Remerciements

Je remercie **Jean-Jacques Aubert** de m'avoir accueilli au laboratoire de physique de particules de Marseille où ce stage a été éffectué .

Je remercie **Marie-Claude Cousinou et Claude Vallée** de l'attention qu'ils bien voulu accorder au bon déroulement de ce stage.

Je tiens à remercier tous les physiciens de H1 du C.P.P.M pour leur accueil.

Je souhaite en particulier exprimer ma reconnaissance à **Axel Pieuchot** mon tuteur pour son attention constante, ses explications et sa grande compétence.

Je tiens à exprimer toute ma gratitude à **Smain Kermiche** pour ses explications très utiles et sa lecture attentive du manuscrit.

Je remercie **Jorg Marks** pour son aide. Je remercie **Bruno Gilles** pour son aide et sa gentillesse

Je remercie **Michel Ricard** pour ses explications en informatique.

Je tiens également à saluer mes camarades de maîtrise de physique avec qui j'ai partagé les mêmes locaux.

Je remercie toute l'equipe administrative pour son accueil.

Table des matières

Introduction

La diffusion profondément inélastique d'un électron sur un proton permet la mesure des fonctions de structure du proton grâce à l'électron diffusé ou bien grâce aux hadrons formés. Ces quantités sont prédites par la chromodynamique quantique. Jusqu'à présent ces mesures étaient réalisées dans des expériences dites de cible fixe où les faisceaux de neutrinos ou de muons bombardent une cible de nucléons. Pour atteindre un plus grand domaine en énergie, tout en restant dans une gamme d'accélérateurs réalisables techniquement, on a construit **HERA** (Hadron Electric Ring Anlage) collisionneur électron-proton à HAMBOURG; il a donné les premières interactions en Avril 1992 et permet à présent d'accéder à un nouveau domaine cinématique correspondant à des valeurs de x faibles et des valeurs de Q^2 supérieures aux précédentes ($x \sim 10^{-4}$, $Q^2 \sim 5GEV2$). La variable x correspond à la fraction d'impulsion portée par "le quark" interagissant et Q^2 au carré du moment transféré entre l'électron et le proton. Ce nouveau collisionneur permet de tester la chromodynamique quantique. On espére également en sondant le proton avec une résolution de $10^{-18}m$ trouver de nouvelles particules qui constitueraient le proton comme les particules supersymétriques en observant une augmentation anormale de la section efficace. La découverte de telles particules permettrait de valider certaines théories unifiant l'ensemble des forces existantes.

Ce rapport comprend trois chapitres:

- Le premier est consacré à une présentation générale de la physique à **HERA** du détecteur et du sujet de travail qui m'a été proposé ;
- Le deuxième donne une description des identificateurs de bruits de fond ;
- Le dernier analyse l'efficacité de ces identificateurs en les appliquant à un échantillon d'événements;

Chapitre 1

Présentation générale de la physique à HERA et du détecteur

1.1 Présentation

1.1.1 Présentation générale de la physique à HERA

Les expériences à HERA portent sur l'exploration de la structure des nucléons. Depuis Rutherford la matière a été sondée à des distances de plus en plus petites. La méthode employée consiste à bombarder une cible par un faisceau de leptons. Les sous-structures ponctuelles du proton ont ainsi été mises en évidence grâce à des expériences de diffusion électron-proton. Ensuite les expériences de diffusion muon-nucléon qui mettent en jeu des énergies plus grandes ont permis de déterminer de manière plus approfondie les répartitions de quarks dans le proton. Toutes ces recherches s'appuient sur les mesures des produits de collision électron-proton. Le lepton sert de sonde pour le proton dont les constituants sont liés par l'interaction forte. Celle-ci se manifeste par une émission continuelle de gluons, qui sont les bosons médiateurs de cette interaction ; ce que nous savons de l'interaction forte a surtout pour origine le modèle des partons inventé par FEYNMAN. Ces partons sont des composants ponctuels du nucléon ; le modéle du nucléon ponctuel a été abandonné lorsque l'on a réalisé les premières diffusions inélastiques électron-proton. La réaction de diffusion qui nous intéresse dans le détecteur H1 est de type électrofaible et est bien connue. L'interaction du lepton n'a pas lieu avec l'ensemble du proton mais avec l'un de ses constituants : un parton qui porte une fraction de la quadri-impulsion de ce dernier. Elle se manifeste par l'échange d'un boson neutre (photon ou Z^0) ou chargé (W^+ ou W^-) entre l'électron incident et le quark cible. Ces deux interactions sont données dans les diagrammes qui suivent. Avec une résolution spatiale maximum de $10^{-18}m$, on identifie le parton à un quark à l'état “quasi-libre” avec lequel le lepton intéragit en une réaction à deux corps que la conservation de l'énergie-impulsion permet de décrire par deux variables indépendantes : le quadrimoment Q^2 du boson échangé et la fraction x du moment du proton transportée par le quark cible. La réaction de diffusion se traduit par deux types d'interactions selon la charge du courant électrofaible :

$$e + p \longrightarrow l + X$$

l : lepton p : proton
X : ensemble de l'état final ne comprenant pas le lepton diffusé

Dans les deux cas, les aspects des produits des réactions d'un lepton avec un quark léger (u,d,s) se ressemblent. On ne sait pas produire de quark à l'état libre pour le faire réagir directement avec l'électron. Pour mieux comprendre cela, il est nécessaire de situer l'interaction forte par rapport aux autres forces. Contrairement aux autres forces fondamentales électrofaible ou gravitationelle, elle est importante pour des dimensions de l'ordre de celles du noyau de puoton et quasi nulle en deçà. Ceci explique l'impossibilité de trouver un quark à l'état libre. L'interaction électron-proton n'est pas le seul moyen qui permette d'étudier l'interaction forte. Elle peut l'être à partir des événements où l'électron n'intéragit pas directement avec le proton, mais émet un photon quasi-réel qui, lui-même interagit : c'est la photoproduction ; ces événements sont majoritaires.

La composition du proton ou des hadrons est de :

- deux quarks pour pour les mésons
- trois quarks pour les baryons.

