LPNHE-2002-
18 septembre 2003

Rapport de Stage 2003

Isabelle Smith

Classe préparatoire de Chaptal, Paris 8

Etude de la sensibilité d'Atlas aux dimensions supplémentaires

LPNHE-Paris, Universités Paris 6-7, et IN2P3-CNRS

ATLAS
LPNHE Paris 6-7

Table des matières

1 Dispositif expérimental et simulation **5**
1.1 Dispositif expérimental 5
1.1.1 Le collisionneur LHC 5
1.1.2 Le détecteur Atlas 5
1.2 Simulation de la physique et outils de traitement des données 6
1.2.1 Simulation de la physique 6
1.2.2 Outils de traitement des données 7

2 Cinématique **8**
2.1 Introduction de certaines notions 8
2.2 Etudes graphiques simples 9

3 Analyse de la section efficace des dijets **11**
3.1 Analyse initiale 11
3.2 Poursuite du projet 12

Introduction

La physique des particules est le domaine qui s'attache à développer notre connaissance du monde subatomique à partir de l'étude des particules élémentaires comme les quarks (contituants des neutrons et des protons), les leptons (comme l'électron) et des interactions qui gouvernent leurs comportements. Les avancées, étroitement liées, de la théorie et des observations expérimentales, ont conduit à ce que l'on appelle le Modèle Standard de la physique des particules. Ce modèle, developpé depuis les années 60, décrit la vision que nous avons des briques composant la matière, et repose sur l'existence de douze constituants élémentaires répartis en trois familles (cf tableau 1). A chacune de ces particules élémentaires est associée une compagne, constituant ce que l'on appelle l'anti-matière. Une anti-particule a exactement la même masse que la particule correspondante, mais des nombres quantiques (comme la charge, le spin ...) opposés. On arrive ainsi à 24 constituants élémentaires. Le Modèle Standard décrit trois des quatre interactions fondamentales, à l'exception de la gravitation, comme l'échange de particules de rayonnement entre particules de matière. L'interaction électrofaible est le résultat de l'unification des interactions électromagnétique et faible, véhiculées respectivement par le photon et les bosons vecteurs $W^{\pm}$ et Z^0. Les gluons véhiculent l'interaction forte, responsable de la cohésion des noyaux et des assemblages de quarks nommés mésons et hadrons.

Fermions	Leptons		Quarks	
$1^{ère}$ famille	électron(e^-)	neutrino électron (ν_e)	up (u)	down (d)
$2^{ème}$ famille	muon (μ)	neutrino muon (ν_μ)	charm (c)	strange (s)
$3^{ème}$ famille	tau (τ)	neutrino tau (ν_τ)	top (t)	beauty (b)

Interactions	Electromagnétique	Faible	Forte	Gravitation
Bosons	photon (γ)	bosons vecteurs ($Z^0, W^{\pm}$)	8 gluons	graviton

TAB. 1 – *Tableau des particules élémentaires : constituants de la matière et particules de rayonnement*

1

Ce modèle n'a pas été mis en défaut par les observations expérimentales, mais il ne constitue pas, à lui seul, une théorie ultime de la physique des particules car dans sa forme actuelle, certaines questions importantes restent sans réponse :

– Est-il possible d'unifier l'interaction électrofaible avec les interactions forte et gravitationelle ? Le nombre élevé de paramètres fondamentaux[2] de ce modèle est également une raison de rechercher un modèle plus vaste dont la Super-Symétrie est l'une des extensions les plus populaires. Un peu à la manière de la dualité matière/anti-matière, elle associe à chaque particule un partenaire super-symétrique. L'unification des interactions pourrait aussi passer

[2]3 couplages de jauges, 2 paramètres pour le Higgs, les masses des 9 quarks et leptons chargés, 3 angles de mélanges et une phase de violation CP

par la découverte de dimensions supplementaires, invisibles à notre échelle car bouclées sur elles-même.

- Comment expliquer l'absence d'antimatière alors que l'univers aurait contenu à sa naissance autant de matière que d'antimatière ? Ce mystère pourrait trouver sa solution grâce à l'étude des violations de la symétrie CP (C pour conjugaison de charge, P pour parité). En effet, la violation CP est l'un des endroits les moins contraints expérimentalement du Modèle Standard. Il y a là aussi de forts espoirs, en accumulant plus de données, en faisant des mesures plus précises, de voir apparaître des phénomènes nouveaux, non explicables par le Modèle Standard, c'est-à-dire ce qu'on appelle commuńement de la "nouvelle physique".
- Comment les particules décrites par le Modèle Standard acquièrent-elles une masse ? Le Modèle Standard est en effet fondé sur des considérations de symétrie (invariance par rotation, par transformation de Lorentz, par translation temporelle ...) et la notion de masse n'apparaît pas au départ. Le problème principal de la théorie électrofaible de Glashow (1961) qui unifie les interactions faibles et électromagnétiques est que les particules qu'elle décrit sont sans masse, ce qui est en désaccord avec l'expérience. En 1967, S. Weinberg et A. Salam modifient ce modèle en y incorporant le mécanisme de Higgs qui permet de donner une masse aux particules de la théorie. Une conséquence remarquable de ce mécanisme, et fort utile pour valider le modèle expérimentalement, est qu'il prédit l'existence d'un boson scalaire, le boson de Higgs. Cette particule est à ce jour le seul élément manquant du Modèle Standard.

