

ADDITIF A LA LIGNE SPECTROMETRE
MESURE DE DIX SPECTRES SUCCESSIFS LE LONG D'UNE IMPULSION DE FAISCEAU

P. Têtu

I. INTRODUCTION

Ce rapport rend compte d'une modification de la ligne spectromètre du linac ayant pour objet de visualiser en une impulsion les informations sur la variation de la répartition du spectre et de l'énergie moyenne tout au long de l'impulsion de faisceau du linac. La présentation sur oscilloscope par l'intermédiaire d'un "waveform recorder" du type biomatien (604 monitor) doit faciliter les réglages de la RF et des degroupeurs.

Après un exposé de quelques considérations sur l'utilisation opérationnelle de la ligne spectromètre, nous décrirons le principe de la modification apportée à la mesure, nous donnerons enfin des exemples concrets de résultats.

En annexe se trouvent quelques données sur le balayage du faisceau, la conception du kicker et la et la disposition générale.

II. UTILISATION OPERATIONNELLE DE LA LIGNE SPECTROMETRE

Les caractéristiques essentielles du faisceau à mesurer sont les suivantes :

Energie moyenne E_M	$49 \text{ MeV} \leq E_M \leq 50 \text{ MeV}$
Intensité du faisceau I_f	$70 \text{ mA} \leq I_f \leq 95 \text{ mA}$
Durée de l'impulsion	110 μsec maximum
Dispersion d'énergie ΔE	de $\pm 90 \text{ keV}$ à $\pm 300 \text{ keV}$ (suivant la demande du synchrotron injecteur et obtenue à l'aide des dégroupeurs).

La ligne de mesure permettait deux types de mesure:

- 1) Une mesure du spectre instantanée (figure 1) avec possibilité de déplacer le moment d'échantillonnage ce qui permet en quelques impulsions d'avoir les spectres relatifs aux différents instants du faisceau. Inconvénients : mémorisation visuelle difficile sur plusieurs impulsions et en cas d'utilisation de l'imprimante allongement excessif du temps de la mesure, d'où un programme annexe permettant d'obtenir les variations de l'énergie moyenne et du second moment du spectre en quelques impulsions tout au long de l'impulsion.
- 2) Une mesure de la quantité de faisceau passant par une fente présentant une acceptation en énergie connue et ajustable et comparaison avec le spectre total (figure 2). On a alors une information le long de l'impulsion mais pour un seul ΔE .

La mesure que nous décrivons ci-après a pour but de lier les deux principes décrits ci-dessus, c'est-à-dire obtenir dans la même impulsion une série de dix spectres, la présentation devant permettre d'avoir une information visuelle instantanée avec possibilité, grâce au "waveform recorder" de mémoriser le signal pour une information détaillée (figure 3).

III. PRINCIPE

A partir de la ligne spectromètre, figure 4, on s'est proposé de balayer le faisceau à la sortie de l'aimant analyseur à l'aide d'un déflecteur électromagnétique alimenté par un courant sinusoïdal à la fréquence de 50 KHz (kicker).

```

* L I N A C   S P E C T R O M E T E R   * 7 6 - 0 3 - 1 7 - 0 8 H 3 8 ' 5 4 $
D E L T A   K E V =       4 5
I B H 2 =     5 7 . 5 0   A           I S B V   = 1 9 6 . 0 2   A
I T R 2 =       8 4   M A           I S T R 2 =     3 . 6 4   M A
W I D T H =     3 5 . 6   U S           S - D E L A Y =     2 6 . 5   U S

+ - - - - * - - - - + - - - - * - - - - + - - - - * - - - - + - - - - *
*
*
- 5
* + + +
* + + + + + + + + + + +
* + + + + + + + + + + +
* + + + + + + + + + + +
0 + + + + + + + + + + +
* + + + + + + + + + + +
* + + + + + + + + + + +
* + + + +
*
+ 5
*
*
+ - - - - * - - - - + - - - - * - - - - + - - - - * - - - - + - - - - *
M E A N   M D M . M U =   - 0 . 2 7   S I G M A =     2 . 1 5
B E A M   Q U A L . Q =   7 5 . 2 7   M E A S U R E M E N T   F I N I S H E

