

centre de recherches nucléaires de Strasbourg

62 P.
C.R.N.

CRN/PN 82/28

ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT DE CHAMBRES À MIGRATION
POUR LA DÉTECTION DU SPECTROMÈTRE SPES III

E. ASLANIDES, A.M. BERGOLT, G. BERGOLT, O. SING.

R. ERNWEIN, F. FASSNACHT, F. HIBOU.

Institut National
de Physique Nucléaire
et de Physique
des Particules

Université
Louis Pasteur
de Strasbourg

A

ÉTUDE DU FONCTIONNEMENT DE CHAMBRES À MIGRATION
POUR LA DÉTECTION DU SPECTROMÈTRE SPES III

E. ASLANIDES, A.M. BERGDOLT, G. BERGDOLT, O. BING, R. ERNWEIN,
P. FASSNACHT, F. HIBOU.

Les caractéristiques des chambres à migration de type CERN et de type MIT ont été étudiées au CRN à l'aide de plusieurs maquettes. Les performances des chambres de type CERN ont été testées sous faisceau à Saturne. Les résultats ont permis de déterminer les conditions de travail de telles chambres, d'étudier les problèmes posés à leur lecture et de préciser certains points du cahier des charges des chambres définitives de SPES III.

I. INTRODUCTION

Le spectromètre magnétique SPES III du Laboratoire National Saturne (LNS) est un spectromètre à haute résolution (10^{-3} à qqs 10^{-4}), grand angle solide (10^{-2} sr) et grande bande d'impulsions analysées (1 GeV/c \pm 40%). Son système de détection est réalisé par une collaboration CRN (Strasbourg) - IPN (Orsay). La localisation des trajectoires se fera à l'aide de 3 chambres à migration : une de type MIT (256 fils) située au plus près de la focale et deux de type CERN comprenant chacune 3 plans de mesure (96 fils par plan) : X (vertical), U et V (inclinés respectivement à $+15^\circ$ et -15°).

Le présent rapport décrit l'étude des caractéristiques de telles chambres, réalisée à l'aide de plusieurs maquettes CERN et d'une maquette MIT, construite à l'IPN d'Orsay. Les caractéristiques essentielles (champs et vitesses de migration, efficacités,...) et les conditions de travail (tensions de cathodes et d'anodes, mélanges gazeux) des chambres ont été étudiées en détail au CRN, en utilisant une source d'électrons et les rayonnements cosmiques. Des mesures d'efficacité et de perte d'énergie pour diverses particules à plusieurs impulsions, entre 0.6 et 1.65 GeV/c, et des mesures de résolution spatiale ont été réalisées à l'aide de maquettes CERN, sous faisceau, à Saturne. Ces dernières mesures ont été effectuées dans des conditions identiques à celles de la configuration définitive en ce qui concerne l'électronique de lecture, les liaisons "chambres-électronique" et le système d'acquisition de données.

II. PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT DES CHAMBRES ET PARAMETRES DETERMINANT LES CONDITIONS DE TRAVAIL

1. Principe de fonctionnement

Les principes de construction et de fonctionnement des chambres à migration, devenues désormais classiques, ont été largement traités dans la littérature (voir par ex. F. Sauvi, rapport CERN 77-09).

Les électrons libérés dans le gaz d'une chambre par le passage d'une particule ionisante migrent dans un champ électrique et sont détectés sur un fil de compteur proportionnel. Le temps de migration est proportionnel à la distance du point de passage de la particule au fil, lorsque la vitesse de migration est constante.

Une chambre de type CERN est la juxtaposition de plusieurs cellules de migration comme celle représentée sur la figure 1. Dans chaque demi-cellule, la répartition de potentiel sur les fils de cathode définit le champ électrique de migration. Les électrons libérés lors du passage d'une particule migrent vers l'anode, le long des lignes de force, parallèlement au plan de mesure. La multiplication des électrons de migration a lieu très près du fil d'anode, porté à un potentiel positif. La solution que nous avons retenue pour lever l'ambiguïté droite-gauche, est celle du doublet d'anodes; les électrons ne sont détectés que sur l'anode correspondant à la demi-cellule traversée. La précision spatiale de localisation obtenue avec de telles chambres est $2\sigma \sim 300\mu\text{m}$.

La chambre de type MIT (W. Bertozzi et al., NIM 141 (1977) 457) a été conçue pour la localisation de trajectoires inclinées à environ 45° par rapport au plan de mesure. La chambre MIT de SPES III sera placée au plus près de la focale du spectromètre, qui est inclinée à 40° par rapport à l'axe optique. Sa structure ressemble à celle d'une chambre proportionnelle multifils (Fig.2). Les plans de cathode sont portés à un potentiel négatif et les fils de mesures sont au potentiel zéro. La migration des électrons a lieu vers les fils d'anode, le long des lignes de force, dans la direction perpendiculaire au plan de mesure. De par leur grand diamètre, les fils de champ n'interviennent pas dans la multiplication, et servent à délimiter la cellule de migration. Pour obtenir de façon univoque le point de passage d'une particule sur le plan de mesure et l'angle

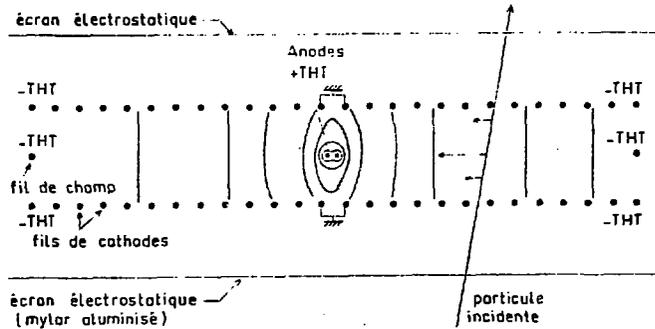


Fig.1. Schéma de principe de la chambre CERN. Les électrons créés lors du passage de la particule migrent vers l'anode, le long des lignes de force, parallèlement au plan de mesure

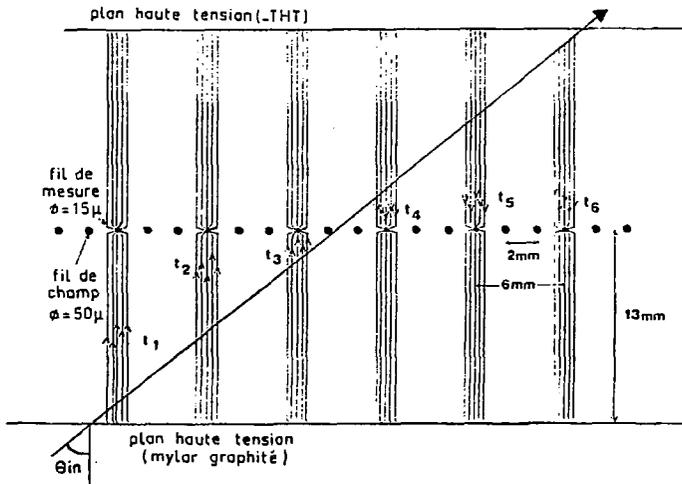


Fig.2. Schéma de principe de la chambre MIT. Les électrons migrent le long des lignes de force, perpendiculairement au plan de mesure, qui est au potentiel zéro.

d'incidence de sa trajectoire, cette particule doit avoir traversé au moins trois cellules. Un calcul utilisant les différents temps de migration mesurés sur les fils touchés, permet d'obtenir ces paramètres avec une très bonne précision ($2\sigma = 120\mu$ en x et $2\sigma = 12\text{nr}$ en θ).

Le gaz utilisé dans les chambres à migration est un mélange de gaz rare et d'hydrocarbure. Le gaz rare le plus fréquemment employé est l'argon, à cause de son potentiel d'ionisation relativement faible et de son prix de revient. L'hydrocarbure joue le rôle de "quencher", c'est-à-dire qu'il absorbe les photons émis dans le processus d'ionisation et évite les décharges de type Geiger-Muller. Dans le présent travail, nous avons utilisé les mélanges argon-éthane et argon-isobutane.

2. Les paramètres à étudier pour le fonctionnement des chambres

a) la tension de cathode (-THT) définissant le champ de migration, doit être choisie de façon que la vitesse de migration (w) soit constante. Pour chaque mélange gazeux utilisé, ceci n'est possible que dans un domaine restreint de valeurs du champ électrique, où la vitesse de migration est dite saturée. La connaissance de la valeur de w permet d'obtenir les coordonnées du point d'impact de la particule à partir des temps de migration mesurés. La stabilité de w est indispensable pour une bonne résolution spatiale.

b) La perte d'énergie de la particule dans la chambre détermine la charge déposée sur le fil d'anode, proportionnelle à dE/dx , compte tenu du coefficient de multiplication du mélange gazeux. Le signal recueilli doit avoir une amplitude suffisante pour son traitement au niveau des préamplificateurs associés. Les mesures de dE/dx sont à effectuer pour différentes particules, en fonction de leur énergie, afin de déterminer la dynamique de l'électronique.

c) Les tensions des fils d'anode sont déterminées après mesure des courbes caractéristiques d'efficacité en fonction des tensions d'anode (+THT), appelées plateaux. L'efficacité absolue d'une chambre est celle que l'on mesure sur le plateau et doit être voisine de 1.

d) Pour le mélange gazeux choisi, il faut également étudier les variations des plateaux en fonction du seuil de discrimination des préamplificateurs-discriminateurs (PAD).

