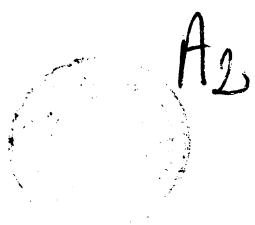


EX 8696
c, LPNHE/x/T 79



22 MARS 1979

CERN LIBRARIES, GENEVA



CM-P00050088

T H E S E présentée

pour l'obtention

du

DIPLOME DE DOCTEUR DE 3^E CYCLE

à

L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Paris 6

spécialité : Physique Nucléaire

option : Physique des particules élémentaires

par M Daniel LELOUCH

sujet de la thèse :

MESURE DE LA SECTION EFFICALE TOTALE π^- PROTON DE 5 A 15 GeV/c

soutenu le 24 Janvier 1979 devant la Commission composée de

M A. BERTHELOT	Président
M C. PEYROU	examineur
M M. FROISSART	"
M P. FLEURY	"
M E. BARRELET	"

Thesis-1979-Lelouch

T H E S E présentée

pour l'obtention

du

DIPLOME DE DOCTEUR DE 3^E CYCLE

à

L'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

Paris 6

spécialité : Physique Nucléaire

option : Physique des particules élémentaires

par M Daniel LELOUCH

sujet de la thèse :

MESURE DE LA SECTION EFFICALE TOTALE π^- PROTON DE 5 A 15 GeV/c

soutenue le 24 Janvier 1979 devant la Commission composée de

M A. BERTHELOT	Président
M C. PEYROU	examineur
M M. FROISSART	"
M P. FLEURY	"
M E. BARRELET	"

A CELLE A QUI JE DOIS TOUT,

INTRODUCTION

Ce travail décrit une mesure de la section efficace totale de diffusion π^- proton de 5 GeV/c à 15 GeV/c avec une précision relative supérieure à 0.3% en section efficace et de 0.05 % en impulsion.

L'originalité du dispositif expérimental vient du faisceau comportant un spectromètre à haute résolution et de l'acquisition de données fondée sur un micro-ordinateur rapide qui étudie les événements en temps réel.

Ce domaine de physique a déjà fait l'objet de nombreux travaux expérimentaux; le gain en précision de la présente expérience doit donner accès à des informations nouvelles concernant :

- . la recherche d'éventuelles résonances baryoniques étroites à petit rapport de branchement en $\pi^- p$
- . la détection précise des oscillations de σ_{tot} dues aux récurrences de Regge des particules Δ et N^*
- . la détermination de la section efficace différentielle à petit angle qui fournit l'amplitude de diffusion élastique à 0° par observation de l'interférence entre les diffusions coulombienne et nucléaire.

o o o

Dans une première partie consacrée aux techniques d'acquisition de données, nous n'évoquerons pas la construction du matériel à laquelle nous n'avons pas participé mais son utilisation. Nous traiterons des problèmes nouveaux qui apparaissent du fait des temps de traitement des événements - 1 μ s en pointe et 5 μ s en moyenne - soit 100 à 1000 fois plus rapide que pour la plupart des expériences d'électronique.

Des précautions supplémentaires doivent être prises puisque le traitement se fait en ligne sans conservation des événements sur bande magnétique.

Les divers détecteurs utilisés (chambres à fils, filtre de $\mu\bar{}$) seront décrits succinctement afin de montrer comment leurs caractéristiques influent sur la méthode de mesure et la précision des résultats obtenus.

Nous montrons que les performances du système d'acquisition sont obtenues grâce à un ensemble de 3 dispositifs logiques (déclenchement-chaine de codage - microprocesseur) fonctionnant en parallèle. Afin de prendre une décision commune en une fraction de micro seconde, ces 3 unités de traitement doivent être synchronisées de façon "relativiste", tenant compte des temps de propagation des divers signaux logiques.

Nous présenterons notre logiciel dont la complexité provient de ce que deux ordinateurs - un micro-ordinateur et un mini-ordinateur - fonctionnent en parallèle. Les procédures de dialogue synchrone dont la "fiabilité logicielle" est excellente sont exposées de façon détaillée; nous insistons sur la souplesse de notre système qui a permis d'élaborer en peu de temps les programmes d'acquisition.

La deuxième partie de ce travail se consacre à l'étude, tant théorique qu'expérimentale du faisceau de particules.

Nous ne disposons en effet d'aucun moyen direct pour mesurer la précision de notre spectromètre focalisant, dernier étage du faisceau compensé en dispersion. Nous devons donc nous entourer de nombreuses précautions aussi bien avant les prises de données (études théoriques, vérifications expérimentales) que pendant (contrôle permanent de l'espace de phase).

La précision relative souhaitée de $5 \cdot 10^{-4}$ sur l'impulsion de chaque particule incidente a déterminé la conception du faisceau :

- le spectromètre focalisant permet une mesure de l'impulsion peu sensible aux phénomènes de diffusion multiple dans les chambres situées en amont et en aval.
- la compensation en dispersion réduit de nombreuses erreurs systématiques en supprimant la corrélation entre impulsion de la particule incidente et position de sa trajectoire.

Après avoir esquissé les grandes lignes des calculs et simulations qui conduisent à la détermination des coefficients qui permettent le calcul de l'impulsion, nous exposerons une étude expérimentale de l'espace de phase du faisceau originale par la statistique obtenue. Nous montrerons que nous pouvons ainsi déterminer les contraintes linéaires d'appartenance à cet espace de phase que doivent vérifier les "bonnes" particules incidentes.

Le contrôle des erreurs systématiques fera l'objet de la 3^{ème} partie. Nous montrons que le traitement en ligne, a priori néfaste parce que limitatif, a ses avantages : il permet l'étude préalable de l'instrumentation avant chaque prise de données (procédure de "calibration") et le contrôle permanent tout au long de l'acquisition. De plus, la programmation du micro-ordinateur comparée au traitement des événements sur gros ordinateur est moins contraignante qu'on aurait pu le craindre.

Notre objectif premier, qui est la détection d'un signal de 1 % sur la courbe de la section efficace totale est atteint grâce à une programmation en ligne sophistiquée que nous a suggérée une longue et délicate étude des diverses erreurs systématiques.

Nous classons ces erreurs en 3 types :

- . celles qui sont indépendantes de l'appareillage : elles concernent les interactions hors de la cible à hydrogène et la contamination en \bar{p} , μ^- et K^- .

. celles qui proviennent des détecteurs utilisés. Nous montrerons que l'optimisation de nos chambres à fils de transmission et le programme d'acquisition rendent inutile toute correction d'inefficacité.

. Enfin, celles introduites par l'emploi du microprocesseur, dont la précision des calculs est limitée. Nous montrons que quelques considérations d'arithmétique permettent d'en venir à bout.

La 4^{ème} et dernière partie de ce travail traite de l'analyse des données. Cette analyse, qui nécessite des temps de calculs hors-ligne très courts puisque nous opérons principalement sur des histogrammes, est cependant assez délicate en raison des nombreuses corrections à effectuer.

Nous ne disposons à ce jour que d'un ensemble de données à une seule impulsion (7,65 GeV/c). D'ores et déjà, nous savons que la mesure se fera effectivement avec la précision annoncée.

Nous dérivons par ailleurs les formules exprimant la résolution en masse (π^-p) de l'expérience et nous les examinons dans le cadre du modèle des états liés de couleurs à plus de 3 quarks. Il en ressort que la sensibilité obtenue est intéressante. Pour fixer les idées, un baryon B de spin $\frac{3}{2}$ et de masse 3 GeV/c est détectable si sa largeur partielle $\Gamma_{B \rightarrow \pi^- p}$ est supérieure à 30 keV.

Notre gamme d'impulsion est probablement trop élevée pour la recherche d'un état lié à 5 quarks, mais bien adaptée aux états à 7 et 9 quarks.

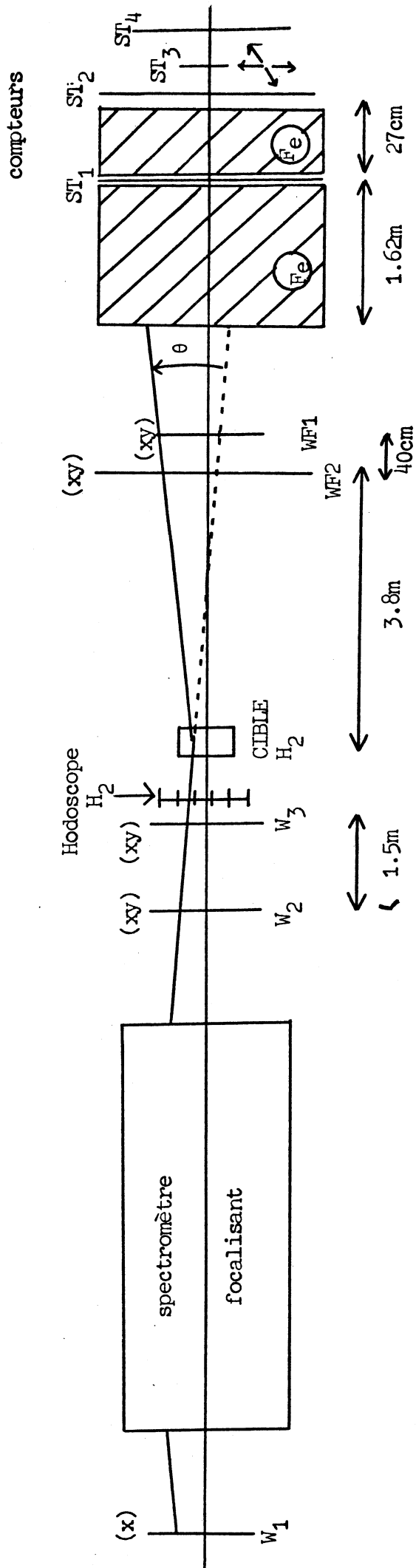
* * *

Il y a donc tout un domaine de recherche accessible aux énergies de l'accélérateur P.S du Centre Européen pour la Recherche Nucléaire où notre expérience S-157 se déroule depuis Octobre 77. Elle est réalisée conjointement à la mesure de la section efficace différentielle élastique à grand angle de la même diffusion. (Expérience S-153).

Une partie importante de l'appareillage a été utilisée en commun; un certain nombre d'études, notamment celles relatives au faisceau et aux performances de certains détecteurs sont le fruit de notre collaboration avec les physiciens de C.E.R.N. et du Collège de France. Le dispositif d'acquisition de l'expérience S-153 ayant été prêt avant celui de S-157, l'étude préliminaire du faisceau a été faite avec les bandes de données de nos collaborateurs.

Les résultats exposés sont ceux obtenus jusqu'à Décembre 1978.

SCHEMA DU DISPOSITIF EXPERIMENTAL



W_1, W_2, W_3 : "chambres faisceau" (pas : . 5mm)

WF_1, WF_2 : "chambres avant" (pas : 2 et 1 mm)

ST_1 à ST_4 : scintillateurs pour détecter les μ

ST_3 est mobile dans 2 axes

Figure 1

Les ordres de grandeurs mentionnés dans l'introduction montrent que l'expérience n'est pas réalisable avec un dispositif classique.

Il faut en effet 2 000 intervalles pour couvrir continûment la gamme d'impulsions de 5 à 15 GeV/c avec un pas de $5 \cdot 10^{-4}$.

La précision relative de $3 \cdot 10^{-3}$ pour la section efficace totale est atteinte avec 10^5 événements diffusés par impulsion. La résolution en énergie impose l'emploi d'une cible courte. Le nombre d'interactions hadroniques est alors réduit à environ 2% du nombre de particules incidentes.

Nos exigences correspondent donc au traitement d'environ 10^{10} incidents.

Cet ordre de grandeur nécessiterait :

- . de 5 à 10 ans de prises de données
- . environ 10 000 bandes magnétiques
- . plusieurs mois de temps machine pour l'analyse hors ligne par un ordinateur puissant.

Ces chiffres expliquent pourquoi nous avons développé un dispositif de prise de données tout à fait original fondé sur un microprocesseur rapide qui exécute en temps réel les opérations suivantes :

- . échantillonnage du faisceau de π^- incidents pour la normalisation
impulsion par impulsion de la section efficace totale.
- . traitement des événements "candidats diffusés"
- . transfert à un mini ordinateur des histogrammes réalisés.
- . enfin transfert immédiat des événements trop compliqués pour être
analysés en ligne.

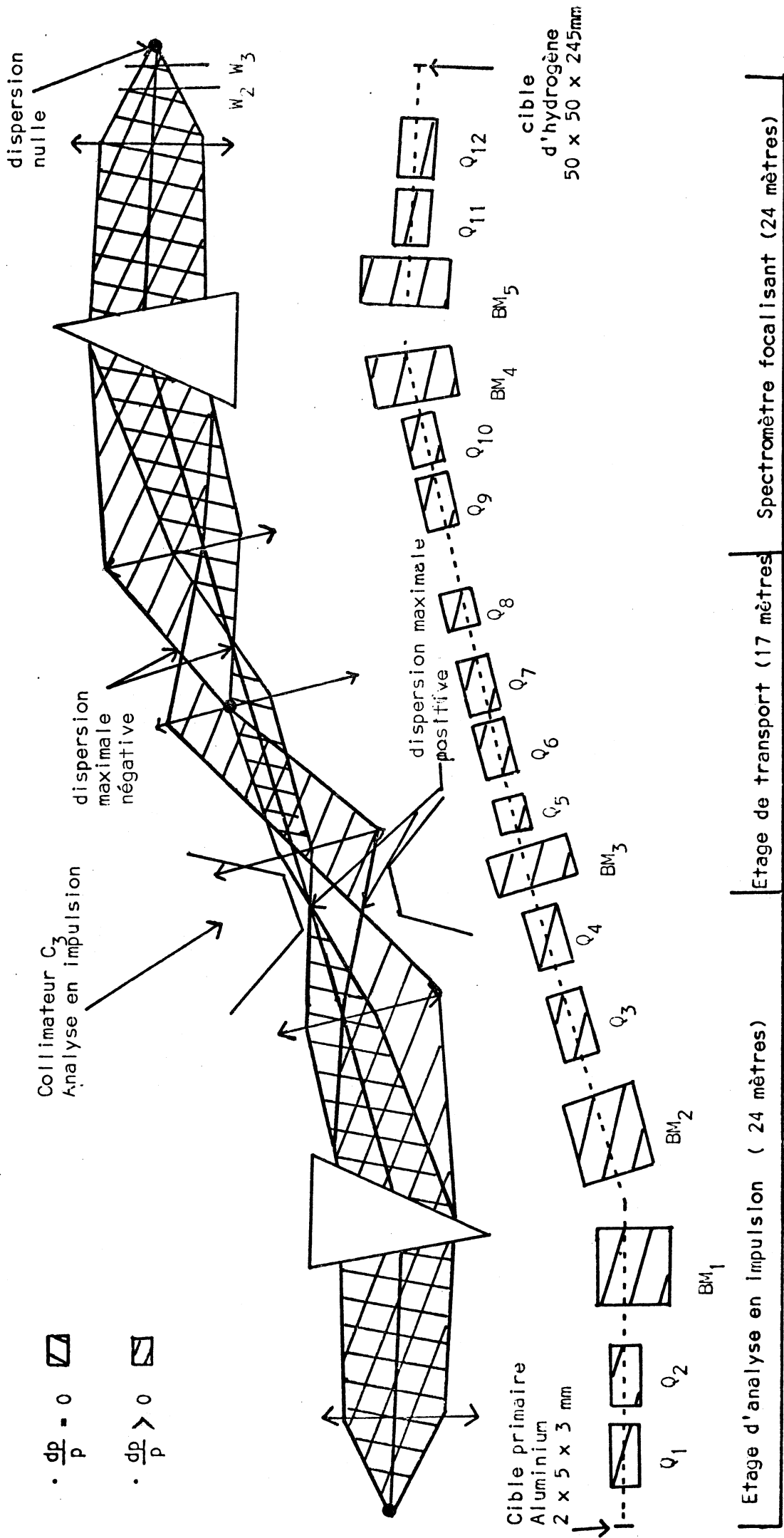


figure 2 : OPTIQUE DU FAISCEAU FOCALISE SUR LA CIBLE

1 - LE FAISCEAU

Le faisceau de π^- du hall est de l'accélérateur P.S. du CERN possède deux caractéristiques essentielles :

- il est compensé en dispersion
- il utilise un spectromètre focalisant.

1-1 La compensation en dispersion.

Dans un faisceau classique la dispersion en impulsion introduit une corrélation entre la position de l'impact d'une particule et son impulsion. La mesure de la section efficace avec la précision espérée de 0.3% exige la minimisation des erreurs systématiques dues en particulier :

- à l'inefficacité des chambres à fils en aval du spectromètre.
- à la variation de l'épaisseur de matière traversée (cible, parois, scintillateurs) en fonction de la trajectoire de la particule considérée. Cet effet est relativement important, la courbure des parois de la cible n'étant pas négligeable devant sa longueur (4 à 5 mm sur 240).

Le faisceau compensé a donc pour caractéristique essentielle une dispersion quasiment nulle dans la région de la cible. Ceci est obtenu par un faisceau symétrique comportant deux étages de dispersion: l'étage d'analyse et celui de mesure (le spectromètre). Composé chacun de deux aimants de déflexion et de 4 quadrupoles, ils ont pour équivalent optique 2 prismes et 2 lentilles. La dispersion globale du faisceau sera nulle si les centres de dispersion des deux étages appartiennent à deux plans optiquement conjugués.

Il est nécessaire d'intercaler entre ces deux étages une optique intermédiaire qui réduit considérablement le bruit de fond à l'entrée du spectromètre (où sont placés les détecteurs) en éloignant les chambres à fils du collimateur C_3 d'analyse en moment (voir figure 2). Elle permet de plus de déplacer les images horizontale et verticale de la cible primaire loin derrière les chambres W_2 et W_3 de manière à réduire sur ces chambres le taux de comptage par fil; noter également la présence de

l'aimant intermédiaire, qui sans rien changer à l'analyse en moment par le premier étage permet de contourner un des piliers du hall.

Le faisceau comprend 2 autres collimateurs d'acceptance situés en tête du faisceau, il servent :

- 1 - à réduire l'ouverture angulaire des particules produites par la cible primaire (voir partie b 3.2)
- 2 - à définir un faisceau très étroit lors du "tuning" du faisceau (détermination expérimentale des courants qui doivent traverser les divers aimants).

La dispersion du faisceau est donc : positive (1.6 cm par %) en C_3
 négative (- 1,6 cm par %) en W_1
 nulle à la cible

1-2 Le spectromètre focalisant

1-2-1 Principe

Un spectromètre classique mesure l'angle de déviation θ d'une particule et en déduit son impulsion par la formule

$$P = \frac{e}{\theta} \int B \, dl,$$

où B représente le champ magnétique, e : la charge de la particule et P son impulsion. Cette méthode présente l'inconvénient majeur d'être très sensible à la diffusion coulombienne qui se produit tant dans les chambres du faisceau qu'au travers des fenêtres des divers tubes à vide. Calculons cette diffusion d'après une estimation réaliste de la quantité de matière traversée; une formule simple donne un écart-type angulaire de l'ordre de 0.5 mrad pour 6 GeV/c d'impulsion.

Comme les deux aimants $Bm4$ - $Bm5$ du dernier étage ont chacun un pouvoir de rotation d'environ 75 mrad à 15 GeV/c et qu'il n'est pas envisageable de modifier la géométrie de l'expérience en fonction de l'impulsion à laquelle on travaille, cela correspond pour 6 GeV/c à un écart-type en impulsion de l'ordre de 0.3% ce qui est presque un ordre de grandeur au-dessus de nos exigences.

Le spectromètre focalisant repose sur l'idée simple suivante :
 Supposons que les chambres qui servent à mesurer l'impulsion se trouvent en deux plans conjugués d'un système magnétique. La position d'une particule à la sortie du spectromètre ne dépend plus alors de son angle d'émission, mais seulement de sa position à l'entrée et de son impulsion.

1-2-2 Contrôle des champs et de la position des divers éléments

Contrôle en champ

Le contrôle de l'intensité du courant qui traverse chaque élément se fait à l'aide d'un shunt placé aux bornes de cet élément. La mesure de la différence de potentiel aux bornes de ces shunts se fait grâce à un voltmètre numérique de grande précision et permet un contrôle fidèle de l'intensité. Cependant la relation entre les champs et les courants, si elle est bien définie pour un élément magnétique varie assez sensiblement d'un élément à un autre. C'est ce qui explique la relative imprécision des courbes que l'on trouve dans le C.P.S. Handbook [1].

Il faut aussi noter la nécessité de faire subir aux aimants plusieurs cycles d'hystérésis afin d'être autant que possible dans des conditions reproductibles et d'attendre la stabilisation en température des divers éléments.

Toutes ces considérations amènent à une évaluation de l'incertitude absolue sur les champs magnétiques de l'ordre de 0.5%. C'est cet ordre de grandeur qui sera utilisé lors des calculs théoriques concernant la reconstitution de l'impulsion (cf. Partie B 1.2).
 De plus, les deux derniers aimants qui jouent un rôle fondamental pour la mesure de l'impulsion sont munis de sondes à résonance magnétique nucléaire qui définissent une référence absolue du champ à une précision meilleure que 10^{-4}

Contrôle de la position des divers éléments

Tout d'abord des mesures topographiques ont été régulièrement effectuées par les géomètres du CERN; elles garantissent un positionnement correct des aimants et quadropoles à une précision longitudinale de 1mm, transverse horizontale de 0.5 mm et verticale de 0.3 mm.

L'affaissement du sol dans le hall-est régulièrement mesuré à l'aide de clinomètres placés sur chaque aimant (le tableau 1 donne un exemple de cet affaissement). Les ordres de grandeur sont à comparer avec les incertitudes sur la position et l'orientation des divers éléments.

La position exacte des chambres a une très grande importance en ce qui concerne le calcul de l'impulsion. C'est pourquoi chaque chambre est munie d'une mire de référence qui permet la mesure précise du décalage entre les fils centraux et le faisceau théorique. Noter qu'il est assez aisé de mesurer la position relative des chambres qui suivent le spectromètre en calculant en ligne l'angle apparent de déviation de chaque particule.

2 - LE MATERIEL.

2-1 La cible

La précision que l'on souhaite obtenir pour la section efficace totale exige que l'on dispose d'une cible dont les variations de longueur et de densité dues aux changements de température soient nettement inférieures à 0.1%

Sans entrer dans des considérations trop techniques, je me bornerai à signaler quelques caractéristiques essentielles :

- longueur : 240 mm
- le problème majeur dans l'emploi des cibles à hydrogène liquide est d'empêcher la formation de bulles dues à des irrégularités

Elément	Axe de rotation	Angle maximum		Angle minimum	
		Val.	Date	Val.	Date
Q 9	Droite-gauche	0.061	16.8.78	-0.051	16. 1.78
	Avant-arrière	- 0.207	20.9.78	-0.032	10.11.77
Q 10	Droite-gauche	0.104	24.6.78	-0.119	15.11.77
	Avant-arrière	0.150	3.11.77	-0.240	29. 6.78
Bm 4	Droite-gauche	0.581	4. 7.78	0.184	15.11.78
	Avant-arrière	0.661	26. 7.78	0.087	14.11.77
Bm 5	Droite-gauche	0.192	28. 6.78	-0.087	2.12.78
	Avant-arrière	- .070	16.11.77	- .586	27. 7.77
Q 11	Droite-gauche	0.204	29. 6.78	-0.155	10.11.77
	Avant-arrière	0.059	16. 8.78	-0.077	4.12.77
Q 12	Droite-gauche	0.312	13. 6.78	0.153	3.11.77
	Avant-arrière	0.401	18. 9.78	0.130	1.12.77

La période d'observation s'étale du 3/11/77 au 25/9/78. L'unité est le milliradian.

Tableau 1 : AFFAISSEMENT DU SOL DU HALL-EST

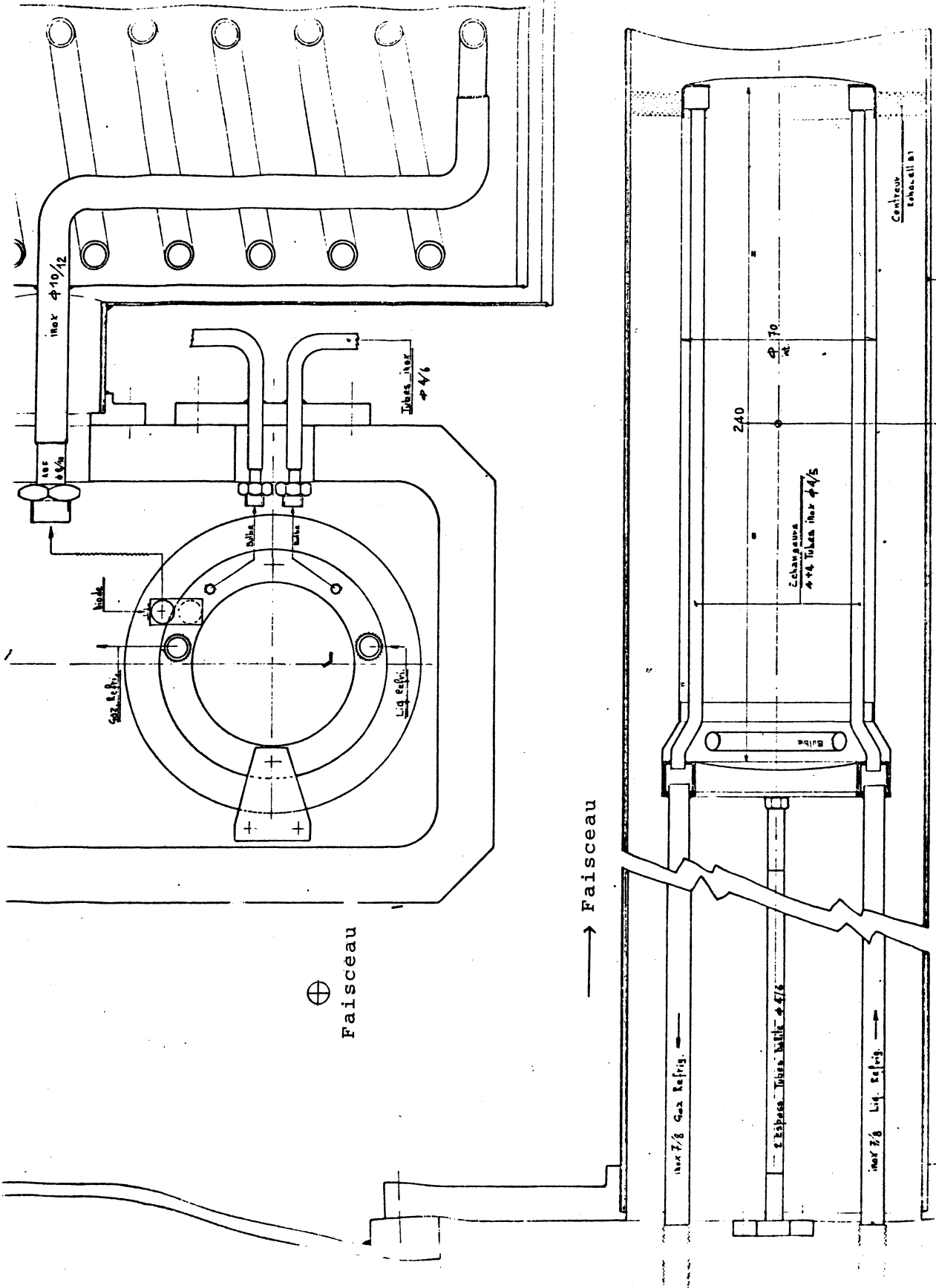


Figure 3 : LA CIBLE A HYDROGENE PRESSURISEE

- de température. Il est résolu en créant un gradient de température.
- il est possible de contrôler la régulation à l'aide de deux signaux analogiques transmis à l'ordinateur: la pression du "Bulbe" (thermomètre placé à l'intérieur de la cible) et celle du corps de cible, ce qui permet de faire lors de l'analyse des bandes de données les corrections nécessaires (voir figure 3).

2-2 Les chambres à fils

Les chambres à fils "faisceau" (W_1, W_2 et W_3) ont été construites par J. Seguinot pour répondre aux exigences de l'expérience S 153 : très bonne résolution spatiale et fonctionnement à haut flux.

Les caractéristiques qui découlent de ce cahier des charges sont les suivantes :

- 232 fils de 5 μm de diamètre (au pas de 0.5 mm)
- "gap" (distance qui sépare les fils des plans de haute tension): 3 mm
- les plans de haute tension sont en mylar-aluminisé.
- la résistance mécanique des fils n'est pas suffisante. C'est pourquoi des "fils de soutien" (2 par plan) sont tendus perpendiculairement aux fils de chaque plan.
- les chambres fonctionnent à 2500 volts. Elles sont à la pression atmosphérique et directement solidaires des tubes à vide.
- le mélange gazeux employé est le suivant :

environ 70% d'Argon

30% d'Isobutane

1% d'Alcool isopropylique

traces de Fréon.

L'efficacité quantique est d'environ 99%. En pratique, l'efficacité globale est limitée à 96%.

- jigue (dispersion en temps du signal) environ 40 ns.

Les chambres "avant" WF_1 et WF_2 , aux pas respectifs de 1 et 2 mm sont d'un maniement moins délicat et plus efficaces. Les inefficacités des plans XF_1 et YF_1 mesurées comme indiqué en partie C 2.2. valent environ .12 et .14% et sont peu corrélées au flux de 2.10^4 particules/($\text{mm}^2 \times \text{seconde}$).

2-3 La chaîne de lecture.

La chaîne a été réalisée dans l'optique suivante : pendant le traitement d'un événement, la lecture de l'événement suivant est autorisée.

Cette chaîne comprend :

- une amplification à haut gain (≈ 3500) et à faible bruit de fond ($\leq 20 \mu V$)
 - les préamplificateurs situés sur les chambres mêmes
 - les amplificateurs-discriminateurs
 - les cartes "memo" dont le rôle consiste à mémoriser un événement qui sera lu plus tard
 - les retards des signaux chambres permettant la décision logique du trigger sont obtenus par des paires torsadées agissant comme lignes à retard.
- un dispositif de codage original.
 - 9 processeurs périphériques (P.P) qui codent les numéros de fils touchés (au maximum 15 fils touchés par P.P.) et les rangent dans une mémoire accessible au micro-ordinateur . La capacité de chaque processeur périphérique est de 256 fils au total. Cependant, il est beaucoup plus pratique d'assigner un plan de chambre par P.P. pour des raisons de simplicité de programmation.

Notons au niveau des processeurs périphériques la présence d'un dispositif qui s'est révélé extrêmement utile pour la réjection rapide des mauvais événements : le Status Y c'est un signal signifiant que pour au moins 1 des 5 plans faisceau (x_1, x_2, x_3, Y_2, Y_3), il n'y a pas de fil touché.

Il permet de savoir immédiatement qu'un événement est incomplet dans sa partie "faisceau". Il faut remarquer qu'on n'introduit aucun biais en choisissant des critères de réjection ne concernant que la partie faisceau. La section efficace est en effet fonction du rapport nombre d'incidents/nombre de particules diffusées : les critères de réjection de la partie faisceau d'un événement affectent de façon égale les événements diffusés et les incidents non diffusés.

Le processeur périphérique a 2 missions consécutives

- 1 - coder les fils touchés dans un plan de chambre.
- 2 - transférer au microprocesseur proprement dit les résultats du codage et le signal "plus de numéro de fil à transférer".

Le micro y a accès de façon doublement séquentielle : il examine les différents P.P. et dans chaque P.P. les numéros de fils touchés, ces deux opérations se faisant dans un ordre déterminé.

Cette caractéristique présente au moins 3 avantages :

- 1 - La rapidité de la lecture, puisque après avoir lu un numéro de fil dans le P.P. le micro sait s'il va lire le prochain numéro de fil ou le premier fil touché dans le P.P. suivant et peut ainsi préparer sa lecture.
- 2 - La facilité de programmer les boucles sur les numéros de fils touchés.
- 3 - On sait dans quel ordre arrive les numéros de fils; ceci permet de réduire astucieusement les effets dus aux diaphonies de certaines chambres en demandant que les fils arrosés par le centre du faisceau soient lus les premiers.

Pour se positionner sur un plan quelconque, il faut :

- éventuellement remettre à zéro le numéro de P.P. courant
- puis faire plusieurs lectures inutiles

Afin de simplifier la micro-programmation, l'ordre de lecture des plans de chambres a été choisi en fonction du programme d'acquisition.

Cet ordre est le suivant :

$$X_2, X_3, XF_1, YF_1, Y_2, Y_3, XF_2, YF_2, X_1$$

En effet :

- les calculs d'angle sont une combinaison linéaire de X_2, X_3 et XF_1 et de Y_2, Y_3, YF_1 .

- Le calcul de l'impulsion au premier ordre d'écrit :

$$dp = aX_1 + bX_2 + cX_3 + d$$

- Les variables "dx" et "dy" pour les coupures d'espace de phase se calculent par :

$$dx = a x_2 + b x_3 + c$$

$$dy = d y_2 + e y_3 + f$$

Les câbles qui relient les amplificateurs aux cartes mémoire et ceux qui relient les processeurs périphériques au microprocesseur effectuent des permutations des numéros de fils de façon à rétablir l'ordre croissant. Les chambres au pas de 1/2 mm sont en effet câblées d'une manière antinaturelle en raison de l'encombrement réduit des pistes électroniques sur les plans de chambres.

2-4 Le micro-ordinateur

2-4-0 Originalité de l'appareil

Ce micro-ordinateur entièrement programmable présente les particularités suivantes :

- * mémoire données et mémoire instructions séparées.
- * cycle de base court (168 nanosec) pendant lequel plusieurs opérations peuvent être effectuées
- * les chambres à fils lui sont directement reliées par l'intermédiaire de processeurs périphériques.
- * un multiplieur câble permet en une instruction de faire l'opération $a*x+b$.

2.4.1 Architecture générale

Cet ordinateur comprend (voir figure 4) :

- * 1024 mots de 16 bits de mémoire instructions organisées en 4 pages
- * 2048 mots de 16 bits de mémoire données dont 256 sont directement accessibles.
Les autres par adressage indirect.
- * L'unité arithmétique et logique ("A.L.U.") constituée du microprocesseur en tranches AMD 2901 (réf. [2]). Elle opère sur des données de 16 bits (4 tranches AMD 2901 de 4 bits chacune). Le code instruction ne comporte que 16 bits grâce à une subdivision des 16 registres internes A et B en 4 sous-groupes.

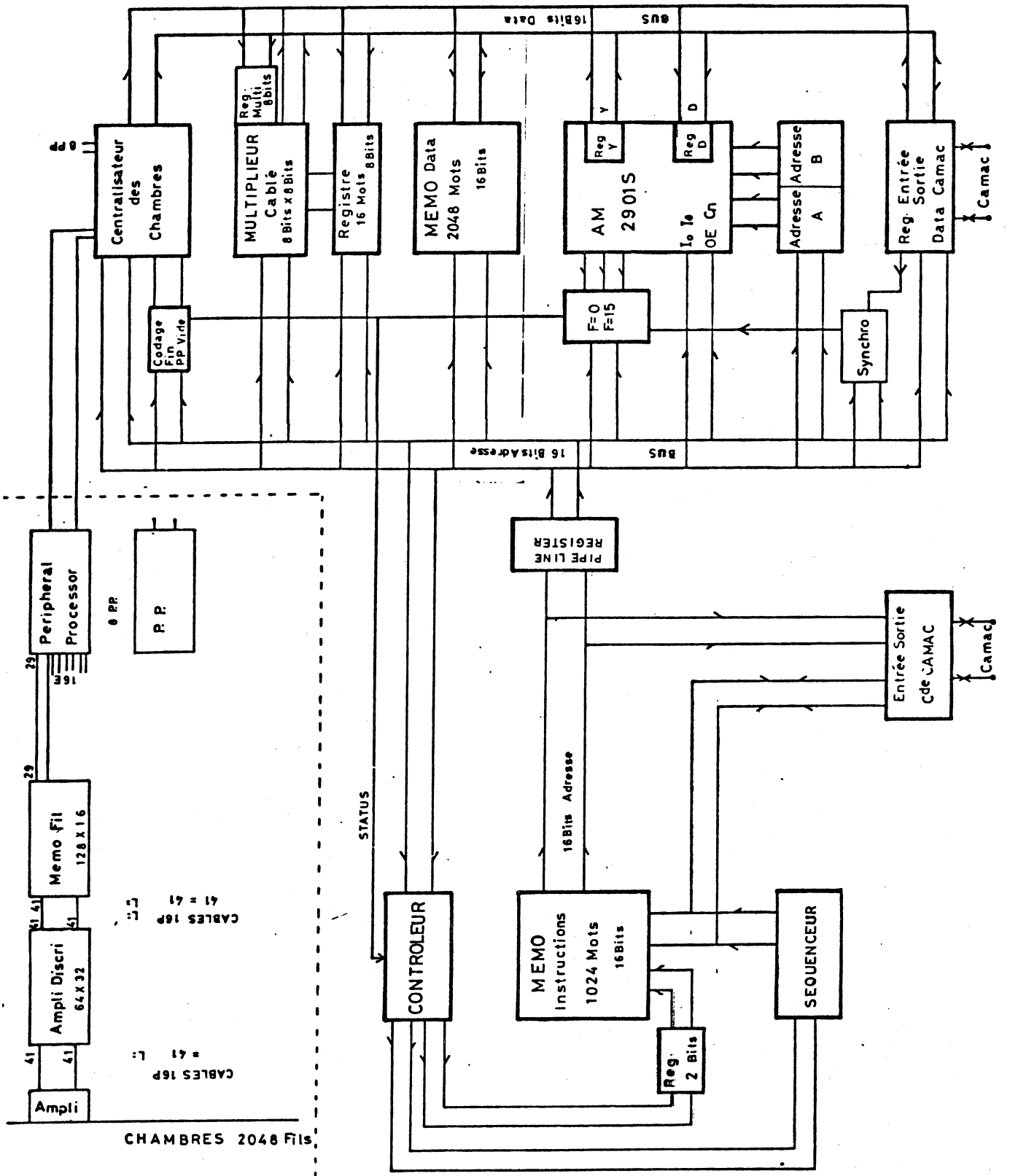


figure 4 : ARCHITECTURE DU MICROORDINATEUR

Outre les opérandes "A" et "B", l'A.L.U. contient un registre de travail, un registre d'entrée et un autre de sortie.