```

FIG.1: MESURE DU SPECTRE A LA 26.5 μ sec DU FAISCEAU

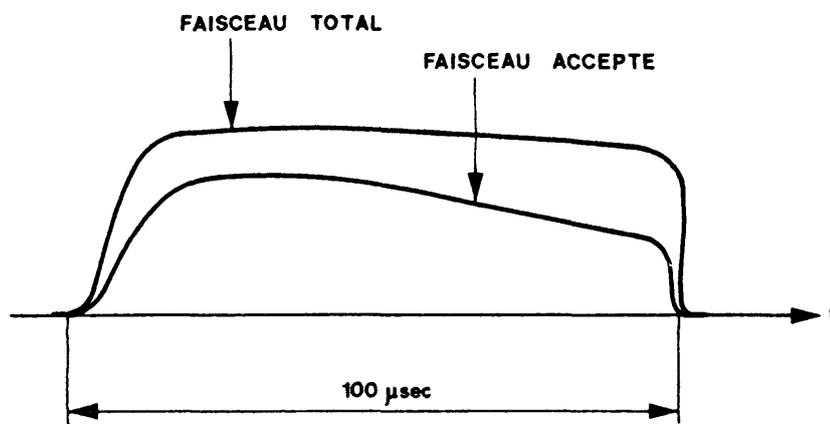


FIG. 2: FAISCEAU ACCEPTE PAR UNE LIMITATION EN ENERGIE DE ± 100 KEV

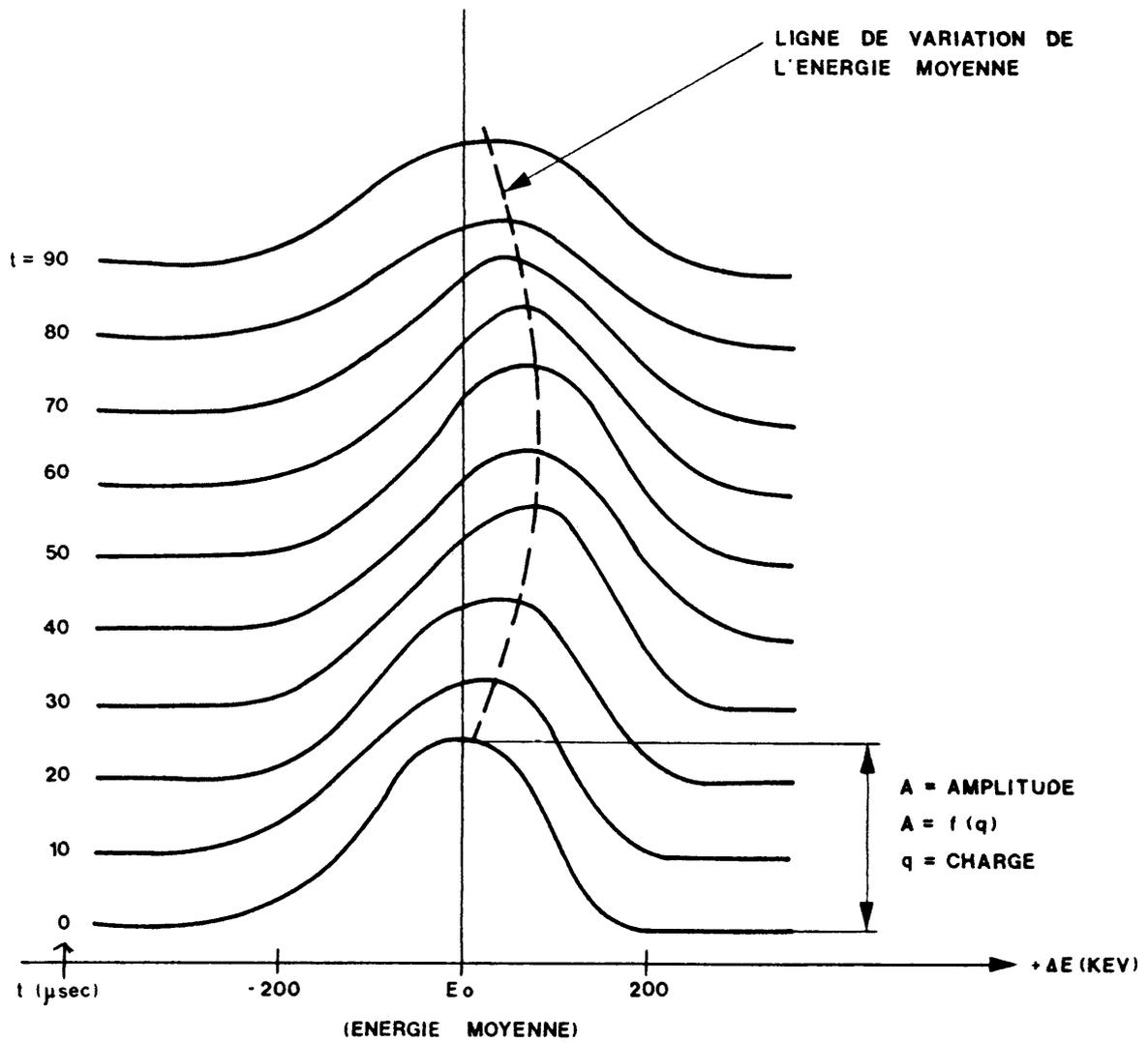


FIG. 3: PRINCIPE DE LA PRESENTATION VISUELLE DES RESULTATS

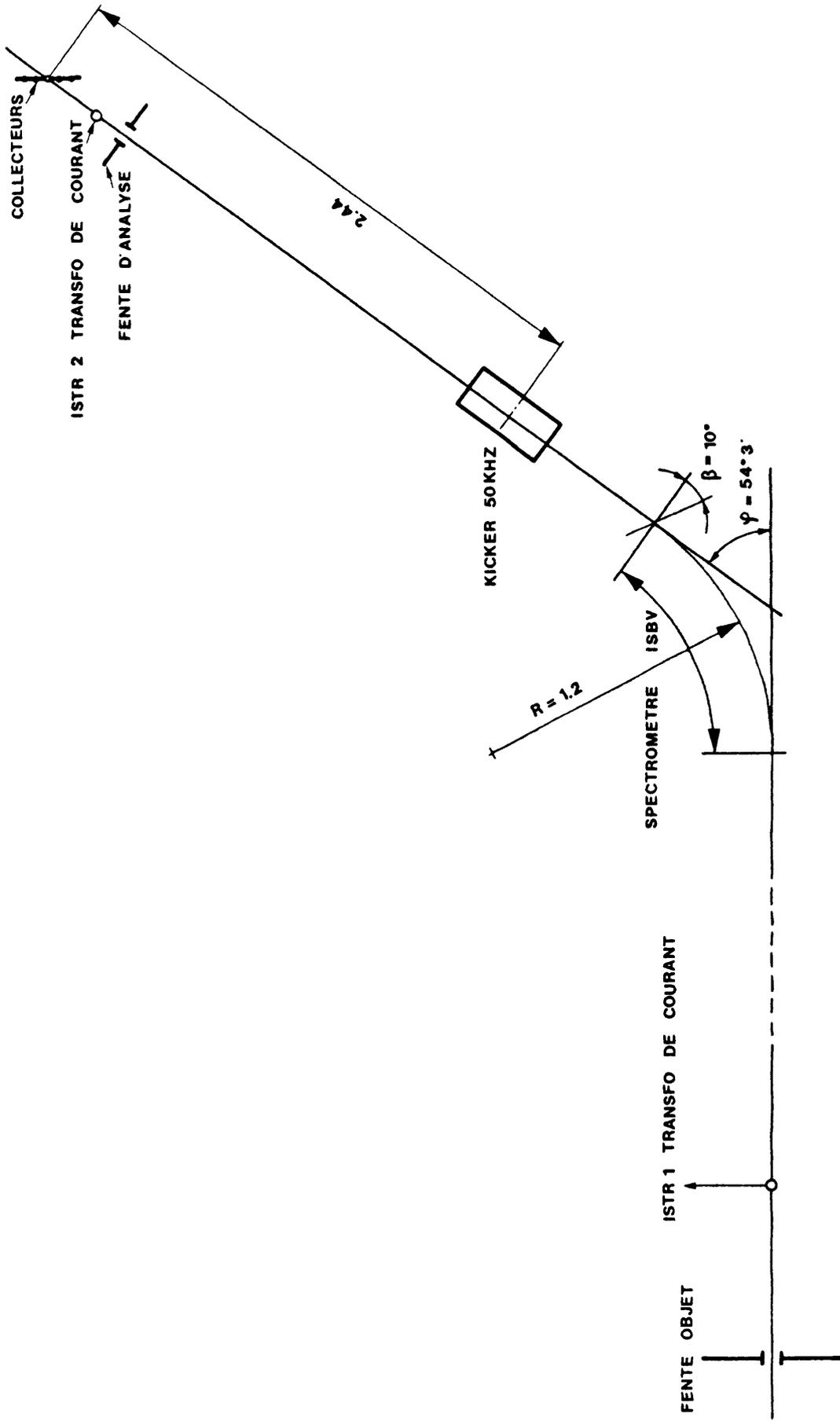


FIG. 4: CROQUIS DE LA LIGNE SPECTROMETRE

