

PS / PA - BM Note 90 - 25

07 Août 1990

**UTILISATION D'UN DETECTEUR SILICIUM MULTIPISTE DOUBLE FACE
COMME MONITEUR DE FAISCEAU DANS L'ULTRA VIDE DE LEAR**

P. Fessler, V. Agoritsas, K.I. Kuroda, J.P. Bovigny, M. Corcelle, M. Lafaverge

RESUME

Un détecteur silicium multipiste double face ayant une résolution de 1 mm sur chaque face a été utilisé dans l'ultra vide de LEAR comme moniteur de faisceau. Cette note présente les caractéristiques statiques du détecteur (conception, courant inverse, résistance interpiste sur la face arrière) ainsi que les résultats obtenus avec un faisceau de protons de 105 MeV/c éjecté de LEAR.

ABSTRACT

A double sided silicon strip detector with 1 mm pitch strips on both side has been used in the LEAR ultra high vacuum as a low energy beam monitor. This paper presents the static characteristics of the detector (design, leakage current, interstrip backside resistance) and results obtained with low energy protons ejected from LEAR.

INTRODUCTION

Jusqu'à présent le réglage des lignes de faisceau éjecté de LEAR se faisait à partir des chambres multifils qui donnent les projections X et Y du faisceau [1]. Pour des énergies de protons (ou d'antiprotons) inférieurs à 105 MeV/c, les particules sont absorbées dans la fenêtre d'entrée du détecteur (qui est balayé constamment par un mélange Ar 66% - CO₂ 33% à la pression normale) ce qui rend inefficace ce genre de détecteur.

Pour palier à cette difficulté, nous avons développé un moniteur de faisceau à partir d'un détecteur silicium multipiste présentant une fenêtre d'entrée beaucoup plus tolérante (1000 Å eq. Si). Le parcours des protons d'énergie inférieur à 105 MeV/c étant inférieur à 300 µm dans le silicium, plutôt que de diminuer l'épaisseur des détecteurs, nous nous sommes naturellement tournés vers les détecteurs silicium multipiste double face [2].

Dans la première partie de ce papier, nous présentons les caractéristiques géométriques et électriques du détecteur. Nous avons en particulier mis l'accent sur la résistance interpiste de la face arrière du détecteur qui grâce à l'implantation d'une couche mince de bore entre les pistes est suffisamment grande pour éviter un crosstalk entre les pistes adjacentes.

En collectant les électrons et les trous créés simultanément par une particule ionisante sur chaque face du détecteur, il est possible d'obtenir une information spatiale bidimensionnelle en plus des projections. Nous présentons à cet égard les résultats obtenus en laboratoire avec une source Am²⁴¹ et dans les conditions réelles d'utilisation avec un faisceau de proton de 105 MeV/c éjecté de LEAR.

1. CARACTERISTIQUES DU DETECTEUR

1.1. Conception (Micron Semiconductor)

Le détecteur fabriqué selon la technique planar est constitué d'une plaquette silicium de 300 µm d'épaisseur et de 40x40 mm de surface sensible. Quarante pistes de 0.9 mm de large et de 40 mm de long ont été déposées perpendiculairement sur chacune des faces. La distance séparant deux pistes est de 0.1 mm (fig. 1).

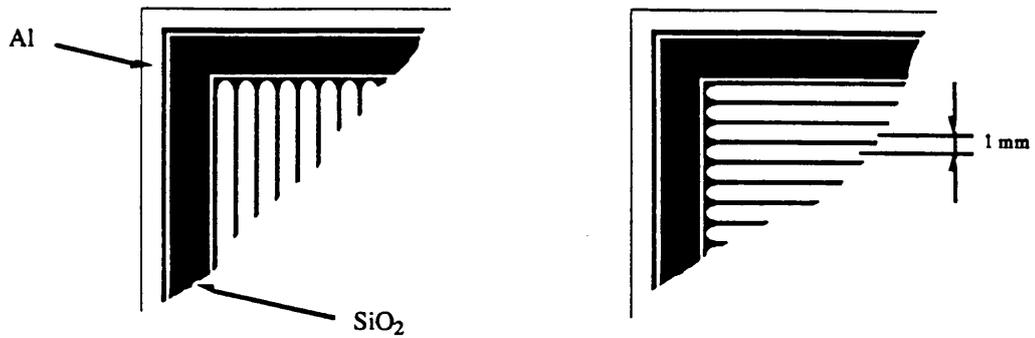


Fig. 1 : Face avant (jonction)

Face arrière

La face correspondant à la jonction a été fabriquée d'une manière standard à partir d'un substrat silicium de type N. L'implantation de Bore selon le masque décrit ci-dessus réalise la jonction PN. Les pistes sont ensuite recouvertes d'une couche d'aluminium (typiquement 1000 Å) et isolées entre elles par une couche d'oxyde de silicium (fig. 2a).

