

DD



CRN 94-09

SCW 0417

Détecteurs à microstrips gazeux (MSGC) :
réalisation et tests



CRN - ULP - PHASE

V.Mack, S.Barthe, A.M.Bergdolt, R.Blaes, J.M.Brom, J.Cailleret
E.Christophel, J.Coffin, H.Eberlé, R.Fang, J.C.Fontaine W.Geist
T.Kachelhoffer, H.Kettunen, A.Michalon, A.Pallares, A.Romero
J.L.Riester, J.P.Schunck, M.H.Sigward, R.Stuck, C.Voltolini

**CENTRE DE RECHERCHES NUCLEAIRES
STRASBOURG**

IN2P3
CNRS

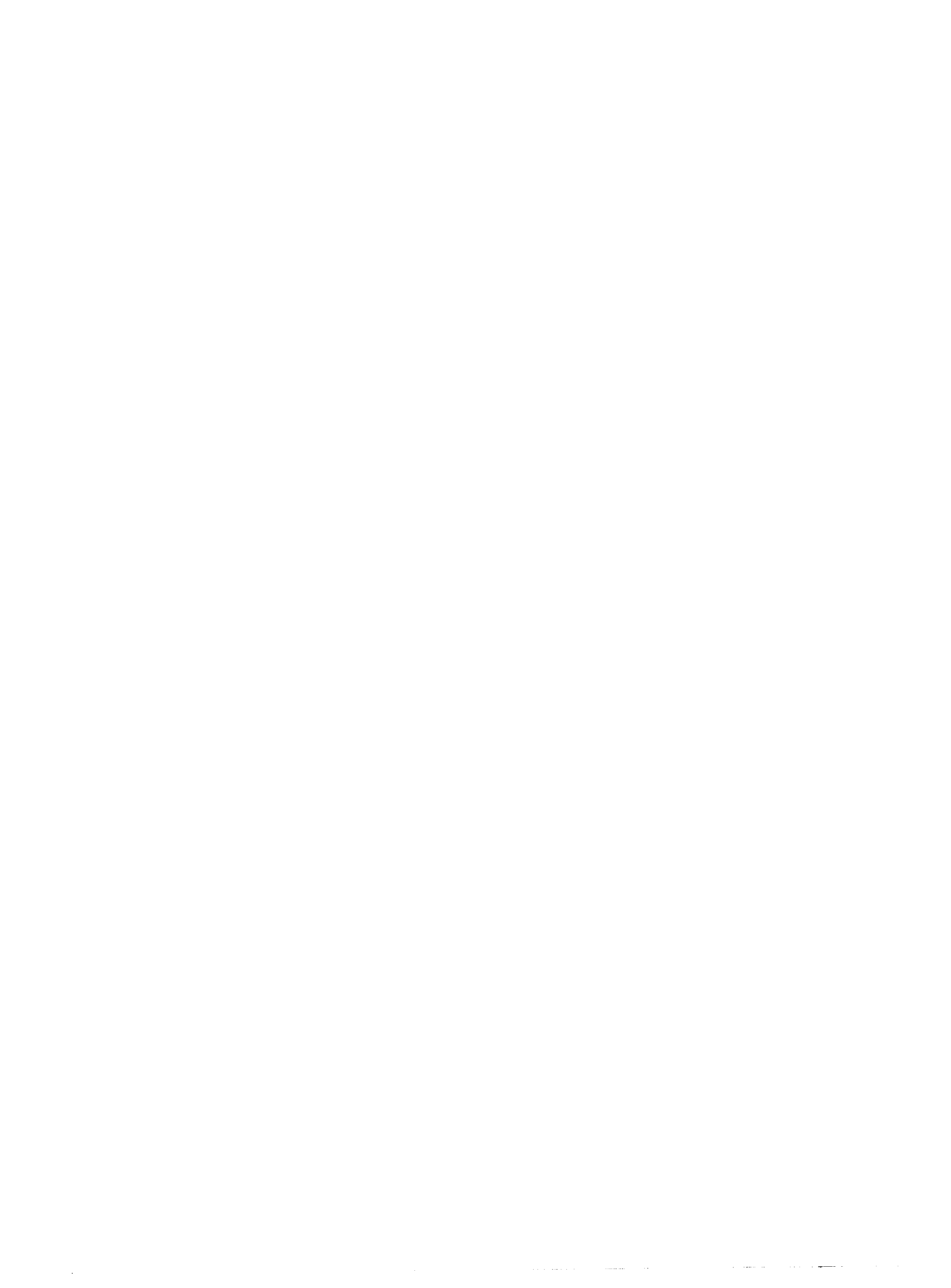
UNIVERSITE
LOUIS PASTEUR



**Détecteurs à microstrips gazeux (MSGC) :
réalisation et tests**

CRN - ULP - PHASE

V.Mack, S.Barthe, A.M.Bergdolt, R.Blaes, J.M.Brom, J.Cailleret, E.Christophel,
J.Coffin, H.Eberlé, R.Fang, J.C.Fontaine, W.Geist, T.Kachelhoffer, H.Kettunen,
A.Michalon, A.Pallares, A.Romero, J.L.Riester, J.P.Schunck, M.H.Sigward, R.Stuck,
C.Voltolini



Résumé

Un programme d'évaluation et de modification de substrats pour les MSGC a été initié au Centre de Recherche Nucléaire de Strasbourg. Les procédures de réalisation et de tests des détecteurs sont décrites dans ce document. Des différences notables de comportement sont constatées entre les détecteurs réalisés avec des verres standards et ceux réalisés avec des verres modifiés.

1. Introduction

L'idée des détecteurs à microstrips gazeux (MSGC) date de 1988 [1]. Leur développement très récent semble très prometteur pour l'avenir des expériences en physique des hautes énergies.

Le principe de base est le même que celui des chambres à fils. Ils sont composés d'électrodes métalliques alternativement anode et cathode, déposées sur un support isolant et d'un plan cathode placé à quelques millimètres constituant un espace de dérive. Le champ électrique dans cet espace est représenté sur la figure 1. Par rapport aux chambres classiques la résolution spatiale est très largement améliorée. Des résultats obtenus à l'aide de ces détecteurs ont montré que l'on pouvait atteindre une précision sur la position de particules au minimum d'ionisation de l'ordre de 30 $\mu\text{m rms}$ [2].

Au C.R.N. de Strasbourg, une étude plus particulière est menée sur les verres et leurs modifications afin d'adapter au mieux le substrat et de remédier à certains défauts que peuvent présenter les MSGC. Avec les verres standards, les phénomènes suivants sont observés: le gain est inhomogène sur tout le détecteur, il est modifié après la mise sous tension et diminue lorsque le détecteur est soumis aux radiations. Pour améliorer les caractéristiques des substrats, deux techniques de modification des verres sont utilisées: l'implantation ionique et la diffusion thermique.

2. Réalisation des détecteurs

Les détecteurs réalisés au C.R.N. de Strasbourg ont une surface utile de 2,6 x 2,6 cm^2 . 128 anodes et 129 cathodes sont déposées sur un substrat en verre de 500 μm d'épaisseur. Elles ont respectivement des largeurs de 9 μm et 70 μm . Le pas est de 200 μm .

Le plan cathode de dérive, constitué d'une feuille d'aluminium de 30 μm d'épaisseur, est placé à 3 mm au-dessus des électrodes, et une couche d'argent sur une épaisseur de 20 μm sous le substrat forme une électrode arrière (fig. 2).

Alors que chaque sortie d'anode est indépendante, les sorties cathodes sont regroupées par 16 (fig. 3).

2.1. Dépôt des pistes sur le substrat

Les pistes sont déposées sur le substrat par évaporation sous vide et photolithographie. Le substrat en verre est soumis aux traitements suivants (fig. 4):

- Nettoyage: Deux procédures sont possibles. Après un dégraissage à l'acétone, un nettoyage à l'alcool est suivi ou non d'un nettoyage au mélange sulfochromique. Dans les deux cas cette étape se termine par un rinçage à l'eau désionisée et un séchage.
- Métallisation: Une face du substrat est métallisée par évaporation sous vide à l'aide d'un canon à électrons. On dépose du titane sur une épaisseur de 1500 Å et de l'aluminium sur une

épaisseur de 8000 Å. La couche de titane sert de couche d'accrochage pour l'aluminium. (La résistance à l'arrachement est de 13 g pour le titane contre 2 g pour l'aluminium.) Avec des pistes composées uniquement d'aluminium, un phénomène de pulvérisation du métal se produit dans le détecteur lors de son fonctionnement, menant à une disparition progressive des pistes.

- Lithographie: Un film uniforme de 1 µm de résine positive est déposé par centrifugation sur le métal. La résine est recuite afin d'éliminer le solvant et développée après insolation à travers le masque adéquat. Elle polymérise dans les zones non insolées et sert de protection pendant les opérations de gravure du métal.
- Gravure chimique: L'aluminium qui n'est plus protégé par la résine est attaqué par une solution d'acide ortho-phosphorique à 85% (77 vol.), d'acide acétique (19 vol.) et d'acide nitrique à 70% (4 vol.). Le titane est attaqué par une solution d'eau oxygénée à 30% (2 vol.) et d'ammoniac à 28% (1 vol.).
- Nettoyage: L'excédent de résine est éliminé par un bain d'acétone. La plaque est rincée à l'eau désionisée et séchée à l'étuve.
- Découpe: Pour son montage dans l'ensemble du détecteur, le substrat est découpé aux dimensions requises, soit à 500 µm du motif avec une précision de 10 µm.

Pour la fabrication des prototypes P testés, deux verres différents (Schott D263 et Corning 7059) ont été utilisés. Certains prototypes ont été réalisés avec des plaques de verres vierges et d'autres avec des plaques de verres dopés par implantation de bore ou par diffusion thermique de fer [3]. Les ordres de grandeurs des résistivités des verres sont indiqués entre parenthèses:

- P2, P3 et P8 en D263 vierge ($> 10^{14} \Omega \text{ cm}$)
- P6 et P7 en D263 vierge nettoyé au mélange sulfochromique ($> 10^{14} \Omega \text{ cm}$)
- P8_r en D263 recuit à 90°C pendant 12 heures puis implanté ($10^9 \Omega \text{ cm}$)
- P9 en 7059 vierge ($> 5 \cdot 10^{15} \Omega \text{ cm}$)
- P10 en 7059 diffusé ($7,5 \cdot 10^{12} \Omega \text{ cm}$)

2.2. Montage du détecteur

Après traitement le verre est monté sur une carte de connexion constituée de deux plaques en céramique collées. Sur la plaque inférieure est imprimée par sérigraphie l'électrode arrière. Sur la plaque supérieure; qui comporte une fenêtre pour accueillir le substrat de verre, sont imprimées par sérigraphie les pistes de connexion en or protégées par un diélectrique (fig. 5). La connexion verre-céramique est réalisée par bonding (ultra sonic aluminium wire bond) avec du fil d'aluminium de 25 µm de diamètre.

La connexion sur la carte électronique du banc de tests nécessite des connecteurs 2x32 broches. Deux circuits sur kapton ou époxy comportant chacun 64 pistes de cuivre doré permettent une

liaison souple entre les pistes de la céramique et les connecteurs (fig. 6). La connexion céramique-kapton se fait par collage piste à piste.

Pour constituer le volume de dérive un cadre en résine époxy supportant le plan de dérive en aluminium est collé de façon étanche sur la céramique autour du substrat verre (fig. 7).

2.3. Contrôles de qualité

Trois contrôles sont effectués sur les détecteurs à différentes étapes de leur montage, pour diagnostiquer les défauts qui peuvent exister sur les pistes.

