

ORGANISATION EUROPEENNE POUR LA RECHERCHE NUCLEAIRE

CERN - DIVISION SPS

SPS/EBF/Note 77-5

15.3.1977

LES HODOSCOPIES DU SPECTROMETRE M<sub>2</sub>

J. Brahy, E. Rossa

Prévessin

1977

## INTRODUCTION

Les hodoscopes décrits dans cette note font partie d'un spectromètre qui sera placé dans TT 84 sur le faisceau de muons  $M_2$ . Ce spectromètre doit permettre de mesurer la quantité de mouvement de chaque particule du faisceau ( $10^9$  pps), avec une précision de 1 %.

La résolution temporelle nécessaire exclut l'usage de chambres à fils comme dans les autres spectromètres de faisceau, elles seront remplacées ici par quatre hodoscopes.

Pour pouvoir éliminer le maximum d'ambiguïté dans la reconstruction des trajectoires des particules, il faut mesurer leur temps de passage avec une résolution de 100 picosecondes et assurer une stabilité du même ordre pour les 256 voies de mesure.

Un système de calibration automatique du temps de transit, permettant d'atteindre ces performances, est prévu pour toutes les chaînes de détection et de transmission.

Cette calibration est d'autant plus nécessaire que l'électronique (TDC) de mesure du temps de passage se trouve au bout de 270 mètres de câble de transmission dans le Hall EHN 2.

### 1. Description des hodoscopes

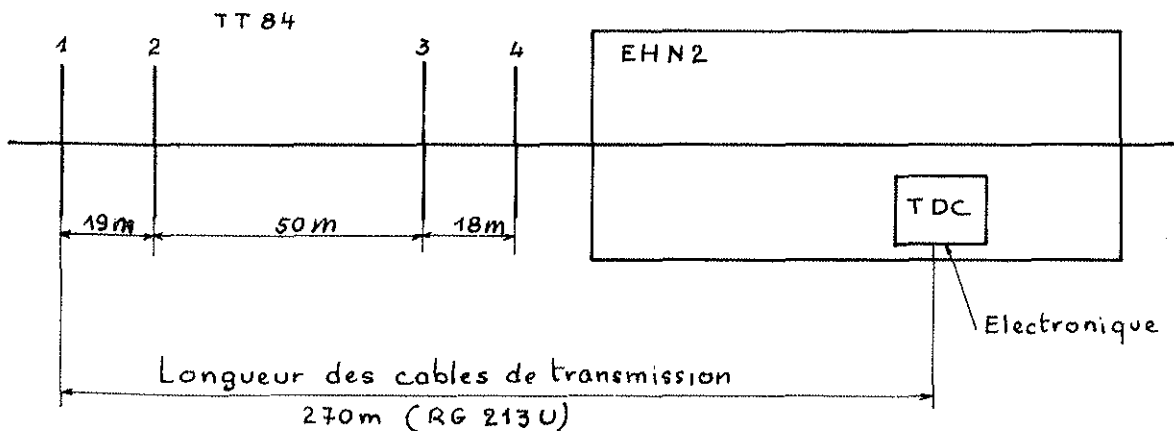


Fig. 1

Les scintillateurs ont une épaisseur de 20 mm traversée par les particules. La hauteur de 5 mm, uniforme pour tous les doigts permet une résolution de  $\pm 0,5 \%$  sur la mesure de la quantité de mouvement. La longueur des doigts a été choisie pour avoir une intensité inférieure à  $3 \times 10^7$  pps sur chaque photomultiplicateur (PM) lorsque le nombre total de particules dans le faisceau est de  $10^9$ .

Etant donné que la section du faisceau est très différente aux quatre plans de mesure, les quatre hodoscopes ont un découpage différent qui tend à répartir au mieux l'intensité sur les 64 PM. Une superposition des doigts de quelques dixièmes de millimètre est prévue.

La figure no. 2 montre à titre d'exemple le découpage du faisceau par les scintillateurs du plan no. 3.

## 2. Réponse spectrale des différents composants de l'hodoscope

Le diagramme ci-après, fig. 3, montre les réponses spectrales des différents composants de l'hodoscope.

