

MESURE IMPULSION A IMPULSION DES TROIS PLANS DE PHASE
DU FAISCEAU DU LINAC A 50 MEV

P. Têtu

I. INTRODUCTION

Lorsqu'on décida de construire un nouveau linac de 50 MeV permettant d'obtenir un faisceau de 150 mA d'intensité l'option fut prise que ce faisceau rejoindrait la ligne ancien linac-Booster en BH3, ce qui signifiait que les anciennes lignes de mesure d'emittance et de spectrométrie continueraient à être utilisées pour la vérification des qualités du faisceau en ce point et en particulier pour ajuster les dégroupes.

Le principe étant acquis de développer à la sortie du nouveau linac un ensemble complet de mesure des plans de phase afin de pouvoir tester ce nouvel accélérateur sans impliquer l'opération des autres machines, il s'agissait d'inclure à ce système les anciennes lignes en vue d'une normalisation (Fig. 1).

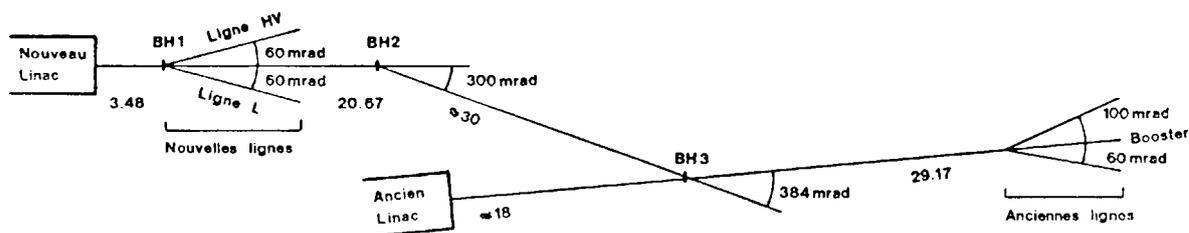


Fig. 1: Croquis d'implantation des lignes (Echelle arbitraire)

Les qualités globales d'un faisceau ne pouvant être comprises qu'avec la connaissance de sa répartition des densités dans les trois plans de phases horizontal, vertical et longitudinal, nous étudions la possibilité de réduire la mesure du plan de phase longitudinal aux mêmes critères que la mesure des plans transverses par l'utilisation d'une ligne spectrométrique en deux parties avec un dégroupueur qui permettrait par son action de lentille de mesurer la répartition en énergie (1er spectromètre) puis en phase (2ème spectromètre) du faisceau mais ceci de façon simultanée.

Le système de contrôle du nouveau linac permet d'envisager un contrôle "en ligne" des différents paramètres de la mesure et constitue un bon cadre pour développer un système réellement interactif pour régler et mesurer le faisceau.

Les impératifs de l'opération nous conduisent naturellement à garder le principe d'une mesure en une impulsion et même à le développer pour tenter d'avoir dans la même impulsion le maximum d'informations.

Ce rapport rend compte de ces différentes options ; expose le principe des mesures, le traitement des signaux, l'exploitation des lignes et donne en annexe des informations complémentaires sur certains problèmes spécifiques que nous avons à résoudre. A titre d'exemple, sont exposés les premiers résultats des mesures du faisceau. Le développement prévu en 1979 est exposé brièvement au Chapitre 4, solution a) et fera l'objet en son temps d'un additif. A ce moment nous aurons pour les trois plans de phase une mesure de l'ensemble des densités.

2. PRINCIPE DE LA MESURE DES PLANS DE PHASE

2.1 Plan horizontal et vertical

On place en $X = X_0$, le long de la trajectoire du faisceau, une fente dont l'axe est centré sur $y = 0$ (centre de la chambre) et dont la largeur ΔY correspond à la définition de mesure que l'on désire obtenir. La Figure 2 visualise l'acceptance de cette fente dans le plans de phase yy' .

En amont de la fente deux kickers séparés par un espace de glissement x_1 sont alimentés en série par des impulsions de courant linéairement croissantes de $-I$ à $+I$ en opposition de phase de telle sorte que le faisceau est balayé parallèlement à lui-même devant la fente; nous obtenons ainsi une relation linéaire temps-position du faisceau $y = C \cdot t$ ($C = \text{constante}$).

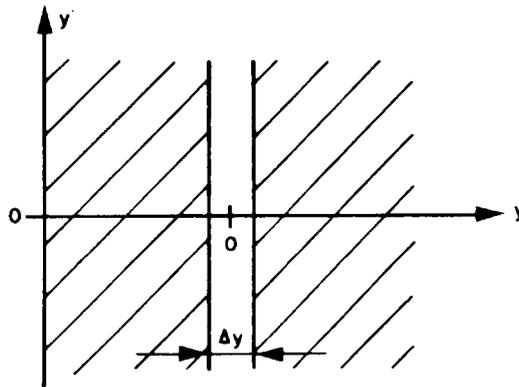


Fig. 2

En faisant varier C (c'est-à-dire le courant du kicker) on peut obtenir une unité diamètre du plan de phase variable (U_d) et l'ajuster à la dimension du faisceau à mesurer. Entre la fente et la batterie de 24 collecteurs qui mesurent la répartition angulaire du faisceau doit exister une relation linéaire de la forme : $y_1 = a_{11}y_0 + a_{12}y'_0$

a_{11} et a_{12} sont des constantes,

y_0 et y_1 le déplacement à la fente diamètre et sur les collecteurs et y'_0 l'angle à la fente diamètre.

Les conditions à remplir imposent $a_{11} = 0$. On a donc $y_1 = a_{12}y'_0$. En faisant varier a_{12} on change l'unité angulaire de mesure de plan de phase (U_a) ce qui permet comme pour U_d d'adapter l'axe des ordonnées à l'extension angulaire à mesurer. Cela est réalisé à l'aide de deux quadripoles dont la position est choisie pour obtenir un maximum de flexibilité pour a_{12} et en même temps pour réaliser une adaptation correcte du faisceau dans le plan non mesuré (pas de pertes dans ce plan entre fente et collecteurs).

La Figure 3 montre schématiquement la disposition des éléments et les Annexes 1 et 2 fournissent des détails complémentaires sur le balayage et l'optique du faisceau.