- Contrôle visuel au microscope: Il se fait avant le bonding. Il permet de vérifier la continuité des pistes et de localiser les court-circuits éventuels entre anodes et cathodes. Les anodes en court-circuit ne sont pas connectées .
- Mesures de résistance: La continuité des pistes est mesurée avant et après le collage du kapton sur la céramique.
- Mesures de capacités: Pour chaque anode trois valeurs de capacité sont mesurées. La première mesure effectuée avant le bonding, donne la capacité entre la piste sur la céramique et l'électrode arrière. Les mesures suivantes, effectuées après le bonding, donnent les capacités entre l'ensemble anode-piste sur la céramique et l'électrode arrière, et entre l'anode et les cathodes qui l'encadrent. Une piste coupée présente des capacités plus faibles que celles des pistes intactes. Sur la figure 8 on peut noter que les anodes 3, 78, 83, 84, 92 et 105 du prototype P10 (7059 diffusé) sont coupées. Sur cet exemple, l'anode 111 n'est pas connectée (court circuit avec les cathodes).

3. Dispositif expérimental

3.1. Banc de tests

Le détecteur est monté sur un banc de tests (fig. 9). Il comporte un système mécanique à barillets sur lequel sont montées deux sources, une de Fe^{55} (20 mCi) et une de Sr^{90} (10 mCi), et trois diaphragmes de diamètres de 4 mm, 1,5 mm et 0,5 mm. Ce système permet de changer facilement et rapidement de source et de diaphragme devant la source. De plus un système à vis micrométriques permet de repérer avec précision la position de la source devant le détecteur, en x (parallèlement aux anodes), en y (perpendiculairement aux anodes) et en z (hauteur).

Les mesures de gain sont faites à l'aide d'une chaîne d'amplification de spectrométrie fine (préamplificateur Ortec 125, amplificateur Inter technique 7243). Pour l'étalonnage en charge, un signal d'un générateur de précision (BNC PB-4) est injecté à l'entrée test du préampli, dont on connaît la capacité d'entrée. Le signal du générateur est semblable à un signal mesuré sur une anode (fig. 10) dont les caractéristiques en temps sont:

- temps de montée 60 ns
- temps de descente 450 μ s

Pour des raisons pratiques de mesure le signal est lu sur l'ensemble de 64 cathodes, soit la moitié du détecteur.

Le gaz utilisé est un mélange d'argon et de diméthylether (DME) dans des proportions qui peuvent être changées à volonté. Le banc de gaz est un banc propre en acier inox, muni de débitmètres massiques, évitant les variations incontrôlées de la composition du mélange gazeux. L'électrode arrière est mise à la masse et les mesures de gain se font à l'aide de la source de Fe^{55} diaphragmée à 0,5 mm. Dans ces conditions le signal se répartit approximativement sur trois ou quatre anodes.

La figure 11 montre un spectre de Fe^{55} mesuré avec le prototype P3 (D263 vierge) dans les conditions suivantes:

- mélange gazeux à 20% de DME
- tension de dérive: -1200V
- tension des cathodes: -480V

En plus de la raie du fer à 5,89 keV, la raie d'échappement de l'argon à 3,2 keV et celles, non résolues, de l'aluminium à 1,486 keV et du silicium à 1,740 keV, sont observées.

La résolution mesurée sur la raie du fer à 5,89 keV est de 15% FWHM.

3.2. Mesures du gain en fonction des différents paramètres

La charge Q recueillie sur les anodes ou sur les cathodes est proportionnelle à la perte d'énergie ΔE de la particule incidente dans le gaz et peut s'écrire sous la forme

$$Q = A e \Delta E / W$$

où e est la charge de l'électron, W l'énergie nécessaire à la création d'une paire ion-électron, caractéristique du gaz, et A le gain du détecteur qui dépend du gaz, des tensions, de la géométrie des pistes ainsi que de la nature du substrat [4].

Dans un premier temps une étude de la variation du gain en fonction des tensions et du pourcentage de DME dans le mélange gazeux a été faite. A tension cathodes fixe, le gain augmente lorsque le pourcentage de DME diminue (fig. 12a) ou, à taux de DME constant, quand la tension de dérive augmente (fig. 12b). Le gain est particulièrement sensible à un changement de la composition du mélange gazeux.

3.3. Effets des traitements du verre

3.3.1. Gravure du titane

Pour les premiers prototypes une solution acide délivrée par la société TRANSENE USA était utilisée pour attaquer le titane lors de la gravure chimique. Mais cette solution contient de l'acide fluorhydrique. Cette composante réagit également avec la surface du verre. En attaquant le verre sur une faible épaisseur, de l'ordre de 1000 Å, l'état de surface du substrat est modifié, induisant une probable modification du champ et donc du gain. Ce qui a conduit à remplacer cette solution acide par la solution d'eau oxygénée et d'ammoniac qui n'interagit pas avec les verres.

3.3.2. Nettoyage au mélange sulfochromique

Les mesures de gains sur les prototypes P6 et P7 (D263 vierge) ne sont pas reproductibles. Les gains de ces prototypes varient dans le temps. Ces variations n'ont pas été observées sur les prototypes P2 et P3 (D263 vierge).

Les prototypes P6 et P7 se différencient des prototypes P2 et P3 par deux aspects:

- les verres utilisés proviennent de deux lots différents.
- lors de leur réalisation les prototypes P6 et P7 ont été rincés au mélange sulfochromique contrairement aux prototypes P2 et P3.

Pour expliquer la différence de comportement entre les détecteurs, deux hypothèses peuvent être avancées:

- Les verres du second lot (P6, P7) présentent un état de surface différent de celui des verres du premier lot (P2, P3). Les caractéristiques électriques, comme la résistivité, peuvent être inhomogènes.
- Le verre D263 est riche en sodium et le traitement au mélange sulfochromique modifie la concentration en surface de cet élément et les caractéristiques du verre. Le sodium migre sous l'effet d'un champ électrique [5]. Ce qui peut induire une modification du comportement des prototypes P6 et P7 lors de leur mise sous tensions et de leur fonctionnement.

3.3.3. Dopage du verre

Les prototypes réalisés avec des verres vierges présentent des gains inhomogènes, que ce soit le long des anodes ou dans une direction perpendiculaire (fig. 13 et 14).

Pour les prototypes réalisés avec du verre D263 vierge, comme le prototype P8, les régions du détecteur où le gain est initialement très élevé se comportent de manière différente des autres régions. Lorsqu'une source est placée devant le détecteur, le gain diminue très rapidement dans les régions où il était initialement élevé, alors que pour le même temps d'irradiation, il reste constant dans les autres régions (fig. 15).

Contrairement aux prototypes P8 (D263 vierge) et P9 (7059 vierge), les détecteurs dont le verre est dopé, P8_r (D263 recuit et implanté en bore) et P10 (7059 diffusé en fer), présentent des gains très homogènes (fig. 16 et 17).

Le dopage des verres par diffusion thermique ou par implantation d'éléments modifie et uniformise leurs caractéristiques, notamment leur résistivité [3]. L'homogénéisation du gain est un effet observable de ces modifications.

3.4. Procédure de tests

Pour étudier l'influence du substrat sur le comportement des détecteurs, nous avons établi une procédure de tests, avec les paramètres suivants:

- mélange gazeux avec 10% de DME
- tension cathodes : -420 V
- tension de l'électrode arrière : 0 V
- tension du plan de dérive : -1200 V

Cette procédure comporte, une étude de la variation du gain après modification de la tension cathodes et une étude du comportement du détecteur sous irradiation.

3.4.1. Variation du gain après modification de la tension cathodes

L'étude de la variation du gain après une modification de tension se fait en deux étapes. La source de Fe⁵⁵ reste en permanence devant le détecteur avec le plus petit diaphragme de 0,5 mm.

- Première étape: les cathodes sont mises, très rapidement, à la tension de -420V. La variation du gain en fonction du temps, pour les prototypes P3 (D263 vierge), P8_r (D263 implanté), P9 (7059 vierge) et P10 (7059 diffusé) est représenté sur la figure 18. Le gain tend à se stabiliser en un temps compris entre une et huit heures, selon le verre utilisé.
- Deuxième étape: les cathodes sont mises à une tension plus élevée (-470V) pendant 30 minutes. En revenant à la tension de référence de -420V le gain est inférieur à celui obtenu à la fin de la première étape. Son évolution au cours du temps est représentée sur la figure 19. Elle montre que le gain se stabilise à une valeur proche de celle qu'il avait atteinte lors de la première mise sous tension, mais dans un temps plus court, entre une dizaine de minutes et une heure.

Il est probable qu'à la mise sous tension, deux phénomènes contribuent à la stabilisation du gain:

- la migration d'ions et, ou d'électrons au sein de la structure du substrat.
- l'accumulation de charges à la surface du verre.

Ces deux phénomènes concourent à une variation de résistance de surface et donc à une modification locale du champ électrique. Après toute modification de tension, cet état d'équilibre est rompu et jusqu'à ce qu'il soit rétabli, le gain varie.

3.4.2. Comportement du détecteur sous irradiation

Le détecteur est irradié avec la source Sr^{90} et le diaphragme de 4 mm de diamètre. La charge recueillie sur les anodes, est évaluée à partir du spectre de charge obtenu avec la chaîne d'amplification, à 9,5 pC/s par centimètre d'anode. A partir des pertes d'énergie des électrons et de la géométrie du système, la dose est estimée à 5,4 krad/jour dans le gaz.

Pour chaque détermination de gain la source de Sr^{90} est remplacée, le temps de la mesure, par la source de Fe^{55} diaphragmée à 0,5 mm.

La figure 20 montre la variation du gain en fonction du temps d'exposition à la source, pour les prototypes P3 (D263 vierge), P8_r (D263 implanté), P9 (7059 vierge) et P10 (7059 diffusé).

La tenue sous irradiation est meilleure pour les prototypes réalisés avec des verres modifiés.

Les effets de l'irradiation sur le détecteur, sont localisés dans une zone d'un diamètre d'approximativement 10 mm, autour de la position de la source (fig. 21).

4. Conclusion

Le développement des MSGC à Strasbourg s'est orienté vers une étude des substrats. Elle comprend une analyse physique et chimique de différents verres [3] complétée par des tests sur des prototypes réalisés avec ces substrats.

Les détecteurs, dont le substrat est un verre standard provenant de l'industrie, présentent des inhomogénéités de gain. Une modification de la composition du verre, par implantation de bore ou diffusion thermique de fer, peuvent corriger en grande partie ces défauts.

Les prototypes présentent tous, lors de la mise sous tension des cathodes, une phase de stabilisation du gain qui peut aller jusqu'à quelques heures selon le verre utilisé. Lorsque les tensions sont modifiées par la suite, une variation du gain est toujours observée, mais l'état d'équilibre est atteint plus rapidement.

La tenue en gain des MSGC sous irradiation dépend du substrat. Pour les deux verres industriels testés (Schott D263 et Corning 7059), elle est améliorée par leur dopage (implantation de bore ou diffusion de fer).

Ces résultats permettent d'affirmer que le substrat, dans ces détecteurs, n'est pas neutre. Alors qu'il ne devait servir que de support aux pistes, sa nature a une influence importante sur le gain.

Cette étude, devrait permettre de déterminer le verre ayant les caractéristiques optimales pour servir de substrat dans les MSGC, en vue d'une utilisation future dans l'expérience CMS, auprès de l'accélérateur LHC du CERN à Genève.

