

*CHAPON Arnaud  
PASSAYS Mathieu*

**Stage Janus 2004**

**Transport des ions dans  
spectromètre VAMOS**



*Maître de Stage : M. Rejmund*



# Table des Matières

|   |    |
|---|----|
| <b>Introduction</b> .....   | 1  |
| <b>I. Présentation du GANIL</b> .....                               | 3  |
| I.1 La sécurité au GANIL  |    |
| I.2 Les locaux  |    |
| I.3 Fabrication du faisceau   |    |
| <b>II. Présentation du détecteur VAMOS</b> .....                    | 5  |
| II.1 La cible   |    |
| II.2 Les quadrupôles  |    |
| II.3 Le filtre de Wien  |    |
| II.4 Le dipôle  |    |
| II.5 Les chambres à dérive  |    |
| II.6 La chambre à ionisation  |    |
| II.7 Le scintillateur plastique                                     |    |
| II.8 La grille  |    |
| <b>III. Acquisition et exploitation des données</b> .....           | 10 |
| III.1 Acquisition   |    |
| III.2 Traitement des données  |    |
| III.3 Analyse des données   |    |
| III.3.a $B_p$ variant de -5% à +7% du $B_p$ nominal                 |    |
| III.3.b $B_p$ nominal, +5% de $B_p$ nominal et -3% de $B_p$ nominal |    |
| III.3.c $B_p$ nominal   |    |
| III.3.d +5% de $B_p$ nominal  |    |
| III.3.e -3% de $B_p$ nominal  |    |



## *Introduction*

Le stage que nous avons effectué s'est exclusivement déroulé au GANIL (Grand Accélérateur National d'Ions Lourds ). Il consistait à l'étude d'un détecteur magnétique appelé VAMOS (VARIABLE MOde Spectrometer).



## *I. Présentation du GANIL*

Le GANIL étant classé Installation Nucléaire de Base, d'importantes règles de sécurité sont à respecter. C'est pourquoi nous avons, avant de commencer notre stage, suivi une formation sur la sécurité.

### *1.1. La sécurité au GANIL*

Tout d'abord, nous avons dû passer une visite médicale afin de vérifier notre aptitude à travailler en zone INB. A sa suite, nous avons reçu des badges dosimétriques permettant le contrôle de notre exposition aux risques nucléaires.

Ces badges doivent être systématiquement activés dès notre entrée en zone INB et désactivés à la sortie. De plus, lors d'une formation, obligatoire, on nous a exposé toute la procédure à suivre en cas d'anomalie.



Nous ne développerons pas davantage ce point afin de ne pas trop nous écarter du sujet de notre stage.

Afin de mieux situer les locaux dans lesquels nous aurons à nous rendre, il semble nécessaire d'effectuer une rapide visite du GANIL

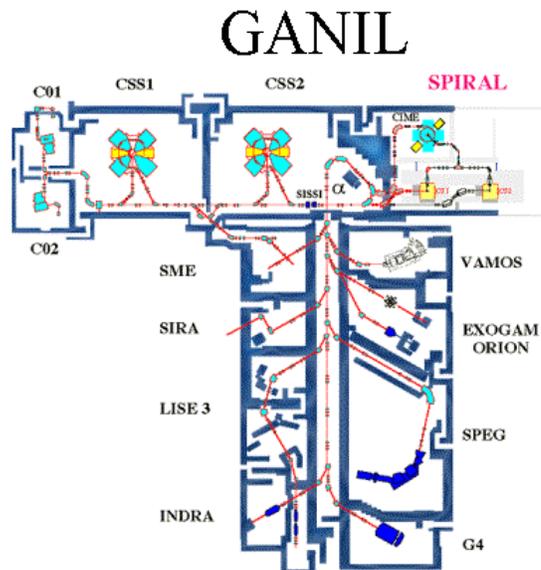
## *1.2. Les locaux*



Nous passons la majorité de notre temps dans le bâtiment des physiciens ingénieurs où M. Rejmund a son bureau.



Toutefois, nous allons souvent en zone INB où se trouve le détecteur VAMOS. C'est dans ce bâtiment que l'on fabrique le faisceau.



### 1.3. Fabrication du faisceau

Le faisceau est produit par deux sources d'ions C01 & C02 et envoyé dans un premier cyclotron CSS1 qui l'accélère et le pulse à l'aide des forces magnétiques. Si besoin est, il est ensuite accéléré dans un deuxième cyclotron CSS2, puis dirigé vers les différentes salles d'expérience grâce à deux types d'aimants : les quadripôles, qui focalisent le faisceau et le centrent, et les dipôles, qui le dévient.

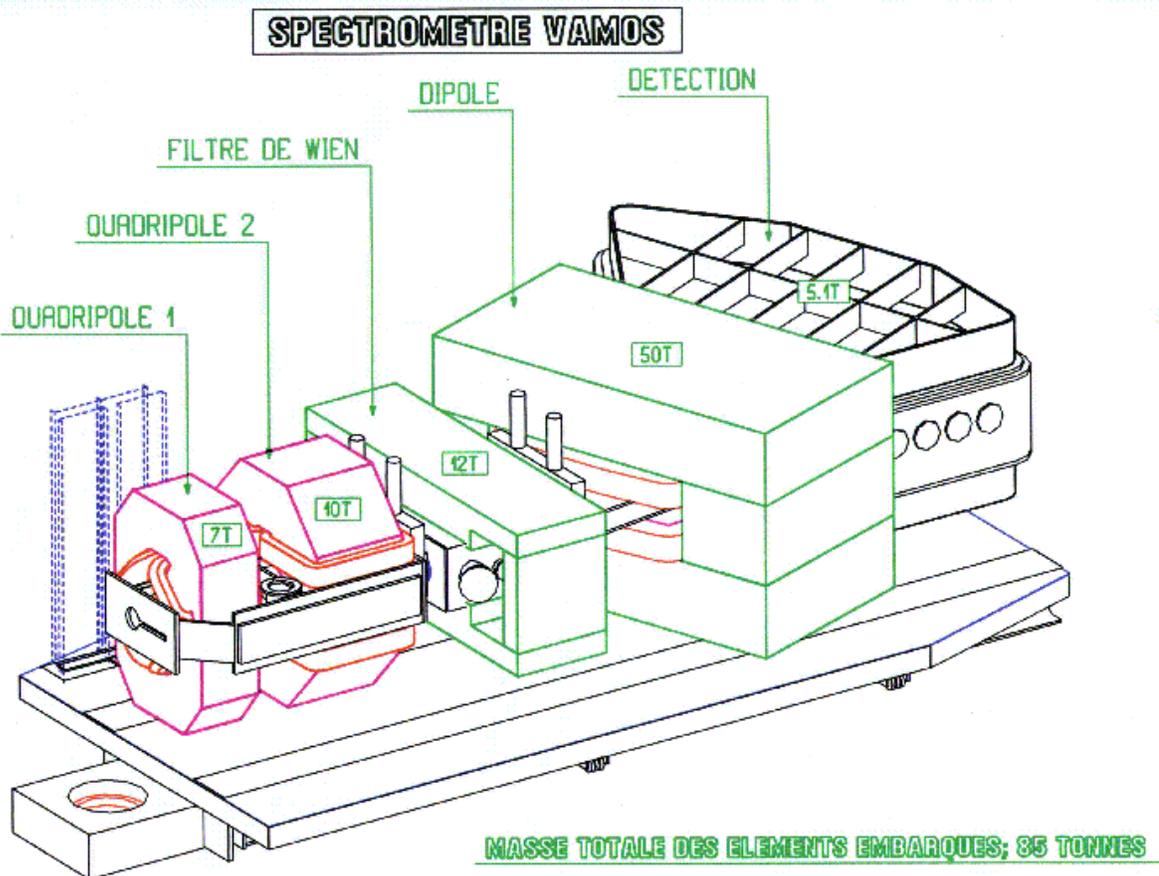
Tout le trajet du faisceau est maintenu sous un vide très poussé grâce à des pompes.

SPIRAL est un dispositif permettant éventuellement de créer un faisceau radioactif à partir du faisceau stable. Nous n'allons pas l'utiliser pour nos expériences. Nous utiliserons un faisceau stable de  $^{14}\text{N}$ .

Maintenant que nous l'avons situé, entrons au cœur du détecteur VAMOS...