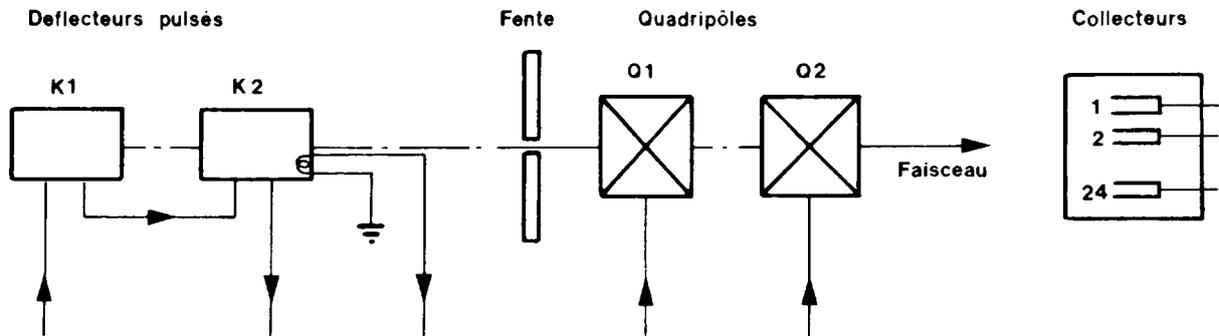


Fig. 3: Disposition de l'appareillage dans la ligne de mesure H ou V

2.2 Mesure du plan longitudinal (phase-énergie)

Si l'on veut traiter l'information en provenance des collecteurs L (longitudinal) identiquement à celle en provenance des collecteurs H et V (horizontal et vertical) il faut que chacun d'entre eux représente une extension sur l'axe des phases (abscisse) et reçoive durant le balayage du kicker la répartition des densités de courant en fonction de la dispersion d'énergie (axe des ordonnées). La Figure 4 schématise les différents effets.

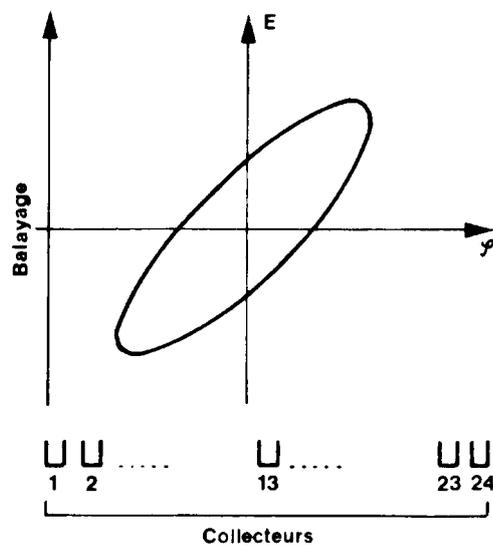


Fig. 4

Ces conditions sont obtenues de la façon suivante. Un premier spectromètre fonctionne de façon classique : on fait l'image d'une fente objet Δz_1 à l'aide de la focalisation intrinsèque à un électro-aimant de déflexion à secteur (A1) ; cette image est petite comparée à la dimension du faisceau obtenue en ce point par l'effet de déflexion fonction de la quantité de mouvement (donc de l'énergie) des différentes particules traversant A1. On place au point image une fente Δz_2 et à la sortie de A1 un kicker identique à ceux des lignes H et V (même construction, même alimentation). En faisant varier l'intensité d'alimentation de ce kicker on peut obtenir une unité en énergie (axe des ordonnées) variable. C'est-à-dire que l'on peut ajuster le vecteur unitaire de cet axe en fonction de la dispersion d'énergie du faisceau à mesurer.

Δz_2 devient fente objet d'un second spectromètre A2 ; à sa position image se trouve une batterie de 24 collecteurs qui reçoivent la répartition en phase du faisceau pour chaque énergie analysée par l'ensemble kicker- Δz_2 . Pour ce faire un dégroupéur agissant comme lentille de rotation du faisceau dans le plan $E\phi$ transforme la dispersion en phase ϕ en dispersion d'énergie. Cette nouvelle dispersion $f(\phi)$ est analysée par A2 et les collecteurs.

La position aux collecteurs $(z_3)_1$ est fonction de l'énergie absolue des particules que l'on peut exprimer ainsi

$$(z_3)_1 = C(E_0 \pm \Delta E_1 + f(\phi))$$

si on place le collecteur central tel que l'on ait pour $(z_3)_1$

$$(z_3)_1 = C(\pm \Delta E_1 + f(\phi))$$

On voit que l'on n'obtient pas la condition désirée

$$(z_3)_1 = C \cdot f(\phi)$$

Par contre l'action du premier kicker est telle que l'on a $\Delta E_1 = f(t)$; ceci nous a conduit à placer après A2 un second kicker alimenté en série avec le premier et dont la position par rapport aux collecteurs est telle que l'angle de déflexion $\alpha = f(t)$ annule l'effet de ΔE_1 analysé fonction de t .

On a finalement $(z_3)_1 = C \cdot f(\phi)$. C est une constante fonction linéaire de la sensibilité du spectromètre d'une part et de la tension effective dans le dégroupéur d'autre part. On peut faire varier cette tension et ainsi obtenir une unité phase U_ϕ que l'on ajuste en fonction de l'extension en phase du faisceau à mesurer.

La figure 5 montre la disposition générale de la ligne et l'annexe 3 expose plus en détails l'optique et la réalisation de la ligne.

