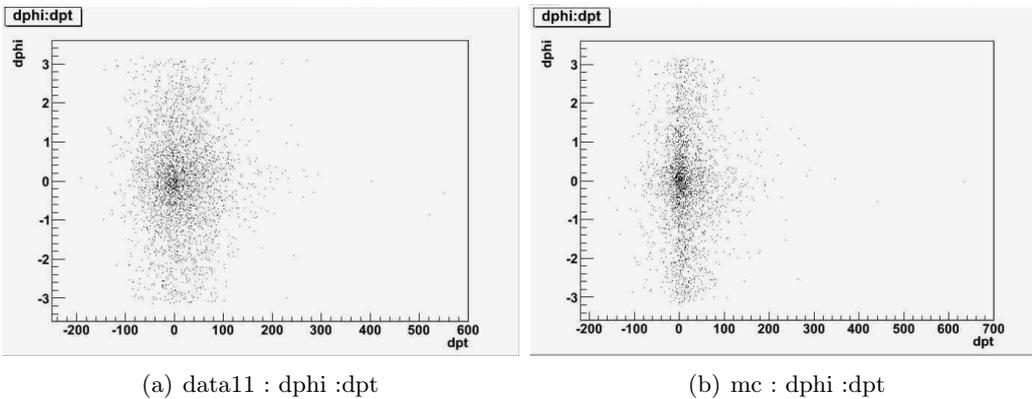
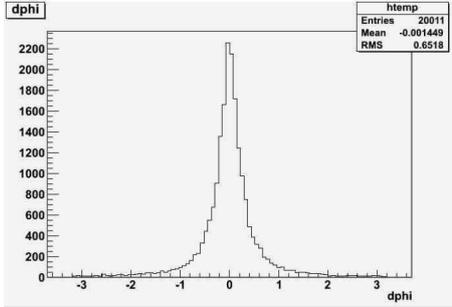


FIGURE 11 – fichiers text : dphi :dpt

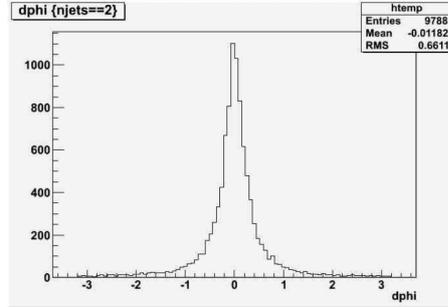
La figure11 présente dphi en fonction de dpt. On remarque que les points (dphi,dpt) sont centrés en 0 et uniformément répartis autour de 0 pour les données data 11, alors qu'on observe une répartition

uniforme selon $d_{pt}=0$ pour les données provenant du monte-carlo. Ces observations soulignent le fait que les données obtenues en monte-carlo sont plus proches des vraies données pour les d_{phi} que pour les d_{pt} .

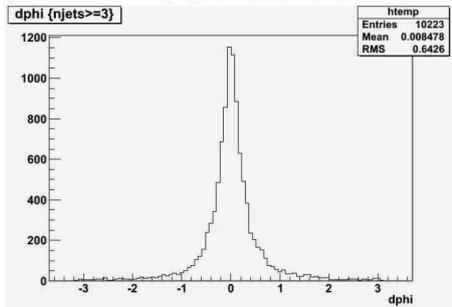
En ce qui concerne le traitement des données root dont les événements peuvent présenter jusqu'à quatre jets, des coupures ont été effectuées afin d'étudier la corrélation entre le nombre de jets et la reconstruction de l'évènement étudié.



