

DETECTEUR A FIBRES SCINTILLANTES POUR L'ANALYSE DES FAISCEAUX DANS LA LIGNE DE MESURE DE LEAR
--

C. Fernández-Figueroa<sup>1)</sup>, G. Molinari

## 1. INTRODUCTION:

Les mesures du profil et de l'intensité des faisceaux extraits aux très basses énergies (quantité de mouvement  $p < 100 \text{ MeV}/c$ ) ne peuvent pas être faites avec les systèmes actuels. En effet, pour ces énergies, l'épaisseur de fenêtre de ces détecteurs est trop grande.

La nécessité de connaître le profil et l'intensité en vue de mesurer l'efficacité et les qualités de l'extraction, nous a conduit à développer de nouveaux types de détecteurs.

Nous avons utilisé des fibres scintillantes en verre. Ces fibres sont étuvables et se prêtent bien aux applications dans l'ultra-vidé.

Cette note rend compte, d'une part de l'analyse des fibres scintillantes disponibles sur le marché, et d'autre part des systèmes électroniques développés (détecteur, traitement analogique des signaux, acquisition des données obtenues).

## 2. LES FIBRES SCINTILLANTES:

Le développement des scintillateurs liquides et plastiques possédant des constantes de temps de décroissance (decay time) courts et des efficacités quantiques élevées, avait dans le passé, réduit l'intérêt porté aux scintillateurs en verre. Cependant, pour les applications en physique nucléaire et des particules, la grande résistance aux radiations et aux températures élevées des scintillateurs en verre en ont fait actuellement une solution alternative indispensable. De plus ils permettent d'obtenir des fibres de diamètres particulièrement petits ( $\phi < 10 \mu\text{m}$ ), ce qui donne la possibilité de réaliser des détecteurs ayant une grande résolution spatiale.

Nous désignons sous le nom de "*chambre scintillante*", un ensemble de détection comprenant un groupement de fibres disposées sur un plan de façon à repérer spatialement selon un axe (vertical ou horizontal) la position des particules d'un faisceau. Seulement une partie de la lumière produite au sein de chacune des fibres est captée et guidée (par réflexion totale) jusqu'à l'extrémité où a lieu l'observation (photo-multiplicateur).

Parmi les différents types de fibres scintillantes en verre existantes, les plus intéressantes pour nous sont celles dopées avec du cerium; ceci à cause de leur très faible constante de temps de décroissance.

<sup>1)</sup> Boursier.

La table montrée à la figure 1 donne les caractéristiques physiques d'un certain nombre de scintillateurs en verre actuellement commercialisés. Les critères utilisés pour faire notre choix ont été:

- a- la densité du verre: la dispersion des particules est d'autant plus faible que la densité est petite.
- b- l'indice de réfraction: la quantité de lumière piégée dans la fibre est d'autant plus grande que l'indice est grand.

	DENSITY g/cm <sup>3</sup>	REFRACTIVE INDEX	DECAY CONSTANT ns	WAVELENGTH OF MAX. EMISS. nm	FLUORESCENCE EFF. %		PHOTON YIELD g/keV	ENERGY EXPENDED ON ONE PHOTON eV
					ANTHRACENE	TOTAL		
NaI(tc)	3.67	1.775	230	413	230	12.01	40	3.002
ANTHRACENE	1.25	1.62	30	447	100	4.82	17.4	2.774
NE901	2.64	1.58	20-60	395	28	1.53	4.9	3.139
GS1 SILICATE	2.64 <sup>1</sup> 2.67 <sup>2</sup>	1.586 <sup>1</sup> 1.56 <sup>2</sup>	55	395	8.63	0.5	1.5	3.139
N327		1.46	50-100	468	12.08	0.55	2.1	2.649

figure 1.

Nous avons soumis à des testes deux types de fibres:

- la N327 de la firme SCHOTT<sup>(3)</sup>,
- la NE901 de la firme NUCLEAR ENTREPRISE (notre choix)<sup>(4)</sup>.

### 3. DESCRIPTION DU SYSTEME:

Le système est schématisé sur la figure 2.