Références

- [1] A. Oed et al., Nucl. Instr. and Meth. A263 (1988) 351
- [2] F. Angelini et al., Nucl. Instr. and Meth. A315 (1992) 21
- [3] A. Pallares et al., CRN 93-64
- [4] S. Schmidt et al., Nucl. Instr. and Meth. A337 (1994) 382
- [5] R.H. Doremus in: Treatise on Materials Science and Technology vol. 17,
ed. M. Tomozawa and R.H. Doremus, (Academic Press 1979), p. 41

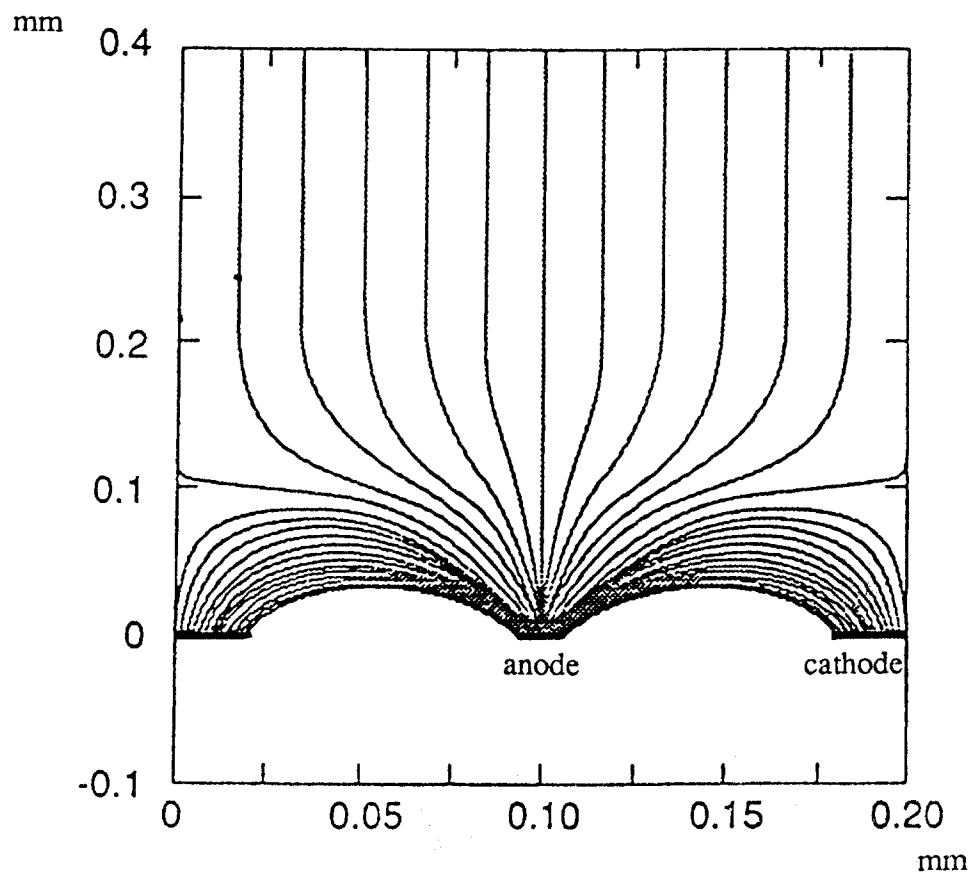


fig. 1: lignes de champ

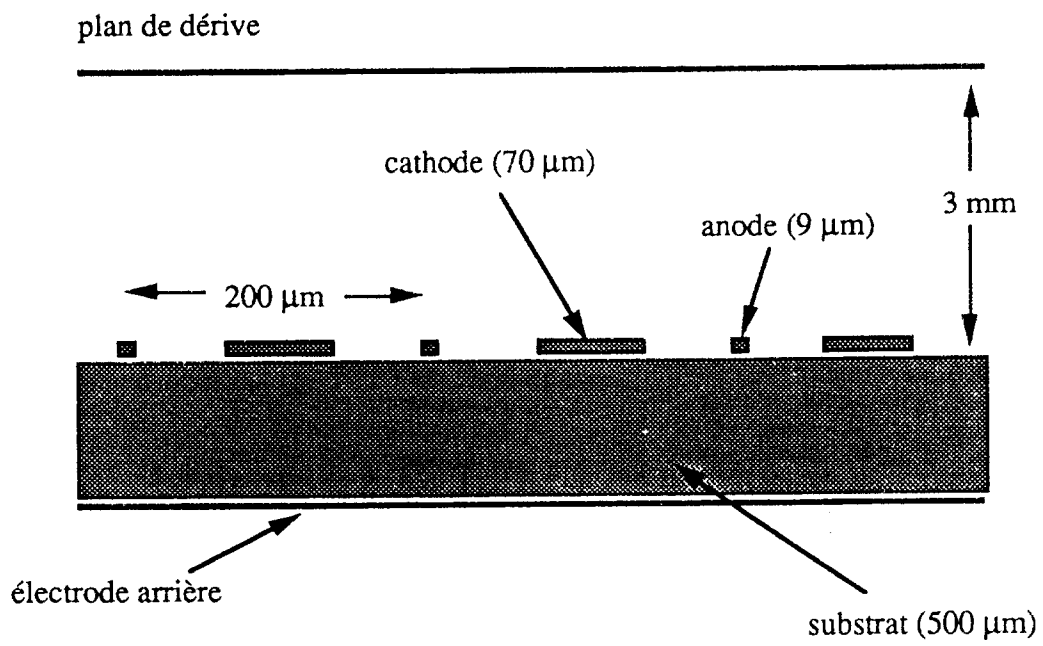


fig. 2: coupe transversale du détecteur

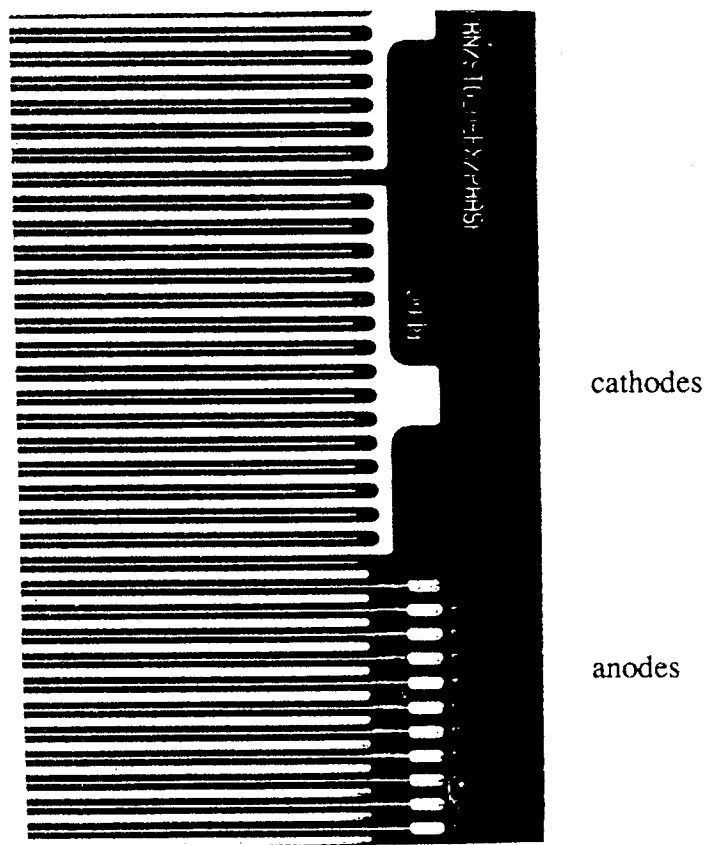
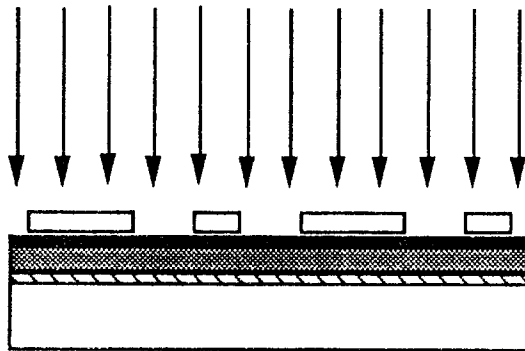


fig. 3: sorties anodes et cathodes



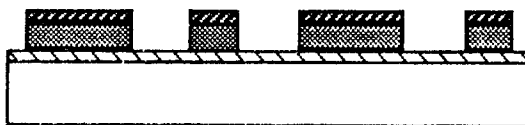
dépôt d'une couche de résine sur le métal



insolation à travers le masque



développement de la résine



gravure chimique de l'aluminium



gravure chimique du titane



élimination du reste de résine

légende:



résine

résine polymérisée



aluminium



titane



substrat

fig. 4: étapes de la photolithographie

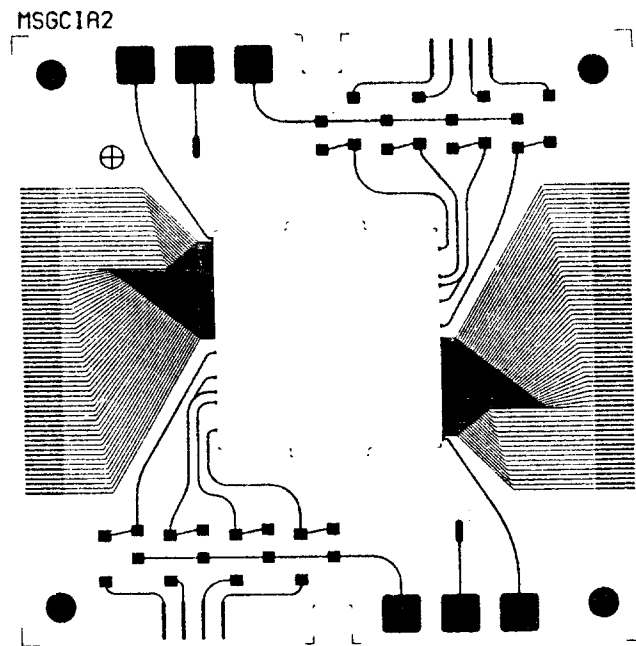


fig. 5: les pistes sur la céramique

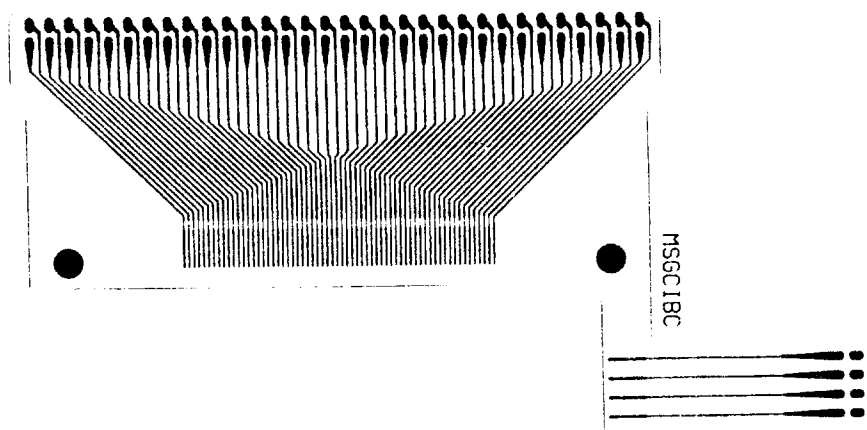
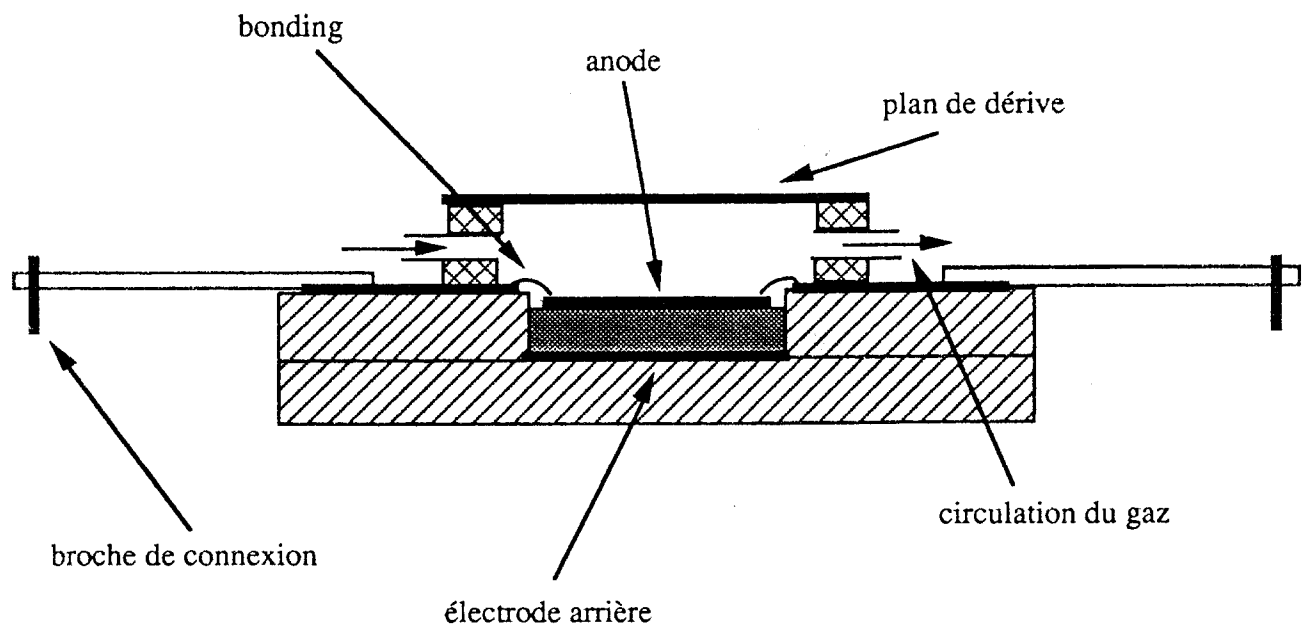