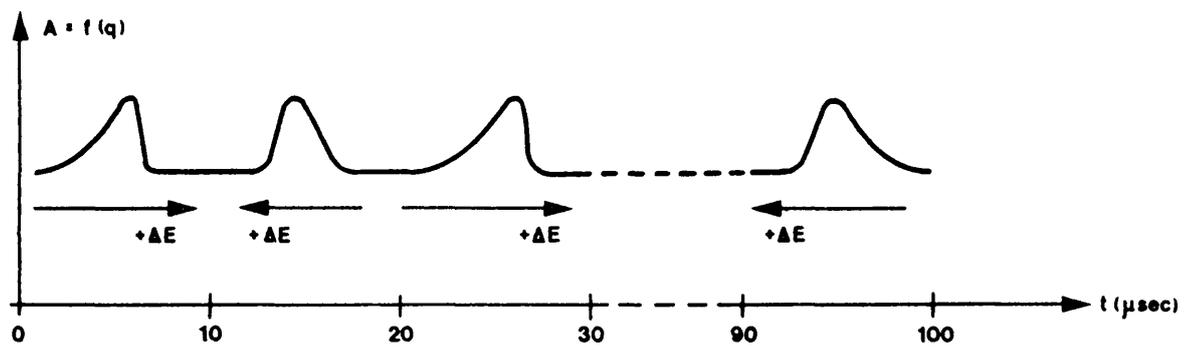


FIG. 5: SIGNAL ANALOGIQUE COLLECTE

Le signal collecté par le détecteur central de la batterie reçoit séquentiellement dix répartitions en énergie des densités du faisceau. Le balayage étant alternativement positif et négatif, le sens de l'axe des énergies est inversé spectre à spectre (figure 5). Le principe de l'utilisation de l'information est le suivant: après transfert au LCP, le signal analogique du collecteur (figure 5) attaque la deflexion verticale d'un oscilloscope après superposition d'une tension en escalier synchronisée avec les spectres permettant un décalage vertical de la trace ligne à ligne.