(a) memc175 : Distribution des d_{phi}

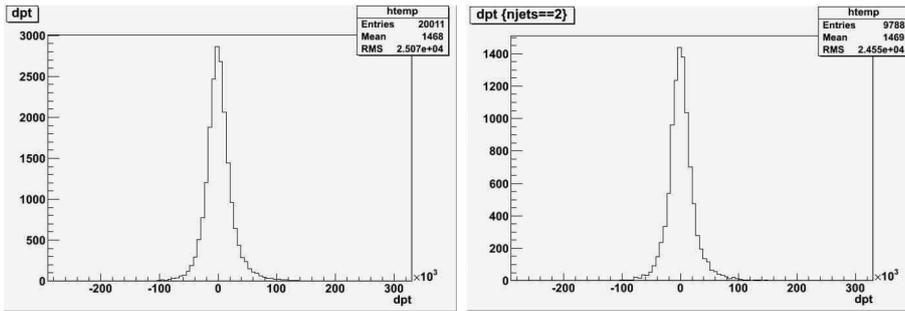


(b) memc175 : Distribution des d_{phi} avec la coupure $n_{jets}=2$



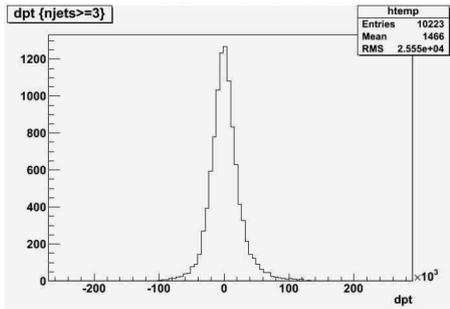
(c) mc175 : Distribution des d_{phi} avec la coupure $n_{jets}\geq 3$

FIGURE 12 – memc175 : d_{phi}



(a) memc175 : Distribution des dpt

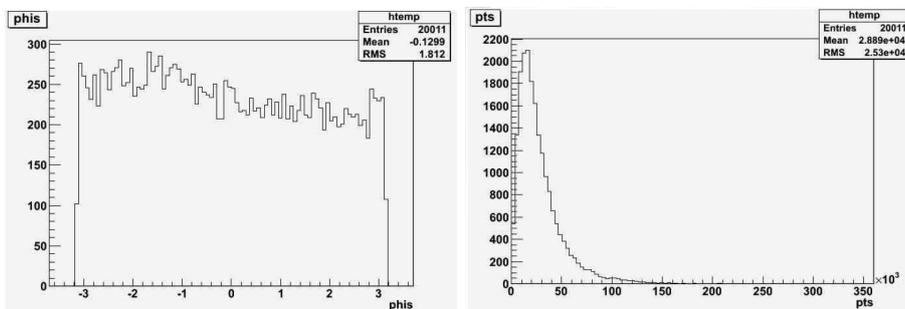
(b) memc175 :Distribution des dpt avec la coupure njets=2



(c) mc175 : Distribution des dpt avec la coupure njets >= 3

FIGURE 13 – memc175 : dphi

On pourrait chercher à comprendre l'origine de la largeur des histogrammes



(a) memc175 : Distribution des phis

(b) memc175 :Distribution des pts

FIGURE 14 – memc175 : phis et pts

La répartition des phis est uniforme, il n'y a pas de direction privilégiée. Cependant, on note une légère courbure entre 0 et π . Ce point pourrait être discuté. L'histogramme représentant la distribution des pts présente un pic en 0 ce qui est conforme aux prévisions. Ici aussi on pourrait essayer de comprendre les contributions à l'origine de l'épaisseur de la courbe.

4 Stage à Desy Zeuthen

4.1 Présentation de l'équipe d'accueil

Desy Zeuthen est un laboratoire de physique situé à Berlin. Le laboratoire est une partie de Desy qui possède également un laboratoire plus important à Hamburg. Doté d'installations uniques, ce laboratoire fait partie des meilleurs du monde dans les domaines du développement et de la construction d'accélérateur, de la science photonique, de la physique des particules ou encore de l'astrophysique. Créé à Hamburg le 18 décembre 1959, situé à Hamburg et à Berlin, ce laboratoire bénéficie d'une place privilégiée dans la recherche en Allemagne, de part son budget d'environ 192 millions d'euros (173 millions pour Hamburg et 19 millions pour Berlin), et ses effectifs (environ 2000 chercheurs permanents, dont 650 travaillant dans le domaine des accélérateur de particules, plus de 3000 chercheurs visiteurs provenant d'environ 40 pays, une centaine d'apprentis commerciaux et techniques et 700 étudiants doctorants et post doctorants). L'équipe dans laquelle j'ai effectué mon stage est l'équipe ATLAS du laboratoire. Une partie de cette équipe effectue le traitement de données sur différentes données issues d'ATLAS, l'autre travaille sur l'amélioration du détecteur à pixels en silicium.