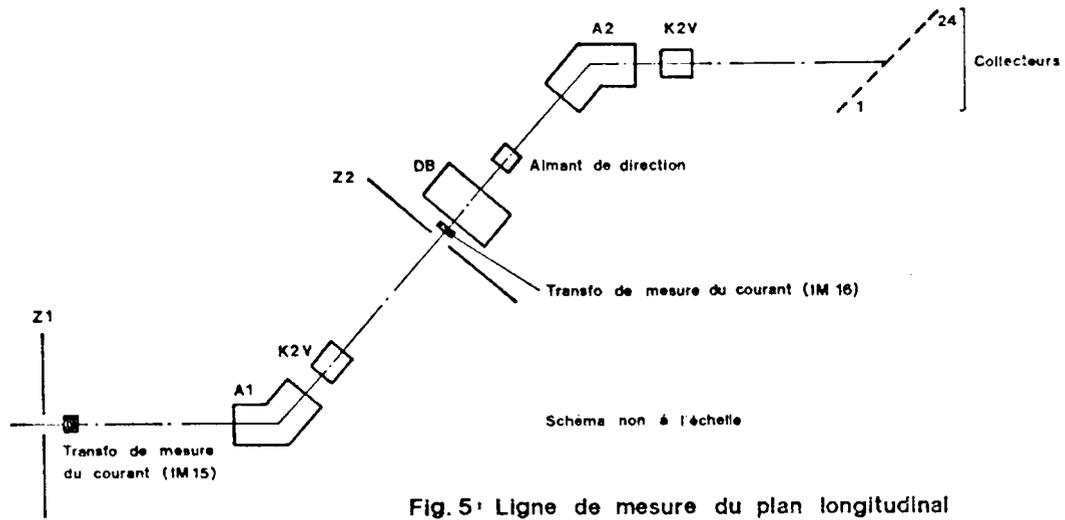


Fig.5: Ligne de mesure du plan longitudinal

3. COLLECTEURS

Nous avons généralisé l'emploi des collecteurs transparents à émission secondaire similaires à ceux utilisés dans le booster et dans l'ancienne ligne spectromètre. Il s'agit de 24 rubans de nickel de 1,5 mm de largeur séparés l'un de l'autre par 0,3 mm. L'épaisseur de chaque ruban est de l'ordre de 4 μ . De part et d'autre des collecteurs (à 5 mm) une feuille d'aluminium de même épaisseur est portée à un potentiel de 200 volts pour collecter les électrons secondaires émis par le faisceau.

Ce type de collecteurs s'adapte bien à nos lignes ; en effet la transparence pour les protons de 50 MeV (perte d'énergie de l'ordre de 50 keV entraînant une dispersion angulaire faible) nous a permis pour la ligne HV d'utiliser en sandwich les collecteurs horizontaux et verticaux séparés par une feuille d'aluminium; on évite ainsi tout mouvement mécanique lorsqu'on passe d'un plan dans l'autre; une simple commutation permet d'utiliser soit l'information en provenance des uns soit des autres.

Pour la ligne L la compensation d'effets du second ordre impose d'avoir les collecteurs inclinés par rapport à la trajectoire du faisceau. Cet angle doit être variable en fonction de la résolution que l'on désire obtenir; ce type de contraintes est plus aisément résolu à l'aide de collecteurs minces.

4. TRAITEMENT DES SIGNAUX ANALOGIQUES

Le courant $i(t)$ d'un collecteur développe aux bornes de quatre résistances (dont trois sont court-circuitables séparément), une tension $v(t)$. Avec ce circuit on a la possibilité d'avoir huit tensions différentes en fonction du courant total du linac I_T . La mesure est possible pour $10 < I_T < 200$ (I_T en mA).

Lors du projet en 1975 deux voies s'offraient :

- a) traiter chaque signal à l'aide d'un convertisseur rapide A/D (à 2 MHz) avec une définition de 8 bits et avoir ainsi pour les $24 \times 24 = 576$ surfaces élémentaires du plan de phase la répartition des densités, ce qui permettait d'effectuer les calculs appropriés et de présenter sur une unité de visualisation "le volume en perspective" constitué par le plan de phase plus les densités;
- b) se contenter à chaque impulsion de sélectionner une équidensité, la visualiser et effectuer les calculs relatifs à cette mesure quitte à obtenir en quelques impulsions par variation de l'équidensité mesurée l'information donnée par a).