III. METHODES EXPERIMENTALES

1. Réalisation des maquettes

a) Maquettes des chambres CERN

Nous avons construit trois maquettes de type CERN (Fig.3). Chaque maquette est constituée d'un seul plan d'anodes (coordonnée x), comprenant trois cellules élémentaires juxtaposées, chaque cellule comportant deux espaces de migration de 25mm. Les deux plans cathode sont distants de 6mm et sont tissés avec des fils de $\varnothing = 50\mu$ tous les 2mm. Le plan de mesure comporte trois doublets de fils d'anode, $\varnothing = 15\mu$, les deux fils d'un doublet étant espacés de 500μ . A 25mm de part et d'autre de chaque doublet, sont placés des fils de champ, $\varnothing = 50\mu$, au même potentiel que les fils de cathode leur faisant face. Tous ces fils, en tungstène doré, de longueur 17cm, sont fixés sur les circuits imprimés collés sur des cadres en fibre de verre (Permaglass ME 730). Des plans en feuilles de mylar aluminisé, d'épaisseur 9μ , placés à 10mm des plans cathode et connectés à la masse, constituent un blindage électrostatique. Ce blindage est particulièrement important dans une chambre constituée de plusieurs plans d'anode. La chambre est fermée par deux fenêtres en mylar, d'épaisseur 9μ également. Deux cadres extérieurs en aluminium lui confèrent la rigidité mécanique nécessaire.

Le champ électrique de migration est obtenu par une répartition linéaire de la haute tension négative sur les fils de cathode, à l'aide d'un pont résistif ($12 \times 1M\Omega$).

L'alimentation haute tension et le schéma de la prise de signal sur les fils de mesure sont représentés sur la figure 4. La prise des signaux en provenance des fils est tout à fait classique et câblée directement sur les circuits imprimés des plans d'anode.

b) Maquette de la chambre MIT

Le plan de mesure de la maquette de la chambre MIT comporte 48 fils de mesure, $\varnothing = 15\mu$ et 96 fils de champ, $\varnothing = 50\mu$. Chaque fil de mesure est encadré par deux fils de champ de part et d'autre. Tous ces fils sont en tungstène doré, de longueur 33cm, et sont répartis au pas de 2mm. Les fils de champ sont à la

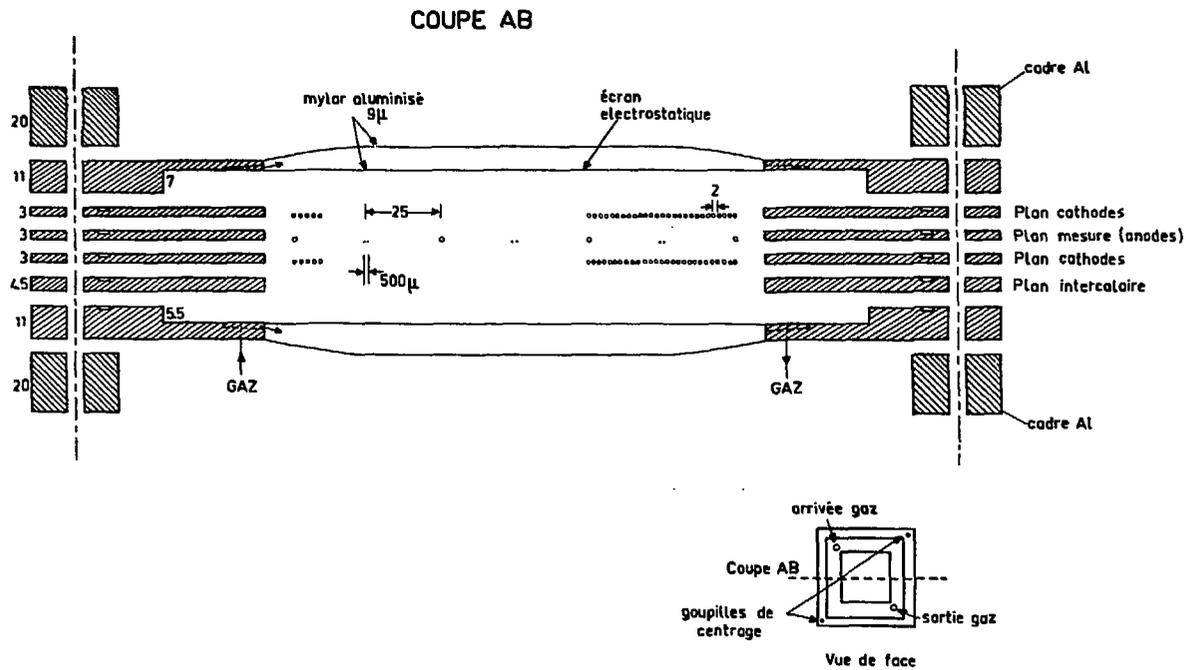


Fig.3. Schéma de la maquette des chambres CERN (cotes en mm)

masse et les fils de mesure au potentiel zéro. Les deux plans de cathode, constitués de feuilles de mylar graphité, d'épaisseur 9μ , sont placés à 13mm de part et d'autre du plan de mesure. L'épaisseur de 26mm est nécessaire afin de garantir un minimum de 3 fils touchés pour toutes les trajectoires à la sortie de SPES III, compte tenu de l'ouverture angulaire du spectromètre.

La haute tension négative, appliquée sur les plans cathode, définit le champ de migration et le champ pour la multiplication des électrons au voisinage des fils de mesure. Les signaux sont prélevés sur les fils de mesure à l'aide de câbles coaxiaux directement connectés aux préamplificateurs.

2. Lecture des chambres

a) Préamplification et mise en forme

En vue du codage des temps de migration, les signaux issus des chambres sont amplifiés et mis en forme dans des circuits "préamplificateurs-discriminateurs" (PAD). Ces derniers ont été réalisés à partir d'un circuit monolithique (MVL100 de LeCroy) comprenant une amplification de gain 100 en deux étages de gain 10, un circuit comparateur et un circuit de mise en forme. Une sortie intermédiaire (gain 10) est disponible pour des traitements analogiques (mesure $dE/dx...$). Le discriminateur travaille en "leading-edge", son temps de propagation est $\leq 15ns$. Les caractéristiques essentielles des PAD sont les suivantes :

- entrée 50Ω , sortie linéaire sous 50Ω (gain 1.5)
- "slewing" nominal $< 1.5ns$ pour un seuil minimum de $250\mu V$ et une dynamique de 2 à 20
- bande passante $> 100MHz$
- seuil variable de $250\mu V$ à $3.2mV$
- largeurs de sortie 20ns à 300ns
- sortie et liaisons ECL- \overline{ECL} par câbles 32 paires torsadées 100Ω vers des modules "récepteurs".

Multidéclenchements : Compte tenu de la forme du signal créé par une particule et du bruit associé de la chambre, les circuits PAD peuvent donner lieu à des déclenchements multiples, c'est-à-dire à plusieurs signaux mis en forme. La multiplicité, la séparation en temps et le taux de ces multidéclenchements

dépendent de la quantité de charge déposée dans le circuit, de la valeur du seuil de discrimination et de la durée de la mise en forme.

Les déclenchements multiples des PAD représentent un bruit de fond qui peut, le cas échéant, détériorer la résolution spatiale pour la détection d'événements à plusieurs traces ($n \geq 2$). En l'absence de multidéclenchements, la résolution de doubles traces est essentiellement donnée par le taux d'occupation du PAD par une particule ou la largeur de mise en forme (typiquement 20 à 40ns, correspondant à 1 ou 2mm). A titre d'exemple, le taux de doubles déclenchements mesuré en source avec un seuil de 500 μ V était inférieur à 5% pour des largeurs PAD de 20ns, atteignait environ 15% à 50ns, pour décroître vers 5% pour des largeurs supérieures à 100ns. Avec un seuil de 700 μ V, ces taux étaient diminués d'un facteur 2. Les déclenchements de multiplicité supérieure ($n \geq 3$) étaient inférieurs à 1%.

b) Le codage des temps de migration

La configuration électronique utilisée pour la lecture et le codage des temps de migration est montrée sur la figure 5.

Les signaux issus des PAD sont connectés, via les modules récepteurs, au système de codage pour la mesure des temps de migration. Ce codage se fait par le système Nevis, système entièrement digital, ayant une résolution de 1.5ns à la base et conçu pour la détection d'événements à multiplicité élevée (14) avec un temps mort faible (~ 36 ns).

Les temps sont mesurés à l'aide de modules codeurs à 8 voies, auxquels sont connectées les sorties des chambres. Les signaux en provenance de la chambre représentent les "Start" et le "Stop" est donné en commun à tous les codeurs par le trigger de l'expérience. Le temps de codage maximal du système est 1.54 μ s. A la base du système de lecture se trouve un oscillateur de 83.33 1/3MHz. La définition des temps à 1.5ns est faite dans chaque codeur, sur le principe du vernier, par un registre rapide saisissant au vol des états décalés de 1.5ns de l'oscillateur de base. Le codage (digitalisation) est obtenu à partir des données mémorisées dans chaque codeur dans une mémoire de 16 x 64 bits et calculé par des modules encodeurs. Les résultats sont transférés vers le système d'acquisition via des modules multiplexeurs et des modules d'interface.