Les quarks sont liés entre eux par les gluons (composants sans charge électrique). Les expériences sur cible fixe approchent un domaine de résolution $\triangle R \simeq 10^{-16}m$ (la taille du proton est de $10^{-15}m$). Historiquement, les quarks ont été mis en évidence par la manifestation d'événements où la résolution spatiale $\triangle R$ était inférieure au rayon du proton. Avec HERA, de nouvelles perspectives sont ouvertes dans l'étude de la structure du proton. Ce nouveau collisionneur fait interagir des électrons de 30 GeV avec des protons de 820 GeV donnant une énergie dans le centre de masse de 314 GeV, ce qui permet d'améliorer la résolution d'un facteur 100 :

$$\triangle R = \hbar c/(\sqrt{Q^2}) \simeq 10^{-18}m.$$

La quantité de mouvement transférée est supérieure à celle mise en jeu en cible fixe : le domaine cinématique atteint est très étendu et permet des tests de la chromodynamique quantique, théorie actuelle des interactions fortes, qui ne peuvent se faire qu'à grand transfert d'impulsion. Il existe également d'autres pistes de recherche :

- sous-structure des quarks eux-mêmes
- test de théories dans des domaines cinématiques particuliers
- mise en évidence de nouvelles particules telles que le "lepto-quark" qui est une particule prédite par certaines théories permettant une interaction directe entre les deux grandes familles actuelles de particules, les leptons et les hadrons.

1.2 Le détecteur

1.2.1 Description du détecteurH1

Généralités sur le collisionneur

Le collisionneur **HERA** (Hadron Electron Ring Anlage)situé à HAMBOURG sur le site de DESY est constitué de deux anneaux concentriques et superposés de 6.3 km de circonférence situés dans un tunnel à environ 20 m sous terre. Ces anneaux se croisent en quatre points où les faisceaux peuvent se heurter de front. Les électrons sont accumulés et accélérés jusqu'à 27.7 GeV dans l'un des anneaux à aimants conventionnels et à cavités supraconductrices. Les protons sont accumulés et accélérés jusqu'à 820 GeV dans l'autre anneau à aimants supraconducteurs, pour atteindre les grandes intensités de champ magnétique nécessaires pour défléchir des protons de cette énergie. Les techniques les plus modernes ont été utilisées pour construire les aimants supraconducteurs, les systémes de liquéfaction d'hélium et les dispositifs fournissant un vide poussé faisant de HERA un accélerateur à la pointe de la technologie.

Les particules regroupées par paquets sont accélérées par un systéme haute fréquence. L'intervalle de temps entre deux croisements est de $96ns$ ce qui entraîne des contraintes de rapidité sur les systèmes d'acquisition de données des détecteurs. La figure (a) montre l'implantation générale des anneaux de HERA, le systéme de préaccélérateurs et l'emplacement des détecteurs H1 et ZEUS.

Dans H1, une bonne granularité du calorimétre permet l'observation et la mesure précise de l'electron sortant. ZEUS est spécialisé pour la mesure précise de l'énergie des hadrons ce qui est nécessaire pour le calcul de l'énergie du neutrino résultant des réactions à courant chargé, car celui-ci n'interagit pas avec le détecteur. Un détecteur idéal détecterait toute particule issue du point d'interaction sur tout l'angle solide 4π.
La première caractéristique de H1 est d'être asymétrique longitudinalement car le centre de masse du systéme n'est pas confondu avec le laboratoire à la différence des expériences (e^+e^-) (LEP), où les deux faisceaux antagonistes

Figure 1.1: emplacement des détecteurs

collisionnent avec une même énergie 45GeV ; le proton trés énergétique entraine beaucoup de particules dans la direction de son mouvement. L'avant du détecteur reçoit en particulier beaucoup de particules provenant à la fois du quark ayant iteragi avec le proton et des quarks spectateurs. On a vu que l'interaction *e- p* pouvait être considérée comme une réaction " à deux corps ", l'électron, d'une part, et l'ensemble des hadrons d'autre part; la mesure de l'électron seulement permet déjà de définir toute la cinématique pour les courants neutres. Toute l'information dépend d'une très bonne reconnaissance et une mesure précise de l'électron, d'où l'importance de la calorimétrie électromagnétique dans le détecteur. La calorimétrie hadronique est importante pour les courants chargés et toutes les études sur la chromodynamique quantique (QCD), les quarks lourds, les nouvelles particules.

description détaillée du détecteur

En allant du centre du détecteur **H1** vers la périphérie, on observe successivement :

- les détecteurs de trace centraux constitués des chambres à dérive, des chambres proportionnellles, des détecteurs de traces à l'avant, et d'une chambre à fils à l'arrière
- les calorimètres électromagnétiques utilisant des plaques de plomb comme absorbeur et l'argon liquide dans la partie centrale et à l'avant, et un calorimètre formé de plomb et de scintillateur à l'arrière
- les calorimètres hadroniques à argon liquide à absorbeur en acier
- le cryostat
- la bobine supraconductrice située derriére le calorimètre et le cryostat hadronique

- le fer instrumenté constitué de plaques en acier entourant le dispositif précédent permettant le retour du flux du champ magnétique et la détection des muons et des fins de gerbe hadronique

- un petit calorimètre à bas angle (PLUG) constitué de cuivre et de silicium

- un aimant de compensation compensant le champ axial crée par la bobine

Un shéma du détecteur est donné.

Les sous détecteurs de H1 Dans cette partie sont présentés les sous-détecteurs de H1 qui permettent la sélection des événements physiques parmi les événements de bruit de fond.

Systémes de détection

détection des traces (tracking)
Le systéme intérieur est donc composé de chambres proportionnelles et des chambres à dérive. Elles servent 'a énregistrer la trajectoire des particules chargées. En présence d'un champ B, le rayon de courbure R de la trajectoire permet de déterminer le signe de la charge q d'une particule et son impulsion

$$p = qRB$$

. La précision de la mesure d'impulsion est donc proportionnelle à la précision avec laquelle on détermine R. Ces chambres sont des détecteurs électroniques qui utilisent le fait qu'une particule chargée d'énergie suffisamment grande ionise la matière. Sous l'effet d'un champ électrique, les ions et les électrons migrent vers les électrodes ce qui induit un signal(qui sera convertit en traces).