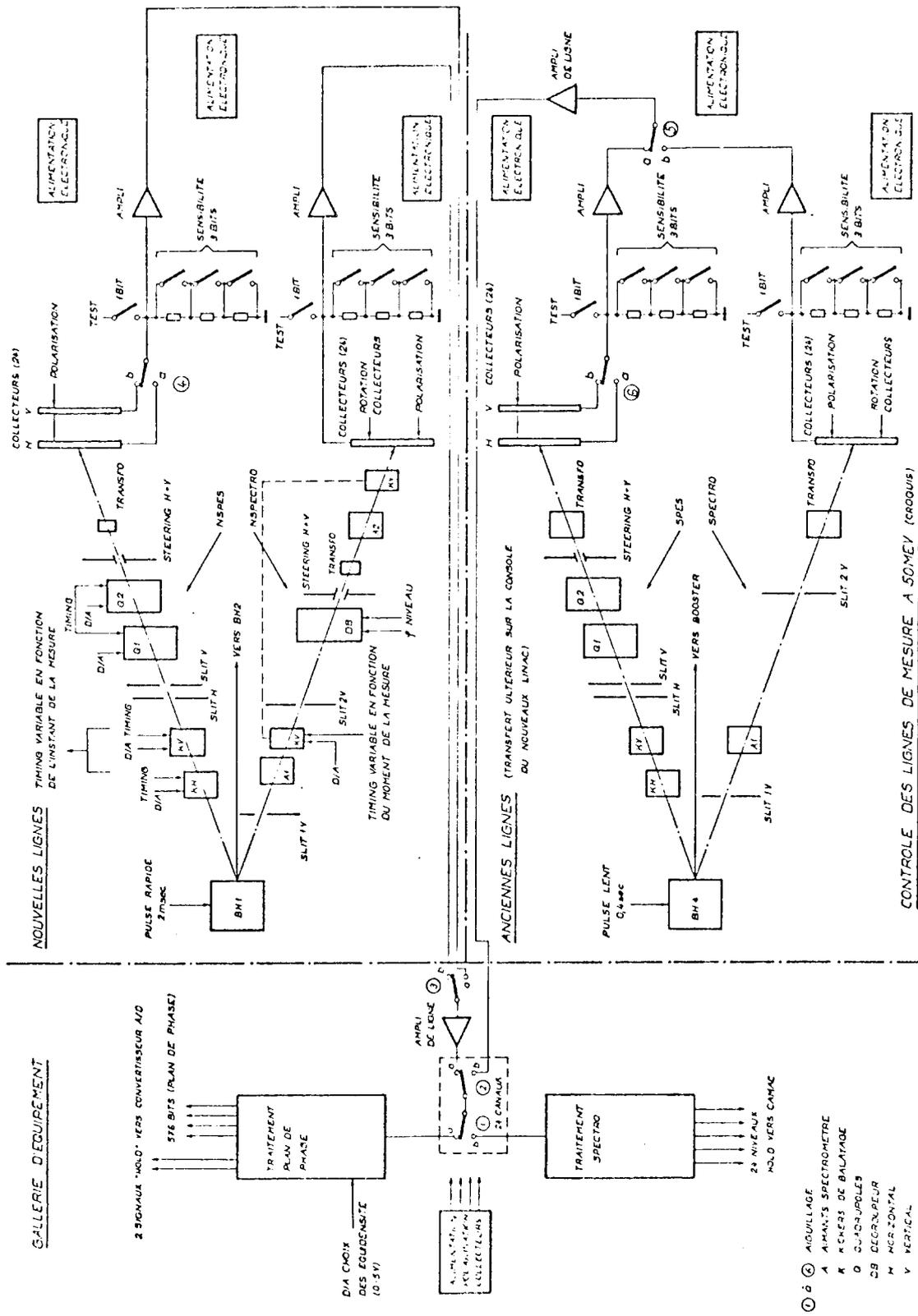


Fig.6

La solution a) n'a pas été retenue, par contre la section contrôle du linac travaille actuellement sur un circuit s'adaptant bien à ce problème et cette solution sera opérationnelle fin 1979.

Après amplification sur place le signal analogique des 24 collecteurs est transféré dans la galerie d'équipement où se trouve une seule électronique de traitement pour l'ensemble des lignes. La figure 6 schématise les lignes et le système de commutation. Pour obtenir la solution b), il suffit que chaque signal analogique entre sur un comparateur (LM319). La tension de comparaison (variable de 0 à 5 volts) permet de choisir une équidensité. A la sortie du circuit le signal unité entre dans un registre à mémoires (entrée série, sortie parallèle) cadencé par une horloge à 2 MHz. On découpe ainsi le signal en 24 parties (durée de la mesure 12 μ sec), et chaque niveau de sortie aura la valeur 0 ou 1 logique en fonction du niveau 0 ou 1 logique du signal d'entrée au moment de l'analyse.

Les 24 informations sont transférées à l'ordinateur via CAMAC, il a ainsi en mémoire pour traitement une matrice de $24 \times 24 = 576$ bits représentatifs du plan de phase permettant de calculer les paramètres de l'ellipse "la plus proche de la surface mesurée". La figure 7 schématise le traitement

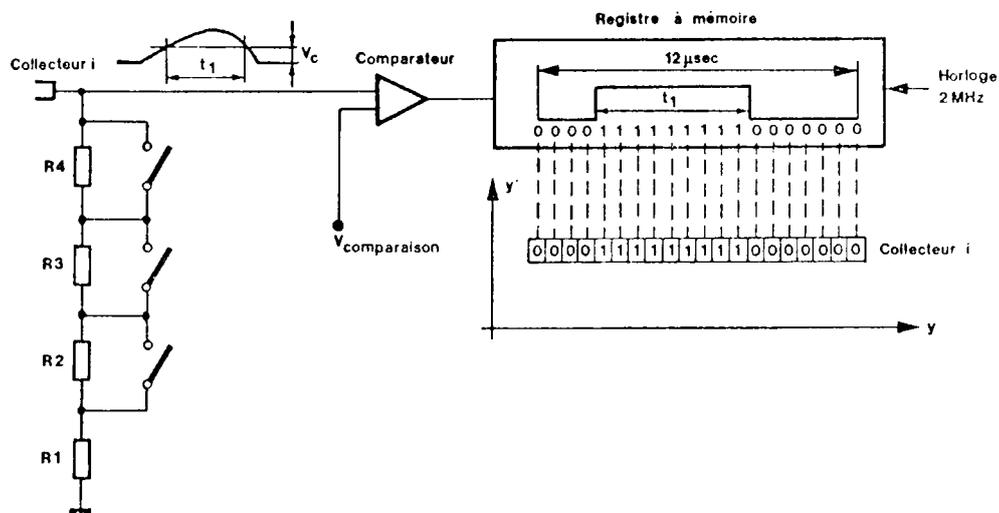


Fig. 7

Un second circuit permet de mesurer un facteur représentatif de la répartition des densités et de la brillance.

En parallèle avec le comparateur chaque coupe de Faraday est reliée à deux circuits que l'on peut débloquent à l'aide d'un niveau logique; l'un devant donner un signal de sortie proportionnel au signal d'entrée sera débloquenté durant les 12 µsec de la mesure, l'autre devant donner un signal proportionnel au courant se trouvant dans l'émission mesurée sera débloquenté par le signal de sortie du comparateur qui a une durée égale à celle où les charges sont supérieures à l'équidensité mesurée.

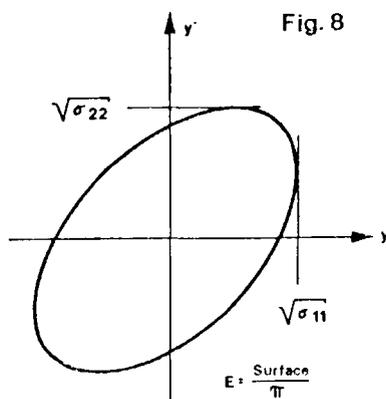
On obtient finalement deux signaux : l'un v_t est proportionnel au courant total et l'autre v_p au courant contenu à l'intérieur de l'équidensité correspondant au contour de l'émission que l'on mesure.