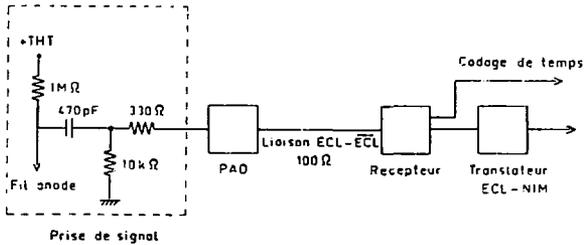
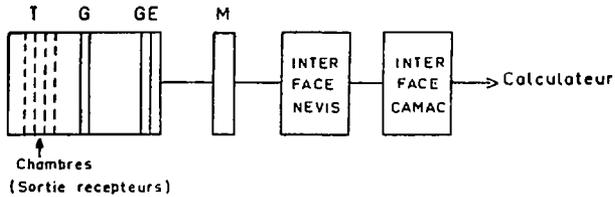


Fig.4. Lecture des fils de mesure des chambres CERN. Pour la chambre MIT, les fils anode, qui sont à un potentiel nul, sont directement connectés aux PAD.



- T: Codeurs de temps (time recorders)
- G: Générateur d'horloge
- E: Encodeur
- M: Multiplexeur

Fig.5. Schéma synoptique de l'électronique et de l'acquisition du système Nevis.

La prise en compte d'un signal trigger correspond à une prise de données. La sortie des résultats, compte tenu de l'exécution du programme d'acquisition, se fait, au niveau du système Nevis, dans l'ordre croissant des numéros des châssis et dans chaque châssis, dans l'ordre croissant du numéro de fil et de codeur et pour un fil dans l'ordre des temps de migration décroissants. Tous les codeurs ayant enregistré au moins un "Start" sont lus. L'encodeur calcule les différences $t = (t_{\text{Stop}} - t_{\text{Start}})$ et transmet la donnée "temps" si $t \leq t_{\text{max}}$. t_{max} est la valeur maximale des temps de codage que l'on choisit en fonction des temps de migration maximaux, ~ 250 ns pour la chambre MIT, ~ 500 ns pour la chambre CERN. L'adresse de la voie est transmise avec la donnée temps. L'interface y ajoute le n° de multiplexeur pour le calcul du n° de fil dans l'absolu et calcule la longueur du bloc des données ou "word count". Chaque événement comprend un certain nombre de mots "codage de temps", auxquels s'ajoutent, le cas échéant, des mots d'erreur en provenance de l'encodeur. Un mot "longueur de bloc" est le dernier présenté au CAMAC par le système Nevis.

Pour les mesures effectuées au CRN, le système d'acquisition était connecté à un PDP 11/40. Pour les mesures faites à Saturne, l'acquisition était faite à l'aide d'un SAR (Satellite d'Acquisition Rapide) du LNS connecté à un MITRA 125.

3. Dispositifs expérimentaux

Les mesures ont été réalisées au CRN de Strasbourg, en utilisant une source d'électrons (^{90}Sr , $T_{\text{max}} = 2.27$ MeV) et à Saturne (L.N.S.) avec des faisceaux parasites de divers p/z (protons de 0.6 à 1.65 GeV/c, deutons de 1.55 GeV/c, ^3He de 0.8 à 1.23 GeV/c).

Pour les mesures effectuées au CRN, le déplacement de la chambre à étudier, devant la source d'électrons, était assuré par deux vis micrométriques permettant de la déplacer horizontalement et verticalement. La chambre pouvait également tourner autour d'un axe vertical, pour l'étude des traces inclinées.

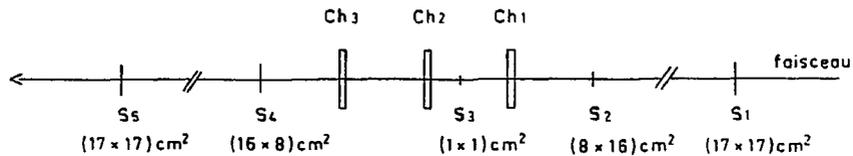
L'identification et le comptage des particules ayant traversé la chambre étaient assurés par un jeu de scintillateurs de tailles et d'épaisseurs différentes suivant les besoins des mesures. Ils étaient généralement placés derrière la chambre.

Compte tenu des pertes d'énergie dans la chambre et le trigger, les électrons effectivement observés dans la chambre avaient des énergies supérieures à 1 MeV et se trouvaient au minimum d'ionisation.

Pour les mesures sous faisceau à Saturne, les trois chambres étaient placées sur des bâtis fixes par rapport au faisceau, la chambre 2 pouvant tourner autour d'un axe vertical. La disposition géométrique des chambres et des scintillateurs définissant le trigger est représentée sur la figure 6. Les scintillateurs S1 et S5, distants de plus de 15 mètres, définissaient une base de temps de vol, pour l'identification des particules. La coïncidence des scintillateurs S1 et S5 avec les scintillateurs S2 et S4 définissait le faisceau incident sur les chambres : $(8 \times 8)\text{cm}^2$. Le scintillateur S3, $(1 \times 1)\text{cm}^2$, placé devant la chambre 2, permettait de sélectionner dans ce faisceau, un faisceau plus étroit de particules.

Le schéma de l'électronique utilisée pour la plupart des mesures est représenté sur la figure 7. Pour les mesures de vitesse de migration, nous avons utilisé un système classique de conversion temps-amplitude (CTA) connecté à un analyseur multicanaux. Les mesures de plateaux ont été effectuées en réalisant une coïncidence entre la chambre étudiée et le trigger. L'efficacité est donnée par le rapport du nombre de coïncidences chambre-trigger au nombre de coups trigger.

Sur la figure 8 est représenté le schéma de l'électronique utilisée pour la mesure des pertes d'énergie des particules. Les signaux proportionnels issus de la chambre sont prélevés au niveau de l'étage intermédiaire du préamplificateur MVL 100, puis sont amplifiés dans un amplificateur rapide. Après passage dans une porte linéaire, dont l'ouverture est commandée par la coïncidence chambre-trigger, ces signaux sont intégrés et analysés.



Ch: Chambres
 S: Scintillateurs
 S₁-S₅ = 1555 cm
 Ch₁-Ch₂ = 50 cm
 Ch₂-Ch₃ = 50 cm

Fig.6. Disposition géométrique des chambres et des scintillateurs du trigger, sur la ligne de faisceau 5 à Saturne.

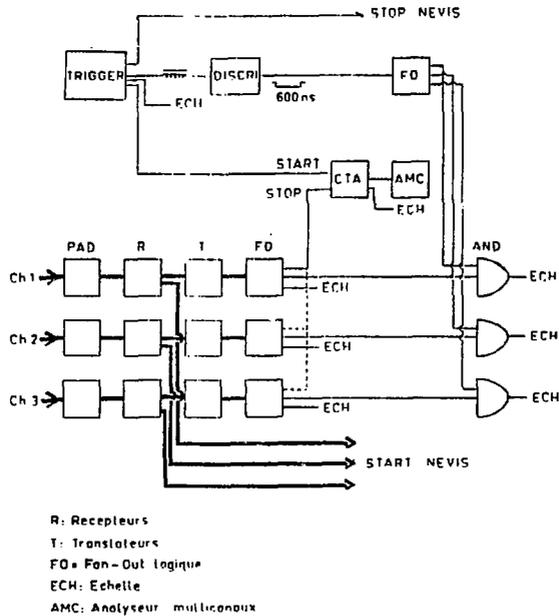


Fig. 7. Schéma synoptique de l'électronique utilisée pour les mesures de vitesse de migration et de plateaux d'efficacité, en source et sous faisceau.

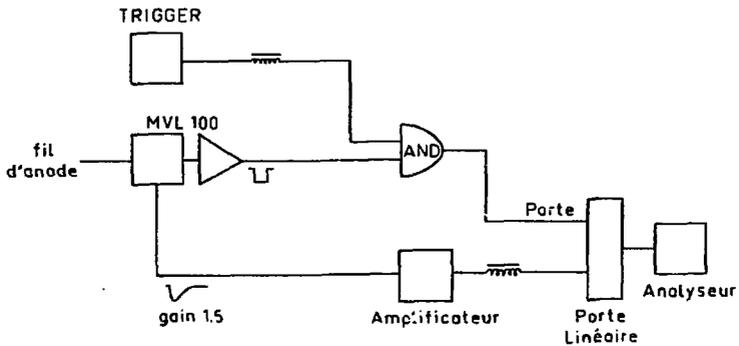


Fig. 8. Schéma synoptique de l'électronique utilisée pour les mesures de pertes d'énergie.

IV. RESULTATS CONCERNANT LES MAQUETTES CERN

La figure 9a montre un signal prélevé sur la chambre, obtenu avec des électrons. Le temps de montée de l'impulsion est $< 5\text{ns}$, sa largeur environ 50ns . Son amplitude a un spectre s'étendant jusqu'à 8mV . Sur la figure 9b est représentée la variation de l'amplitude du signal en fonction de la tension anode.