Sur le même diagramme sont portées les longueurs d'ondes de différentes sources de lumière utilisables dans la zone de sensibilité du PM.

Les sources portées au-dessous de l'axe des abscisses sont obtenues par doublage de fréquence de la source primaire. Nous reviendrons à ce diagramme lorsque nous aborderons la calibration automatique.

Nous avons comparé le NE lll et le pilot U dans les conditions suivantes:

Dimensions du scintillateur	5 × 20 × 60 mm
Guide de lumière :	plexiglas 218, longueur 400 mm
	section 20 × 5 mm
PM	: EMI 9826 B

Le pilot U donne dans ces conditions 1,2 fois plus de lumière que le NE lll pour des fronts de montée qui paraissent équivalent à la sortie du PM.

SPECTROMETRE M2

Plan 3 64 PM

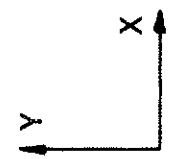
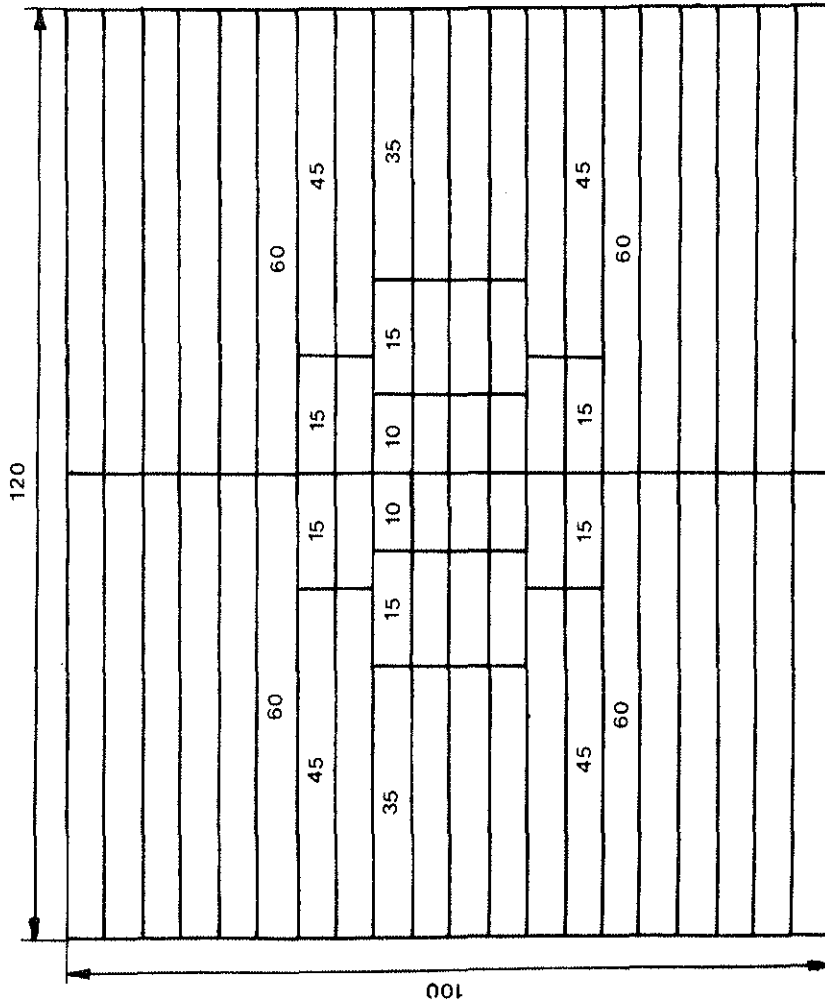