* Un multiplieur qui comprend 16 registres "constantes", un registre d'entrée et un registre de sortie-accumulateur.

* Il peut être relié à dix (un par groupe de 256 fils) processeurs périphériques qui servent à coder les numéros des fils touchés, chacun d'entre eux ayant une capacité maximale de 15 fils.

* une interface de liaison Camac. Le micro-ordinateur reconnaît les fonctions Camac décrites tableau 2.

* une autre interface pour donner/recevoir des impulsions/niveaux N.I.M.

2-5 Le détecteur de muons

Le détecteur est composé de 2 blocs de fer de longueur respective 1.62m et 27 cm (voir figure 1). La longueur de ce détecteur résulte d'un compromis entre les deux nécessités suivantes :

- Elle doit être suffisamment longue pour filtrer tous les "punch-thru"* et suffisamment courte pour n'arrêter aucun μ .
- Elle doit par ailleurs être courte car

l'impulsion des μ qui proviennent de la désintégration d'un π^- est comprise entre 56% et 100% de l'impulsion du π^- incident

Les ordres de grandeur sont les suivants : (le pourcentage de "punch-thru" est calculé selon la référence [3]).

P GeV/c	P_{\min}^{μ} GeV/c	L_{\max} m	Longueur à employer	Taux de Punch-Thru
15	8	5.4	2 m	.3%
10	5.6	3.6	2 m	.2%
5	2.8	1.8	1.75m	.2%
3	1.6	1.1	1 m	2%

* Le mot "Punch thru" n'a pas d'équivalent français, nous proposons :
"Passe-Muraille"

- FO A0 : Lecture de données, réponse Q si données à lire.
 FO A1 : Lecture de l'instruction.
 FO A2 : Lecture de l'adresse courante.
 F8 A0 : Teste le lam, réponse Q si données à lire.
 F8 A1 : Teste si données prises, réponse Q si données prises.
 F8 A2 : Teste si micro arrêté, réponse Q si micro arrêté.
 F9 A0 : Provoque l'arrêt de l'horloge interne du microprocesseur.
 F16 A0 : Charge des données, réponse Q si données prises.
 F16 A1 : Charge l'instruction.
 F16 A2 : Charge l'adresse.
 F17 A1 : Charge l'instruction avec incrementation de l'adresse.
 F18 A2 : Démarre le programme à l'adresse indiquée sur les lignes " W "
 F19 A2 : Charge l'adresse à partir de laquelle on peut effectuer un
 programme en pas à pas.
 F15 A2 : Exécution d'un programme en pas à pas.

REMARQUE : Il n'y a pas de moyen direct pour charger la mémoire données
 ceci est fait simplement en chargeant en fin de mémoire
 instructions un programme qui lit les données sur Camac et
 les charge à l'adresse indiquée.
 On opère de même pour le multiplieur et l'unité arithmétique
 et logique.

Tableau 2 : LISTE DES FONCTIONS CAMAC RECONNUES PAR LE MICRO-ORDINATEUR.

Il ressort de cette étude que jusqu'à 6 GeV/c, le détecteur de μ peut-être utilisé tel quel. En dessous, il faudra retirer une partie du blindage de fer.

La coincidence $ST_{1\cap} ST_{2\cap} H_2$ est envoyée sur une carte N.I.M. qui fournit un signal identique à celui des amplificateurs discriminateurs et envoyé directement sur une carte mémo, simulant un numéro de fil négatif en YF_2 .

Lors de la prise de données, nous enregistrons les valeurs des échelles $H_{2\cap} ST_{1\cap} ST_{2\cap} ST_4$ et $H_{2\cap} ST_4$.

Le rapport $\frac{H_{2\cap} ST_{1\cap} ST_{2\cap} ST_4}{H_{2\cap} ST_4}$ est contrôlé tout au long de l'acquisition (cf Partie C 6.2). Sa valeur doit rester constante, car on peut la définir comme l'efficacité du détecteur de μ ($\approx 99.6\%$).

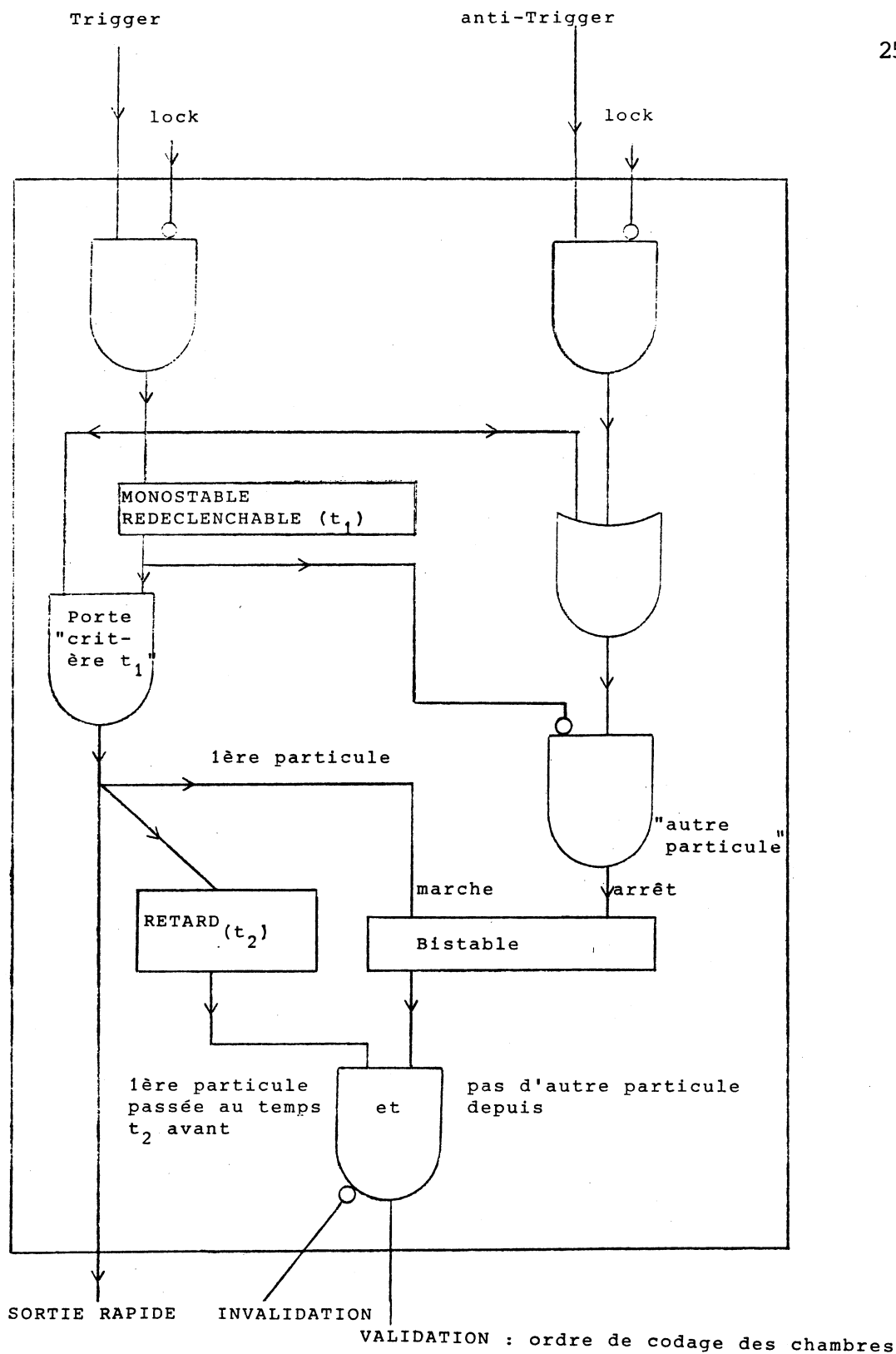
2-6 Le déclenchement.

Toute particule détectée par H_2 peut provoquer le déclenchement. Pour qu'elle soit acceptée, il faut tenir compte de l'état d'occupation des différentes parties du système :

- détecteurs (chambres à fils)
- carte de mémorisation des fils touchés.
- micro-ordinateur

Ces conditions plus complexes que le signal "ordinateur occupé" des acquisitions classiques ne suspendent la prise en compte des événements que pendant environ 400 ns au lieu des 500 μ s- 1 ms habituels. Elles sont vérifiées à l'aide d'une carte spéciale ultra-rapide appelée "carte trigger".

- 1 - ne retardant pratiquement pas (40 ns) le signal de déclenchement
- 2 - groupant les circuits qui permettent de disposer simultanément des informations nécessaires à la décision.



Le trigger est le signal de déclenchement de l'hodoscope.
 L'anti-trigger est un signal associé aux fortuits qui indique que plus d'un scintillateur de l'hodoscope H_2 a été touché.

$t_1 = \approx 150$ ns (temps d'occupation de l'électronique + "jitter" des chambres).

$t_2 = \approx 60$ ns (temps d'occupation des chambres).

remarque : l'unité est conçue pour $t_2 < t_1$.

figure 5 : UNITE DE VALIDATION DU DECLENCHEMENT

La figure 5 montre la vérification des critères en temps qui protègent contre l'occupation des chambres à fils et de l'électronique.

Il faut rejeter les particules précédées par une autre particule de moins d'un certain temps t_1 (temps mort des chambres et de l'électronique) ou suivies par d'autres de moins d'un autre temps t_2 (porte d'écriture des chambres). Les valeurs typiques sont 150 ns pour t_1 et 70 ns pour t_2 . Ceci permet de travailler à haut flux et de diminuer les temps morts électroniques des chambres à fils.

Noter la différence entre les événements rejetés par le critère t_1 et ceux rejetés par le critère t_2 ; les premiers sont bloqués par la carte trigger; les seconds sont acceptés, et ce n'est que dt_2 plus tard que la carte trigger envoie, soit un ordre de codage aux processeurs périphériques, soit une R.A.Z. rapide aux carte mémo.

2-7 Synchronisation de l'ensemble.

Considérons un signal de déclenchement. (Voir figures 5 et 6)

Il est soit "bloqué" par le critère t_1 , soit accepté. Dans ce cas, le signal retardé d'environ 40 ns (temps morts de la carte trigger) est envoyé à chaque P.P. après être mis en temps et en forme pour constituer la porte d'écriture des chambres à fils.

Si pendant le temps t_2 qui suit, une autre particule arrive, la carte trigger génère une remise à zéro rapide qui agit sur les cartes mémo.

Sinon, les P.P. attendent l'ordre de codage qui est la conjonction des signaux "Autorisation de codage" venant du micro et de l'état "validation de l'événement se trouvant dans les mémos". Les P.P. procèdent alors au codage de l'événement.

Pendant ce codage, un niveau "codage en cours" interdit :

- 1 - au micro de lire les P.P.
- 2 - au trigger de donner l'ordre de mémoriser l'événement suivant.

9 Processeurs Périphériques

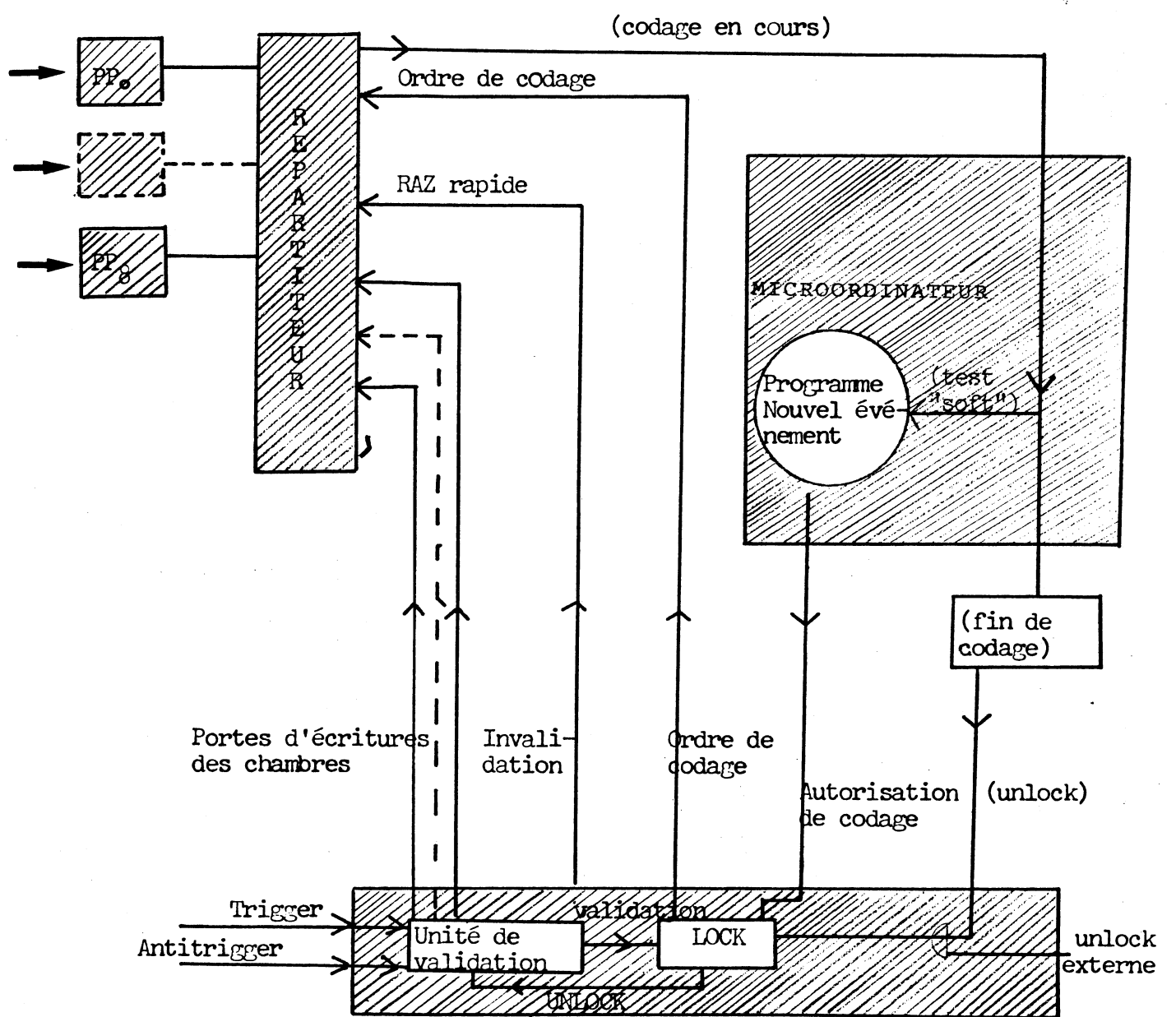
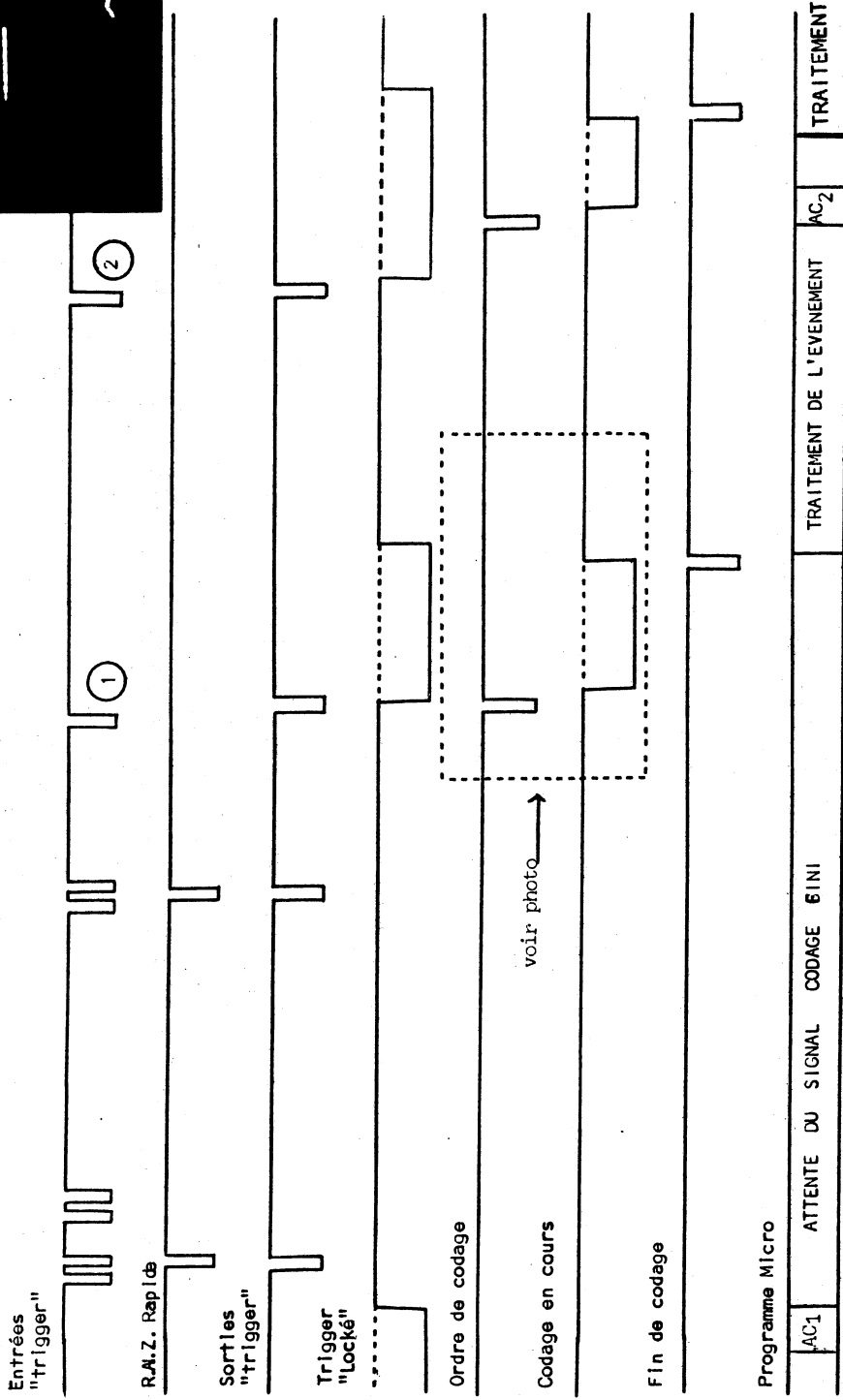
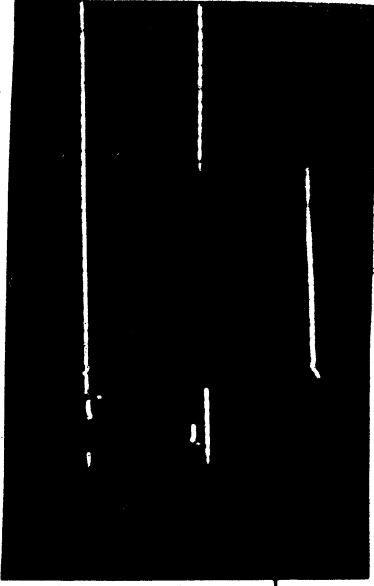


figure 6 : SCHEMA DE LA SYNCHRONISATION DES
 3 UNITES DE TRAITEMENT FONCTIONNANT
 EN PARALLELE : - le microordinateur
 - les processeurs périphériques
 - la carte trigger



AC # Autorisation de codage

Remarque : on a supposé qu'aucun trigger valide n'a précédé AC₁. Cette situation se produit à très bas flux. Par contre l'événement 2 est arrivé avant AC₂. C'est dans cette situation que la chaîne de lecture est pleinement efficace.

figure 7 : SYNCHRONISATION DECLIENchement - MICROORDINATEUR

Cette synchronisation est montrée figures 6 et 7.

On peut voir que les égalités suivantes doivent être vérifiées :

- 1 - Nb de sorties trigger = Nb de remises à zéro rapides + Nb d'ordre de codage (ceci exprime que chaque événement mémorisé est, soit remis à zéro, soit codé).
- 2 - Nb de codages en cours = Nb d'ordres de codage = Nb d'autorisations de codage.

Ces grandeurs sont comptées sur des échelles et mises sur bande magnétique. Lors du traitement hors ligne, on vérifie les égalités mentionnées. Il est fréquent que la première ne soit pas rigoureusement vérifiée. Ceci s'explique par l'impossibilité de synchroniser l'ensemble des signaux à mieux que $\frac{1}{2}$ ns.

3 -

3-0 Principes généraux

Deux ordinateurs sont utilisés; outre le micro-ordinateur décrit plus haut, nous utilisons un mini-ordinateur Hewlett-Packard 2100 auquel est adjoit un contrôleur Camac pour la liaison avec le microprocesseur.

Il s'agit dès lors de définir et de réaliser les procédures suivantes :

- * Actions décidées par l'opérateur du micro (chargement de programme, etc..)
- * Interruptions micro \Rightarrow mini
- * Interruptions mini \Rightarrow micro
- * Transferts rapides de données micro \leftrightarrow mini
- * Calculs plus sophistiqués effectués par le mini et mise sur bande des résultats intéressants et des histogrammes transférés par le micro-ordinateur. En général le micro-ordinateur traite les événements et réalise des histogrammes, tandis que le mini effectue vérifications et calculs sur le contenu de ces histogrammes (moyennes, régressions...) et écrit sur bande les résultats intéressants (événements particuliers, histogrammes, échelles de comptage).

3-1 Programmation du mini-ordinateur

Trois langages sont employés

1 langage souple et très pratique pour le "debugging" : le BAMBI, qui est la version CERN du BASIC.

Le BAMBI comprend une bibliothèque contenant certaines fonctions et routines orientées vers le dialogue avec un contrôleur Camac.

2 langages qui nécessitent un disque pour être assemblés (et/ou compilés) :

1 l'assembleur HP et le Fortran.

L'intérêt de ces langages est leur rapidité d'exécution. Ils ont été utilisés pour des programmes, sous-routines et fonctions figés et fréquemment appelés.

Ils concernent :

**** pour l'assembleur :**

le programme général d'acquisition de données du CERN.

le descripteur propre à notre expérience

les fonctions "utilitaires" CAMAC (ZCIP1, ZLAM, etc...)

**** pour le Fortran :**

- le programme "Debug" qui sert à dialoguer manuellement ou automatiquement avec le microprocesseur depuis la console du mini (voir tableau 3). Quelques sous-routines utilitaires telles que les procédures d'initialisation, les procédures de dialogue avec le "micro-Camac".

- la conversion entier <=> réel pour respecter les conventions du micro, etc...

- les programmes de traitement et de dessin des histogrammes.

Les programmes écrits en Fortran et en assembleur, ainsi que le "système" Bambi, sont ensuite chargés sur un ordinateur semblable à notre H.P. et muni d'un disque. Le système de programmes en binaire absolu ainsi créé est alors copié sur bande magnétique.

A	Teste si le micro court
B,m,n	Modifie interactivement le contenu de la mémoire m,n de l'unité arithmétique et logique.
C,m	Modifie interactivement le contenu de la mémoire données à l'adresse m.
D,m,n	Provoque l'impression sur papier ou la perforation sur ruban du contenu de la mémoire instructions de l'adresse m à l'adresse n
G,m	Démarre l'exécution d'un programme à l'adresse m.
H,m	Charge m dans toute la mémoire données et vérifie à la relecture que toutes les mémoires contiennent cette valeur.
I,m	Modifie interactivement le contenu de la mémoire données d'adresse m
K	Arrête l'horloge interne du microprocesseur.
L	Charge le micro depuis une bande magnétique.
M,n	Modifie interactivement le contenu du multiplieur d'adresse n ($0 \leq n \leq 15$).
N,m	Comme H,m pour la mémoire instructions.
P,m	Effectue un programme en pas à pas depuis l'adresse m
R,m,n	Comme D,m,n pour la mémoire données
T	Rend le contrôle à Bambi
V	Indique à l'opérateur la dernière instruction exécutée.
X	Effectue une fonction Camac indiquée par l'opérateur
Z	Charge le micro depuis un ruban de papier.

Tableau 3 : LES DIFFERENCES FONCTIONS DU PROGRAMME "DEBUG"

On obtient ainsi une "bande système" que l'on charge sur le HP 2100.

On peut alors créer et modifier des programmes écrits en Bambi que l'on conserve sur ruban de papier. Cette procédure est extrêmement pratique pour la modification immédiate des programmes d'acquisition. L'inconvénient essentiel, outre la lenteur d'exécution d'un programme Bambi, est la place qu'occupe en mémoire notre "système" Bambi-acquisition-dialogue avec le micro (25 000 mots sur les 32 K mots disponibles dans le HP 2100. Ceci nous a amené à scinder notre programme Bambi d'acquisition en 3 parties :

- a) Le programme "titres". Il calcule un certain nombre de constantes qui seront utilisées lors de l'acquisition et les perfore sur ruban de papier.
- b) Le programme "calibration" (voir 5.1 et 5.2 - partie C) modifie ces constantes en fonction du résultat de la calibration. Il fabrique à son tour un ruban de papier contenant les nouvelles constantes.
- c) Le programme "acquisition", enfin, gère l'acquisition des données (mise sur bande, contrôle des paramètres essentiels, vérification d'égalités vitales, etc...)

3-2 Programmation du micro-ordinateur

3-2-0 Principe de base

La description qui suit, au risque d'apparaître trop technique, a pour but de montrer les possibilités et les limites de notre logiciel, qui pour être très riche comparativement à ceux généralement disponibles sur les microprocesseurs, n'en est pas moins restreint devant les possibilités des ordinateurs qu'utilisent les systèmes d'acquisition classiques.

Nous utilisons un programme d'assemblage écrit en Fortran [4] et disponible sur les calculatrices C.D.C. du CERN et de la Halle aux Vins. Cet assembleur écrit sur bande magnétique les micro-instructions codées en binaire sur 16 bits ainsi que les constantes de la mémoire données et du multiplieur qu'utilise le microprogramme.

Cette bande est chargée lors de l'instruction "load" du programme "Debug".(cf. Tab. 3). Afin d'éliminer au maximum les erreurs de logique et de conception du programme, nous disposons d'un simulateur fonctionnant en CDC 7600 qui reproduit pas à pas l'exécution du microprogramme. [5]; cette sécurité facilite grandement a posteriori le dépuçage en cas de mauvais fonctionnement du micro-ordinateur (ou de l'utilisateur).

3-2-1 Les différentes instructions du micro-ordinateur

On distingue essentiellement :

- * les sauts.
- * les transferts.
- * les fonctions arithmétiques.
- * les fonctions dites "générales".

3-2-1-1. Les sauts

-- --

On peut se brancher

- à l'adresse suivante :
- à n'importe quelle adresse de la même page
- au registre d'indirection (dernière adresse de chaque page) pour changer de page ou pour les besoins de la programmation dans la même page.
- au point d'entrée d'un sous-programme de la même page (5 niveaux d'appel possibles)
- à l'adresse de retour du programme principal.

Les sauts, les appels et les retours de sous-programmes ne sont effectués que si une certaine condition est remplie. Cette condition est déterminée par l'état vrai ou faux de l'une des variables logiques suivantes :

- registre de sortie A.L.U. nul
- registre de sortie A.L.U. négatif
- registres "CAMAC" remplis

- Etats externes - Niveaux Nim - X ou Y hauts
- processeur périphérique vide
- codage en cours.

3-2-1-2 Les transferts

On peut transférer les données entre les éléments suivants

(d = donneur , r = récepteur)

- l'unité arithmétique et logique (le registre D est r, et le registre Y est d)
- la liaison Camac (d et r)
- le multiplieur (d et r)
- la mémoire données (d ou r)
- la mémoire donnée indexée (d ou r)
- le registre d'index pour la mémoire données (r)
- le registre d'indirection pour les sauts indirects (r)
- un processeur périphérique (d) avec incrémentation automatique, soit du numéro de fil dans le PP, soit du numéro de P.P.

Il faut noter quelques impossibilités dues à des problèmes de vitesse. Ce sont les combinaisons entre les trois éléments suivants :

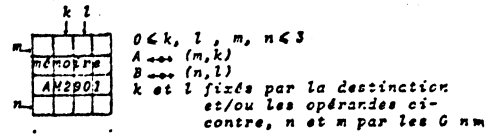
mémoire directe ou indexée et multiplieur.

Lors du transfert vers le multiplieur on peut soit charger un registre "constantes", soit effectuer une multiplication entre le nombre transféré et l'une des 16 constantes. Le produit est alors ajouté dans l'accumulateur au résultat des multiplications précédentes. Lors de la lecture du multiplieur, c'est-à-dire de son accumulateur, on peut shifter le résultat obtenu sur 7 bits avec extension du signe. La lecture de l'accumulateur remet automatiquement à zéro son contenu.

- MEMO INSTRUCTION 1 page de 856 mots
- un registre d'indirection de 10 bits (memo instruction)
- MEMO DATA 1 page de 256 mots d'adressage direct écartés de 2048 mots par indexage
- un registre d'index de 10 bits (memodata)
- MULTIPLIEUR 1 registre multiplicande de 8 bits
16 " multiplicateurs " "
1 " résultat accumulateur 16 bits remis à zéro par la lecture
- AM 2901 4 groupes de 4 registres de 10 bits
1 registre de travail Q
1 " d'entrée D
1 " de sortie Y

FONCTIONS GENERALES	
G n m	adressage A et B dans AM 2901
AC	autorisation de codage
REP	RAI numéro de PP
RLG	RAI gén. chambres
RIN	RAI compteurs N
M	initialisation de la multi- plication dans l'AM 2901

d'autres fonctions particulières peuvent être définies antérieurement par un ordre EQU



AM 2901					
FONCTIONS		ARITHMETIQUES		LOGIQUES	
Cn = 0 1's comp.		Cn = 1 2nd comp.		OR	RVS
Ak + Q	-1- Q	Ak +1+ Q	- Q	AND	PAS
Ak + Bl	-1- Bl	Ak +1+ Bl	- Bl	DNA	PAS
D + Ak	-1- Ak	D +1+ Ak	- Ak	XOR	RVS
D + Q	-1- D	D +1+ Q	- D	HXR	RVS
Q	Q -1- Ak	Q + 1(+1+)	- Ak		
Bl	Bl -1- Ak	Bl + 1	Bl - Ak	R	S
Ak	Ak -1- D	Ak + 1	Ak - D	Ak	Q
D	Q -1- D	D + 1	Q - D	Q	Bl
Q	Q -1- Ak	Q - 0	Ak - Q	Q	Ak
Bl	Ak -1- Bl	Bl - 0	Ak - Bl	D	Ak
Ak	D -1- Ak	Ak - 0	D - Ak	D	Q
D	D -1- Q	D - 0	D - Q	D	0

DESTINATION			
LOAD	Bl	Y	Q
NFF =	-	F	F
NF =	-	F	-
FLAk =	F	Ak	-
FLF =	F	F	-
FLFQ D	F/2	F	Q/2
FLF D	F/2	F	-
FLFQ G	2F	F	2Q
FIF G	2F	F	-

TRANSFERT

(D = Donneur - R = Récepteur)

T	A	D/R	AM 2901
L	D/R	-	
K	D/R	camac	
X	D/R	multiplieur (1)	
M	D/R	memodata	
N	D/R	memodata indexés	
I	R	index memodata	
P	D	lecture PP et incrementation du n° de PP	
J	R	registre contenant l'adresse pour le jump indirect	
Q	D	lecture PP et incrementation de l'adresse dans buffer PP	

INTERDICTIONS

T M M	T N N	T X X
T M N	T M X	T N X

(1) MULTIPLIEUR

- en entrée = Récepteur
 - T A I ^ n transfert dans le registre multiplicande et exécution de l'opération
 - T A I ^ n ^ . transfert de la constante dans le registre multiplicateur (. n'est pas un label)
- $0 \leq n \leq 15$
- en sortie = Donneur
 - T X A transfert du résultat sur 16 bits
 - T X A ^ S transfert des 8 bits upper du résultat

SAUTS

TYPE	condition	STATUS	
J (jump)		X	status externe
C (call)	S = si	C	codage fini
R (return)	N = non	P	PP vide
I (indirect)		Z	AM 2901 { = 0
S (stop)	pas de condition	N	résultat: { < 0
		J	status externe
		X	synchro camac E/S
		^	inconditionnel
			équivalent à JN

Tableau 4 : LANGAGE DE PROGRAMMATION DU MICROPROCESSEUR

3-2-1-3 Les opérations arithmétiques et logiques

Ce sont toutes les fonctions de l'AMD 2901 (cf réf.[6]), cependant sa mémoire de 16 mots de 16 bits est subdivisée en 4 sous-groupes de 4 mots dont un seul est utilisable à la fois. On distingue :

l'addition, la soustraction pour l'arithmétique.

le ET, le OU, le NON X ET Y, le OU EXCLUSIF, le NON X OU EXCLUSIF Y. pour la logique.

Les opérandes peuvent être :

le registre d'entrée, le registre de sortie, un registre A, un registre B.

Le résultat peut être rangé, décalé ou non à droite ou à gauche, dans un des registres suivants :

registre B, registre de travail, registre de sortie.

Toutes les combinaisons ne sont pas possibles (voir tableau 4)

3-2-1-4 Les fonctions générales.

Ces fonctions sont caractéristiques du micro-ordinateur; elles permettent :

- * de choisir dans l'A.L.U. un sous-groupe de registres A et B voir 2.4.1)
- * d'envoyer l'ordre de lecture du nouvel événement
- * de remettre à zéro le numéro de PP courant et/ou le compteur du fil courant dans le PP
- * de faire une remise à zéro générale du contenu des PP.
- * enfin de fabriquer 3 niveaux logiques et deux impulsions N.I.M.

3.2.2. Le programme d'acquisition; cycle court et cycle long.

L'optimisation du temps de traitement moyen d'un événement consiste à équilibrer les erreurs statistiques affectant les nombres d'événements diffusés et incidents dans la formule de σ_{tot} . On sait qu'environ 3% des événements correspondent à une interaction hadronique. Il suffit donc de ne traiter qu'une fraction 1/N des événements incidents que nous appellerons "échantillon de faisceau".

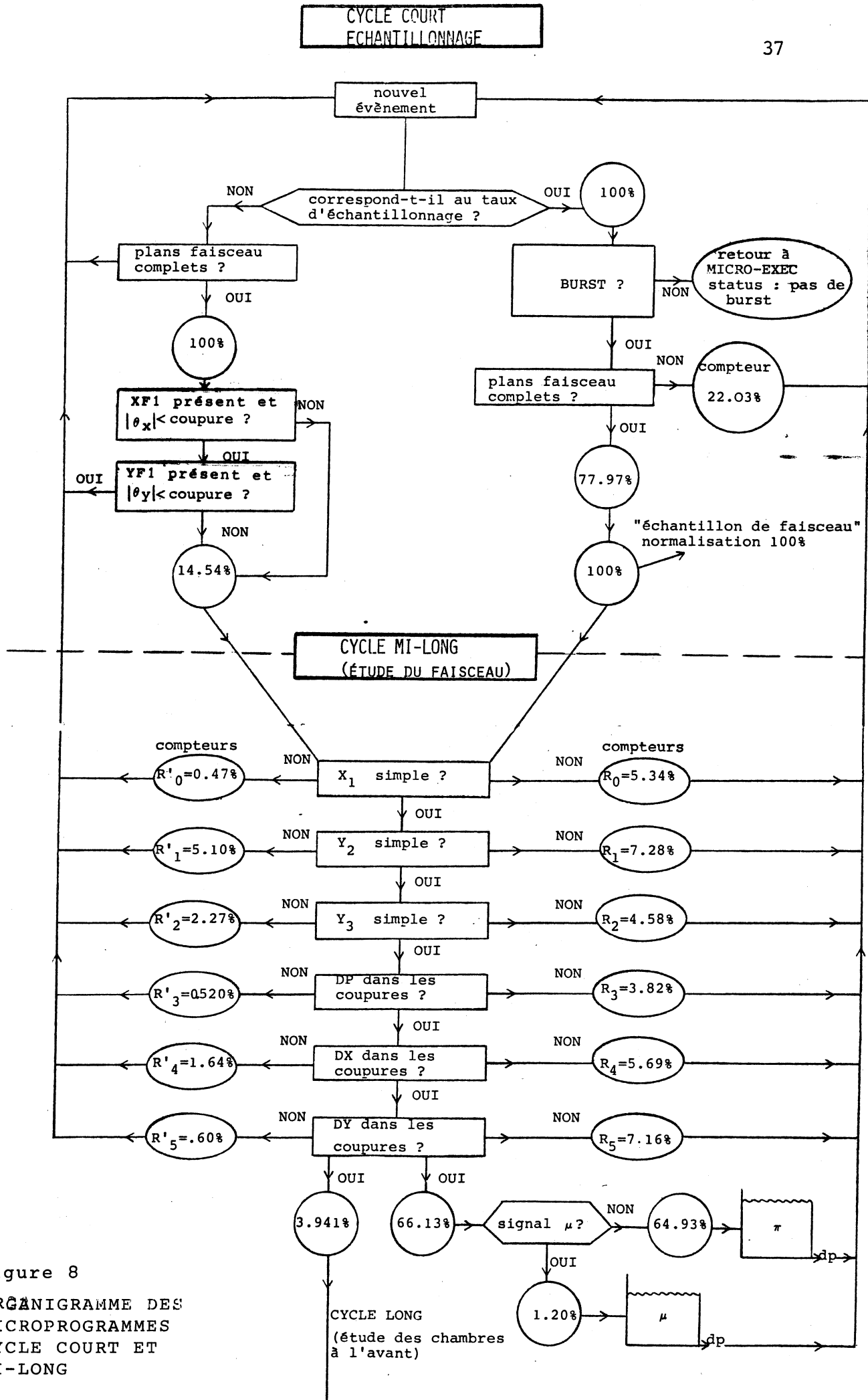


figure 8

ORGANIGRAMME DES
MICROPROGRAMMES
CYCLE COURT ET
MI-LONG

Nous avons pour cela scindé en 3 parties disjointes le programme d'acquisition :

le cycle court, le cycle mi-long, et le cycle long.