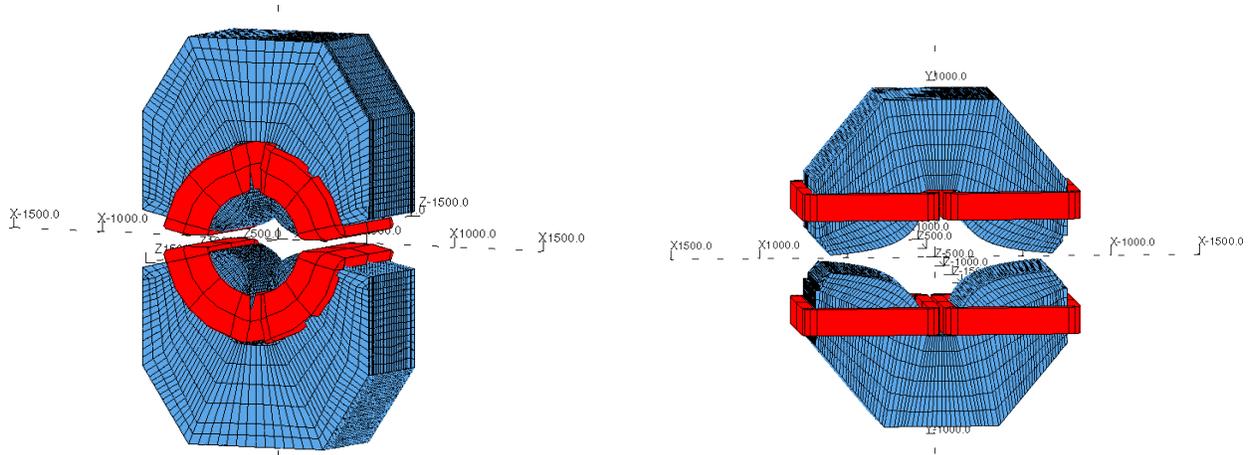
## II. Présentation du détecteur VAMOS



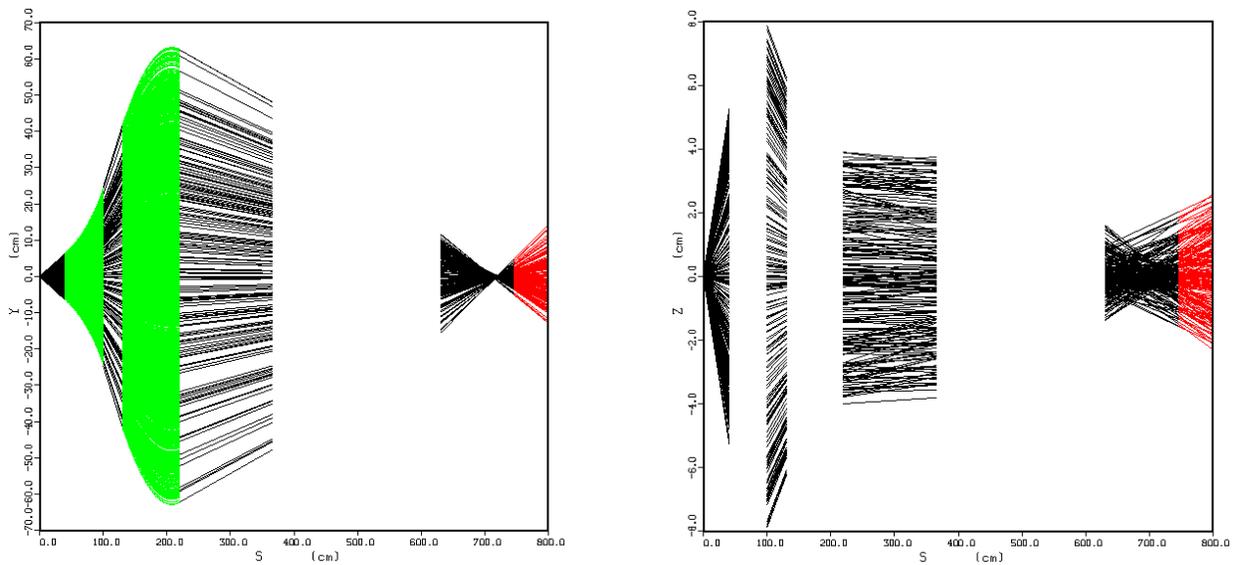
### II.1. La cible

La cible utilisée est une cible de  $^{197}\text{Au}$  d'environ  $1 \text{ cm}^2$  et d'une densité de  $200 \mu\text{g} / \text{cm}^2$ . Nous n'utiliserons pas le chargeur de cible, dans lequel différentes cibles peuvent être placées. Le chargeur, en tournant, permet de changer la cible sans avoir à interrompre le faisceau et à casser le vide. Il évite ainsi plusieurs heures de pertes à arrêter le faisceau et à refaire le vide.

## II.2 Les quadrupôles



Juste après la cible, on a placé deux quadrupôles, dont le rôle est de focaliser le faisceau. Le premier défocalise le faisceau sur l'axe des X et le focalise sur l'axe des Y.



Le second focalise le faisceau sur les deux axes, de façon à ce qu'il soit concentré en X sur le plan focal.

### II.3 Le filtre de Wien

Le Filtre de Wien est un dispositif de sélection des noyaux chargés électriquement dont le principe de sélection est basé sur des champs magnétiques et électriques croisés. Pour le noyau choisi les forces se compensent. Pour les autres noyaux ces forces font dévier leur trajectoire.

### II.4 Le dipôle



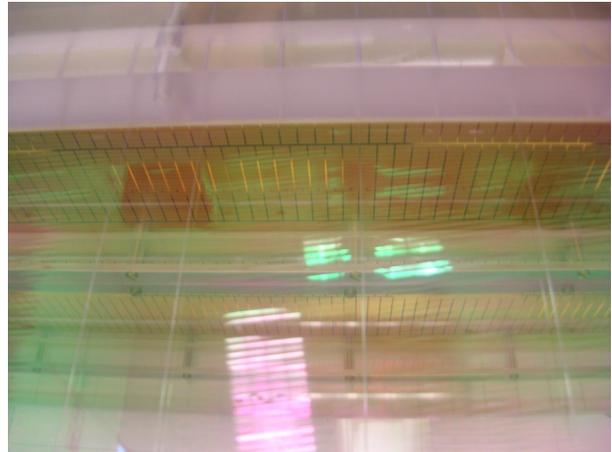
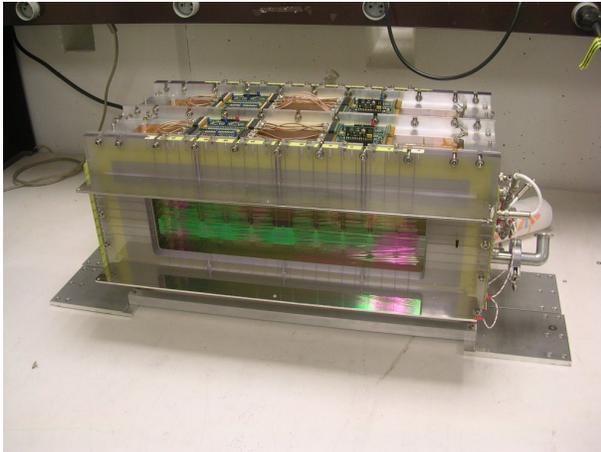
Le dipôle permet de dévier le faisceau d'un angle de  $0^\circ$  à  $90^\circ$  sur une longueur de 1.50 m. Dans le cas que nous étudions, le faisceau est dévié de  $60^\circ$ . Le faisceau sera plus ou moins dévié en fonction d'une grandeur, appelée "Rigidité magnétique" :

$$B\rho = \frac{mv}{q}$$

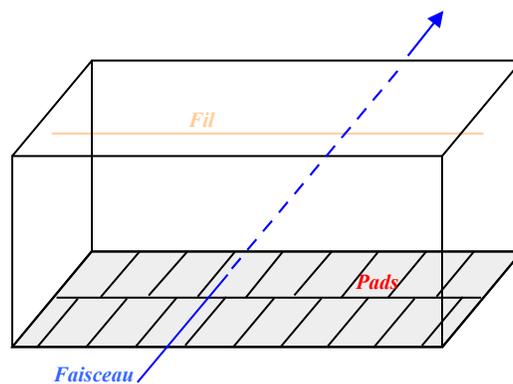
En frappant la cible, le faisceau change ces caractéristiques. D'après la déviation du faisceau, nous pouvons donc reconstruire les événements qui se sont passés lorsque celui-ci a frappé la cible.

## II.5 Les chambres à dérive

La chambre à dérive se présente sous la forme d'un pavé creux dont la base est recouverte de 64 pads. Le faisceau entre et sort par deux fenêtres composées de très fines feuilles de Mylar tendues par des fils.

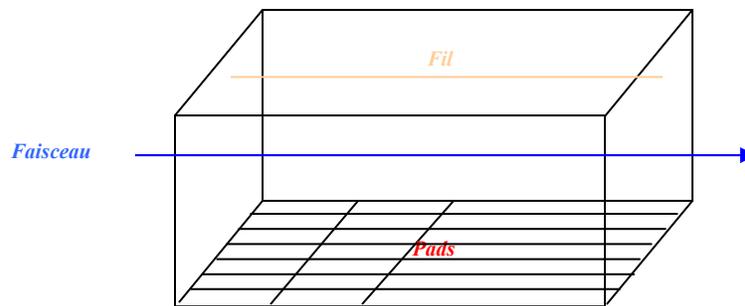


Une très forte tension est appliquée, avec les pads comme pôle positif, et un fil central comme pôle négatif. Les électrons sont ainsi piégés par les pads, qui renvoient aussitôt un signal à un ordinateur, en indiquant la charge qu'ils ont reçue.



## II.6 La chambre à ionisation

La chambre à ionisation est une cavité remplie d'isobutane. le faisceau ionise le gaz et des pads se chargent de récupérer les électrons d'ionisation. Les pads sont disposés suivant un arrangement particulier : Deux rangées de 7 pads de longueur identique, puis une troisième rangée de 7 pads, dont la taille est beaucoup plus grande. Ils envoient à l'ordinateur l'énergie  $\Delta E$  que les électrons ont perdu en traversant le gaz.