Une bobine placée dans l'entrefer de l'électroaimant et permettant un contrôle de l'induction génère une tension $e = -(d\varphi/dt)$ qui, après transfert au LCP et passage dans un déphaseur alimente les plaques de deflexion horizontales du même oscilloscope permettant de retrouver le spectre dans un sens correcte. L'utilisation du Biomatron a nécessité le développement d'une électronique de synchronisation et un changement de fréquence du balayage permettant d'être synchrone avec la fréquence de sortie de cet appareil (décrit en détails dans la note PS/LIN/Note 76-8).

IV. RESULTATS

L'utilisation en opération a tout juste commencé. Les figures 6a, b et c, montrent trois exemples de résultats que l'on obtient.

Le display se lit de bas en haut (début du faisceau en bas). Le display est divisé en dix dans le sens horizontal (graticule non visible sur la photo) la sensibilité actuelle est de 70 keV par unité, soit pour le display total ≈ 350 keV.

Figure 6a : la dispersion d'énergie est nettement plus importante à la fin du faisceau.

Figure 6b : en ajustant la RF on obtient une dispersion d'énergie correcte le long de l'impulsion; l'énergie moyenne varie légèrement le long de l'impulsion, elle est maximum au milieu du faisceau.

Figure 6c : En retouchant la RF du Tk III on obtient le phénomène inverse et un léger glissement vers les énergies basses.

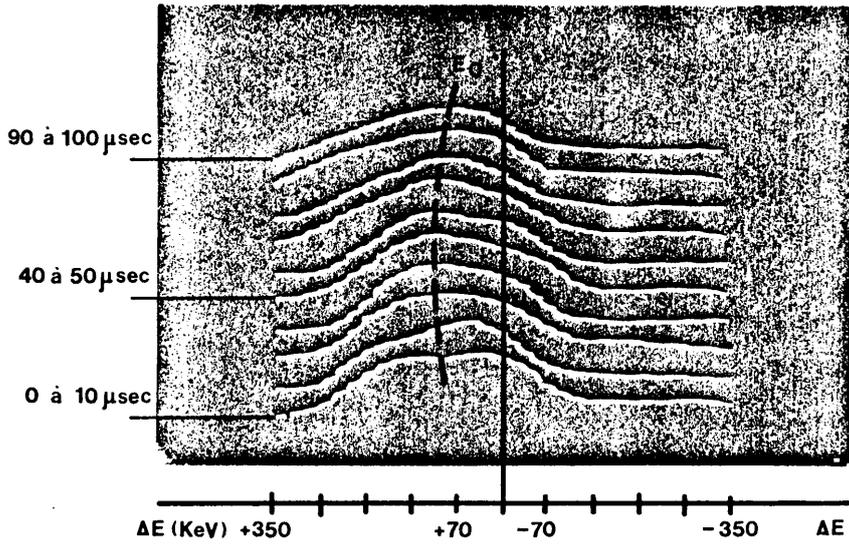


Fig. 6a : Réglages non optimisés. A la fin du faisceau (traces du haut) la dispersion d'énergie est plus importante.

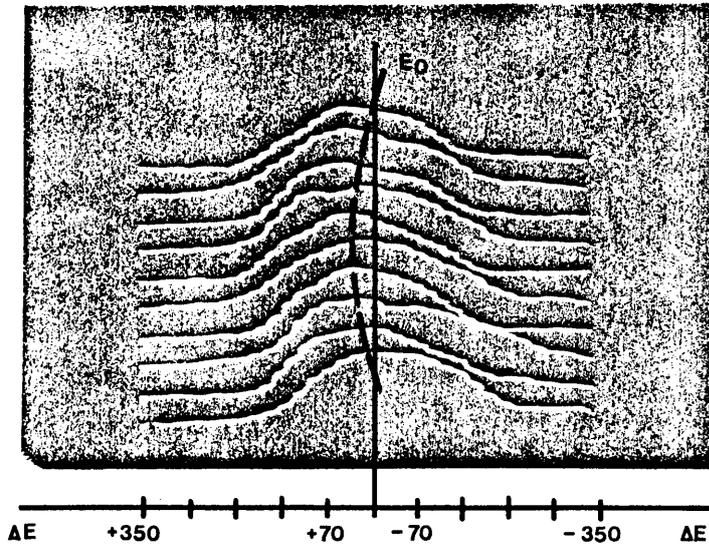


Fig. 6b : Réglage correct de la RF en dispersion d'énergie. Légère variation de l'énergie moyenne pendant l'impulsion.