3.2.2.1 Cycle court

Ce premier programme (22 instructions soit ≈ 3.6 microsecondes) échantillonne les événements de la façon suivante :

- l'événement correspond au rapport d'échantillonnage de faisceau. On passe alors directement au cycle mi-long.
- dans le cas contraire, on étudie la présence de coups dans WF_1 et on calcule éventuellement l'angle de diffusion de la particule dans la cible. Si cet angle est inférieur à une coupure fixée par l'angle moyen de diffusion multiple et déterminée lors de la calibration (cf. Partie C 5), on traite l'événement suivant. Sinon le cycle mi-long est exécuté (voir figure 8).

3.2.2.2 Cycle mi-long

Ce programme exécute séquentiellement les opérations suivantes destinées à rejeter les événements hors faisceau :

- * rejet des multiplicités anormales dans les chambres faisceau
- * calcul de l'impulsion au premier ordre.
Pour cela on utilise une formule linéaire
$$dp_1 = a_1 * x_1 + a_2 * x_2 + a_3 * x_3 + a_0$$
- * détermination des valeurs des contraintes d'espace de phase (voir les formules employées sont de la forme : partie B.3.3.)
$$dx = x_3 - a(dp_1) * x_2 - b(dp_1)$$

où a et b sont des constantes déterminées au cours de runs de calibration et rangées dans une zone de la mémoire du micro-ordinateur.

Sa durée d'exécution est de l'ordre de 10 μ s.

3.2.2.3 Cycle long

Ce programme étudie complètement les événements "candidats interagis" détectés par le cycle court et non rejetés par le cycle mi-long.

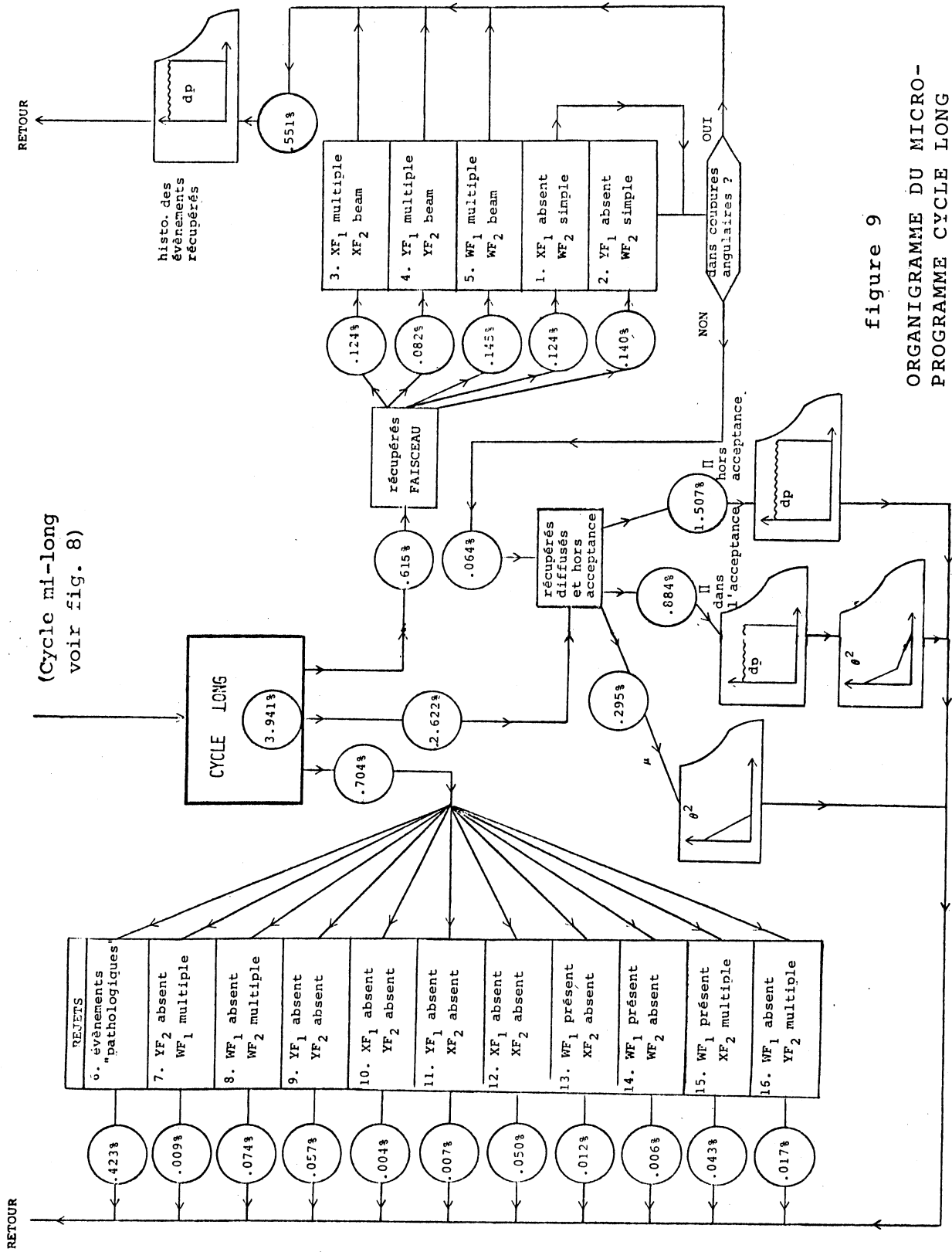


figure 9
ORGANIGRAMME DU MICRO-PROGRAMME CYCLE LONG
(Analyse des candidats événements diffusés.)

Il a pour tâche de prendre la décision :

* Événement diffusé

* Événement "faisceau" : il a été détecté à tort par le "cycle court" mais une analyse détaillée trouve une combinaison de numéros de fils à l'intérieur de la coupure angulaire.

* Décision incertaine : cet événement est trop complexe et sera transmis au mini pour être copié sur bande et analysé hors-ligne.

* μ provenant de la désintégration en vol $\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}$ près de la cible
Et, pour les événements "diffusés", de préparer les histogrammes fondamentaux qui serviront au calcul de $\frac{d\sigma}{dt}$ et de $\sigma_{tot}(dp/p)$.

Il étudie les multiplicités des chambres avant, et vérifie les contraintes exprimant que l'interaction a eu lieu dans la cible.

Son organigramme ultra simplifié est montré sur la figure 9.

Sa durée d'exécution est d'environ 40 μ s.

3.2.3. Performances et limites du micro-ordinateur

L'utilisation que nous avons faite de cet appareil au stade de prototype permet de faire les remarques suivantes :

- tout d'abord, la pagination des mémoires données et instructions, et celle des registres internes de l'unité arithmétique et logique alourdissent la programmation. La décision de limiter à 16 bits la taille des microinstructions nous a imposé cette contrainte; pour l'avenir, l'apparition de nouveaux composants éliminera ce handicap.
- la qualité primordiale de cet appareil est sa vitesse qui a modifié la méthode de travail pour la mise au point du dispositif expérimental: la réponse à une question posée étant obtenue quasi instantanément, la moindre défaillance d'un des détecteurs ressort immédiatement.

- A l'inverse, la mise sur bande d'histogrammes présente deux dangers :

- 1 - celui d'une erreur de programmation. La procédure de calibration (partie C 5) permet de vérifier avant toute prise de données que les résultats obtenus sont corrects.
- 2 - celui d'une perte d'information. Grâce à un "monitoring" aussi sévère que possible, les erreurs qui pourraient en découler devraient être évitées (partie C 6.2).

3-3 Le dialogue mini-micro

3.3.O. Principes de base

Pour éviter tout conflit lors de l'exécution simultanée des 2 programmes, il est indispensable de fixer en fonction de la phase de l'acquisition quel est l'ordinateur "maître" et quel est l'ordinateur "esclave". Le maître peut interrompre l'esclave : l'esclave peut, en attendant le signal du maître, se livrer à des calculs internes. Le lien de communication est un contrôleur Camac. Lorsqu'un ordinateur a transmis un mot au contrôleur, un drapeau indique la présence de ce mot jusqu'au moment où l'autre ordinateur l'a lu. La procédure de test de ce flag est pour le microprocesseur la condition "Camac" présent", et, pour le HP-2100 une fonction F8AO, même si elle n'apparaît pas explicitement dans le programme BAMBI

La synchronisation des communications entre le miniordinateur et le microprocesseur pose quelques problèmes. Il faut en particulier s'assurer avant de transmettre un mot du micro au mini, que le mot précédent a bien été pris. Réciproquement, après avoir envoyé un mot au micro, le mini attend de celui-ci un accusé de réception dont l'absence est en fait le seul moyen de détecter en ligne un mauvais fonctionnement du micro-ordinateur. De même que pour le mini les entrées sorties CAMAC sont centralisées dans le "Handler Camac", nous avons été amenés à écrire un sous-programme micro de dialogue avec le mini. Ce programme baptisé "Micro-Exec" a pour tâche de décoder les mots envoyés par le mini et de se brancher à l'adresse correspondant à la tâche demandée. Cette tâche peut-être :

- le transfert ou la remise à zéro d'un ou plusieurs histogrammes
- l'attente d'un burst
- le transfert d'un événement pathologique
- le traitement des événements qui arrivent (voir figure 10.)

3-3.1 Mini maître; micro esclave

Il existe deux façons de commander le microordinateur depuis le mini-ordinateur :

- la première méthode, dite "manuelle", consiste à arrêter le micro-processeur, puis à transformer ses mémoires (données et instructions) et à le relancer à une adresse choisie.

Cette méthode est utilisée lors des phases dites de "calibration" (voir 5 partie C) pour changer des instructions du programme micro en fonction de l'étape de la calibration.

- la seconde méthode, dite "automatique", n'arrête à aucun moment le micro-ordinateur. Le moindre incident dans le micro programme sera détecté par le mini qui ne recevra pas la réponse attendue. Pour gagner du temps, cette procédure a été programmée dans le "descripteur" en langage assembleur. On peut y accéder par une subroutine FORTRAN ou BAMBI : "ZLAM" qui existe en deux versions légèrement différentes ZLAM(12) et ZLAM(13).

Le ZLAM(12) est l'envoi par le mini d'un mot avec attente d'un accusé de réception du micro. Le mini teste cela l'état Camac. Après une centaine d'essais infructueux, le descripteur renvoie un message "time out", ce qui permet de signaler l'erreur sur la console du mini.

Le ZLAM(13) est la même procédure à la différence près que le mini reçoit du micro une suite de données entrant par "accès direct" dans sa mémoire (arrêt par absence de réponse Q).

Ceci permet le transfert très rapide d'histogrammes, la vitesse limite étant celle du contrôleur Camac (de l'ordre de 1.5 microsec/cycle).

FONCTION MGO

MICRO = MGO(N)

Envoi du micro à l'adresse instruction N.

MICRO = MGO(1)

Attente du début du burst

MICRO = 5 "Time out" micro : le burst n'est pas arrivé
après quelques millisecondes.

MICRO = 1 le signal de burst est présent.

MICRO = MGO(0)

Renvoi du micro à l'adresse de retour immédiat
(adresse conservée avant d'interrompre le mini)

MICRO = MGO(- 32768)

Ordre de transfert du dernier événement codé.

FONCTION MRLH

MICRO = MRLH(N) N = 1, 2, 3 ou 4

Ordre de transférer au mini, la zone mémoire n° N

MICRO = MRLH(-N) N = 1, 2, 3 ou 4

Ordre de remise à zéro de la zone mémoire n° N

MICRO = MRLH(0)

Equivalent à 4 ordres MRLH(1, 2, 3 et 4
successifs.Tableau 5 : LES FONCTIONS FORTRAN DU DIALOGUE MINI-MICRO

Ces fonctions sont exécutées en mode mini maître, micro esclave. La réponse du microprocesseur est la donnée par la valeur prise par la fonction.

REMARQUE : L'intérêt de programmer ces procédures en fonctions Fortran est la simplicité du test de la valeur de la réponse du micro.

Exemple : Pour remettre à zéro la zone mémoire n° 1, il suffit de programmer en Bambi/F MRLH(-1) ≠ 0 THEN STOP.

Pour appeler depuis le mini-ordinateur des sous programmes du micro, nous avons introduit les deux fonctions FORTRAN décrites tableau 5 s'adressent au "micro-exec". Ces deux fonctions gèrent tout le dialogue mini-micro.

3.3.2. Micro Maître , Mini Esclave

Le mini qui calcule indépendamment du micro peut-être interrompu par exemple, dès que le mini reconnaît l'interruption correspondant à l'état "histogrammes pleins", il envoie automatiquement une fonction MRLH(n) qui signifie "lecture des histogrammes". Ceci permet de ne pas perdre de temps à l'intérieur d'un burst.

3.3.3 Vitesses de communication ; ordres de grandeur

La caractéristique principale de la communication mini-micro est la différence de vitesse des ordinateurs ainsi que du contrôleur Camac. Typiquement :

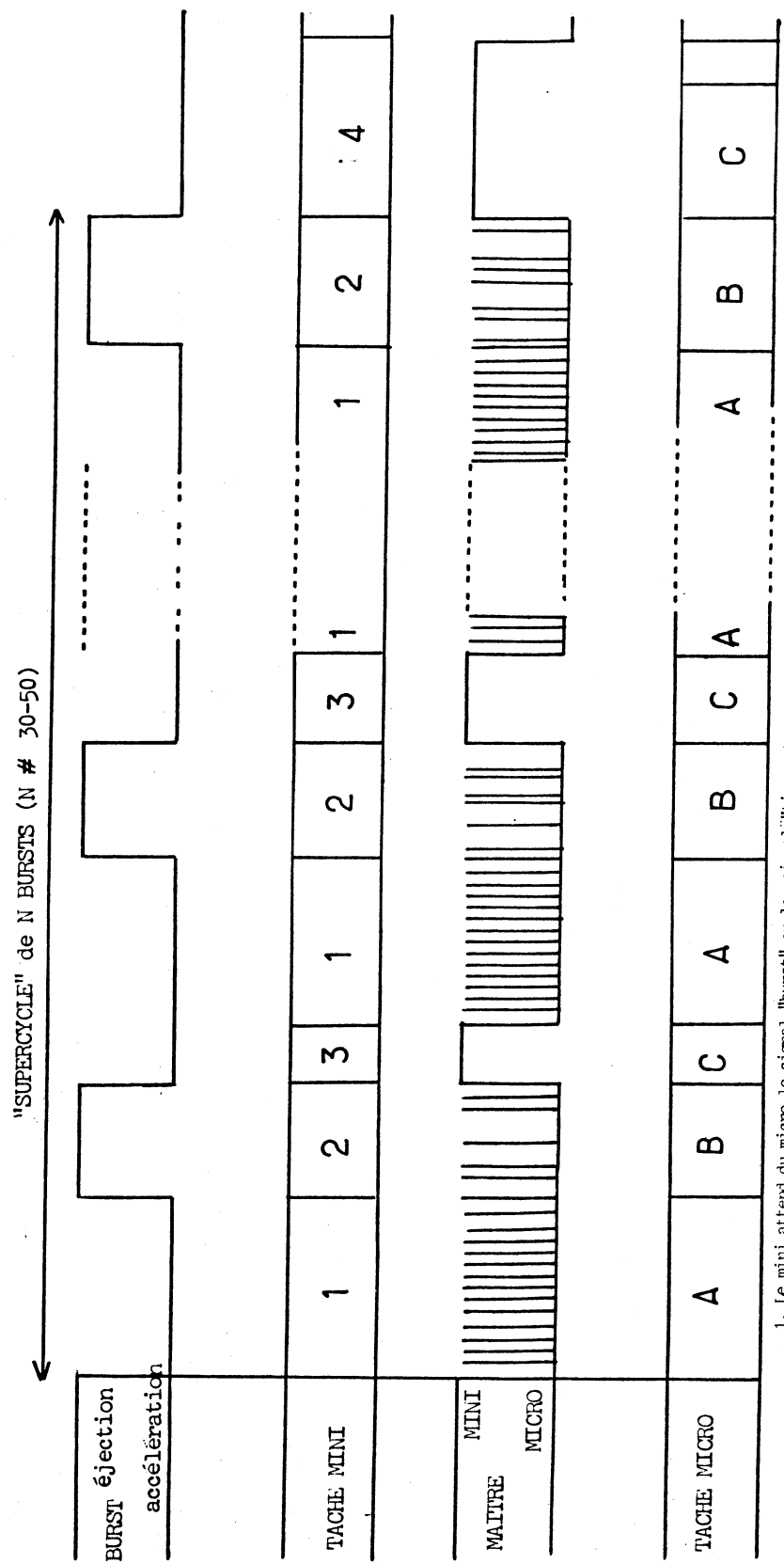
1 instruction micro-ordinateur=	167 nanosecondes.
1 cycle du contrôleur	= 1.5 microseconde
1 instruction moyenne HP	= environ 1 milliseconde en Bambi quelques dizaines de microsecondes en Fortran.

La conséquence évidente est qu'il faut éviter au maximum de transmettre des données entre le micro-ordinateur et le mini ordinateur sous peine de ralentir dramatiquement le taux d'acquisition.

L'expérience nous a montré :

- 1 - que la vitesse de transmission et de mise sur bande des événements pathologiques (événement trop compliqué pour être traité par le micro) est de l'ordre de 3 millisecondes par événement, soit 100 par burst

figure 10 : ENCHAINEMENT DES TACHES MINI-MICRO



1. Le mini attend du micro le signal "burst" ou le signal "cine out attente burst" du
 2. Le mini attend les événements pathologiques qu'il écrit sur bande puis relance le micro
 3. Le mini effectue les calculs demandés par l'opérateur
 4. Le mini lit la mémoire donnée du micro et les échelles de comptage. Il les copie sur bande, se livre aux vérifications essentielles remet à zéro les échelles et donne au micro l'ordre de remettre à zéro ses mémoires d'histogramme
- A. Le micro attend le burst
 B. Le micro remplit les histogrammes et interrompt le mini en cas d'événement pathologique
 C. Le micro attend un ordre du mini
 D. Le micro remet à zéro sa zone d'histogramme

- 2 - que le transfert de la mémoire données du microprocesseur au mini-ordinateur par le contrôleur CAMAC (2048 mots de 16 bits) ainsi que le premier traitement effectué par le mini ordinateur en Bambi (vérification de certaines égalités fondamentales...), peuvent se faire pendant les 2.1 secondes que dure l'interburst.
- 3 - que la communication mini-micro ne se "bloque" pratiquement jamais
- 4 - que la capacité de nos bandes magnétiques (9 pistes 1600 bpi 2400 ft) est de l'ordre de
 - 500 000 événements pathologiques
 - ou
 - 10 000 copies complètes de la mémoire du micro-ordinateur.

B - ETUDE DETAILLEE DU FAISCEAU

1 - INTRODUCTION

L'étude du faisceau P₁₇ est destinée :

- 1 - à déterminer les intensités des courants à établir dans chaque élément pour les diverses impulsions en fonction des diverses contraintes.
- 2 - à trouver la formule la plus précise et la plus sûre pour calculer l'impulsion de chaque particule incidente.
- 3 - à définir une méthode destinée à déterminer les contraintes d'espace de phase qui permettent la sélection des particules provenant de la cible primaire. Nous définissons cet espace de phase en chaque point de coté, le long de l'axe du faisceau par les 5 coordonnées $(x, \theta, y, \phi, dp/p)$

Cette étude a été menée par les groupes des deux expériences avec des objectifs différents :

- * L'expérience S-153 s'est intéressée particulièrement aux points 1 et 2. La précision relative du calcul de l'impulsion que souhaitent nos collaborateurs est en effet de $2 \cdot 10^{-4}$.
- * Notre expérience S-157, qui se contente d'une précision de $5 \cdot 10^{-4}$, utilise comme "sous-produit" des calculs de S-153 une formule simplifiée et bien adaptée aux calculs du micro-ordinateur.

Les critères de sélection des particules appartenant à l'espace de phase sont pour nous capitaux car ils permettent de s'affranchir de nombreux biais. L'étude de ces critères a par ailleurs :

- fait apparaître un point très important quoique inattendu : la quasi linéarité de l'optique (aberrations géométriques: $< 50 \mu\text{m}$ pour une largeur de faisceau de 3,5 cm) pour un faisceau monochromatique.

- permis d'établir une méthode ultra précise pour la détermination des courants dans les aimants BM_1 , BM_2 et BM_3
 (sensibilité $\leq 5 \cdot 10^{-4}$ pour $BM_1 - BM_2$
 $\leq 10^{-2}$ pour BM_3)

Cette partie insiste sur les points qui intéressent particulièrement l'expérience S-157. Sans retracer in extenso l'ensemble des études entreprises dès Mai 1977, nous invitons le lecteur avide de détails techniques à se reporter aux références citées. [6, 7, 8, 9.]

2 - ETUDE THEORIQUE DU FAISCEAU

2-1 Les différentes contraintes

Le faisceau diffère légèrement du schéma donné fig. 2. Les raisons en sont d'ordre :

- * topographique : la vérification du calcul de l'impulsion à l'aide d'un second spectromètre nous oblige à sortir du Hall-Est. Pour contourner un pilier, on est contraint d'introduire une déflexion supplémentaire. D'où l'aimant de déflexion BM_3 .
- * technique : à l'intensité de fonctionnement de l'expérience S-153 (10^7 particules/S) les chambres W_2 et W_3 sur lesquelles la focalisation serait faite subirait un flux bien trop élevé. D'où le déplacement des images horizontale et verticale par l'optique intermédiaire.

Les propriétés fondamentales du faisceau sont cependant conservées car :

- * Le spectromètre reste focalisant.
- * Le collimateur C_3 analyse toujours correctement l'impulsion puisque BM_3 et l'optique intermédiaire sont situés derrière lui.

- * Le faisceau reste compensé en dispersion : la disposition
- | | |
|---|---|
| } | étages de mesure et d'analyse symétriques |
| } | grandissement de l'optique intermédiaire égal à - 1 |
- n'est en effet qu'une façon particulière d'annuler la dispersion.

On détermine les champs à établir dans les aimants $BM_1 - BM_2$, BM_3 , $BM_4 - BM_5$, et dans les 12 quadrupoles Q_1 à Q_{12} . Grâce au programme "TRANSPORT" [10] en imposant en données les contraintes mentionnées.

Ce programme d'emploi lourd et mal commode a été choisi car il est le seul à calculer les matrices de transfert au second ordre. Il permet :

- * de calculer élément par élément la matrice de transfert et le tenseur du second ordre qui décrivent les propriétés magnétiques de l'élément.
- * d'avoir une estimation réaliste de la largeur du faisceau dans les deux plans horizontal et vertical en faisant pivoter l'espace de phase initial qu'il suppose ellipsoïdal (voir figure 11.)
- * enfin de simuler des trajectoires de particules d'impulsion variable afin de déterminer les formules du calcul de l'impulsion.

2-2 Obtention des coefficients du calcul de l'impulsion.

2-2-1 Principe

La méthode utilisée est simple dans son principe; elle consiste à simuler un grand nombre de trajectoires décrivant l'espace de phase du faisceau. Puis par un fit plus ou moins sophistiqué, on trouve les coefficients a_i et b_i du développement

$$\frac{dp}{p} = \sum_i a_i x_i + \sum_{i \leq j} b_{ij} x_i x_j + \left(\frac{dp}{p}\right)_0$$

x_i sont les coordonnées horizontales et verticales dans les différents plans de chambre.

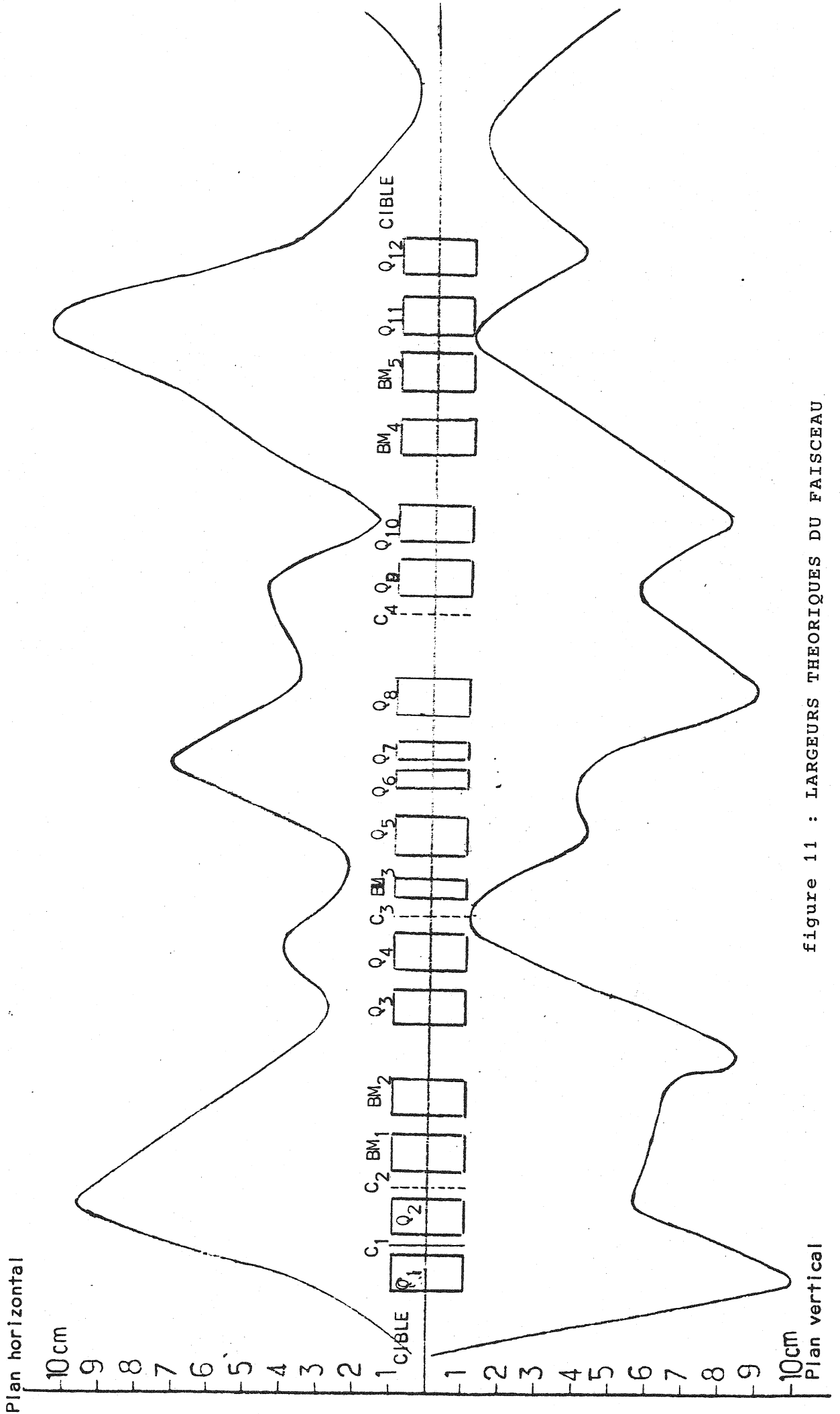


figure 11 : LARGEURS THEORIQUES DU FAISCEAU

La précision de $2 \cdot 10^{-4}$ exigée par l'expérience S 153 impose la parfaite connaissance des cartes de champ des aimants BM_4 et BM_5 . La référence [8] expose en détail la mesure des champs magnétiques et la simulation qui permettent de déterminer les matrices de transfert de ces aimants.

2-2-2 Les différentes formules du calcul de l'impulsion

La formule de base du dépouillement de l'expérience S-153 est la formule complète au second ordre utilisant $X_1, X_2, X_3, Y_1, Y_2, Y_3$ ainsi que les coordonnées X_4 et Y_4 d'une chambre supplémentaire W_4 située à proximité de W_1 .

Sa précision relative théorique, qui est évaluée en tenant compte de la diffusion multiple et de l'effet d'espacement des fils des chambres, vaut $2.5 \cdot 10^{-4}$. Notons que cette précision n'est pas affectée de façon significative par un déplacement des deux premiers étages du faisceau.

Pour des raisons liées au nombre de plans faisceau lisibles (5) et aux impératifs de rapidité de calcul dans le microprocesseur, nous utilisons deux formules qui en dérivent :

. La formule au 1^{er} ordre

$\frac{dp}{p} = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_0$ a une précision relative théorique de $8 \cdot 10^{-4}$ que nous améliorons en réduisant l'ouverture angulaire du faisceau par les collimateurs d'acceptance C_1 et C_2 . Elle est malheureusement sensible aux déplacements accidentels des aimants et quadrupôles. La "calibration" du faisceau et le "monitoring" décrits en 5 et 6 partie C nous protègent contre ces déplacements.

. La formule de calcul itératif.

$$\frac{dp}{p} = (\alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_0) (1 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3)$$

se prête très bien à un calcul rapide en ligne. Ce n'est pas une vraie formule de second ordre mais on l'a justifiée d'après les mesures directes d'espace de phase décrites en 3 : l'optique est linéaire en x et en y , mais des effets d'ordre supérieur en $\frac{dp}{p}$ sont visibles.

Les prises de données ont jusqu'à présent utilisé la formule du 1^{er} ordre. Nous pensons, si les mesures font apparaître des structures intéressantes, améliorer la seconde formule en tenant compte dans la simulation de trajectoires du faisceau des résultats expérimentaux concernant l'espace de phase.

3 - ETUDE EXPERIMENTALE DU FAISCEAU

3-1 Introduction

On distingue deux types de mesures expérimentales complémentaires :

- celles qui ont servi à vérifier les calculs théoriques esquissés au paragraphe précédent. Elles concernent :
 - * L'étude des matrices de transfert entre
 - la cible primaire et l'entrée du spectromètre
 - l'entrée et la sortie du spectromètre
 - * la vérification du calcul de l'impulsion à l'aide d'un second spectromètre.

Ces mesures ont été principalement exploitées par nos collaborateurs.

- celles qui sont régulièrement effectuées, avant et pendant chaque prise de données, et qui contrôlent la position et la taille de l'espace de phase.

3-2 Vérification des calculs théoriques

3.2.1. Etude des matrices de transfert

Nous avons pour cela

- déterminé les coefficients de la matrice de transfert globale du spectromètre.
Le calcul se heurte à une difficulté fondamentale qui provient de la taille réduite de l'espace de phase.
En tenant compte a priori de contraintes supposées linéaires, nos collaborateurs du Collège de France ont obtenu des résultats très proches des calculs théoriques. [9]
- reconstruit les trajectoires au niveau du collimateur C_3 et de la cible primaire. [10]

Toutes ces mesures ne sont malheureusement qu'une vérification indirecte et en tout cas relative du calcul de l'impulsion. La vérification absolue nécessite un second appareil de mesure.

3.2.2. Mesure de l'impulsion à l'aide d'un second spectromètre

La difficulté majeure causée par la diffusion multiple dans les fenêtres et plans de haute tension des chambres est résolue en construisant deux demi-chambres, ne comportant qu'un plan de fils verticaux, et placées aux extrémités d'un second spectromètre classique. Ce spectromètre est constitué d'un seul aimant BM_6 identique à BM_4 ou BM_5 , placé derrière le spectromètre focalisant, dont on a préalablement mesuré la carte de champ.

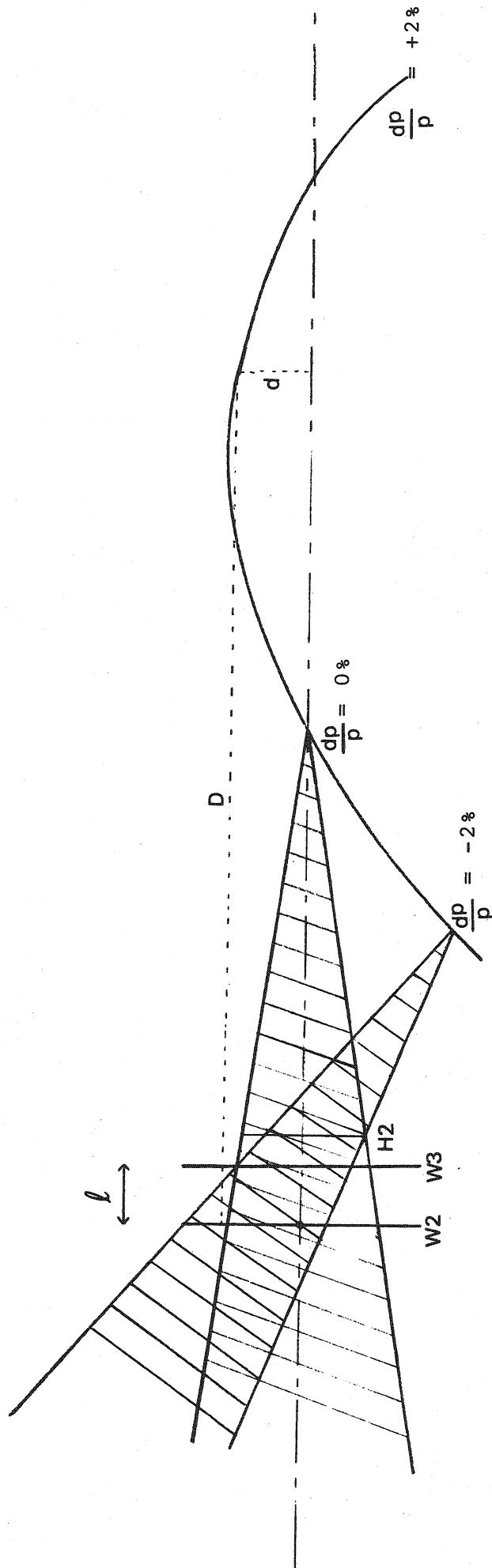
Les résultats exposés en [8], sont compatibles avec une précision relative de $2 \cdot 10^{-4}$ pour le calcul de l'impulsion par le spectromètre focalisant. La normalisation absolue de l'impulsion est par ailleurs établie à mieux que 10^{-3} .

3-3 Mesure directe de l'espace de phase

Les mesures décrites ci-dessous, sont régulièrement effectuées par le micro-ordinateur. Elles ont été inspirées par l'étude faite en janvier 1978 grâce aux bandes de données prises par le système d'acquisition de S - 153. [9]

3.3.1 Principe de la mesure :

On définit le faisceau à la sortie du spectromètre focalisant



nota: La compensation imparfaite du faisceau est fortement exagérée au regard de la taille des chambres.

figure 12 a : DETERMINATION EXPERIMENTALE DES IMAGES DE LA CIBLE PRIMAIRE.

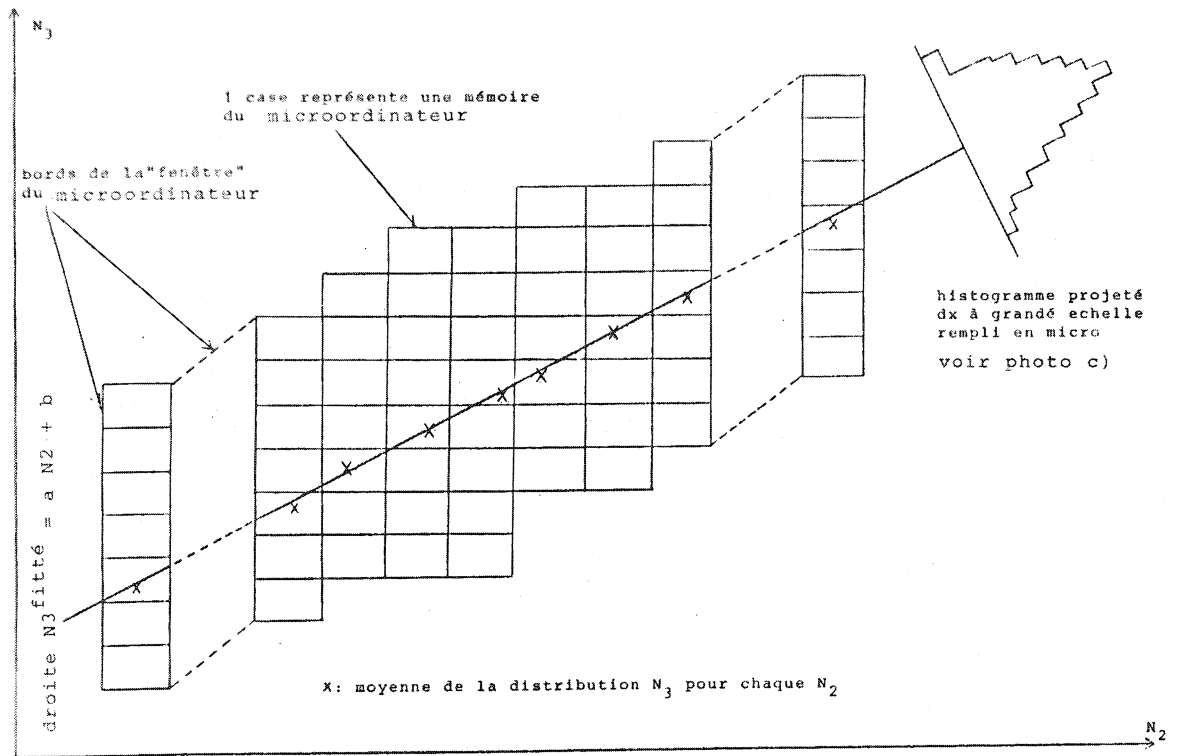


figure 12 b : METHODE DE CALCUL DES COEFFICIENTS DEFINISSANT LES COUPURES D'ESPACE DE PHASE.