4.2 Présentation du stage

Dans le détecteur ATLAS deux systèmes de détection utilisent des détecteurs en silicium à pixel : le sous-détecteur interne situé le plus proche du point de collision et le réseau MPX. La performance de ces détecteurs à pixel est donc cruciale pour la précision des mesures des trajectoires des particules massives. Dans la perspective de l'amélioration technique du détecteur ATLAS prévue pour 2014, date à laquelle l'énergie de collision est supposée pouvoir atteindre la valeur de 14Tev, toutes les parties de ce détecteur, dont le détecteur interne doivent être perfectionnées. L'équipe travaillant sur les modules en silicium a à cet effet réalisé un prototype. Une fois le prototype fabriqué, il faut effectuer plusieurs tests, afin de connaître de façon précise le maximum de ses propriétés. Un des principaux problèmes qui se pose actuellement dans la prise et le traitement des données provenant d'ATLAS est le problème de l'erreur systématique dû aux défauts techniques de ce détecteur. Une des sources de cette erreur réside dans l'existence d'un bruit de fond lors de toute mesure. Mon stage a donc consisté à mesurer le bruit présent lors de la prise de mesures en fonction de la température (de 0 à -20C) afin de déterminer l'influence de la température sur le bruit.

4.3 La physique du détecteur de pixel en silicium

4.3.1 Le détecteur de pixel en silicium

Hybrid et Module :

Un module est constitué de quatre capteurs, deux situés sur le dessus et deux en dessous. Ils sont collés dos à dos sur une base en graphite pyrolytic qui apporte une structure à la fois mécanique et thermique.

Stave :

Le Stave est un système basique de disposition de capteurs, cables et du système de refroidissement. Des modules simples sont montés sur les deux faces de la structure. Il y a vingt puces sur chaque hybrid eux même collés directement sur un capteur.

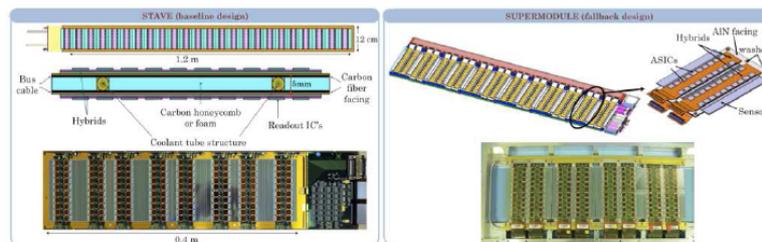


FIGURE 15 – Stave

Supermodule :

Le supermodule consiste en une plaque de praphite pyrolitique sur laquelle sont collées les capteurs.

HSIO :

Dans l'optique de l'amélioration du détecteur de pixel d'ATLAS, le développement du HSIO (High Speed Input/Output) doit permettre de fournir les performances du processeur de signal.

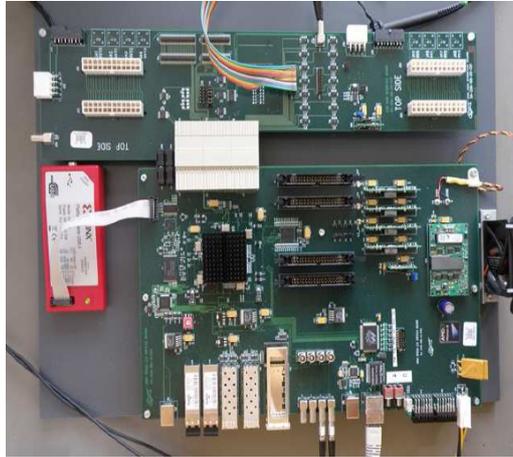


FIGURE 16 – HSIO

-Silicon Strip Modules :

Single Hybrid :

le single hybrid est formé de deux colonnes d'ABCN25, chaque colonne étant constituée de 10 puces. Chaque puces a son microcâblage afin de d'identifier son adresse déterminé par un code binaire de 7 bit.