Fig. no. 2

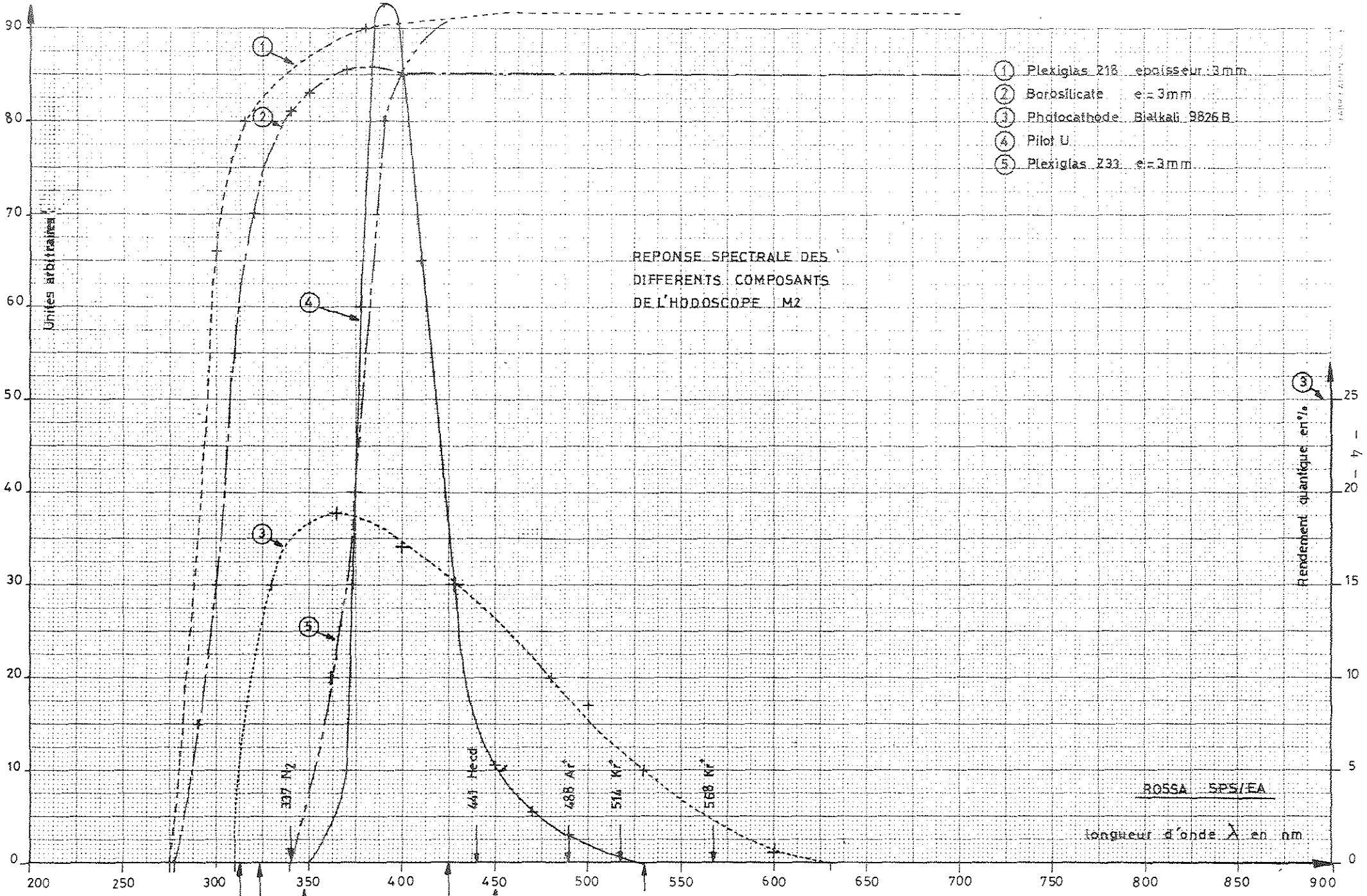


FIGURE N° 3

Le plexiglas 218 transmet dans les conditions ci-dessus 1,8 fois plus de lumière que le plexiglas 233 qui absorbe l'ultra-violet (source pilot U PM: 9826 B).

Finalement nous avons choisi le pilot U , le plexiglas 218 et le PM 9826 B avec une photocathode Bialkali.