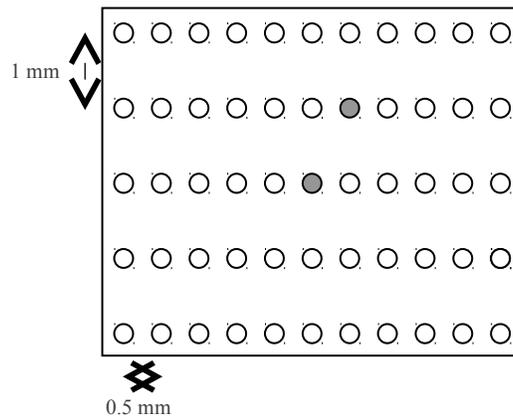
## II.7 Le scintillateur plastique

Collé à la chambre à ionisation, se trouve le scintillateur plastique. Il permet de récolter le reste de l'énergie de ces électrons. Il est alors possible d'en connaître l'énergie, qui indique la particule qui les a émis. En heurtant le plastique, celui-ci émet des photons  $\gamma$ . Il agit alors comme un guide de lumière, empêchant les photons de se disperser et les envoyant dans deux photomultiplicateurs situés aux extrémités du plastique. Ceux-ci se chargent d'augmenter le nombre de photons, afin qu'ils soient détectables par des photodétecteurs, qui mesurent alors l'énergie de chacune des électrons qu'ils reçoivent.

## II.8 La grille

La grille, en aluminium, est épaisse de 1 mm.

Placée dans l'axe du faisceau après la cible, elle permet de calibrer le détecteur. En produisant une réaction connue, avec un faisceau de rigidité magnétique connue, et en plaçant la grille, on peut ainsi déterminer les seuils des différents détecteurs, calibrer les logiciels d'acquisition et de traitement des données, etc... Pour cela, on place une vis sur le trou central, afin que le faisceau n'interfère pas avec le résultat de la collision. On en place également une sur un trou quelconque afin de pouvoir le situer quand on analyse les résultats. Tant qu'il n'est pas à sa place, la reconstruction n'est pas efficace.



## III. Acquisition et exploitation des données

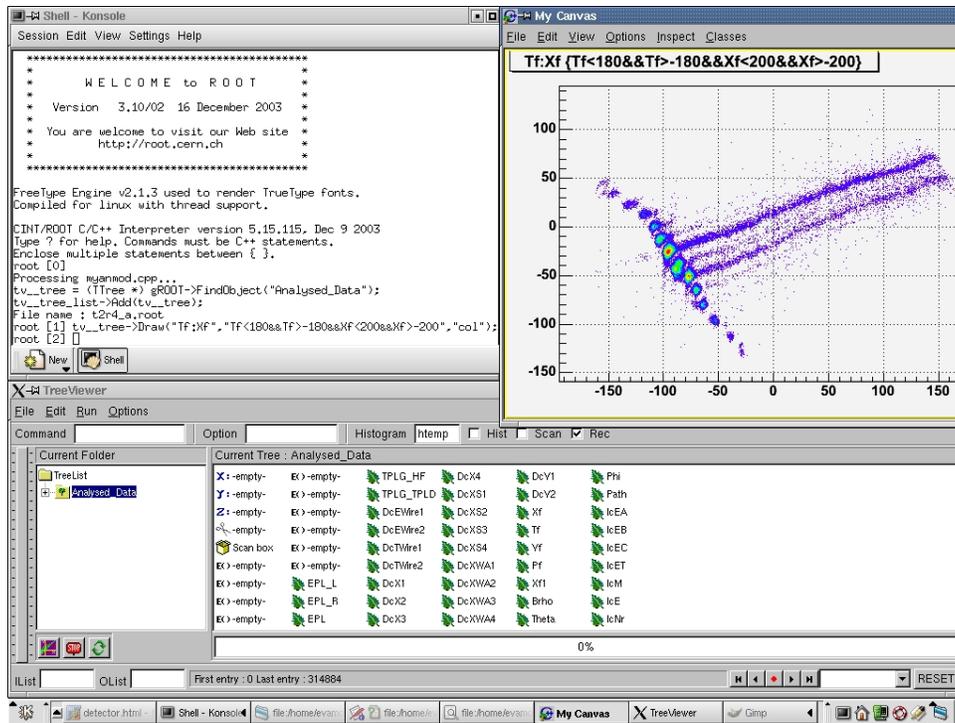
### *III.1 Acquisition*

Avant d'enregistrer un événement quelconque, le signal passe d'abord dans un ADC : Amplitude Digital Converter. Cet appareil permet d'effectuer une première sélection en imposant un seuil de détection, et transforme le signal obtenu en données capables d'être enregistrées sur un ordinateur. De même, il existe le TAC : Time Amplitude Converter ; il fournit une mesure très précise de temps relatif, entre un signal de départ et un signal de stop. Il utilise un condensateur dont la courbe de charge est linéaire. Ainsi, l'événement "Start" déclenche la charge du condensateur, et l'événement "Stop" déclenche la mesure

### *III.2 Traitement des données*

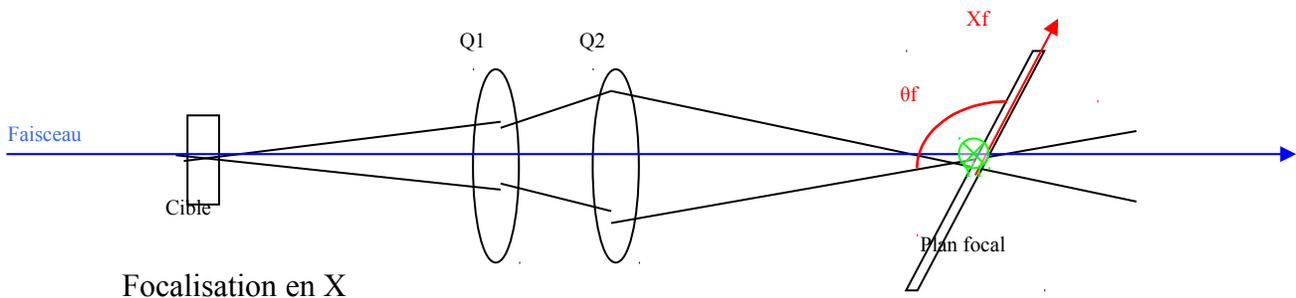
Pour chaque changement de conditions expérimentales, on enregistre les données obtenues sur un ordinateur, sous un "Run". Ainsi, chaque Run est composé de l'ensemble des données mesurées. Ils sont ensuite enregistrés sur bande magnétique, sous forme de fichiers \*.dat, puis sont convertis, grâce à un programme de traitement (GanTreev), en fichier de données brutes (dit Raw) \*.root. Ce format peut ensuite être lu par le logiciel Root. C'est en fait un système "d'arbres", et dans notre cas chaque donnée provenant d'un détecteur est une "feuille". Chaque donnée peut être exploitée seule ou en corrélation avec les autres. Une fois dans Root, il faut démarrer un programme qui permettra la lecture et l'affichage de ces arbres.

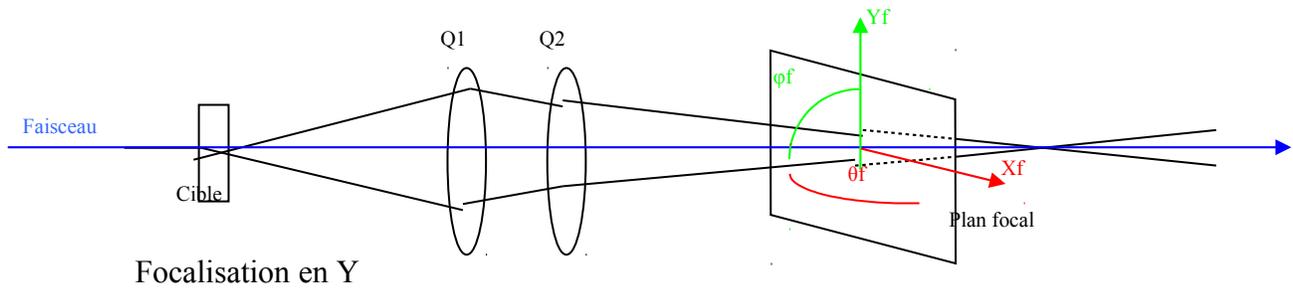
Nous lisons nos données par l'intermédiaire d'un programme appelé "myan.cpp", mais celui ci n'acceptait de lire qu'un seul arbre. Pour pouvoir comparer plusieurs arbres, il nous a donc fallu le modifier : tous les graphes présentés ici ont été réalisés avec cette version du programme appelé "myanmod.cpp".



Mais ces Runs sont des Raw, et il faut les passer par un second programme qui va les calibrer : Anv. Celui-ci utilise un sous-programme par détecteur : Un pour les chambres à dérive (DriftChamberv.cpp), un pour la chambre à ionisation (IonisationChamberv.cpp), un pour le scintillateur plastique (Plasticv.cpp). Ces sous-programmes convertissent les données à l'aide de fichiers de calibration \*.cal contenant juste les différents coefficients de calibration. Ainsi, si pour une raison ou une autre il faut modifier ces coefficients, il suffit de modifier ces valeurs sans modifier tout le sous-programme.