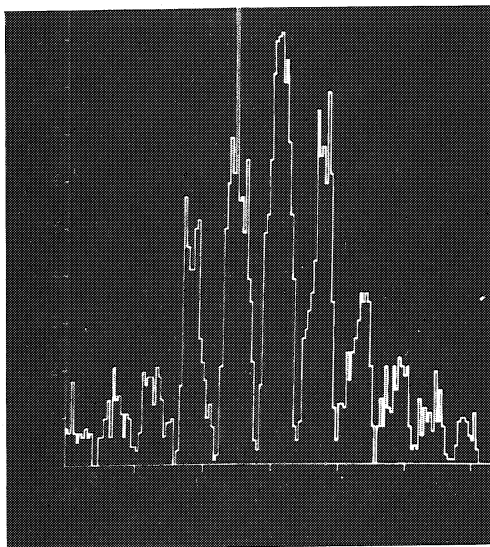


figure 12 c : HISTOGRAMME PROJETE
 $N_3^{\text{mesuré}} - N_3^{\text{fitté}}$

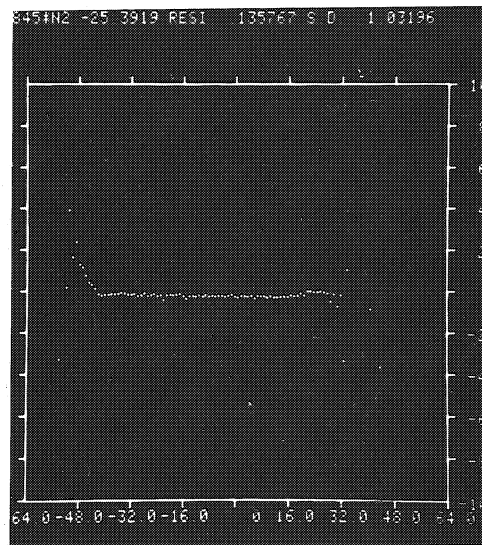


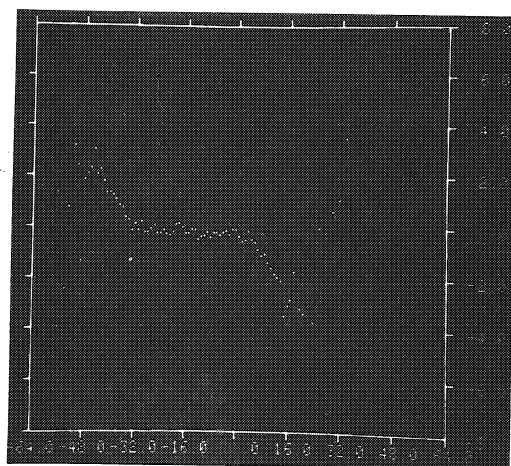
figure 12 d : RESIDU
 $N_3^{\text{mesuré}} - N_3^{\text{fitté}}$

dp/p %	Plan horizontal		Plan vertical	
	a _x (dp)	σ (millimètre)	a _y (dp)	σ (millimètre)
- 1.6	.605	.69	.671	.56
- 1.2	.658	.64	.684	.56
- .8	.701	.63	.704	.57
- .4	.746	.63	.723	.59
0.	.782	.60	.749	.59
.4.	.817	.60	.790	.59
.8	.849	.59	.837	.60
1.2	.877	.58	.901	.63
1.6	.904	.58	1.017	.68
2.0	.920	.55	1.231	.76

TABLEAU 6 : largeur des distributions en "dx" et "dy"

a)

résidu
 $\langle y_3 \rangle - y_{3\text{fitté}}$



→
 n° de fil touché en y_2 (1fil=1/2mm)

b)

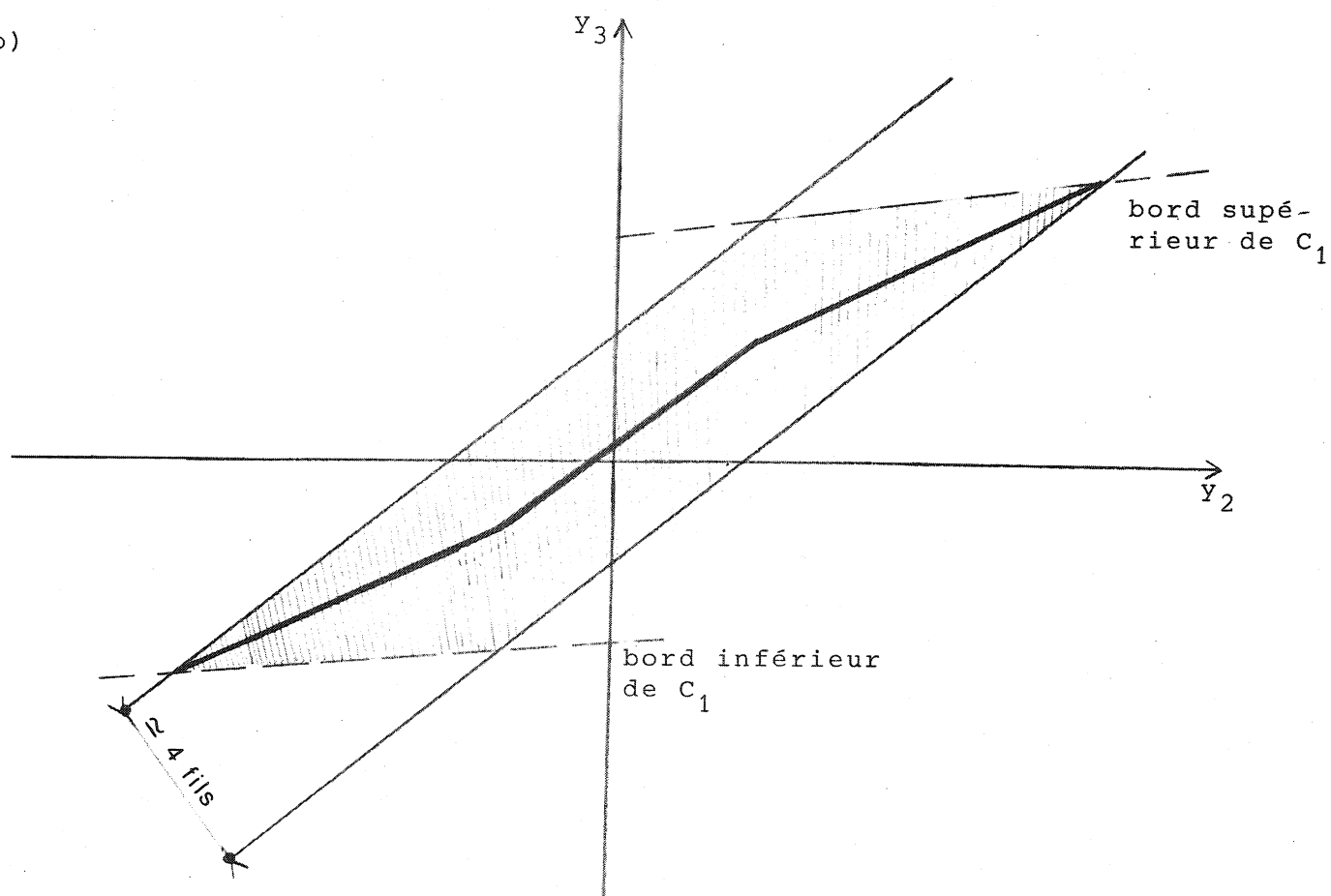


schéma montrant la forme théorique de ce résidu

figure 13a: FORME PARTICULIERE DU RESIDU $\langle y_3 \rangle_{\text{mesure}} - y_{3\text{fitté}}$

A GRAND dp/p

comme un ensemble de trajectoires rectilignes convergeant en chaque projection et pour chaque impulsion en l'image de la cible primaire. (Voir fig. 12 a)

Cette hypothèse de linéarité, se traduit dans les chambres W_2 et W_3 par les relations :

$$\begin{cases} x_3 = a(dp) x_2 + b(dp) \\ y_3 = a'(dp) y_2 + b'(dp) \end{cases}$$

Appelons l la distance qui sépare les deux chambres. La figure 12 a montre que les coordonnées D et d de l'image de la source primaire s'écrivent

$$D = \frac{l}{1-a(dp)} \quad \text{et} \quad d = \frac{b(dp)}{1-a(dp)}$$

Les calculs en ligne consistent donc à "fitter" aussi proprement que possible la formule :

$$N_3 = a \cdot N_2 + b$$

N_i représente le numéro de fil touche dans le plan x_i (ou y_i)

Ce fit est effectué de la façon suivante : le micro-ordinateur remplit l'histogramme à 2 dimensions n_2 - n_3 pour des trajectoires correspondant à une impulsion fixée. Comme sa mémoire est limitée (1700-1800 mots utiles), il faut définir a priori une "fenêtre" pour cet histogramme. Le mini-ordinateur reçoit alors le contenu de l'histogramme accumulé pendant 5 bursts et détermine les coefficients a et b de la droite $N_3 = a \cdot N_2 + b$ en faisant une analyse par regression linéaire.

3.3.2 Résultats de cette mesure

3-3-2-1 La forme et la taille de l'image

. La figure [12 d] montre le "résidu" du fit : $\langle N_3 \rangle_{\text{mesuré}} - N_3_{\text{fitté}}$ en fonction de x_2 .

Noter la parfaite linéarité de ce résidu, qui ne présente aucune aberration quadratique visible. Les fluctuations observées, de l'ordre de

50 μ m, proviennent des défauts de tissage des chambres.

. Dans le plan vertical, pour les dp/p compris entre +1 et +2% il se produit un phénomène de collimation (voir fig. 13). On l'explique aisément par le collimateur C₁ qui limite l'acceptance angulaire dans le plan vertical que la figure 13 b permet de comprendre. On peut ainsi déterminer expérimentalement la position de l'image horizontale des bords du collimateur C₁.

Le tableau 6, indique la valeur des coefficients a(dp) et b(dp) dans les deux plans en fonction de l'impulsion ainsi que l'écart type des distributions exprimé en millimètre dans la chambre W₃. Remarquer que ces écarts type sont de l'ordre de grandeur de l'espacement des fils.

3-3-2-2 La position de l'image

. Comparaison avec la théorie

Les figures[14]et[15]montrent la comparaison entre les positions calculées grâce à la matrice de transfert globale du faisceau et les positions déterminées expérimentalement.

Les positions expérimentales varient fortement avec les champs établis dans les aimants BM₁, BM₂ et les divers quadrupôles . Les courbes présentées montrent cependant un accord qualitatif entre les calculs théoriques et les mesures.

. Variation en fonction des champs établis dans les divers éléments du faisceau

L'étude qui suit a été volontairement limitée aux aimants BM₁-BM₂, BM₃ et aux quadrupôles Q₅-Q₃ et Q₆-Q₇ de l'optique intermédiaire.

En effet

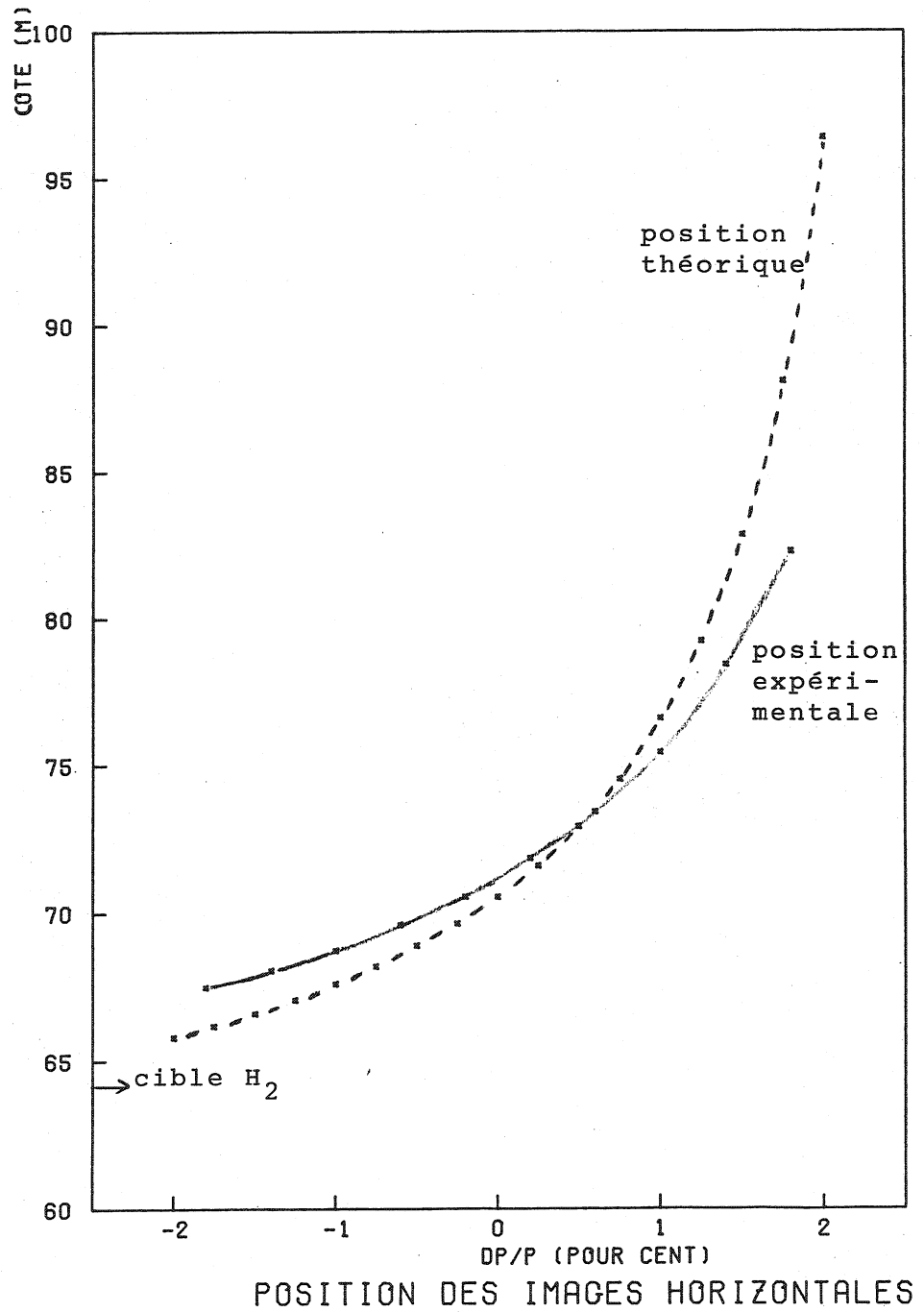
- nous ne pouvons pas toucher au spectromètre focalisant si nous voulons conserver les formules du calcul de l'impulsion.

- nous voulons que le faisceau reste focalisé sur C₃, ce qui impose les champs des quadrupôles Q₁ à Q₄.

. Variation de la position des images en fonction des courants dans BM₁-BM₂ et BM₃.

Les résultats sont reportés sur la figure 16.

On voit que l'influence de BM₁, BM₂ est beaucoup plus grande que celle de BM₃.



faisceau ajusté sur les hodoscopes H₁ et H₂

figure 15

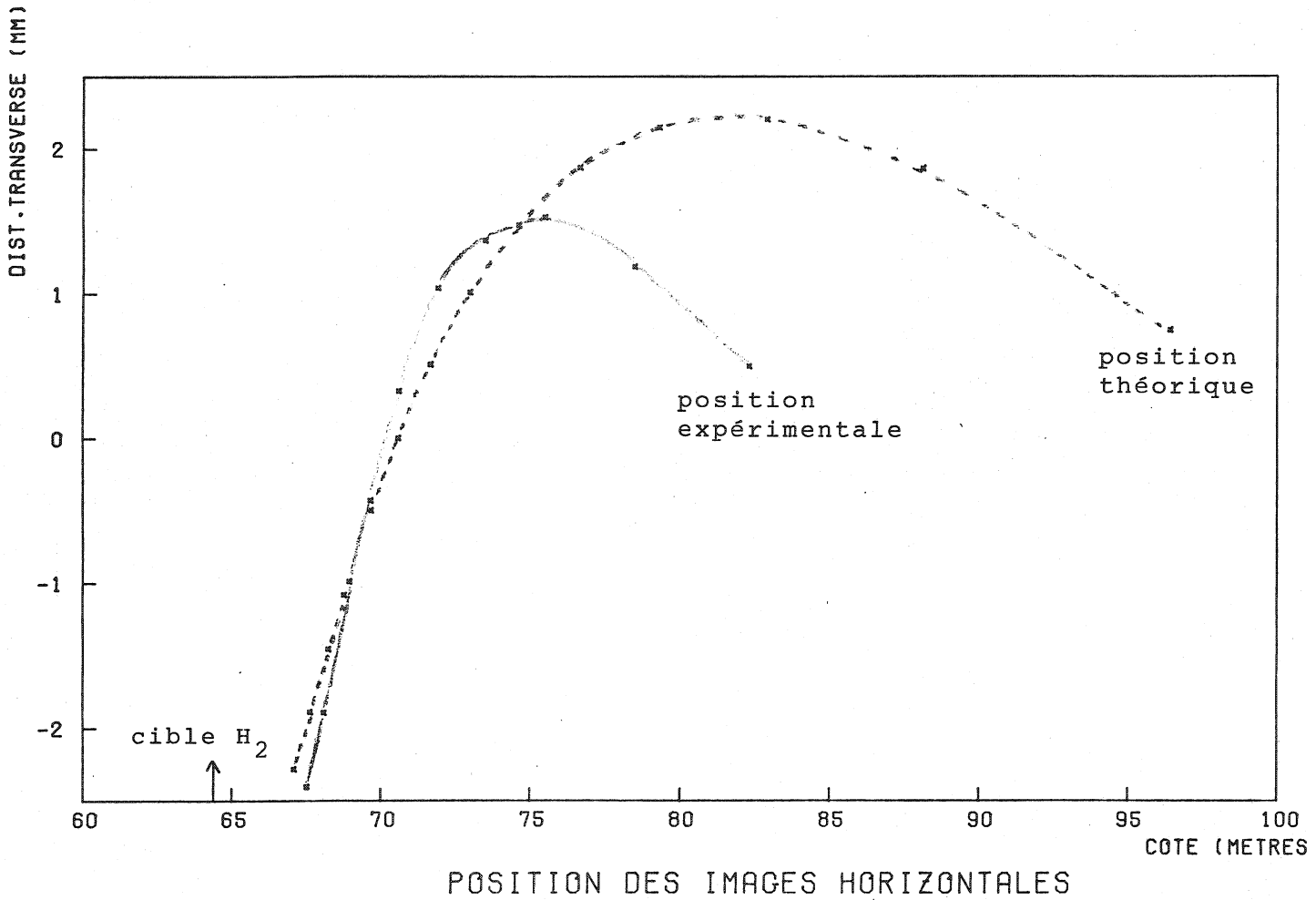


figure 14

Ceci s'explique

→ par la taille des aimants : $BM_1 - BM_2 = 2 \times 2$ mètres

$BM_3 = 1$ mètre

→ par les propriétés optiques du faisceau :

Faisons en effet l'hypothèse simplificatrice de l'optique intermédiaire focalisant sur la cible.

BM_3 est situé tout près de C_3 , donc l'image réciproque de W_1 .

Il introduit une rotation globale du faisceau mais provoque une dispersion très faible puisque le centre de rotation des trajectoires est situé à proximité d'une image de W_1 . Et l'on sait, par définition de 2 plans conjugués d'une optique, que la position d'une trajectoire à la sortie ne dépend pas de son angle d'émission.

Cette courte étude permet de déterminer expérimentalement les courants à établir dans les aimants ("tuning" du faisceau).

Dans l'idéal, il faudrait opérer comme suit :

- 1) déterminer grossièrement ces courants en ajustant le faisceau sur les compteurs centraux des hodoscopes H_1 et H_2 .
- 2) ajuster $BM_1 - BM_2$ pour obtenir un lieu des images horizontales montrant une compensation.
- 3) parfaire le "tuning" grâce à BM_3 en centrant sur l'axe du faisceau l'axe optique correspondant à $\frac{dp}{p} = 0$.

L'inconvénient majeur de cette méthode est sa lenteur : il faut entre 5 et 10 minutes pour obtenir une des courbes de la figure 15 .

En pratique, nous nous contentons souvent de parfaire l'ajustement sur l'axe théorique en étudiant seulement la position de l'image horizontale pour $\frac{dp}{p} = 0$.

. Variation de la position des images en fonction des courants dans l'optique intermédiaire.

La grandeur sensible est la variation de la distance longitudinale : voir les résultats sur la figure 17.

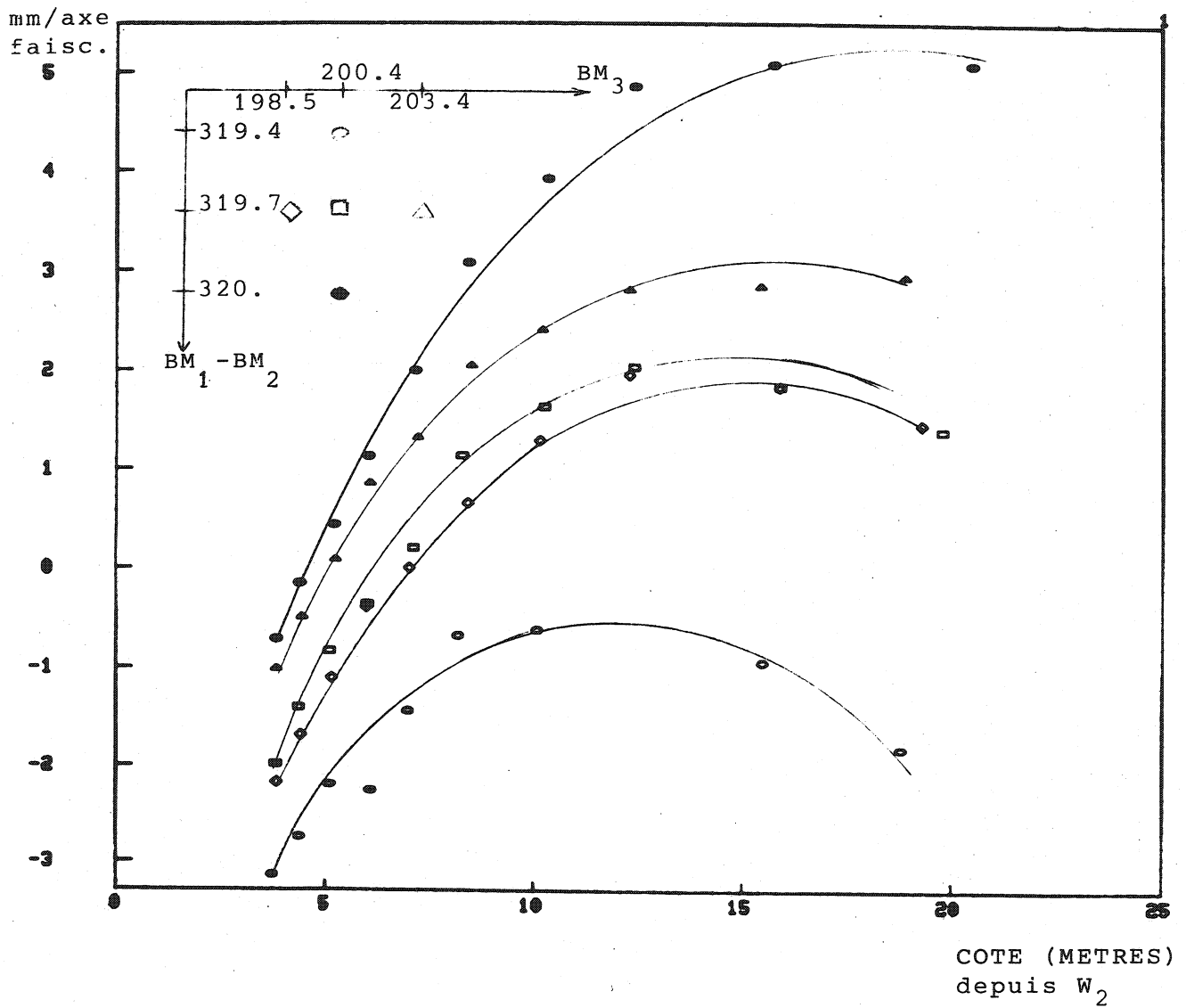


figure 16 : VARIATION DE LA POSITION DE L'IMAGE HORIZONTALE DE LA SOURCE EN FONCTION DES INTENSITES DANS LES AIMANTS $BM_1 - BM_2$ et BM_3

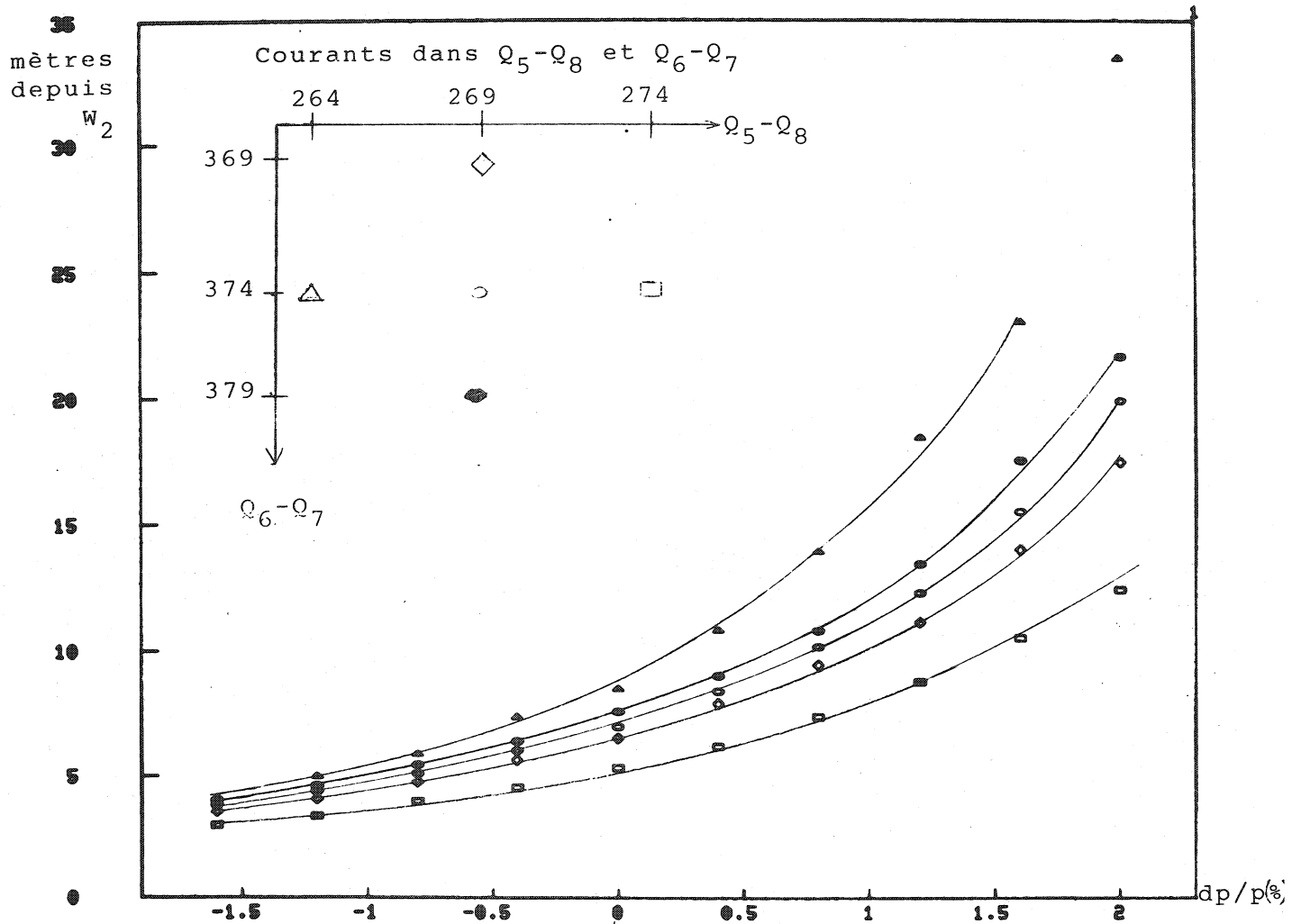


figure 17 : VARIATION DE LA POSITION LONGITUDINALE DE L'IMAGE HORIZONTALE DE LA SOURCE EN FONCTION DES INTENSITES DES QUADRUPOLES DE L'OPTIQUE INTERMEDIAIRE.

3.3.3. Un moyen de contrôle en ligne

Pour chaque évènement étudié, on mesure les quantités "dx" et "dy" qui valent

$$\begin{cases} dx = a_x (dp) x_2 - x_3 - b_x (dp) \\ dy = a_y (dp) y_2 - y_3 - b_y (dp) \end{cases}$$

En fonction de coupures établies pendant la calibration du faisceau, fixées à ± 4 écarts - type des distributions dx et dy, le micro ordinateur accepte ou rejette l'évènement.

Les traces rejetées correspondent à :

- à des μ de désintégration de π^- du faisceau. (2% du faisceau)
- à des π^- produits par une source secondaire le long du faisceau de protons incidents au voisinage de la cible primaire. (environ 2% du faisceau).
- à des mauvaises digitisations due à la diaphonie (3%)

La méthode du calcul des dx et dy permet ainsi :

- de contrôler la stabilité du faisceau dans la région des détecteurs à 20 μ m près
- d'assurer à 50 μ m près la reproductibilité du faisceau pour la prise de données cible vide qui suit la prise de données cible pleine, à supposer que les éléments magnétiques ne se sont pas déplacés géométriquement. (Voir tableau 1).
- d'éliminer les effets d'un mauvais fonctionnement des détecteurs.

C - OPTIMISATION DES MESURES DE SECTION EFFICACE

1 - INTRODUCTION

Considérons successivement les 3 types suivants de mesure :

- variations relatives de σ_{tot} dans l'intervalle en impulsion correspondant à une prise de données ($\pm 2\%$ divisés en 80 intervalles)
- variations de la moyenne de σ_{tot} entre deux intervalles en énergie contigus
- enfin valeur absolue de σ_{tot} à une énergie donnée.

Les erreurs statistiques vont décroissant et les erreurs systématiques croissant. Ces dernières dominent certainement dans le dernier cas et probablement dans le second.

Elles peuvent être causées :

- par des imperfections de l'appareillage (inefficacités des détecteurs, de la chaîne de lecture, mauvais déclenchements)
- par un mauvais emploi du micro-ordinateur (erreurs de logique, effets liés à la précision des calculs, ...)
- enfin par des phénomènes physiques indépendants de l'appareillage (contamination du faisceau de particules, interactions secondaires).

Cette partie décrit ces erreurs et montre comment s'en protéger

- avant chaque prise de données par la calibration décrite en 5, qui permet de vérifier que les conditions de l'expérience sont stables d'une prise de données à une autre.
- pendant l'acquisition par le "monitoring" (contrôle en ligne) décrit en 6 qui renseigne sur les dérives éventuelles des grandeurs sensibles pour la précision de la mesure.

2 - PROBLEMES LIES AUX INEFFICACITES ET SUREFFICACITES DES DIVERS DETECTEURS.

INTRODUCTION

La mesure de σ_{tot} est essentiellement une mesure de transmission à travers la cible. Elle est donc particulièrement sensible à la qualité des détecteurs de transmission puisque des inefficacités de quelques pour mille se traduisent par des erreurs de plusieurs % sur le calcul des sections efficaces.

2-1 Etude simple des caractéristiques des chambres

Un des premiers programmes écrits pour le micro-ordinateur a eu pour tâche d'étudier les inefficacités et surefficacités des chambres à fils. Ce programme, (ainsi que le programme Mini qui l'accompagne), histogramme le nombre de coups par fil touché ainsi que la matrice de corrélation fil 1/fil 2 dans le cas de coups doubles pour un plan de chambre choisi par l'utilisateur. Si la première tâche est relativement courante (mise à part la statistique obtenue : environ 80 000 événements par burst), l'accumulation en ligne de matrices de corrélation est une opération qui serait très délicate avec un dispositif classique compte tenu du taux d'acquisition habituel (200 à 300 événements par burst).

Sans décrire les réglages classiques de mise en temps de haute tension, de seuils, mentionnons les principales difficultés rencontrées :

1/ Le flux

Le faisceau est focalisé au voisinage des "chambres avant"; le flux qui les traverse est de 2 à 3 10^4 particules/mm²/s.

Notre électronique de lecture de chambre et notre dispositif de déclenchement sont spécialement conçus pour éviter la perte d'efficacité par temps mort. L'inefficacité observée est principalement due aux effets de charges d'espace qui diminuent le gain en réduisant le champ électrique au voisinage des fils.

Le gain élevé de l'électronique permet de conserver une bonne efficacité en dépit du flux.

2/ Le bruit de fond

La suppression des préamplificateurs de bruit de fond trop grand a permis de réduire la surefficacité qui en résulte à moins de 10^{-5} .

3/ La diaphonie électronique.

Elle provient de l'implantation des circuits des préamplificateurs. On peut évaluer de 1 à 2% dans la chambre WF1. Ses effets sont :

- réduits en choisissant l'ordre de lecture des fils (voir 2.4 partie A).
- supprimés par le microprogramme d'acquisition "cycle long".

2-2 Etude plus sophistiquée des erreurs systématiques qu'elles entraînent.

La méthode consiste à transmettre au mini certains types d'événements correspondant à des conditions précises de multiplicité et à étudier ces événements, soit immédiatement, soit hors-ligne.

Pour cela il suffit de modifier manuellement dans le microprogramme quelques instructions. L'analyse hors ligne se fait à l'aide d'un programme qui classe les événements en différentes catégories de multiplicité selon divers critères (présence ou non d'une trace, trace simple ou multiple, signal μ présent ou absent, choix de la méthode du regroupement des amas de fils touchés ("reclustering"), etc...) et les étudie à la demande de l'utilisateur.

On a pu ainsi :

- * déterminer les zones de moindre efficacité des chambres avant.
- * étudier la corrélation entre les différentes inefficacités des 4 plans avant. Elle est inférieure à 10^{-5}
- * découvrir la diaphonie mentionnée au paragraphe précédent.
- * déterminer les pourcentages des événements candidats diffusés et d'établir les critères qui décident si un événement correspond effectivement à une diffusion.

2-3 Conséquences sur le programme d'acquisition.

Pour une large part, le programme d'acquisition découle de l'étude mentionnée ci-dessus.

Il est cependant trop complexe pour être détaillé ici. Montrons par un exemple comment la connaissance des multiplicités nous amènent à le modifier.

Prenons le cas simple d'un événement ou un plan manqué dans WF1, par exemple XF1.

L'étude hors ligne nous indique que cette catégorie d'événements est due :

- à la désensibilisation du plan XF_1 qui n'affecte que les événements diffusés car ces fils de soutien ne se trouvent pas dans la partie centrale du faisceau de particules.
- à l'inefficacité résiduelle de WF1, qui affecte principalement les événements non diffusés .

Il faut alors regarder les plans XF2, YF2 et YF1.

Supposons que WF2 est touchée dans les 2 plans. 3 cas peuvent se produire :

- *1) la "contrainte de cible" YF1 YF2 n'est pas vérifiée (voir 3.2 partie C). L'événement est alors déclaré "pathologique"
- * la contrainte de cible est vérifiée :
 - * 2) L'angle de diffusion calculé avec XF2 est inférieur à la diffusion multiple, l'événement est alors histogrammé comme "récupéré" faisceau.
 - * 3) Cet angle est supérieur à la coupure mentionnée. Il est considéré comme diffusé.

Les 2^{ème} et 3^{ème} cas sont très intéressants, car ils permettent une mesure exacte de l'inefficacité dans le plan XF1. Cette inefficacité, point sensible de la mesure, est contrôlée tout au long de l'expérience (voir 6.2).

2.4 Conclusion.

Les très bonnes performances des chambres ainsi que l'analyse en ligne des événements ne nécessitent aucune correction d'efficacité pour la normalisation absolue de σ_{tot} .

Noter que les efficacités obtenues sont meilleures que dans une expérience classique utilisant des scintillateurs.