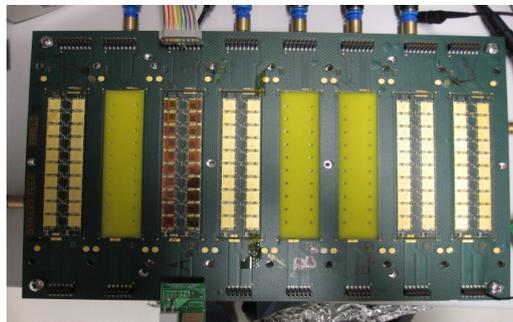


FIGURE 17 – Hybrid simple

La figure 14 représente une plateforme de test d'hybrids qui peut contenir jusqu'à huit hybrids, et muni d'un système de mise à vide pour chacun de ces hybrids. A la troisième position à partir de la gauche se trouve un hybrid complet, prêt à l'emploi. A la première, la quatrième et les deux dernières positions se trouvent des hybrids sans puces. Le vacuum sert à aspirer les hybrids pour les maintenir à plat afin d'optimiser le refroidissement. Les trous du vacuum sont visibles sur les trois autres positions. Pour tester un hybrid simple, il faut l'alimenter avec un courant de 4 à 4.5 A.

Dummy Module :

Un dummy module est un prototype sans puce en silicium. A la place d'un vrai capteur, on utilise du cuivre. Comme habituellement, le module est constitué de deux hybrids. Chaque hybrid a son propre Buffer Control Chip (BCC voir plus loin). L'utilisation du dummy module nécessite un courant de 4.5 A.

La température propre du dummy module peut atteindre 90C lorsqu'il est alimenté. Afin de le faire fonctionner correctement, il est crucial de le refroidir. C'est pour cela que le dummy module est placé



FIGURE 18 – Le Dummy module

sur un système de vacuum en forme de U servant à fixer le dummy et à fournir un contact thermique satisfaisant. Un système de refroidissement transporte le liquide de refroidissement à travers un tube afin d'évacuer la chaleur.

4.3.2 Le montage de l'expérience

Le dummy module est placé sur la carte de test elle-même connectée au vacuum et à l'alimentation. Le HSIO est branché au dummy module et à l'ordinateur, permettant la prise et le traitement des données.

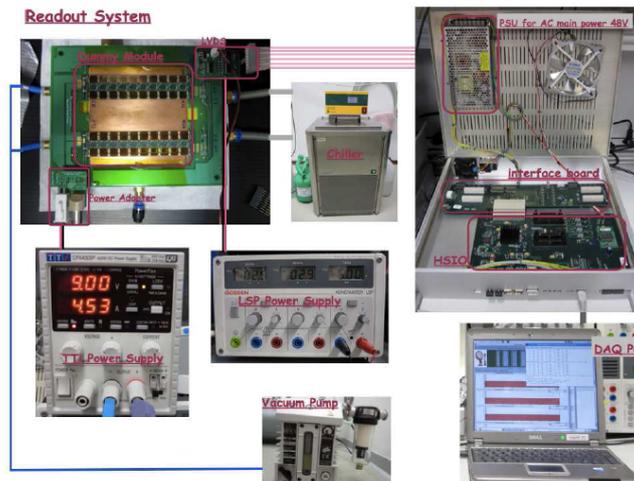


FIGURE 19 – montage de l'expérience

4.4 Travail effectué

4.4.1 Mise en route de l'expérience

- allumer le refroidisseur (parties supérieures et inférieures) pour éviter une trop forte augmentation de la température qui endommagerait le dummy module
- placer le dummy module dans la bonne position et allumer le vacuum (appareil permettant une aspiration de l'air afin de créer un vide pour maintenir le dummy module en place)
- brancher le LVDS et l'allumer
- allumer l'alimentation
- allumer le HSIO

4.4.2 Prise de données

On utilise un logiciel codé sous root. Les principales commandes sont les suivantes :

- BCC : Buffer Control Chip, permet de contrôler l'impulsion des signaux
- BCC ID : contrôle l'ordre de la prise de données en fonction des hybrids
- 3 point Gain est une prise de données
- Trim range est un test permettant de calibrer le HSIO