Sur la face arrière les pistes d'aluminium sont déposées sur des régions N⁺ (implantation d'arsenic). Sans autre modification la localisation sur cette face serait impossible du fait de la faible résistance entre les pistes (canal N) et de l'accumulation de charges négatives à l'interface oxyde-silicium. Pour remédier à ceci, une implantation de type P a été effectuée entre chaque piste avant la couche d'oxyde de silicium (fig. 2b)

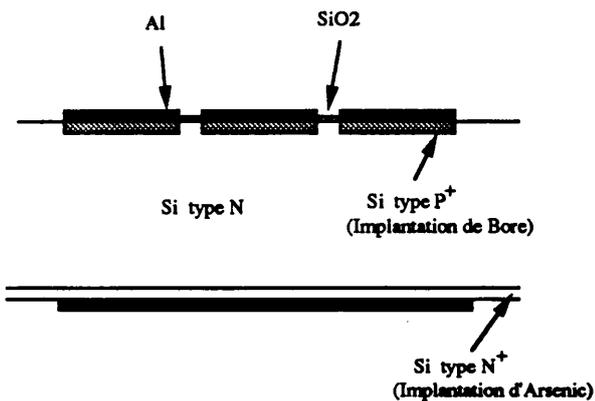


Fig. 2a : Face avant

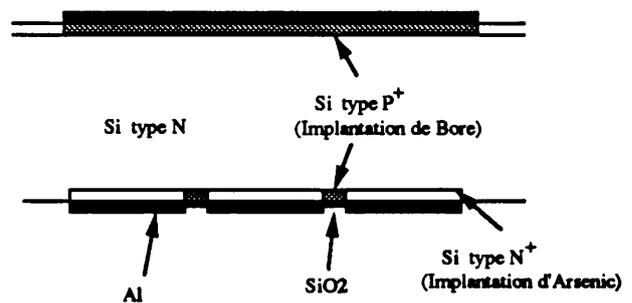


Fig. 2b : Face arrière

1.2. Mesures électriques

A.- Courant inverse

La caractéristique inverse du détecteur (fig. 3) a été mesurée pour une piste de la face avant, toutes les autres étant court-circuitées à la masse. La tension de polarisation est appliquée sur toutes les pistes de la face arrière. A 50 V, le courant inverse est de l'ordre de 20 nA ce qui est tout à fait comparable à un détecteur multipiste simple face. La contribution de ce courant sur le bruit de l'ensemble de détection sera donc faible ce qui permet l'utilisation de ce détecteur comme détecteur de particule.

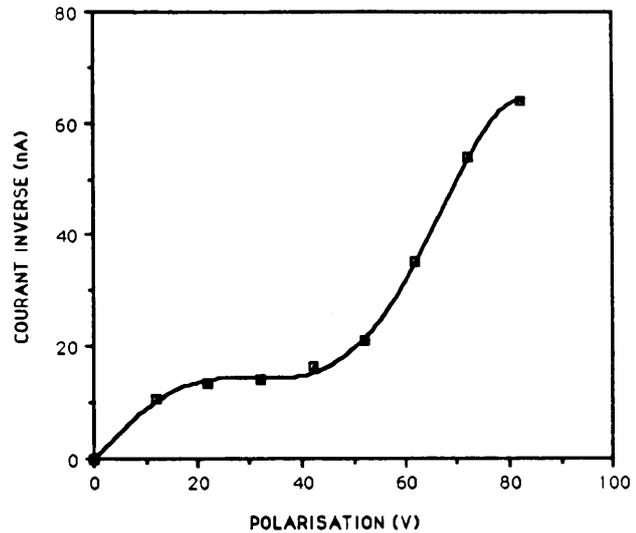


Fig. 3 : Courant inverse d'une piste en fonction de la tension de polarisation

La fig. 4 représente le courant inverse pour chaque piste, le détecteur étant polarisé à 50 V. A part la piste 39 qui présente un courant assez important (180 nA) et la piste 40 qui n'est pas connectée, le détecteur est tout à fait homogène.

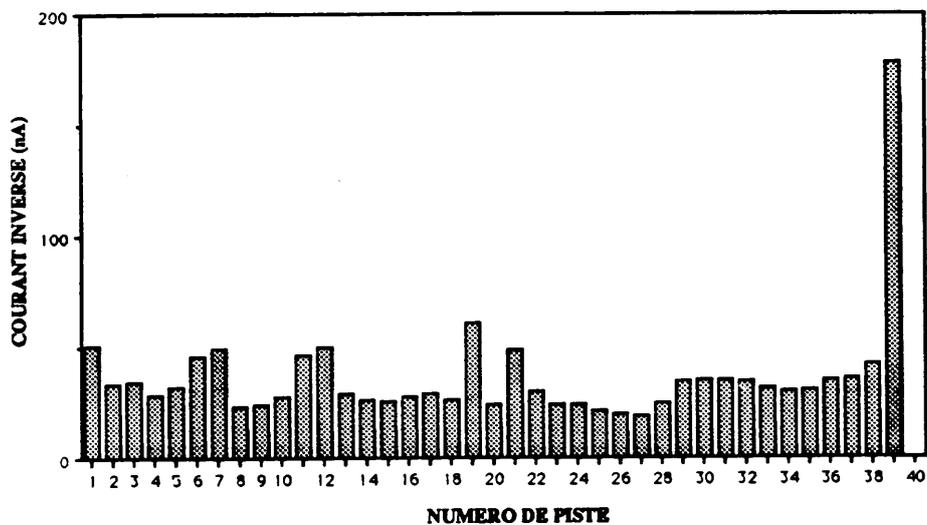


Fig. 4 : Homogénéité du courant inverse à 50 V en fonction des pistes

B - Mesure de la capacité

En traçant la capacité d'une piste en fonction de la racine carré de l'inverse de la tension de polarisation (fig. 5) on remarque nettement le changement de pente dans la courbe pour une tension de 35 V. Au dessus de cette tension la largeur de la zone déplétée reste pratiquement constante. Lorsque la déplétion est totale la capacité de la piste est de l'ordre de 16 pF.