En 2007, les études sur le Modèle Standard vont connaître un regain d'activité avec le démarrage de l'accélérateur de particules LHC (Large Hadron Collider) au CERN, qui devrait -on l'espère- faire apparaître de la nouvelle physique. Les sujets d'interrogation mentionnés précédemment seront l'enjeu de l'expérience Atlas entre autres, expérience pour laquelle travaille mon équipe d'accueil. L'expérience Atlas est entrée dans sa phase de construction pour tous ses sous-détecteurs de manière à être prête pour les premières collisions en 2007. Les logiciels de reconstruction de la réponse des détecteurs au flot de particules produites par le LHC sont aussi en cours d'écriture. De même les logiciels d'analyse des événements qui seront collectés sont actuellement mis au point.

Avec le développement de modèles phénoménologiques à partir des théories des cordes, la recherche de dimensions supplémentaires est devenue un domaine en pleine effervescence. Au sein d'un groupe d'expérimentateurs et de théoriciens, une étude en vue de déceler une "unification des interactions" à la relativement basse énergie du LHC (par rapport à l'échelle de 10^{16} GeV de GUT [3], le principal modèle d'unification des forces) est actuellement en cours. Cette unification pourrait en effet se produire à une echelle d'énergie accessible s'il existe des dimensions supplémentaires. Une signature de cette unification peut être recherchée dans un excès éventuel de la section efficace de production d'événements dijets[4] par rapport à celle attendue dans le Modèle Standard. Au sein de l'équipe Atlas du LPNHE (Laboratoire de

[3] Grand Unification Theory

[4] Un évènement dit dijet est une collision dans laquelle les produits forment deux gerbes de particules bien distinctes. La section efficace de production de tels évènements est liée dirèctement à la probabilité qu'il se produise.

Physique Nucléaire et de Hautes Energies) de Jussieu, le sujet de mon stage a ainsi été l'estimation de la sensibilité d'Atlas aux dimensions supplementaires. Jusqu'à maintenant les théories concernant ces dimensions n'ont jamais pu être vérifiées expérimentalement ; une multitude de modèles existent, et on espère pouvoir en tester certains au LHC. Tant que l'activité du LHC n'a pas demarré, il s'agit donc de simuler ce qui s'y passerait selon le Modèle Standard, puis selon des modèles faisant intervenir des dimensions supplémentaires à basse énergie, et d'observer si les prédictions de ces deux modèles sont distinctes à l'échelle d'énergie que l'on pourra atteindre. Cette estimation est loin d'être facile car les modèles sont complexes, les prédictions parfois peu précises, en particulier en ce qui concerne la structure du proton en quarks et gluons. La prise en compte de ces imprécisions [1] a revélé qu'elles introduisaient des incertitudes importantes, qui masquent les résultats d'un modèle avec dimensions supplémentaires. Mon travail a consisté à prolonger cette étude, en espérant cette fois détecter une diffèrence entre les rèsultats prédits par chaque modèle.

Il a été nécessaire de faire un choix sur les types de processus à considérer. De manière assez naturelle, le choix de Samir Ferrag s'est porté sur les événements di-jets car leurs sections efficaces sont très élevées (de l'ordre de 10^{-10} barns pour une énergie de l'ordre de 2000 GeV), et on aura un nombre d'événements observé rapidement suffisant pour minimiser les problèmes de statistique. La lecture de la section efficace des événements engendrés s'effectue en fonction de l'impulsion transverse du jet considéré. En plus de l'étude des sections efficaces en fonction de l'impulsion transverse, j'ai poursuivi le travail en fonction d'une autre variable cinématique appelée la pseudo-rapidité, que l'on précisera plus tard.

La section 1.1 présente le dispositif expérimental (collisionneur LHC et détecteur Atlas), la section 1.2 décrit les outils utilisés pour simuler la physique (génération des événements, simulation et réponse du détecteur, analyse des événements ainsi produits etc), la section 2 décrit la cinématique des événements utilisés durant ce stage, et enfin, dans la section 3, je présenterai les résultats de mon travail et des poursuites envisageables.