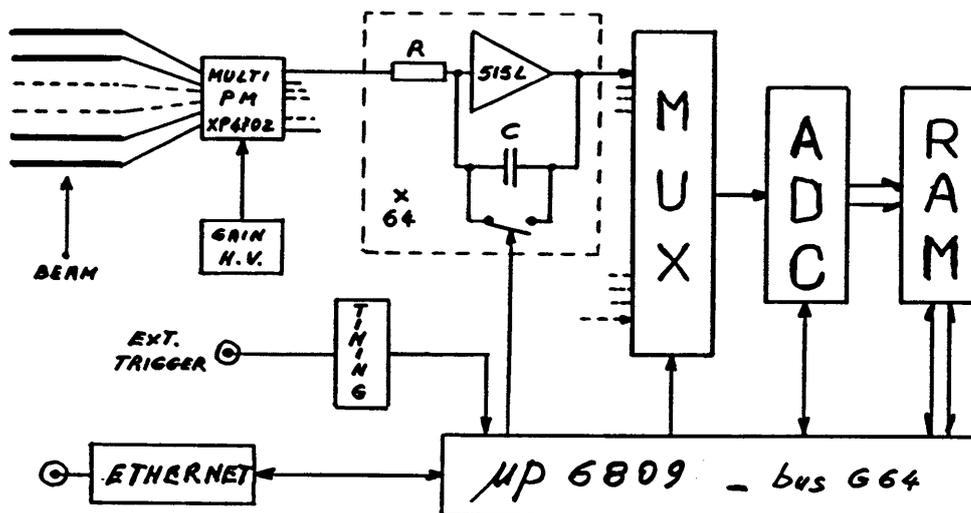


figure 2

Les signaux lumineux induits par la perte d'énergie des particules du faisceau dans chacune des fibres scintillantes sont liés optiquement aux photo-cathodes du Multi-PM. Le courant collecté sur chacune des dynodes, qui est proportionnel au signal incident, est intégré et amplifié. Les signaux en tension produits par les intégrateurs, après multiplexage, sont digitalisés par l'ADC.

L'ensemble des valeurs ainsi obtenues traduit alors la distribution spatiale quantitative des particules et permet d'obtenir le profil du faisceau. Une calibration convenable permet la mesure du nombre des particules extraites.

#### 4. CHOIX DES COMPOSANTS:

##### 4.1- *Le multi-PhotoMultiplicateur:*

Le modèle Philips XP4702, est caractérisé par une interférence (crosstalk) très faible entre canaux (nombre total:64) et chacun d'eux peut être vu alors comme un PhotoMultiplicateur indépendant.

Le maximum spectral de la photocathode a lieu pour les longueurs d'onde de  $400 \pm 30$  nanomètres.

Le gain ( $10^4$  à 1250 volts) et le courant d'obscurité ( $< 1$  nanoAmp. par élément) sont satisfaisants.

Le multi-PM est utilisé avec la configuration "parallel processing". Il donne aussi la possibilité d'obtenir sur l'anode la somme totale du courant de tous les canaux. On obtient alors une distribution temporelle de l'ensemble des particules du faisceau.

##### 4.2- *L'intégrateur:*

Le modèle Analog Devices AD515L est un amplificateur opérationnel à étage d'entrée FET utilisé dans les applications d'électrométrie (courant de polarisation très faible  $< 0.075$  pA).

##### 4.3- *Multiplexeur et convertisseur:*

Le modèle Analog Devices AD7828 est un convertisseur avec multiplexeur (8 canaux de 8 bits,  $2.5 \mu\text{s}$  par canal). Pour couvrir les 64 canaux, le système multiplexeur-convertisseur a été réalisé sous forme de deux cartes (européenne G64) identiques comprenant chacune 4 modules AD7828.

##### 4.4- *Acquisitions des données:*

Le système via le bus G64 est géré par un microprocesseur (6809). La liaison avec le VAX LEAR est faite via ETHERNET.

#### 5. CALCULS D'ETABLISSEMENT D'UN CANAL INTEGRATEUR-AMPLIFICATEUR

L'étude du système a été réalisée en utilisant le programme MICRO\_CAP III.

*Les notations utilisées sont repérées sur la figure 3.*

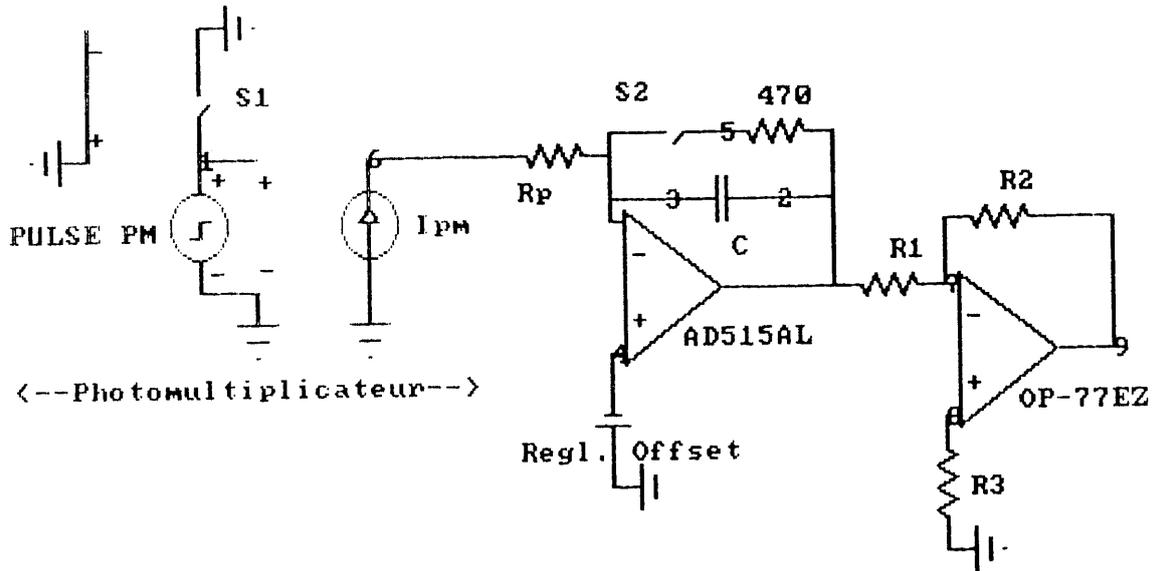


figure 3

### 5.1- CARACTERISATION DU PM:

Le PM est considéré comme une source de courant.