Les chambres à fils ont une précision limitée par la distance entre fils qui ne peuvent être inférieure à 2 mm. L'environnement électronique doit être puissant si l'on veut une précision optimale(amplificateurs). Les fils sont très tendus pour éviter leur vibration sous l'influence des forces électrostatiques.

Dans une chambre à dérive le nombre de fils est diminué et nécessite moins de canaux pour la lecture .On n'obtient cependant une meilleure résolution spatiale (40μm) parce qu'on mesure le temps de dérive des électrons jusqu'à leur arrivée sur les anodes.

le calorimétre à argon liquide-LAr
Le mot calorimètre signifie que l'énergie des particules est absorbée et transformée en un signal de mesure. On le désigne aussi par calorimètre à gerbes. Lorsque la particule pénétre dans le calorimètre, elle rencontre d'abord une couche d'absorbeur, puis une alternance de couches d'absorbeurs et de détecteurs. Cet empilement constitue une cellule, le calorimétre en est formé de milliers. Dans les couches d'absorbeurs, la particule en génère d'autres par diffusion

Figure 1.2: calorimétre à gerbes: apparition de particules secondaires par diffusion dans les couches d'absorbeurs (1); ces particules sont échantillonnées dans les couches de détecteur;puis, l'energie initiale se répartit sur les particules de la gerbe, jusqu'a ce que leur énergie individuelle tombe au-dessous de la limite d'absorption(3) et la gerbe s'arrête.

inélastique. On dit "qu'elle gerbe". La gerbe dans le calorimétre se prolonge tant que son énergie est supérieure au seuil d'énergie pour la génération de particules secondaires. Les couches de détection échantillonnent les particules secondaires. Cet échantillonnage permet de définir la distribution spatiale de l'énergie. Si la distance parcourue par la gerbe est suffisante le nombre de particules secondaires est proportionnnel à l'energie de la particule initiale.

Le grand calorimètre central est donc composé de deux parties qui se différencient par le matériau absorbeur:

- On utilise du plomb dans la partie intérieure. Il permet de détecter les photons et les électrons. Les muons et les hadrons déposent dans cette partie du calorimétre très peu d'énergie. Les hadrons sont très énergétiques par conséquent peu de photons sont émis par rayonnement.(*Bremsstrahlung*)
- Dans la partie extérieure, de l'acier inox est utilisé pour la détection des hadrons: ce materiau massif optimise la détection.

Pour des particules très peu déviées de l'axe du faisceau qui échappent donc au calorimétre électromagnétique, des calorimt́res spéciaux,"les bouchons", permettent de détecter ces particules. Le fer instrumenté entoure la partie centrale du détecteur, c'est une alternance de plaques de fer et de tubes à streamer: Les plaques chargées servent à fermer les lignes du champ magnétique de la bobine supraconductrice, les streamer détectent des particules chargées comme les muons ou le reste de gerbe de hadrons trés énergétiques qui n'ont pas été complétement absorbés par le calorimètre.

Pour des particules comme les muons qui ne sont pas absorbés par le calorimètre, il existe les chambres à muons situés à l'avant du détecteur qu'eux seuls peuvent atteindre, on peut alors déterminer leur valeurs cinématiques.

1.2.2 Bruits de fond et sélection des événements

Interaction du faisceau de protons avec le gaz résiduel

Dans le tube central où la collision a lieu, un vide poussé est maintenu. On atteint une pression de 10^{-10} *mbar*. Ce vide est réalisé de deux manières:

- par des pompes à vide
- les parois sur lesquelles se déposent des particules sont chauffés, ainsi il y a condensation du gaz résiduel sur les régions froides á l'intérieur du collisionneur.

Ce pompage est à réalisé sur les 6 *km* de circonférence.Cela prend plusieurs jours. Mais le vide parfait n'est jamais atteint et le faisceau de protons peut collisionner avec les atomes de gaz résiduel; cet événement que l'on désigne par *beam gaz* en anglais est un bruit de fond car ce n'est pas une collision électron-proton.

interaction du halo du faisceau de protons avec le tube à vide (halo)

Le faisceau de protons arrive avec une énergie de 820 GeV. Ce faisceau est collimaté par un champ magnétique qui est imparfait il y a donc des zones dans le collisionneur où il faiblit, certains protons alors avec une énergie très élévée quittent le faisceau et interagissent avec la paroi du tube; parmi les produits de l'interaction qui est à ce niveau d'énergie de type nucléaire, des particules qui se désintégrent en donnant un muon. L'angle que fait ce muon est trés faible avec l'horizontale il accompagne le faisceau de protons et constitue une nouvelle source de bruit de fond: c'est un halo de faisceau.

les muons cosmiques

Ces muons traversent le détecteur dans sa largeur.
On pourrait également ajouter comme autres bruits de fond le rayonnement synchrotron et l'interaction des électrons avec le gaz résiduel. Dans les deux cas (halo de faisceau ou muons cosmiques), ce sont les gerbes occasionnés par ces particules qui sont gênantes.

Le travail des physiciens est de sélectionner les vrais événements (courant chargé et courant neutre) parmi le bruit de fond. Pour cela ils disposent d'identificateurs(qui sont des routines) de bruit de fond.Il y a en a actuellement plusieurs, il est nécessaire de connaitre leur fonctionnement et de les classer afin de sélectionner le plus efficace: c'est le travail qui a étéréalisé pendant ce stage.

Chapitre 2

Description des Identificateurs De Bruits De fond

2.1 Identificateur de Karsten RÜTER

2.1.1 Recherche des cosmiques

La méthode utilisée par Karsten RÜTER pour détecter un cosmique commence par la recherche d'amas de cellules où est déposée de l'énergie, plus communément appelé "cluster" en anglais. Cet amas peut être de différents types bien définis. Les caractéristiques principales du premier sont les suivantes :

- Il est composé de deux dépôts dénergie, deux amas qui répondent à des contraintes énergétiques.
- Le premier amas (ou sous-cluster) doit avoir une fraction d'énergie électromagnétique supérieure à 0.8, c'est-à-dire qu'il est essentiellement dans la partie électromagnétique du calorimètre.
- Le deuxième amas (ou sous-cluster) doit avoir une fraction d' énergie électromagnétique inférieure à 0.2 GeV.
- La distance entre les deux amas doit être inférieure à 75 cm.