1 Dispositif expérimental et simulation

1.1 Dispositif expérimental

1.1.1 Le collisionneur LHC

Situé au CERN (Laboratoire Européen de Physique des Particules), près de Genève, le LHC (Large Hadron Collider) prendra la place de l'ancien accélerateur électron-positron LEP (Large Electron Positron collider). Sa construction achevée en 2007, le LHC sera un collisionneur proton-proton dont l'énergie dans le centre de masse sera de 14 TeV (un ordre de grandeur supérieur au Tevatron, le collisionneur hadronique (proton-proton, positron-électron ...) le plus énergétique jusqu'ici) et dont la luminosité vaut $10^{34}\text{cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ (notion explicitée dans la section 2). Les croisements de faisceaux se produisent toutes les 25 ns, soit une fréquence de collision 100 fois plus élevée que dans les collisionneurs hadroniques (proton-proton, positron-électron ...) actuels. On attend en moyenne 23 interactions par croisement. Chaque croisement de faisceaux devrait ainsi engendrer environ 3500 particules. Il y a ainsi de grands espoirs d'améliorer notre connaissance du Modèle Standard et de découvrir le boson de Higgs, dont la masse serait comprise entre 110 GeV (limite expérimentale) et 1 TeV (limite théorique), c'est à dire dans la gamme d'énergie accessible au LHC.

Quatre expériences seront disposées le long de l'accélérateur : Alice pour la physique des ions lourds, LHCb dédiée exclusivement à l'étude de la violation de CP dans le système des mésons B et deux expériences généralistes : CMS et Atlas.

1.1.2 Le détecteur Atlas

L'experience Atlas est dite généraliste dans le sens où elle servira à de multiples études. Elle aura pour principale ambition de mettre en évidence le boson de Higgs, mais elle servira aussi à l'étude de la violation de CP dans le système des mésons B. Elle aura aussi pour objectif d'étudier l'unification des interactions dans le cadre de modèles au-delà du Modèle Standard et donc la mise en évidence des dimensions supplémentaires. Mon sujet de stage n'utilisant pas spécifiquement les éléments du détecteur, sa description sera succincte. Une description détaillée peut cependant être trouvée dans "Atlas : Detector and Physics Performance Technical Design Report" [2], et une description plus abordable peut être trouvée dans la thèse d'habilitation à diriger des recherches [3] d'où est issue cette brève description.

On distingue sur la figure 1 les systèmes essentiels de détection et de mesure des particules. La forme du détecteur, cylindrique, est caractéristique d'une expérience utilisant des couches successives de sous-détecteurs entourant le point d'interaction. En suivant la trajectoire d'une particule, depuis le point d'interaction situé au milieu du détecteur, on voit successivement :

- le détecteur interne, appelé trajectographe, dont le but est de reconstruire les traces chargées et les vertex de production et de désintégration des particules,
- le calorimètre électromagnétique pour la mesure du dépôt en énergie des particules neutres et chargées formant des gerbes électromagnétiques (comme les photons et les électrons),

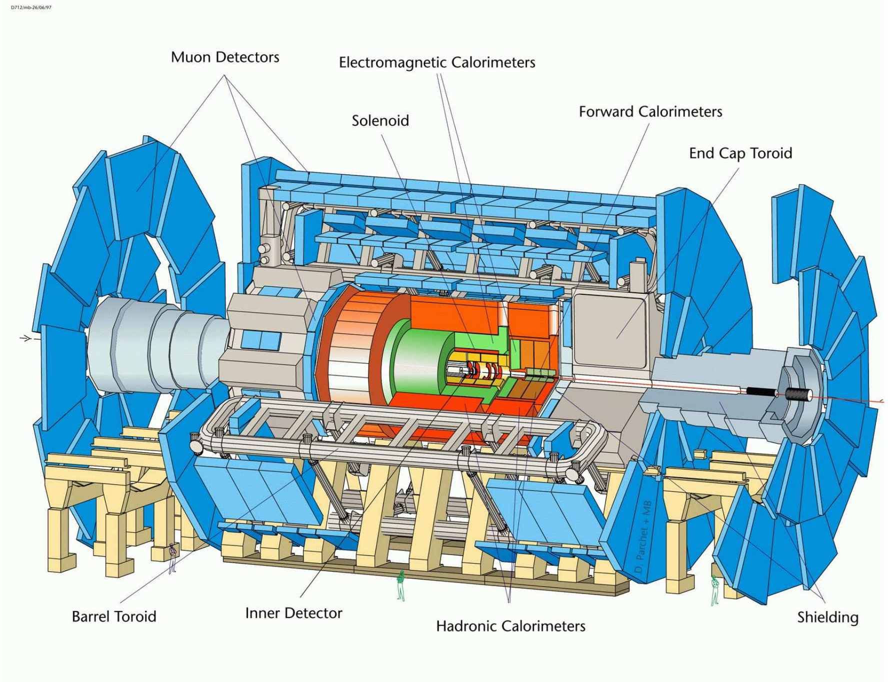


FIG. 1 – *Représentation du détecteur Atlas.*

- le calorimètre hadronique pour la mesure du dépôt en énergie des particules neutres et chargées formant des gerbes hadroniques (comme les pions, les kaons etc),
- et le spectromètre à muons baignant dans un champ magnétique toroïdal.