fig. 6: les pistes sur le kapton



légende:





- | | | | |
|---|-------------|---|----------------|
|  | céramique |  | substrat verre |
|  | cadre époxy |  | kapton |

fig. 7: coupe transversale du dispositif complet

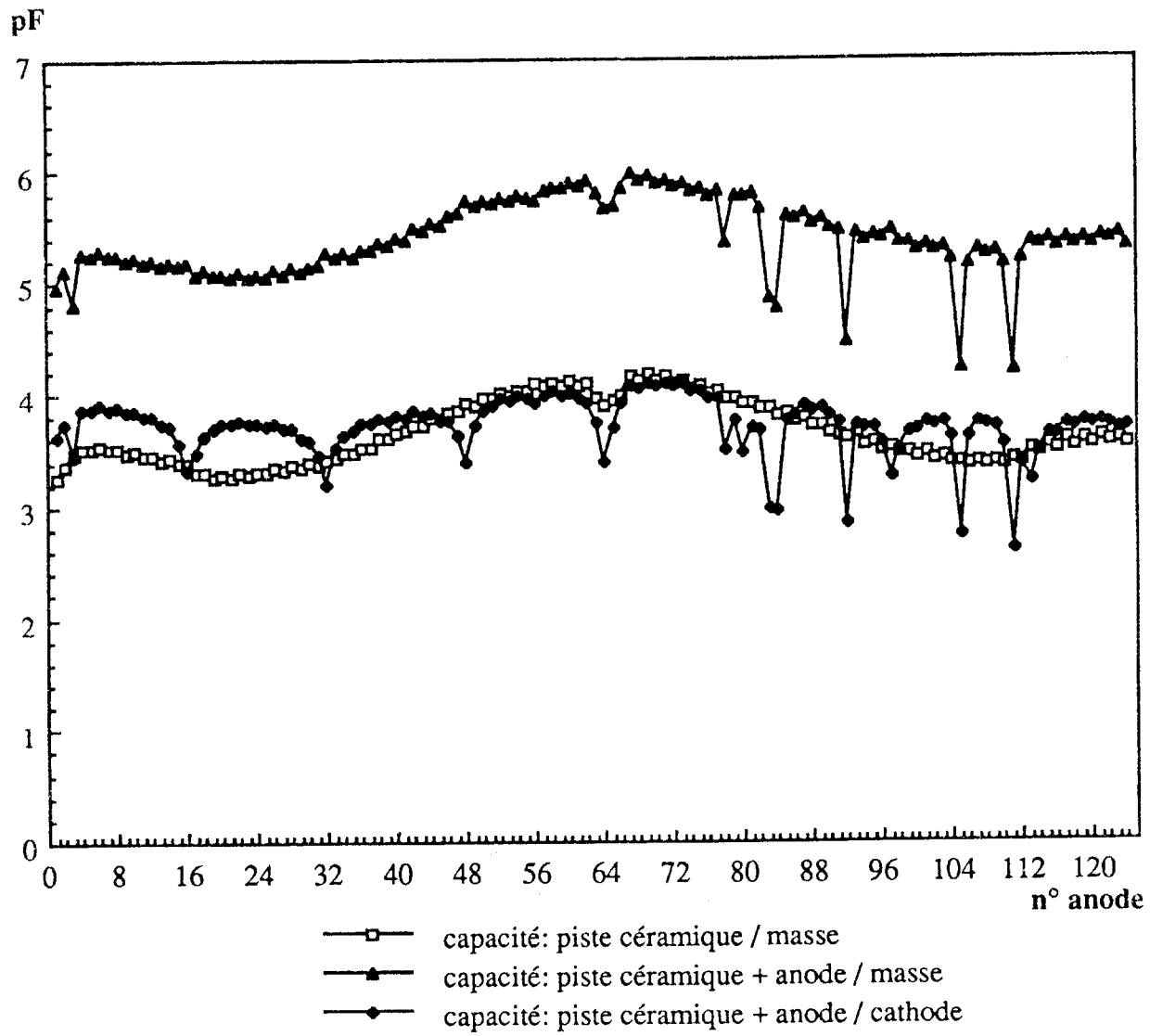


fig. 8: capacités du prototype P10 (7059 diffusé)

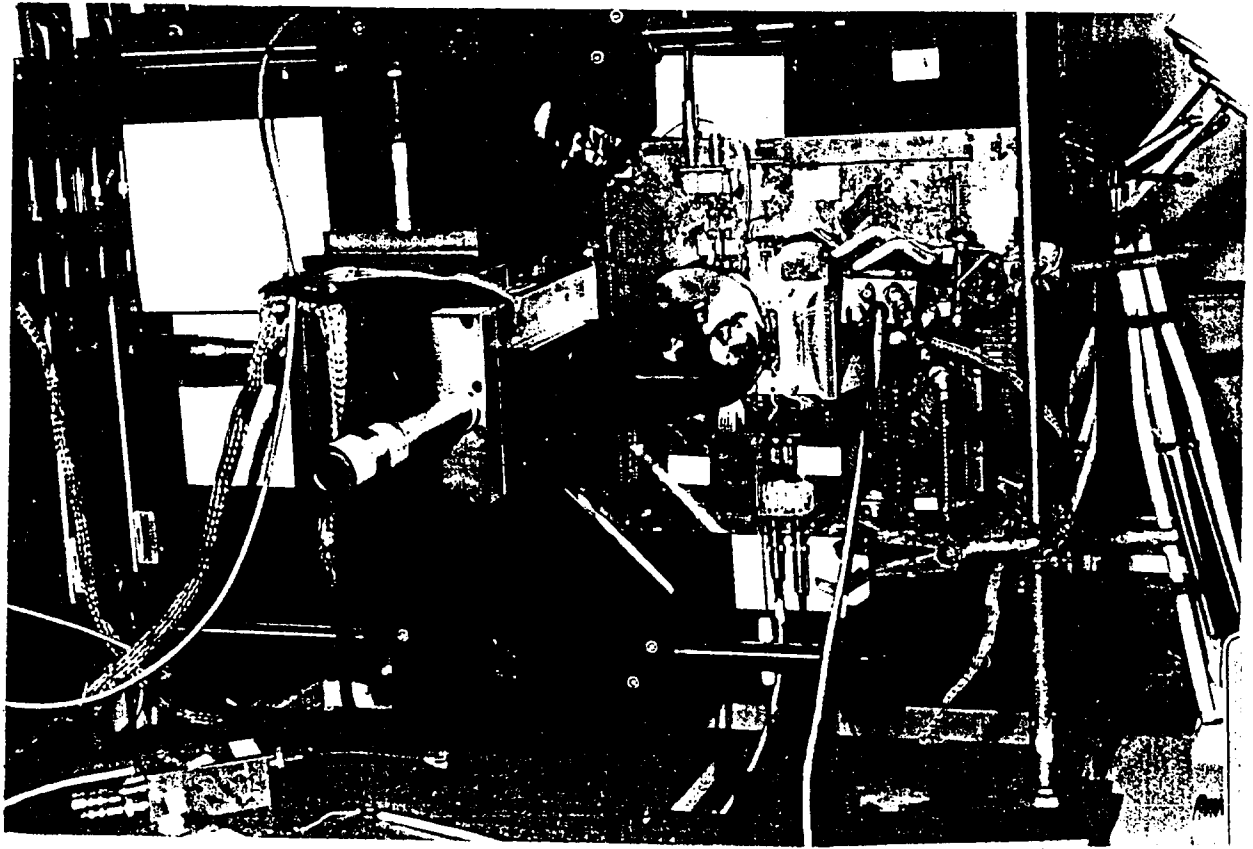


fig. 9: banc de tests

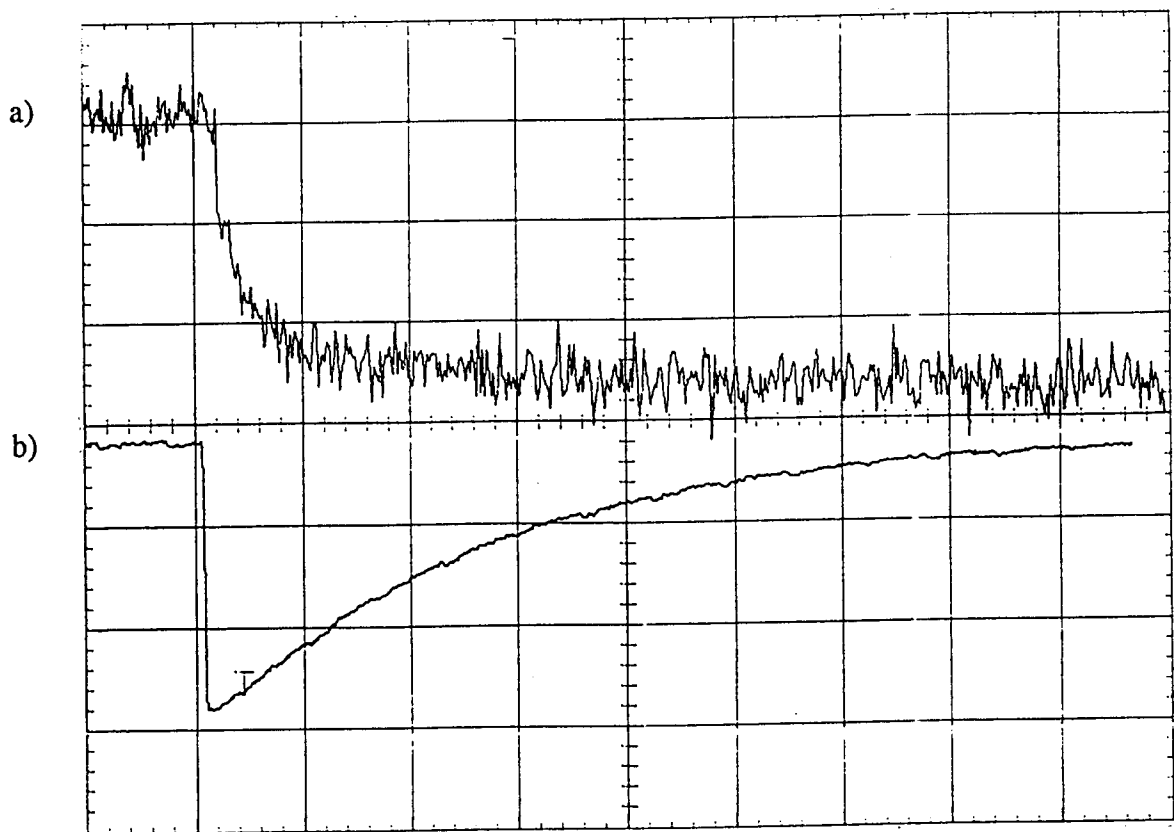


fig. 10: signal d'anode mesuré sur le prototype P2 (D263 vierge)
 tension dérive -1100 V
 tension cathodes -375 V
 mélange à 3% de DME