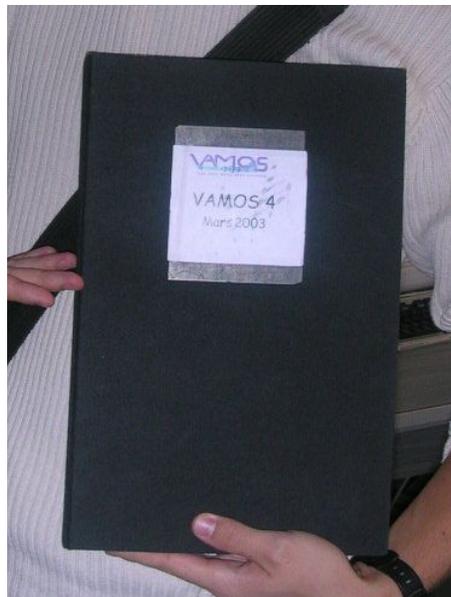
Le sous-programme Reconstructionv.cpp, lui, calcule à partir des données calibrées plusieurs valeurs, notamment  $\theta$ ,  $\varphi$ , X et Y de départ.





### *III.3 Analyse des données*

Tous les résultats observés par les scientifiques sont notés sur un Journal de Bord : "Log book".



Nous étudierons des résultats d'une expérience de mars 2003, au cours de laquelle, on a envoyé un faisceau d'azote  ${}_{14}\text{N}^{(+3)}$  d'une énergie de 4,82030 MeV par nucléon sur une cible d'or  ${}_{197}\text{Au}$ .

On applique au dipôle une champ magnétique  $B$  de 0,421654 Teslas. Or le dipôle a une longueur totale de 1,5 mètres, comme nous l'avons dit précédemment. La rigidité magnétique nominale du faisceau est donc de :

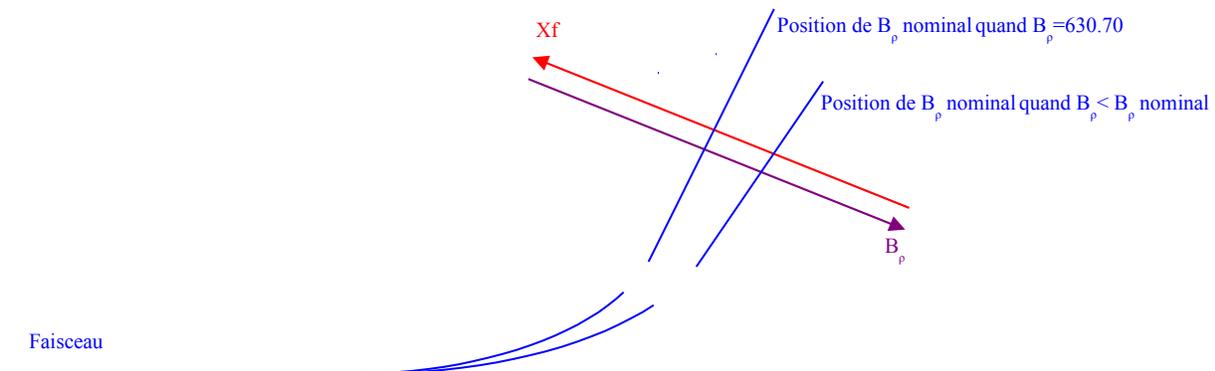
$$B_p = 1.50 \times 0.421654 = 0.632481 \text{ Tm}$$

Afin de calibrer le faisceau, on réalise des mesures pour différentes valeurs de  $B_p$ . Ici, on a fait varier  $B_p$  de -5% à +7% du  $B_p$  nominal.

Pour faire varier  $B_p$ , on pourrait changer celui du faisceau, mais changer l'énergie du cyclotron qui le produit mettrait une demi-journée. Par conséquent, le  $B_p$  du faisceau reste le même pendant toute la durée de la calibration. Pour calibrer les détecteurs, on fait donc varier les champs magnétiques appliqués aux dipôle et quadrupôles. On simule donc les différents  $B_p$  à partir du faisceau d'origine. Les  $B_p$  indiqués dans le tableau ci-dessous sont ceux pour lesquels le faisceau passerait par 0.

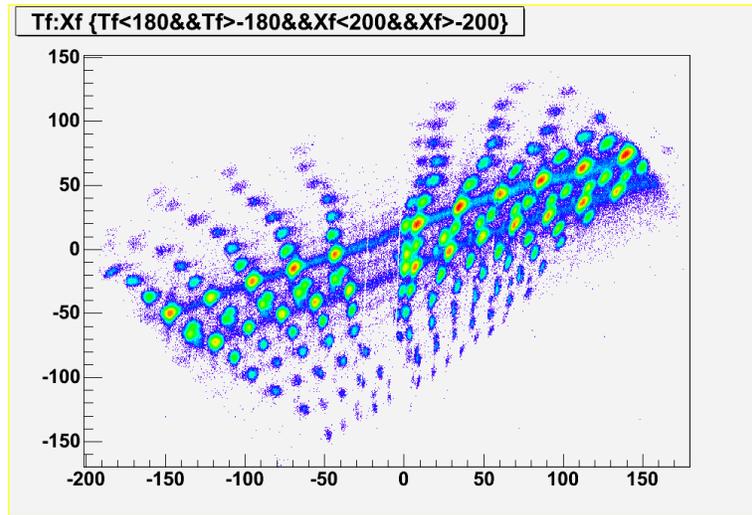
| Run           | T2r3    | T2r2    | T2r4    | T2r5    | T2r6    | T1r11   |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $B_p$         | -5%     | -4%     | -3%     | -2%     | -1%     | Nominal |
| $10^{-3} B_p$ | 595.46  | 601.73  | 608.00  | 614.26  | 620.53  | 630.70  |
| $B$           | 3969.63 | 4011.52 | 4053.33 | 4095.09 | 4136.88 | 4204.70 |

| Run           | T2r7    | T2r9    | T2r16   | T2r17   | T2r18   | T2r19   | T2r21   |
|---------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| $B_p$         | +1%     | +2%     | +3%     | +4%     | +5%     | +6%     | +7%     |
| $10^{-3} B_p$ | 633.07  | 639.34  | 645.60  | 651.87  | 658.14  | 664.43  | 670.67  |
| $B$           | 4220.40 | 4262.24 | 4304.03 | 4345.81 | 4387.60 | 4429.81 | 4471.17 |



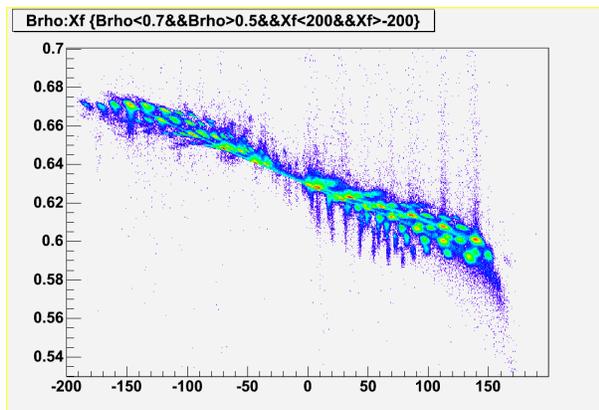
### III.3.a $B_p$ variant de -5% à +7% du $B_p$ nominal

Voyons d'abord, pour tous ces  $B_p$ , différents graphes et essayons de les situer les uns par rapport aux autres.

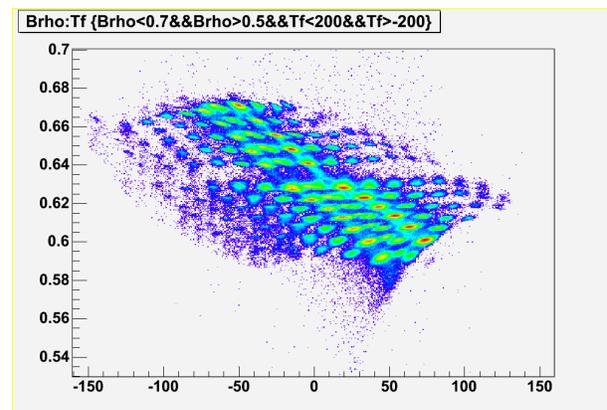


Graphe 1

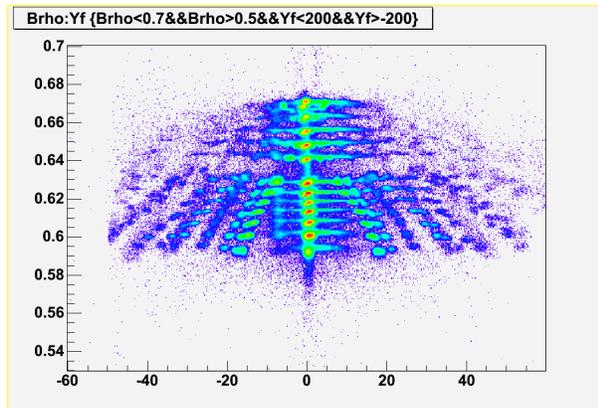
Si on regarde  $X_f$  en fonction de  $\theta_f$ , on obtient le graphe ci-dessus. On voit clairement les différents  $B_p$ . En revanche, on devrait observer des tâches, passant par l'abscisse 0, correspondant au  $B_p$  nominal. Ce n'est pas le cas car la valeur expérimentale du  $B_p$  nominal était légèrement différente de celle demandée ; La calibration n'est donc pas tout à fait exacte. Néanmoins, on le distingue quand même des autres.