1.2 Simulation de la physique et outils de traitement des données

1.2.1 Simulation de la physique

Génération d'évènements Avant la fin de la construction du LHC, il est nécessaire de prédire ce que l'on devrait y observer selon les différents modèles testés. Pour cela, les théoriciens créent différents algorithmes de calcul, dans lesquels il est possible à l'utilisateur de choisir des conditions sur la collision étudiée, telles que l'énergie dans le centre de masse, l'inclinaison des jets ... En ce qui me concerne, j'ai utilisé Pythia [4], qui utilise la méthode Monte-Carlo comme générateur d'évènements.

Simulation du détecteur et reconstruction des évènements La phase de simulation des détecteurs, de reconstruction des différentes traces, et d'identification des particules est réalisé par le logiciel Atlfast [5]. Ce programme de simulation rapide utilise un paramètrage des performances des différents sous-détecteurs. Il permet de simuler les interactions entre les particules incidentes et le détecteur, qui entrainera en effet une perte d'énergie de la particule, et qui provoquera aussi souvent la désintégration des particules incidentes en de nouvelles gerbes. Ces phénomènes sont justement mis a profit pour déceler certaines particules, comme les électrons dans le calorimètre électromagnétique. Atlfast permet ensuite d'identifier les leptons, les photons et les jets, et estime l'énergie transverse manquante qui sera attribuée aux autres particules. Il tient aussi compte du champ magnétique pour la reconstruction des jets.

1.2.2 Outils de traitement des données

Ces données sont ensuite analysées en local sur les stations de travail situées à Paris. Pour ce faire, on utilise un logiciel développé au CERN, PAW [6], couramment utilisé en physique des particules. C'est un utilitaire graphique qui sert à traiter des données aussi bien expérimentales que simulées. Il gère à la fois son langage propre et des routines en Fortran, langage plus "universel" et qui peut être considéré comme plus sûr.

2 Cinématique

2.1 Introduction de certaines notions

En physique des particules, il est usuel de prendre comme coordonnées de position les coordonnées sphériques, un vecteur position étant ainsi paramétré par sa norme R (l'origine du vecteur, origine du repère, étant placé au centre du détecteur), son inclinaison θ par rapport à l'axe principal z, et enfin l'angle ϕ dans le plan transverse. Comme le détecteur Atlas a une symétrie cylindrique et que dans le cas de notre étude l'angle ϕ est arbitraire, la donnée des axes x et y est inutile.

Quant au vecteur impulsion (produit de la masse relativiste par la vitesse), de même les seules grandeurs intéressantes seront l'impulsion longitudinale et l'impulsion transverse. Il peut aussi être intéressant d'utiliser l'inclinaison de l'impulsion par rapport à l'impulsion longitudinale, et pour cela on définit d'une part l'angle "simple" nommé à nouveau θ [5] tel que $cos(\theta) = p_z/p$, et ensuite une autre grandeur associée, appelée la pseudo-rapidité et définie par $\eta = -\ln(\tan(\theta/2))$. Lorsque θ varie de 0 à π, η varie de $+\infty$ à - ∞, et lorsque θ varie de 0.1 rad à 3.04, η varie a peu près de $+3$ à -3, ce qui suffit à décrire la plupart des évènements intéressants, d'autant que si l'inclinaison des jets est trop faible, ils ne traversent pas les détecteurs périphériques. Un interet de la pseudo-rapidité par rapport à l'angle θ est sa distribution plate, mais aussi le fait que sous certaines hypothèses -bien justifiées dans notre étude- on peut approximer la pseudo-rapidité à la rapité [6]. Un des interêts de cette grandeur est que l'on peut "l'additionner sans transformation", malgré le fait que les particules soient relativistes. En particulier, lorsque l'on ajoute les rapidités de deux partons, la rapidité résultante correspond à la rapidité qu'aurait le centre de masse associé au système formé de ces partons, si cette notion représentait une particule réelle bien sûr. Cela permet d'effectuer facilement des changements de référentiel de cette grandeur.

On pourrait a priori avoir quelques informations sur les relations entre les grandeurs cinématiques à partir simplement des principes de conservation de mécanique classique. Ainsi, étant donné l'espace qui existe entre ceux-ci, relativement à la taille des protons, on pourrait considérer en première approximation que pendant la durée de la rencontre des deux faisceaux, chaque couple de protons forme un système pseudo-isolé qui permet ainsi d'appliquer la loi de conservation de l'impulsion. Cependant, les informations sur les restes des protons étant inaccessibles, on ne pourra estimer véritablement de relations entre les variables.