1. Vitesse de migration et saturation

Pour étudier les vitesses de migration et les conditions de leur saturation, nous avons utilisé la méthode du "spectre intégral". Cette méthode donne une valeur moyenne de la vitesse de migration dans la cellule. Afin d'obtenir le spectre des temps de migration dans tout l'espace de migration d'une demi-cellule simultanément, nous avons placé un des scintillateurs du trigger entre la source d'électrons et la chambre; la diffusion multiple des électrons dans le scintillateur permet d'irradier toute la demi-cellule. La figure 10 montre un tel spectre de temps de migration. L'anode correspond à un temps de migration nul, le fil de champ au temps de migration maximal.

Nous avons représenté sur la figure 11 la variation de w^{-1} en fonction de $-THT$, pour un mélange 63% argon - 37% éthane. Nous constatons que la vitesse de migration est saturée pour une valeur de $-THT$ de 2.0 kV environ. La saturation se manifeste pour toutes les proportions gazeuses entre 60% argon - 40% éthane et 63% argon - 37% éthane, aux alentours de cette même valeur de $-THT$, soit pour un champ électrique moyen de 0.8 kV/cm .

Compte tenu de ces résultats, nous avons adopté, pour la suite du travail, une tension cathode de -2.0 kV .

Dans la région de la saturation, la valeur absolue des vitesses de migration pour une large gamme de mélanges argon - éthane a été obtenue de façon plus précise en variant la position de la source par rapport au fil d'anode. Ceci a été réalisé par le déplacement de la chambre devant la source d'électrons collimatée à 3mm . Pour chaque position de la source par rapport au fil, on obtient une distribution en temps, dont le centre de gravité détermine le temps de migration moyen. L'ensemble de ces points mesurés pour différentes

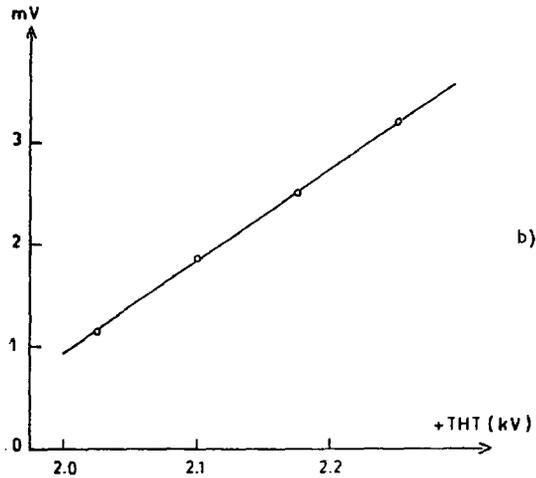
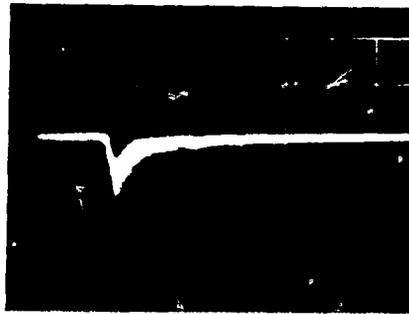


Fig.9 a) Signal observé, pour +THT = 2.175 kV, avec le mélange 63% argon - 37% éthane. L'échelle horizontale est 5ns par carreau, l'échelle verticale est 5mV par carreau.

b) Variation de l'amplitude moyenne de ce signal en fonction de +THT.

positions de la source représente la relation espace-temps. La figure 12 montre le résultat obtenu pour le mélange 68% argon - 32% éthane. La pente de la droite calculée par la méthode des moindres carrés donne la valeur de w^{-1} . Les valeurs de w obtenues sont présentées dans le tableau suivant, pour différentes proportions d'argon et d'éthane.

TABLEAU I. Vitesse de migration saturée en fonction du mélange gazeux.

argon %	éthane %	$w(\mu\text{m/ns})$
57	43	$52.89 \pm .47$
60	40	$51.73 \pm .20$
63	37	$51.59 \pm .25$
65	35	$51.28 \pm .37$
68	32	$50.59 \pm .21$

2. Plateaux d'efficacité

a) Mesures en source

Les mesures des courbes d'efficacité en fonction du mélange argon - éthane et de la tension anode ont été effectuées avec la source diaphragmée à 3mm et placée à 15mm du fil d'anode. La figure 13 représente la variation des plateaux en fonction du mélange gazeux. On remarque que, plus le mélange est riche en éthane, plus les plateaux sont situés à des tensions d'anode élevées et plus ils sont longs. Sur la figure 14, nous avons représenté schématiquement la longueur des plateaux en fonction des proportions d'éthane. La fin de ces plateaux est due à la tension de claquage dans le gaz.

La variation de la tension de travail, que nous définissons comme le milieu du plateau, est de 17 volts par % d'éthane.

Pour toutes les mesures suivantes, nous nous sommes délibérément limités à un mélange gazeux de 63% argon - 37% éthane, que nous appelons mélange

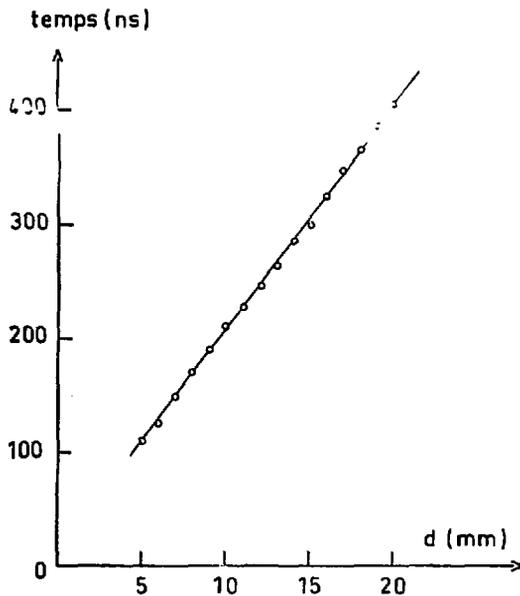


Fig.12. Relation espace-temps mesurée pour des trajectoires perpendiculaires, pour le mélange 68% argon - 32% éthane et pour $-THT = 2.0$ kV, $+THT = 2.05$ kV. La pente de la droite est 19.76 ns/mm, qui correspond à $w = 50.59 \mu\text{m/ns}$.

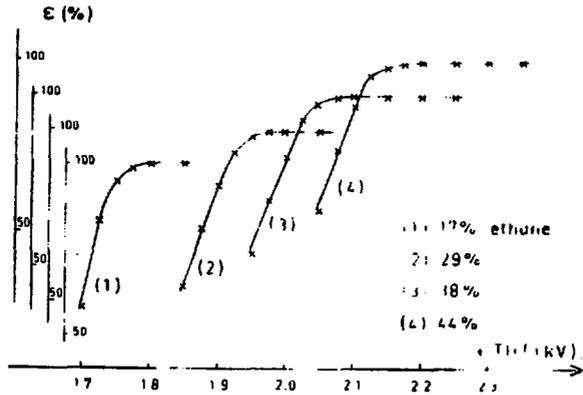


Fig.13. Plateaux d'efficacité mesurés pour différents mélanges gazeux, avec une source d'électrons perpendiculaires au plan de mesure. Le seuil des PAD était $800\mu\text{V}$.

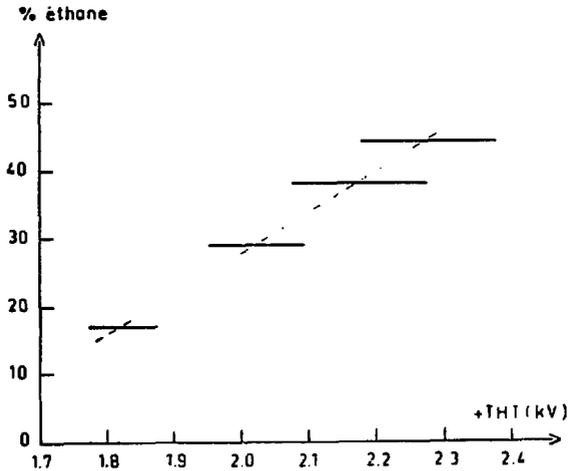


Fig.14. Longueur des plateaux d'efficacité en fonction de la proportion d'éthane. La variation de la tension de travail (droite en pointillés) est de 17 volts par % d'éthane.

standard. Pour un tel mélange, les plateaux d'efficacité commencent à +2.075 kV et s'étendent au-delà de 2.25 kV.

Le déplacement du plateau en fonction du champ de migration est faible; lorsque la tension cathode augmente de 500 volts, $-V_{HT} = 2.5$ kV, le plateau commence à une tension d'anode environ 40 volts plus bas.

Les plateaux mesurés pour les 18 fils d'anode ont été trouvés semblables. La variation du début du plateau est inférieure à 25 volts pour l'ensemble des 18 plateaux. Elle reflète essentiellement des différences au niveau de la construction mécanique (différences de diamètre des fils, inégalités dans l'espacement des plans,...).

Dans une gamme de débits gazeux entre 1l/h et 8l/h (le volume d'une chambre étant environ 1l), aucune différence notable n'a été observée dans les plateaux.