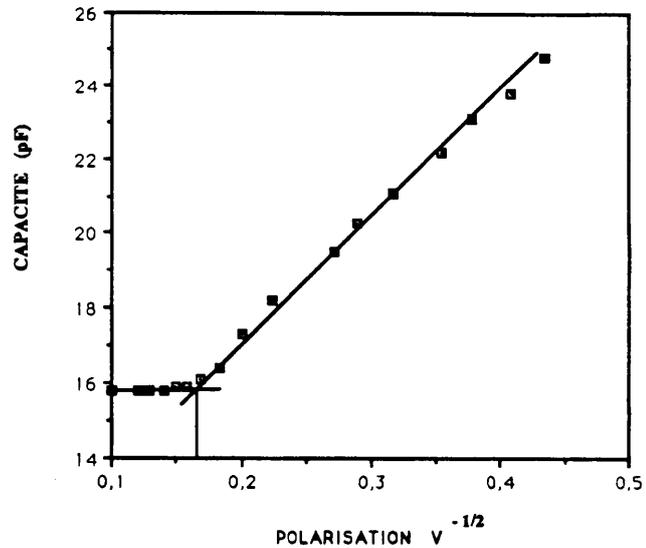


Fig. 5 : Capacité d'une piste en fonction de la tension de polarisation

C - Résistance interpiste sur la face arrière

Sans tension de polarisation la résistance entre les pistes est de l'ordre de 2 k Ω . Dans ce cas, la majorité des charges contournent la zone P⁺ implantée entre les pistes et deux pistes adjacentes sont pratiquement court-circuitées entre elles. Par contre lorsque le détecteur est totalement déserté de charge mobile, la zone P⁺ joue un rôle fondamental puisqu'elle empêche les charges de passer facilement d'une piste à l'autre. On comprend alors que la résistance interpiste varie drastiquement avec la tension de polarisation (fig. 6).

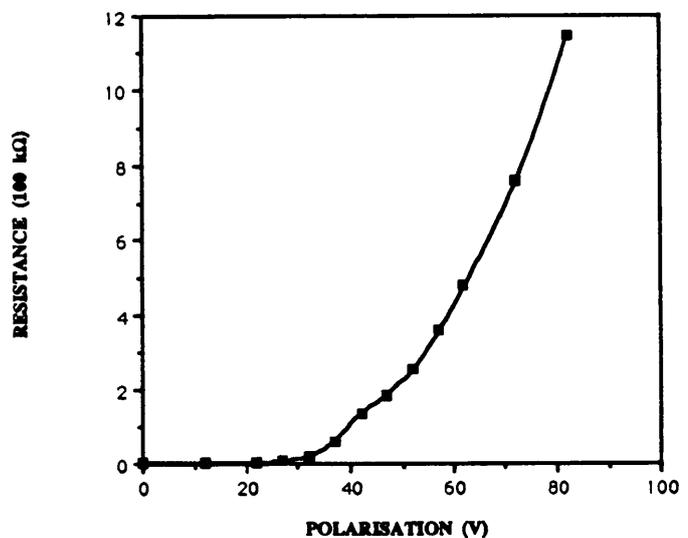


Fig. 6 : Variation de la résistance interpiste de la face arrière en fonction de la tension de polarisation

A 80 volts la résistance est supérieure à 1 M Ω ce qui permet d'envisager de faire de la localisation de particule dans les deux plans, l'impédance d'entrée des préamplificateurs (\approx 130 k Ω) étant faible par rapport à cette valeur.

Sur la fig. 7 nous avons représenté la variation de la résistance entre les pistes de la face arrière en fonction de la position des pistes sur le détecteur pour un tension de polarisation de 50 V. Cette résistance est relativement homogène sur l'ensemble du détecteur.

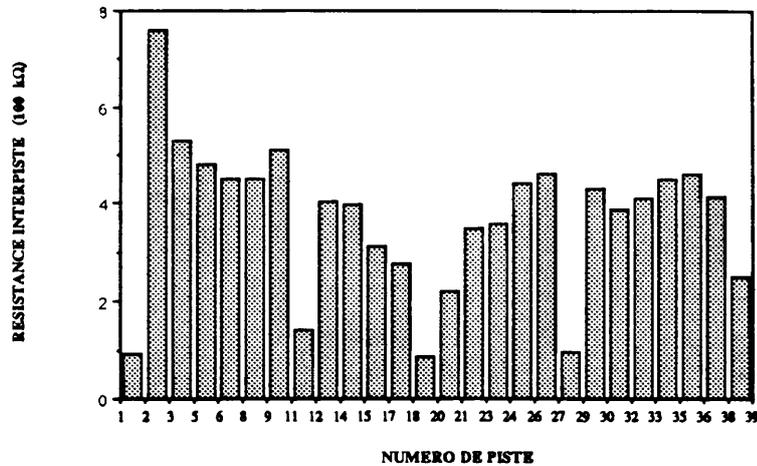


Fig. 7 : Homogénéité de la résistance interpiste sur la face arrière du détecteur.