C'est pourquoi en physique des particules il est préférable de se placer dans le référentiel de centre de masse des partons, l'impulsion totale y étant nulle par construction. Mais ceci n'est intéressant que dans la mesure où l'on peut faire l'approximation que la somme des impulsions des restes des protons est portée par l'axe z, car alors la trajectoire du centre de masse est aussi parallèle à l'axe z (et passant par le vertex principal de production). Cette supposition n'est pas forcément applicable car si c'était le cas, on devrait avoir, en présence de deux jets uniquement, les impulsions transverses des deux jets opposées, et il se trouve que pour certaines

[5] Même initialement, à cause de l'extension spatiale des faisceaux et des lieux de collision selon z, leurs valeurs ne sont a priori pas identiques.

[6] Celle-ci est définie par $\eta = 0.5 * \ln((E + p_z)/(E - p_z))$.

coupures au moins j'ai observé de légères variations à cette relation.

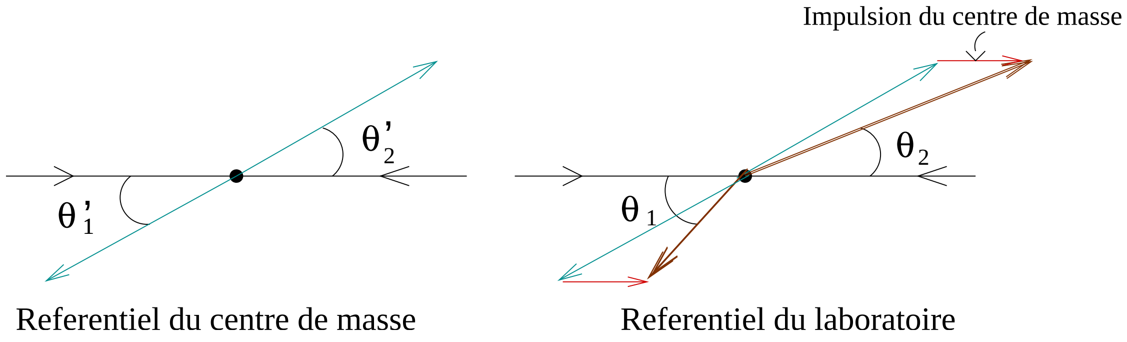


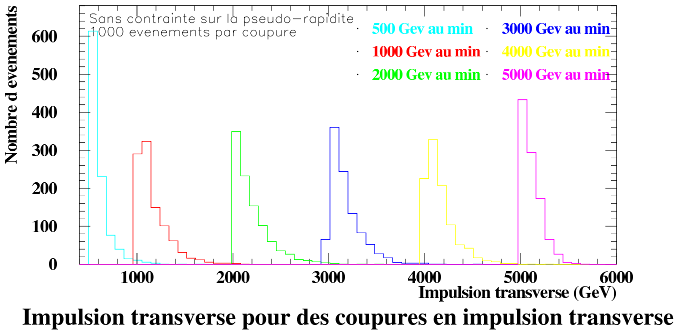
FIG. 2 – *Référentiels utilisés.*

Quoiqu'il en soit, on constate que l'on ne peut faire de conclusions simples au sujet des relations entre variables cinématiques sans appréhender la physique par une approche phénoménologique en faisant des tests sur les variables en se plaçant dans les conditions utilisées pour la "véritable ' étude à venir. Il faut de plus noter que pour effectuer des calculs théoriques, il est indispensable de se placer dans le cadre de la relativité restreinte, mais il est possible de ne pas prendre en compte les indéterminations quantiques (cf ?). Voyons donc quelques informations générales que l'on peut tirer des évènements générés par Pythia.

2.2 Etudes graphiques simples

Dans toute cette partie, je n'ai utilisé que la génération d'évènements par Pythia et non la phase de reconstruction par Atlfast. Je me suis de plus limitée aux évènements dijets en vue de la suite de mon travail. A l'aide du logiciel PAW, j'ai tout d'abord pu vérifier le fait que la variable ϕ associée à l'impulsion initiale de l'un des deux jets était muette. Ensuite, il est très intéressant de voir à quelles énergies transverses les jets sont produits majoritairement, car seuls les évènements dans lesquels les particules produites ont de grandes impulsions transverses apporteront des informations nouvelles. D'autre part, d'après la géométrie même du détecteur, les particules produites doivent avoir une inclinaison suffisantes pour traverser les sous-détecteurs donc il est aussi intéressant de voir comment se comporte l'angle θ d'inclinaison de l'impulsion vis-à-vis de l'impulsion transverse. Une rapide approche de ces questions est présentée dans la figure 3.