Efficacité au voisinage du doublet : Nous avons étudié l'efficacité de la chambre au voisinage du doublet, pour différents angles d'inclinaison des trajectoires. Sur la figure 15, nous avons représenté l'efficacité au voisinage du doublet, dans le cas d'un doublet de fils de $\varnothing = 15\mu$, écartés de 500μ . Quand la source est centrée sur le doublet, l'efficacité est 80% pour des traces perpendiculaires, 88% pour des traces inclinées à 17° , 95% pour des traces inclinées à 27° et voisine de 100% pour des traces inclinées à 37° . La valeur de l'efficacité observée au centre du doublet pour les traces perpendiculaires n'est pas nulle à cause des dimensions finies de la source et de l'ouverture angulaire du faisceau d'électrons. Ceci explique également la largeur de 5mm à la base du creux observé. La perte totale des particules estimée à partir de cette figure est 1.2%. Ceci est en bon accord avec la perte d'efficacité géométrique attendue, lorsqu'on a un doublet de 500μ dans une cellule de 50mm.

Plateaux d'efficacité en fonction de l'écartement du doublet : Cette étude a été effectuée sur une quatrième maquette dont le plan anode était constitué d'un fil d'anode simple $\varnothing = 15\mu$, d'un doublet de fils de $\varnothing = 15\mu$ écartés de 500μ et d'un doublet de fils $\varnothing = 15\mu$ écartés de 800μ . On constate que le plateau pour le singlet commence 400 volts plus bas que celui d'un doublet de fils espacés de 500μ . Pour un doublet dont les fils sont écartés de 800μ , le début du plateau

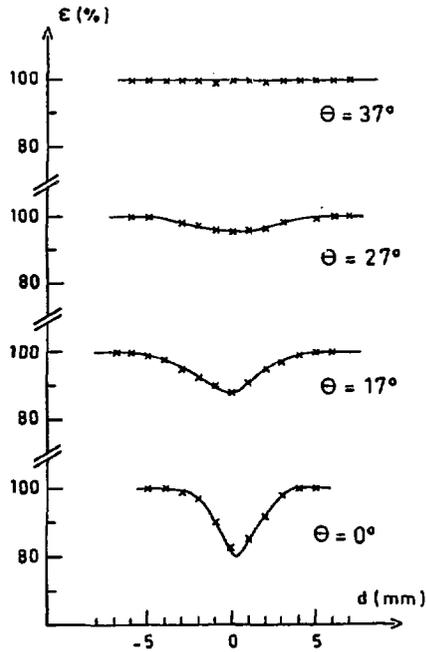


Fig.15. Efficacité en fonction de la distance de la source par rapport au doublet et pour différents angles d'inclinaison des trajectoires.

est environ 30 volts plus bas que celui du doublet de fils écartés de 500μ . Ces résultats s'expliquent en tenant compte des distorsions du champ électrique au voisinage des fils d'anode, introduites par la présence du deuxième fil du doublet. Ces distorsions sont d'autant plus grandes que les fils du doublet sont proches (voir §IV,3, page 26).

Afin d'estimer les variations de tension de travail dues à la répulsion électrostatique du doublet, nous avons mesuré les plateaux en fonction de la position verticale de la source d'électrons. Les plateaux mesurés aux extrémités des fils d'anodes commencent 25 volts plus haut que ceux obtenus au milieu des fils, où la répulsion électrostatique est maximale. L'effet de la répulsion électrostatique du doublet sur la tension de travail est faible par rapport à la longueur du plateau (200 volts).

Variation des plateaux en fonction du seuil : Indépendamment de tous les paramètres étudiés jusqu'à présent, l'utilisation des chambres en expérience nécessite l'application de seuils différents sur les PAD, en fonction du bruit de fond. Nous avons étudié les courbes d'efficacité pour différents seuils de discrimination. Celles-ci sont présentées sur la figure 16 pour des valeurs de seuil entre 400 et $1400\mu\text{V}$. Lorsqu'on augmente le seuil des PAD, on observe des déplacements des plateaux vers des tensions de plus en plus élevées. Compte tenu de la tension de claquage, l'augmentation du seuil des PAD entraîne un rétrécissement de la plage de fonctionnement.

Les conclusions des mesures d'efficacité effectuées en source, sont les suivantes : pour le mélange standard et pour une tension anode $\text{-THT} = 2.0 \text{ kV}$, il semble raisonnable de choisir une tension de travail anode de 2.175 kV . Effectivement, cette valeur permet de varier le seuil des PAD entre 400 et $1000\mu\text{V}$ sans perte d'efficacité. En laboratoire, pour éliminer le bruit, il a été jugé nécessaire de fixer un seuil minimum de $600\mu\text{V}$; avec un tel seuil, le début du plateau d'efficacité est situé à 2.075 kV et l'étendue du plateau est de l'ordre de 200 volts.

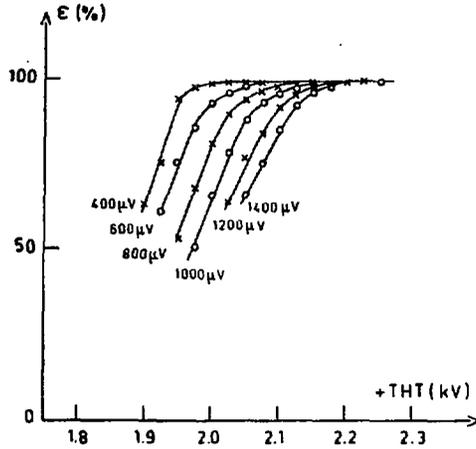


Fig.16. Variation des plateaux d'efficacité en fonction du seuil, obtenus avec le mélange standard et pour $-THT = 2.0$ kV.

b) Mesures d'efficacité sous faisceau

Les mesures d'efficacité ont été faites pour des protons de 0.6, 1.4 et 1.65 GeV/c, des deutons de 1.55 GeV/c et des ^3He de p/z 0.8, 0.93 et 1.23 GeV/c, pour des traces perpendiculaires et pour des traces inclinées à 30°. Ces mesures ont été effectuées avec des faisceaux d'intensité de quelques 10^2 particules par seconde.

La figure 17 montre les plateaux d'efficacité obtenus avec des protons de 1.4 GeV/c pour les trois chambres. Pour chaque chambre, l'efficacité a été mesurée en faisant la somme de tous les fils. La tension de travail est confirmée à 2.175 kV pour le mélange standard. A cette tension de travail, l'efficacité est très proche de 100% pour des impulsions de particules de 0.6 GeV/c à 1.65 GeV/c. Les tensions de claquage sont voisines de 2.3 kV. Ces plateaux sont proches de ceux mesurés en source. Les efficacités supérieures à 100% sont dues aux multi-déclenchements au niveau des discriminateurs. Leur taux est de l'ordre de 2 à 4% (voir §III,2a, page 8, et la fin de ce paragraphe).

La figure 18 représente quelques plateaux obtenus avec des particules plus lourdes. A titre de comparaison, nous avons porté sur la même figure le plateau obtenu avec des protons de 1.4 GeV/c. Nous observons que le plateau pour les deutons est sensiblement le même que pour les protons, et commence à environ 2.1 kV. Les plateaux mesurés à différentes impulsions d' ^3He sont très proches et sont situés environ 250 volts plus bas que le plateau mesuré pour les protons, avec des claquages autour de 2.15 kV, à cause des plus grandes pertes d'énergie. Cela signifie que le fonctionnement des chambres pour des ^3He et des protons simultanément devra se faire à une valeur compromise de +THT. Si le nombre d' ^3He est prépondérant, la valeur de +THT devrait être choisie d'après les plateaux mesurés en ^3He , ce choix entraînant une légère inefficacité en protons. L'utilisation d'une tension de travail adéquate pour des protons est possible, à condition que le nombre d' ^3He soit faible par rapport à celui des protons, pour éviter les claquages.

Les plateaux d'efficacité ont été mesurés également pour des trajectoires inclinées à 30° et aussi en fonction du taux de comptage. Les conclusions de ces mesures sont que les plateaux ne sont pas sensiblement différents pour les traces perpendiculaires et inclinées, et pour des taux de comptage variant de quelques 10^2 à quelques 10^4 particules par seconde sur une surface d'environ $8 \times 8 \text{ cm}^2$.

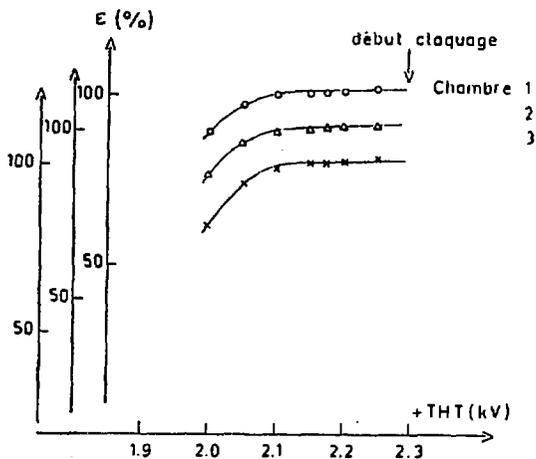


Fig.17. Plateaux d'efficacité mesurés avec des protons de $1.4 \text{ GeV}/c$ pour les trois chambres, avec un seuil de $800 \mu\text{V}$.