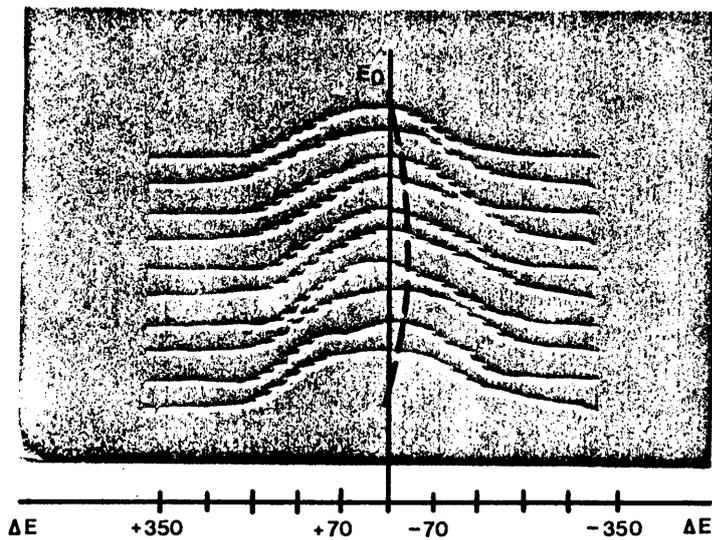


Fig. 6c : Dispersion d'énergie correcte. Variation légère de l'énergie moyenne inverse de la Fig. 6b.

V. CONCLUSION

Seule une utilisation opérationnelle régulière permettra de mettre en évidence l'utilité objective d'un tel système. Mais il est déjà acquis que la mesure de la stabilité globale du faisceau impulsion à impulsion se trouve facilitée.

Je remercie H. Haseroth pour l'intérêt et l'appui soutenu qu'il a montrés pour cette mesure et Michel Bourgeois qui a développé l'électronique associée à cette mesure.

ANNEXE 1

DEFLEXION A 50 MHz

Pour une ligne spectromètre du type de celle qui nous intéresse le facteur de dispersion est donné par

$$D = 1 - \cos \rho + b \sin \rho + b (1 - \cos \rho) \operatorname{tg} \beta = 2,63$$

$\rho = 54,3^\circ$ angle de deflexion de l'aimant spectromètre $b=B/R=2,62$ avec $B =$ distance sortie du spectromètre-collecteurs et $R = 1,20$ rayon de courbure des particules. $\beta = 10^\circ$ angle du faisceau émergeant par rapport à la perpendiculaire au pôle de sortie de l'aimant. On a

$$D = \frac{\Delta z}{R} \times \frac{r}{\Delta p} \longrightarrow \frac{\Delta p}{r} = \frac{\Delta z}{RD}$$

$p, \Delta p$: quantité de mouvement des particules à mesurer

Δz : déplacement transversal du faisceau aux collecteurs pour un Δp donné.

En prenant $\Delta z = 10^{-3} = 1 \text{ mm}$, on obtient :

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{2 \Delta p}{r} \approx 0,64 \cdot 10^{-3} \longrightarrow \Delta E = 32 \text{ KeV/mm}$$

On désire balayer un faisceau ayant une dispersion d'énergie maximum de l'ordre de $\pm 300 \text{ keV}$, ce qui impose un balayage en position de l'ordre de $\pm 10 \text{ mm}$.

Des raisons d'encombrement nous ont imposé une distance kicker-collecteur maximum de $2,44 \text{ m}$ ce qui correspond à un angle de balayage $\alpha = \pm 4,1 \text{ m Rad}$. Pour des particules de 50 MeV d'énergie moyenne, l'induction B_n nécessaire est de 41 Gauss sur un mètre.