### 3. Base du photomultiplicateur (PM)

#### 3.1. But recherché

Cette base doit comporter:

- un diviseur haute tension de l'alimentation de la photocathode et des dynodes,
- un discriminateur rapide à deux niveaux permettant une détection du temps de passage avec une validation des impulsions d'amplitudes suffisantes,
- un circuit de mise en forme des impulsions validées,
- un circuit de pilotage d'une longue ligne de transmission de 270 m.

La dispersion totale de toute cette chaine de mesure (y compris le long câble) doit être inférieure à 100 picosecondes même à  $10^8$  pps.

#### 3.2 Conditions de fonctionnement du PM

Il faut résoudre plusieurs conditions contradictoires:

D'une part le PM doit supporter  $2 \times 10^7$  impulsions par seconde sans dépassement du courant moyen de l'anode fixé à 100  $\mu$ A, par le constructeur. D'autre part, la dispersion du temps de transit du PM décroît lorsque la haute tension augmente. De même la dispersion du temps de transit ( $\Delta_t$ ) décroît lorsque la quantité de lumière reçue sur la photocathode augmente. Nous avons vérifié qu'elle varie suivant la formule

$$\Delta_t = \frac{k}{\sqrt{n}}$$

FWHM

où  $n$  est le nombre de photons. Pour optimiser le fonctionnement du PM nous avons: d'une part accru la quantité de lumière reçue par la photocathode en plaçant l'épaisseur maximum de scintillateur acceptable dans le faisceau, soit 20 mm.

Ensuite la dispersion du temps de transit a été réduite en plaçant la tension maximum admissible entre la photocathode et la première dynode, et après entre chaque dynode.

Dans ces conditions le courant sur l'anode serait considérable, bien au dessus de 100  $\mu\text{A}$ . Pour éviter ce dépassement nous utilisons comme anode de sortie la première dynode qui atteint le courant de 100  $\mu\text{A}$ . Nous avons fixé un courant de pointe de 400  $\mu\text{A}$  pour des impulsions de lumière produites par des particules qui traversent 20 mm de pilot U.

Si l'on suppose des impulsions triangulaires de 10 ns à la base le courant moyen pour  $3 \times 10^7$  impulsions par seconde est de 60  $\mu\text{A}$ . Si on tient compte du rapport cyclique du SPS nous aurons une bonne marge de sécurité.

Pour ce type de PM 9826, la firme EMI garantit la même durée de vie, pour une sortie sur une dynode si le courant moyen n'excède pas 100  $\mu\text{A}$ .

Dans ces conditions d'utilisation nous obtenons un courant de pic de 400  $\mu\text{A}$  sur la sixième dynode.

La septième dynode bien qu'étant aussi à la masse génère un courant de 130  $\mu\text{A}$  environ. Elle récupère une partie de l'émission secondaire de la dynode no. 6. La haute tension totale est de l'ordre de 1500 Volts. Le front de montée du courant de la dynode no. 6 est environ 1.5 ns. La largeur de l'impulsion à mi-hauteur est  $< 3$  ns sur 50  $\Omega$ . Le temps de transit est inférieur à 15 ns.

### 3.3 Discrimination à deux niveaux

D'après le schéma ci-après, fig. 4, on peut voir que la dynode no. 7 sert de deuxième anode et permet d'ouvrir une porte de 8 ns de largeur si l'amplitude du courant est suffisante.

La résistance de charge de cette deuxième anode est grande de façon à élargir l'impulsion.

Le comparateur AM 685 no. 2 commande la porte de sortie des impulsions.

La dynode no. 6 sert de première anode pour la mesure précise du temps d'arrivée de l'impulsion.

Ici nous devons détecter le passage du courant à un niveau égal à 1/10 du sommet, soit 40  $\mu$ A. L'amplificateur hybride V 101 permet d'envoyer un signal dix fois plus fort sur le premier comparateur AM 685. L'impédance d'entrée Z et la ligne de "clipping" sont construites sur le circuit imprimé.

Elles doivent présenter une impédance plus grande que 125  $\Omega$  pour gagner en tension autant que possible tout en conservant une impulsion très étroite.

Nous avons pu obtenir dans ces conditions des impulsions entièrement distinctes séparées par seulement 5 ns sur la dynode no. 6. Le seuil du comparateur est ajusté vers 20 mV.