5. CALCULS EFFECTUES PAR L'ORDINATEUR

5.1 Paramètres d'adaptation

L'expérience de l'ancien et du nouveau linac montre qu'à 50 MeV les équidensités ont une forme pouvant toujours être assimilée à une ellipse. D'autre part le programme TRANSPORT qui est utilisé pour calculer le transfert du faisceau dans le ligne Linac-Booster et les paramètres d'adaptation utilise une représentation elliptique des projections du volume de phase dans les trois plans représentatifs HH', VV', φE. L'équation de l'ellipse utilisée dans ce dernier cas est de la forme (voir figure 8)

$$\sigma_{22}X^2 + 2\sigma_{12}XY + \sigma_{11}Y^2 = E^2$$



Avec $X_{\max} = \sqrt{\sigma_{11}}$; $Y_{\max} = \sqrt{\sigma_{22}}$

$$E = \sqrt{\sigma_{11}\sigma_{22} - (\sigma_{12})^2}$$

En connaissant E, X_{\max} , Y_{\max} on définit une équation d'ellipse à deux solutions focalisante ou défocalisante suivant le signe de σ_{12} .

Le programme calcule en partant de la matrice 24 x 24 :

$$E = (N \cdot \Delta x \cdot \Delta y) / \pi$$

N = nombre de bits 1 de la matrice

Δx = vecteur unitaire suivant l'abscisse du plan de phase mesuré

Δy = vecteur unitaire suivant l'ordonnée,

puis calcule X_{\max} et Y_{\max} en partant de la répartition des bits unitaires et X_{mean} et Y_{mean} pour quantifier la position du faisceau.

5.2 Qualité du faisceau

La répartition $\rho(E)$ des densités de courant ou plus simplement du courant dans les plans de phase peut être valablement représentée par une fonction $i(E)$ de la forme

$$i(E) = I_p = \frac{I_T}{E_0} e^{-E/E_0}.$$

Cette représentation est valable pour

$$0,2 I_T \leq I_p \leq 0,8 I_T$$

Elle permet, connaissant E , I_T (courant total) et I_p (courant contenu dans l'équidensité mesurée) de calculer E_0 . C'est un facteur qui est utilisé dans le programme TRANSPORT. Nous avons vu plus haut que nous obtenons à chaque impulsion une information v_t proportionnelle à I_T et v_p proportionnelle à I_p ; cela nous permet d'afficher E_0 .

Pour des réglages spéciaux du linac ou pour vérifier le calcul ci-dessus, il peut être utile de connaître plus précisément la répartition des densités; dans ce cas nous faisons varier la tension de comparaison et relevons à chaque fois la valeur de E ce qui permet de calculer par intégration l'émission vraie qui contient un pourcentage de courant donné.

P. Mead a modifié un programme écrit par J. Stovall qui automatise cette variation, calcule les différents paramètres permettant de comparer directement l'émission à 50 MeV à celle mesurée à basse énergie et visualise le volume plan de phase plus densités en perspective, (voir figure 9).

6. EXPLOITATION DES LIGNES

6.1 Mise en opération

En Annexe 4, sont données des informations complémentaires sur les vérifications possibles et les actions de mise en service préliminaires à l'aide des synoptiques des lignes.

On accède aux lignes à partir des consoles du nouveau linac et du système de sélection "PAGE". De la "HOME PAGE" la location "BEAM QUALITY"

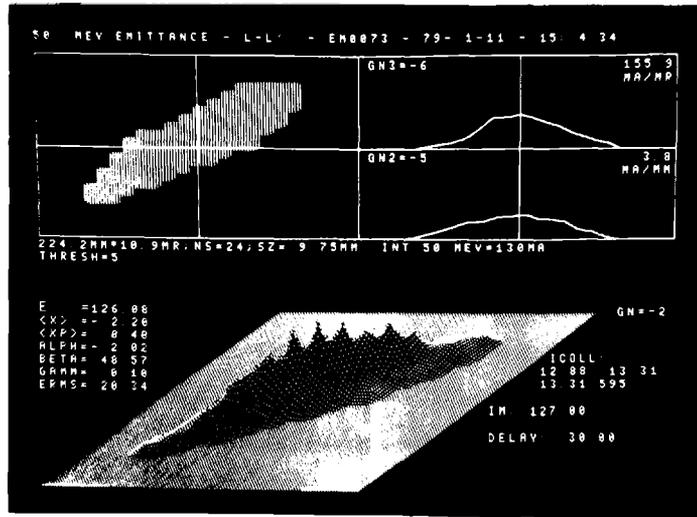


Figure 9 : Exemple de résultats obtenus à l'aide du programme Auto-step-reference