3 - PROBLEMES LIES A DES PHENOMENES PHYSIQUES

3-1 Influence de la contamination en muons

Le détecteur de μ compte un taux de μ égal à 6% du faisceau. On distingue parmi eux 3 catégories :

- 1 - Ceux qui sont rejetés par les coupures d'espace de phase. Ce sont les μ qui proviennent de la désintégration $\pi^- \rightarrow \mu^- \bar{\nu}$ dans le transport des π^- . Ils représentent 4.0% du faisceau.

Parmi les μ appartenant à l'espace de phase du faisceau :

- 2 - Environ 1.7% correspondent à un angle de diffusion nul.

Ce sont les μ produits à la source; on connaît leur distribution en dp/p ce qui permet de connaître le nombre de π^- incidents pour chaque bin (voir figure 18).

Nous ne pouvons malheureusement pas rejeter : les K^- et les \bar{p} du faisceau. Nous avons cependant mesuré ces deux contaminations à l'aide d'un compteur Cerenkov. Elles valent .5% et 1.3%

- 3 - Environ .3% apparaissent comme des π^- diffusés. Ils proviennent de la désintégration des π^- entre W_3 et WF_2 . L'histogramme présenté figure 19 en montre une distribution angulaire caractéristique.

3-2 Les interactions qui n'ont pas eu lieu dans la cible

De nombreuses interactions ont lieu dans les 5.5 mètres qui séparent W_3 et WF_2 , principalement sur l'hodoscope H_2 , les fenêtres de la cible et une chambre installée par nos collaborateurs pour l'expérience S 153. Ceci explique le gros effet de cible vide mentionné en partie D .

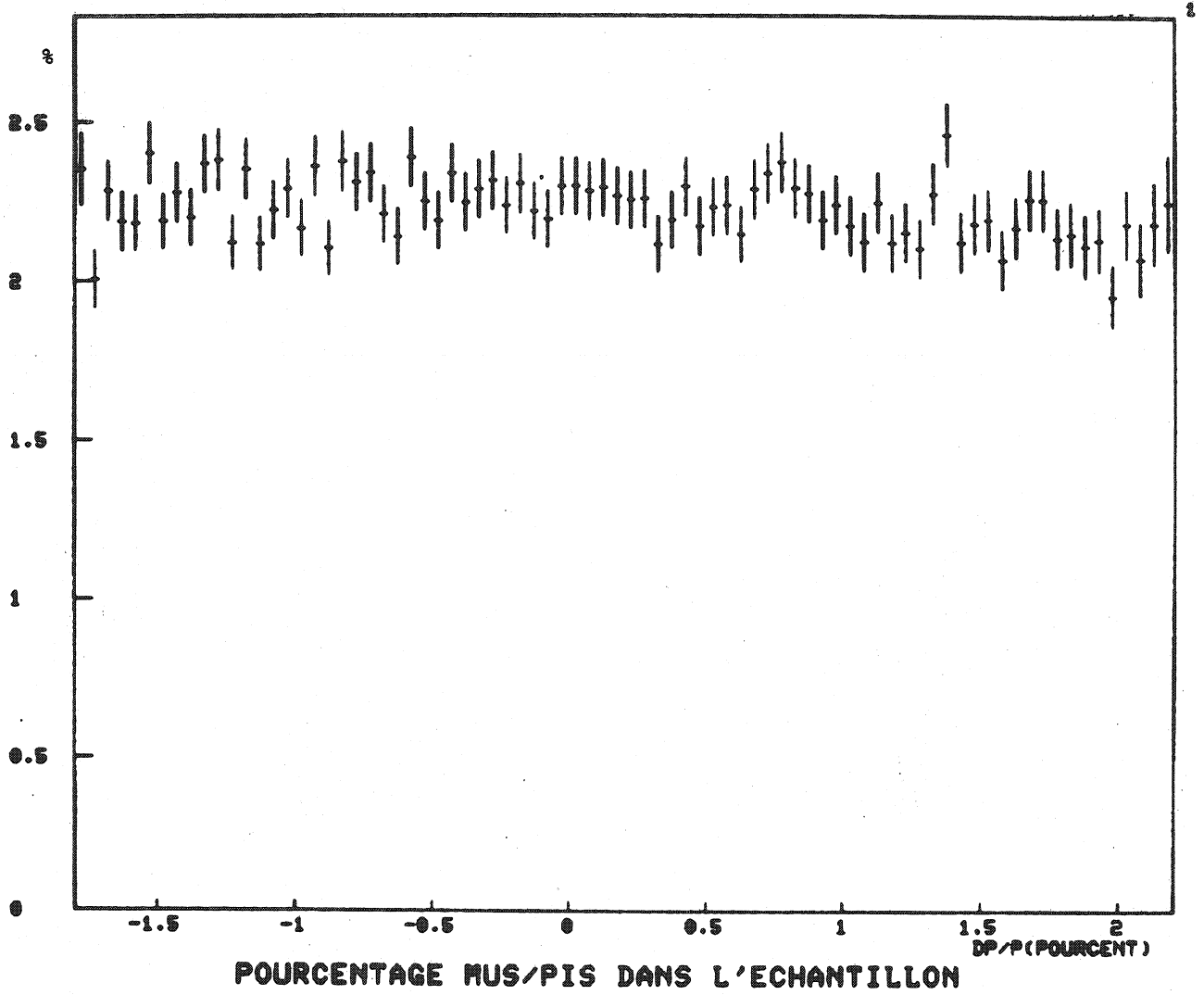
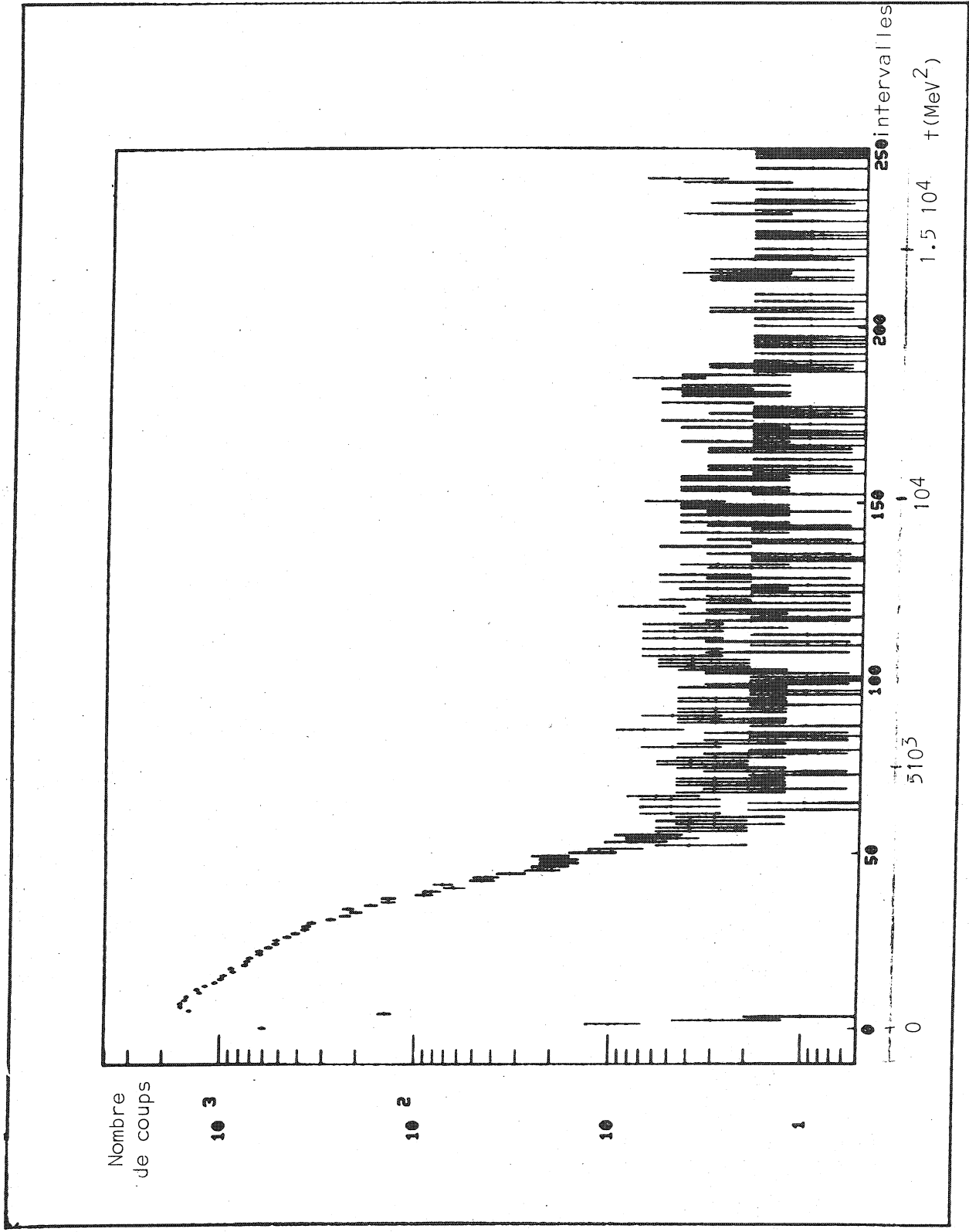


figure 18



DISTRIBUTION ANGULAIRE DES μ 7.95 GeV/c
 Figure 19

La méthode pour ne pas tenir compte de ces interactions est de reconstituer grossièrement les coordonnées du point d'interaction dans la cible. La figure 20 montre un histogramme a deux dimensions XF2-XF1 des événements qui ne satisfont pas les "contraintes cible".

Noter les événements correspondant à une interactions dans WF2, et le très faible bruit de fond qui indique l'absence d'illumination secondaire.

Les erreurs systématiques résultant des interactions hors de la cible sont donc :

- . réduites par le microprogramme d'acquisition
- . corrigées par la soustraction cible pleine - cible vide.

La principale source d'erreur reste la modification de la zone expérimentale (déplacement de compteurs, etc...) entre les prises de données pleines et cible vide. On peut la réduire considérablement :

- en exigeant des calibrations identiques
- en séparant ces prises de données par un laps de temps aussi bref que possible.

4 - PROBLEMES LIES A L'EMPLOI DU MICROPROCESSEUR.

4-1 Effets arithmétiques.

Ils apparaissent lors des multiplications qui sont faites avec une précision de 8 bits pour les opérandes et 16 bits pour le résultat. Montrons comment supprimer ces effets :

4-1-1 Calcul des angles

Les angles sont calculés sous la forme :

$$\theta_x = \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_{f_1} x_{f_1}$$

$$\theta'_x = \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{f_2} x_{f_2}$$

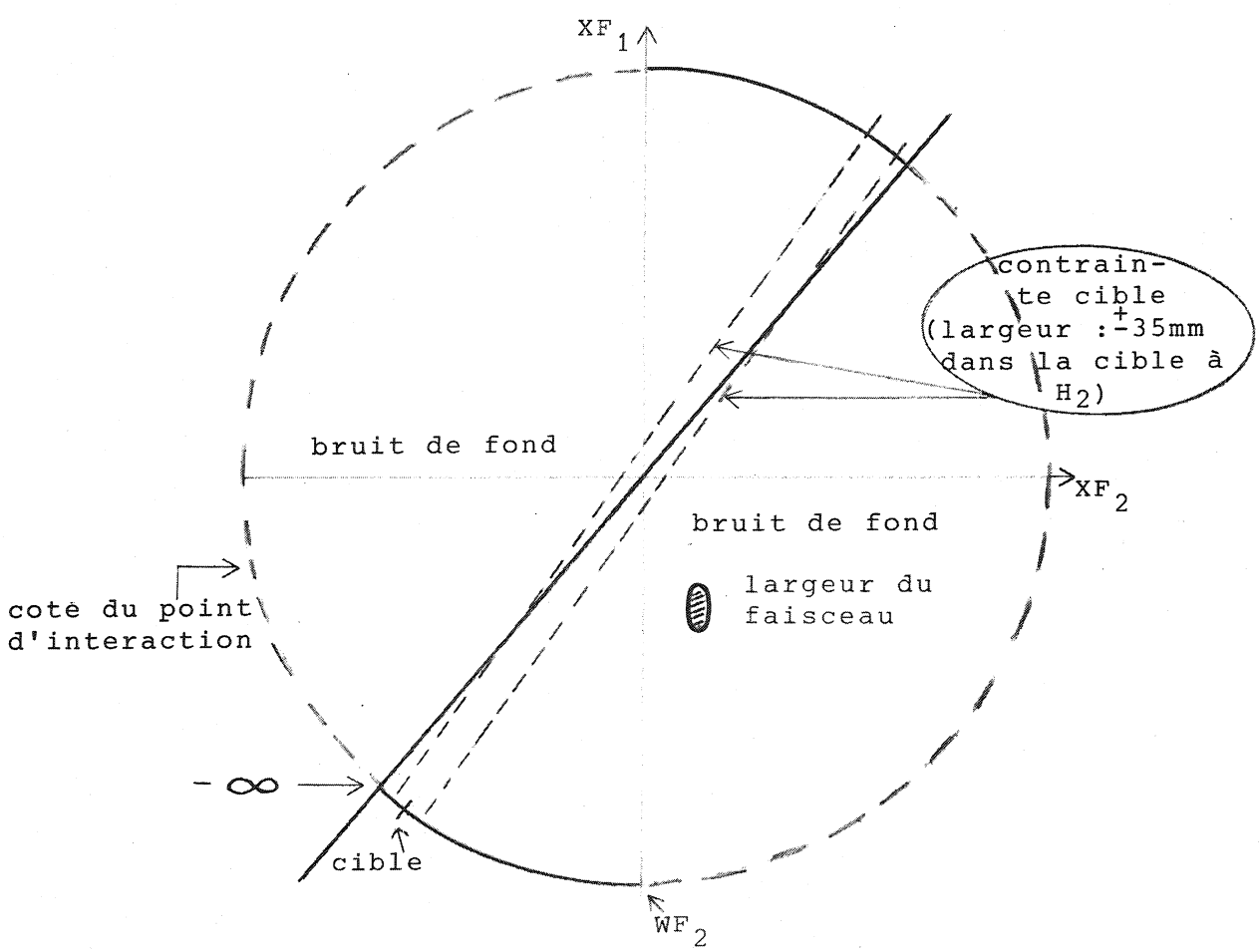
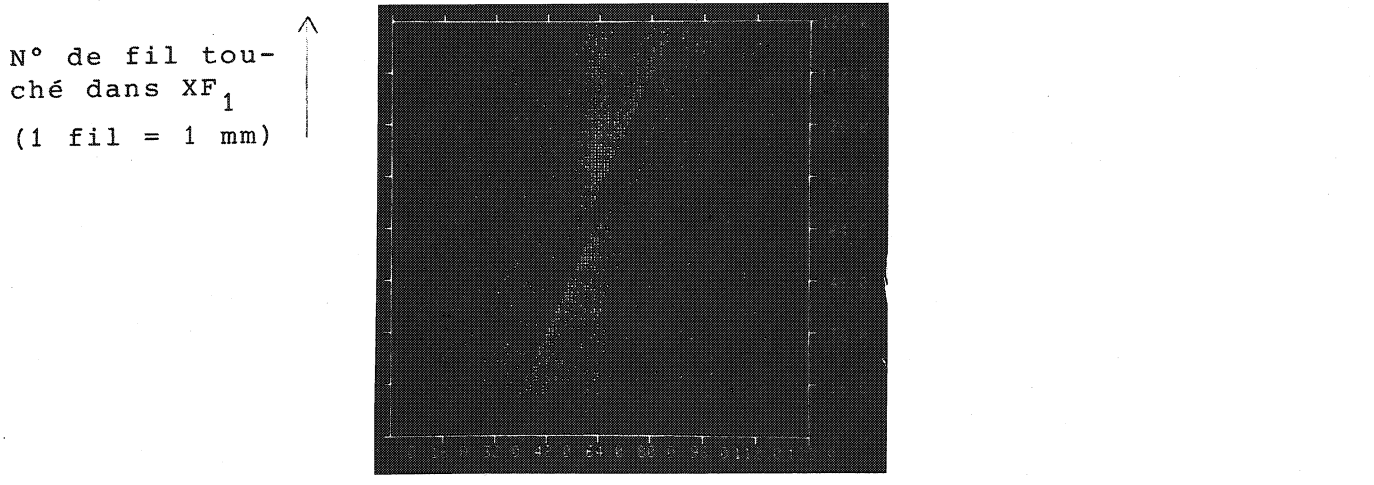


figure 20 : SCATTER-PLOT $XF_2 - XF_1$ DES EVENEMENTS HORS CONTRAINTE CIBLE.

La détermination des formules qui calculent ces angles obéit aux contraintes suivantes :

- a) les coefficients des numéros de fils touchés doivent être dans le rapport des distances des chambres
- b) les échelles des angles calculés avec WF1 et WF2 pour l'histogramme de $d\sigma/dt$ doivent être aussi proches que possible
- c) $|\alpha_i| \leq 128$, $|\beta_i| \leq 128$
- d) $\sum \alpha_i = 0$, $\sum \beta_i = 0$

Le programme "Titres" (voir partie A 3.1) trouve les meilleurs coefficients par une recherche systématique. La précision est de :

$$\begin{array}{l} 10^{-3} \text{ pour la contrainte (a) relative à WF1} \\ 2.10^{-3} \text{ " " (a) " à WF2} \\ 5.10^{-4} \text{ pour la contrainte (b)} \end{array}$$

4.1.2. Calcul de dx et dy

Pour des raisons de longueur des histogrammes réalisés lors de la calibration, nous avons attribué le coefficient 32 aux valeurs x_3 et y_3 :

$$\begin{aligned} dx &= 32.X_3 - I_x(dp) .x_2 - J_x (dp) \\ dy &= 32.Y_3 - I_y(dp) .y_2 - J_y (dp) \end{aligned}$$

I_x , I_y , J_x et J_y sont des constantes entières rangées dans la mémoire données .

Les coefficients I_x et I_y sont > 20 . Ils sont donc entachés d'une incertitude relative inférieure à 2.5%

Cet effet arithmétique n'est pas gênant car il ne représente que 25% de la largeur des distributions des variables dx et dy qui résulte de la taille de l'image et de la résolution finie en dp/p

4.2 Optimisation du flux de particules incidentes

Le flux adopté ($3 \cdot 10^5$ particules/seconde) résulte des considérations suivantes : (Voir figure 21)

* A très haute intensité ($20 \cdot 10^6$ particules/seconde) le critère de déclenchement t_1 , qui vaut 150 ns comme indiqué en partie A 2.6 provoque la chute du nombre de "sorties trigger".

* Cette limite est de toute façon bien trop élevée pour les performances des chambres à fils. Si on se fixe comme limite une inefficacité maximale de 30/00, on est amené à réduire le flux à

- 4.5 10^5 particules/seconde pour WF1
- 3. 10^5 particules/seconde pour WF2.

* Le micro-ordinateur doit travailler à saturation : cela signifie que pendant le traitement d'un événement, l'événement suivant a le temps d'arriver.

Ce temps de traitement dépend du type d'événement. Il faut approximativement :

- 3.6 μ s pour les événements non détectés par le cycle court et complets dans les plans faisceau (58% du total)
- 1 μ s pour les événements incomplets dans les plans faisceau (23% du total)
- 9 μ s pour les événements de multiplicité anormale dans les plans faisceau (8% du total)
- 14 μ s pour les événements de l'échantillon de faisceau (7% du total)
- 45 μ s pour les événements diffusés (4% du total).

Le flux mentionné de $3 \cdot 10^5$ particules/seconde, au delà duquel WF₂ ne garde pas une bonne efficacité, semble convenir pour ces temps de calcul.

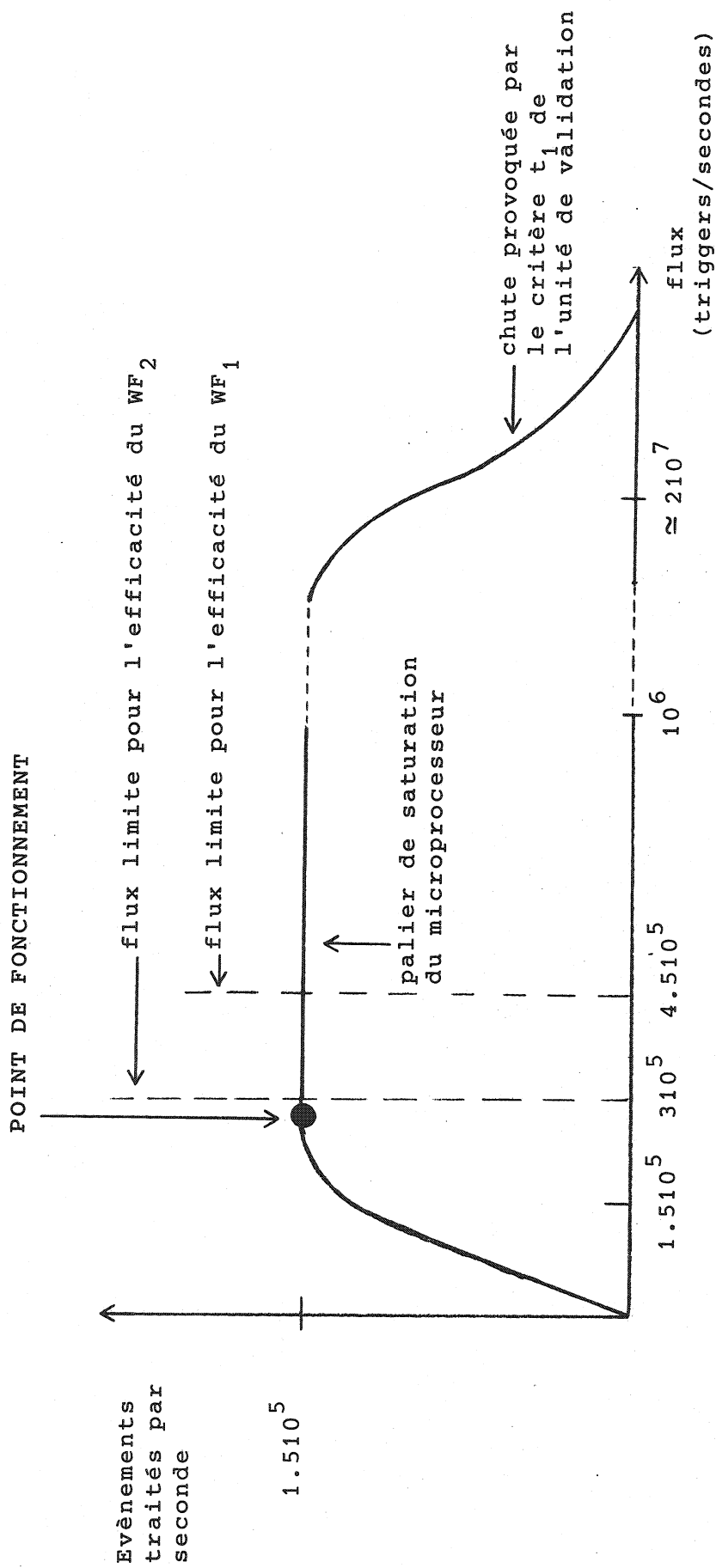


figure21: optimisation du flux de particules incidentes

La figure 21 illustre ces différentes contraintes.

Les ordres de grandeurs cités donnent une moyenne d'environ $6 \mu\text{s}$ par événement, soit une vitesse théorique d'acquisition de $1.7 \cdot 10^5$ événements par seconde.

La vitesse réelle mesurée vaut $1.53 \cdot 10^5$ événements/ par seconde.

Ceci montre que le micro-ordinateur travaille à peu près à saturation

La figure 22 montre la distribution en temps des "autorisation de codage" envoyées par le micro-ordinateur.

Noter :

- la discrétisation qui permet une mesure exacte du cycle de base de l'horloge interne du micro-ordinateur.
- les différents rejets indiqués sur la légende.

4.3 Optimisation des programmes en fonction des temps de calcul.

C'est un problème dont l'étude théorique est très délicate en raison du nombre élevé de situations possibles. Je me limiterai à deux exemples qui illustrent bien sa complexité.

4-3-1 Choix du meilleur taux d'échantillonnage

Le problème est le suivant : la minimisation des erreurs statistiques dans le calcul de la section efficace totale suppose l'équilibrage des statistiques du nombre d'incidents et du nombre de diffusés.

On peut schématiser le déroulement du programme de la façon suivante :

Appelons $1/N$ le taux d'échantillonnage.

Une particule sur N sort du cycle court et provoque l'exécution du cycle mi-long.

Soit t_1 le temps moyen de l'étude d'un tel événement.

Parmi les $1 - 1/N$ événements restants, appelons f la fraction de diffusés détectés par le cycle court et t_2 le temps moyen de leur traitement." Ce temps, légèrement supérieur au temps du cycle court, est inférieur à t_1 . Soit $\Delta t = t_1 - t_2$.

Le microprocesseur travaille à saturation : il n'attend presque jamais le signal "codage fini" (voir 2.7 partie A). On peut donc écrire : $N_1 * t_1 + N_2 * t_2 = C$, où N_1 et N_2 sont les nombres d'événements dans l'échantillon et hors échantillon. On cherche à minimiser la grandeur $1/N_1 + 1/N_2 * f$.

$$\text{Les calculs donnent } N = \sqrt{\frac{\Delta t}{f t_2}}$$

Ils supposent les approximations suivantes :

- On peut négliger la différence des taux de rejets faisceau entre les événements de l'échantillonnage et les diffusés.
- On peut ne pas tenir compte des différences de temps relatifs nécessaires aux divers rejets.
- Les événements qui provoquent les sorties cycle court sans correspondre à une vraie diffusion sont rapidement rejetés.

Une approximation réaliste faite avant l'étude expérimentale (voir ci-dessous) prenait pour valeurs :

$$f = 3.10^{-2} \text{ cible pleine}$$

$$t_1 = 15 \text{ microsecondes}$$

$$t_2 = 5 \text{ microsecondes}$$

et donnait donc N (cible pleine) = 9.2

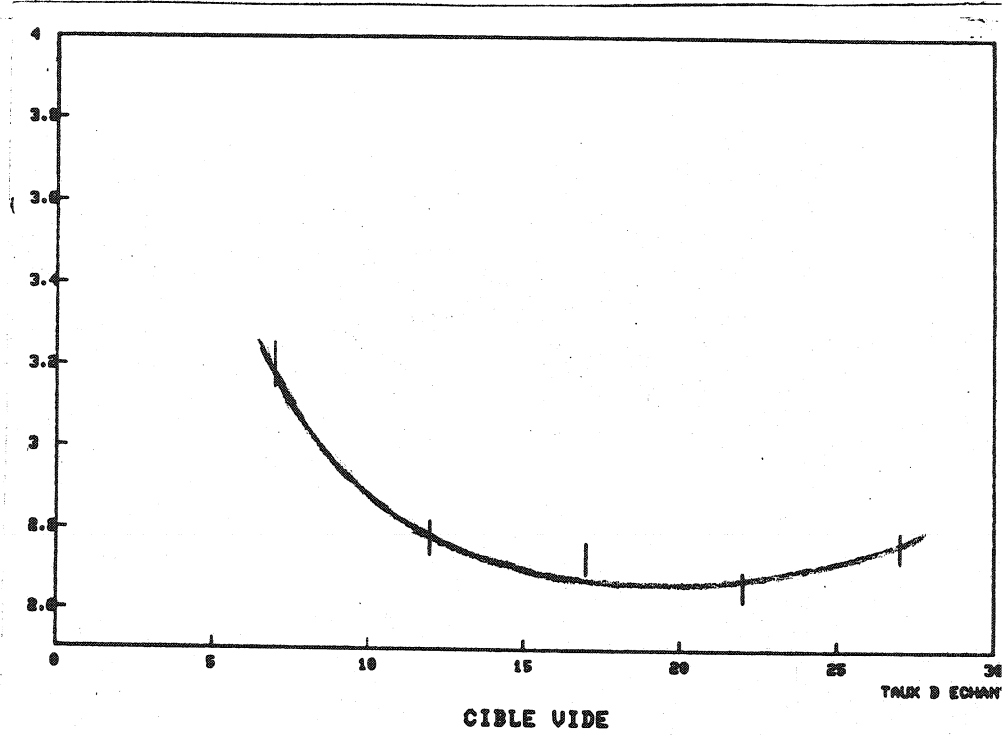
L'étude expérimentale est très simple : elle consiste à mesurer la grandeur $1/N_1 + 1/N_2 * f$ en fonction de divers taux d'échantillonnage. La figure 23 montre les résultats. La différence avec le calcul théorique provient du nombre élevé de sorties cycle court (15%) devant le nombre réel de diffusions: 3%.

Nous avons adopté les valeurs suivantes :

$$N = 12 \text{ pour la cible pleine}$$

$$N = 20 \text{ pour la cible vide}$$

précision
statistique
(normalisation
arbitraire)



précision
statistique
(normalisation
arbitraire)

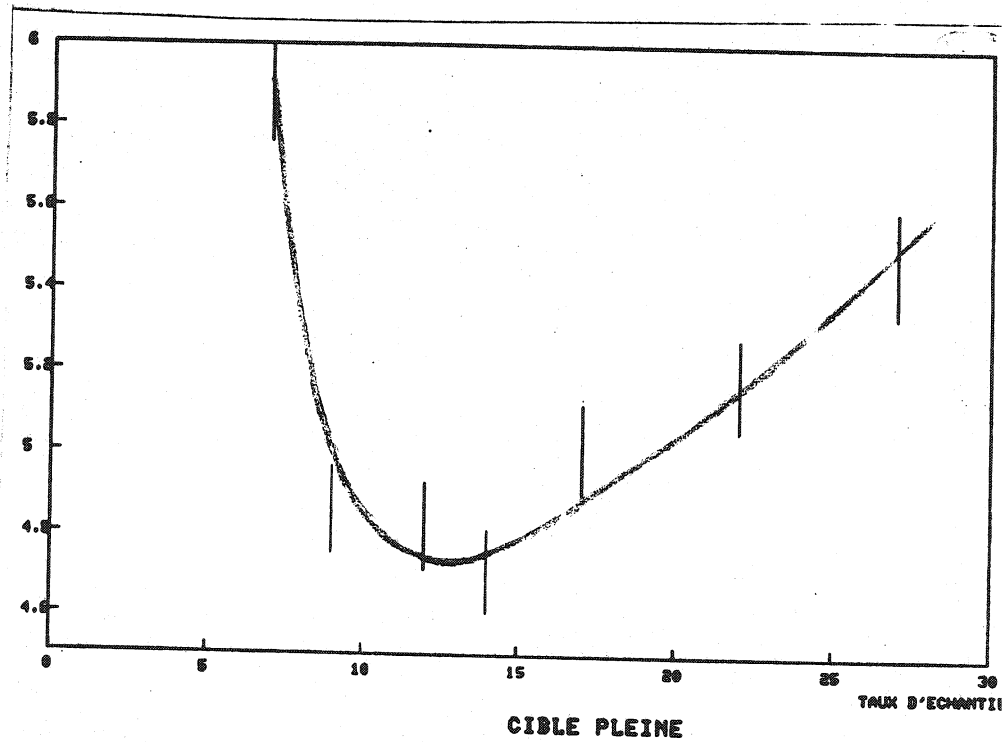


figure 23 : optimisation du taux
d'échantillonnage

4.3.2. Ordre des rejets faisceau

L'analyse hors-ligne de la partie faisceau des événements a fait apparaître un grand nombre (8%) de digitisations parasites dans les chambres w2 et w3. 1% de ces événements satisfaisaient les coupures faisceau et apparaissaient "diffusés". Afin de ne pas retarder l'exécution du cycle long par la recherche des combinaisons x2, x3, xf1 et y2, y3, yf1 à l'intérieur de la coupure angulaire, nous avons décidé de rejeter ces événements dès l'exécution du cycle mi-long. Le problème posé est de déterminer l'ordre des coupures qui sera le plus rapide lors de l'exécution.

Ces coupures sont au nombre de 6 : dx, dy, x2 simple, x3 simple, y2 simple, y3 simple. Grâce au fichier d'événements pathologiques conservés en CDC 6600, il suffit de simuler les calculs du microprocesseur et de déterminer les coupures les plus efficaces et les plus brèves.

A cet impératif s'ajoute celui de la microprogrammation. La séquence imposée de lecture des divers plans de chambres favorise en effet quelques enchaînements d'instructions.

L'ordre retenu est : y2 simple, y3 simple, dx, dy.

Il n'est pas utile de vérifier la multiplicité des plans x2 et x3; ce qui allongerait le cycle mi-long sans pour cela améliorer la sélection d'événements.

5 - CONTROLES EFFECTUES AU DEBUT DE CHAQUE PRISE DE DONNEES : PROCEDURE DE CALIBRATION

5-1 Nécessité de cette calibration

La méthode d'accumulation d'histogrammes d'événements déjà traités suppose la connaissance parfaite au moment de la prise de données de toutes les "constantes" de l'expérience qui varient en fait dans le temps.

Il s'agit :

- de la géométrie des diverses chambres
- de la position exacte du faisceau
- des effets de ciblé vide et des coupures angulaires qui en résultent.
- des caractéristiques des chambres et du détecteurs de muons.
- enfin de la position exacte des points d'interaction dans la cible.

Au début de chaque prise de données, nous calibrons le faisceau en mesurant ces grandeurs et en vérifiant qu'elles sont compatibles avec les prises de données précédentes. Ces valeurs sont conservées tout au long de l'acquisition et l'opérateur est prévenu si une d'entre elles dérive. (Voir figure 25)

5.2 Déroulement de la calibration.

Nous avons écrit un programme BAMBI interactif qui passe en revue les points énumérés ci-dessus : à chaque étape, il demande à l'opérateur s'il est satisfait du résultat. Si une grandeur s'écarte trop de la valeur standard, il est possible de suspendre le programme, de détecter la cause de l'écart, et de revenir en arrière dans le programme.

La figure 24 montre des photos effectivement prises lors d'une telle calibration qui dure environ 1/2 heure.

1/ Mesure de la diffusion multiple

On vérifie que les histogrammes des angles de diffusion projetés θ_x et θ_y sont centrés sur zéro. De plus, en fonction de l'impulsion à laquelle on travaille, et connaissant la valeur de la diffusion multiple introduite par la cible vide, le programme vérifie que les variances $\langle \theta_x^{**2} \rangle$ et $\langle \theta_y^{**2} \rangle$ mesurées sont celles attendues.

La même mesure est alors faite pour les angles mesurés avec la chambre wf2.

La stabilité de la position des chambres avant est meilleure que 50 μm .

2/ Calibration de la distribution en impulsion

L'histogramme de l'impulsion des événements échantillonnés apparaît sur l'écran. Il est alors possible de le recentrer en déplaçant légèrement les mâchoires du collimateur c3. On vérifie en même temps que la distribution obtenue est à peu près plate, ce qui permet d'assurer un bon recouvrement des intervalles en dp/p étudiés par deux prises de données consécutives.

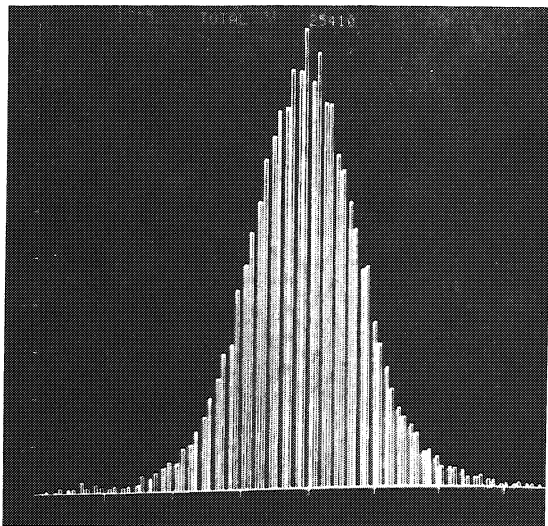
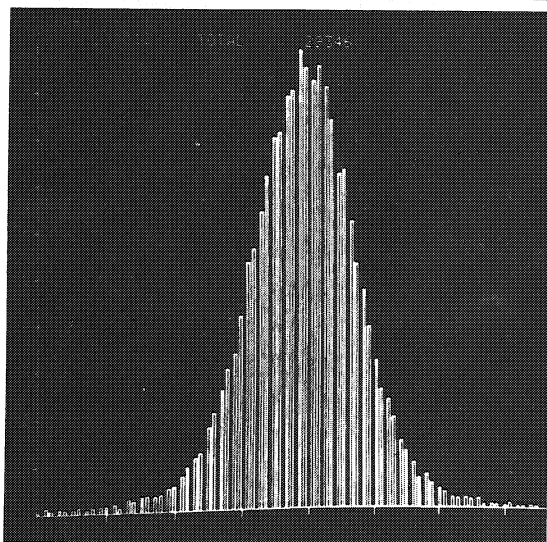
3/ Calibration des contraintes d'espace de phase "dx" et "dy".

C'est la partie la plus longue de la calibration. Pour chaque intervalle en impulsion, le micro-ordinateur calcule le scatter-plot $x_2 - x_3$ (respectivement $y_2 - y_3$) et le mini-ordinateur fitte les coefficients a et b de la droite $x_3 = a(dp) * x_2 + b$. Il détermine aussi la largeur de la distribution $x_3^{\text{mesuré}} - x_3^{\text{fitté}}$. Puis il donne au micro-ordinateur l'ordre d'histogrammer cette distribution à grande échelle. Selon l'appréciation de l'opérateur, l'intervalle suivant est étudié où les calculs recommencent.