2. MONTAGE MECANIQUE.

Le système est destiné à fonctionner dans l'ultra vide des lignes de faisceau éjecté de LEAR. L'emploi de matériaux dégazant est donc à proscrire. Le détecteur lui-même est pincé entre deux plaques de céramique de 500 μ m d'épaisseur. Des pistes d'or assurent la continuité électrique sur les plaques. Les pistes sont connectées sur la céramique par bonding d'un côté et par soudure à l'argent de fils de nickel de l'autre. Les passages électriques vers la pression ambiante sont assurés par deux connecteurs de 37 pins chacun. Avec un tel montage, nous avons atteint un vide meilleur que 10⁻⁹ torr au bout de ligne S4 de LEAR.

Le système mécanique a été conçu en fonction des boîtiers contenant actuellement les chambres multifils. Le détecteur peut être rétracté du faisceau grâce à un mouvement vertical de 60 mm (vérin pneumatique) qui dégage l'axe du faisceau de 30 mm. Le positionnement de l'ensemble est meilleur que 0.1 mm dans les deux plans grâce au guidage précis du mouvement vertical par un palier (fig. 8).

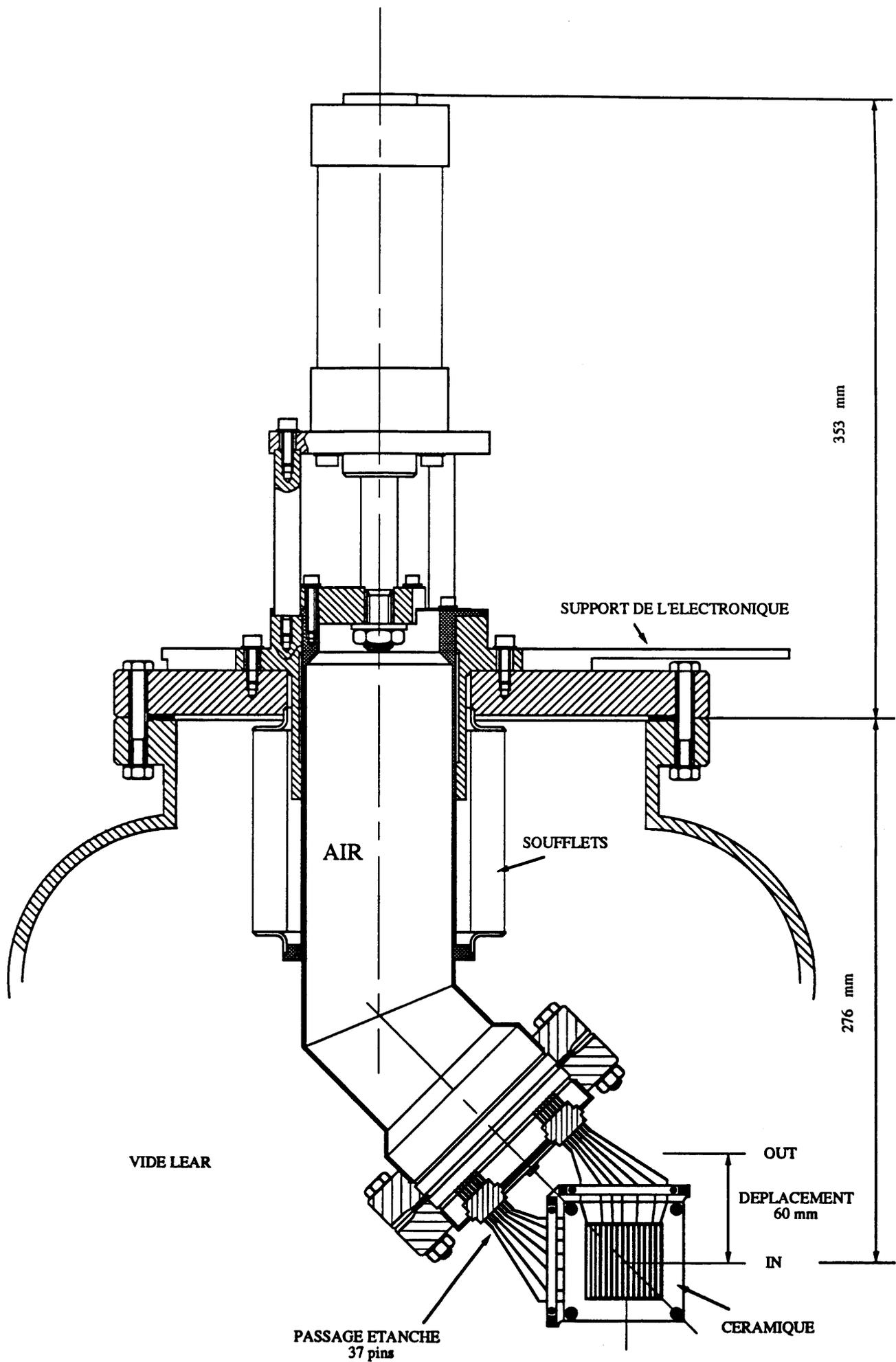


Fig. 8 : schéma simplifié du montage mécanique

3 SCHEMAS ELECTRONIQUES

A - Considérations générales