En fonction des particules incidentes sur les fibres scintillantes, le PM délivre un train d'impulsions de courant qu'on peut caractériser par deux paramètres:

- la période de récurrence  $T_R$ ,
- la charge  $Q_{PM}(k.T_R)$  en Coulomb de chacune des impulsions considérées aux temps  $k.T_R$  [surface de l'impulsion de courant en ampère.seconde] en faisant  $k = 0, 1, 2, 3, 4, \dots$  (l'instant correspondant à  $k=0$  étant arbitraire).

On peut alors définir:

- le courant moyen  $\langle I_{PM} \rangle$  correspondant à une durée  $T$  (pendant laquelle on suppose  $T_R$  constant) à partir de  $k=0$  et telle que  $K_N.T_R \leq T < (K_N+1).T_R$ , est donné par:

$$\langle I_{PM} \rangle = \frac{1}{T} \cdot \sum_{k=0}^{k=K_N} Q_{PM}(k.T_R) \quad (1)$$

- la charge totale  $Q_T$  délivrée pendant une durée  $T$  secondes:

$$Q_T = \langle I_{PM} \rangle \cdot T \quad (2)$$

### 5.2- CONDITIONNEMENT DE L'INTEGRATEUR:

A la sortie de l'intégrateur, en tenant compte des relations (1) et (2), on obtient:

$$V_{OUT} = - \frac{1}{C} \cdot Q_T = - \frac{1}{C} \cdot \langle I_{PM} \rangle \cdot T \quad (3)$$

Remarque:

Le signal à intégrer provenant d'une source de courant, donc à impédance interne théoriquement infinie, le gain de l'intégrateur est voisin de 1. Il s'en suit:

- que la dérive à la sortie de l'intégrateur (tension d'offset) garde une valeur minimum;

- que le système se comporte, au point de vue de la formulation, comme un intégrateur passif (un condensateur seul) pour lequel on néglige la tension de charge de la capacité. Le rôle de l'ampli (dont le gain en boucle ouverte est très grand) est alors uniquement de présenter à la source du signal une tension de charge pratiquement nulle et de présenter pour la sortie, une tension aux bornes d'une capacité pratiquement infinie.

La résistance  $R_p$  (100 K $\Omega$ ) est utilisée pour protéger l'entrée de l'ampli.

Les considérations déterminant le conditionnement de l'intégrateur vont résulter de l'analyse de la relation (3) et en particulier de chacun des termes représentant une grandeur physique résultant du schéma.

#### 5.2.1- Analyse de la charge intégrée $Q_I$ :

La valeur de la charge intégrée  $Q_I$  est liée à la distribution spatiale du faisceau et est donc variable de canal à canal.

Considérons un faisceau éjecté centré en  $(X_0, Z_0)$  du plan  $(x, z)$  transversal (fig. 4) contenant le détecteur (fibres scintillantes). Sur ce plan, le détecteur délimite une surface rectangulaire dont les côtés sont  $(X_{MIN}, X_{MAX})$  et  $(Z_{MIN}, Z_{MAX})$ .

Pour mesurer le profil du faisceau selon l'axe  $x$ , les fibres sont disposées parallèlement à l'axe  $z$  et les différents canaux sont alors repérés par leur abscisse ( $x$ ) d'intersection avec l'axe  $x$ .

D'une façon tout à fait symétrique, pour mesurer le profil du faisceau selon l'axe  $z$ , les fibres sont disposées parallèlement à l'axe  $x$  et les différents canaux sont alors repérés par leur abscisse ( $z$ ) d'intersection avec l'axe  $z$ .

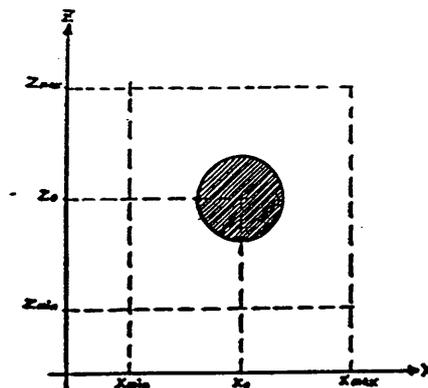


figure 4

Dans ce qui suit nous supposerons mesurer le profil selon l'axe  $x$ .

On écrira donc  $Q_T(x_*)$  pour désigner la charge intégrée pendant la durée  $T$  et correspondante à un canal  $x_*$ .

La charge intégrée  $Q_T(x_*)$ , est dépendante du nombre  $n_T(x_*)$  de particules chargées éjectées et vues par la fibre ( $x_*$ ) pendant la durée  $T$ .

C'est à dire  $Q_T(x_*)$  est indirectement dépendant de la forme et de la dimension du faisceau:

Considérons donc la trace, sur le plan  $xz$ , du flux de particules éjectées. Nous faisons l'hypothèse que la totalité du faisceau est complètement intérieure au contour ( $x_{MIN}$ ,  $x_{MAX}$ ,  $z_{MIN}$ ,  $z_{MAX}$ ) du détecteur (fig. 5).