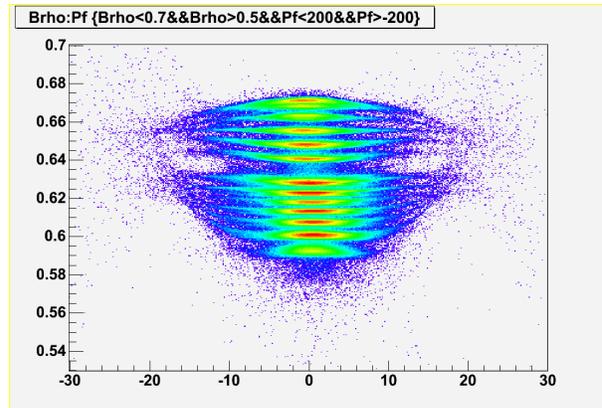
Graphe 2



Graphe 3



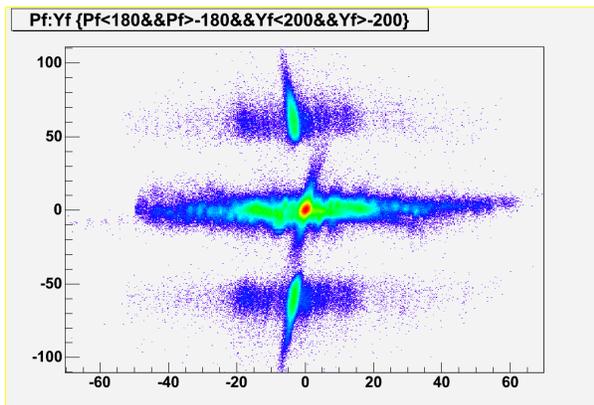
Graphe 4



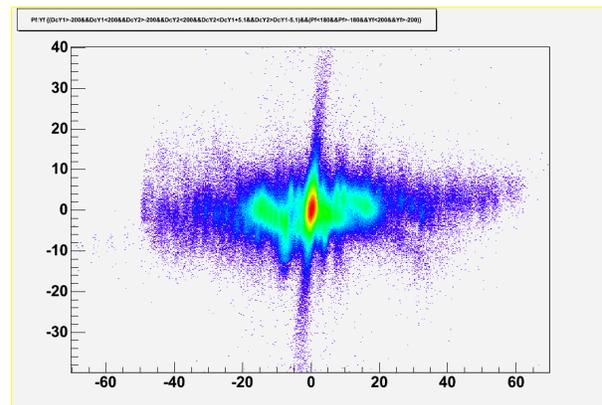
Graphe 5

Ces quatre graphiques montrent qu'il n'y a pas de dépendance entre  $B_p$  et  $X_f$ , entre  $B_p$  et  $Y_f$ , entre  $B_p$  et  $\theta_f$ , et entre  $B_p$  et  $\phi_f$ .

De plus, lors de la calibration, on a aligné le 0 sur le faisceau correspondant au  $B_p$  nominal.

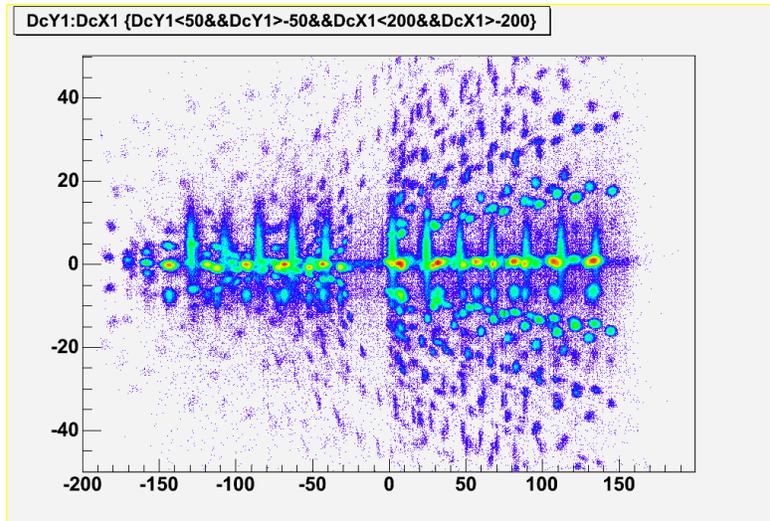


Graphe 6



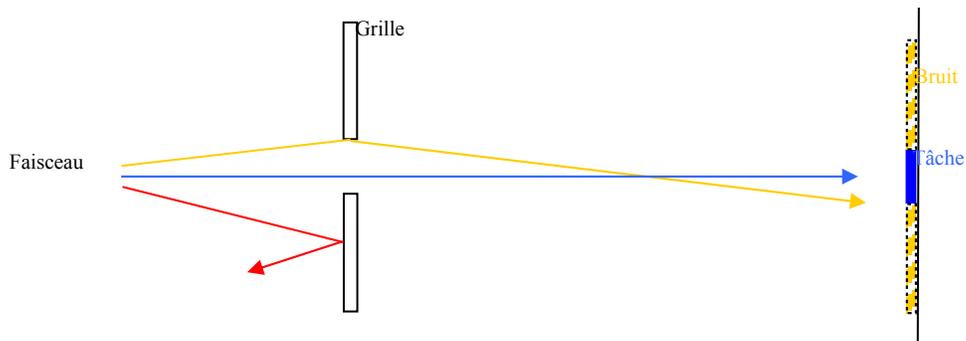
Graphe 7

Sur le graphe 6, on observe trois tâches horizontales. La tâche centrale est due au faisceau. On peut la mettre en valeur en utilisant une fonction "cY", qui fait partie du programme myanmod.cpp. On obtient alors le graphe 7. On voit aussi que  $\phi_f$  ne dépend pas de  $Y_f$ .

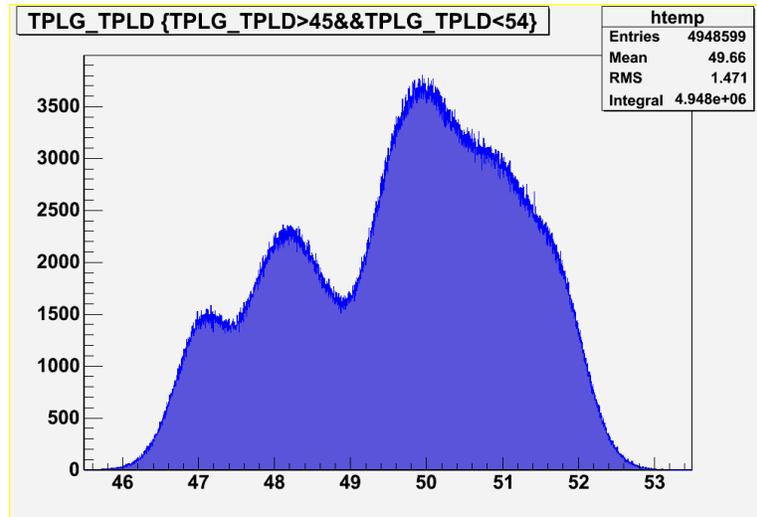


Grappe 8

On remarque pas mal de bruit sur le graphe 8. Il est dû aux particules qui ont heurté la grille, et qui ont rebondi. Néanmoins, on voit clairement que chaque  $B_p$  est dévié d'une façon différente. Les  $B_p$  les plus petits sont plus déviés que les plus grands. On peut également distinguer les trous de la grille.



Voyons maintenant le graphe représentant le nombre de coups en fonction du "Temps au plastique Gauche-Temps au plastique Droit"