a) 1 mV 100 ns
 b) 1 mV 50 μ s

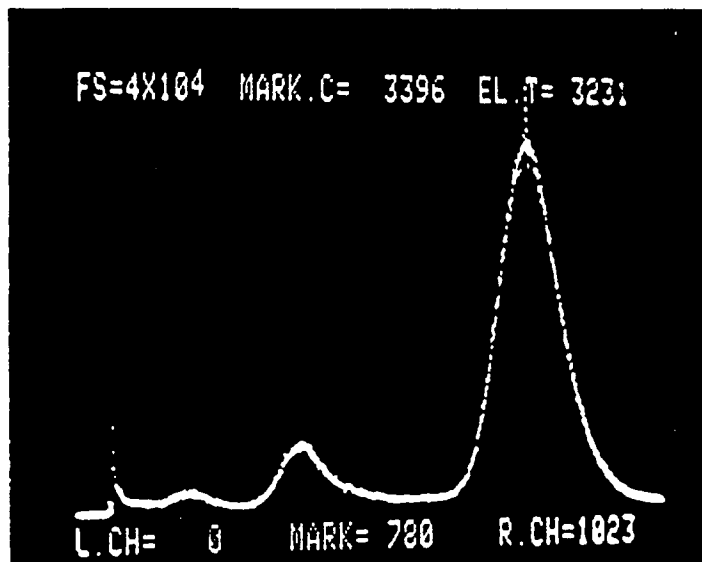


fig. 11: spectre du Fe⁵⁵ mesuré sur le prototype P3 (D263)

tension de dérive: -1200V

tension cathodes: -480V

mélange gazeux à 20% de DME

La résolution est de 15% FWHM

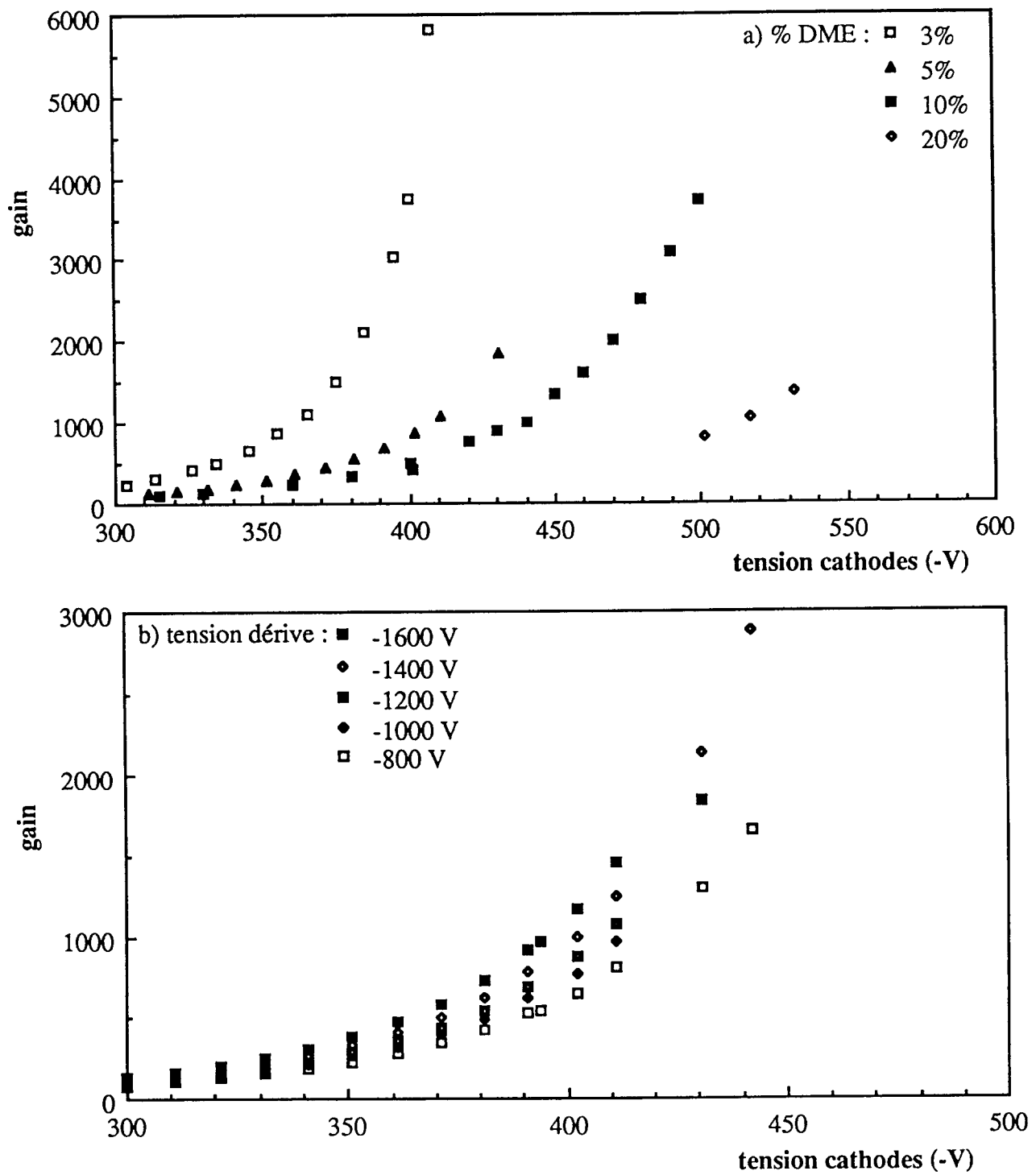


fig. 12: variation du gain en fonction de la tension cathodes pour:
 a) différents % de DME à la tension de dérive de -1200 V
 b) différentes tensions de dérive à 5% de DME

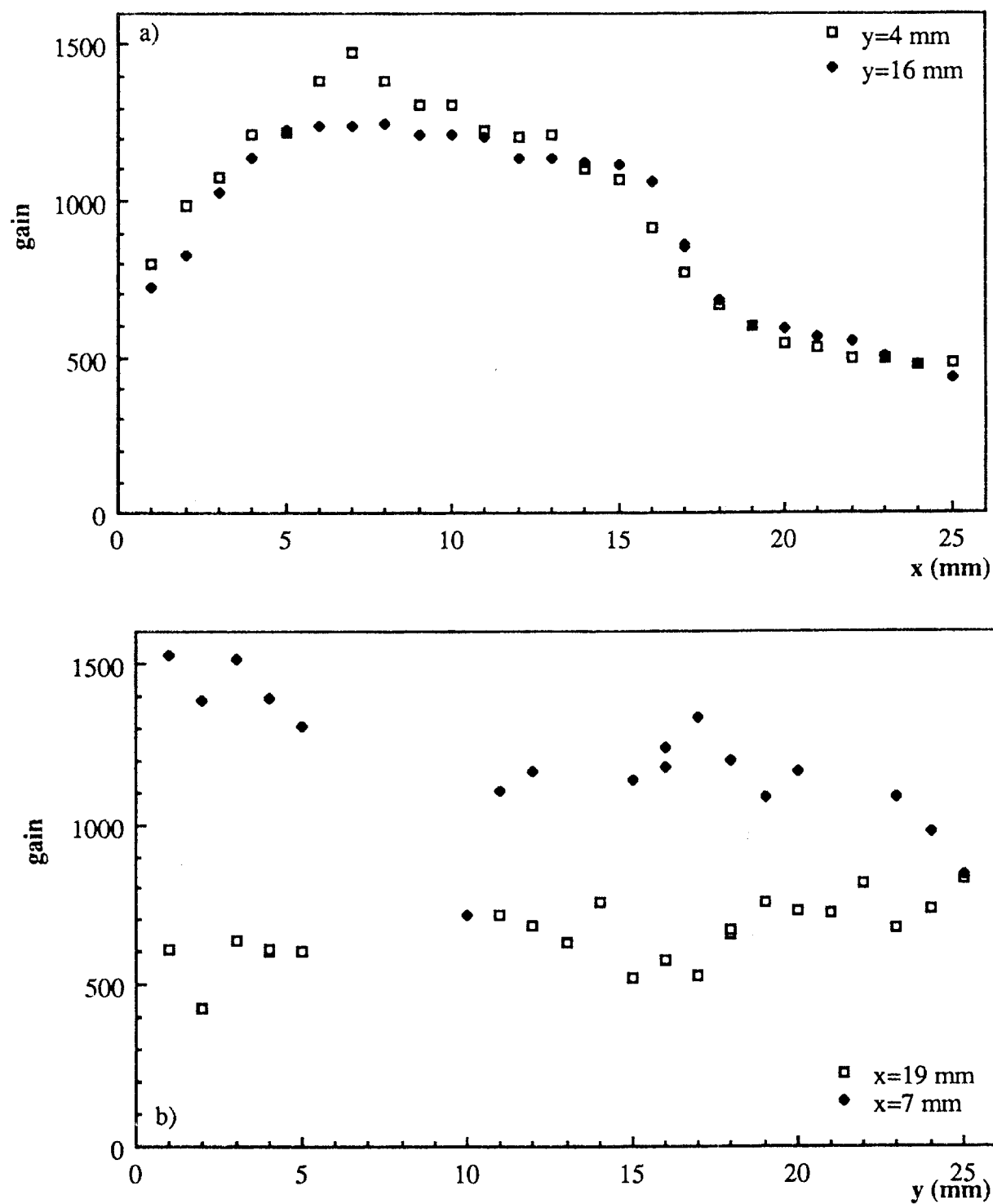


fig. 13: mesures des gains en fonction de la position de la source prototype P8 (D263)