On constate sur le premier histogramme que la décroissance de la section efficace (qui est similaire à celle du nombre d'évènements porté en ordonnée) en fonction de l'impulsion transverse a une allure exponentielle, ce que l'on vérifie plus précisément en échelle logarithmique. Cette décroissance permet de se satisfaire de bornes inférieures pour les coupures en impulsion transverse. Dans le second histogramme, on constate que plus l'impulsion transverse est grande, plus l'inclinaison de l'impulsion du jet est importante. Mais je tiens à souligner quelques points essentiels : d'une part, je n'ai pas précisé dans quels référentiels était prise chaque variable. Pour l'impulsion transverse, en théorie elle devrait être conservée par changement de référentiel puisque le choc est frontal, mais il se trouve qu'en pratique on peut



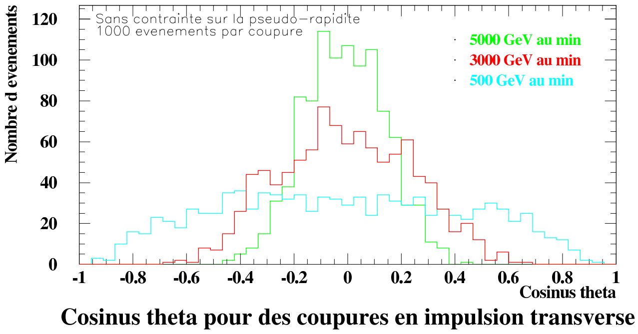


FIG. 3 – *Etudes cinématiques simples sur l'impulsion transverse et l'angle θ*

avoir de légères impulsions du centre de masse transversalement. Quant à l'angle θ, ce doit être celui dans le référentiel du centre de masse des partons car il est indiqué dans le manuel Pythia, d'où cette variable est extraite, par $\hat{\theta}$. Comme l'inclinaison du jet dépend de l'impulsion longitudinale, elle varie notablement en changeant de référentiel, mais on peut tout de même gader en mémoire l'idée très générale qu'en référentiel laboratoire la section efficace chûte exponentiellement en fonction de l'impulsion transverse et que l'impulsion totale ne varie pas suffisament d'un évènement à l'autre pour supprimer l'idée que plus l'impulsion transverse d'un jet est grande, plus l'impulsion totale se rapproche du plan transverse.

Ces analyses sur les variables cinématiques, dont je n'ai présentées que les aspects les plus généraux, sont essentielles à la bonne compréhension des phénomènes, et je regrète de n'avoir pas mieux compris dès le départ leur enjeu pour débuter ma véritable étude sur des bases plus solides. Cela a en effet occasionné des problèmes une fois le travail sur les sections efficaces bien entamé, ce qui m'a donc fait perdre (ainsi qu'à mon maître de stage) un temps considérable.

Dans la suite de l'étude, les variables sur lesquelles je ferai mes coupures pour l'analyse de la section efficace des dijets seront l'impulsion transverse (Dans quels refs sont xkininfo 100 et 101 ?) et la pseudo-rapidité dans le référentiel du laboratoire. Cela permet d'observer les prédictions des modèles dans des espaces plus confinés, et laisse donc espérer qu'en regardant ainsi de façon plus détaillée on mettra en évidence les différences de prédictions des différents modèles.

3 Analyse de la section efficace des dijets

3.1 Analyse initiale

Mon travail est une suite au travail de sensibilité aux dimensions supplémentaires décrit dans la référence [1]. Ce travail est une étude de l'impact des incertitudes concernant la structure du proton, sur la sensiblité aux dimensions supplémentaires. Ces incertitudes se traduisent par l'existence de différentes Fonctions de Densité de probabilité de présence de Partons (PDF) ; la paramétrisation utilisée pour ces fonctions est celle de la collaboration CTEQ [7]. Il se trouve qu'à cause de ces incertitudes, l'incertitude sur la prédiction du Modèle Standard qui en découle, masque les prédictions du modèle avec dimensions supplémentaires [8].

La sensibilité aux dimensions supplémentaires est estimée en comparant les sections efficaces de production des dijets [7] dans le cadre du Modèle Standard à celles que prévoit le modèle avec dimensions supplémentaires, et ce en fonction de l'impulsion transverse seulement. Mon travail a consisté à reprendre cette analyse [1] avec des restrictions supplémentaires sur la pseudo-rapidité de l'un des deux jets. On esère grâce à cela, améliorer la sensibilité aux dimensions supplémentaires.

Voici les résultats que j'ai obtenus en prenant 10000 évènements par bine :

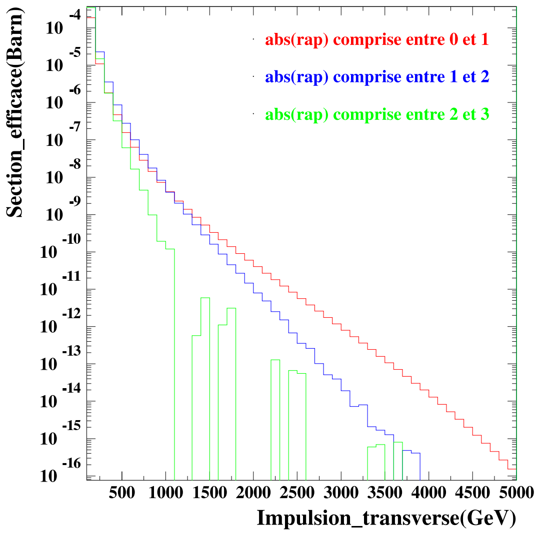


FIG. 4 – *Histogrammes de référence calculés sans la prise en compte des différentes densités de fonction de structure et à partir du modèle sans extra-dimension*