On exprimera ce flux par  $(dN_E/dt)$  qui représente le nombre total de particules éjectées par seconde pendant la durée  $T$  et qui est supposé être constant pendant cette durée.

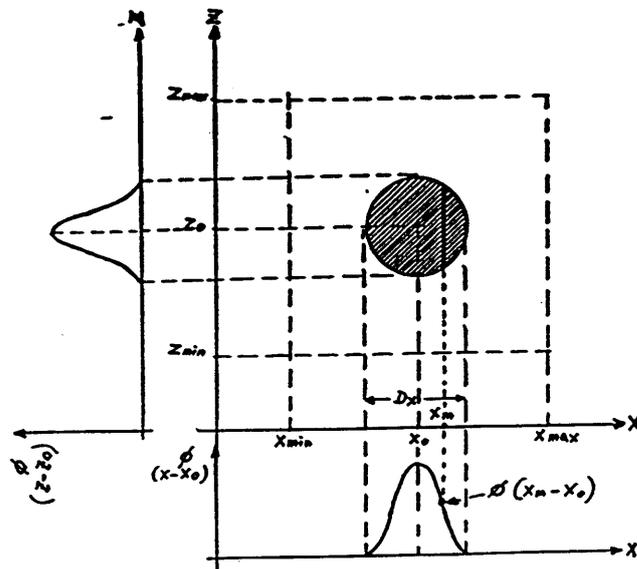


figure 5

On peut alors, pour le faisceau centré en  $(X_0, Z_0)$ , considérer les fonctions suivantes de la distribution de la densité des particules éjectées:

$\phi(x-X_0)$  selon l'axe  $x$ ;

$\phi(z-Z_0)$  selon l'axe  $z$ .

Etant donnée l'hypothèse faite, on a:

$$\int_{x_{MIN}}^{x_{MAX}} \phi(x-X_0) \cdot dx = 1 \quad (4)$$

et:

$$\int_{Z_{\text{MIN}}}^{Z_{\text{MAX}}} \phi(z-Z_0).dz = 1 \quad (5)$$

Si nous considérons maintenant une fibre dont l'axe a pour abscisse  $x_m$  et dont le diamètre est  $S$ , le nombre  $n_T(x_m)$  de particules chargées éjectées et vues par la fibre ( $x_m$ ) pendant la durée  $T$ , a pour expression:

$$n_T(x_m) = \frac{dN_E}{dt} \cdot \left[ \int_{x_m - S/2}^{x_m + S/2} \phi(x-X_0).dx \cdot \int_{Z_{\text{MIN}}}^{Z_{\text{MAX}}} \phi(z-Z_0).dz \right] \cdot T \quad (6)$$

Etant donné la relation (5), on obtient:

$$n_T(x_m) = \frac{dN_E}{dt} \cdot \left[ \int_{x_m - S/2}^{x_m + S/2} \phi(x-X_0).dx \right] \cdot T \quad (7)$$

Si on admet que d'une façon générale le diamètre  $S$  des fibres est petit devant la dimension  $D_x$  du faisceau projeté sur l'axe  $x$  on peut écrire:

$$\int_{x_m - S/2}^{x_m + S/2} \phi(x-X_0).dx \approx \phi(x_m - X_0) \cdot S \quad (8)$$

d'où:

$$n_T(x_m) = \frac{dN_E}{dt} \cdot \phi(x_m - X_0) \cdot S \cdot T \quad (9)$$

*La charge intégrée  $Q_T(x_m)$ , est dépendante du réglage du gain  $G_{PM}$  du photomultiplicateur (réglage de la Haute Tension).*

*La charge intégrée  $Q_T(x_m)$ , est dépendante de l'efficacité  $\Gamma_0(p)$  de l'ensemble "fibre optique, hublot, photocathode" et que nous supposons identique pour tous les canaux, pour une quantité de mouvement  $p$  donnée.*

En fait cette égalisation est obtenue par une procédure de réglage du gain de chacun des amplis situés après les intégrateurs.

L'expression de la charge intégrée correspondant au canal ( $x_m$ ) s'écrit donc ("e" = charge de l'électron,  $1.602 \cdot 10^{-19}$  Coulomb):

$$Q_T(x_m) = \frac{dN_E}{dt} \cdot \phi(x_m - X_0) \cdot S \cdot T \cdot \Gamma_0(p) \cdot G_{PM} \cdot e \quad (10)$$

d'où finalement, pour un canal  $x_m$  ( $m$  est un indice correspondant au numéro de chacune des fibres et qui indique que  $x_m$  caractérise des valeurs discrètes de la variable continue  $x$ ):

$$V_{OUT} = - \frac{1.602 \cdot 10^{-19}}{C} \cdot \phi(x_m - X_0) \cdot S \cdot \Gamma_0(p) \cdot \frac{dN_E}{dt} \cdot T \cdot G_{PM} \quad (11)$$

### 5.2.2- Analyse des termes de la fonction d'intégration:

Il s'agit des termes de la relation (11). Leur analyse sera faite sous la forme d'une suite d'observations.