a) déplacement parallèle aux anodes

b) déplacement perpendiculaire aux anodes

tension dérive -1200 V

tension cathodes -390 V

mélange à 10% de DME

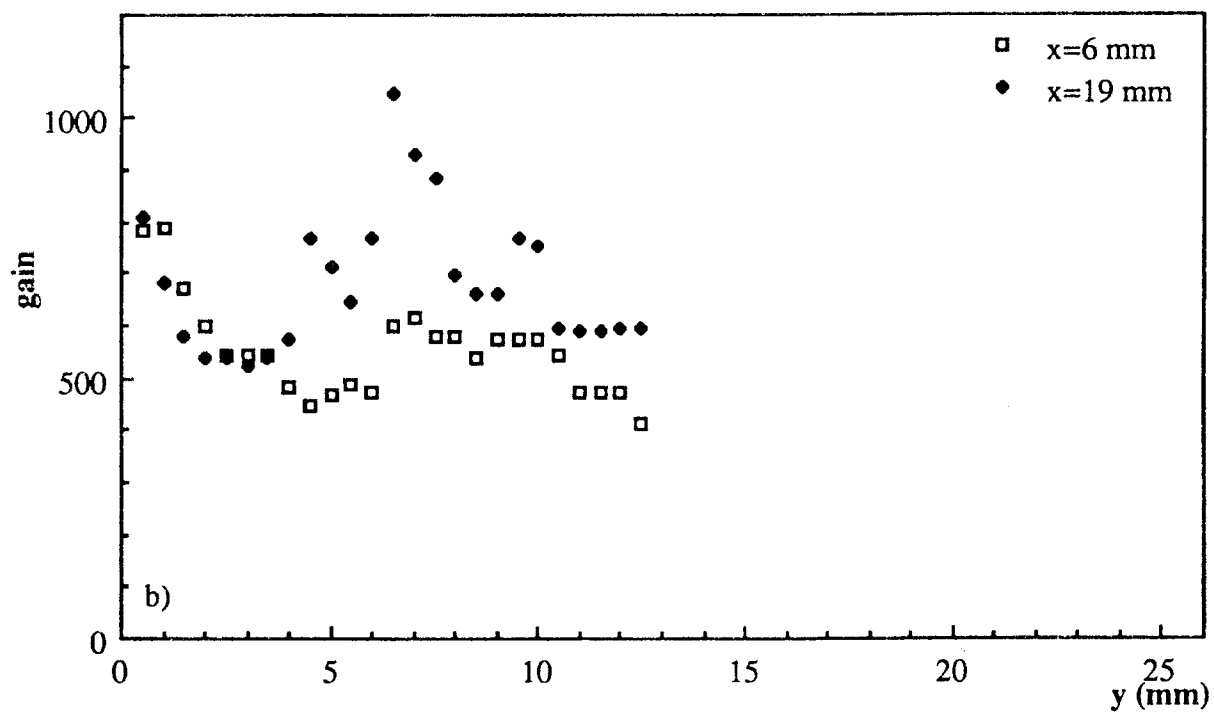
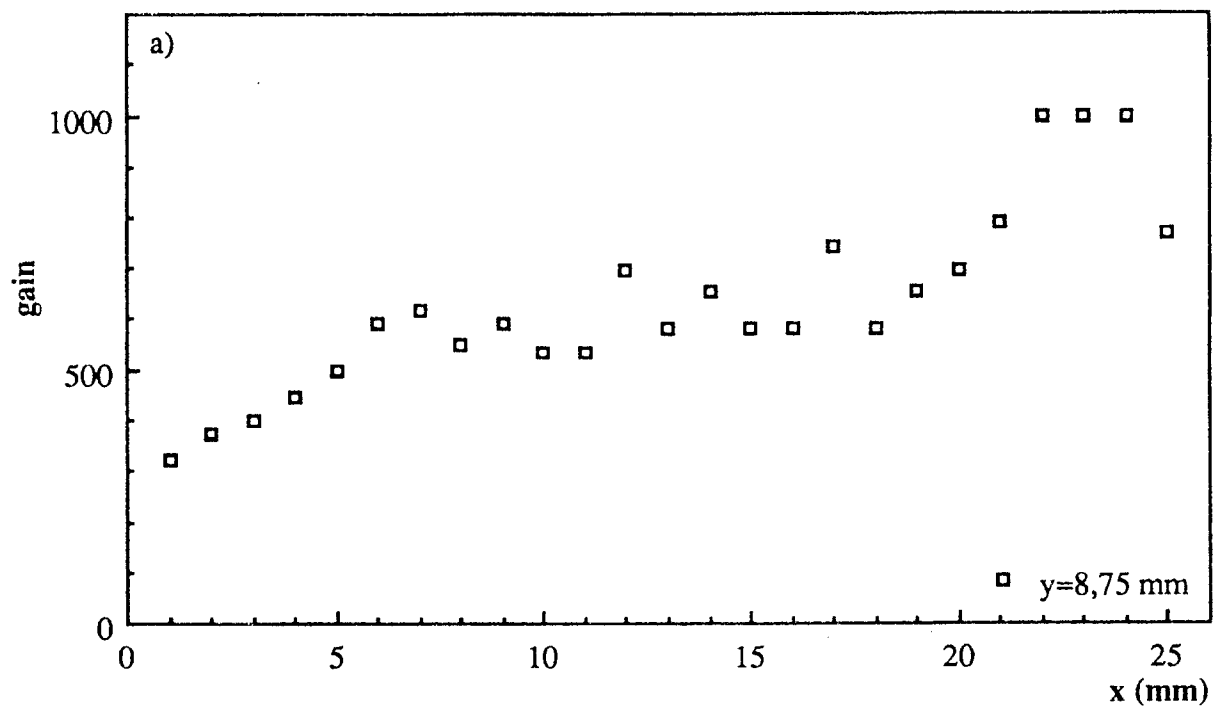


fig. 14: mesures des gains en fonction de la position de la source prototype P9 (7059) :

a) déplacement parallèle aux anodes

b) déplacement perpendiculaire aux anodes

tension dérive -1200 V

tension cathodes -420 V

mélange à 10% de DME

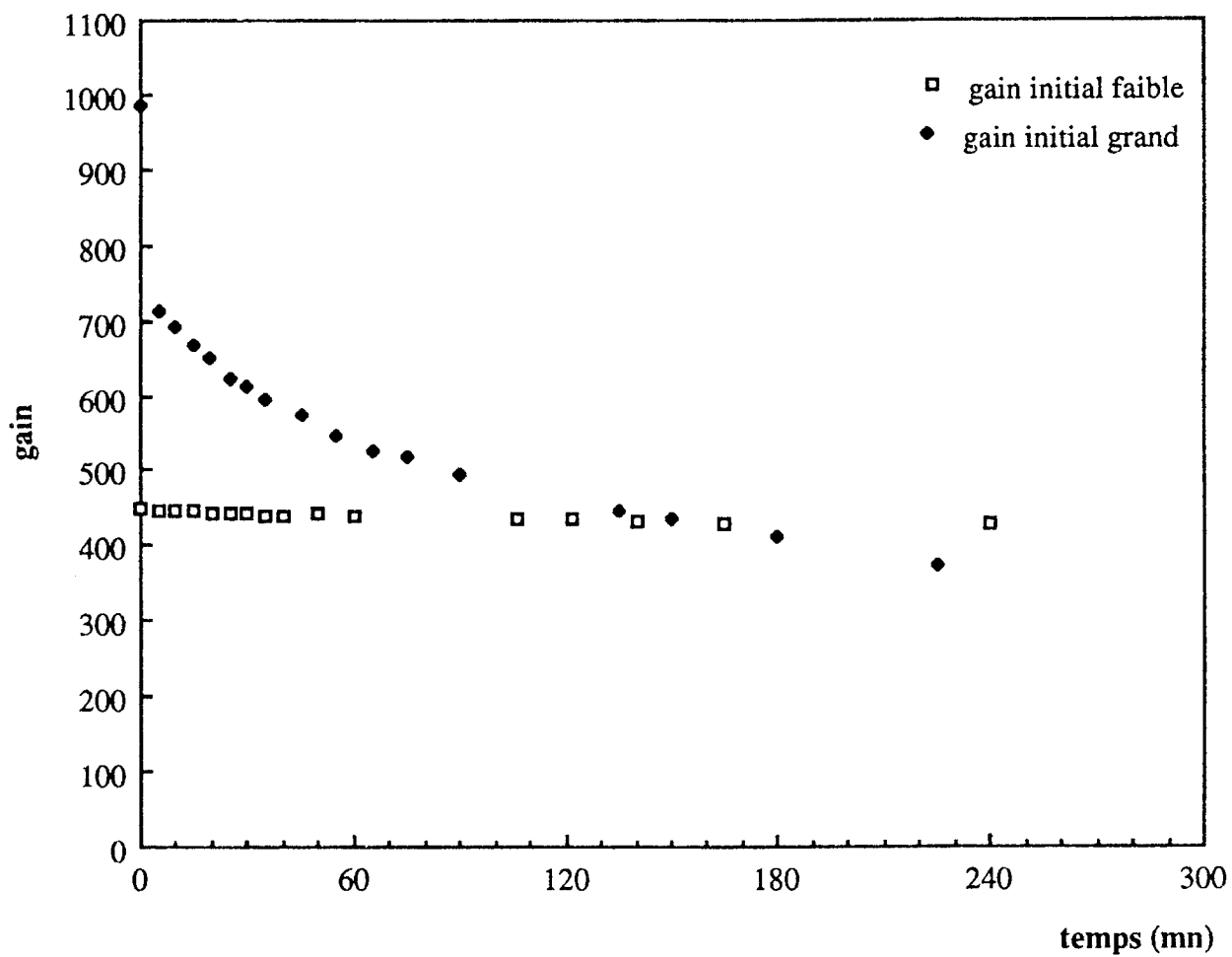


fig. 15: variation du gain en fonction du temps d'irradiation (source de Sr^{90})
pour deux points de gain initial différent sur le prototype P8 (D263)
tension dérive -1200V
tension cathodes -390 V
mélange à 10% DME

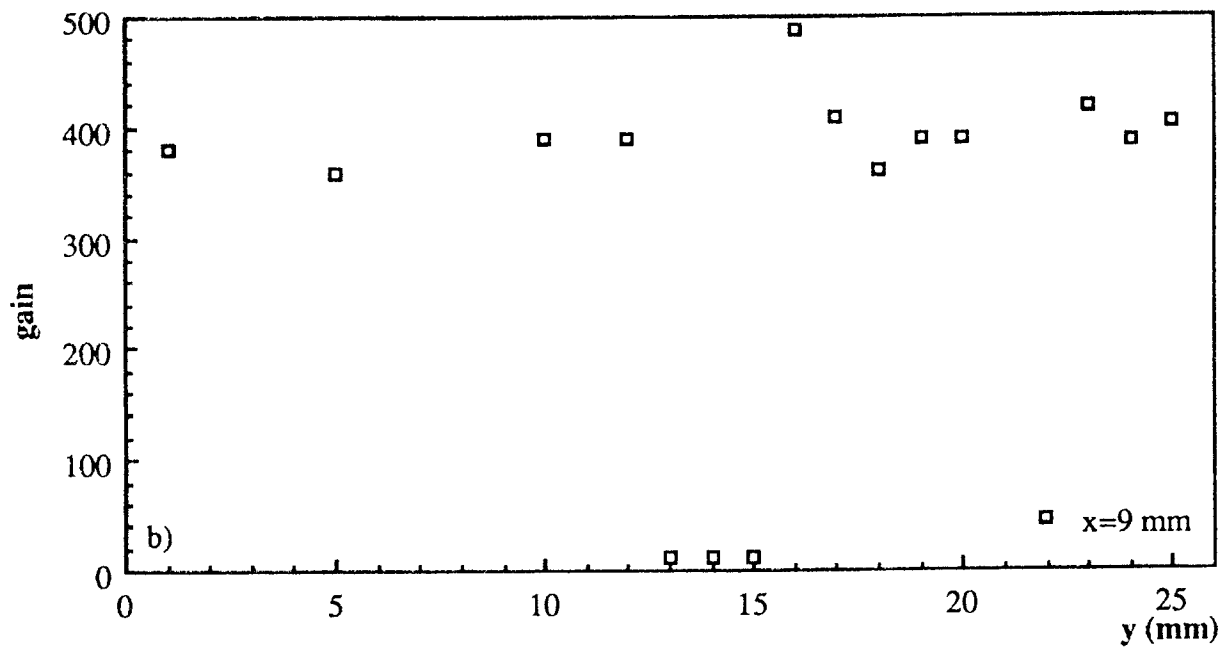
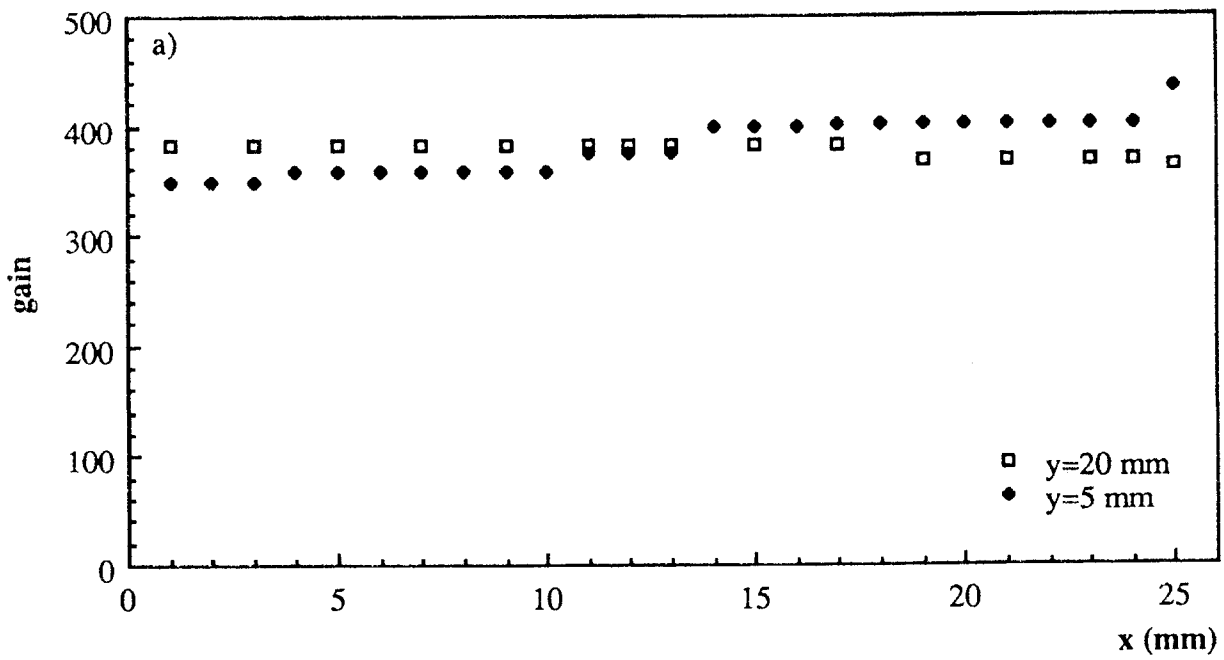