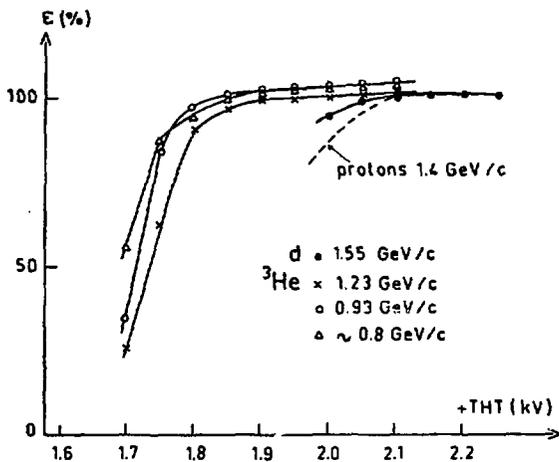


Fig.18. Plateaux d'efficacité mesurés pour des deutons et des ${}^3\text{He}$ de différentes impulsions, avec des seuils de $800 \mu\text{V}$. A titre indicatif, nous avons reporté, en pointillés, le plateau d'efficacité mesuré précédemment pour des protons.

Multidéclenchements : Le taux de multidéclenchements en fonction du taux de comptage a été mesuré en protons. La figure 19 montre quelques résultats. Les mesures ont été effectuées pour un seuil de $800\mu\text{V}$ et pour 2 largeurs de mise en forme, pour des particules incidentes à 0° et à 30° . On constate que le taux de multidéclenchements ne varie pas fortement en fonction de l'angle d'incidence. Tout au plus, il a tendance à diminuer quand l'angle d'incidence augmente. Comme nous le verrons au paragraphe suivant, la charge collectée pour les traces inclinées est légèrement inférieure à celle des traces perpendiculaires et la diminution du taux de multidéclenchements est conforme à l'observation selon laquelle ce taux dépend de la charge déposée dans les PAD. On voit que, pour un seuil de $800\mu\text{V}$, ce taux de multidéclenchements reste raisonnable pour des taux de comptage inférieurs à 10^4 particules par seconde et confirme les résultats obtenus en source.

3. Mesures de perte d'énergie

Les mesures de perte d'énergie (dE/dx) ou plutôt des charges collectées sur le fil d'anode, sont nécessaires à la compréhension du comportement des chambres. Leur étude systématique complète les mesures d'efficacité. Leur connaissance permet de prévoir les tensions de claquage dans le gaz. Elles permettent ainsi de déterminer le domaine de fonctionnement des chambres et les seuils de discrimination appropriés des PAD. En utilisant l'électronique décrite au §III,3, page 11, et figure 8, nous avons mesuré l'intégrale du signal collecté sur le fil d'anode, et compte tenu du gain de la chaîne électronique utilisée, nous avons évalué la charge effective correspondante.

Sur la figure 20, sont représentées les charges collectées à l'anode pour des électrons et pour différents mélanges gazeux. A une tension anode donnée, ces charges sont d'autant plus élevées que le mélange est riche en argon. Cela s'explique par le coefficient de multiplication dans l'argon et le rôle de "quenching" de l'éthane. L'augmentation du signal en fonction de +THT est donnée par la variation du gain dans le gaz en fonction du champ électrique. Ce comportement détermine la variation du débit et la longueur des plateaux d'efficacité en fonction du mélange gazeux (§IV,2a, page 17).

Les charges collectées sur les fils du doublet écartés de 500μ sont inférieures d'environ 7% à celles collectées sur les fils du doublet écartés de

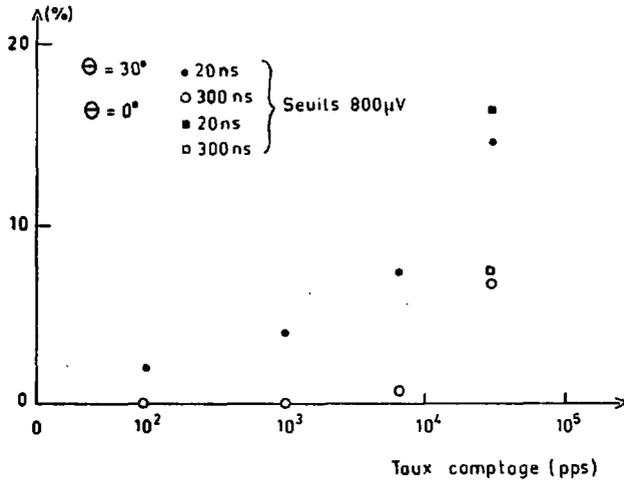


Fig.19. Taux de multidéclenchements en fonction du taux de comptage.

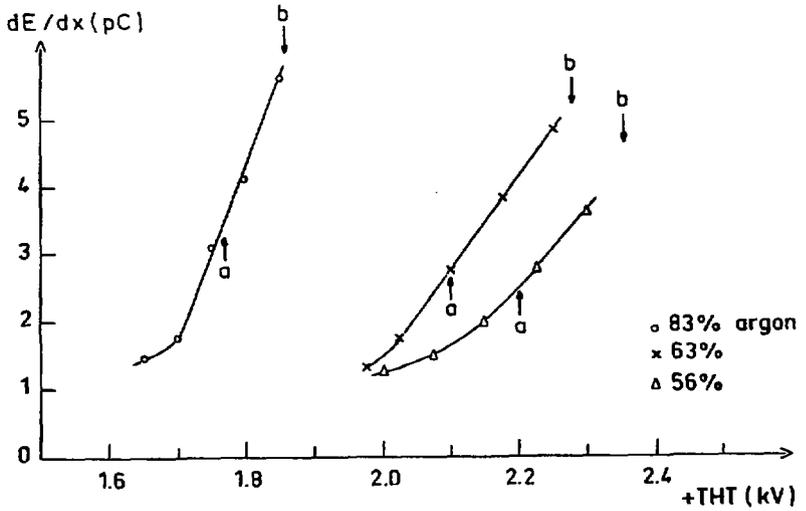


Fig.20. Pertes d'énergie mesurées pour les électrons pour différents mélanges gazeux. Les flèches a et b indiquent respectivement le début des plateaux d'efficacité mesurés avec un seuil de $800\mu V$, et la tension de claquage dans le gaz.

800 μ . Cela s'explique par le fait que le gain des fils d'un doublet est d'autant plus faible que ces fils sont rapprochés. La proximité des deux fils donne lieu à une déformation des équipotentielles. Cela provoque la diminution du champ électrique à proximité de chacun des fils d'anode.

Sous faisceau, les mesures ont été effectuées avec le mélange gazeux standard (63% argon - 37% éthane) pour des protons de 0.6, 1.0 et 1.4 GeV/c (fig.21a et 21c) pour des deutons de 1.55 GeV/c et des ^3He de p/z 0.8, 0.93 et 1.23 GeV/c (fig.21b). La figure 21a montre qu'en protons, la variation du signal observé pour des impulsions de 0.6 GeV/c et 1.4 GeV/c est environ 40%, ce qui ne devrait pas affecter sensiblement les plateaux. Les charges collectées pour les deutons (fig.21b) sont du même ordre de grandeur. Par contre, pour les ^3He , conformément à la variation en Z^2 des pertes d'énergies, les charges sont beaucoup plus grandes que pour les protons, ce qui explique la différence des plateaux pour les deux types de particules. Sur la figure 21c, nous avons représenté les charges collectées pour des traces perpendiculaires et des traces inclinées à 30°, pour des protons de 0.6 et 1.4 GeV/c. Ces charges sont plus faibles (environ 20%) pour les traces inclinées que pour les traces perpendiculaires. La diminution du signal pour les traces inclinées peut s'expliquer par les différences de parcours, de temps de migration et de champ effectivement subi par les électrons migrant vers l'anode pour une trace inclinée. Les différences de temps d'arrivée entre les premiers et les derniers électrons étant, dans ce cas, plus importantes que pour des traces perpendiculaires, il est probable qu'une bonne proportion de ces électrons arrive au fil d'anode après le développement de l'avalanche due aux premiers électrons et sont de ce fait perdus, à cause de la charge d'espace. Cette perte moyenne d'électrons de migration a été estimée inférieure à 40% pour des traces inclinées à 30°. Toutefois, cette diminution du signal pour les traces inclinées est trop peu importante pour affecter notablement les plateaux d'efficacité.