4/ Position des images

A la fin de cette calibration, le mini dessine sur l'écran le lieu des images horizontales et verticales, ce qui permet de voir directement :

- 1 - si l'on est bien centré en x (courants corrects)
- 2 - si le faisceau est effectivement compensé
- 3 - si dans le plan y les images restent sur l'axe du faisceau. Il peut se produire un décentrage si
 - a - le faisceau de protons est mal centré sur la cible primaire.
 - b - un quadrupole s'est déplacé.
- 4 - enfin, et c'est le test le plus sensible, la mesure de la position longitudinale des images nous renseignent sur l'ajustement des courants qui traversent les différents quadrupoles.

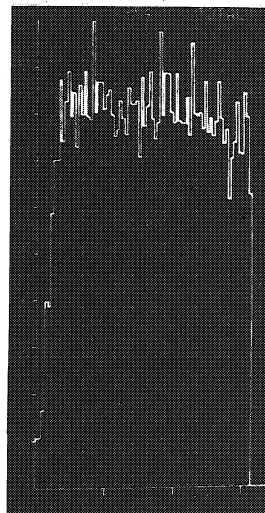
θ_x  θ_y 1) HISTOGRAMMES DE DIFFUSION MULTIPLE θ_x et θ_y

On contrôle :

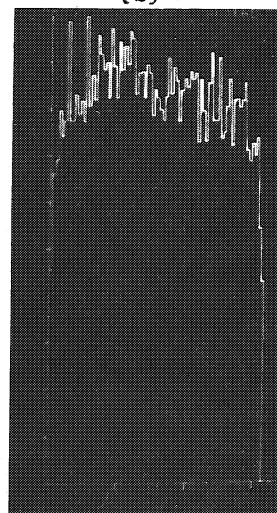
- la largeur des deux histogrammes
- la position des centres

On opère alors de même pour les angles calculés avec WF_2 2) DISTRIBUTION EN IMPULSION(a) histogramme dp/p . L'histogramme n'est pas centré.

(a)



(b)



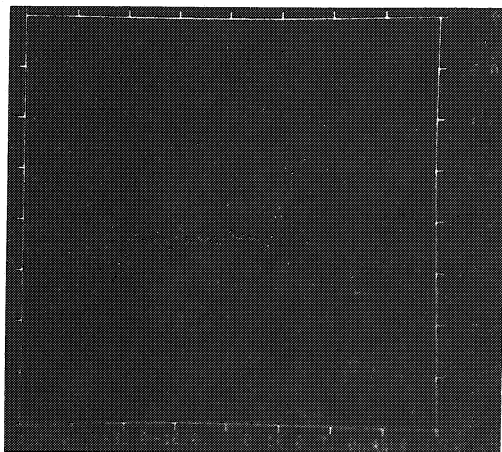
→ 1%

(b) On déplace le collimateur C_3 de façon à le centrer.

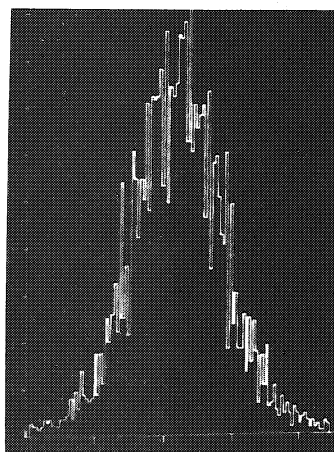
figure 24 : DEROULEMENT D'UNE CALIBRATION

3) CONTRAINTES D'ESPACE DE PHASE

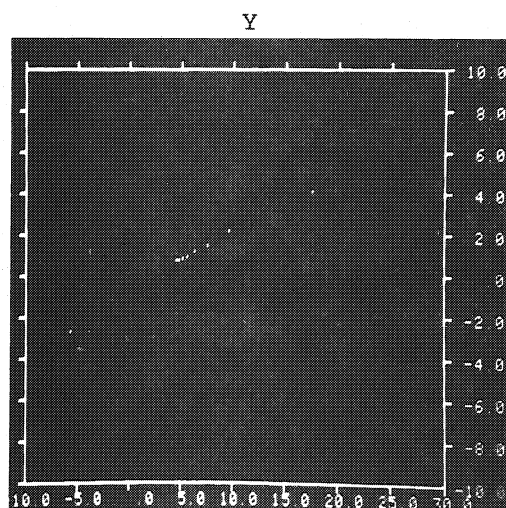
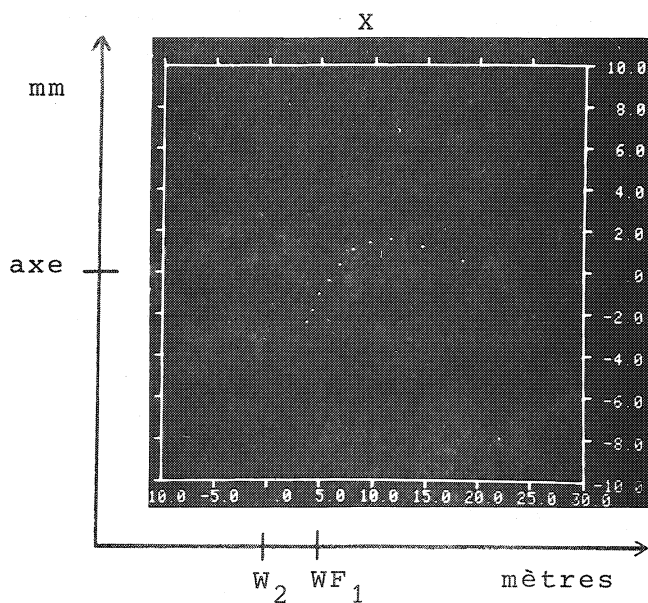
- Pour les 10 intervalles en impulsion
- En x et en y

1° le micro remplit le scatter plot ($X_2 DX$) en utilisant les constantes provenant de la calibration précédente. Le mini calcule les nouvelles constantes.2° Le micro remplit l'histogramme à grande échelle de DX .

(1)



(2)



4) POSITION DES IMAGES

X : le faisceau est bien composé

Y : la droite n'est pas horizontale.

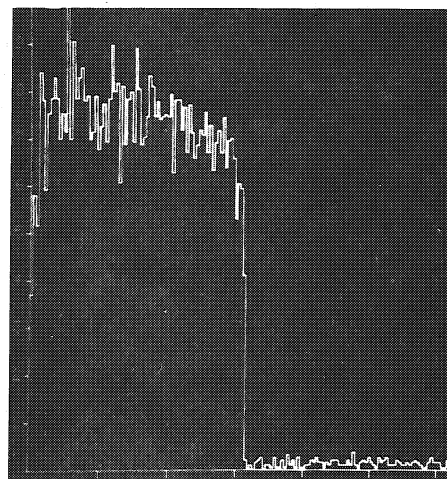
le faisceau primaire n'est pas centré.

Il faut prévenir la salle de contrôle.

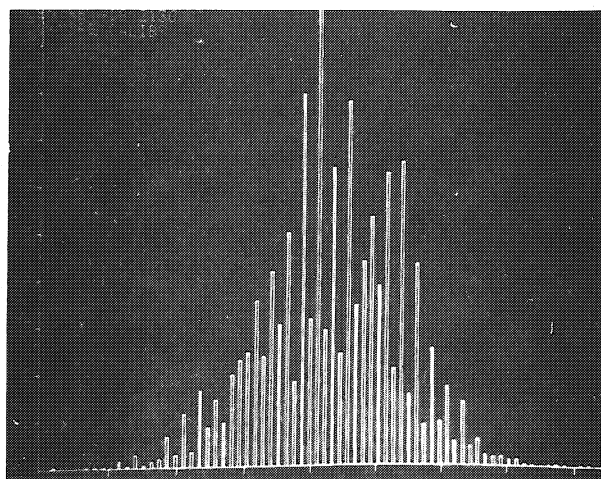
5) HISTOGRAMMES RELATIFS π^- et μ

On vérifie - le fonctionnement du détecteur de μ

- le taux $\frac{\mu}{\pi}$



$\pi^- \mu$



1cm

6) CONTRAINTES DE CIBLE

On vérifie :

- la largeur des distributions en x et en y
- le centre de ces distributions
- l'absence de sources secondaires.

5/ Mesure des muons

Le micro calcule l'histogramme en impulsion des muons et des π satisfaisant les contraintes dx et dy nouvellement déterminées. On vérifie alors le fonctionnement correct du détecteur de μ .

6/ Contraintes de cible

Le mini vérifie l'alignement des chambres par rapport à la cible; la méthode est la suivante :

Le fait que les particules diffusées proviennent de la cible s'écrit

$$x_{wf1} = a * x_{wf2} + b$$

$$y_{wf1} = a * y_{wf2} + c$$

La position et la largeur des histogrammes $x_{f_1}^{\text{mesuré}} - x_{f_1}^{\text{fitté}}$ et $y_{f_1}^{\text{mesuré}} - y_{f_1}^{\text{fitté}}$ renseignent sur la position moyenne et la largeur du faisceau dans la cible qui sont indiquées à l'opérateur. On contrôle de plus l'absence de sources d'illumination secondaire.

6 - CONTROLES EFFECTUES PENDANT L'ACQUISITION DE DONNEES.

6-0 Introduction.

Les programmes d'acquisition mini/micro représentent la conclusion des études préparatoires qui se sont déroulées pendant 1 an. C'est pourquoi j'en donnerai une description assez détaillée. Les runs se déroulent en 3 phases : la phase de calibration décrite plus haut, la phase d'accumulation d'histogrammes, et la phase de copie des événements pathologiques. Le taux de ces événements complexes étant assez élevé, nous ne les écrivons sur bande que pendant une petite partie du temps d'acquisition. Le reste du temps, nous nous contentons de contrôler et d'enregistrer le nombre des événements correspondant à chaque catégorie de pathologique (voir figure 9).

6.1 Programme du micro-ordinateur

Le programme est celui décrit sur les figures 8 et 9. La vitesse mesurée du micro-ordinateur est d'environ 47 000 événements par burst (300 millisecondes), soit 3 300 échantillons et 1 600 entrées cycle long.

La précision statistique de .3% est ainsi obtenue en 15 heures.

6.2 Le programme du mini-ordinateur

Le rôle du mini-ordinateur, outre le traitement des interruptions venant du micro et la mise sur bande des histogrammes et des événements intéressants, est d'effectuer un certain nombre de contrôles qui permettent de détecter immédiatement la moindre anomalie du dispositif. On peut classer ces contrôles en 3 catégories : les vérifications vitales, la protection contre les divers dérivés et l'information à la demande de l'utilisateur.

6-2-1 Les vérifications vitales

L'organigramme des différents programmes présentés en 3.2 partie A montrent que certaines égalités sont toujours vérifiées, indépendamment de l'état des divers détecteurs.

Ce sont :

- * égalités des échelles de comptage (mentionnées en 2.7 partie A)
- * égalités internes-externes : le nombre d'événements vus par le microprocesseur doit correspondre au nombre d'événements vus par les échelles de comptage; le pourcentage de "status y" (voir 2.4 partie A) comptés par les échelles doit être égal à celui de l'échantillon de faisceau déterminé par le microprocesseur.
- * égalités internes : Les calculs du micro-ordinateur sont volontairement redondants, ce qui permet de vérifier plusieurs relations entre les différents compteurs et contenus d'histogrammes. Nous vérifions ainsi le bon fonctionnement du micro-ordinateur.

Ces contrôles sont effectués à chaque cycle de N bursts lors de la copie sur bande des valeurs des échelles ainsi que de la mémoire données du micro-ordinateur.

Il est enfin un contrôle vital effectué à la demande du micro-ordinateur : celui du nombre de particules incidentes; le micro interrompt en effet le mini si aucune particule ne se présente après un laps de temps donné (environ 1 milliseconde). Dans ce cas le mini regarde les échelles de comptage et sait ainsi s'il s'agit d'une panne de la chaîne de lecture ou de l'accélérateur.

6-2-2 Protections contre les dérives.

Nous contrôlons les 10 paramètres les plus représentatifs que nous mesurons à la fin de chaque cycle de N bursts et que nous représentons graphiquement comme le montre la figure 25.

L'opérateur voit ainsi se dérouler l'histoire de l'expérience et vérifie aisément la stabilité de ces grandeurs.

Ces grandeurs sont :

- * le nombre d'incidents : une augmentation trop importante risque de modifier l'efficacité des détecteurs. Une diminution indique un fonctionnement défectueux de l'accélérateur ou de l'éjection lente.
- * le pourcentage d'événements de plans faisceau incomplet. Une augmentation indique la dégradation des "chambres faisceau"
- * l'inefficacité de la chambre wf1. Cette chambre est fondamentale pour la mesure. Nous contrôlons le nombre d'événements "faisceau" pour lesquels un plan de wf1 est absent. (voir 2.3)
- * le nombre de rejets "dx" et "dy". Il indique la stabilité géométrique et magnétique des aimants et quadrupoles et le bon centrage du faisceau de protons sur la cible d'aluminium.
- * l'efficacité du détecteur de muons (voir 2.5 partie A) : elle doit rester constamment supérieure à 99% et stable à quelques 10^{-4} . On détecte ainsi la variation de la position des briques de fer du détecteur de μ .

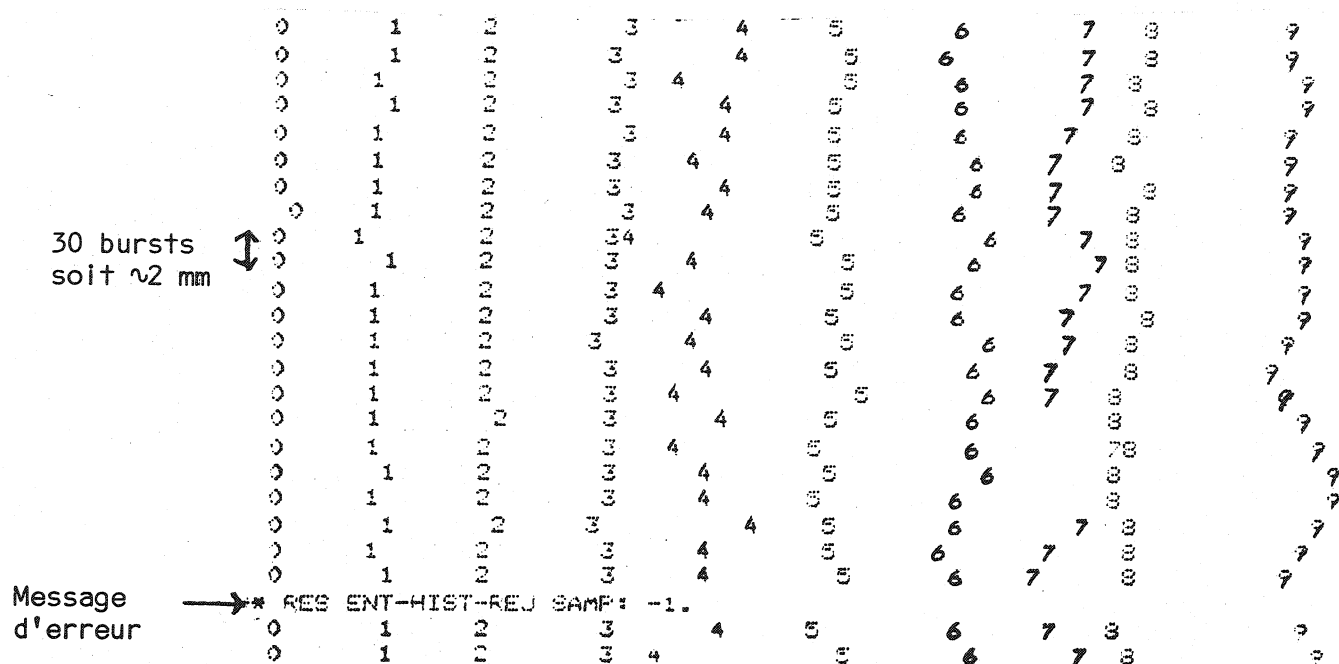


figure 25 : UN EXEMPLE D'ENREGISTREMENT DES GRANDEURS
CARACTERISTIQUES D'UNE EXPERIENCE.

Index	Variable	Valeur moyenne	Pas (1 caractère :)
0	Pourcentage de states Y	21.06 %	.5%
1	Incidents/bursts	87000	7500 ..
2	Inefficacités $Wf_{1,x} + Wf_{1,y}$	$2.50 \cdot 10^{-3}$	$1.5 \cdot 10^{-4}$
3	Rejets $dx + dy$ / echantillon	12.4 %	.25%
4	Efficacité du détecteur de μ	98.6 %	.1%
5	Taux de $\underline{\mu}$ dans le cycle long	51.4 %	2%
6	Pourcentage de diffusés hors acceptance	2.73 %	.03%
7	Pression bulbe (en un. arbit.)	37.0	2
8	Evénements pathologiques	3.44 %	.01%
9	Pression cible (en un. arbit.)	78.1	0.2

- * le pourcentage d'événements hors acceptation : il contrôle la stabilité de la quantité de matière traversée dans la région de la cible d'hydrogène. Noter la très bonne précision de cette mesure instantanée de σ_{tot} .
- * le pourcentage d'événements pathologiques : liés aux contraintes de cible et à l'efficacité des chambres avant, il doit rester constant pour justifier la méthode de traitement des événements pathologiques.
- * la pression du corps de cible et du "bulbe" (voir 2.1 partie A) : elles permettent de contrôler le bon fonctionnement du dispositif de régulation.

6-2-3 -Information à la demande de l'utilisateur.

Comme dans tout programme d'acquisition, l'opérateur peut interroger le mini-ordinateur en appuyant sur les clefs du tableau de commande et voir apparaître sur l'écran les informations physiques qui indiquent l'état de l'acquisition. Il s'agit :

- des statistiques d'échelles et compteurs cumulées depuis le début de l'acquisition.
- des divers histogrammes remplis par le micro-ordinateur.
- des premières estimations que l'on peut faire (pente la section efficace différentielle à petit angle...)

Ces informations sont de plus communiquées à la fin de chaque prise de données.

6.3 Programme de traitement hors-ligne

Les bandes enregistrées grâce au mini-ordinateur sont dépouillées comme suit :

- d'abord un contrôle similaire à celui effectué en ligne est de nouveau pratiqué. Ceci permet de contrôler la bonne mise sur bande des histogrammes et événements pathologiques.

- puis le programme d'analyse calcule les sommes des différents histogrammes et des échelles de comptage.
Il imprime les pourcentages obtenus de façon à rappeler les organigrammes présentés figures 8 et 9.
- les histogrammes calculés sont alors adjoints au fichier général d'histogrammes; ceci permet de faire des calculs sur des histogrammes accumulés lors de prises de données différentes (comparaison, différence cible pleine - cible vide ...)
- on vérifie que les événements pathologiques ont la structure attendue et on les copie sur disque pour en conserver des fichiers permanents.

Temps de calcul :

La méthode employée nécessite des temps de calcul très courts : environ 10 secondes de CDC 7600 pour traiter les histogrammes et les événements pathologiques correspondant à 10^8 événements étudiés par le micro-ordinateur. Un dispositif classique exigerait pour le même nombre d'événements environ 50 bandes magnétiques et 20 heures de calcul.

D - ANALYSE DES RESULTATS.

I - DES DONNEES BRUTES AUX GRANDEURS PHYSIQUES

1-1 Introduction

Nous disposons :

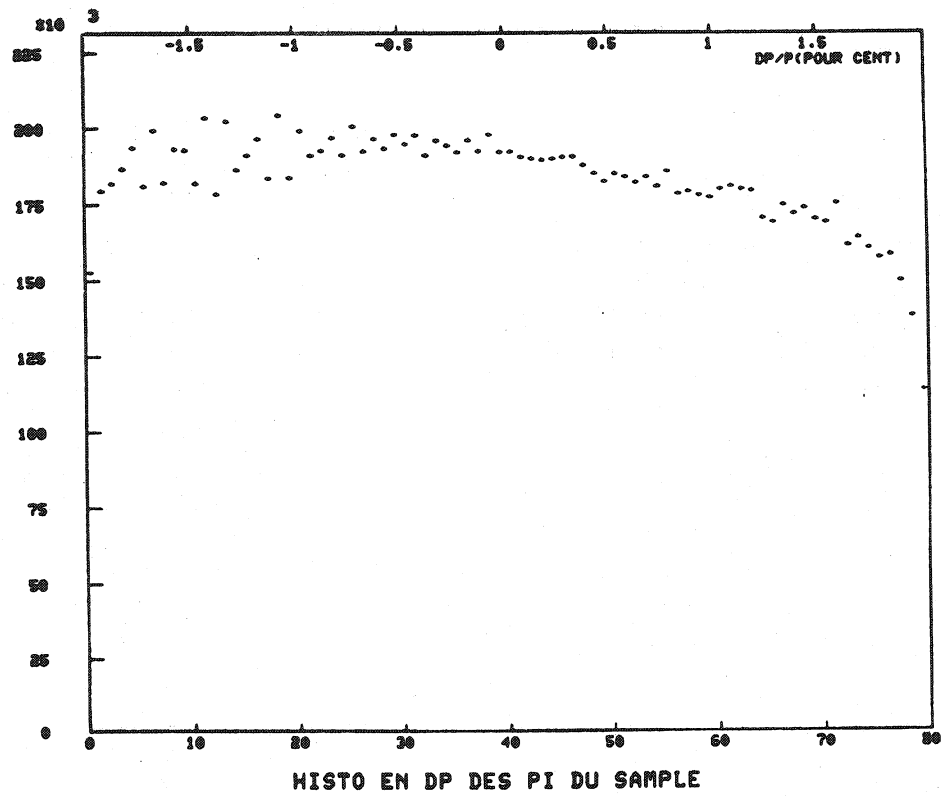
- des histogrammes en impulsion des événements reconnus comme
 - π^- de l'échantillon de faisceau
 - μ^- de l'échantillon de faisceau
 - π^- diffusés hors acceptance
 - π^- apparemment diffusés mais "récupérés" comme faisceau
 - π^- diffusés dans l'acceptance hors de la coupure coulombienne (voir 1.2.2-partie D)
 - π^- diffusés dans l'acceptance et dans la coupure coulombienne.

- des histogrammes en θ^2
 - des μ^- du cycle long
 - des π^- . Pour ces événements, le microprocesseur remplit deux histogrammes d'échelles différentes selon que l'angle de diffusion est supérieur ou inférieur à la coupure coulombienne.

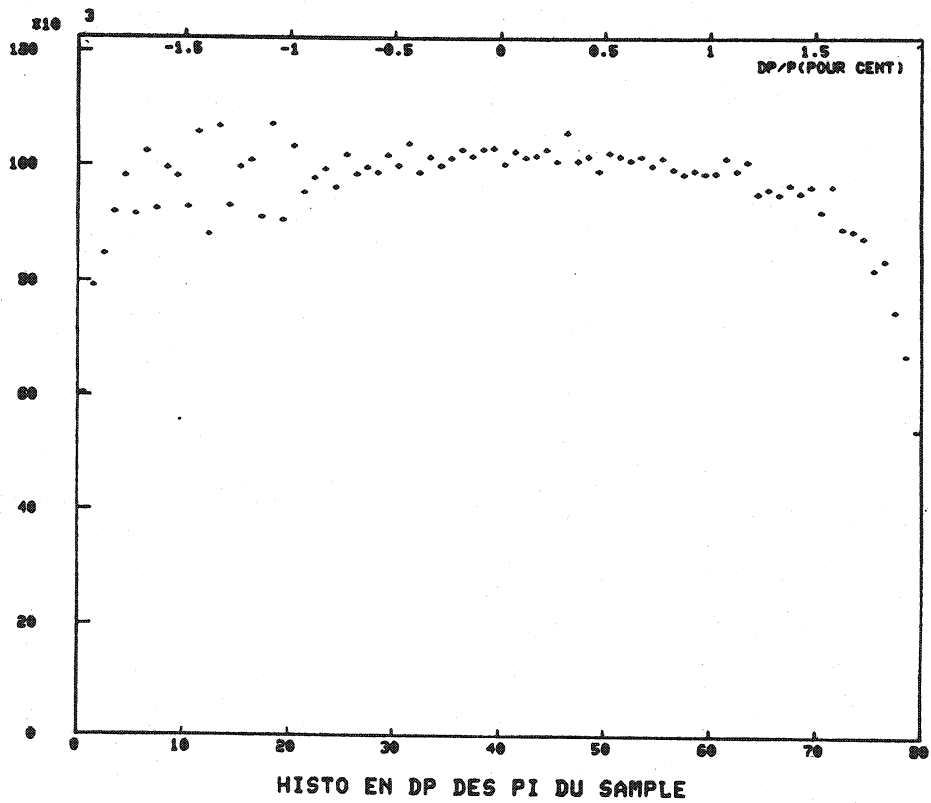
La figure 26 montre ces histogrammes tels qu'ils apparaissent à l'utilisateur sur la console du mini-ordinateur

Montrons comment on peut à partir de ces données accéder aux grandeurs qui nous intéressent :

- la variation de la section efficace totale dans un intervalle de $\pm 2\%$ en impulsion.
- la valeur absolue de σ_{tot}
- la valeur de $\frac{d\sigma}{dt}$ à petit angle pour le calcul de la partie réelle de l'amplitude de diffusion.

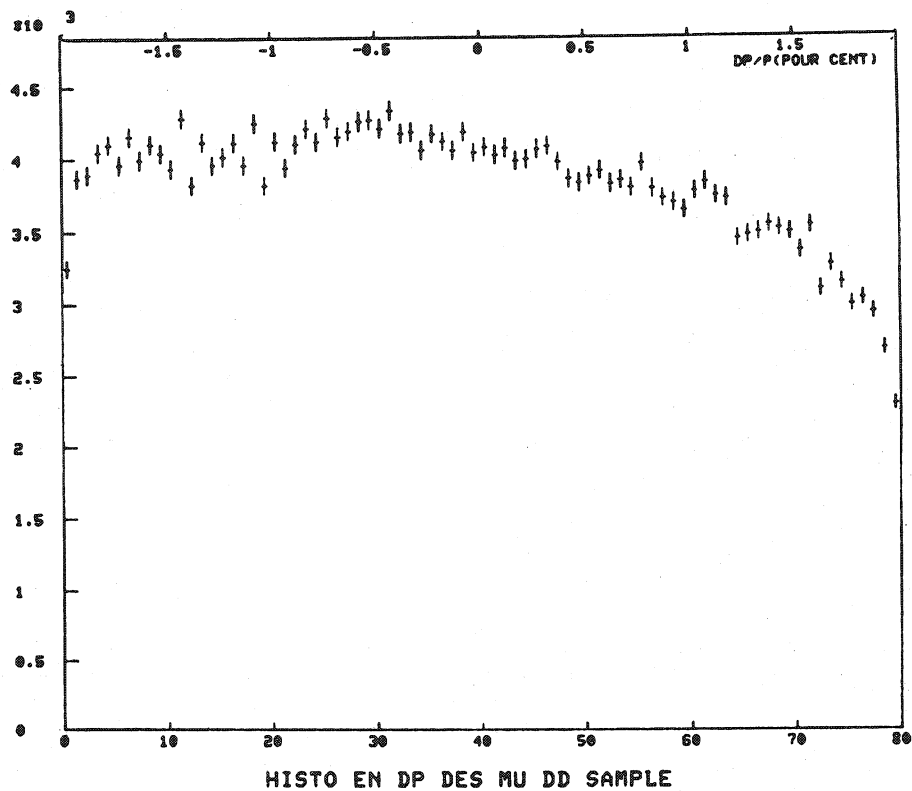


cible pleine

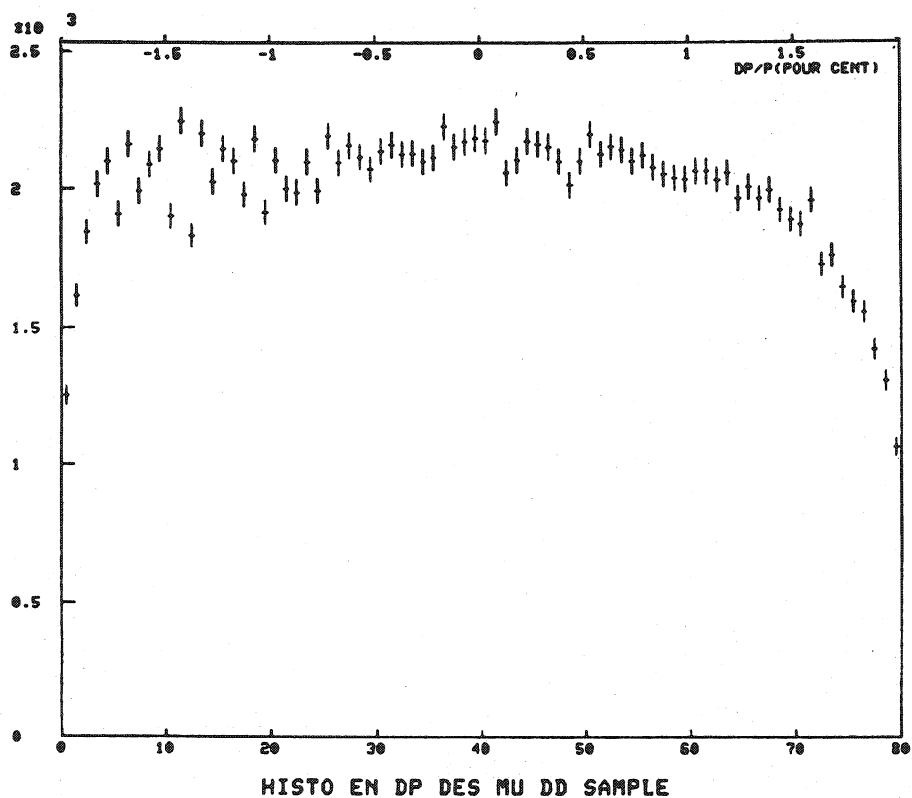


cible vide

Figure 26 - HISTOGRAMMES BRUTS REMPLIS PAR LE MICROPROCESSEUR
a. π^- de l'échantillon de faisceau

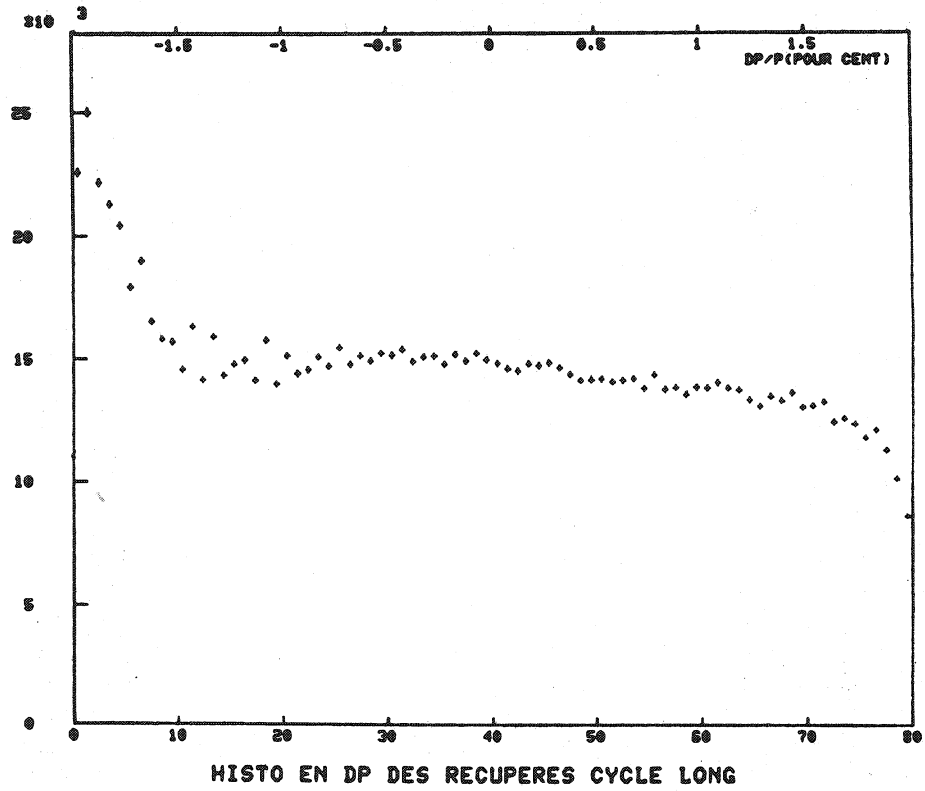


cible pleine

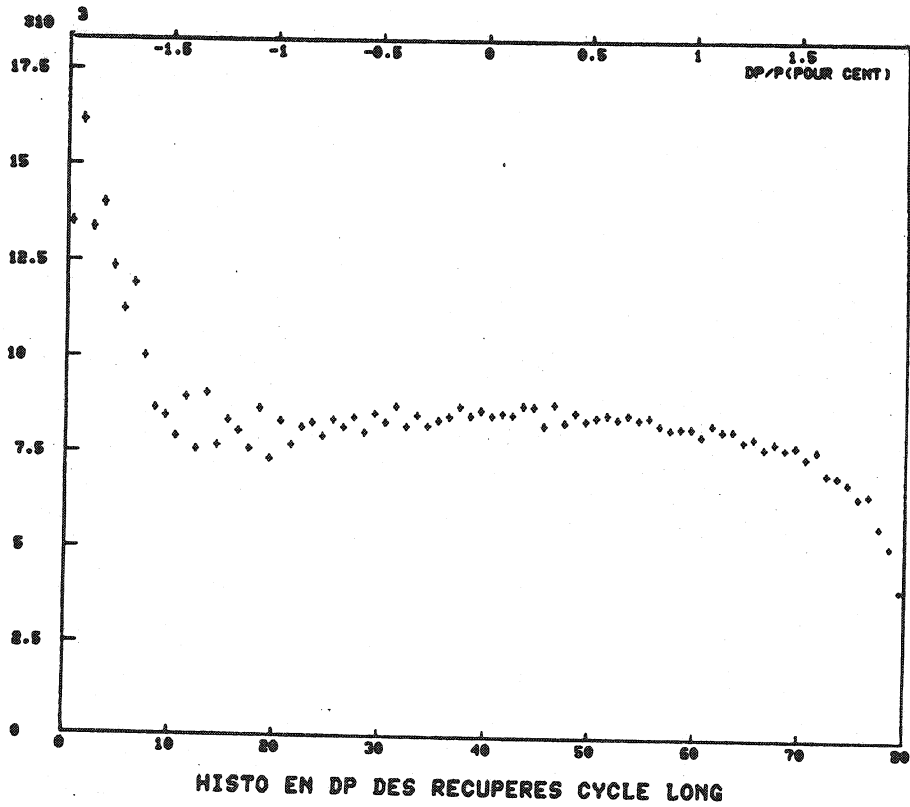


cible vide

b - μ^- de l'échantillon de faisceau

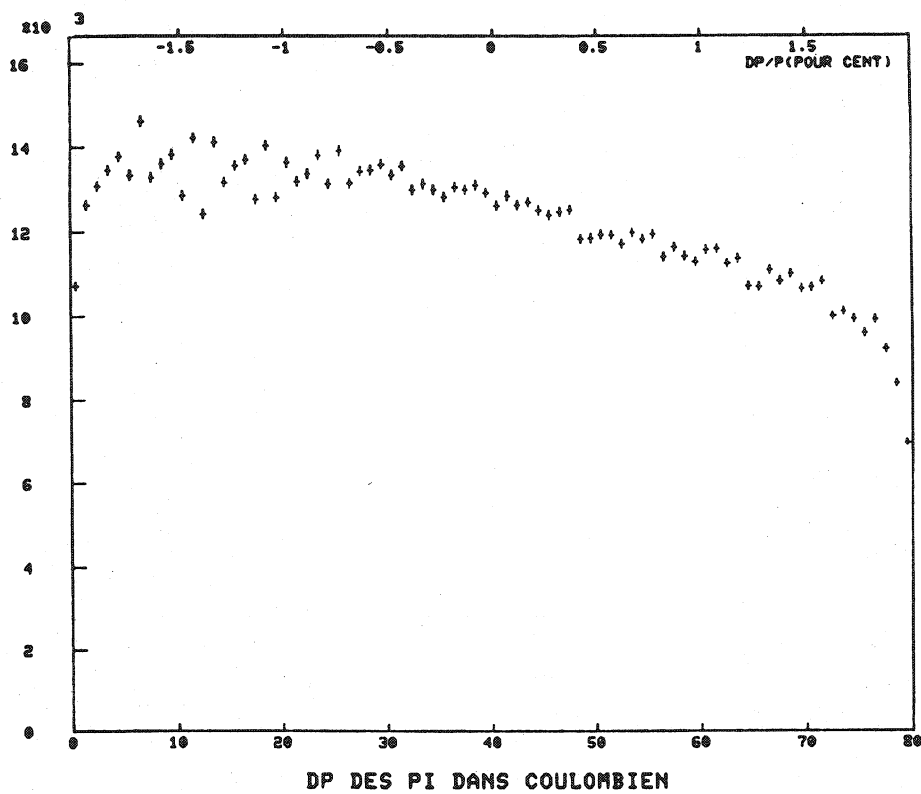


cible pleine

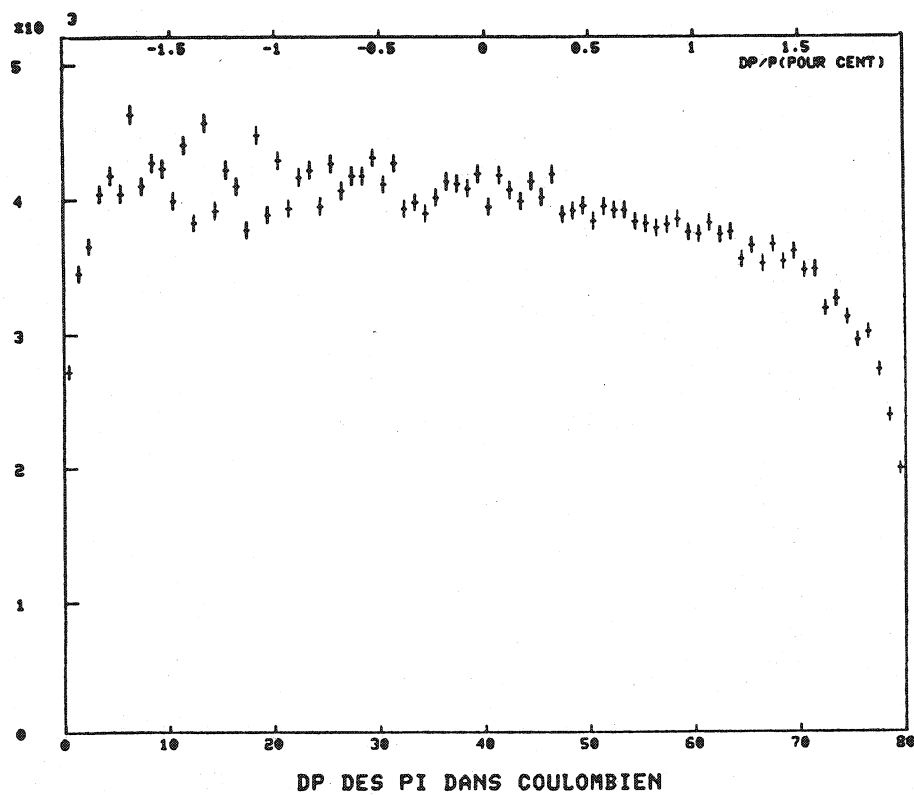


cible vide

c. dp/p des "récupérés faisceau"