Pour le deuxième type:

- l'amas repéré est dans l'argon liquide.
- la quantité d'énergie doit être supérieure à 2 GeV
- l'inclinaison de l'axe de l'amas par rapport à l'axe z doit être supérieure à 10 degrés

Figure 2.1: (1):fer instrumenté; (2):le calorimétre; (3):axe du cylindre qui joint les amas dans le fer; (4):amas dans le calorimétre; (5):zone exclue

- le nombre de cellules touchées dans l'argon liquide doit être supèrieur à 2

Pour utiliser l'identificateur de Rüter un amas d'un de ces deux types doit être localisé.

Dans ces deux descriptions l'amas est appelé “cluster avec axe”.Sa localisation dans le calorimètre à Argon liquide permet d'appliquer le finder de Karsten RÜTER .
Ce finder classe les cosmiques en opérant des coupures qui font appel à des considérations énergétiques et géométriques . Pour avoir une idée du fonctionnement d'un finder (qui est en fait une routine appelée pour l'examen d'un éventuel cosmique), nous allons étudier la définition de ces deux coupures qui sélectionnent les cosmiques dans le détail et nous nous contenterons de dégager les caractéristiques des autres finders.

Première coupure

- Nous prendrons le détecteur dans sa globalité (fer instrumenté et le LAr).
- On définit un cylindre de rayon de 200 cm et de direction celle de l'axe qui joint les deux dépots d'énergie repérés dans le fer instrumenté. Plusieurs quantités vont être calculées.

Ce cylindre est inclu dans le détecteur. On exclut, si nécessaire, la partie arrière du fer instrumenté sur un rayon de 200 cm autour du tube à vide.

A partir de là, deux contraintes sont définies :

- l'énergie contenue dans le cylindre doit être supérieure à 2 GeV ;
- l'énergie du fer instrumenté seulement doit être supérieure à 0.8 GeV.

Ce type de coupure sélectionne les cosmiques qui traversent verticalement le détecteur. Des dépôts d'énergies dans les deux cotés du fer sont exigés, ce qui n'est pas forcément le cas de la sous-catégorie deux, qui fait l'objet de l'étude suivante.

Deuxième coupure

La partie du détecteur telle que z est supérieur à 300 cm est exclue. La région arrière du détecteur contenant le fer instrumenté, comme pour la première coupure, est également exclue. Le même cylindre est défini.

Lors de son passage dans le détecteur, le muon touche deux zones différentes du fer instrumenté et on envisage le cas où le muon ne laisse de trace que sur une zone. En effet, il arrive que l'on détecte une trace dans le fer de la partie supérieure du détecteur, par exemple, et les autres traces dans la partie calorimétrique du détecteur.Les contraintes définies sont les suivantes:

- L'énergie comprise dans le cylindre ainsi que celle dans le fer doit être supérieure à 1 GeV.
- A chaque amas repéré, qui peut être soit dans le fer instrumenté soit dans le LAr, est associé un dépôt d'énergie dans le fer du côté opposé à l'amas. Si ce n'est pas le cas, l'événement étudié ne fait pas partie de la classe des cosmiques.

Ces deux coupures ne permettent pas de sélectionner tous les cosmiques. Karsten RÜTER a construit un autre finder qu'il appelle "finder de myon", qui ne permet pas de distinguer la direction des axes des cylindres définis à partir des dêpots :

- verticale pour les muons cosmiques
- horizontale pour les muons de halo

La méthode de cet identificateur est de construire un deuxieme petit cylindre de vingt centimètres de rayon (d'axe celui de l'amas) là où est repéré un amas ; le classement d'un événement en "myon" (muon cosmique ou muon de halo) dépend de la valeur du rapport du maximum de l'énergie trouvée à l'extérieur du cylindre sur celle à l'intérieur :

$$max(\frac{energie - exterieure}{energie - interieure}) < p \qquad (2.1)$$

avec p, un paramètre donné. p peut prendre 4 valeurs et, pour chacune d'elles, une condition sur le maximum d'énergie contenue dans le cylindre est exigée. Il y a donc 4 coupures qui sont realisées pour détecter un muon quel qu'il soit (muon de halo ou cosmique). L'inégalité (1) traduit qu'un muon dépose surtout de l'énergie sur des surfaces qui peuvent être contenues dans le cylindre dont l'axe est quelconque mais centré sur le dépôt ; il y a donc très peu d'énergie déposée à l'extérieur du cylindre. Ceci est une méthode qui permet de distinguer un dépôt d'énergie dû à des particules provenant d'une collision électron-proton de celui de muons. En effet, l'énergie déposée par des hadrons résultant de la collision est beaucoup plus diffuse ; sa gerbe s'étale bien au-delà des limites du cylindre qui est donc environné par une quantité d'énergie supérieure à celle qu'il contient. La difficulté introduite par cet identificateur est qu'il détecte à la fois des muons cosmiques et des muons de halos. A la différence du premier finder, celui-ci ne fait pas appel à des considérations géométriques (amas dans le fer instrumenté ou dans le LAr), mais plutôt à des considérations énergétiques. On ne pourra donc pas pour cet identificateur différencier les muons cosmiques des halos de faisceau. Une difficulté supplémentaire s'ajoute : certains muons cosmiques détectés par ce finder ne le sont pas par l'identificateur précédent. La majorité des muons cosmiques sont détectés à la fois par les deux finders qui sont donc complémentaires, mais on ne connaîtra pas le nombre total de muons cosmiques détectés à l'heure actuelle. C'est ce qui ressort de l'analyse des données que nous verrons au chapitre 3.