#### Observation 1:

La valeur du nombre total de particules éjectées par seconde ( $dN_E/dt$ ) peut pratiquement varier dans un rapport de 1 à 1000 ( $10^3$  à  $10^6$  particules).

#### Observation 2:

Le gain ( $G_{PM}$ ) du photomultiplicateur peut être réglé pratiquement entre  $1 \cdot 10^4$  (H.T. = 800v.) et  $4 \cdot 10^6$  (H.T. = 1440v.), c'est à dire dans un rapport de 1 à 400.

#### Observation 3:

L'efficacité  $\Gamma_0(p)$  de l'ensemble "fibre optique, hublot, photocathode", pour le type de fibre utilisé, varie en fonction de la quantité de mouvement (momentum) des particules du faisceau extrait, de (voir aussi annexe 1):

$$\begin{aligned} [\Gamma_0]_{MIN} &\approx 150 \text{ électrons par proton (ou antiproton)} \\ [\Gamma_0]_{MAX} &\approx 530 \text{ électrons par proton (ou antiproton)} \end{aligned}$$

c'est à dire affiche une variation de 1 à 3.5.

#### Observation 4:

La formulation (11) met en jeu trois types de grandeurs:

- un groupement  $g_i$  de grandeurs dont la valeur est indépendante du canal  $x$  choisi et est donc commune à la mesure de tous les points d'un profil:

$$g_i = \Gamma_0(p) \cdot \frac{dN_E}{dt} \cdot T \cdot G_{PM} \quad (12)$$



Si on veut qu'avec une même valeur de capacité C, on puisse toujours approximativement satisfaire la relation (15), ce qui est la condition de résolution maximum de la mesure, il faut faire en sorte que le produit des termes (A.B.D) de la relation (19) soit à peu près constant.

Les termes "A" et "D" représentent des valeurs dont les variations sont uniquement liées aux caractéristiques du faisceau qu'on mesure. Les termes du groupement "B" représentent des grandeurs dont les variations de valeurs dépendent de réglages pratiqués par l'opérateur.

Pour chacun des paramètres "P" des groupements "A" et "D", nous allons donc définir un coefficient  $V_p$  de variation possible (ou *variance*) autour d'une valeur moyenne  $[P]_c$  qui sera considérée pour définir la situation moyenne utilisée pour calculer la capacité "C". La variance  $V_p$  est définie :

$[P]_c * V_p = P_{MAX}$	(Valeur Maximum de P pouvant exister)
$[P]_c \div V_p = P_{MIN}$	(Valeur Minimum de P pouvant exister)
d'où	$P_{MAX}/P_{MIN} = (V_p)^2$

Le paramètre P est ainsi considéré comme pouvant subir une variation dans un rapport de 1 à  $(V_p)^2$

De même, pour chacun des paramètres de réglage "P" du groupement "B", nous allons définir un coefficient de réglage  $R_p$  dont la définition est semblable à celle de la variance. Par la même occasion, on définit ainsi une valeur moyenne pour chacun des paramètres de réglage qui définit la valeur  $[B]_c$  du groupement "B" permettant de calculer "C".

Pratiquement, il faudra que les écarts naturels par rapport au cas moyen  $[A]_c.[D]_c$  pris comme référence, puissent être compensés par des variations opérées sur le groupement B de réglage autour de la valeur moyenne  $[B]_c$ . Ceci, de façon à conserver la valeur du produit (A.B.D), égale à  $[A]_c.[B]_c.[D]_c$ . Considérons ces groupements un à un:

Groupement D =  $S.\phi(x_{GRD}-X_0)$ :

La fonction de distribution de la densité  $\phi(x.-X_0)$  est le seul terme [relation (11)] qui traduit le profil. La valeur maximum  $\phi(x_{GRD}-X_0)$  qu'on doit utiliser pour calculer la capacité C, doit correspondre au maximum de la densité d'une *distribution normale d'un faisceau qu'on supposera ayant une dimension  $D_x$  moyenne.*

*Evaluation de la valeur de  $S.\phi(x_{GRD}-X_0)$  pris en référence:*

La valeur du diamètre des fibres est  $S = 0.5$  mm.

L'intervalle entre deux fibres consécutives est 0.5 mm.

Les dimensions possibles du faisceau, vues selon l'axe x, sont supposées être telles que  $8 \text{ mm.} \leq D_x \leq 18 \text{ mm.}$

Dans l'hypothèse que la fonction de distribution de la densité des particules est gaussienne (distribution normale), on a:

$$\phi(x-X_0) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \exp\left[-\frac{(x-X_0)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (20)$$

où  $\sigma$  est la valeur de la *déviatiion standard* [68.2 % de l'ensemble des particules sont contenues dans la tranche de faisceau comprise entre  $(x-X_0) = +\sigma$  et  $(x-X_0) = -\sigma$ ].