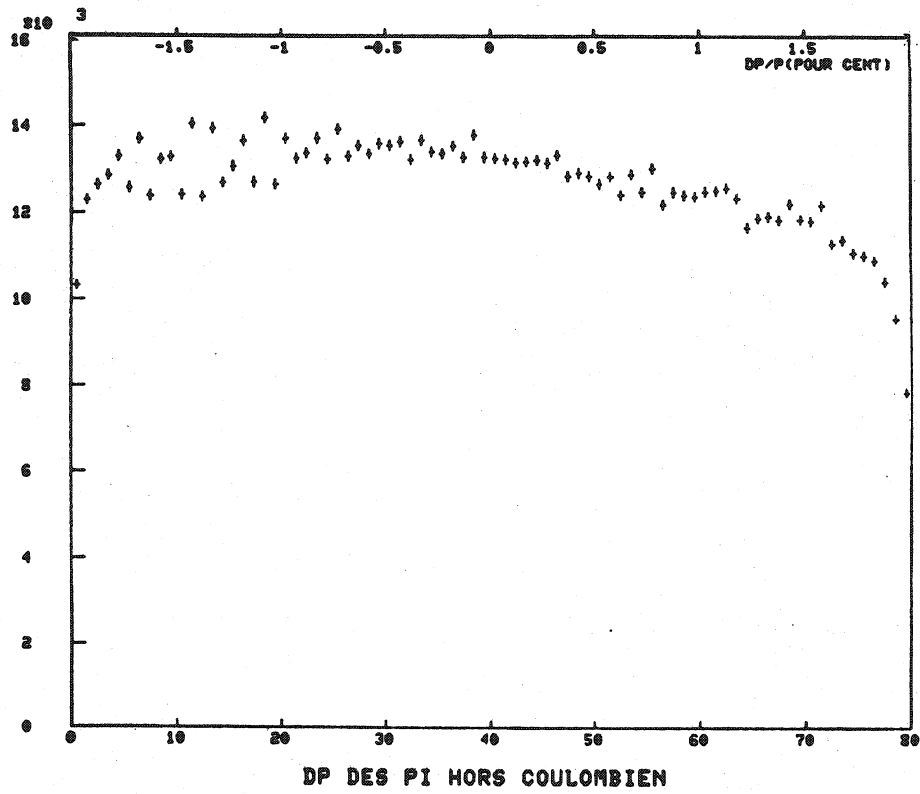


cible pleine

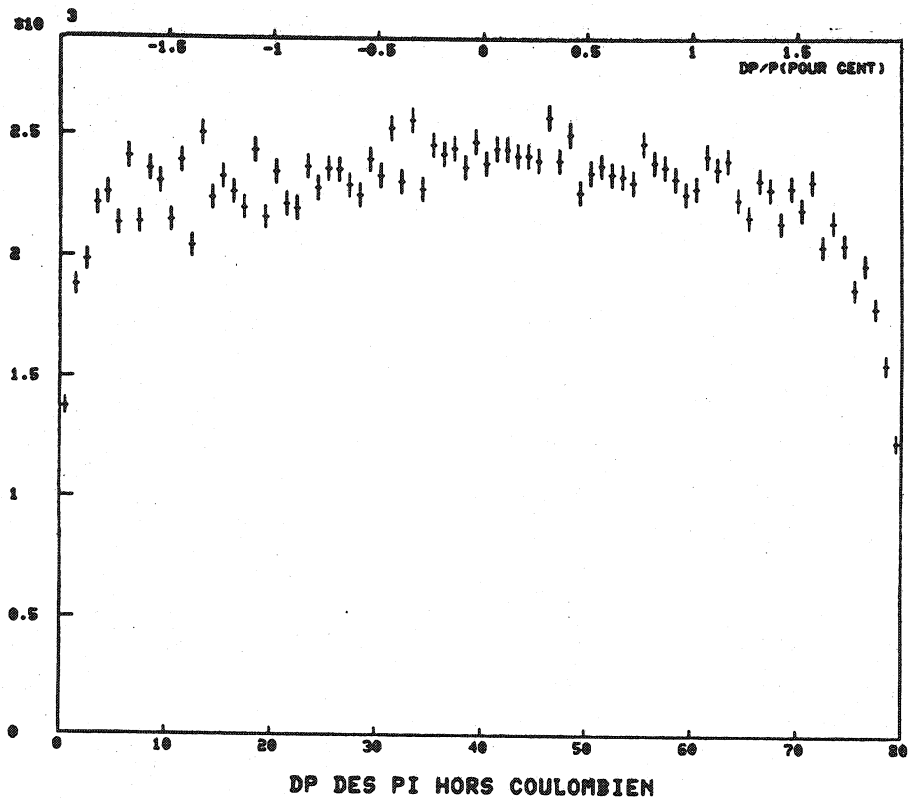


cible vide

d. π^- diffusés dans la coupure coulombienne

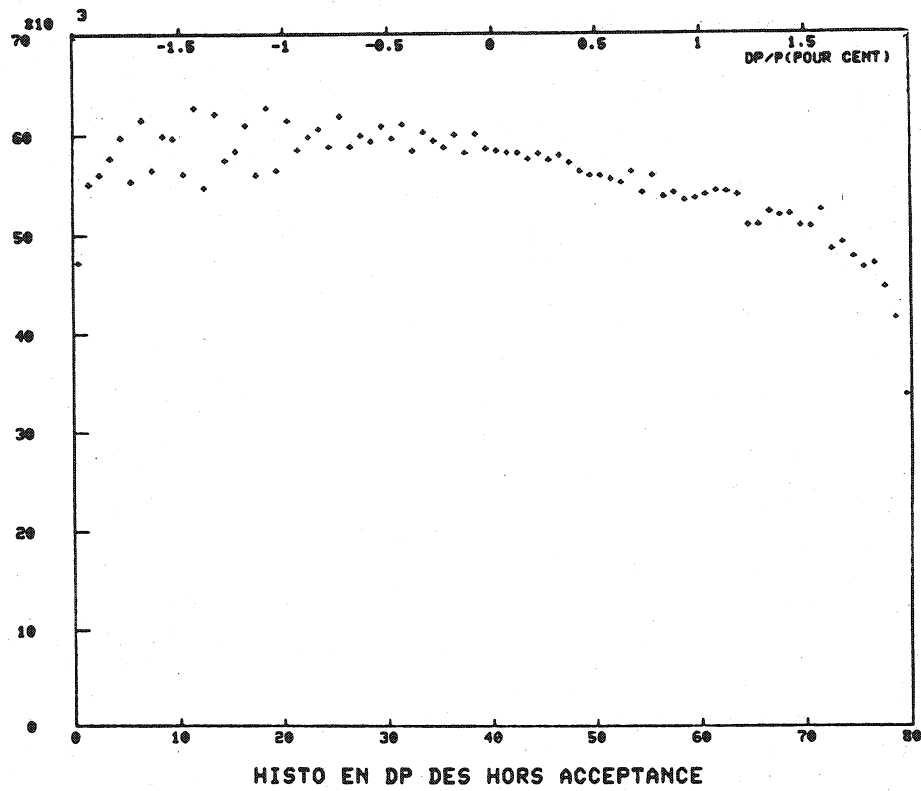


cible pleine

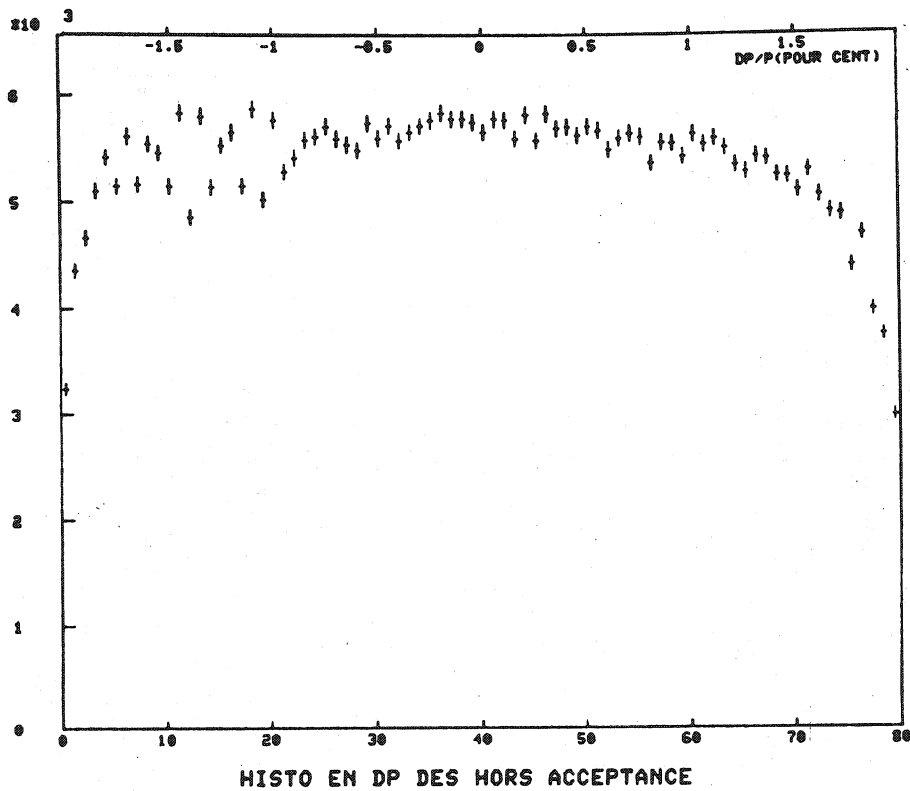


cible vide

e. π^- diffusés hors de la coupure coulombienne

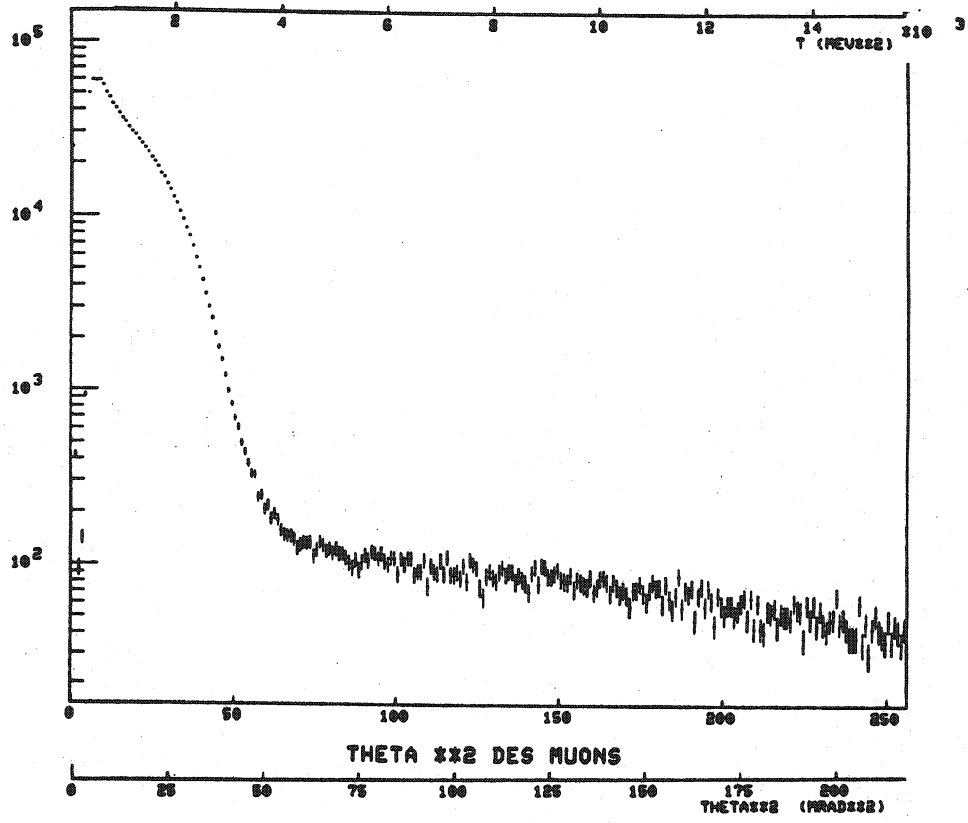


cible pleine

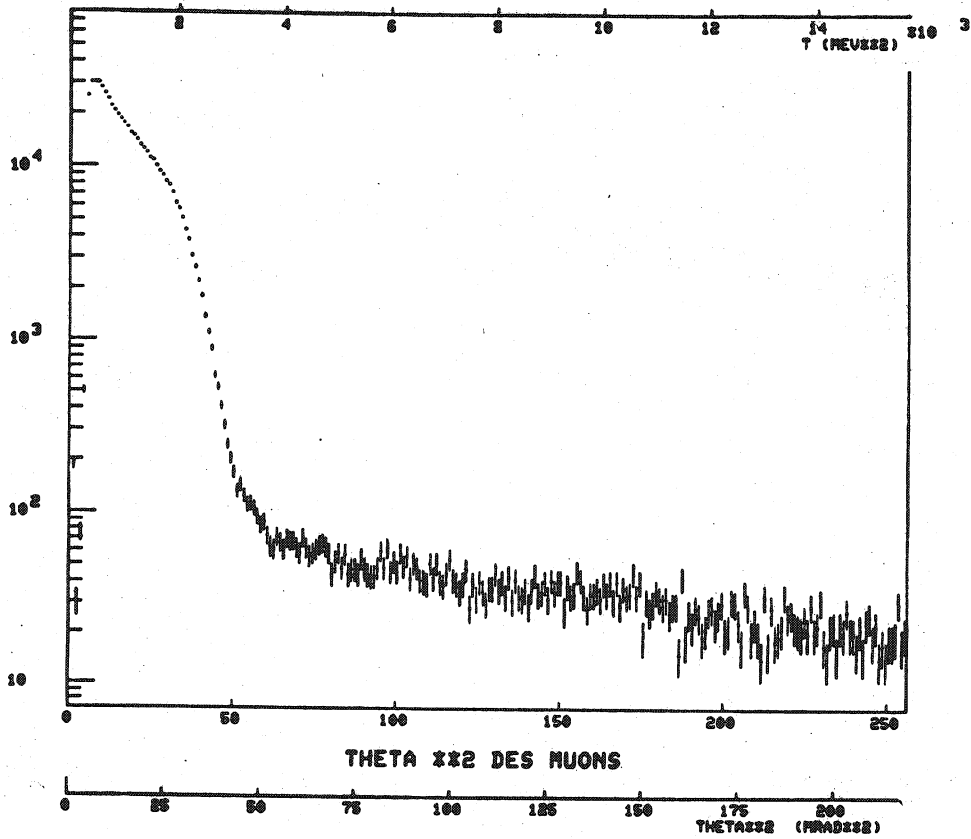


cible vide

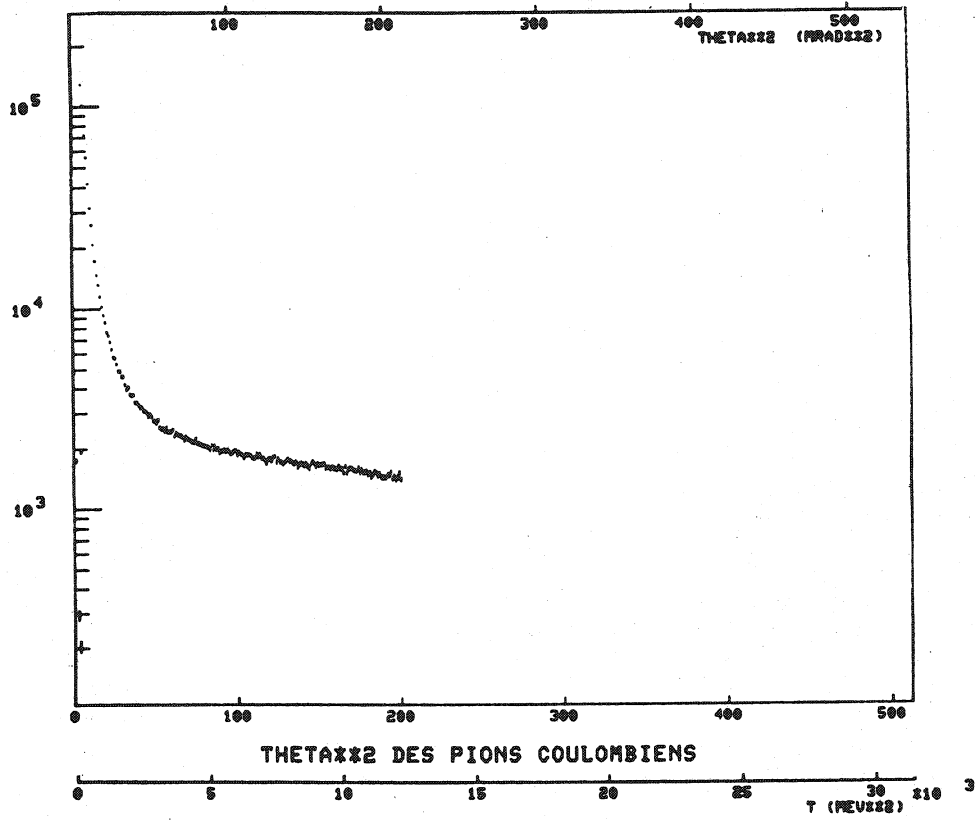
f. π^- diffusés hors de l'acceptance de WF_2



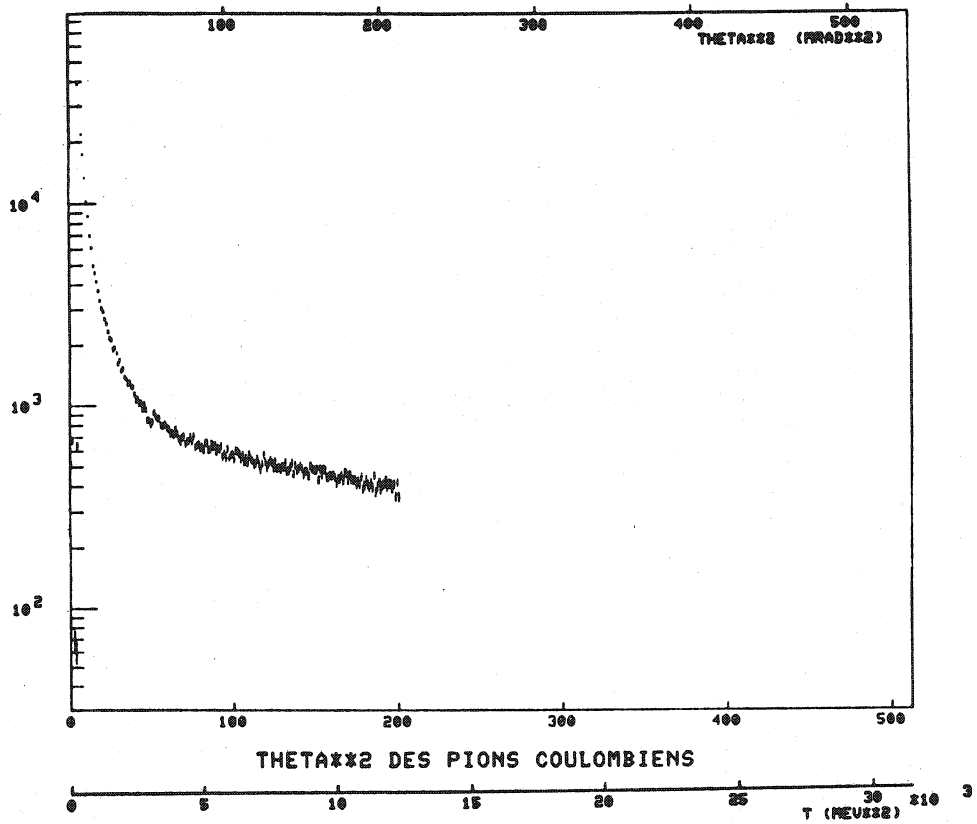
cible pleine



g. θ^2 des μ^- diffusés

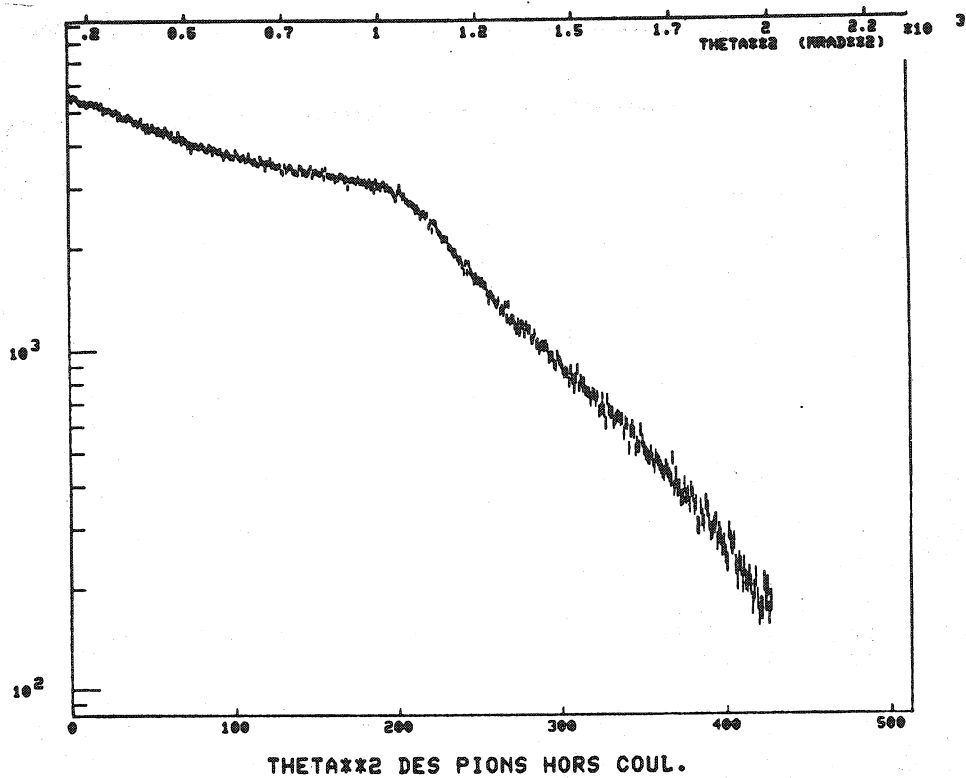


cible pleine

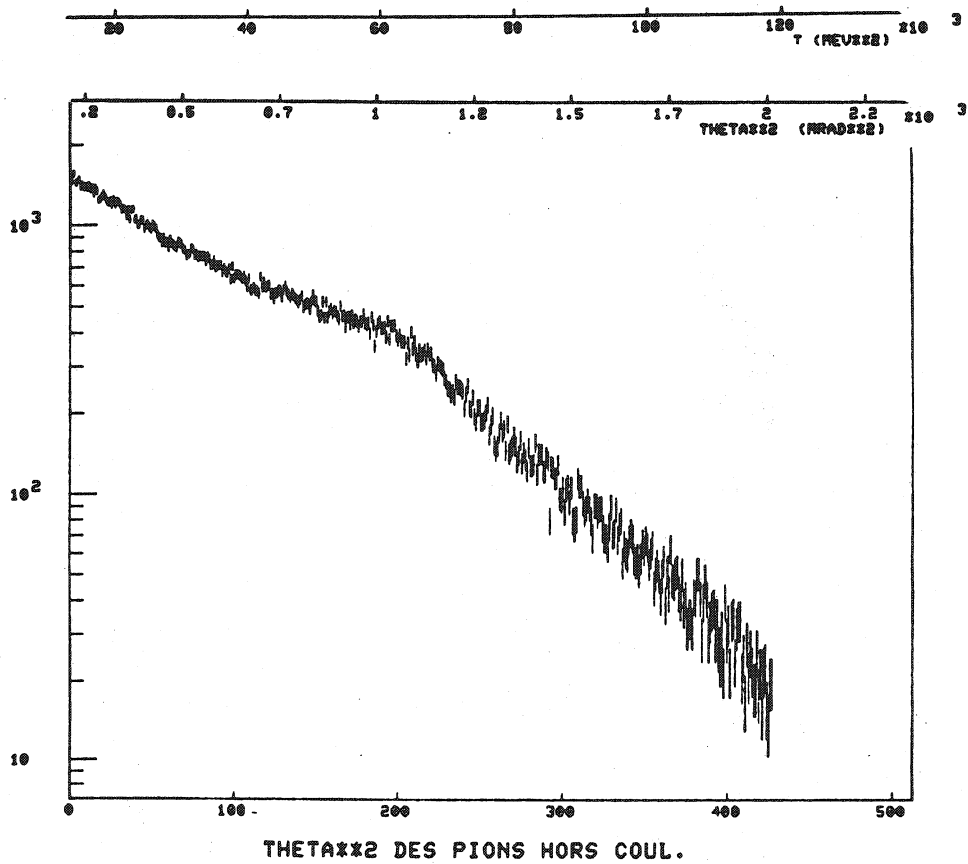


cible vide

h. θ^2 des π^- diffusés dans la coupure coulombienne

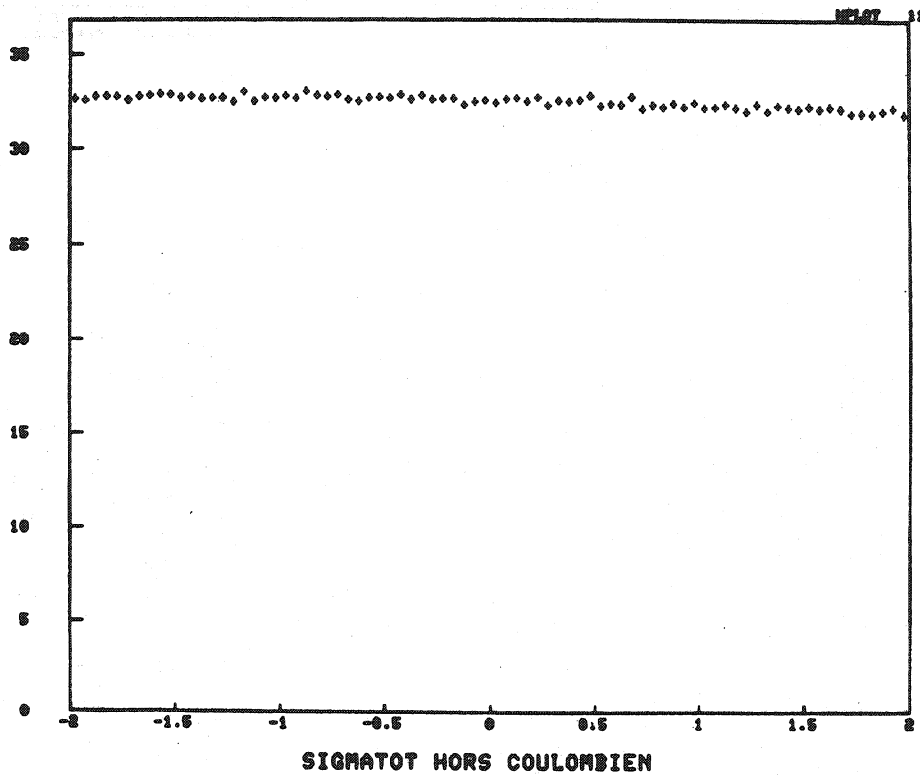


cible pleine

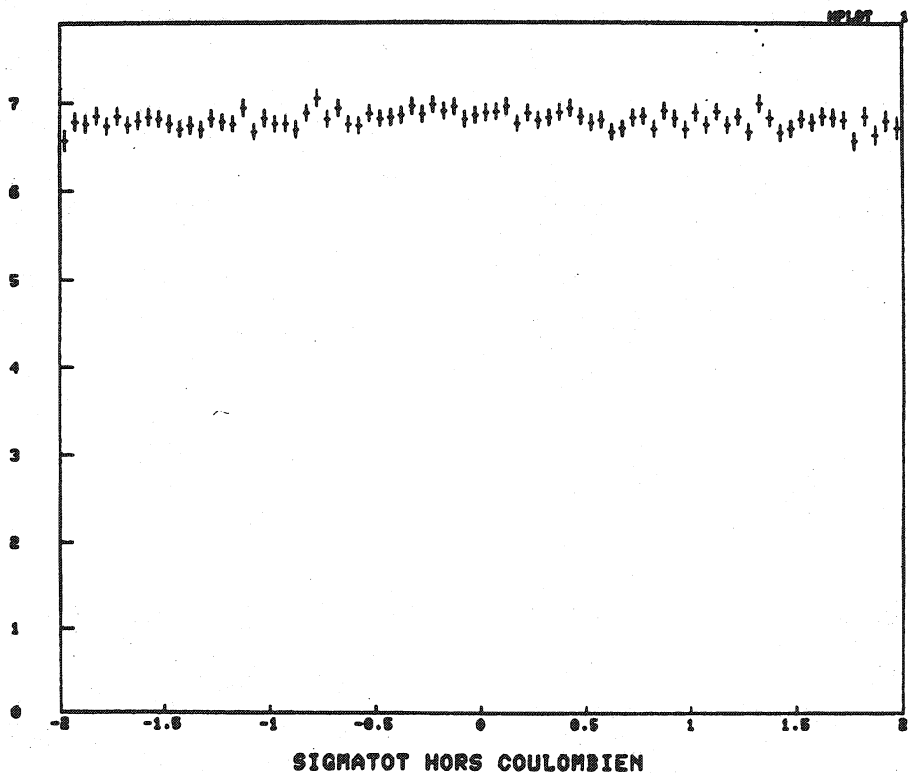


cible vide

i. θ^2 des π^- diffusés hors de la coupure coulombienne.



cible pleine



cible vide

figure 26 - j

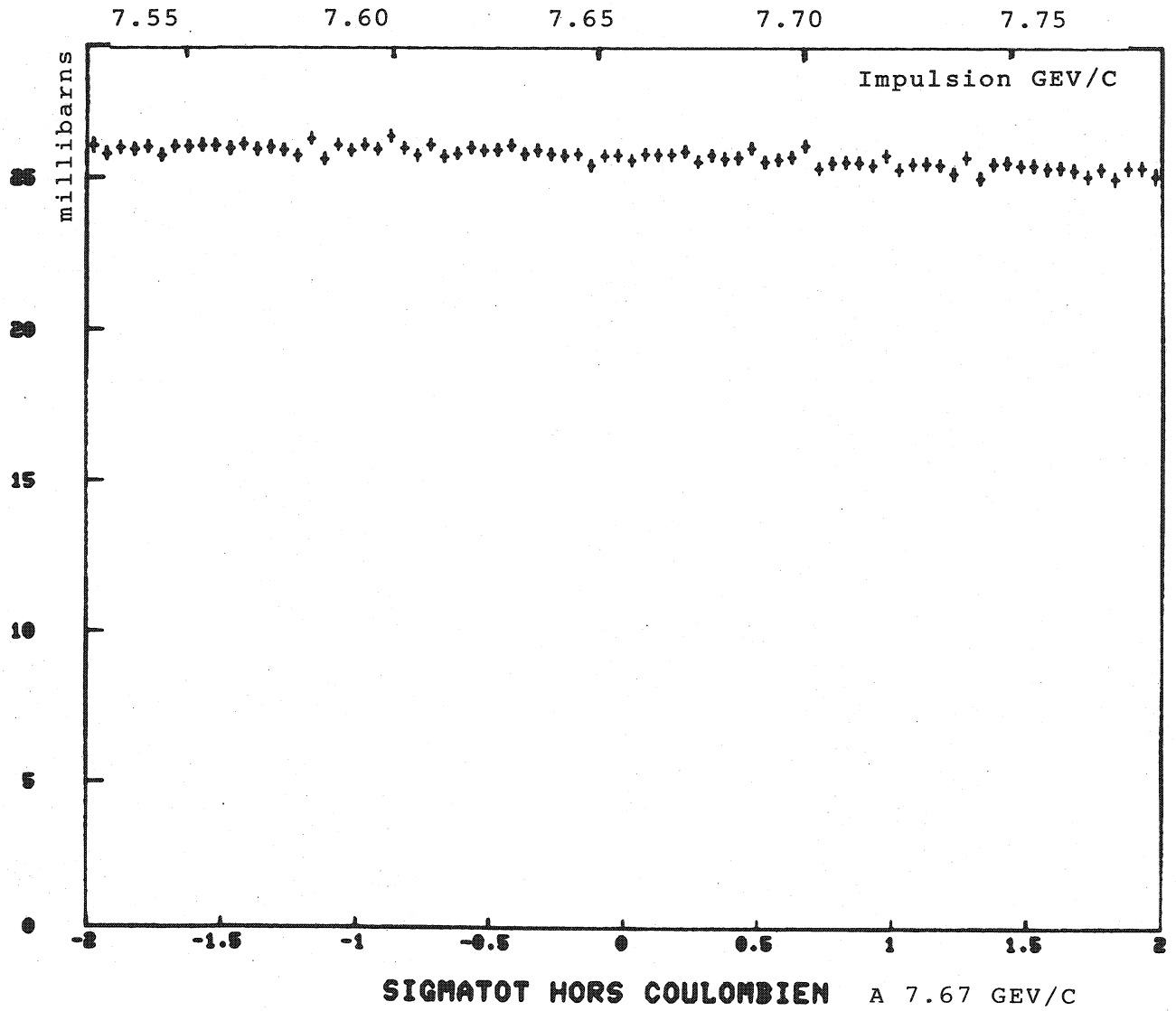


figure 26 - k : section efficace totale
(cible pleine - cible vide)

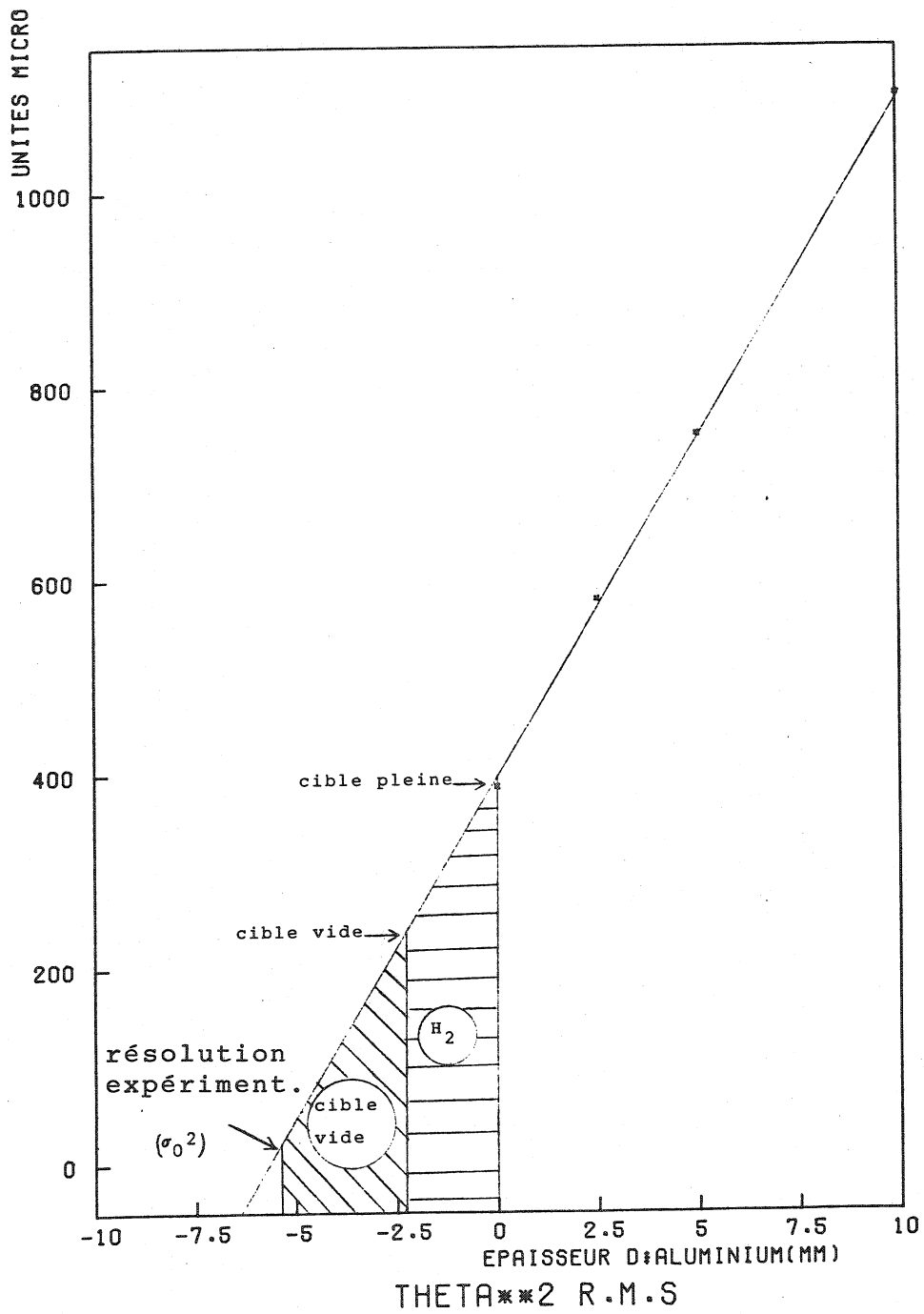


figure 27 : SCHEMA MONTRANT LE CALCUL DE L'EFFET DE CIBLE VIDE POUR LA DIFFUSION MULTIPLE.