Le processus demande plusieurs vérifications et nécessite un protocole particulier :

- commencer le test BCC
- faire le BCC ID
- effectuer le strobe delay (0.25)
- effectuer le 3 point Gain(1tc)
- faire le Trim Range
- effectuer à nouveau le 3 point Gain(1tc)

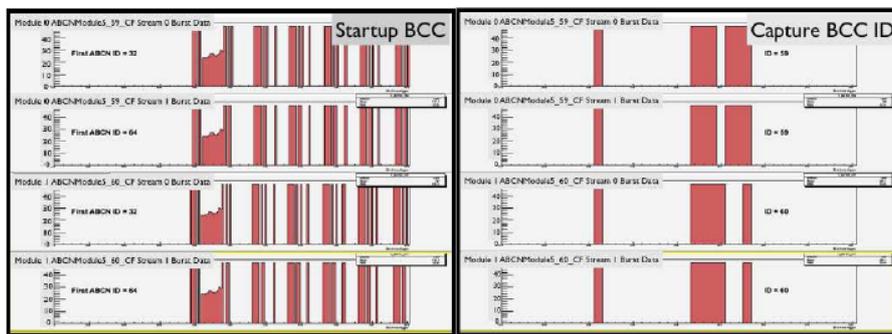


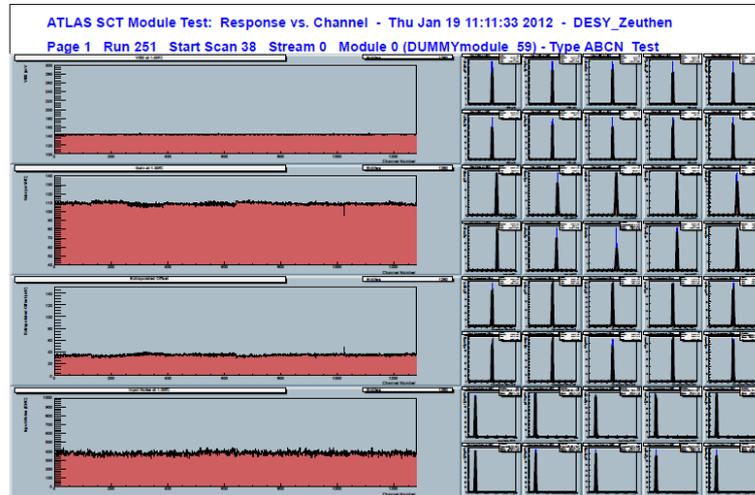
FIGURE 20 – BCC et BCC ID

4.4.3 Analyse des données

Lorsque l'on effectue un 3 point Range, il se crée un dossier contenant plusieurs types de fichiers. En ce qui concerne la mesure du bruit (input noise), il y a deux fichiers principaux par chanel; un fichier text présentant les valeurs mesurées du bruit et un fichier présentant différents histogrammes concernant essentiellement le bruit et le gain.

```
#chan code gain offset innse comment
0 1000 110.4 31.9 382 unbonded
1 1000 109.7 34.3 390 unbonded
2 1000 109.0 35.5 375 unbonded
3 1000 109.9 34.1 359 unbonded
4 1000 110.3 33.5 360 unbonded
5 1000 108.7 34.7 359 unbonded
6 1000 108.2 35.7 367 unbonded
7 1000 110.2 32.7 370 unbonded
8 1000 110.6 32.8 385 unbonded
9 1000 109.9 33.6 386 unbonded
10 1000 108.8 35.1 359 unbonded
11 1000 110.7 32.7 400 unbonded
12 1000 109.7 34.0 396 unbonded
13 1000 108.6 36.3 387 unbonded
14 1000 108.2 36.4 417 unbonded
15 1000 110.0 33.4 364 unbonded
16 1000 110.8 32.1 365 unbonded
17 1000 110.4 33.7 393 unbonded
18 1000 108.5 35.6 398 unbonded
19 1000 111.2 34.5 354 unbonded
20 1000 110.0 35.9 382 unbonded
21 1000 107.6 36.0 427 unbonded
22 1000 107.4 37.0 387 unbonded
23 1000 110.0 34.8 343 unbonded
```