fig. 16: prototype P8 (D263 implanté) : mesures des gains en fonction de la position de la source

a) déplacement parallèle aux anodes

b) déplacement perpendiculaire aux anodes

tension dérive -1200 V
 tension cathodes -390 V
 mélange à 10% de DME

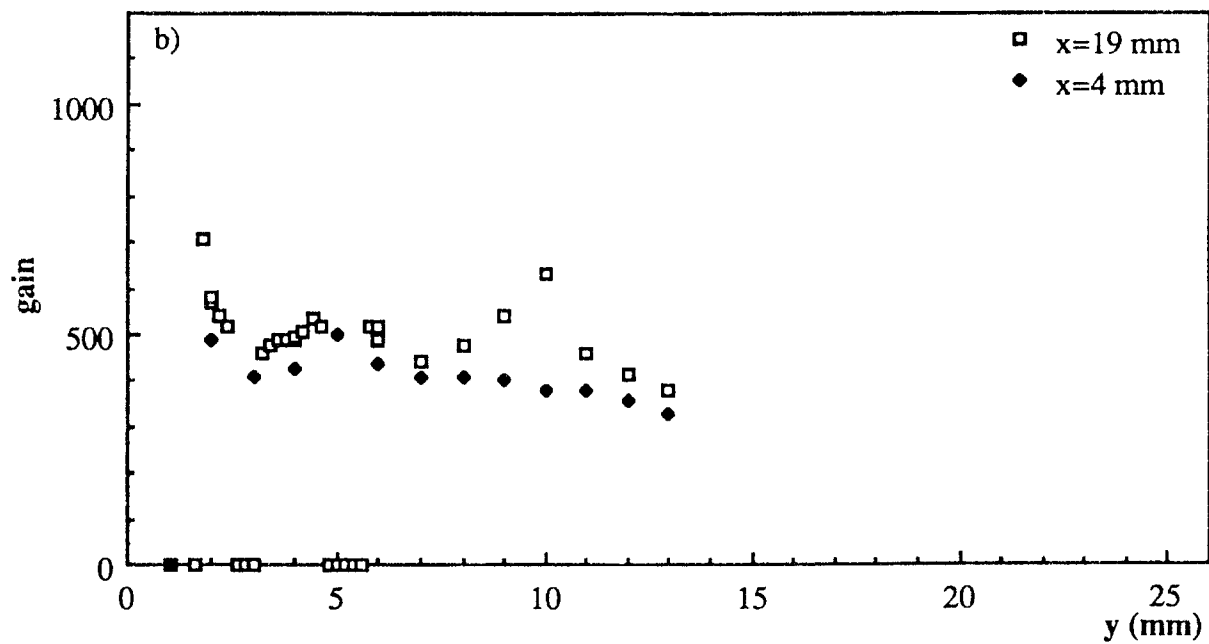
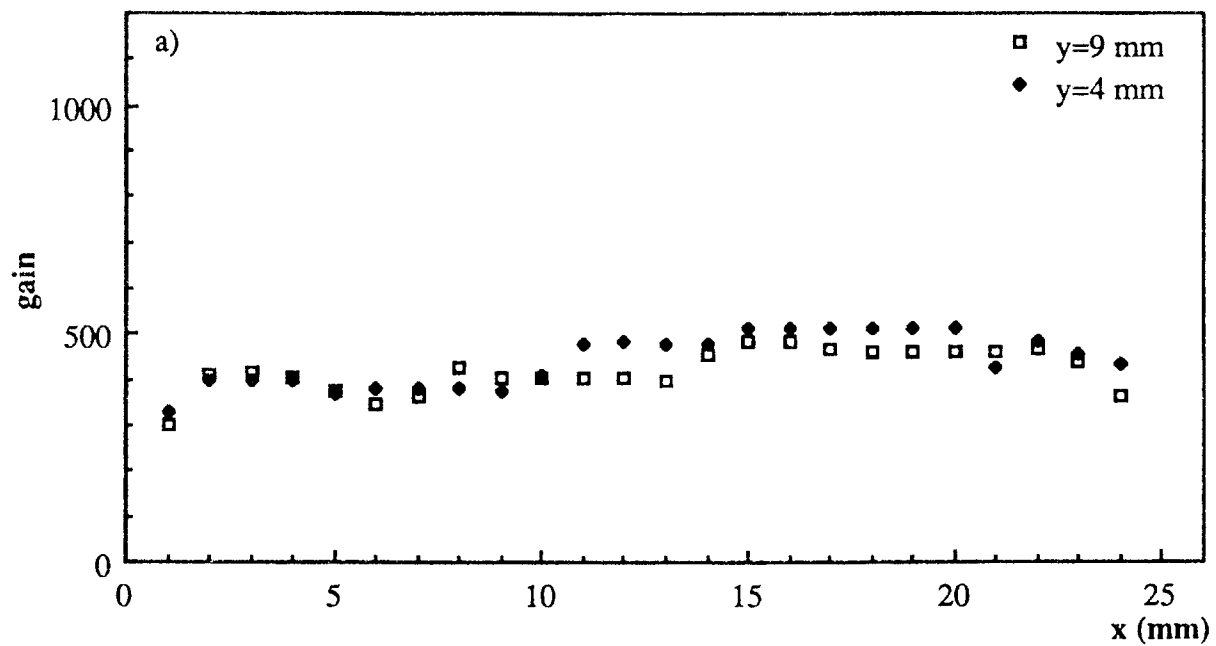


fig. 17: prototype P10 (7059 diffusé) : mesures des gains en fonction de la position de la source

a) déplacement parallèle aux anodes
 b) déplacement perpendiculaire aux anodes
 tension dérive -1200 V
 tension cathodes -420 V
 mélange à 10% de DME

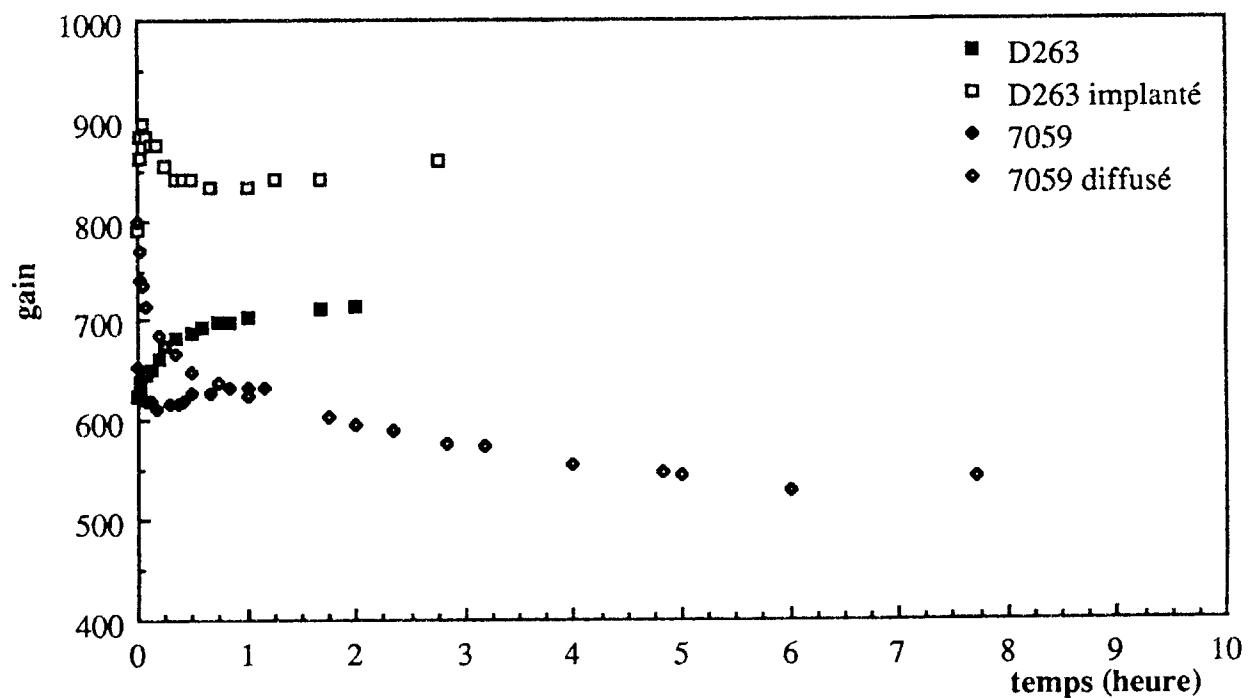


fig. 18: conditionnement à la tension cathodes -420V
 tension dérive -1200 V
 mélange à 10% DME