On observe de nets problèmes de statistique, en particulier pour la tranche de pseudo-rapidité de valeur absolue 2-3. Etant donnée l'échelle de temps nécessaire pour générer tous ces évènements (de l'ordre de la journée) et comme il faudra multiplier ce temps par 40 pour prendre en compte les 40 pdf de CTEQ6, il m'était impossible d'augmenter la statistique pendant le temps de mon stage. Le travail sur la taille des bines (et donc leur nombre) et la suppression de la coupe supérieure en impulsion n'a pas non plus apporté de solution à ce problème de statistique. Par la

[7] parton + parton → jet + jet

suite, il ne sera donc possible de n'utiliser que les tranches de rapidité de valeurs absolues comprises entre 0 et 1 ou 1 et 2.

J'ai donc tracé ensuite, avec 10 000 évènements par coupure, la bande de prédiction du Modèle Standard en considérant toutes les pdf comme des incertitudes. Les histogrammes extérieurs ont été obtenus en sommant quadratiquement les écarts entre les sections efficaces prédites par chaque pdf et une valeur centrale.

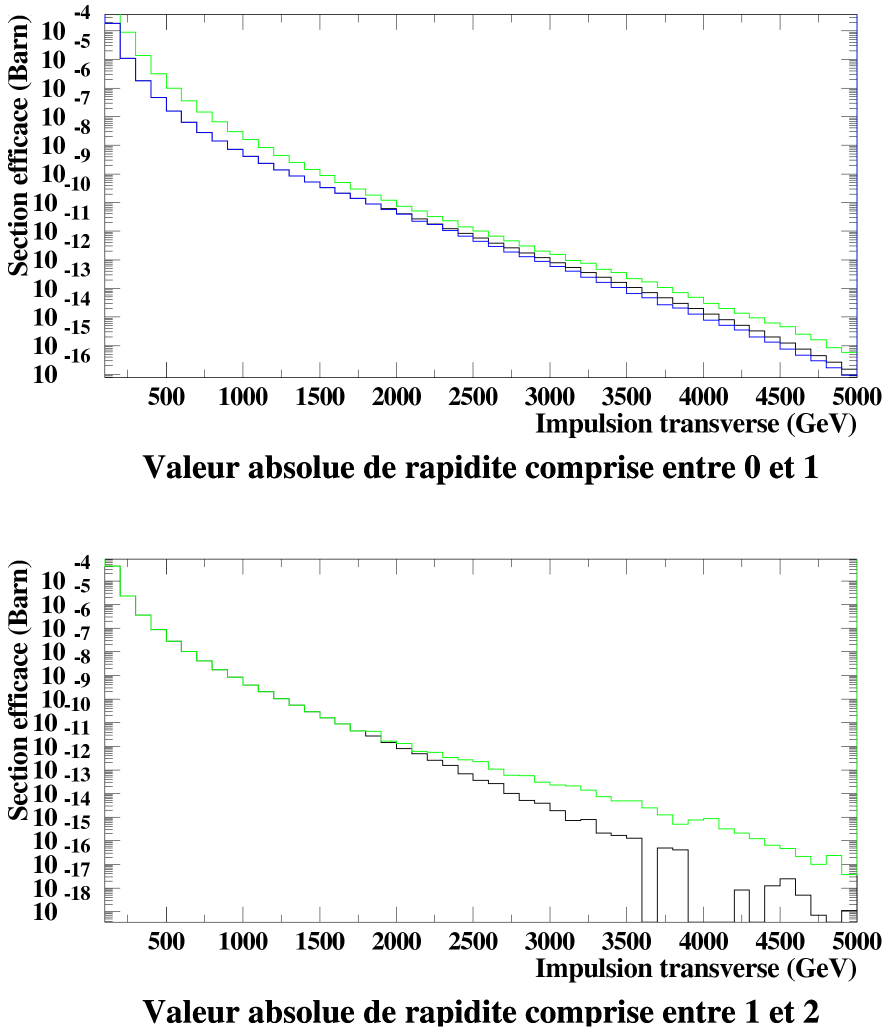


FIG. 5 – *Bande de prédiction du Modèle Standard*

La statistique semble bonne entre 0 et 1, mais insuffisante entre 1 et 2 puisque la borne inférieure est même complètement absente : si la somme quadratique des différences est trop importante et dépasse la valeur de l'histogramme central, l'histogramme de la borne inférieure passe alors en négatif.