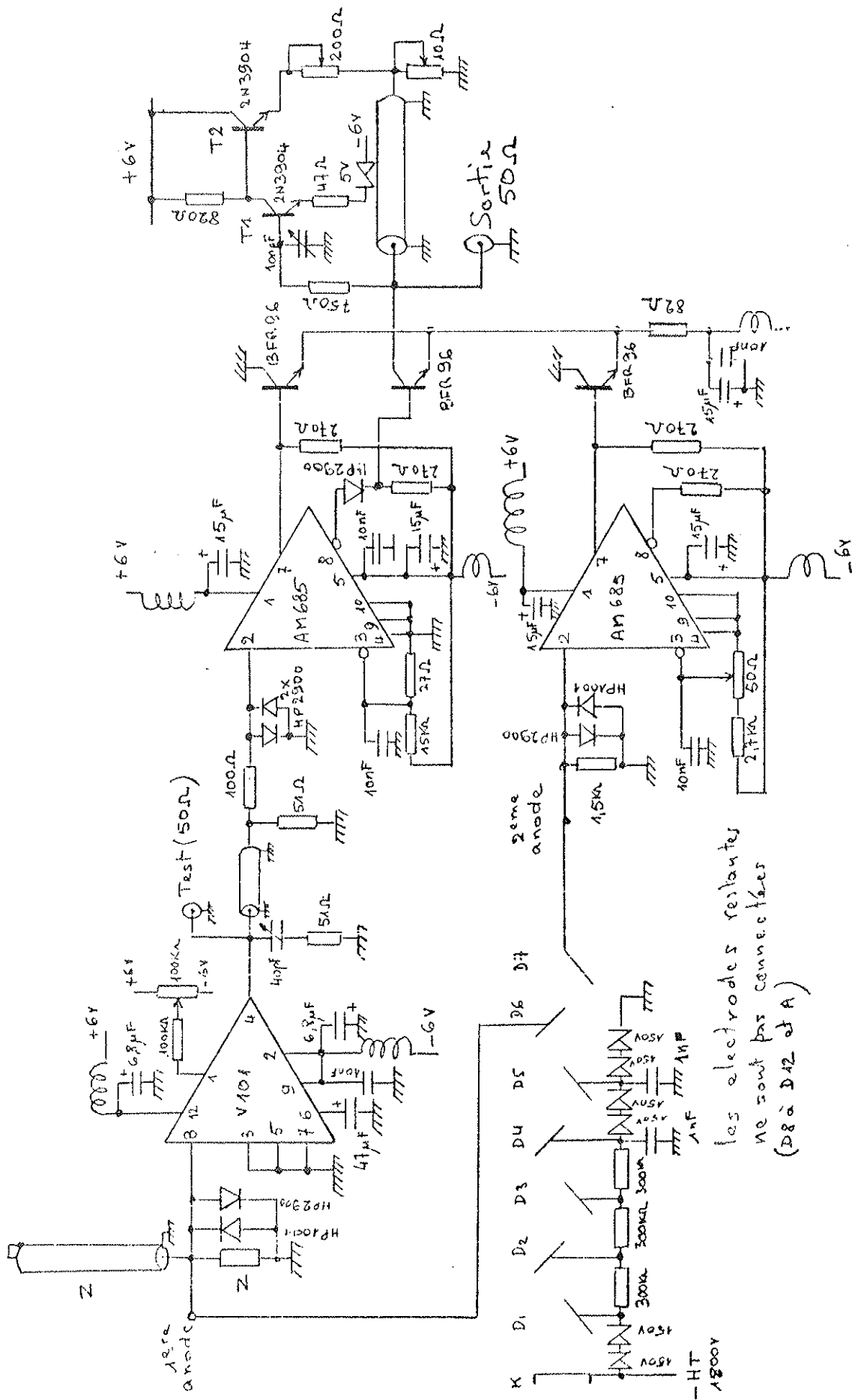
#### 3.4 Circuit de pilotage du câble de transmission

Ce circuit comprend trois transistors qui servent de porte logique et de pilotage du câble. Pour éviter un effet d'empilement des impulsions sur le câble de transmission il est nécessaire d'envoyer un signal symétrique pour chaque impulsion d'amplitude suffisante du photomultiplicateur. Ceci est obtenu par un court câble de "clipping" en parallèle sur la sortie.