Les connecteurs soudés à la céramique d'un côté et enfichés sur les pins du passage étanche de l'autre, sont isolés entre eux par de la gaine de silice. La longueur de fils non blindée est environ 5 cm. Après le passage étanche, chaque fils est blindé par un câble coaxial (50 cm) dont la masse est connectée d'un seul côté à la masse des préamplificateurs.

Les signaux sont ensuite préamplifiés par une série de préamplificateurs de charge 4 canaux réalisés en technologie hybride (Laben mod. 5311). Les pulses sont ensuite transportés sur environ 15 m par des câbles torsadés et amplifiés par quatre modules de 16 canaux. Il y a finalement 32 signaux analogiques disponibles pour chaque piste qui peuvent être discriminés ; ils correspondent à 32 pistes adjacentes centrées sur chaque face.

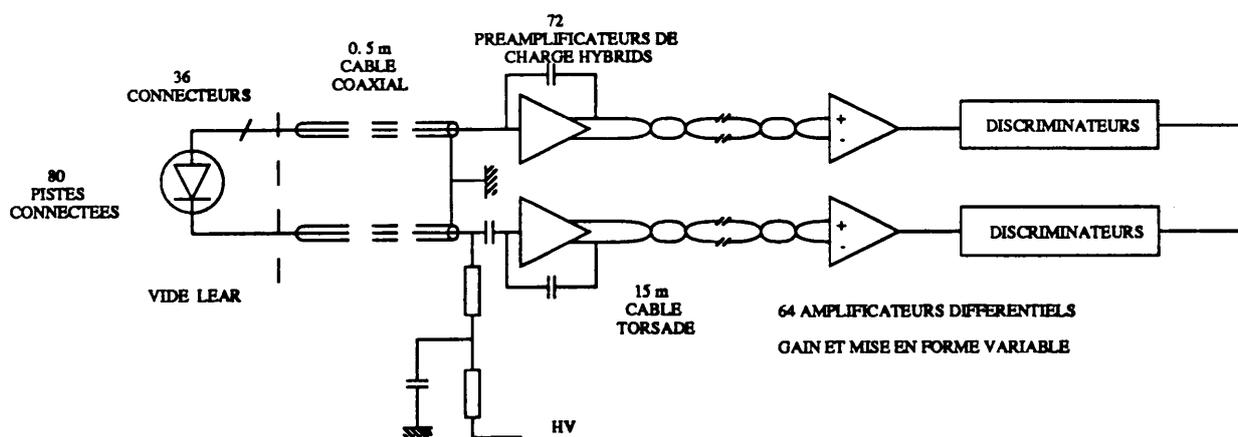


Fig. 9 : Schéma général de l'électronique.

B - Lecture directe

Les projections X et Y d'un faisceau de protons sont obtenues en associant directement à chaque discriminateur un compteur. Nous avons à notre disposition 12 compteurs par face. A 105 Mev/c le faisceau était bien focalisé dans le plan vertical. Nous avons donc choisi de lire le nombre de particules arrivant sur 12 pistes adjacentes. La focalisation étant moins bonne sur le plan horizontal, seulement une piste sur deux a été enregistrée