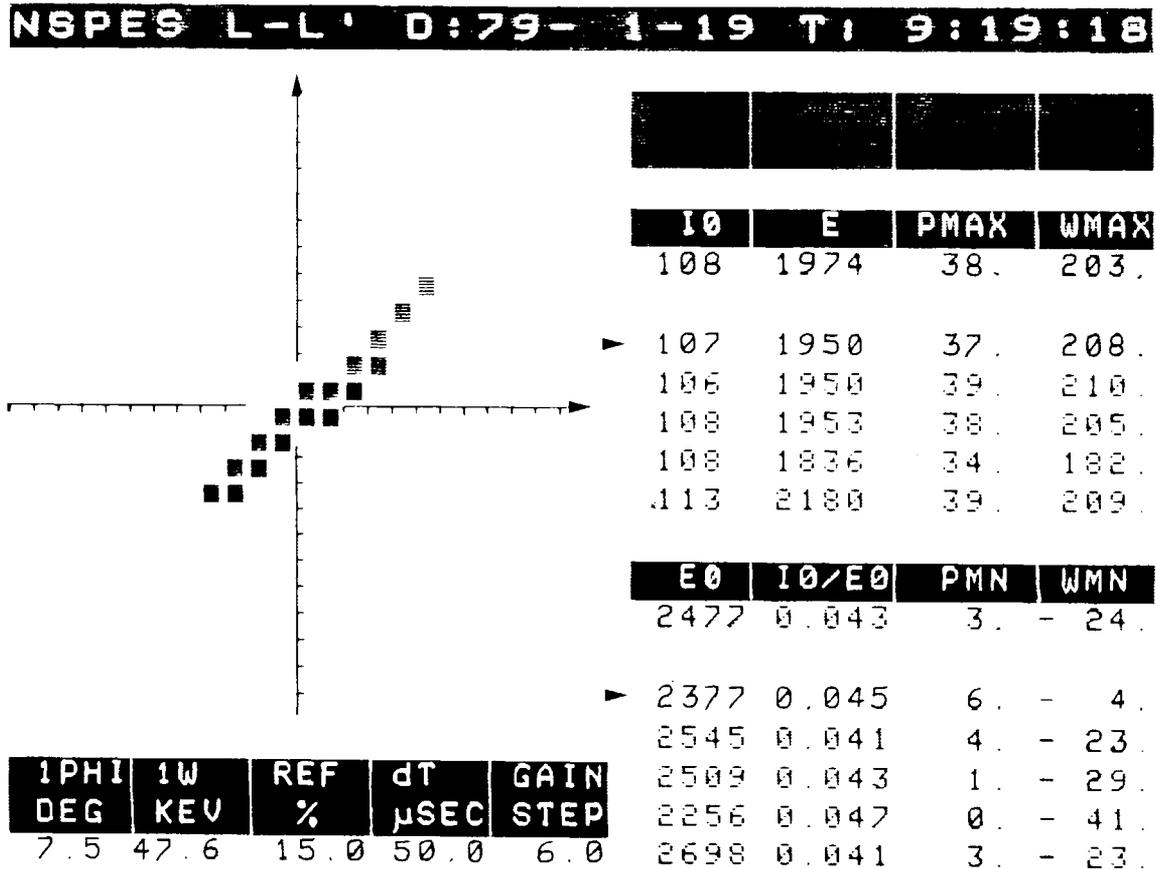


Figure 10 : Exemple de résultats obtenus sur l'écran couleur de visualisation

donne accès à la page 8 où l'on pousse "HEBT APPLIC PROGRAMS" ; on obtient la page 196 qui permet depuis SPES HVL d'appeler au choix l'un des trois plans de phase.

On a sur l'unité de visualisation couleur la mesure et les résultats affichés impulsion après impulsion avec la possibilité d'arrêter la mesure pour observation complémentaire (WAIT) ou copie sur l'imprimante. La location "CHANGE UNIT" donne accès à une nouvelle page qui permet le réglage "en ligne" des différents paramètres de la mesure.

6.2 Règlages en ligne

Ces réglages ont deux buts :

- 1) que tout le faisceau arrive sur les coupes, donc que l'émittance totale ne déborde pas de l'unité de visualisation ;
- 2) que l'on profite de la précision de mesure la meilleure.

Tous ces réglages se font pendant la mesure et le résultat de l'intervention est directement visible de même que le guidage ou l'action des quadripoles placés avant la ligne sont immédiatement analysables.

Cinq paramètres de mesure sont ajustables avec indication d'acquisition sur l'unité de visualisation de la mesure (en bas à gauche) voir figure 10.

- 1) U_d - on peut varier l'unité diamètre de 1 à 3 mm pour les plans H et V et de $7,5^0$ à 15^0 pour le plan L.
- 2) U_a - variation de l'unité angulaire de 0,15 à 0,5 mrad pour H et V et de 30 à 90 keV pour L.
- 3) Threshold - de 2% à 100% pour choisir l'équidensité.
- 4) Delay - de 0 à 200 μ sec pour faire varier le moment de mesure dans l'impulsion du Linac.
- 5) Gain de 0 à 7 - 8 gains différents permettent de couvrir une gamme de faisceau linac allant de 10 à 200 mA.