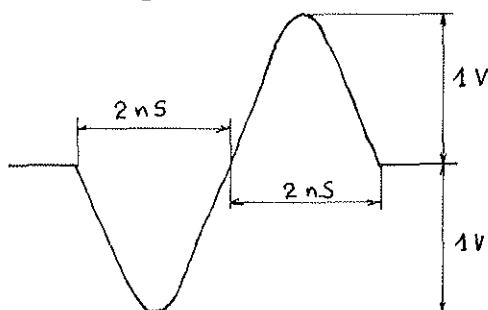
La porte fonctionne en commutateur de courant et la vitesse des comparateurs AM 685 est utilisée au mieux par les transistors BFR 96 qui ont un  $f_t$  de 5 GHz. Sans clipping l'impulsion de sortie a une largeur à la base de 2 ns et une amplitude de 1 Volt. Les fronts de montée et de descente sont (10 à 90 %) de 0,5 ns.

Ces signaux ont une amplitude suffisante pour piloter directement une électronique NIM ou CAMAC.





Le câble de "clipping" est très court et symétrise l'impulsion de sortie. La forme de l'impulsion de sortie sur 50  $\Omega$  est la suivante:



Les deux transistors  $T_1$  et  $T_2$  permettent de corriger les effets d'empilement des impulsions qui apparaissent au bout de 270 m de câble. Ces deux transistors n'ont un effet sensible que lorsqu'il y a des paquets très denses (près de  $10^8$  impulsions par seconde).

### 3.5 Câble de transmission

Nous avons choisi le câble RG 213 U, car il présentait une atténuation acceptable. Après 270 m de câble l'impulsion de sortie fait 6 ns de largeur à la base et 100 mV de hauteur.

Cette amplitude est suffisante pour commander des discriminateurs NIM qui remettent l'impulsion à une amplitude normale pour définir les impulsions "stop" des convertisseurs temps-digital (TDC).

La possibilité de séparer des impulsions très rapprochées est un peu détériorée par le câble de transmission. Mais vu le type de circuit de commande du câble on peut sans problème séparer des impulsions distantes de 10 ns. La limite de la séparation à la base des impulsions se situe vers 7 ns.

Il n'y a pas d'effet appréciable d'empilement des impulsions lorsqu'on envoie des paquets de très haute fréquence ( $10^8$  pps). La séparation digitale de l'ensemble du circuit y compris le câble se situe au-dessus de 200 MHz (par exemple si on voulait seulement compter les impulsions).

L'ensemble complet support PM et électronique sera dans un cylindre qui a pour longueur 300 mm et un diamètre extérieur de 45 mm.

#### 4. Calibration

Il est indispensable d'avoir un système de calibration automatique du temps de transit sous contrôle de la calculatrice EA pour les 256 voies de mesure (voir le schéma synoptique de la page suivante).

Nous avons prévu une calibration en deux étapes:

- a) La calibration absolue de toutes les voies de mesure avec le faisceau de particules se fera à la mise en route et ensuite à des intervalles de temps assez longs (toutes les deux semaines par exemple).
- b) La calibration relative des 256 voies de mesure se fera avec des impulsions de lumière distribuées sur tous les photomultiplicateurs. Cette deuxième calibration ne fait que maintenir la stabilité des temps de transit ajustés lors de la calibration absolue. Cette calibration relative pourrait avoir lieu, par exemple, tous les deux cycles du SPS pendant les intervalles de temps où il n'y a pas de particules.