ANNEXE 2

AIMANT KICKER

Nous avons choisi d'utiliser un type d'aimant à fenêtre. Les parallélépipèdes de ferrite de 200x160x28 (en mm) proviennent d'une récupération et ont une induction de saturation de l'ordre de 2400 Gauss.

Après rectification de certaines faces et collage les dimensions sont les suivantes :

longueur 0,4 m ; fenêtre intérieure : (0,114x0,102) m ; épaisseur des blocs : 0,028 m.

Le courant d'alimentation étant sinusoïdal, on utilise pour le balayage la partie quasi linéaire de la sinusoïde comprise entre $-\frac{\pi}{6}$ et $+\frac{\pi}{6}$ pour les mesures habituelles de dispersion d'énergie de l'ordre de ± 150 keV à ± 200 keV. Pour la dispersion maximum éventuelle à mesurer nous travaillons de $-\frac{\pi}{4}$ à $+\frac{\pi}{4}$ avec une perte de linéarité importante aux deux extrémités de la bande. On a alors pour B'_M (induction maximum) correspondant au courant I_M maximum

$$B'_M = 58 \text{ Gauss}$$

Soit pour une longueur magnétique de 0,45 m

$$B_M = 129 \text{ G} \longrightarrow n I = 1047 \text{ Amp.tour}$$

Bobinage

La fréquence de résonance impose à 50 KHz

$$LC = 1,0110^{-12}$$

L'inductivité L_K pour le kicker est donnée par

$$L_K = \frac{N^2 l_g \cdot \mu_0}{h} = 0,6 N^2 (\mu \text{Hy})$$

$l_g = 0,450$ longueur magnétique

$l_a = 0,114$ largeur de la fenêtre

$h = 0,102$ entrefer du kicker

$\mu_0 = 4\pi 10^{-7}$ perméabilité du vide

Ce qui permet de déterminer les différents paramètres du circuit (hors amortissement) en fonction du nombre de spires

N	I_{MAX} (Amp)	U_{MAX} (volt)	L (μH)	C (μF)
1	1047	198	0,6	16,8
2	523	395	2,4	4,2
3	349	588	5,4	1,9
4	262	774	9,6	1,1
5	209	967	15,0	0,7

Des considérations technologiques : U_{MAX} pour le condensateur ; Inductivité du bobinage par rapport à l'inductivité des connexions et alimentation nous ont fait préférer la solution $N = 3$.

Le bobinage est constitué de deux fois trois plaques de cuivre disposées de part et d'autre de la fenêtre et reliées extérieurement par des barres de cuivre. Chaque plaque de cuivre a une dimension de $0,41 \times 0,10 \times 0,002$. L'isolation entre les plaques est obtenue à l'aide de Kapton (polyimide) de même que l'isolation du bobinage par rapport à la ferrite. L'élément capacitif est constitué de six condensateurs en parallèle. Pour le circuit on arrive finalement aux valeurs suivantes :

$$C = 1,6 \mu \text{ farad} ; L = 6,3 \mu H ; Q = L\omega/R = 50.$$

Disposition générale

La figure 7 montre la disposition générale de l'ensemble kicker-condensateurs qui sont reliés l'un à l'autre par une structure coaxiale. La chambre à vide à l'intérieur du kicker est en céramique de 500 mm de longueur.

Alimentation

L'alimentation à 50 KHz pulsée est décrite dans la note MPS/LIN/Note 74-30 par M. Bourgeois. Le circuit LC est exécuté par un amplificateur de puissance transistorisé suivi d'un transformateur élévateur.