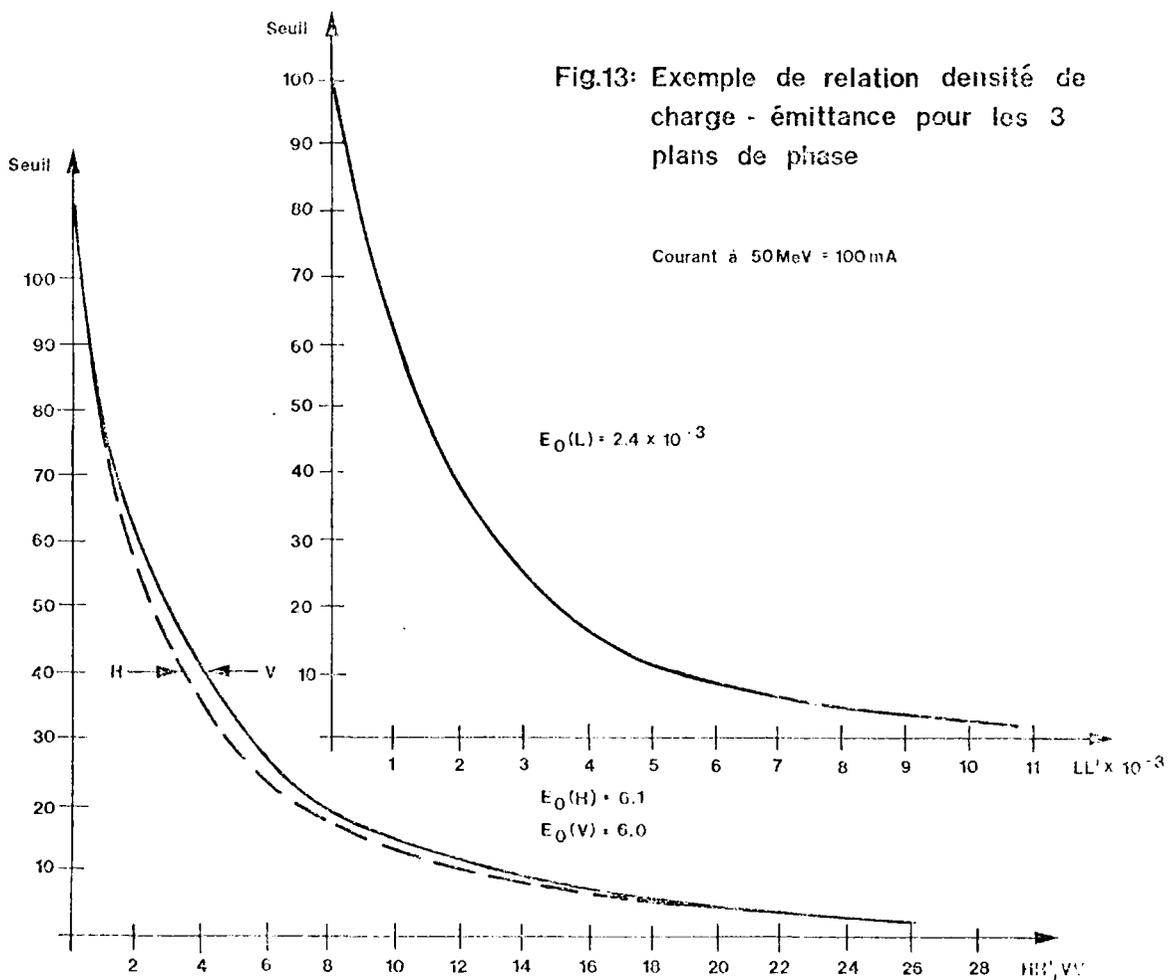
7. RESULTATS DES MESURES

Etant donné les améliorations obtenues quant à la qualité du faisceau en deux mois par optimisation des différents paramètres du linac, on doit considérer les résultats donnés ici comme tout à fait provisoires et ils n'ont d'autre but que d'indiquer les différentes mesures que l'on peut faire à l'aide des lignes.

La figure 11a, b, c visualise les émittances caractéristiques dans les plans H, V, L pour une équidensité approximative circonscrite à $E = E_0$ et pour le faisceau opérationnel de 120 mA.

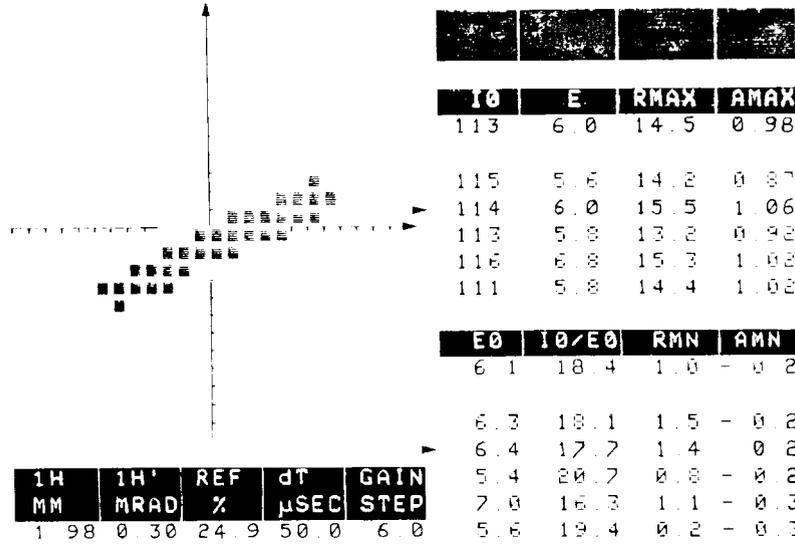
La figure 12a, b, c visualise les mêmes émittances pour un seuil plus faible.

La figure 13 montre la variation du seuil (proportionnel aux densités de charge) en fonction de l'émittance qui permet de calculer le pourcentage de faisceau contenu dans une émittance choisie.



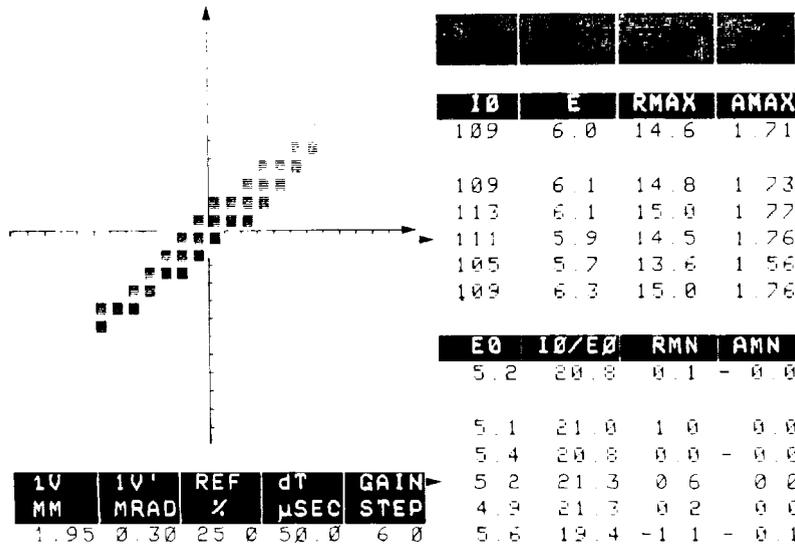
NSPES H-H' D:79-1-19 T: 9:15:23

a)



NSPES V-V' D:79-1-19 T: 9:17:27

b)



NSPES L-L' D:79-1-19 T: 9:19:18

c)

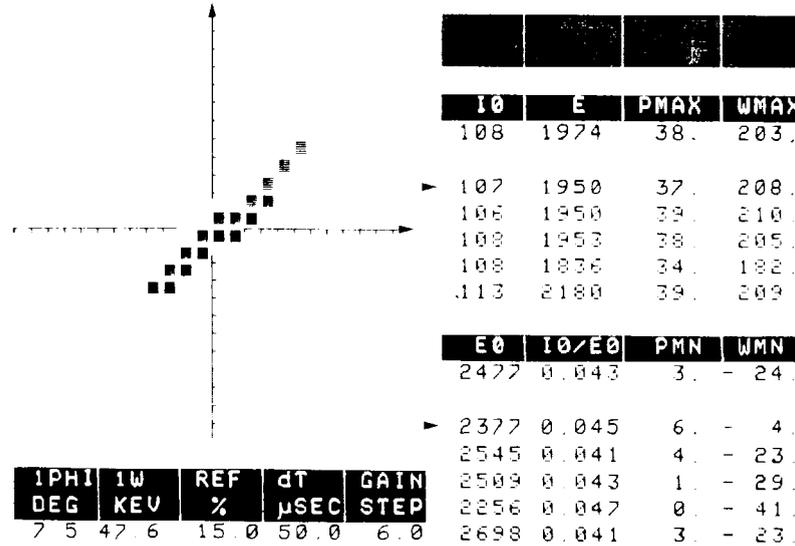
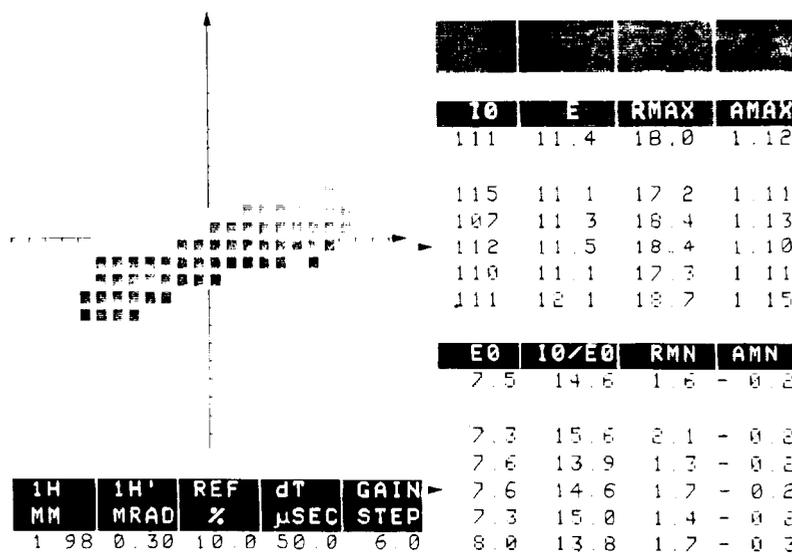