Le maximum a lieu pour  $x-X_0 = 0$  c'est à dire  $x = X_0 = x_{BRD}$ . Dans ce cas:

$$\phi(x_{BRD}-X_0) = \phi(0) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} = \frac{0.4}{\sigma} \quad (21)$$

On peut admettre que:  $D_x \approx 6\sigma$

[99.7 % de l'ensemble des particules sont contenues dans la tranche de faisceau comprise entre  $(x-X_0) = +3\sigma$  et  $(x-X_0) = -3\sigma$ ]

d'où:  $\sigma \approx D_x/6$  et avec la relation (21) on obtient:

$$\boxed{\mathcal{S} \cdot \phi(x_{BRD}-X_0) \approx (2.4) \cdot \frac{\mathcal{S}}{D_x}} \quad (22)$$

avec les valeurs choisies, on obtient pour le groupement "D":

$$[\mathcal{S} \cdot \phi(x_{BRD}-X_0)]_{MIN} = (2.4 \cdot 0.5)/18 = 0.067$$

$$[\mathcal{S} \cdot \phi(x_{BRD}-X_0)]_{MAX} = (2.4 \cdot 0.5)/8 = 0.150$$

D'où:

$$V_D = \sqrt{(0.150/0.067)} \approx 1.49$$

et:

$$[\mathcal{S} \cdot \phi(x_{BRD}-X_0)]_C = 0.067 \cdot 1.49 = 0.100 \quad (23)$$

ce qui correspond à la dimension moyenne utilisée pour calculer "C":

$$[D_x]_C = (2.4 \cdot 0.5)/0.100 = 12 \text{ mm.}$$

Groupement A =  $(dN_E/dt) \cdot \Gamma_0(p)$ :

Nous avons vu avec l'observation 1, page 8, que:

$$10^3/\text{sec.} \leq \frac{dN_E}{dt} \leq 10^6/\text{sec.};$$

La variation est de 1 à 1000. On va donc choisir pour calculer la valeur de la capacité C [relation (19)], une valeur  $(dN_E/dt)_c$  de milieu de gamme.

On calcule la variance  $V_N = \sqrt{1000} = 31.6$  ; on arrondit à 32. Donc:

$$V_N = 32 \quad (24)$$

On trouve immédiatement:

$$(dN_E/dt)_c = 10^3 * 32 = 32 \cdot 10^3 / \text{sec.} \quad (25)$$

Nous avons vu avec l'observation 3, page 8, que l'efficacité  $\Gamma_0(p)$  globale exprimée en nombre d'électrons produits par proton (ou antiproton) frappant une fibre de diamètre  $\delta = 0.5$  mm, dans notre contexte, était telle que (voir aussi annexe 1) :

$$150 \leq \Gamma_0(p) \leq 530$$

La variation est de 1 à 3.5; de même que précédemment, on calcule la variance:

$$V_r = \sqrt{3.5} = 1.87 \quad (26)$$

On calcule alors l'efficacité  $[\Gamma_0(p)]_c$  qu'on va utiliser pour calculer la valeur de la capacité C:

$$[\Gamma_0(p)]_c = 150 * \sqrt{3.5} \approx 280 \quad (27)$$

Facteur globale  $R_r$  des réglages nécessaires:

Nous venons d'établir pour chacun des paramètres des groupements "A" et "D" une valeur que nous avons définie comme caractérisant une situation moyenne utilisée pour calculer la capacité "C". La variance globale résultante est ainsi:

$$V_r = V_D \cdot V_N \cdot V_r = 1.49 * 32 * 1.87 = 89.16$$

Pour pouvoir faire face à toutes les situations de faisceau, il faut pouvoir disposer d'un facteur global de réglage  $R_r$  tel que:

$$R_r = V_r = 89.16 \quad (28)$$

Le groupement "B" doit ainsi permettre une variation totale de 1 à  $(R_r)^2 = 7950$ .

Groupement B = T.G<sub>P.H.</sub>:

Si on désigne par  $R_T$  et  $R_\theta$  les facteurs des réglages possibles des paramètres T et G<sub>P.H.</sub>, on devra avoir:

$$R_T \cdot R_\theta \geq R_r = 89.16 \quad (29)$$

Nous pouvons calculer  $R_0$  à partir de l'observation 2 page 8:

$$R_0 = \sqrt{(4 \cdot 10^6 / 1 \cdot 10^4)} = 20 \quad (30)$$

d'où:

$$R_T \geq R_I / R_0 = 89.16 / 20 \approx 4.45 \quad (31)$$

On aura donc:

$$T_{MAX} / T_{MIN} \geq (R_T)^2 = 19.8$$

On prendra:

$$T_{MAX} / T_{MIN} = 20 \quad (32)$$

$$R_T = \sqrt{(20)} = 4.47 \quad (33)$$

$T_{MIN}$  doit être telle que l'erreur maximum systématique en durée et qui correspond à la durée totale de la conversion analogue-digitale de 32 canaux multiplexés ( $\approx 1ms$ ), lui soit petite et donc négligeable. On choisit donc:

$$T_{MIN} = 100 \text{ msec.} \quad (34)$$

La durée réelle pratique d'intégration " $T$ ", doit être choisie entre les deux valeurs extrêmes,  $T_{MIN}$  et  $T_{MAX}$ . D'où:

$$T_{MAX} = T_{MIN} * 20 = 2 \text{ sec.} \quad (35)$$

Valeurs  $[G_{PM}]_c$  et  $[T]_c$  utilisés pour le calcul de " $C$ ":