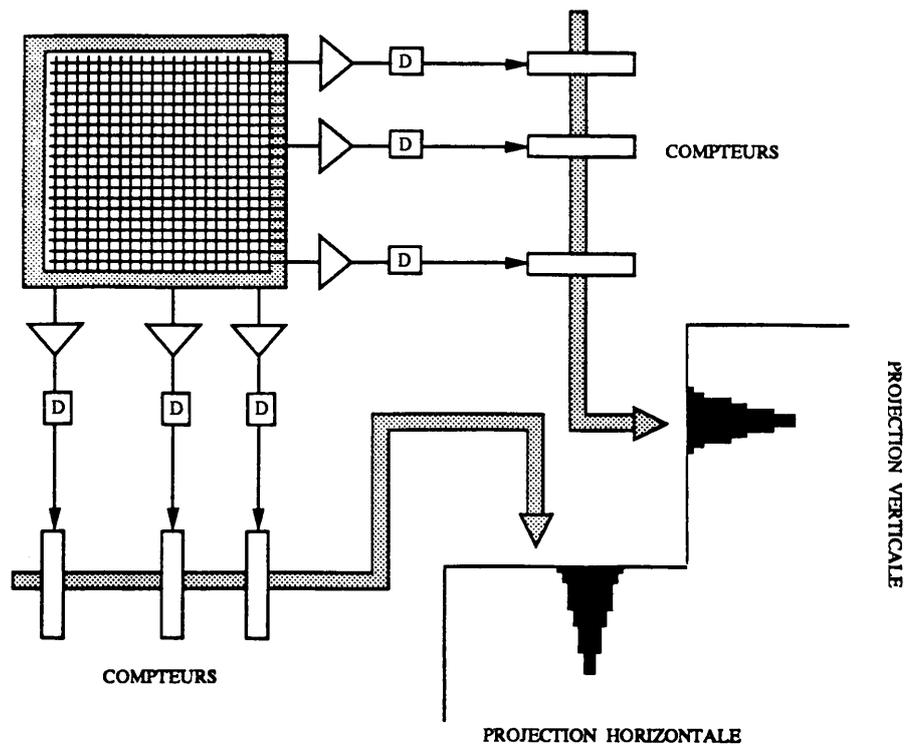


Fig. 10 : schéma électronique utilisé pour une lecture directe des pistes.

Les deux diagrammes suivant représentent les projections reconstruites à partir du contenu des compteurs pour un faisceau de protons de 105 MeV/c. Le détecteur était placé sous vide au bout de la ligne S4 de LEAR (mai 1990)

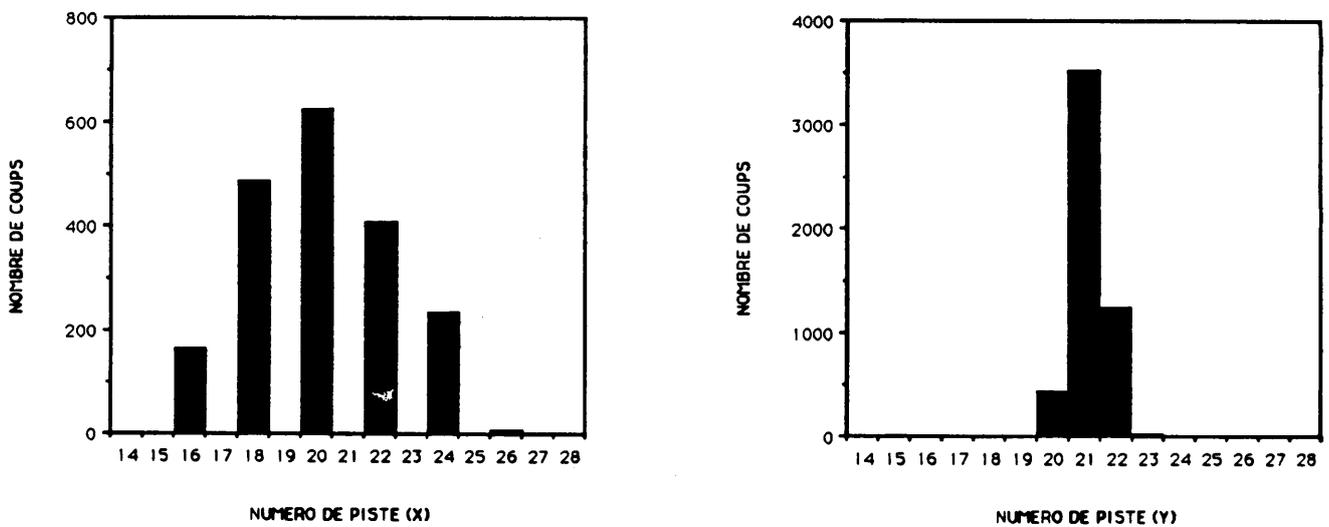


Fig. 11 : Projections X et Y d'un faisceau de protons de 105 MeV/c au bout de la ligne S4 de LEAR.

C - Lecture par ligne à retard.

Pour visualiser le profil du faisceau en temps réel nous avons utilisé une ligne à retard placée après les discriminateurs et ceci pour chaque face [3].

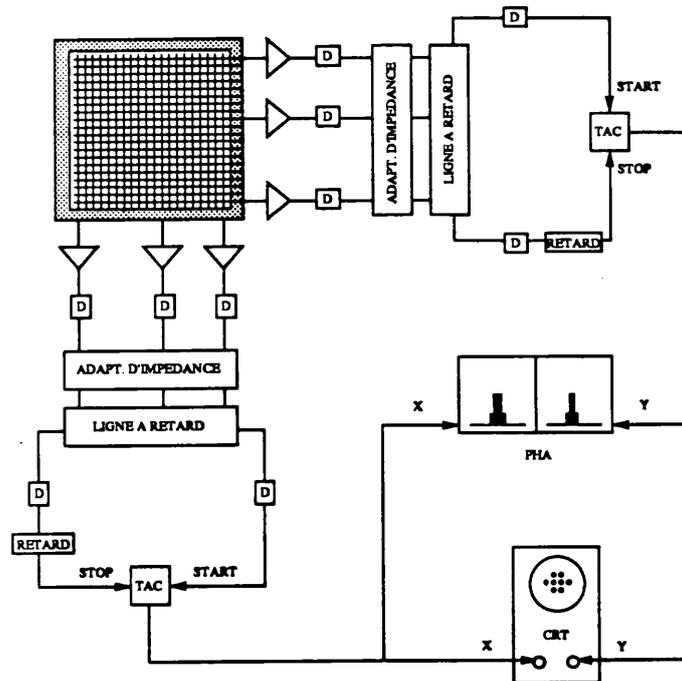


Fig. 12 : Electronique permettant la visualisation temps réel en deux dimensions du faisceau.