4. Mesures de résolution

La résolution des chambres a été mesurée par la méthode des alignements. A l'aide des trois chambres Ch1, Ch2 et Ch3, on détermine, pour chaque trajectoire, les trois coordonnées respectives x_1 , x_2 et x_3 (fig.22). La coordonnée théorique x_2^0 de la chambre étudiée est calculée sur la base des coordonnées x_1 et x_3 mesurées dans les deux autres chambres : $x_2^0 = x_3 + (x_1 - x_3) \cdot \frac{d_{23}}{d_{13}}$. Cette coordonnée est

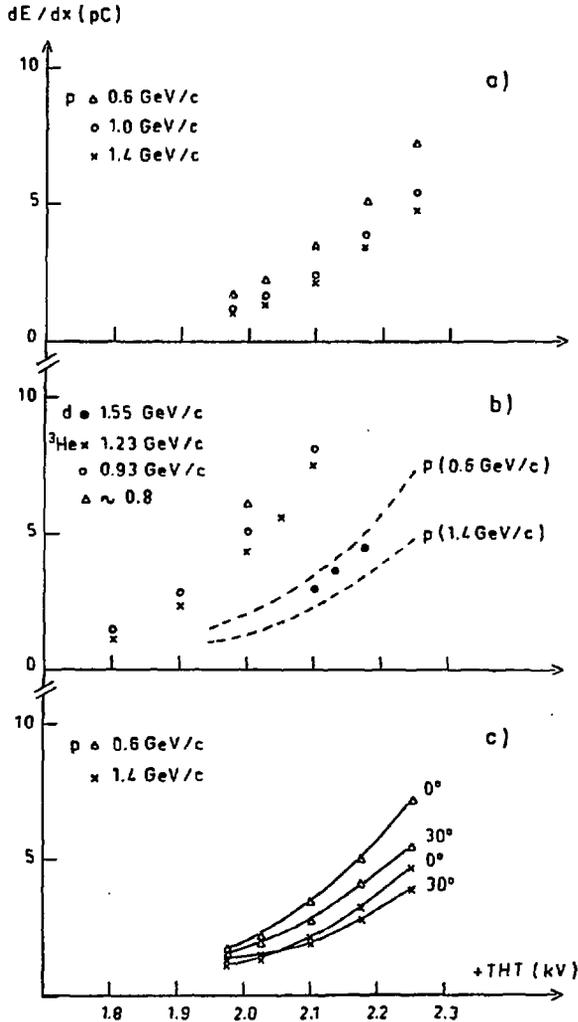


Fig.21. Pertes d'énergie mesurées a) pour des protons, b) pour des ${}^3\text{He}$ et des deutons. A titre indicatif, les courbes obtenues pour les énergies extrêmes de protons sont tracées en pointillés, c) pour des protons de 0.6 et $1.4 \text{ GeV}/c$ à des angles d'incidence de 0° et 30° .

ensuite comparée à la valeur expérimentale x_2 . Les écarts $\Delta \equiv (x_2^0 - x_2)$ calculés ont une distribution dont la largeur est donnée par la résolution de la chambre considérée et les effets de diffusion multiple.

— La figure 23 montre un exemple de spectre d'alignements obtenu avec des protons de 1.4 GeV/c. La résolution (FWHM) mesurée est de 375 μ . La contribution de la diffusion multiple pour cette mesure est de l'ordre de 150 μ . On obtient ainsi pour la résolution de la chambre environ 344 μ . Le tableau ci-dessous, résume les mesures de résolution.

TABLEAU II.

P_{protons} GeV/c	R_{mes} (μm)	R_{corr} (μm)
1.0	490	427
1.4	375	344
1.65	383	364

R_{mes} sont les largeurs à mi-hauteur des spectres d'alignements. R_{corr} sont les largeurs corrigées pour la diffusion multiple. On constate que la résolution s'améliore entre 1.0 et 1.4 GeV/c et ne varie pas au-delà. Les résolutions observées sont en accord avec celles obtenues ailleurs pour de telles chambres.

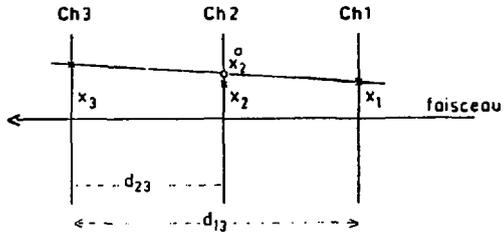


Fig.22. Principe de la méthode des alignements : x_1 , x_2 , x_3 sont les coordonnées mesurées sur les chambres 1, 2 et 3.

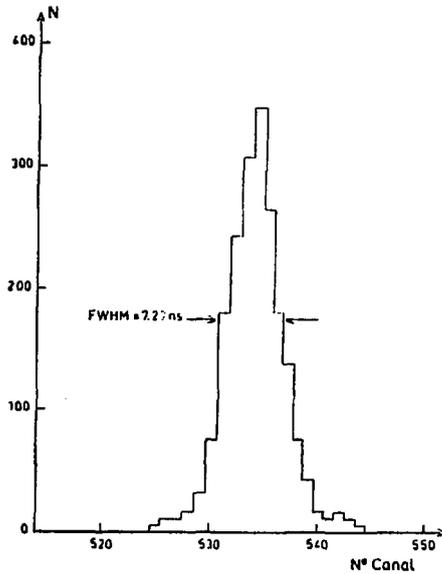


Fig.23. Spectre d'alignements obtenu pour des protons de 1.4 GeV/c perpendiculaires à la chambre. La largeur à mi-hauteur, 7.27ns, correspond à 375 μ et comprend la résolution de la chambre et les effets de diffusion multiple.

V. RESULTATS CONCERNANT LA MAQUETTE MIT

L'étude du prototype de la chambre MIT a porté sur les mesures de plateaux d'efficacité pour différents mélanges gazeux argon-éthane et argon-isobutane, et des mesures de pertes d'énergie dans le mélange argon-isobutane.

1. Plateaux d'efficacité et choix du mélange gazeux

Afin de voir s'il est possible de faire fonctionner la chambre MIT avec le même mélange que les chambres CERN, nous avons étudié l'efficacité de la chambre pour différents mélanges argon-éthane. La figure 24 montre quelques résultats à titre d'exemple. Nous constatons que le claquage dans le gaz, pour ces mélanges, se produit avant le début du plateau d'efficacité. N'ayant pas pu observer de tels plateaux, nous avons écarté la possibilité d'utiliser le mélange argon-éthane pour le fonctionnement de la chambre MIT. Nous avons effectué toutes les autres mesures avec le gaz utilisé pour la première chambre MIT (W. Bertozzi et al., NIM 141 (1977) 457) : 50% argon - 50% isobutane.

La figure 25 montre des plateaux d'efficacité mesurés en utilisant ce mélange. Ces courbes ont été mesurées sur un seul fil avec des seuils de 300 μ V, 400 μ V et 800 μ V sur les PAD. Les plateaux mesurés avec les seuils de 300 μ V et 400 μ V sont très longs. Avec un seuil de 300 μ V, le plateau commence à 8.9 kV; avec un seuil de 400 μ V, il commence à 9.1 kV. Pour ce mélange gazeux, la tension de claquage était de 9.75 kV environ. Pour un seuil de 800 μ V, le début du plateau serait à 9.6 kV.

Pour un seuil de 400 μ V, suffisant pour éliminer le bruit de fond de la chambre en laboratoire, la tension de travail que nous avons adoptée est 9.25 kV.

Efficacité de la chambre : La figure 26 montre un exemple d'histogramme du nombre de coups sur les fils touchés, obtenu avec la source diaphragmée à 3mm et orientée à 45° par rapport au plan de mesure. Sept fils au total sont touchés. Chacun des trois fils centraux voit plus de 60% des particules. Afin de mesurer l'efficacité absolue de la chambre, nous avons sommé les signaux de tous les fils touchés, afin d'éliminer les pertes géométriques d'un seul fil, et choisi des largeurs de mise en forme sur les PAD de 250ns. Le temps de migra-

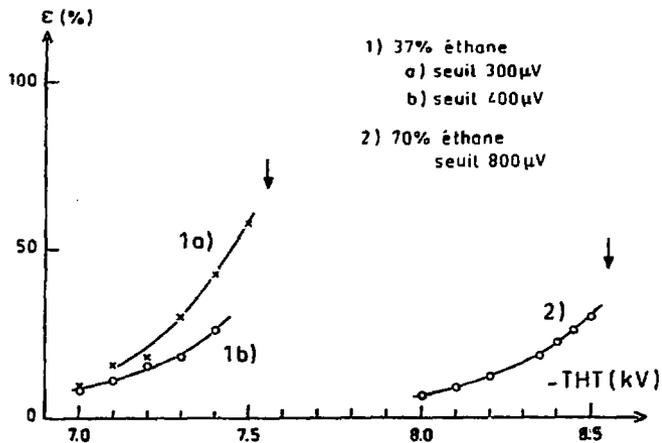


Fig.24. Efficacité de la chambre MIT pour deux mélanges argon-éthane. Les flèches indiquent la tension de claquage dans la chambre pour ces mélanges.

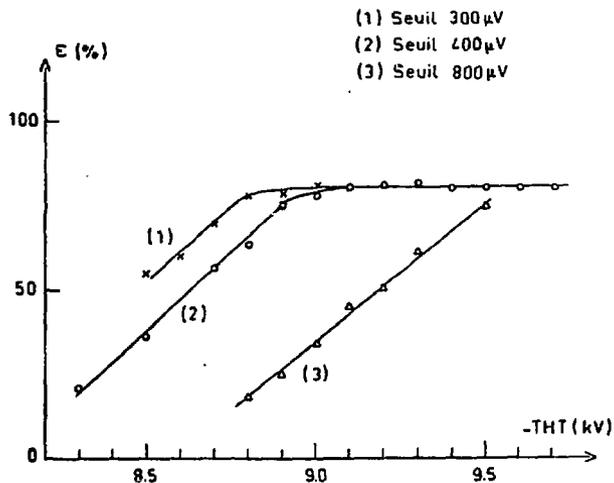


Fig.25. Plateaux d'efficacité obtenus pour la chambre MIT, avec le mélange 50% argon - 50% isobutane, pour différentes valeurs du seuil.

tion maximal étant de l'ordre de 250ns, de telles largeurs éliminent le comptage multiple d'une particule. Sur la figure 27, nous avons représenté le plateau d'efficacité mesuré sur un des fils et le plateau mesuré simultanément en sommant les signaux de tous les fils touchés. Sur le plateau, l'efficacité était de 82% pour un fil central, et voisine de 100% pour la mesure sur l'ensemble des fils touchés.