(a) data text



(b) data histogramme

FIGURE 21 – data

Le traitement des données consiste à réaliser des histogrammes représentant la distribution du bruit et à calculer la valeur de la variance pour chaque lot de données.

```
// *****;
// Read in a txt file *****;
// *****;
void curve(void) {

    TString current_file = "";
    TString line         = "";

    TString histoname = "";

    current_file.Append("measures.txt");

    ifstream stream(current_file);

    Int_t linecounter = -1;
    Float_t var1 = 0.;
    Float_t var2 = 0.;
    Float_t var3 = 0.;
    Float_t var4 = 0.;
    Float_t var5 = 0.;
    Float_t var6 = 0.;
    Float_t dump = 0.;

    TH1F * noisedistrib = new TH1F("noisedistrib","noisedistrib",250,250,500);
```

```

double sum=0.;
double Tableau[2560];
Float_t x_coor[2560];
Float_t y_coor[2560];

while ( line.ReadLine(stream) ) {
    istrstream stream5(line.Data());
    stream5 >> var1;        //1
    stream5 >> var2;        //1
    stream5 >> var3;        //1
    stream5 >> var4;        //1
    stream5 >> var5;        //1
    stream5 >> var6;        //1
    linecounter++;
    cout<<"line counter= "<<linecounter<<endl;
    if(linecounter>=1){
    int n=linecounter-1;

    std::cout<<"Noise is "<<var5<<" in line "<<linecounter<<std::endl;

    noisedistrib->Fill(var5);

    sum=sum+var5;
    Tableau[n]=var5;
    x_coor[n]=var1;
    y_coor[n]=var5;
    cout<<"la "<<linecounter<<" ieme valeur est "<<Tableau[n]<<endl;
    }
}

double average=sum/linecounter;
cout<<"average= "<<average<<endl;

int i;
double w=0;

for(i=0;i<2560;i++){
    w=w+(Tableau[i]-average)*(Tableau[i]-average);
}

double v=w/linecounter;
cout<<"la variance est egale a "<<v<<endl;
double s=sqrt(v);
cout<<"sigma = "<<s<<endl;
TGraph *mygraph;
mygraph = new TGraph(2560, x_coor, y_coor);
mygraph->Draw("AP");
    noisedistrib->Draw();
noisedistrib->Fit("gaus");

}

```

On constate que l'histogramme représentant la distribution du bruit s'apparente à une gaussienne. De plus la moyenne sur les valeur du bruit diminue avec la température. Cependant cette décroissance

est moins important que sur des mesures effectuées à hautes températures. Ainsi la température joue un rôle moins important aux basses températures qu'aux hautes températures.

5 Conclusion

Ce stage est mon premier stage, et je suis très heureuse d'avoir pu l'effectuer dans un laboratoire de physique. Cela m'a permis d'apprécier la vie dans un laboratoire, de comprendre son organisation et ce qu'est le travail d'un chercheur au quotidien. Le fait de faire deux stages présentant différents aspects de la même expérience m'a permis de me rendre compte d'une part du travail de collaboration entre les différents laboratoires ici au niveau européen, d'autre part de la complexité d'un projet comme ATLAS qui mobilise des chercheurs aux qualifications multiples et balaye un éventail de disciplines, de l'électronique pur à l'analyse de données. J'ai donc eu la chance de comprendre mieux le fonctionnement d'une telle expérience de la réalisation de capteurs destinés à améliorer les performances d'ATLAS à l'analyse de données provenant de mesures effectuées grâce à ces détecteurs. Ce stage m'a conforté dans ma vocation de chercheur.

6 Remerciements

Un grand merci à Tristan pour sa pédagogie et à Timothé pour sa patience.
Merci aussi à Francesca, Laura et Flora pour leur bonne humeur.
Merci à Ingo pour m'avoir fait confiance en me confiant la prise de données, et à Taihua et Conrad (the master of the universe or at least of the dummy module) pour leur précieux conseils.
Merci à toute l'équipe du LPNHE et à celle de Desy Zeuthen.