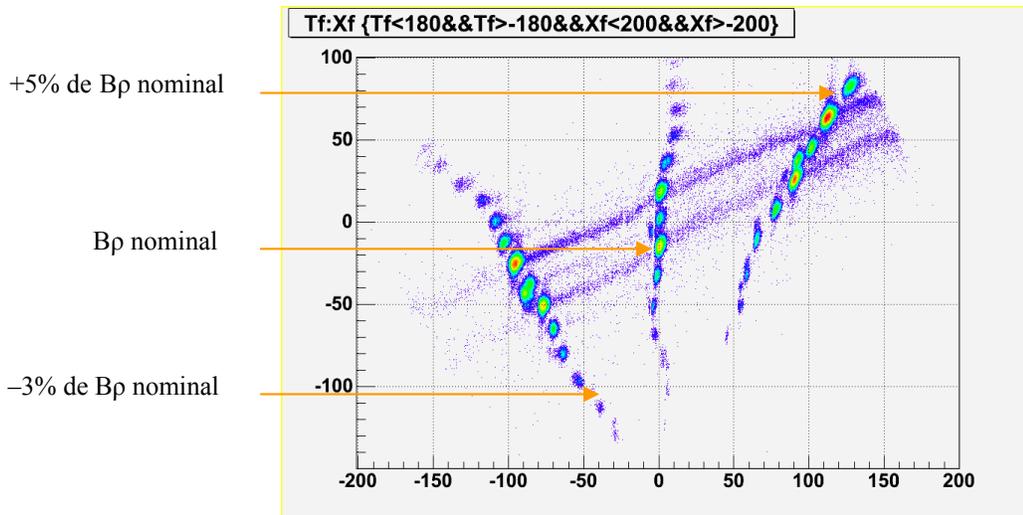


Grappe 9

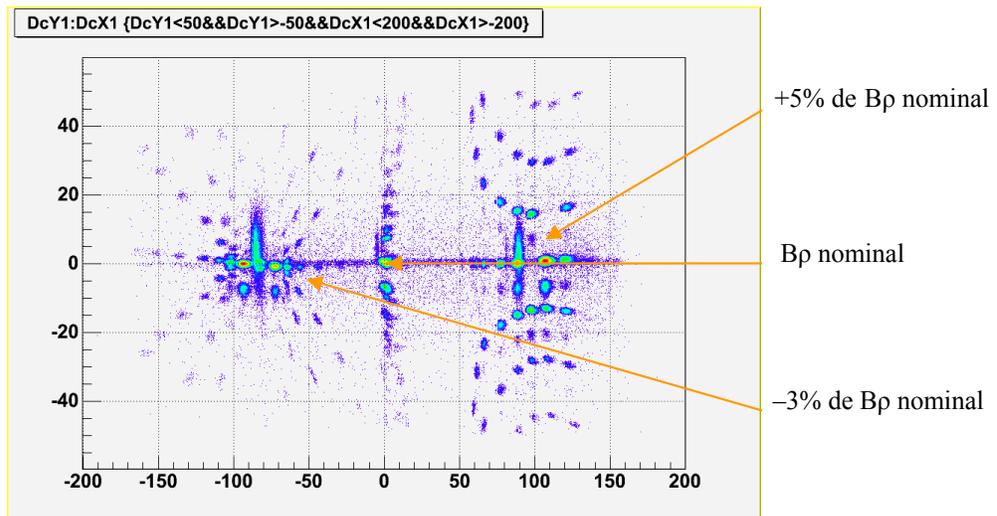
Il nous est permis d'obtenir ce graphe grâce à deux séries de capteurs situés de part et d'autre du scintillateur plastique. Le signal gauche est retardé de 50 ns, puis on mesure le temps entre le signal gauche et le signal droit. Ainsi, un pic à 50 ns signifie donc que le faisceau est bien centré. On remarque que, si la plupart des coups sont portés au centre, ce n'est pas le cas de tous. Cela est dû à un mauvais réglage du faisceau.

### III.3.b $B_p$ nominal, +5% de $B_p$ nominal et -3% de $B_p$ nominal

Nous avons choisi de nous attarder plus longuement sur trois séries de mesures correspondant à des valeurs différentes de  $B_p$  :  $B_p$  nominal, +5% de  $B_p$  nominal et -3% de  $B_p$  nominal. Pour commencer, situons-les sur ces deux graphes :



Graphe 10

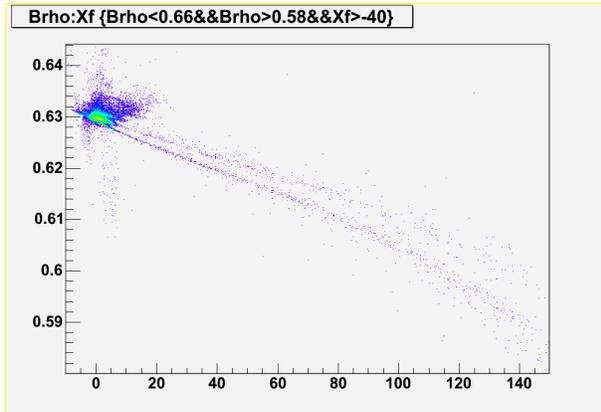


Graphe 11

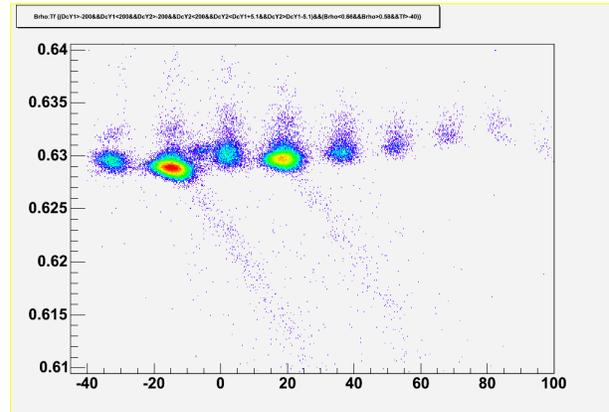
On note que, pour des raisons de calibration,  $B_p$  nominal est centré en 0. De plus, on constate que  $B_p$  inférieur à  $B_p$  nominal est à gauche, et  $B_p$  supérieur à  $B_p$  nominal est à droite.

Regardons maintenant les mesures obtenues avec le  $B_p$  nominal.

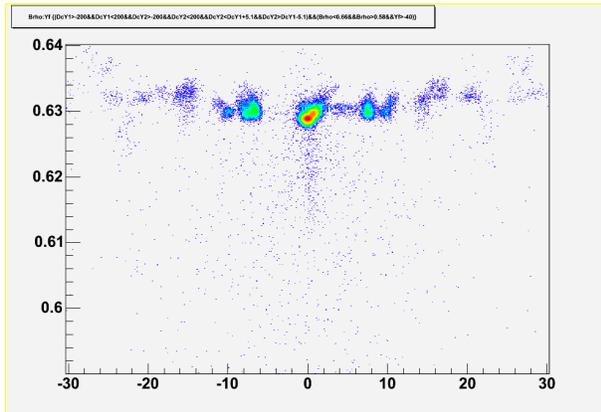
### III.3.c $B_p$ nominal



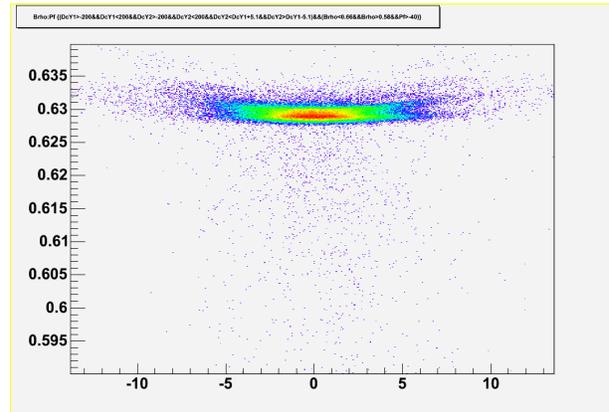
Graphe 12



Graphe 13

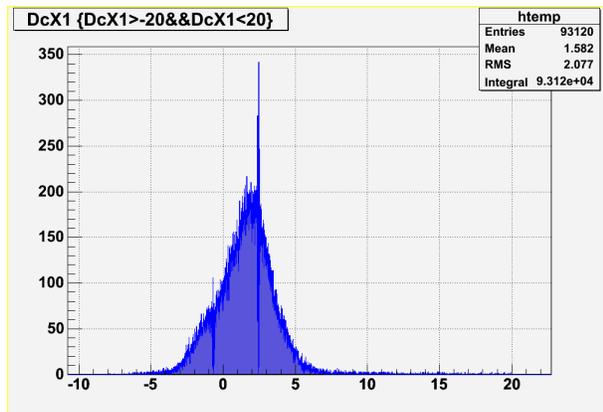


Graphe 14

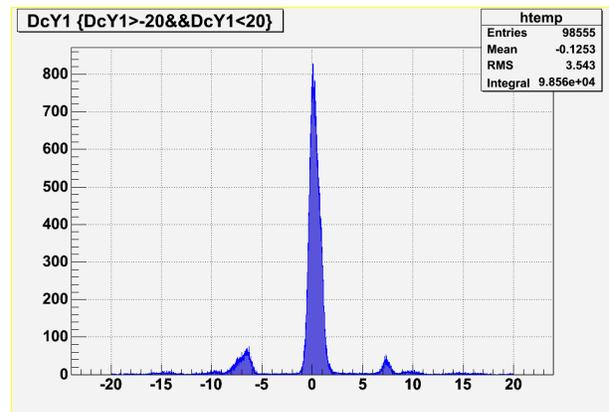


Graphe 15

Pour ces quatre graphes,  $B_p$  ne dépendant pas des grandeurs  $X_f$ ,  $\theta_f$ ,  $Y_f$ , et  $\phi_f$ , on obtient des points principaux alignés sur une droite dont l'ordonnée est  $B_p$  nominal. On observe, de plus, quelques points qui n'appartiennent pas à cette droite. Ces points sont dus à des particules de  $B_p$  différents (cf. p 22-23).



Graphe 16



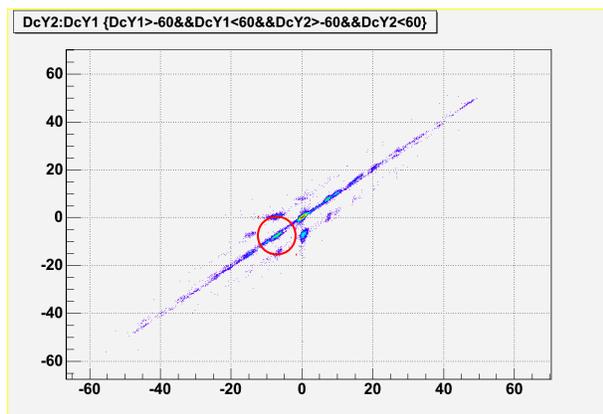
Graphe 17

Voici donc les graphes de la répartition du faisceau en X et en Y à l'entrée de la première chambre à dérivation.