2.1.2 Recherche des muons de halo

Les muons de halo sont donc des muons qui traversent horizontalement le détecteur(voir image à la fin du rapport) : le principe général du finder consiste à découper la variable φ en trente six secteurs et la variable z qui varie de -220 à 300 cm en vingt-six intervalles. On se place donc dans une vue radiale de la partie calorimétrique du détecteur. Cela donne le découpage est représenté par le shéma (2.2).

Figure 2.2: vue radiale du détecteur, découpage en φ

Les coupures réalisées qui permettent d'identifier les halos de muons sont faites sur les dépôts d'énergie contenus dans un secteur (φ) ou dans un intervalle (z). De cette étude, il ressort qu'un muon de halo peut traverser horizontalement le détecteur en laissant des dépôts d'énergie sur plusieurs intervalles (z), mais tous contenus dans un seul secteur (φ). Cette dernière restriction sur l'angle φ vient du fait que l'axe de propagation du muon est quasiment paralelle à l'axe z du détecteur. Un muon ne peut pas à la différence de d'autres interactions laisser des dépôts d'énergie dans plusieurs secteurs ou sur tous les secteurs . Cette infériorité en énergie est traduite par une restriction du nombre de dépôts dans les intervalles (z) et les secteurs (φ). Un exemple de ce type de coupure est donné par la suite. On vient donc de voir deux coupures différentes basées essentiellement sur la localisation de dépôts en φ et en z. Au moment de l'analyse, ces dépôts sont interprétés comme des traces ou des nombres de coups par intervalle et secteur donnés, et pour chaque secteur (φ), le nombre de coups sur les différents intervalles (z) est connu. La visualisation rapide de ce découpage est le tracé d'histogrammes. Il permet de voir si certains muons de halos peuvent être identifiés en y appliquant les coupures. Aprés une étude détaillée de distributions d'événements, Karsten RÜTER impose la coupure suivante :

- Le nombre de secteurs (φ) (tels que le total des coups par intervalle $z < 7$) =35.
- Le nombre de secteurs (φ) (tels que le total des coups > 14)=1.

Les autres coupures utilisent surtout des considérations énergétiques. Un muon qui traverse le détecteur dépose généralement très peu d'énergie par secteur (moins de 300 MeV). La coupure introduit un nombre limite de secteurs dont l'énergie est supérieure à 300 MeV. Cette description ne permet pas d'identifier tous les halos de muon mais elle en donne une majorité. Parmi les muons non identifiés, certains le sont par des finders écrits par d'autres auteurs : identificateur de STEPHAN RIESS, identificateur d'ANDRE SHÖNING, identificateur de LARS BÜNGENER, dont les principales caractéristiques sont décrites dans la suite.

2.2 Identificateur de Lars BÜNGENER

Dans ce finder, seule l'information contenue dans la partie du fer est utilisée. La coupure opérée est faite sur:

- l'angle entre les axes des traces repérées dans le fer instrumenté.
- la distance les séparant.

Un muon sera identifié comme cosmique si:

- deux traces au moins sont repérées
- l'angle entre elles est inférieur à vingt quatre degrés
- la distance qui les sépare est supérieure à quatre mètres
- même s'il y a plus de deux traces, avec toujours les mêmes conditions vérifiées, il s'agit toujours d'un cosmique qui fait plusieurs dépôts d'énergie.

Cet identificateur n'intègre que des considérations géométriques. La condition sur l'angle élimine les muons cosmiques dont l'angle entre les traces serait supérieur à 24 degrés, ainsi que ceux qui ne laissent aucune trace dans le fer instrumenté du détecteur.

2.3 Identificateur de Stephan RIESS

2.3.1 Identification des événements dûs aux collisions du faisceau de protons avec les atomes de gaz résiduel

Un seul finder détecte les halos de faisceau qui sont, d'après l'analyse des données, des événemnts dont la probabilité est très faible dans la catégorie des événements utilisés.

2.3.2 Recherche des muons de halo

L'algorithme de cet identificateur utilise les traces et l'énergie déposée dans le fer ainsi que les cellules d'argon liquide. Plusieurs quantités sont calculées dans un cylindre de 30 cm de rayon, contenant le candidat halo de muon. L'avantage de ce finder est qu'il considère a priori l'ensemble du détecteur. Les coupures que définit ce finder décrites dans la suite.

On se place dans une vue radiale du détecteur qui est quadrillé par des secteurs de 10 cm de longueur et d'ouverture égale à dix degrés dans la direction φ (comme pour le finder de Karsten RÜTER). Ce découpage a lieu dans la partie calorimétrique du détecteur.

A partir du point de collision, une nouvelle grille est définie avec des secteurs de 30 cm de rayon et une ouverture de trente degrés. Pour les traces laissées dans le fer la valeur moyenne de leur distance r à l'axe du détecteur est calculée ainsi que la valeur moyenne de l'angle φ. D'autres valeurs caractéristiques d'un candidat halo interviennent également :

- nc : le nombre de cellules dans le cylindre où il y a un dépôt d'énergie.
- valeur moyenne de la coordonnée z.
- $\sigma(r)$: écart type en r. (1)
- $\sigma(z)$: écart type en z (2)
- $\sigma(bcz)$: seules sont sélectionnées les cellules où l'énergie d'ionisation est inférieure à 0.5 GeV dans la partie électromagnétique, et inférieure à 1 GeV dans la partie hadronique sont sélectionnées. En effet, on rappelle qu'un muon ionise très peu la matière traversée.
- $zlongueur$: longueur totale du cylindre $(zmax - zmin)$, dans le cas d'un halo idéal cette longueur doit correspondre à celle du calorimètre.
- $zetal1$: mesure la longueur de l'étalement en z des dépôts. Toutes les cellules touchées et ordonnées en z sont prises en compte.
- $zetal2$: même quantité que "$zlongueur1$" mais pour un z donné, une seule est comptée.