L'efficacité mesurée sur le plateau d'un fil individuel est inférieure à 100% à cause des pertes géométriques au niveau de la cellule de migration par rapport au faisceau défini par le trigger.

Le plateau obtenu sur l'ensemble des fils touchés commence ~200 volts avant le plateau mesuré sur un seul fil. Ceci est dû à la sommation sur tous les fils touchés, qui augmente la probabilité de détection d'une particule. Si l'efficacité de chaque fil est ϵ , l'efficacité dans le cas de la sommation sur n fils est $\epsilon \times \sum_{1}^n (1-\epsilon)^{n-1}$ et tend rapidement vers 1 lorsque ϵ est $\geq 50\%$ et $n \geq 3$.

Les résultats confirment qu'à la tension de travail choisie, de 9.25 kV, tous les fils se trouvent à leur plateau individuel.

Vitesse de migration : nous avons mesuré, par la méthode du spectre intégral, la vitesse de migration et nous avons constaté qu'elle est saturée au-delà de 9.0 kV dans le mélange 50% argon - 50% isobutane. Nous avons obtenu la valeur $w = 49.6 \pm .6 \mu\text{m/ns}$ pour cette vitesse de migration, en accord avec celle mesurée par W. Bertozzi.

2. Mesures de pertes d'énergie

Les résultats des mesures de pertes d'énergie dans la chambre MIT, avec le mélange argon-isobutane, en fonction de la tension cathode, sont représentés sur la figure 28a. Sur la figure 28b, nous avons reporté les charges collectées dans la chambre CERN pour le même mélange gazeux, dans la région du plateau d'efficacité. Les charges collectées dans le domaine des tensions de travail sont du même ordre de grandeur pour les deux chambres. On notera, en particulier, que le début des plateaux mesurés avec un seuil de 400 μV , correspond à une charge moyenne de 1pC déposée sur l'anode dans les deux chambres.

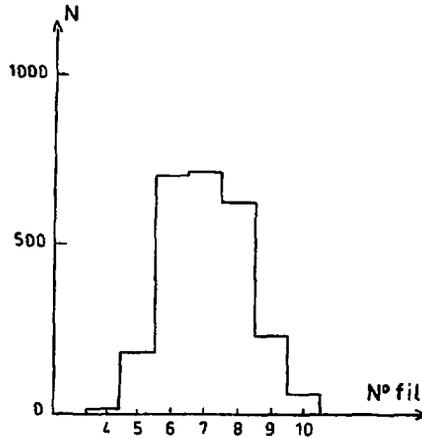


Fig.26. Histogramme du nombre de coups sur les fils touchés, pour 1000 particules incidentes.

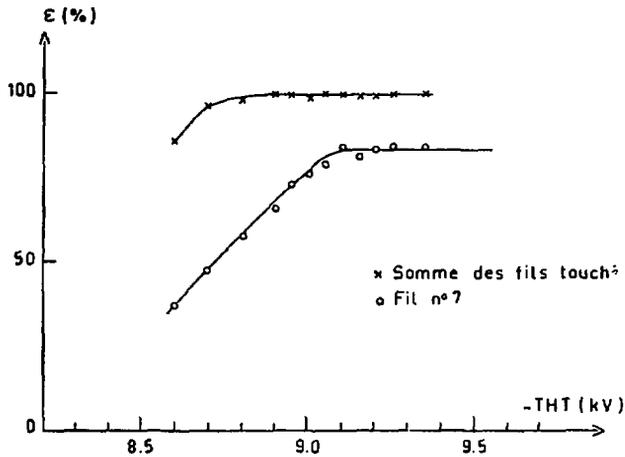


Fig.27. Plateaux d'efficacité mesurés simultanément sur un seul fil et en faisant la somme de tous les fils touchés.

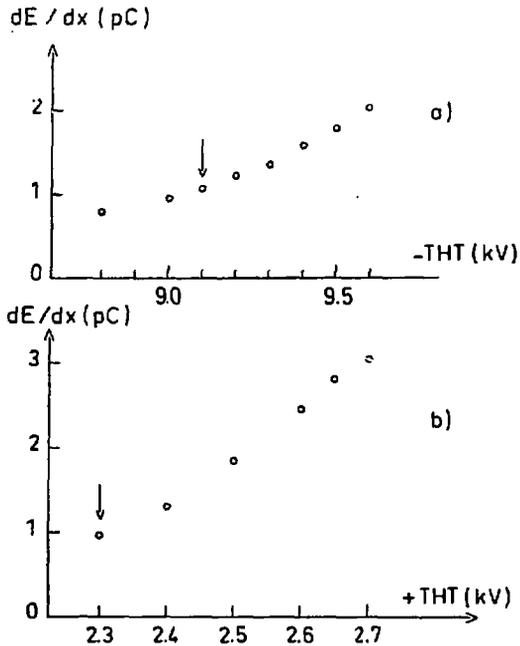


Fig.28. Pertes d'énergie dans le mélange 50% argon - 50% isobutane
a) dans la chambre MIT
b) dans la chambre CERN
Les flèches indiquent le début des plateaux d'efficacité obtenus avec un seuil de $400\mu V$.

VI. CONCLUSION

La réalisation des maquettes de chambres à migration a permis d'affiner le cahier de charges pour la construction des grandes chambres à migration destinées à SPES III. L'ensemble a constitué un banc d'étude des caractéristiques de toute l'électronique associée. Différents types de PAD ont été essayés; les prototypes des modules à 32 voies ont pu être testés et leurs performances mesurées dans des conditions réalistes sur les chambres. A l'aide de l'ensemble des chambres, la mise au point du système de codage de temps et des interfaces d'acquisition ainsi que les programmes de traitement en ligne des informations "chambres", ont pu être réalisés à Strasbourg.

Les résultats des mesures effectuées au CRN, ont permis de déterminer les domaines de conditions optimales pour le bon fonctionnement des chambres (mélanges gazeux, saturation des vitesses de migration, pertes d'énergie, plateaux d'efficacité). Les chambres CERN ont fonctionné en laboratoire plus de 4500 heures sans voir leurs caractéristiques modifiées. La chambre MIT a fonctionné environ 900 heures dans des conditions satisfaisantes.

Des mesures supplémentaires ont été réalisées à Saturne, pour les chambres CERN, dans des conditions plus réalistes, sous faisceau et avec le système d'acquisition du Nevis connecté à un SAR. Elles ont permis de compléter les premiers résultats et de déterminer les performances de l'ensemble avec des protons, des deutons et des ^3He dans la gamme des impulsions attendues sur SPES III.

REMERCIEMENTS

Ce travail a pu être réalisé grâce à la collaboration de tous les techniciens du Groupe des Energies Intermédiaires du CRN. Messieurs R. Glassmann, E. Kandel et R. Lindenlaub ont assuré la préparation des scintillateurs et la construction des maquettes, et Messieurs P. Guterl et G. Westermann la réalisation des PAD, des liaisons et la mise au point de l'électronique de codage et d'acquisition.

Nous remercions Madame P. Baumann pour sa participation lors de la réalisation de la première maquette CERN. Nous remercions également Messieurs A. Gleim et R. Walter pour la réalisation d'un système mélangeur de gaz permettant d'alimenter les chambres.

Nous remercions Messieurs R. Frascaria, G. Pinon et le service de mécanique d'Orsay, d'avoir mis à notre disposition la première maquette MIT, et Monsieur J. Camon pour son aide lors de certains travaux de tissage.

TABLE DES MATIERES

	PAGES
I <u>INTRODUCTION</u>	1
II <u>PRINCIPE DE FONCTIONNEMENT ET PARAMETRES DETERMINANT LES CONDITIONS DE TRAVAIL</u>	
1 Principe de fonctionnement	2
2 Les paramètres à étudier pour le fonctionnement des chambres	4
III. <u>METHODES EXPERIMENTALES</u>	
1. Réalisation des maquettes	5
a) Maquettes des chambres CERN	
b) Maquette de la chambre MIT	
2. Lecture des chambres	7
a) Préamplificateurs - Discriminateurs	
b) Codage des temps de migration, par le système Nevis	
3. Dispositifs expérimentaux	10
IV. <u>RESULTATS CONCERNANT LES MAQUETTES CERN</u>	
1. Vitesse de migration et saturation	14
2. Plateaux d'efficacité	17
a) Mesures en source	
b) Mesures sous faisceau	
3. Mesures de pertes d'énergie	26
4. Mesures de résolution	29
V. <u>RESULTATS CONCERNANT LA MAQUETTE MIT</u>	
1. Etude des mélanges gazeux, plateaux d'efficacité	33
2. Mesures de perte d'énergie	35
VI. <u>CONCLUSION</u>	38