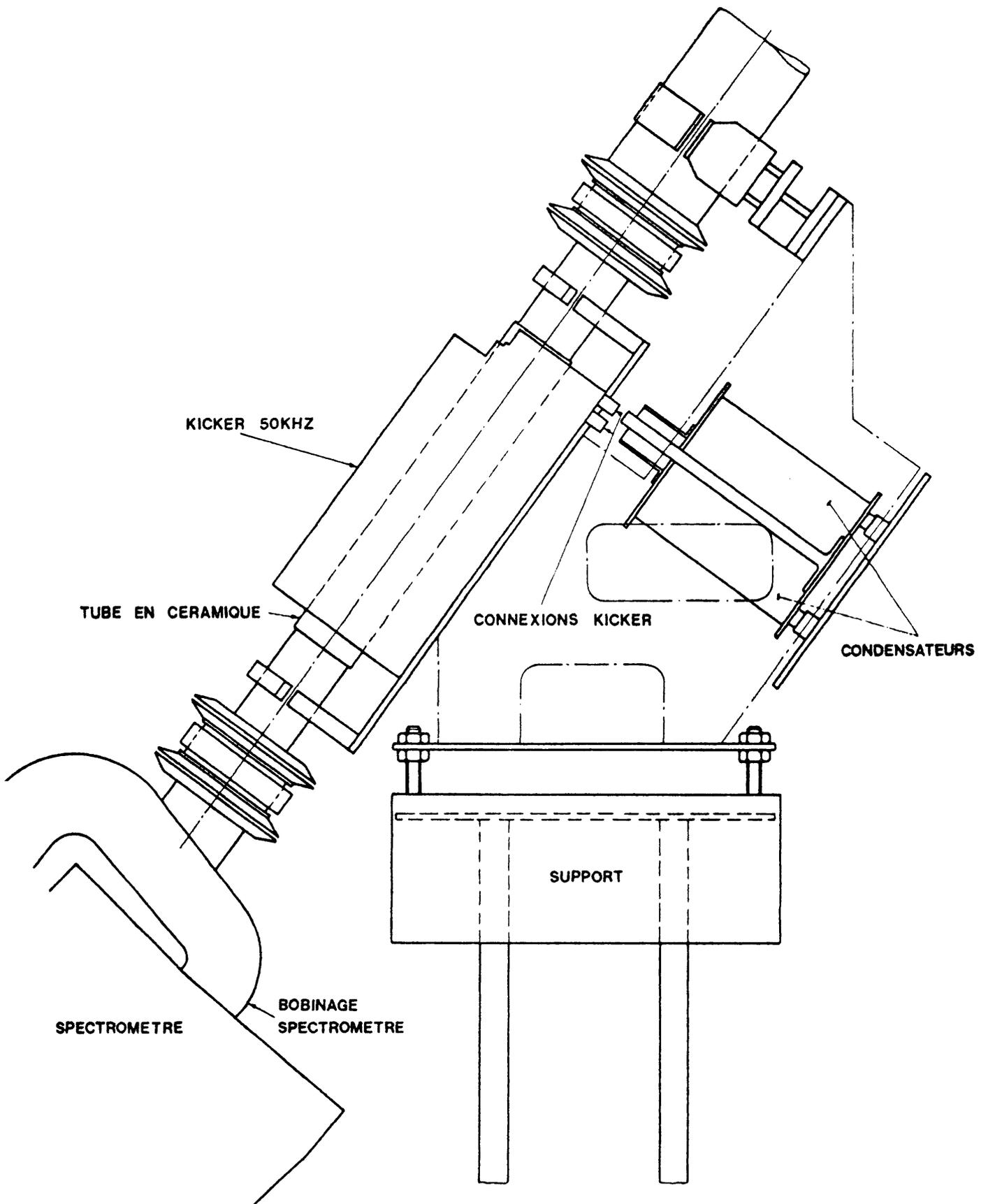


FIG. 7. SCHEMA DE DISPOSITION DE L'ENSEMBLE KICKER CONDENSATEURS

Une tension sinusoïdale est appliquée à l'entrée de l'amplificateur 2 ms avant le faisceau, ce temps est utilisé par l'amplificateur pour permettre au circuit LC d'atteindre le courant de travail.