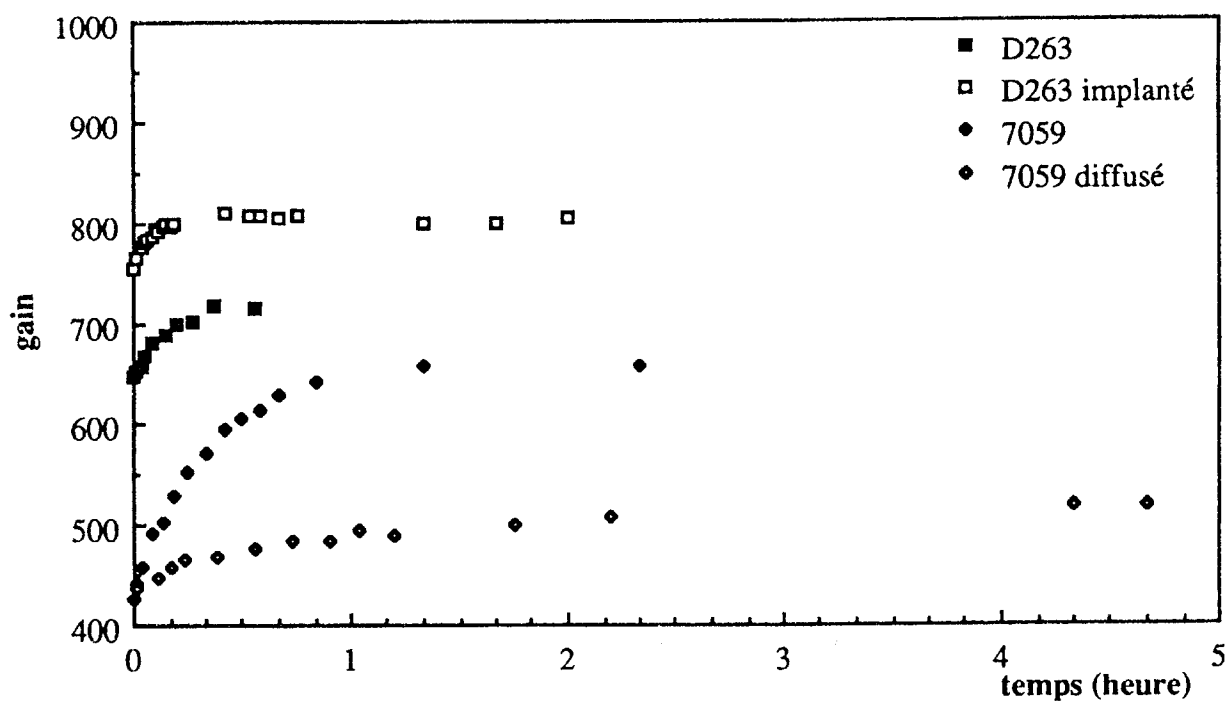


fig. 19: conditionnement à -420 V, après passage de la tension cathode
 à -470 V
 tension de dérive -1200 V
 mélange à 10% DME

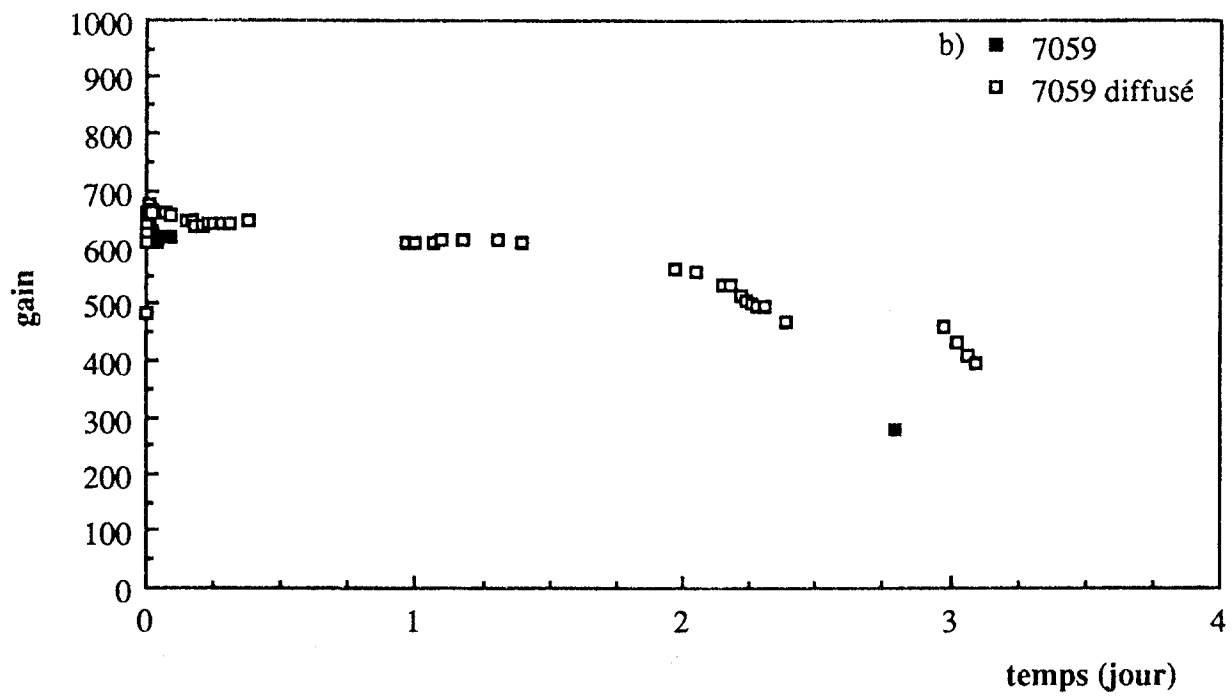
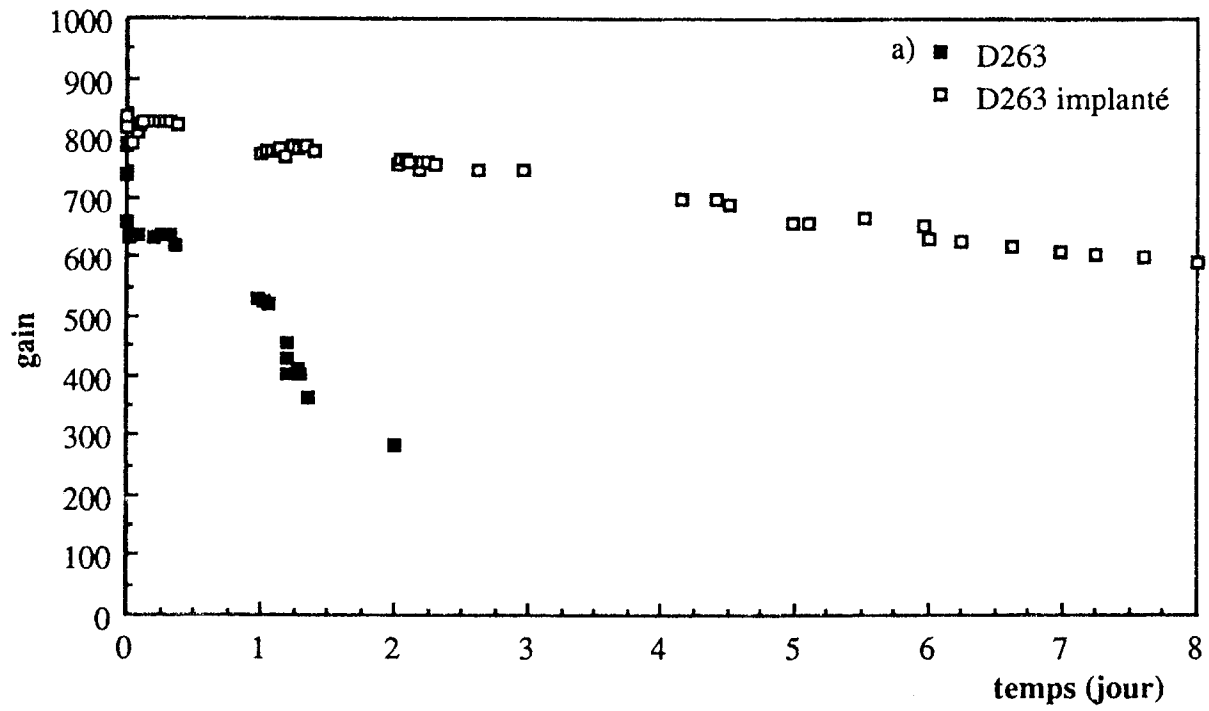


fig. 20: variation du gain en fonction du temps d'exposition à la source de Sr^{90}

a) verre Schott D263
 b) verre Corning 7059

tension de dérive -1200V
 tension cathodes -420 V
 mélange à 10% DME

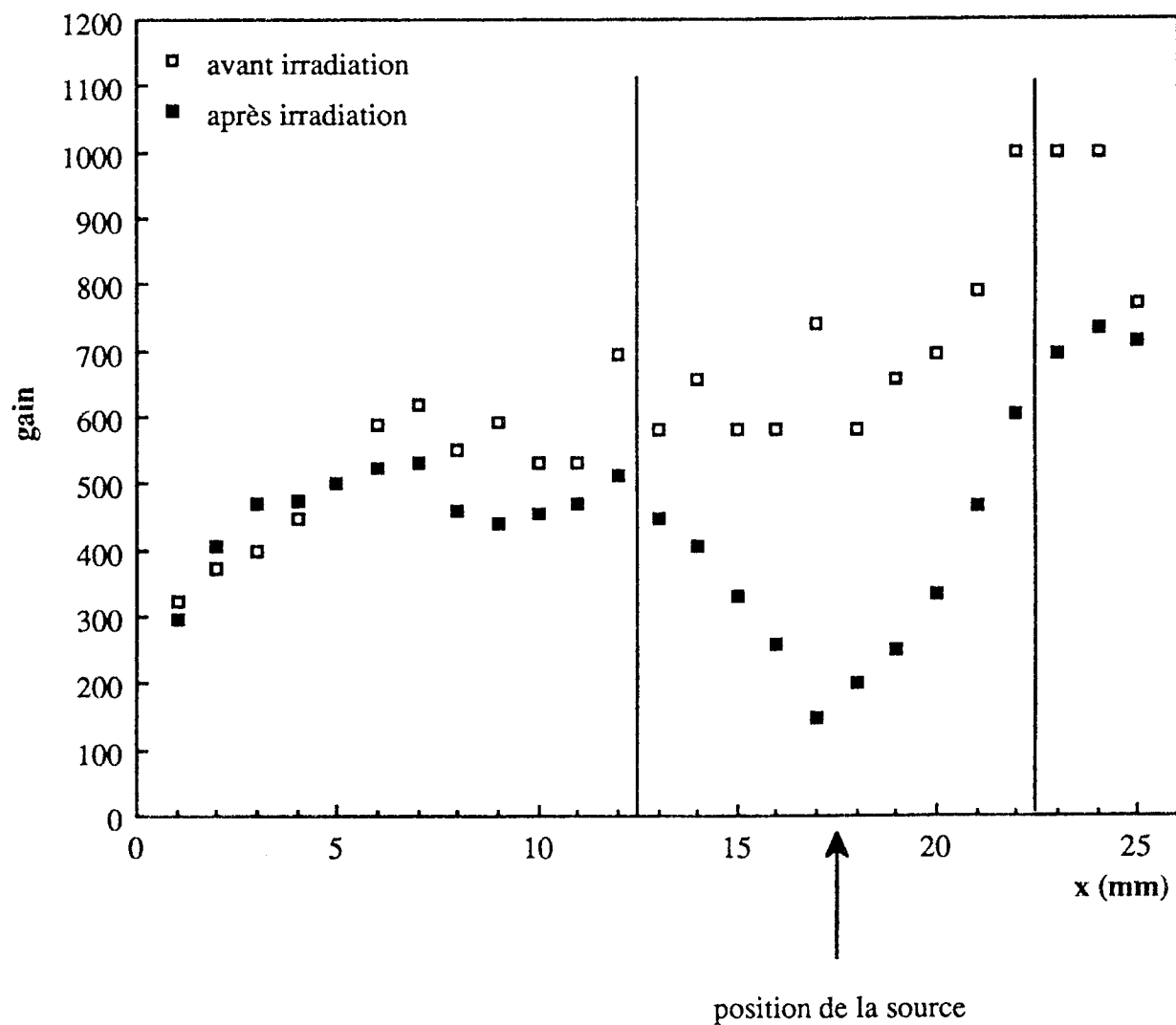


fig. 21: prototype P9 (7059) mesure des gains en fonction de la position de la source (déplacement parallèles aux anodes) avant et après irradiation

tension dérive -1200 V
 tension cathodes -420 V
 mélange à 10% de DME