Pour chaque impulsion, le signal start et le signal stop de chaque plan sont envoyés sur un convertisseur temps-amplitude (TAC). La position de la piste touchée correspond donc à une hauteur d'impulsion particulière à la sortie du convertisseur. Les signaux provenant des deux faces étant simultanés pour chaque événement, l'image du faisceau est reconstruite en temps réel en connectant simplement la sortie de chaque convertisseur sur les voies X et Y d'un oscilloscope. Comme la résolution spatiale du détecteur est parfaitement bien définie (1 mm dans chaque plan) l'image observée n'est pas continue comme dans le cas des détecteurs présentant un phénomène de crosstalk (MWPC, PSPM). Chaque particule arrivant sur le détecteur est représentée par un spot qui sont tous parfaitement séparés les uns des autres en fonction de la position de la particule incidente.

Fig. 13 : Exemple d'une image deux dimensions d'un faisceau de particules alpha collimatées (Am^{241}). La distance entre deux spots est de 1 mm dans les deux directions.

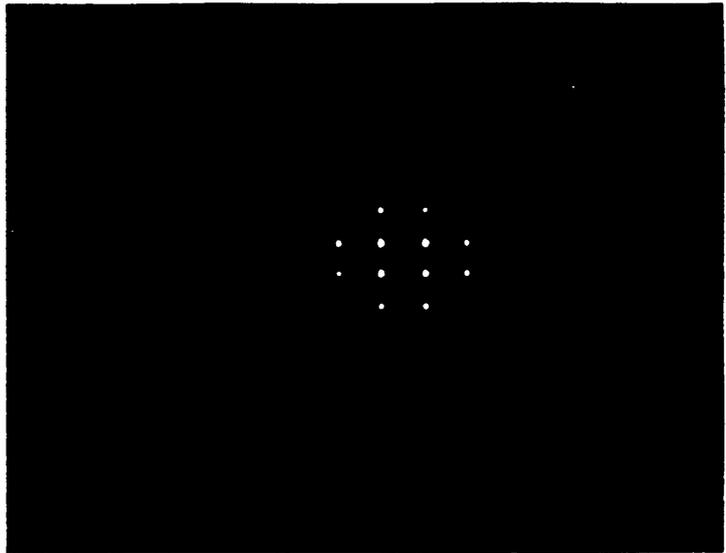
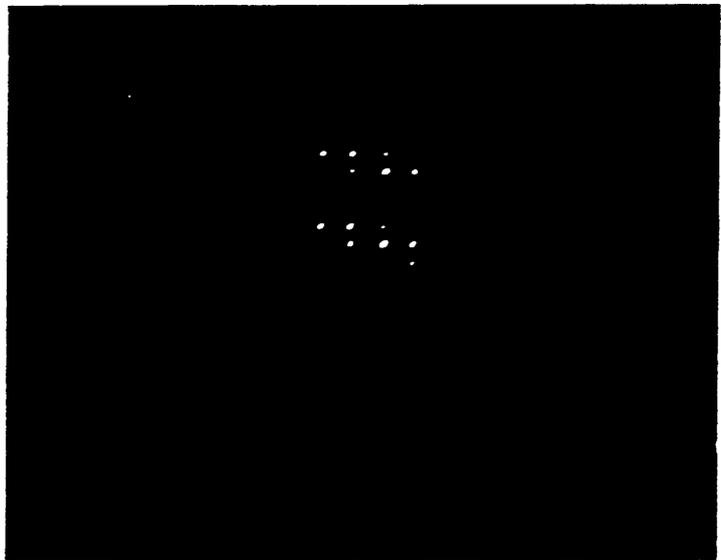


Fig. 14 : Image temps réel du faisceau de protons de 105 MeV/c correspondant aux projections de la fig. 11. La distance entre deux spots est de 1 mm dans le plan vertical et de 2 mm dans le plan horizontal. La photo représente la superposition de deux positions du faisceau (déplacement vertical de 6 mm)



D Résolution en énergie.

Les fig. 15 et 16 représentent respectivement le signal analogique vu sur l'oscilloscope et le spectre en énergie enregistré sur un MCA d'un faisceau de proton de 105 MeV/c interagissant avec le détecteur placé sous vide. Le rapport signal sur bruit permet de placer un seuil de discrimination sans ambiguïté et de faire ainsi le comptage absolu du nombre de particules contenues dans le faisceau.