3.2 Poursuite du projet

Voyons les différents points que l'on pourrait reprendre dans mon travail : tout d'abord, je tiens à préciser l'utilisation des paramètres de Pythia CKIN 13, CKIN

14, CKIN 15 et CKIN 16 qui m'ont permis d'effectuer des coupures sur la pseudo-rapidité dans le référentiel du laboratoire. CKIN 13 et CKIN 14 sont les limites en pseudo-rapidité du jet dont la pseudo-rapidité sera la plus grande, et CKIN 15 et CKIN 16 sont celles de l'autre jet. Ainsi, si on impose que CKIN 13 $<$ CKIN 15, la borne inférieure effective de la pseudo-rapidité du premier jet sera donnée par CKIN 15, et si on impose CKIN 14 $<$ CKIN 16, la borne supérieure effective de la pseudo-rapidité du second jet sera donnée par CKIN 14. Or en prenant toujours des intervalles de pseudo-rapidité centrés en 0, ce problème s'est posé à chaque fois, sauf lorsque les limites pour les deux jets étaient égaux. Cela réduit l'espace des phases considéré (et donc la section efficace), empêche l'existence d'évènements "boustés" vers l'un des côtés et occasionne peut-être d'autres problèmes. Je pense qu'il faudrait considérer le problème d'un peu plus près.

D'autre part, il est intéressant de réduire la taille des bines pour un gain de temps, mais je ne crois pas qu'il faille trop la diminuer car moins il y a de bines, moins on a de chance de trouver un ensemble de coupures cinématiques qui permettent de dissocier les prédictions des différents modèles. Mais des programmes avec des bines de 250 GeV sont déja mis en place et fonctionnent, et pour le même nombre d'évènements par bine, les résultats et la précision semblent tout à fait similaires pour des bines de 100 GeV et des bines de 250 GeV. Un bon compromis temps/zones d'analyse est donc envisageable.

On pourrait aussi regarder le rôle joué par la valeur centrale et si on pouvait la modifier sans pour autant fausser toute l'analyse. Notamment, je me demande si en procedant ainsi (en faisant une sommation quadratique des différences), on ne considérerait pas que toutes les distributions envisageables du proton ont toutes le même poids. Si c'est bien une hypothèse implicite qui est faite et qui n'est pas justifiée, il faudrait vérifier qu'il n'existe pas d'autre solution.

Enfin (et surtout !), il reste à reprendre le travail avec le modèle utilisant des extra-dimensions et à observer si les histogrammes se confondent ou non. Toutes les kumac et tous les programmes fortran sont prêts, il ne reste "qu'à modifier Pythia" et lancer la génération. J'ai même préparer des programmes d'optimisation du temps de calcul par rapport à la précision obtenue selon le nombre d'évènements générés, par bine et par tranche de rapidité. Je n'ai pas eu le temps de les concevoir de façon quantitative, mais par la différence entre les histogrammes obtenus selon le nombre d'évènements générés, on a une idée de la précision gagnée en augmentant par exemple la statistique de 10 000 évènements. Ce travail me semble essentiel, mais on peut se satisfaire d'une étude sur la valeur centrale, à condition tout de même de supposer que le comportement occasionné par l'utilisation de ce pdf sera caractéristique de l'ensemble des autres pdf. Si malheureusement tous ces efforts ne parvenaient pas à un résultat positif, je pense (j'espère) que ce travail pourra servir de base à de nouvelles études sur d'autres types de processus ou à partir d'autres variables sur lesquelles effectuer des coupures.

Conclusion

La recherche de dimensions supplémentaires étant actuellement en pleine effervescence, il est essentiel de rechercher quelles variables et quels évènements permettront de différencier nettement les prédictions des différents modèles. A la suite du -modeste- travail que j'ai effectué et à cause de mon manque d'expérience, je ne peux imaginer si la voie des évènements dijets est prometteuse ou non, mais quoiqu'il en soit l'exploration n'est pas terminée. Il me semble essentiel de travailler en collaboration avec les théoriciens qui ont peut-être davantage d'idées sur les chemins à suivre.

Références

[1] S .Ferrag, B. Laforge : *Proton structure impact on sensitivity to extra-dimensions through di-jets cross section measurement at LHC.* ATLAS-COM-PHYS-2003-13

[2] ATLAS collaboration, 1999 : *TDR ATLAS detector and physics performance, vol. 1.* CERN/LHCC 99-14, ATLAS-TDR-14

[3] P. Schwemling, Thèse de doctorat de 2002, Université Paris VII : *Construction du calorimètre électromagnétique de l'expérience Atlas et minimisation du terme constant de la résolution.*

[4] T. Sjostrand 1993 *Pythia 5.7 and Jetset 7.4 Physics and Manual.* CERN/TH/7112/93

[5] Atlfast

[6] Paw

[7] CTEQ ...

[8] Modèle des extra-dims ...

[9] Dans home/smith/atlfast/atlfast/demo/demo-pythia61, les fichiers pdf.kumac et pdf.f permettent d'obtenir les histogrammes observés sur la figure 5 et les fichiers pdf"underline"250.kumac et pdf"underline"250.f permettent d'obtenir ces mêmes histogrammes mais avec des bines de 250 GeV. Mais le programme principal est dans le fichier isa.f qui permet de générer les évènements.