##### 4.1 Calibration absolue

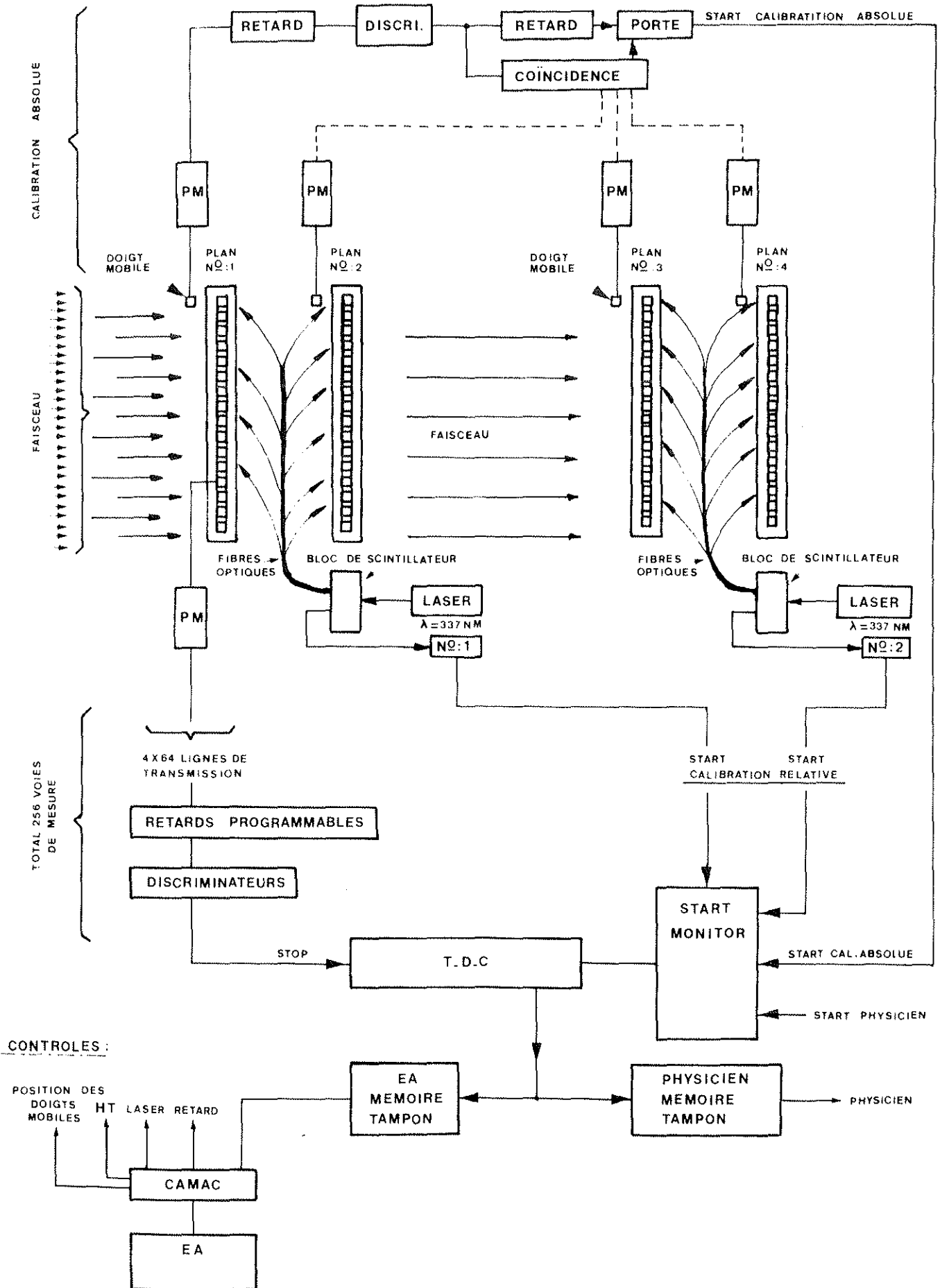
Elle sera facilitée par la présence de quatre scintillateurs mobiles, un pour chaque hodoscope, dont la position définira les voies que l'on veut calibrer.

La coïncidence des quatre signaux éliminera les impulsions parasites. Un seul signal du PM d'un doigt définit l'origine de la mesure du temps pour les quatre hodoscopes. Les autres doigts mobiles serviront de coïncidence.

Le mouvement des doigts et le réajustement des retards sont sous contrôle de l'ordinateur EA.