On obtient directement:

$$[G_{PM}]_c = 1 \cdot 10^4 * 20 \approx 200 \cdot 10^3 \quad (36)$$

$$[T]_c = 100 * 4.47 = 447 \text{ msec} \quad (37)$$

Valeur de la capacité " $C$ " d'intégration:

Nous allons reprendre la relation (19) en considérant les valeurs relatives à la situation moyenne que nous venons de calculer. On obtient ainsi la relation (38):

*Relation (38):*

$$C = - \frac{1.602 \cdot 10^{-19}}{V_{FULL \text{ SCALE}}} \cdot [\Gamma_0(p)]_c \cdot [dN_E/dt]_c \cdot [T]_c \cdot [G_{PM}]_c \cdot [S.\phi(X_{GRD} - X_0)]_c$$

La valeur de  $V_{FULL \text{ SCALE}}$  est -5 volts.

On introduit dans la formule (38) les valeurs que nous rappelons ci-après:

$$[S.\phi(X_{GRD} - X_0)]_c = 0.1$$

[formule (23)]

$$[dN_e/dt]_c = 32 \cdot 10^3 / \text{sec.} \quad [\text{formule (25)}]$$

$$[\Gamma_0(p)]_c = 280 \text{ élect.}/\text{proton} \quad [\text{formule (27)}]$$

$$[G_{pH}]_c = 200 \cdot 10^3 \quad [\text{formule (36)}]$$

$$[T]_c = 0.447 \text{ sec} \quad [\text{formule (37)}]$$

On obtient:

$$C = 2.56 \text{ nF}$$

On choisit la valeur normalisée la plus proche:

$$C = 2.7 \text{ nF} \quad (39)$$

#### 5.2.4- Effets du courant d'obscurité du photoMultiplieur:

Le courant d'obscurité crée une erreur qui est maximum lorsque la durée d'intégration  $T$  est maximum ( $T = T_{MAX} = 2 \text{ sec.}$ ). Soit " $I_{OBS}$ " le courant d'obscurité. La tension d'erreur produite est alors:

$$v_x = (I_{OBS} \cdot T_{MAX}) / C \quad (40)$$

Selon les indications données par le constructeur (PHILIPS) et les résultats expérimentaux que nous avons obtenus (après environ 30 minutes de fonctionnement), la valeur de  $I_{OBS}$  est telle que:

$$I_{OBS} \leq 25 \text{ picoamp.}$$

En appliquant la relation (40), on obtient:

$$v_x = 18.5 \text{ mV}$$

Cette valeur correspond approximativement à un LSB du convertisseur analogue-digital (5 V et 8 bits).

## 6. CONCLUSION:

Un prototype du détecteur qui vient d'être décrit a été complètement développé et est réalisé sous sa forme finale. Les tests faits au laboratoire (avec une source radioactive) ont été satisfaisants. Ce détecteur est celui qui sera utilisé dans la ligne de mesure (E5) pour l'analyse des faisceaux aux très basses énergies.

## 7. REMERCIEMENTS:

Nous voulons remercier tout particulièrement E. ASSEO pour ses conseils et l'aide qu'il nous a apportée lors du développement et pour la rédaction de cette étude. Nous voulons aussi remercier J. CAMAS, J. CHEVALLIER, M. D'AURIA, G.F. FERIOLI, R. MACCAFERRI pour l'assistance qu'ils nous ont prodiguée lors de la réalisation pratique.

## 8. BIBLIOGRAPHIE ET REFERENCES:

*Bibliographie:*

- Yu. K. AKIMOV: "Scintillation Counters in High Energy Physics"  
(Academic Press 1965)
- R. C. FERNOW: "Introduction to Experimental Particle Physics"  
(Cambridge University Press 1986)
- P. HOROWITZ, H. HILL : "The Art of Electronics"  
(Cambridge University Press 1980)

*Références:*

- (1) M. N. ATKINSON and al :  
"Initial Test of Scintillator Glasses and Scintillating  
Fibres"  
(Nucl. Instr. Methods Phys. Rev. A247, 1986, pp 319-326.)
- (2) D. PUSELJIC and al :  
"A New Scintillating Glass for High Energy Physics Appli-  
cations."  
(IEEE Trans. Nucl. Sci. vol. 35, 1988, pp 475-476.)
- (3) M. HENNING and al :  
"Towards High Resolution Fibre Detectors Utilising Glass  
as Active or Passive Component."  
(ECFA Study Week Proceedings vol. 2, 1989, pp 231-237.)
- (4) Glass Scintillator Characteristics NE 901, NUCLEAR  
ENTERPRISE.
- (5) C. FERNANDEZ-FIGUEROA, G. MOLINARI :  
"Détermination de l'efficacité de l'extraction ultra-  
lente dans LEAR."  
(PS / AR / Note 90-05, 1990.)

A N N E X E 1

LA PRODUCTION DES PHOTONS:

Le phénomène qui est à l'origine d'un signal produit par le système, est l'interaction d'une particule chargée avec les atomes du scintillateur.