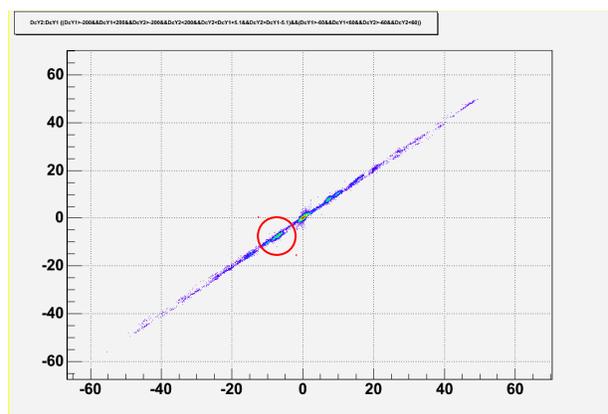
En X, on peut nettement voir que le faisceau n'est pas tout à fait centré. On remarque également un pic qui dépasse largement les autres valeurs. Ceci est dû au programme et à la façon de traiter les données. Pour afficher un graphe, il faut tout d'abord rentrer des bornes. Puis le programme découpe cet intervalle en 16 480 canaux (dit "bin"), et chaque canal se voit attribuer un nombre de coups. Mais afin de compenser les incertitudes, on effectue un procédé de randomisation. Il consiste à ajouter un nombre aléatoire au nombre de coups du canal.

Tant que l'on utilise des canaux de largeur supérieure à la précision du détecteur, tout est normal. Par exemple, pour la chambre à dérive, la précision est de 300  $\mu\text{m}$ . Or, dans notre cas, la précision était d'environ 40  $\mu\text{m}$ , ce qui entraîne des erreurs de la part du programme. Et plus on diminue la taille des canaux, plus l'erreur de randomisation est grande.

En Y, on observe que le faisceau est nettement mieux centré.



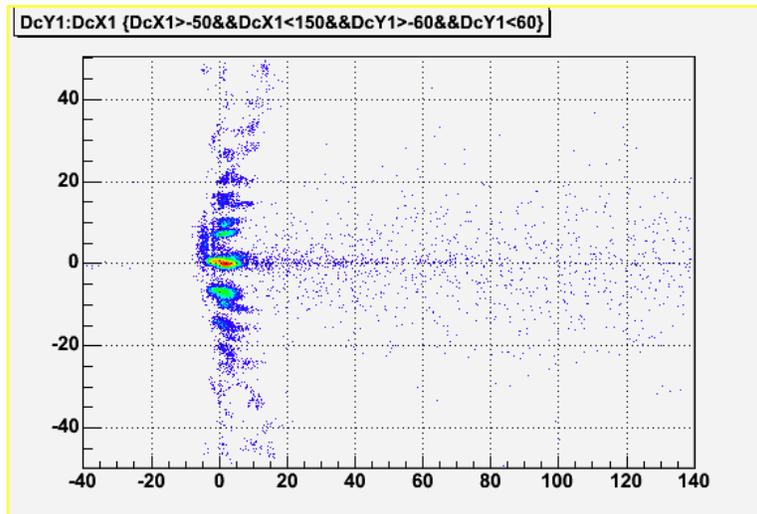
Graphe 18



Graphe 19

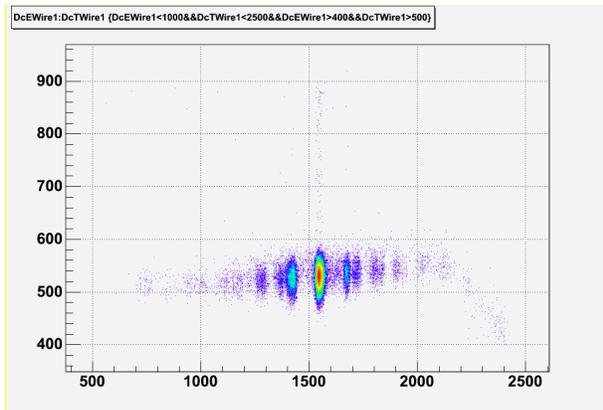
Comme vu précédemment pour les graphes 6 & 7, on peut utiliser une condition "cY" inhérente au programme myanmod.cpp, condition qui permet de supprimer les tâches de part et d'autre de la droite.

Ces tâches sont dues à, c'est pourquoi elles ne sont pas à prendre en compte. Toutefois, il est à noter que ces tâches se combinent également sur la droite, et que pour l'instant aucune solution n'a été trouvée pour enlever cette tâche.

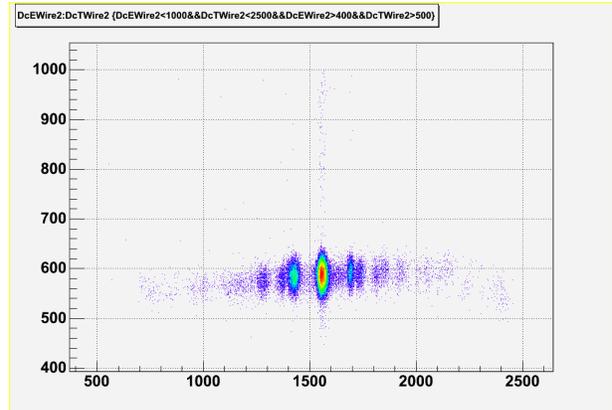


Grappe 20

Le graphe 20 nous montre la forme du faisceau tel qu'on le verrait si on se plaçait face à la chambre à dérive. On y remarque la tâche principale du faisceau, bien centrée en 0, la forme de la grille (principalement en Y) et le bruit situé à droite et non pas réparti équitablement de chaque côté du faisceau. Ceci est dû au dipôle qui dévie les particules ayant un  $B_p$  inférieur au  $B_p$  nominal.

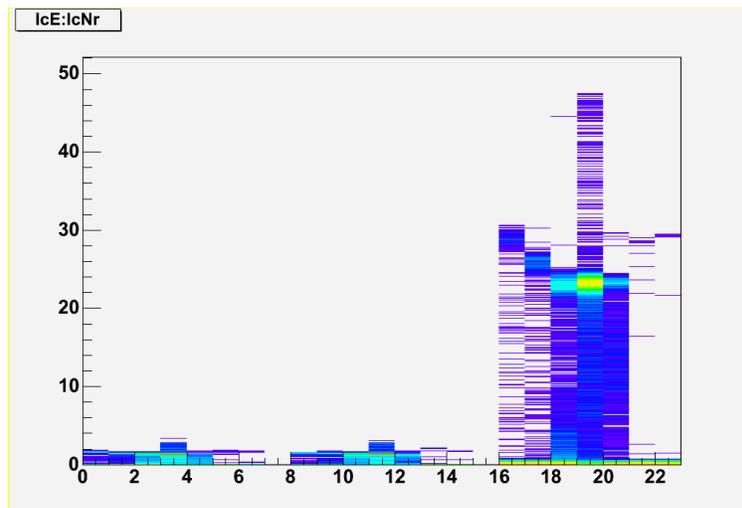


Graphe 21



Graphe 22

Les graphes 12 & 22 représentent l'énergie perdue dans les chambres à dérive en fonction du temps. Si les deux tâches ne sont pas à la même hauteur, c'est tout simplement à cause d'une mauvaise calibration. On peut voir une fois encore les marques de la grille.



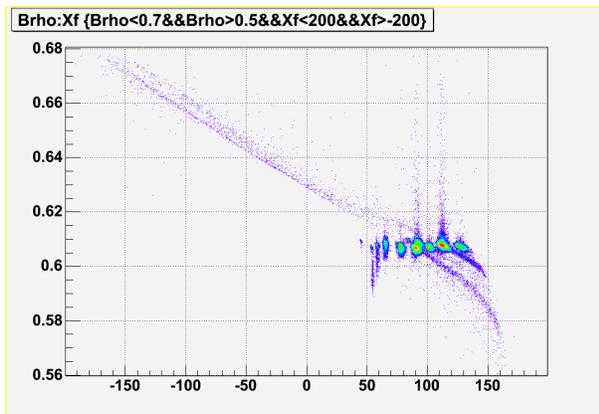
Graphe 23

La chambre à ionisation est constituée de trois série de 7 pads. Le programme IonisationChamberv.cpp numérote chaque pad suivant le schéma ci dessous et sépare chaque série d'un blanc.

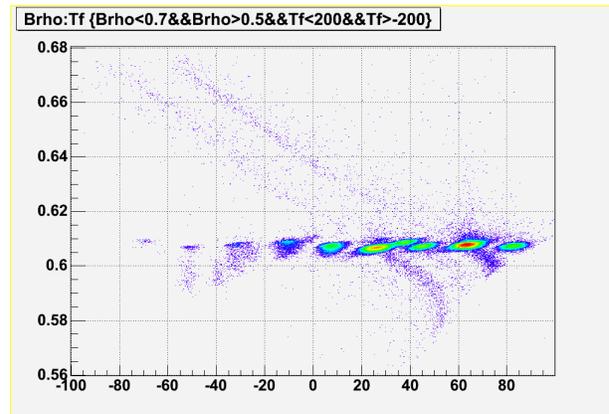
|   |    |    |
|---|----|----|
| 6 | 14 | 22 |
|   |    |    |
|   |    |    |
|   |    |    |
| 1 | 9  | 17 |
| 0 | 8  | 16 |

La troisième série étant composée de pads plus longs, l'énergie récoltée est plus grande, ce qui se voit sur le graphe 23.