Les retards sont ajustés par programme de façon à obtenir une lecture du temps identique sur tous les TDC, soit, par exemple, 5 ns. Les différents retards et HT sont gardés en mémoire.

### SCHEMA SYNOPTIQUE DU SPECTROMETRE DU FAISCEAU M2



#### 4.2 Calibration relative

Immédiatement après la calibration absolue, la calculatrice déclenche une impulsion du laser no. 1. Ce laser (UV) excite à la longueur d'onde de 337 nm un échantillon de scintillateur de pilot U de mêmes dimensions que les doigts de l'hodoscope.

Cet échantillon de pilot U émet une impulsion de lumière comme s'il était traversé par une particule, mais d'une amplitude beaucoup plus élevée. Cette lumière est transmise simultanément vers les 128 photomultiplicateurs des hodoscopes 1 et 2 à travers des fibres optiques simples de 2/10 de mm de diamètre.

Un détecteur rapide placé à la sortie du laser génère l'impulsion start des TDC.

Les stops proviennent des PM de chaque voie de mesure. Les intervalles de temps mesurés sur chaque voie du spectromètre sont soigneusement gardés en mémoire pour servir au recalage des temps de transit jusqu'à la prochaine calibration absolue.

Lorsqu'une légère variation apparaîtra sur une voie de mesure lors d'une prochaine calibration relative, le programme corrigera les retards de façon à conserver les mêmes chiffres que ce qu'il a en mémoire.

Pour les hodoscopes 3 et 4 la séquence est exactement la même, mais avec le laser no. 2.

##### 4.2.1 Principales caractéristiques du laser

$\lambda = 337 \text{ nm}$

largeur de l'impulsion à mi-hauteur : 2.4 ns

puissance lumineuse crête : 400 kW

déclenchement externe.

#### 4.2.2 Principales caractéristiques des fibres

Il s'agit de fibres développées pour les communications de données. Elles sont à saut d'indice:

atténuation	:	< 10 db/km à 850 nm
		< 60 db/km à 390 nm
section utile	:	0,2 mm
résistance à la traction:	:	> 6 daN

#### 4.2.3 Résultats obtenus

Nous avons mesuré la dispersion du temps entre les impulsions de sortie de deux photomultiplicateurs fonctionnant dans les conditions décrites en Section 3.2. Ils étaient illuminés par deux fibres optiques de 30 m de longueur provenant d'un scintillateur excité par le laser.

La dispersion mesurée est inférieure à 100 ps à mi-hauteur. Elle est égale à 200 ps à la base. En ajustant les seuils nous avons obtenu 50 ps à mi-hauteur et 100 ps à la base. Pour chaque PM la dispersion réelle est donc inférieure à 100 ps.

#### Comparaison avec les diodes électroluminescentes utilisées pour les calibrations

Les diodes (LED) n'existent pas avec des spectres d'émission identiques au pilot U. Elles ne sont pas assez rapides, ni assez lumineuses.

Ici nous avons le même spectre de lumière que pendant le fonctionnement avec le faisceau, les impulsions ont un front de montée rapide et la quantité de lumière est considérable.

Après 250 m de fibres il y a encore une impulsion très confortable pour le PM. L'avantage d'une source unique est qu'elle permet des comparaisons directes de tous les PM.

Avec un seul laser on peut illuminer plusieurs centaines de PM. Pour obtenir les mêmes performances (en supposant que ce soit possible) avec une LED sur chaque PM, les générateurs d'impulsions coûteraient au total plus cher que l'ensemble des fibres et du laser.

5. Conclusion

Un essai sur un faisceau de particules de 2 GeV nous a permis de mesurer une dispersion de 300 picosecondes (FWHM) entre 2 PM et des scintillateurs du type que nous allons utiliser.

Les tests réalisés en laboratoire montrent d'une part qu'une amélioration de ces résultats est possible et que l'on peut attendre une calibration précise de tout le spectromètre de l'ordre de 100 ps.

La longueur définitive des câbles de transmission sera fixée prochainement au environ de 270 mètres pour les câbles les plus longs qui partent de l'hodoscope 1.