Le rapport $\dfrac{zetal1}{zetal2}$ (3)est évalué .
Dans le cas d'un muon, l'énergie déposée est quasiment uniforme en z. Il n'y a donc pas de régions de l'axe z qui soient sensiblement plus énergétiques que d'autres. Le rapport calculé est donc proche de 1. Ce n'est pas le cas d'un électron dont la gerbe dans le calorimètre est beaucoup plus concentrée en z. Le nombre de cellules touchées est donc inégal suivant les régions. Dans ce cas, une bonne indication nous est donnée par le calcul du rapport (3) qui doit être sensiblement différent de 1. La principale caractéristique du finder de Stephan RIESS repose sur le calcul des écarts type des variables qui localisent les dépôts d'énergie, donc le contrôle de l'uniformité des dépôts d'energie en z, en n'excluant aucune partie du détecteur. C'est le finder qui détecte le plus grand nombre de halos. Un candidat halo de muon sera clairement identifié si les écarts type des variables r et φ sont très inférieurs à celui en z car les dépôts d'énergie sont très peu diffus (les quantités (1) et (2) sont proches de zéro) et très étalés en z.

2.4 Identificateur de Andre SHÖNING

ASCOSM est un finder se basant sur six coupures pour définir le degré de certitude avec lequel un événement peut être classé comme "Cosmique". On notera que cette proçédure ne differencie pas un muon cosmique d'un d'un halo de faisceau.

La variable de sortie $IFLAG$ accepte trois valeurs. $IFLAG = 2$ signifie que l'événement considéré est de type "Cosmic Muon" avec un degrès de certitude de 100%. $IFLAG = 1$ signifie qu'il y a 99% de chance que l'on ait à faire à un Cosmique. $IFLAG = 0$ signifie que l'événement n'est pas classé comme Cosmique. La proçédure retourne également la valeur de P, moyenne géométrique des probabilités associées aux six coupures effectuées, et affectées de différents poids statistiques selon l'importance de la coupure. Son expression exacte est donnée par :

$$P = (\prod_{i=1}^{6} p(i,v(i))^{g(i)})^{\overline{\frac{1}{\sum_{i=1}^{6} g(i)}}}.$$

Les fonctions $p(i,v(i))$ sont les probabilités d'avoir un Cosmique, associées à la $i^{ème}$ coupure. Elles prennent, selon la valeur de la variable $v(i)$ sur laquelle intervient la coupure, les valeurs $0.001, 0.1, 0.2, \cdots, 1.0$. Quant à $g(i)$, c'est le poids statistique relatif du $i^{ème}$ coupures, intervenant dans le calcul de la moyenne géométrique des $p(i,v(i))$.

2.4.1 Critère préalable sur l'énergie déposée

En premier lieu, ASCOSM fait appel à la proçédure HADENER, qui calcule l'énergie déposée par les produits de l'événement dans la partie hadronique du calorimètre et dans le fer instrumenté. Cette valeur fait l'objet d'une coupure préalable, et doit être supérieure à $1.5 GeV$. Ceci est dû aux critères d'ellipticité dont la validité n'est plus assurée si l'énergie déposée est insuffisante.

2.4.2 Les différentes coupures

Elles sont de deux types et reposent sur l'évaluation des moments d'énergie, calculés sur l'ensemble du détecteur :

$$\overline{\overrightarrow{x}} = \frac{\sum_{cell(k)}^{N} E(k)\overrightarrow{x}(k)}{\sum_{cell(k)}^{N} E(k)} \quad (2.2)$$

$$\overline{X_{i,j}} = \frac{\sum_{cell(k)}^{N} E(k)x_i(k)x_j(k)}{\sum_{cell(k)}^{N} E(k)} \quad (2.3)$$

$x_i(k)$ désigne la $i^{ème}$ composante du vecteur donnant la position de la $k^{ème}$ cellule, dans le système de coordonnées attaché à H1. L'étude de ce finder n'est pas un des objectifs de ce stage ; on notera simplement que la procédure ne détecte que les Cosmiques déposant une énergie supérieure à $1.5\ GeV$ dans l'enemble du détecteur, ce qui semble expliquer la différence entre ce finder et d'autres plus sélectifs. On remarque également qu'il détecte surtout les muons cosmiques d'après l'analyse des données du chapitre 3.

2.5 Conclusion

Cet examen des finders nous permet de nous représenter leur fonction et les coupures opérées pour sélectionner le plus rigoureusement possible les événements et de dégager une première conclusion : l'identificateur de Lars Bügener ne repère pas les mêmes muons cosmiques que l'identificateur de Karsten Rüeter qui présente l'avantage d'envisager un plus grand nombre de situations où il peut y avoir des muonns cosmiques. Il existe des similitudes entre identificateurs ; comme exemple on citera les identificateurs de Stephan RIESS et de Karsten RUETER pour la détection des halos de cosmiques où la similitude est, d'une part dans le découpage topologique du détecteur, d'autre part dans le traitement des variables qui localisent les dépôts d'énergie. La différence réside essentiellement dans la valeur des paramètres qu'utilisent les coupures. Pour avoir une idée de la pertinence des coupures il est nécessaire de considérer un échantillon d'événements, et d'utiliser ces finders pour détecter les muons cosmiques, les muons de halo et les interactions entre protons etatomes de gaz. C'est ce qui est réalisé dans le chapitre 3. L'analyse des données a pour but de confirmer les conclusions tirées à partir de la description et de dégager le finder qui détecte le plus de muons.

Chapitre 3

Analyse des données

3.1 Introduction

Nous travaillons sur un échantillon comprenant 1133 événements. Ce lot est formé essentiellement de muons :

- 500 muons cosmiques
- 500 halos de faisceau
- 60 évènements physiques

Le but de ce chapitre est de trier les identificateurs en comparant le nombre de muons que chacun identifie. L'identificateur le plus efficace serait celui qui:

- identifie la quasi-totalité des muons suivant sa spécificité (identificateur de cosmiques ou halos).
- reconnaisse le plus grand nombre des évenements coupés par les autres identificateurs.

L'utilisateur aurait alors un outil à sa disposition qui lui éviterait d'avoir recours à tous les identificateurs.