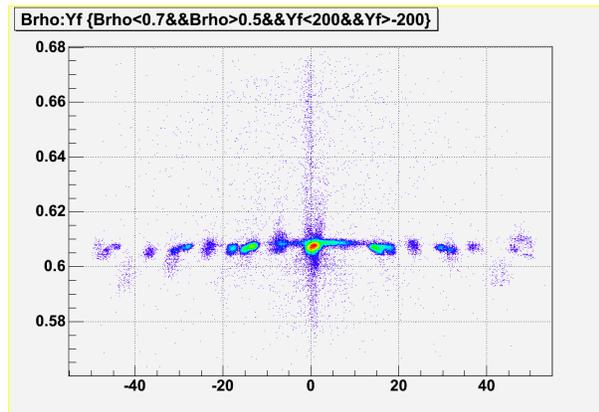
*III.3.d +5% de  $B\rho$  nominal*



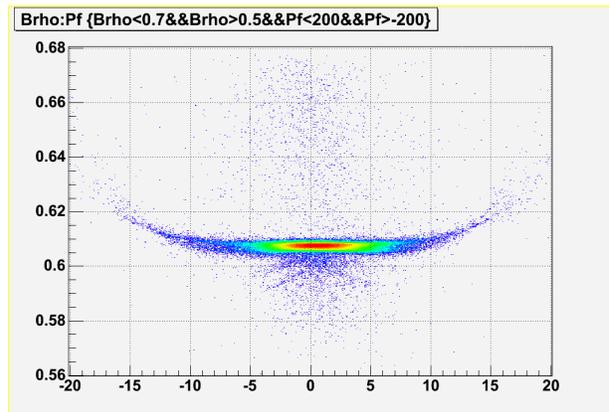
Graphe 24



Graphe 25

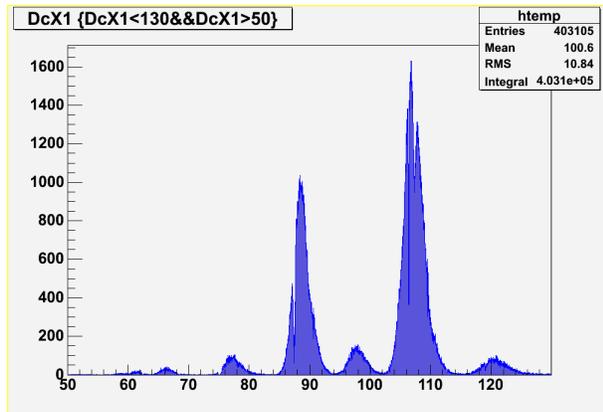


Graphe 26

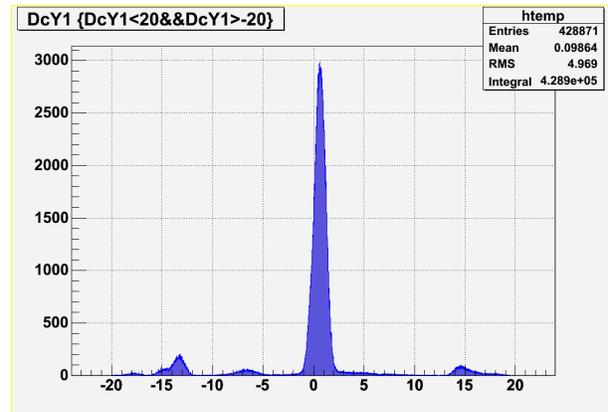


Graphe 27

On obtient, de même, des points alignés sur une droite horizontale. Avec ce  $B_p$  plus fort, on obtient un faisceau décalé vers la droite en  $X_f$  et en  $\theta_f$ . Ce phénomène était prévisible du fait que plus la rigidité magnétique est élevée, moins le faisceau est dévié. Dans le plan focal  $Y$ , on peut dire que le faisceau reste centré, ce qui est une bonne chose. Toutefois, il est surprenant que l'ordonnée de cette droite soit inférieure à celle de la droite obtenue avec le  $B_p$  nominal.



Graphe 28



Graphe 29

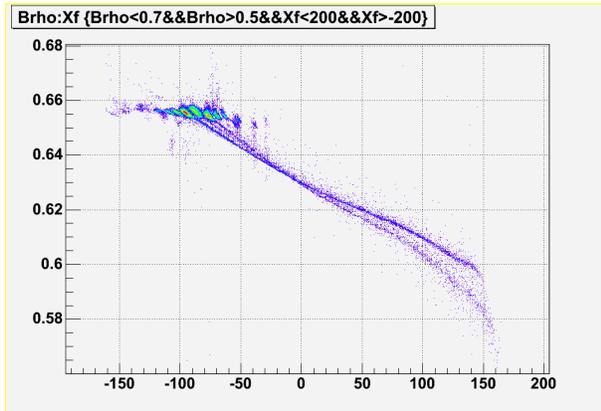
Sur le graphe 28, représentant le nombre d'impulsions sur DcX1, on observe deux pics plus hauts que les autres, et au centre, un autre plus petit. Celui-ci est le centre du faisceau, masqué sur la grille par une vis, comme on l'a expliqué précédemment. Toutefois, il apparaît tout de même un pic car le faisceau a pu se refléter sur les trous voisins de la grille et donner un coup au centre.

De plus, les deux pics voisins ne sont pas de la même hauteur. Ceci est dû à un problème de calibration. Statistiquement, ils devraient être plus égaux.

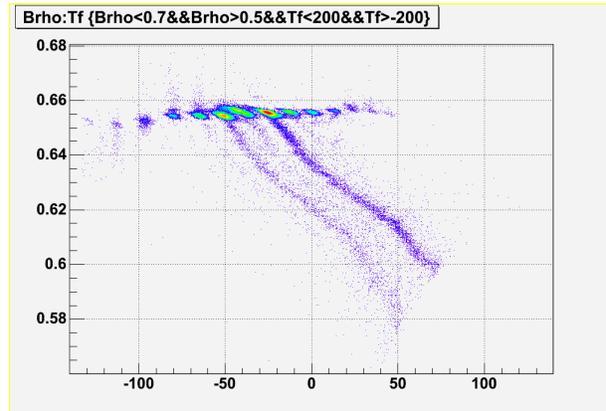
Enfin, le faisceau est centré en 100, car la chambre à dérive mesure 200mm de largeur. Ce qui prouve que le faisceau est bien centré.

De même pour le plan focal  $Y$ , le pic principal est bien centré en 0. On peut voir différents pics des deux côtés qui correspondent aux trous de la grille. On peut se demander à quoi est dû le pic principal, puisque le trou central est bouché. Il en est ainsi car pour un même  $Y$  (en l'occurrence 0), seul un  $X$  est obstrué, et donc tous les autres signaux quelque soit  $X$  parviennent quand même au détecteur.

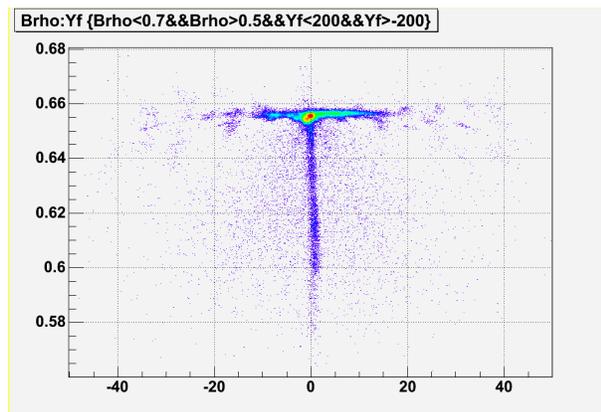
### III.3.d -3% de $B_p$ nominal



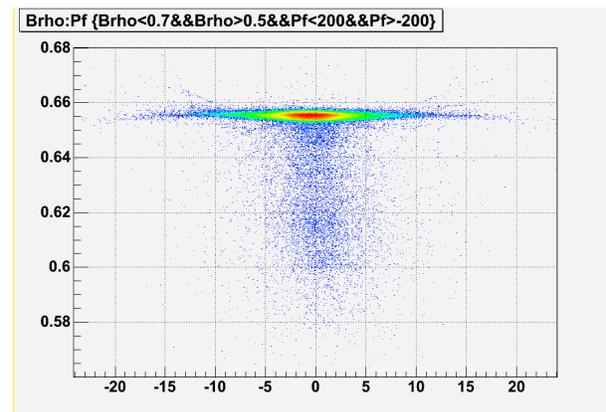
Graphe 30



Graphe 31



Graphe 32



Graphe 33

Faisceau

On obtient, de même, des points alignés sur une droite horizontale. Avec ce  $B_p$  plus faible, on obtient un faisceau décalé vers la gauche en  $Xf$  et en  $\theta_f$ . Ce phénomène était prévisible du fait que plus la rigidité magnétique est basse, plus le faisceau est dévié. Dans le plan focal  $Y$ , on peut dire que le faisceau reste centré, ce qui est une bonne chose. Toutefois, il est surprenant que l'ordonnée de cette droite soit supérieure à celle de la droite obtenue avec le  $B_p$  nominal.