1-2 Distributions angulaires

1-2-1 Etude de la diffusion multiple

* Comportement de la largeur en fonction de la quantité de matière traversée .

L'étude a consisté à placer devant la cible des plaques d'aluminium d'épaisseur différente, puis à vider cette cible.

En chaque point, nous avons étudié les distributions de $\theta_x = \sum \alpha_i x_i$ et $\theta_y = \sum \alpha_i y_i$ et déterminé les variances correspondantes $\sigma_{\theta_x}^2$ et $\sigma_{\theta_y}^2$

Les distributions observées sont la convolution

- . d'une gaussienne de variance σ^2 où $\sigma = \frac{p_0}{p\beta} \sqrt{\frac{\ell}{\ell_0}}$
- . des distributions carrées de x_i et y_i de variance $\sigma_0^2 = \frac{1}{12} \sum \alpha_i^2$ qui expriment l'incertitude sur la mesure des coordonnées introduite par l'espacement fini des fils des chambres.

Les calculs schématisés sur la figure 27 donnent :

$$\ell_{H_2} = 24 \pm 0.5 \text{ cm}$$

$$\text{effet de cible vide} = 40 \pm 1 \text{ cm d}'H_2.$$

Remarquer .

- . que cette étude est faite en unités arbitraires : nous ne faisons que comparer la longueur de diffusion de la cible à celle de l'aluminium.
- . l'effet très important de cible vide qui s'explique par l'hodoscope H_2 , les fenêtres de la cible, le "détecteur du vertex" (chambre au pas de 3mm installée par nos collaborateurs pour l'expérience S-153). Cet effet de cible vide est heureusement deux fois plus faible pour la section efficace totale que pour le scattering multiple.

Egalité des largeurs σ_{θ_x} et σ_{θ_y}

Elle est vérifiée à mieux que 1% près.

. Valeur absolue de $\sigma_{\theta_x} = \sigma_{\theta_y}$

En utilisant la classique formule de la diffusion multiple, et connaissant l'effet de cible vide étudié ci-dessus; on vérifie au début de chaque calibration que la largeur correspond à l'impulsion à laquelle on travaille. Les résultats coïncident avec la théorie à quelques % près.

. Détermination de la coupure angulaire

Elle est fixée à $\pm 4 \sigma_{\theta_x}$ (cible pleine), par optimisation entre

- . le nombre d'événements rejetés par la coupure ($\geq 97\%$)
- . le désir de conserver une partie de la diffusion coulombienne simple dans les histogrammes en θ^2 du cycle long.

La détermination de cette coupure possède en outre l'avantage de correspondre au même transfert quelque soit l'impulsion (environ 350 mev^2). La coupure de diffusion coulombienne, introduite au paragraphe suivant, jouit de la même propriété.

1-2-2 Etude de la diffusion coulombienne.

Nous utilisons pour cela l'histogramme présenté fig. 26-h.

Noter "le trou" dans les premiers intervalles de l'histogramme qui correspond à la suppression de la diffusion multiple par la coupure du cycle court. Les bords de ce trou ne sont pas nets. La coupure du cycle court est en effet une coupure "carrée" dans le plan $\theta_x \theta_y$, alors chaque valeur de θ^2 correspond à un cercle centré sur l'origine (cf. fig. 28)

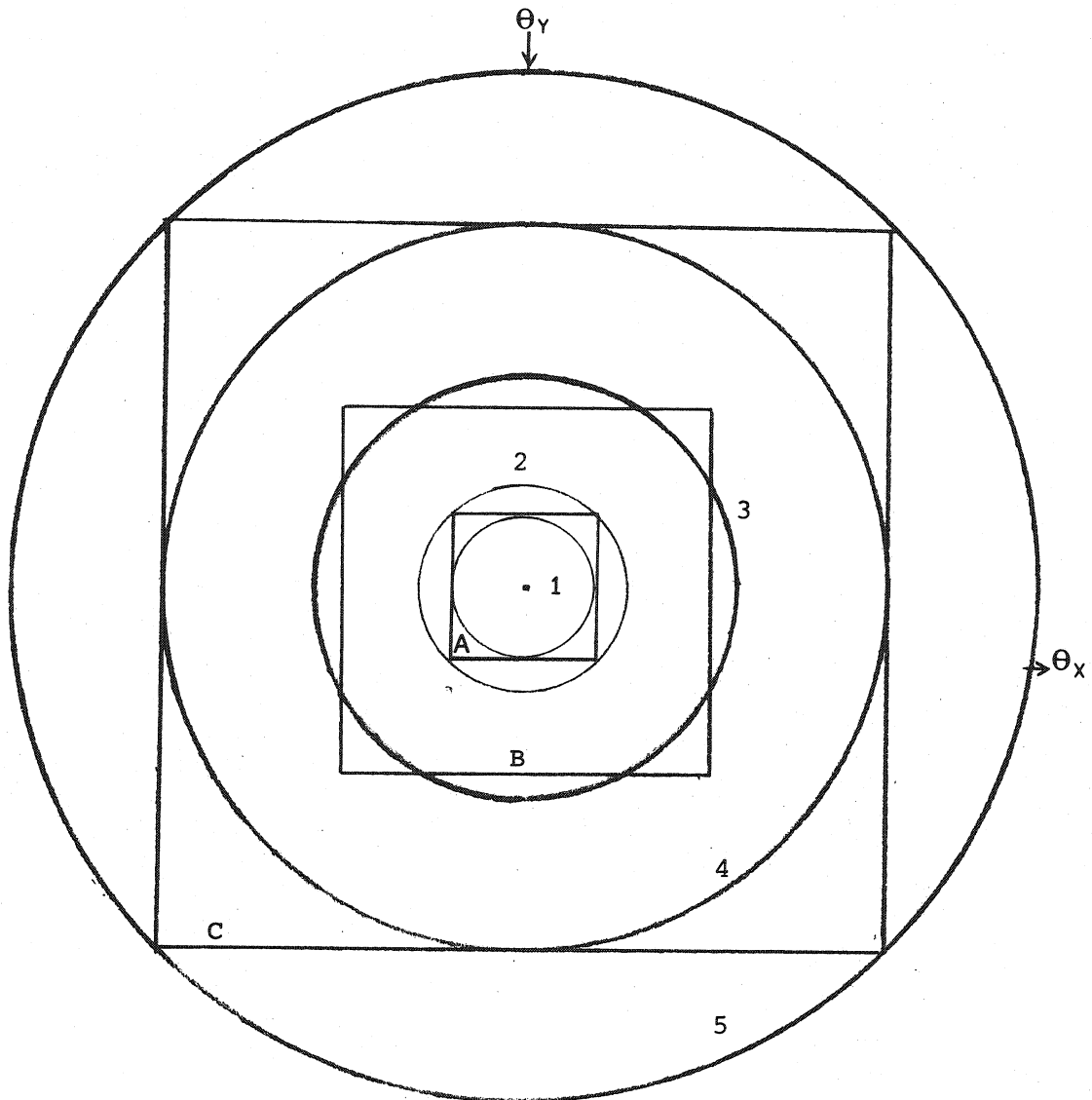


figure 28 : SCHEMA MONTRANT LES COUPURES ANGULAIRES
ET L'ACCEPTANCE DU DISPOSITIF.

nota : les grandeurs sont indiquées en angle ou en transfert
indépendamment de l'impulsion à laquelle on travaille.

- | | |
|--|---|
| A : coupure carrée du cycle court
$ \theta_x < \theta_c$ et $ \theta_y < \theta_c$ (θ_c
: 350 Mev ²) | 1 : bord interne du "trou" dans
l'histogramme de diffusion
coulombienne (350 Mev ²) |
| B : acceptance de la chambre WF ₁ :
± 15 mrad | 2 : bord externe du trou (700Mev ²) |
| C : acceptance de la chambre WF ₂ :
± 30 mrad | 3 : coupure de la diffusion cou-
lombienne 1.2 10 ⁻² Gev ² |
| | 4 : début de la décroissance
de l'acceptance (900 mrad ²) |
| | 5 : acceptance extrême du
dispositif (1800 mrad ²). |

La limite supérieure de l'histogramme, appelée "coupure coulombienne", est choisie en fonction des considérations suivantes :

- * elle doit être assez grande pour que les événements correspondant à une diffusion coulombienne soient dans leur quasi-totalité à l'intérieur de la coupure coulombienne;
- * elle doit être assez petite afin de permettre une histogrammation à grande échelle.

On l'a fixée à environ $1.2 \cdot 10^{+3} \text{ MeV}^2$.

Observer l'histogramme de la figure 26 h et noter :

- l'excellente statistique obtenue
- l'absence d'effet systématique dans la région d'interférence coulombienne. En particulier les μ sont bien soustraits (voir figure 26-g).

1-2-3 Etude de la diffusion nucléaire.

L'étude des premiers histogrammes de diffusion angulaire nous a donné des résultats concernant la pente de la courbe en $\frac{d\sigma}{dt}$ qui ne correspondent pas aux résultats connus. [12]

L'explication de cet écart a été trouvée :

il s'agit du nombre élevé (45% du total) d'interactions inélastiques avec une particule chargée dans l'acceptance de WF_2' , dont la distribution angulaire ne suit pas la loi $\frac{d\sigma}{dt} = e^{-bt}$ des réactions élastiques.

C'est pourquoi nous avons introduit dans le microprogramme le test du signal de la "coque" ou "veto-box" qu'utilisent nos collaborateurs

Cette amélioration devrait nous permettre de mesurer sans biais la section efficace différentielle élastique à petit angle. Remarquer toutefois que les réactions inélastiques n'affectent

- . ni la mesure de la section efficace totale (voir paragraphe ci-dessous), si on suppose que la section différentielle inélastique ne présente à petit angle aucune structure importante ; les études faites jusqu'à ce jour le confirment bien.
- . ni la mesure de la partie réelle de l'amplitude, que nous déterminerons grâce à l'interférence entre le coulombien et le nucléaire.

1-3 Etude de la section efficace totale.

Les courbes présentées figures 27 représentent une estimation grossière de la section efficace totale : (précision relative dans un même intervalle : $\pm 3\%$, normalisation absolue 15%). Elles ont été obtenues simplement en divisant l'histogramme en impulsion des événements hors acceptance par celui des π^- de l'échantillon du faisceau.

La mesure précise de la section efficace totale se fera comme suit:

- 1) lecture des histogrammes en dp/p des hors acceptance et des diffusés hors coupure coulombienne.
- 2) fit de la section efficace différentielle angulaire de façon à estimer l'intégrale de la contribution nucléaire dans la région de la diffusion coulombienne. On peut négliger la variation de ce terme correctif avec l'impulsion $\pm 2\%$ qui correspond à une prise de données.
- 3) soustraction de la section efficace de diffusion coulombienne, au delà de la coupure coulombienne. Ce terme est quasiment négligeable.
- 4) corrections dues aux événements pathologiques; l'étude hors ligne de ces événements permettra de les compter ou non comme diffusés.

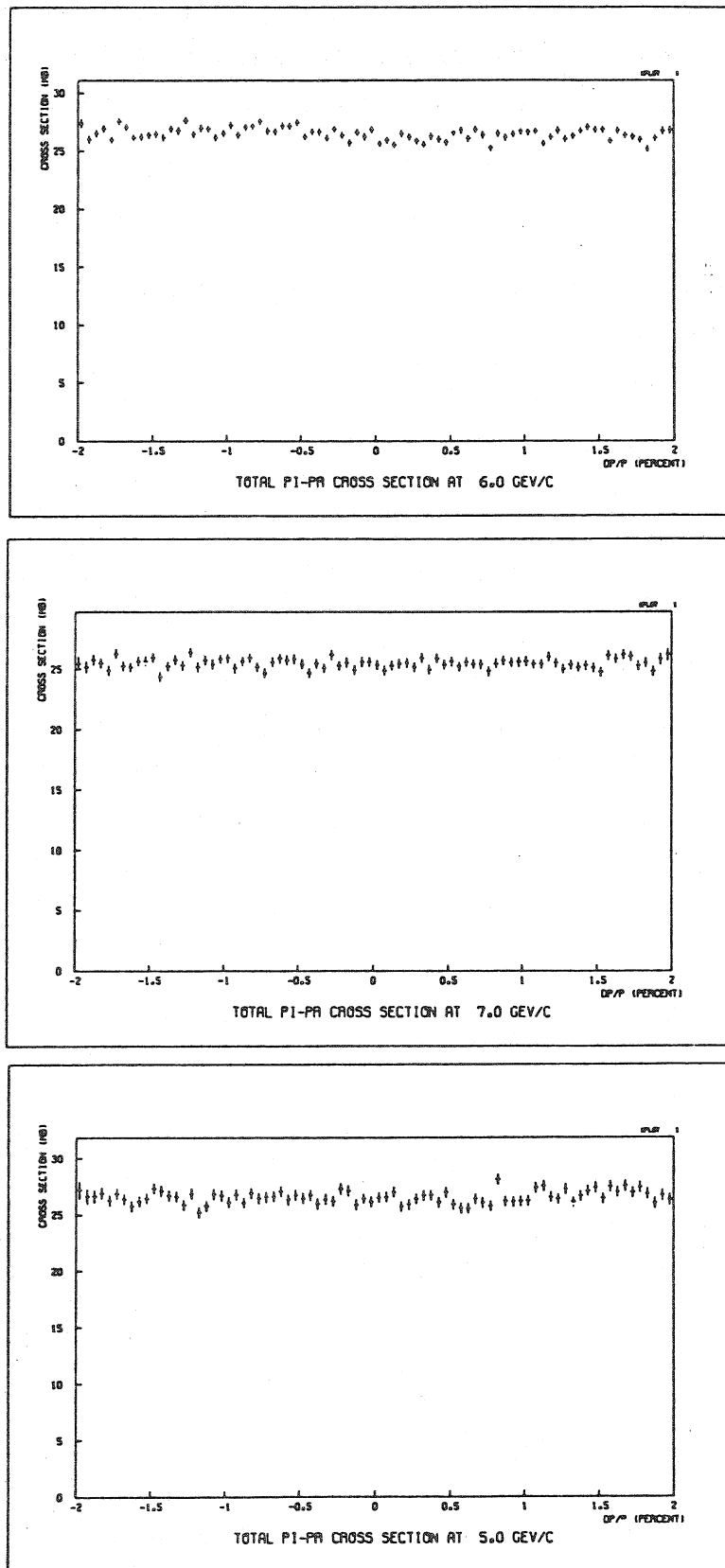
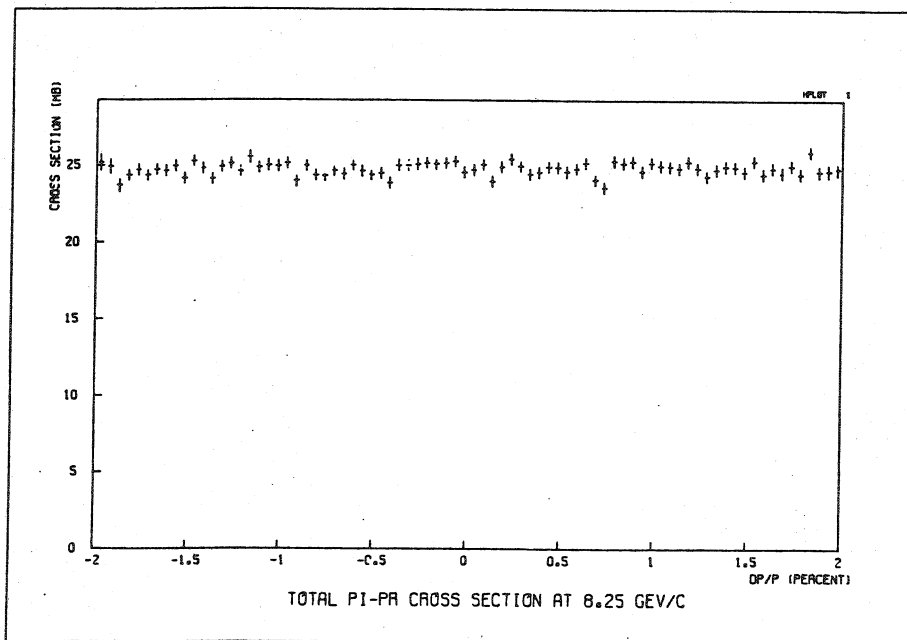
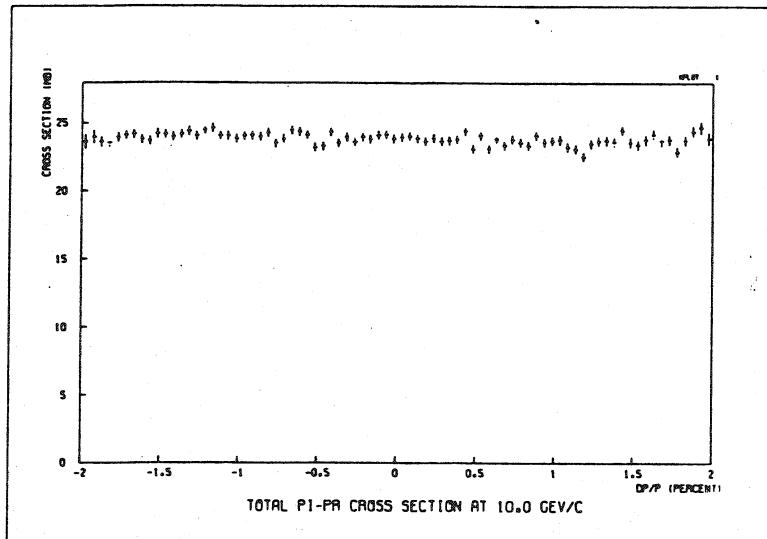
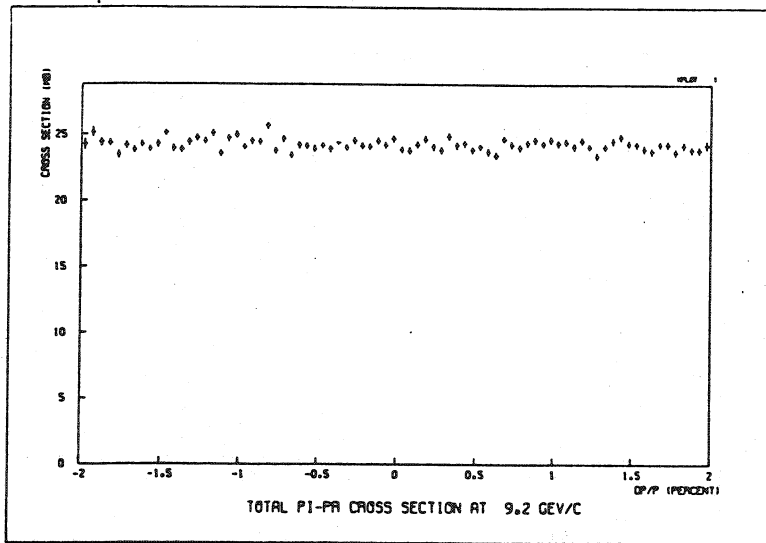


Figure 27 - Premières estimations de la section efficace totale.



- 5) Enfin division par l'histogramme en impulsion de l'échantillon de faisceau, et soustraction du résultat de la même étude cible vide.

1.4 Conclusion : Que pouvons-nous espérer ?

- une mesure de la variation de σ_{tot} excellente. Les temps de calcul mentionnés en 2.1 partie C permettent d'obtenir en 1 jour de prise de données (16H cible pleine, 8H cible vide) une précision de 3⁰/oo suffisant à détecter un signal de $\sim 1\%$ d'amplitude pour une largeur en dp/p de $5 \cdot 10^{-3}$.
- une très bonne mesure absolue de σ_{tot} capable d'étudier les effets classiques de largeur supérieure ou égale à 200 MeV. N'ayant pas encore calculé cette valeur, nous ignorons les biais auxquels nous serons peut-être confrontés. Il est cependant raisonnable d'envisager une précision meilleure que le %.
- une estimation de la partie réelle de l'amplitude d'aussi bonne précision que celles déjà faites [12], mais beaucoup plus dense en points de mesure.

2 - LA PHYSIQUE DES RESONANCES ETROITES

2-1 Introduction

Des travaux expérimentaux de l'année 1977 [13] ont mis en évidence une nouvelle classe de mesons, appelés baryonium, dont les nombres quantiques sont ceux d'un méson ordinaire mais dont les caractéristiques (masses, largeurs, couplages aux différentes voies) suggèrent d'autres interprétations.

Une d'entre elles semble particulièrement féconde, car elle conduit à la prédiction d'états de nombre baryonique égal à 1 et de structure semblable à celle du baryonium. Il s'agit de la "Chimie de la couleur".

2-2 Aperçu de la chimie de la couleur.

. Origines de la question.

Le développement de cette notion résulte d'une convergence entre l'introduction théorique de la couleur et la découverte expérimentale de l'état S(1936).

La notion de couleur, introduite pour résoudre la difficulté que présentait une fonction d'onde de 3 quarks symétrique dans le cas du baryon, a été reliée au taux de la désintégration $\pi^0 \rightarrow \gamma \gamma$. Elle a l'ambition de fournir un modèle des interactions fortes, en particulier, elle peut expliquer les forces de liaison dans les systèmes hadroniques plus complexes, tel le système à 2 quarks et 2 antiquarks.

Il est tentant d'identifier le baryonium à un état $qq \bar{q}\bar{q}$

. Les principales propriétés de la couleur.

Elles peuvent être introduites par analogie avec celle de l'électrodynamique quantique (QED).

- tout état coloré est la source d'un potentiel.
- à la différence de la charge électrique, la couleur n'est pas additive. L'étude d'un système de plusieurs sous-systèmes colorés se fait par la multiplication de représentations dans le groupe de couleur SU3.
- la couleur est essentiellement inobservable. Cela signifie que tout système observable est nécessairement un singlet de couleur : la "neutralité de couleur" est plus stricte que la neutralité électrique.

• Vue sommaire du modèle.

Il consiste en une approche potentielle des hadrons. [14]

Le cas le plus simple est celui du méson. Son étude est celle du "problème à deux corps" auquel par la suite les modèles tentent de se raccrocher.

Le "problème à 3 corps" est celui du baryon.

On peut le traiter en considérant le baryon comme un système à 2 corps, un quark et un diquark que nous appellerons ion de couleur ou chromion.

Notons que ce modèle satisfait la règle de non coloration des baryons. En effet, les représentations se composent ainsi :

$$\begin{array}{ll}
 3 \times 3 = \bar{3} + 6 & \text{. le } \bar{3} \text{ est la représentation} \\
 \text{et } 3 \times \bar{3} = 1 + 8 & \text{de couleur du diquark.}
 \end{array}$$

Il est donc possible d'avoir un état non coloré (singlet de couleur) diquark-quark.

Dans ce modèle naif, le baryonium s'explique comme un état $(qq)(\bar{q}\bar{q})$.

Sa stabilité peut s'expliquer par un grand moment angulaire en le chromion (qq) et l'antichromion ($\bar{q}\bar{q}$) qui empêche l'annihilation d'un quark et d'un antiquark.

Noter que cette description, qui montre 2 moyens différents d'obtenir une couleur nulle, suggère l'existence de 2 isomères de couleur diquark-antidiquark.

Le chromion suivant serait composé de 3 quarks. En le liant à un chromion à 2 quarks, on peut former un système de nombre baryonique égal à 1.

On peut obtenir une couleur nulle de plusieurs façons :

. par le schéma $(qqq)(\bar{q}\bar{q})$ (schéma "Baryon-Meson")

En effet

$$\left\{ \begin{array}{l} 3 \times 3 \times 3 = 1 + 8 + 8 + 10 \\ 3 \times \bar{3} = 1 + 8 \end{array} \right.$$

$$\text{et } 8 \times 8 = 1 + 8 + 8 + 10 + \bar{10} + 27$$

x 1 ne correspond pas à ce modèle car

. ou par le schéma $(qq\bar{q})(q\bar{q})$

En effet

$$\left\{ \begin{array}{l} 3 \times 3 \times \bar{3} = 3 + 3 + \bar{6} + 15 \\ 3 \times 3 = \bar{3} + 6 \end{array} \right.$$

$$\text{et } 3 \times \bar{3} = 1 + 8$$

$$6 \times \bar{6} = 1 + 8 + 27$$

Remarquons que cette vision idéaliste n'est pas la seule façon d'expliquer la possibilité d'un état lié de n quarks. D'autres théories font jouer un rôle symétrique à chacun des n quarks [15].

Dans ce cadre la stabilité de ces états n'est pas due à un moment angulaire élevé, mais à une règle de sélection fondamentale, qui généralise la règle d'O.Z.I.

L'étude qui précède est beaucoup trop sommaire pour expliquer les estimations de masse fournies par ces différents modèles.

Sur le plan expérimental, une nouvelle spectroscopie de ces états doit être entreprise. Mentionnons les différentes approches possibles.

2-3 Les différents moyens d'observations des résonances

Limitons la discussion au cas de l'état à 5 quarks B_5 . La généralisation se fait sans difficulté à B_7 , B_9 ...

- . 1^{ère} hypothèse : la masse de B_5 est inférieure à celle de $p(\bar{p}p)$ ou de $p-S(1936)$ soit $\approx 2\ 800$ MeV.

La largeur de désintégration est petite, de l'ordre de 100 Kev à quelques MeV. Le rapport de branchement en $p\pi^-$, ou $p(n\pi)$ par cascades, est relativement important (quelques % à $\approx 20\%$).

Estimons la sensibilité de notre dispositif expérimental dans l'hypothèse d'un π^- incident de 4 GeV/c correspondant à une énergie dans le centre de masse voisine de 2.8 GeV.

Ecrivons la section efficace totale comme la somme d'une section efficace résonnante et d'un fond

$$\sigma_{\text{tot}}(E) = \sigma_{\text{fond}}(E) + \sigma_{\text{res}}(E)$$

σ_{fond} , qui vaut environ 30 mb, est évalué par les mesures précédentes [12]

$$\sigma_{\text{res}} \text{ peut se paramétrer par } \sigma_{\text{res}}(E) = 4\pi \tilde{\lambda}^2 (J + 1/2) \times \frac{1}{1 + \frac{4}{\Gamma^2} (E - E_r)^2}$$

où E_r est l'énergie résonnante, E l'énergie de la masse, J le spin de la résonance $\tilde{\lambda} = \hbar/p_{\text{cm}}$ la longueur d'onde associée à E , x le rapport de branchement en π^-p et Γ la largeur de la résonance.

Appelons ΔE notre résolution en énergie et notons que $\Gamma \ll \Delta E$, ceci permet d'écrire :

$$\langle \sigma_{\text{res}} \rangle = \frac{1}{\Delta E} \int_{E_R - \frac{\Delta E}{2}}^{E_R + \frac{\Delta E}{2}} \sigma_{\text{res}} dE \sim \frac{1}{\Delta E} \int_{-\infty}^{+\infty} 4\pi\lambda^2 (J+1/2) \frac{dE}{1 + \left(\frac{E_R - E}{\Gamma}\right)^2}$$

soit

$$\langle \sigma_{\text{res}} \rangle = 2\pi^2 \lambda^2 (J + 1/2) \frac{\Gamma X}{\Delta E}$$

Les calculs donnent, si l'on veut une déviation de σ_{tot} mesurée supérieure à 1%

$$x \Gamma (J + 1/2) > 60 \text{ KeV}$$

Soit, un rapport de branchement minimal indiqué dans le tableau ci-dessous (Γ est évalué à 1 MeV).

J	1/2	3/2	5/2	7/2
x_{min}	6%	3%	2%	1.5%

Notre dispositif apparaît donc suffisant pour détecter la nouvelle particule; la gamme d'impulsion actuelle trop élevée pour B_5 , est mieux adaptée à la recherche de B_7 et B_9 . Il est cependant possible de travailler à plus basse impulsion.

A basse énergie, notre expérience semble la mieux adaptée à la détection d'une résonance étroite de ce type.

. 2^{ème} hypothèse : La masse de B_5 est légèrement supérieure à 2 800 MeV.

Le rapport de branchement x chute et la largeur Γ augmente. La mesure, de sensibilité équivalente, devient plus délicate.

Il existe à cette énergie un état final avec anti-proton privilégié qui permet une détection plus facile.

. 3^{ème} hypothèse : La masse de B_5 est assez nettement supérieure à 2 800 MeV. B_5 , alors très large et peu couplé en π . \mathcal{N}^0 , est très difficilement observable par les moyens actuels.

CONCLUSION

L'expérience qui fait l'objet de cette thèse se caractérise par le fait qu'elle manie des statistiques jamais atteintes à présent et qu'elle analyse les événements en temps réel.

Le travail auquel j'ai participé consistait d'une part à maîtriser ces nouvelles techniques de micro informatique rapide, et d'autre part, à analyser les événements obtenus lors d'essais pour prévoir leur traitement en ligne.

Les performances que nous atteignons actuellement sont celles espérées, soit environ $2 \cdot 10^5$ événements traités par seconde. Nous montrons que ce résultat va permettre une étude significative des résonances étroites multiquark attendues dans le cadre des modèles de couleur.

Nous avons de plus réduit l'essentiel des biais de la mesure au prix d'une complexité plus grande du matériel et du logiciel.

Au delà de son intérêt métrologique, cette expérience pourra en outre à contribuer à une physique plus classique : celle des résonances Δ et N^* et des relations de dispersion.

Sur le plan technique nous montrons qu'un tel appareillage peut s'adapter à des expériences plus complexes que la mesure de la section efficace totale.

- TABLE DES MATIERES -

<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>PARTIE A : LE DISPOSITIF EXPERIMENTAL</u>	7
Principe de la mesure	7
1 - LE FAISCEAU	11
1.1 La compensation en dispersion	11
1.2 Le spectromètre focalisant	12
2 - LE MATERIEL	14
2.1 La cible	14
2.2 Les chambres à fils	17
2.3 La chaîne de lecture	18
2.4 Le micro-ordinateur	20
2.5 Le détecteur de μ	22
2.6 Le déclenchement	24
2.7 Synchronisation de l'ensemble	26
3 - LE LOGICIEL	29
3.0 Principes généraux	29
3.1 Programmation du mini ordinateur	30
3.2 Programmation du micro-ordinateur	32
3.3 Le dialogue mini-micro	41

PARTIE B : <u>ETUDE DETAILLEE DU FAISCEAU</u>	49
1 - INTRODUCTION	49
2 - ETUDE THEORIQUE DU FAISCEAU	50
2.1 Les différentes contraintes	50
2.2 Obtention des coefficients du calcul de l'impulsion	51
3 - ETUDE EXPERIMENTALE DU FAISCEAU	54
3.1 Introduction	54
3.2 Vérification des calculs théoriques	55
3.3 Mesure directe de l'espace de phase	55
PARTIE C : <u>OPTIMISATION DES MESURES DE SECTION EFFICACE</u>	71
1 - INTRODUCTION	71
2 - PROBLEMES LIES AUX INEFFICACITES ET SUREFFICACITES DES DIVERS DETECTEURS	72
2.1 Etude simple des caractéristiques des chambres	72
2.2 Etude plus sophistiquée des erreurs systématiques qu'elles entraînent	73
2.3 Conséquences sur le programme d'acquisition	74
2.4 Conclusion	75
3 - PROBLEMES LIES A DES PHENOMENES PHYSIQUES	75
3.1 Influence de la contamination en μ^-	75
3.2 Interactions qui n'ont pas eu lieu dans la cible	75
4 - PROBLEMES LIES A L'EMPLOI DU MICRO-ORDINATEUR	78
4.1 Effets arithmétiques	78
4.2 Optimisation du flux des particules incidentes	81
4.3 Optimisation des programmes en fonction du temps de calcul.	83

5 - CONTROLE EFFECTUES AU DEBUT D'UNE PRISE DE DONNEES :	
PROCEDURE DE CALIBRATION	87
5.1 Nécessité de cette calibration	87
5.2 Déroulement de la calibration	88
6 - CONTROLES EFFECTUES PENDANT L'ACQUISITION DES DONNEES	92
6.0 Introduction	92
6.1 Programme du micro-ordinateur	93
6.2 Programme du mini ordinateur	93
6.3 Programme de traitement hors ligne	96
PARTIE D : <u>ANALYSE DES RESULTATS</u>	99
1 - DES DONNEES BRUTES AUX GRANDEURS PHYSIQUES	99
1.1 Introduction	99
1.2 Distribution angulaire	113
1.3 Etude de la section efficace totale	117
1.4 Que pouvons-nous espérer ?	120
2 - LA PHYSIQUE DES RESONANCES ETROITES	121
2.1 Introduction	121
2.2 Aperçu de la chimie de la couleur	121
2.3 Les différents moyens d'observation des résonances.	124
CONCLUSION -	127

REFERENCES

- [1] CPS User's handbook C.E.R.N.
- [2] AM2900 Bipolar microrprocessors series (Notice constructeur)
- [3] GABRIEL et BISHOP NIM 155.81 (1978)
- [4] K. TRECA DE KERDAY : Assembleur-Micro 77
L.P.N.H.E./X (mars 1978)
- [5] G. FOUQUE : le micro-ordinateur 77 L.P.N.H.E./X (mai 1978)
- [6] J. CHAUVEAU et D. LELLOUCH C.E.R.N./EP/JC/DL/jr (13.10.1977)
- [7] M. BENAYOUN et P. LERUSTE C.D.F. (1978)
- [8] P. BAILLON C.E.R.N./EP/PB/ap (1.8.1978)
- [9] D. LELLOUCH C.E.R.N./EP/DL/ed (12.4.1978)
- [10] K.L. BROWN Y.R. C.E.R.N. 73.16
- [11] D. LELLOUCH : Offline user's guide Microcomputing Centre
Ecole Polytechnique
- [12] CITRON et al PR 144 - 1101 (66)
DIDDENS et al PRL 10 262 (63)
GALBRAITH et al PR 138 B 913 (65)
DENISOV et al NP 65 B 1 (73)
FOLEY et al PRL 19 330 (67)
VON DARDEL et al PRL 173 - 62
- [13] BENKEIRI et al PL 68 B 483 (77)
EVANGILISTA et al PL 72 B 139 (77)
- [14] HOGÄSSEN et SORBA C.E.R.N. réf. th 2500
DE COMBRUGGE et al C.E.R.N. réf. th 2537
B. NICOLESCU IPNO/TH 78-43
- [15] CHEW C.E.R.N. réf. th 2600

ABREVIATIONS

NIM	Nuclear Instruments and Methods
CERN/EP	Rapports internes C.E.R.N.
YR	Rapports jaunes C.E.R.N.
CDF	Rapports internes COLLEGE DE FRANCE
PR	Physical Review
NP	Nuclear Physicis
PRL	Physical review letters
NC	Nuovo Cimento
PL	Physics letters
IPNO	Institut de Physique Nucléaire ORSAY

- REMERCIEMENTS -

Je remercie chaleureusement :

P. FLEURY qui a suivi avec intérêt les travaux de l'équipe.

E. BARRELET qui a guidé mes premiers pas dans le monde inconnu, mais
ô combien attrayant, de la recherche en physique expérimentale.

Les Physiciens, Ingénieurs et Techniciens de l'équipe "O" dont l'humour
mais aussi la compétence ont été des facteurs déterminants pour la
réalisation de l'expérience.

Les membres de la collaboration au CERN et au Collège de France,
qui ont su créer un climat accueillant et sans lequel l'expérience
n'aurait pas été possible.

Mmes BERTHON et RUMPF dont les conseils prodigués sans relâche m'ont
sauvé des situations les plus désespérées.

Mmes ESCHENBRENNER, HUC, KLEIN et MAROQUESNE qui ont mené à bien avec
gentillesse et efficacité la rude tâche de transformer un manuscrit
et des dessins souvent illisibles.