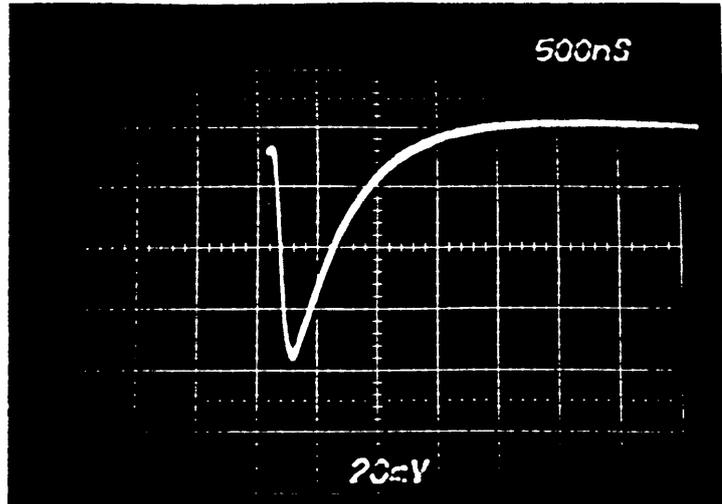


Fig. 15 : Signal analogique d'un faisceau de protons de 105 MeV/c

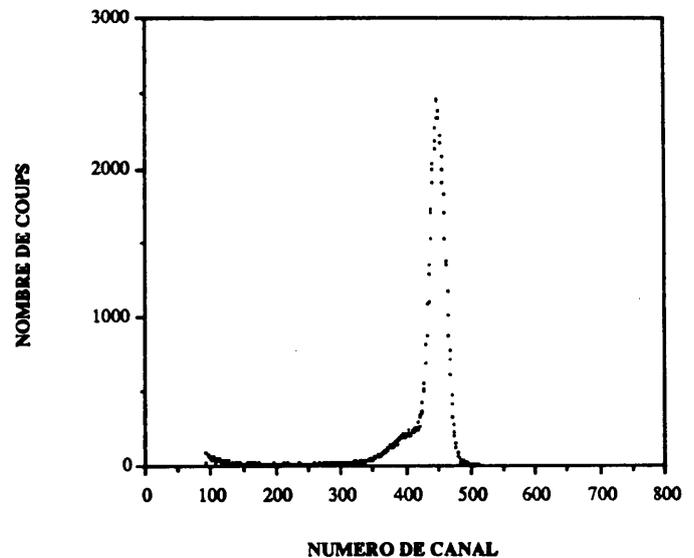


Fig. 16 : Analyse en amplitude du signal ci-avant.

CONCLUSION

Un détecteur silicium multipiste double face a été utilisé comme moniteur de faisceau de proton dans la ligne S4 de LEAR. Il a donné entière satisfaction en ce qui concerne son comportement dans le vide et les fonctions mécaniques de l'ensemble sont parfaitement bien remplies et opérationnelles. La résolution en énergie de l'ensemble est suffisamment bonne pour placer sans ambiguïté un seuil de discrimination et donc de mesurer l'intensité absolue du faisceau (jusqu'à 1 MHz / piste). Les projections X et Y (1 mm de résolution sur chaque face) sont obtenues en lisant directement le contenu des compteurs associés à chaque piste. L'image deux dimensions du faisceau peut en outre être donnée en temps réel pour apprécier par exemple l'inclinaison du faisceau.

Les résultats obtenus dans des conditions réelles d'utilisation montrent clairement que ce type de détecteur peut être utilisé comme moniteur de faisceau en éjection lente avec une électronique de comptage parallèle pour toute la gamme d'énergie des protons de LEAR ainsi que pour des antiprotons d'énergie supérieure à 105 MeV/c.

Remerciements

Nous tenons à remercier D.J. Simon, D. Dumollard, J.Y. Hemery et le groupe LEAR pour leur aide précieuse dans les manipulations de faisceau. Nos remerciements vont également au groupe de E.H.M. Heijne et à F. Lemeilleur pour leurs conseils ou pour leur aide technique. Nous sommes d'autre part très reconnaissant à la section de L. Grandclement et à J.M. Vigneau pour leur assistance efficace.

Références

- [1] V. Agoritsas, proc. of the 4th LEAR workshop, Villars-sur-Ollon, Switzerland, September 6-13th, 1987, p 75.
- [2] P. Fessler, Travaux sur la mesure d'intensité et la localisation bidimensionnelle d'un faisceau d'antiprotons de faible énergie dans un vide poussé, PS / EA / BM / NOTE 86-10.
- [3] J. Ditta, K.I. Kuroda, C. Nemoz and D. Sillou, Nucl. Inst. and Meth. A250 (1984) 539

Distribution :

DIVISION PS

- Groupe AR
 - Bosser, J.
 - Chanel, M.
 - Ley, R.
 - Molinari, G.

- Groupe DI
 - Lefèvre, P.
 - Mandrillon, P.

- Groupe OP
 - Manglunki, D.
 - Tranquille, G.

- Groupe PA
 - Agoritsas, V.
 - Bätzner, K.
 - Bovigny, J.-P.
 - Cappi, R.
 - Chassard, M.
 - Danloy, L.
 - Dumollard, D.
 - Gauthier, P.
 - Granger, G.
 - Haffner, J.
 - Hemery, J.-Y.
 - Kuroda, K.I.
 - Lafaverges, M.
 - Riunaud, J.-P.
 - Schulte, E.
 - Simon, D.-J.
 - Thivent, M.

- Groupe RF
 - Corcelle, M.

DIVISION AT

Grandclément, L.
Vigneau, M.

DIVISION ECP

Heijne, E.H.M.
Jarron, P.
Lemeilleur, F.

DIVISION EP

de Saint-Simon, M.
Thibault, C.