3.2 Présentation et signification des variables des identificateurs de bruit de fond

Chaque identificateur a une variable de sortie, à laquelle on a directement accés. Les différentes valeurs qui lui sont attribuées renvoient à un code qui donne leur signification. Cela est résumé dans le tableau (3.1).
Dans tous les cas la valeur 0 signifiera qu'il n'y a pas de muon dans la classe

Tableau 3.1: variables utilisées

Identificateurs	**nom des variables**	**valeurs prises**	**signification**
Büngener	c1	0,1,2,3	1..3 : muon cosmique
	c2	0, 1..13	1..13 : muon cosmique
Shöning	c3	0,1,2	1,2 : halo ou cosmique
	asprob :	0,1,2	1 : 99 %
	probabilité	0,1,2	2 : 100 %
Riess	halrie	0, 1	1 : halo de muon
	shrihal	0, 1..5	1..5 : halo de muon
	sribg	0, 1	1 : beam gaz
Rüter	Ktr(1)	0, 1	1 : muon cosmique
	Ktr(2)	0, 1	1 : halo de muon
	Ktr(3)	0, 1	1 : myon (voir def)
	Ktr(4)	0, 1	1 : muon (voir def)

recherchée.

L'identificateur de Andreas SHÖNING détecte à la fois les muons cosmiques et les halo de muons, tout comme Ktr(3), un autre identificateur.

La définition de Ktr(3) a été vue dans le chapitre 2 , c'est l'identificateur de "myon de Karsten Rüter", Ktr(4) donne le nombre d'événements pour lesquels les particules ne proviennent pas du point d'interaction (vertex). Il sélectionne donc les muons dont les amas n'ont pas leur axe qui traversent un cylindre centré sur le vertex.

Une fois le code des variables connu, l'application des identificateurs à notre échantillon permet de connaître:

- l'identificateur qui en détecte le plus dans sa classe de définition (faisceau de halos, muon cosmique)

- nombre d'événements en commun pour deux identificateurs différents identifiant une même classe.

Tableau 3.2: muons cosmiques détectés

	c1	c2	c3	ktr(1)	ktr(3)	ktr(4)	halrie	srihal	ktr(2)
c1	328								
c2	115	221							
c3	189	148	430 + 65						
Ktr(1)	175	146	323	415					
Ktr(3)	175	107	265	209	574				
Ktr(4)	162	84	150	115	371	604			
halrie	83	30	15	16	138	206	242		
srihal	111	38	21	16	183	296	196	354	
ktr(2)	106	44	47	35	292	416	227	323	483

3.3 Les événements identifiés

3.3.1 Les muons cosmiques

Les identificateurs utilisés sont désignés par le nom des variables de sortie : voir tableau (3.2)

3.3.2 Commentaires

Le lot identifié par l'identificateur de Andréas SHÖNING à partir de la variable c3 contient deux sous-lots : le premier représente les événements dont on est sûr à 100% de la nature (430 événements) et le second sous-lot où les lois de probabilité utilisées dans cette méthode donnent une incertitude de 1% sur le classement en muon cosmique (le nombre de ces cosmiques est de 65).
Dans le tableau (3.2) les seules variables qui ne reconnaissent que des muons cosmiques sont c1 ,c2 et ktr(1). L'identificateur ktr(1) en reconnaît le plus mais il faut observer que cet identificateur n'identifie que la moitié des muons cosmiques reconnus par c1 : 175 événements sur 328 ;

$$328 - 175 = 153$$

muons cosmiques échappent aux coupures de l'identificateur de Karsten RÜTER.
Exclure cette variable revient à faire une erreur de :

$$(((328 - 175) * 100)/(415 + (328 - 175)) = 26.9\%.$$

Cette différence est plus nuancée avec la variable c2, mais non négligeable :

$$221 - 146 = 75$$

événements ne sont pas reconnus par Ktr(1). L'erreur est de

$$((75 * 100)/415 + (328 - 175)) = 15\%.$$

Tableau 3.3: nombre de muons cosmiques pour chaque valeur de c1

valeurs de c2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
nombre de muons cosmiques	192	20	2	2	2	1	1	0	0	0	0	1	0

En conclusion de cette première analyse, il n'y a pas d'identificateur que l'on puisse privilégier par rapport à un autre. L'erreur oscille entre 15 et 30 % suivant les échantillons à étudier. Ce sont donc des identificateurs complémentaires. Parmi les variables c3, ktr(3) et ktr(4), ktr(4) reconnaît le plus de halos de muon ou de muons cosmiques ; on pouvait le prévoir d'après la description qui en a été faite. Cependant un muon qui passerait par le vertex d'une collision (cf ci-dessus) ne serait pas identifié. Le calcul des événements en commun montre clairement qu'on ne peut sélectionner un identificateur particulier. Si on le faisait, l'erreur commise avoisinerait 50%. Si l'on exclut Ktr(3) par rapport à c3 et en négligeant l'incertitude de 1% l'erreur est de :

$$(((430 + 65) - 265) * 100/(430 + 65)) = 46\%.$$

La spécificité des identificateurs réside dans la nature les coupures opérées (paramètres en énergie, régions à exclure, direction des axes des dépôts...). Elles sont cependant efficaces car elles passent en revue un grand nombre d'événements possibles. La multiplicité des valeurs (1..13) que peut prendre la variable c2 incite à compter pour chacune d'elles le nombre de muons cosmiques reconnus : tableau (1.3). En effet cet identificateur opère une classification en énergie des amas repérés.

La majorité des muons cosmiques est donnée par la valeur 1 de c1, le reste étant des coupures réalisées sur des événements dont la probabilité est faible. Il est alors intéressant de voir si une grande partie des événements identifiés par c2=1 est reconnue par ktr(1). Si c'est le cas, l'erreur commise en excluant cette variable serait moindre et la différence entre les deux identificateurs aurait pour origine les autres coupures opérées par les valeurs de c2=2,3,4..13; cette coupure donne 129 événements en commmun, le nombre de muons cosmiques non identifiés (192-129 = 63) est encore trop important. La même analyse est faite pour la variable c1 qui compte 3 valeurs :(tableau 1.4) une coupure identique sur les muons cosmiques communs à c1=1 et ktr(1) donne seulement 159 muons sur les 287 de la valeur c1=1. Ceci dénote encore la spécificité des deux identificateurs.