La perte d'énergie  $E_{Loss}$  de la particule chargée lors de cette interaction est donnée par l'expression<sup>(5)</sup>:

$$E_{Loss} \text{ (MeV)} = \left[ \frac{dE}{dX} \right]_{E_k} \cdot D \quad (a1)$$

où:

$\left[ \frac{dE}{dX} \right]_{E_k}$  désigne la perte d'énergie par unité de longueur de pénétration et ceci pour un scintillateur donné et pour une énergie cinétique  $E_k$  donnée de la particule chargée;

$D$  désigne l'épaisseur du scintillateur.

Si  $E_k \leq E_{Loss}$ : la particule incidente est arrêtée par le scintillateur et l'énergie réelle perdue est alors:

$$E_{RE} = E_k \quad (a2)$$

Si  $E_k > E_{Loss}$ : la particule incidente traverse le scintillateur et dans ce cas:

$$E_{RE} = E_{Loss} \quad (a3)$$

D'une façon générale on peut écrire l'énergie réelle sous la forme  $E_{RE}(p)$  pour marquer qu'elle dépend de la quantité de mouvement  $p$  à laquelle correspond l'énergie cinétique  $E_k$ .

Dans tous les cas, seule une partie de l'énergie réelle  $E_{RE}(p)$  perdue par la particule incidente est transformée en énergie lumineuse de scintillation (photons)  $E_{SC}$ . L'efficacité  $\Sigma_{SC}$  de la conversion produite par le scintillateur est exprimée par:

$$\Sigma_{SC} = E_{SC} / E_{RE}(p) \quad (a4)$$

L'énergie lumineuse produite  $E_{SC}$ , est caractérisée par sa distribution spectrale. Si  $E_{PH}$  désigne l'énergie moyenne des photons produits par une particule incidente, le nombre total  $N_{PH}(p)$  des photons émis est alors:

$$N_{PH}(p) \approx E_{SC} / E_{PH} = [\Sigma_{SC} \cdot E_{RE}(p)] / E_{PH} \quad (a5)$$

On peut aussi définir l'efficacité de la conversion "charge-photons" en parlant du nombre  $n_{PH}$  de photons produits par unité d'énergie perdue  $E_{RE}$ :

$$n_{PH} = N_{PH} / E_{RE} \quad (a6)$$

soit, à partir de la formule (a5):

$$n_{PH} = N_{PH}(p) / E_{RE}(p) \approx \Sigma_{BC} / E_{PH} \quad (a7)$$

#### LA TRANSMISSION DES PHOTONS:

Le nombre  $N_{PH}$  des photons produits diminue au cours de leur propagation dans la fibre (jusqu'à la photocathode du PM). Le nombre  $N_{PC}(p)$  de photons arrivant sur la photocathode est dépendant du rendement  $\Sigma_{OP}$  de la transmission optique (dans la fibre et au travers du hublot):

$$N_{PC}(p) = N_{PH}(p) \cdot \Sigma_{OP} \quad (a8)$$

#### LA TRANSFORMATION DES PHOTONS EN ÉLECTRONS:

Le nombre  $N_{ELEC}$  d'électrons (photoélectrons) produits par les  $N_{PC}(p)$  photons atteignant la photocathode, dépend de l'efficacité quantique  $\Sigma_{QE}$  de cette dernière:

$$\Sigma_{QE} = N_{ELEC} / [N_{PC}(p)] \quad (a9)$$

L'efficacité quantique  $\Sigma_{QE}$  est par ailleurs dépendante de la sensibilité spectrale  $S_K(\mu)$  de la photocathode:

$$\Sigma_{QE} = S_K(\mu) \cdot \frac{h \cdot c}{e \cdot \mu} \quad (a10)$$

où:

- $\mu$  est la longueur d'onde associée aux photons tombant sur la photocathode,
- $h$  est la constante de Planck,
- $c$  est la vitesse de la lumière,
- $e$  est la charge de l'électron.

#### EFFICACITÉ DE L'ENSEMBLE "FIBRE OPTIQUE-HUBLLOT-PHOTOCATHODE":

On obtient immédiatement:

$$\Gamma_0(p) = n_{PH} \cdot E_{RE}(p) \cdot \Sigma_{OP} \cdot \Sigma_{QE} \quad (a11)$$

soit:

$$\Gamma_0(p) = N_{PH}(p) \cdot \Sigma_{OP} \cdot \Sigma_{QE} \quad (a12)$$

$\Gamma_0(p)$  exprime ainsi le nombre de photoélectrons émis par la photocathode pour chaque particule rencontrant la fibre.

## CARACTÉRISTIQUES DE LA FIBRE CHOISIE:

Fibre NE901 ( $\varnothing = 500 \mu\text{m}$ ) $n_{PH} = 4.9$  photons/kev $\Sigma_{OP} \approx 13 \%$  $\Sigma_{QE} \approx 12 \%$  (PM: XP4702)INFLUENCE DE LA QUANTITÉ DE MOUVEMENT SUR L'EFFICACITÉ  $\Gamma_0(p)$ :

$p$ [MeV/c]	$E_k$ [MeV]	$E_{RE}(p)$ [MeV]	$\Gamma_0(p)$ [ $e^-$ /partic].
61	1.980774	1.980774	151
105	5.856873	5.856873	448
113	6.780029	6.780029	518
200	21.07898	2.760297	211
2000	1270.881	0.250482	19