3.3.3 Muons de halo

Les variables utilisées sont : halrie, srihal et ktr(2). Le nombre d'événements reconnus par ces variables est donné par le tableau (3.5).

Tableau 3.4: nombre de muons cosmiques pour chaque valeur de c2

valeurs de c1	**1**	**2**	**3**
nombre de muons cosmiques	287	5	26

Tableau 3.5: halos de muon

	halrie	**srihal**	**ktr(2)**
halrie	242		
srihal	196	354	
ktr(2)	227	323	483

Au vu des résultats de ce tableau, une conclusion s'impose :

- la variable ktr(2) en détecte le plus.
- cet identificateur coupe un grand nombre de halos de muons identifiés par les deux autres identificateurs (srihal et halrie) qui sont du même auteur.
- En considérant ktr(2) comme identificateur principal pour la reconnaissance de halos de muons et en excluant les deux autres, l'erreur commise par rapport à srihal est de

$$((354 - 328) * 100/354 = 7.3\%).$$

Par rapport à halrie elle est de

$$((242 - 227) * 100/242 = 6.1\%).$$

L'erreur est négligeable dans les deux cas. Pour une première classification, l'identificateur Ktr(2) donne le bon nombre de halo de cosmiques avec une erreur de 10 %. Il est aussi intéressant de voir que le nombre de halo cosmiques communs aux trois identificateurs est égal à 184. Ceci représente :

$$(184/242) = 76\%$$

des événements reconnus par halrie. La variable srihal reconnaît

$$(196/242 = 81\%)$$

des événements coupés par halrie. Dans un deuxième temps les identificateurs halrie et srihal compléteraient l'analyse et donneraient les halos de muons manquants.

Tableau 3.6: événements propres

	c1	c2	c3	ktr(1)	ktr(2)	ktr(3)	ktr(4)	halrie	srihal
evenements	2	3	25	11	10	8	13	0	0

3.3.4 Autres coupures

Coupure pour les événements détectés uniquement par un identificateur

On cherche à connaître le nombre d'événements qu'un identificateur est le seul à repérer. Pour cela on applique tous les identificateurs en même temps sauf celui dont on veut connaître la spécificité ; le tableau (3.6) donne ce nombre d'événements pour chaque identificateur.

Ce tableau montre clairement que les événements propres à un identificateur (tous les autres appliqués ne les détectant pas) sont peu nombreux par rapport à l'échantillon. Certains identificateurs comme halrie ou srihal peuvent même être éliminés. Il y a donc des similitudes dans les coupures de tous les identificateurs.

3.3.5 Autre comparaison utile

Il est aussi intéressant de voir si tous les identificateurs de muons de halo appliqués à la fois n'ont pas d'événements en commun avec les identificateurs de muons cosmiques ; pour cela on applique l'ensemble des identificateurs de muons cosmiques que l'on compare successivement avec les identificateurs de muons de halo : halrie, srihal et ktr(2). Les résultats donnent :

- 103 événements sont en commun avec halrie
- 150 " " ktr(2)
- 98 " " srihal

Des événements repérés comme muons cosmiques par un identificateur sont classés par un autre comme muon de halo ; la classification n'est donc pas stricte et les coupures pas sélectives.

3.3.6 Interaction du faisceau de protons avec les atomes de gaz résiduel

Un seul identificateur est donné pour l'identification de ces événements, il n'en détecte aucun.

3.4 Conclusion

L'identification des muons cosmiques ne peut se faire sans l'application à la fois des identificateurs de Karsten RÜTER et de Lars BÜNGENER dont les

Tableau 3.7: comparaison des identificateurs ktr(1), ktr(2), ktr(3), ktr(4)

	ktr(1)	**ktr(2)**	**ktr(3)**	**ktr(4)**
ktr(1)	415			
ktr(2)	35	483		
ktr(3)	209	292	574	
ktr(4)	115	416	371	604

variables de sortie sont respectivement ktr(1) et (c1, c2). En revanche, les halos de muons sont tous identifiés avec ktr(2) avec un nombre de muons manquant inférieur à 10%. Il faut aussi noter que les identificateurs ktr(3), ktr(4) et c3 qui sont destinés à reconnaître les muons cosmiques et les halos de muons, ne donnent pas en les additionnant les 415 + 483 événements détectés par ktr(1) et ktr(2) (415 et 483 respectivement) (tableau 3.7).y D'autre part les muons détectés à la fois par ktr(1) et ktr(3) devraient approcher les 415 événements avec une erreur inférieure à 10%, ce n'est pas le cas : 209 muons seulement sont en commun, ktr(3) n'opère donc pas les mêmes coupures que ktr(2) pour les muons cosmiques. La même remarque peut être faite pour les muons de halo ; ce sont pourtant des identificateurs réalisés par le même auteur. Cela illustre la difficulté de trier ces identificateurs. Chaque auteur s'est focalisé sur une idée de départ qu'il a développée sans tenir compte des identificateurs déjà construits. Cependant la différence au niveau des coupures réalisées permet de reconnaître un grand nombre de muons.
Il est donc nécessaire de construire un identificateur en partant de ceux déjà proposés en vérifiant sur plusieurs échantillons si les coupures (énergie des amas, variables d'espace) peuvent être homogénéïsées. L'identificateur ktr(2) peut être conservé. Pour les autres la lecture approfondie des routines s'impose afin d'identifier parfaitement les coupures.

Références

- **Quarks & Leptons:**

  An Introductory Course in Modern Particle Physics

  Francis Halzen **Alan D.Martin**

- C.Royon.Thèse de doctorat "**Mesure de la fonction de structure F2 dans l'expérience H1 auprès du collisionneur HERA**" (Mars 19 94)

- S.Kermiche.Thése de doctorat "**Etude du Q.E.D Compton à HERA :Lu minosité et calibration du détecteur H1** " (Avril 1994)

- D.hoffmann.Stage de magistère "**Trigger topologique pour le niveau c du trigger dans l'expérience H1**" (Juin 1993)

- S.Riess. K.Rüter, A.Shöning, L.Büengener Auteur d'"**identificateurs de bruits de fond** "

- H1ew."**Measurement of e^+ and e^- induced charged current cross sections at HERA**"