Fig. 11

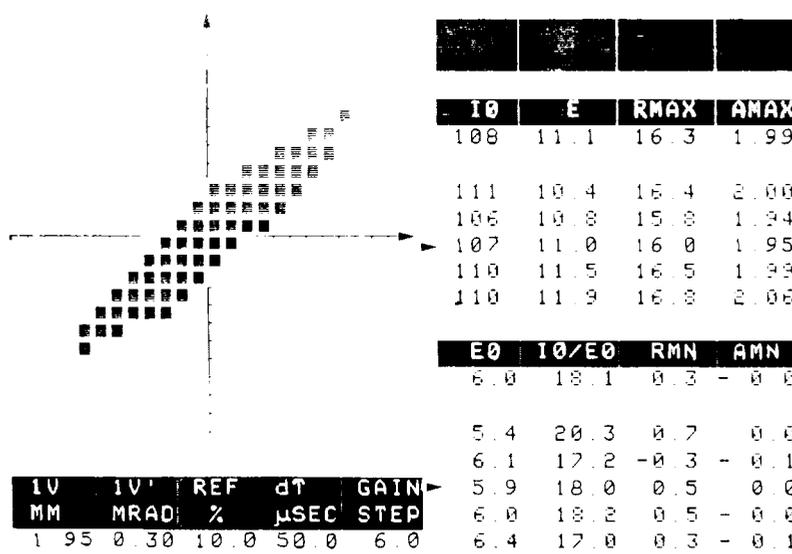
NSPES H-H' 0:79- 1-19 T: 9:16:19

a)



NSPES V-V' 0:79- 1-19 T: 9:18:22

b)



NSPES L-L' 0:79- 1-19 T: 9:20:11

c)

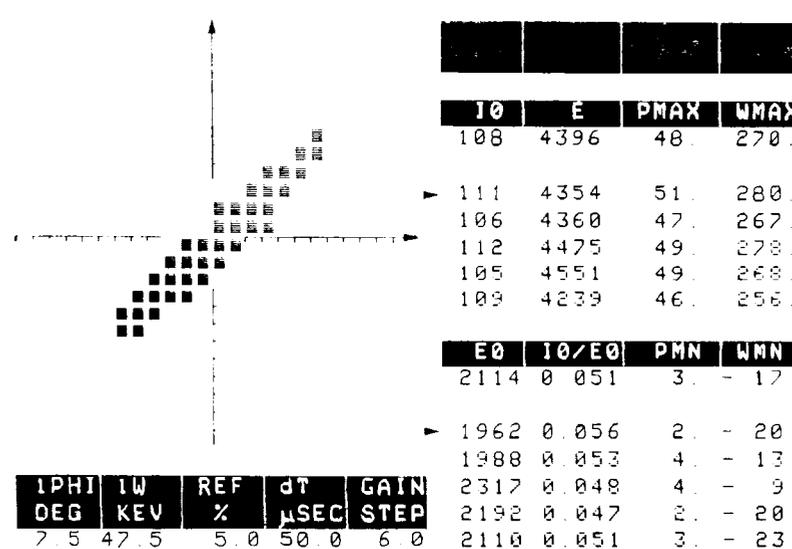


Fig. 12

REMERCIEMENTS

L'ensemble des mesures a fait appel à des techniques très différentes et la plupart du personnel du linac a dû, à un moment ou à un autre, y apporter sa contribution et je l'en remercie. La liste ci-après énumère dans un ordre alphabétique l'apport de chacun à ce travail. Je mentionnerai toutefois à part L. Bernard qui m'a aidé durant ces dernières années et qui pendant mon absence de août-septembre 1978 a eu la responsabilité de coordonner et préparer les lignes à une mise en opération rapide.

J.J. Aebi - implantation et montage des lignes de mesure.

M. Bourgeois - électronique analogique, alimentations DC et pulsées.

A. Cheretakis - transformateurs de mesure du courant ; contrôle et acquisition des alimentations.

F. James - mesure et mise en opération du dégroupéur DB12.

J. Knott - unités de cadencement et synchronisation.

P. Lienard - contrôle et acquisition des moteurs de déplacement et des "status" commande et acquisition des lignes.

S. Juul-Nyholm - a écrit les différents programmes d'utilisation des lignes de la présentation sur les unités de visualisation, ainsi que la présentation des synoptiques.

P. Mead - a adapté au système de contrôle du nouveau linac les différents programmes de S. Juul-Nyholm et M. Weiss.

N. Pearce - a développé le système mécanique avec son bureau.

K. Pietersen - a écrit le programme de calcul des paramètres de l'émittance à partir de la matrice 24x24 représentant le plan de phase.

A. van der Schueren - a développé l'électronique digitale et la transmission de l'information à l'ordinateur par le CAMAC série du nouveau linac.

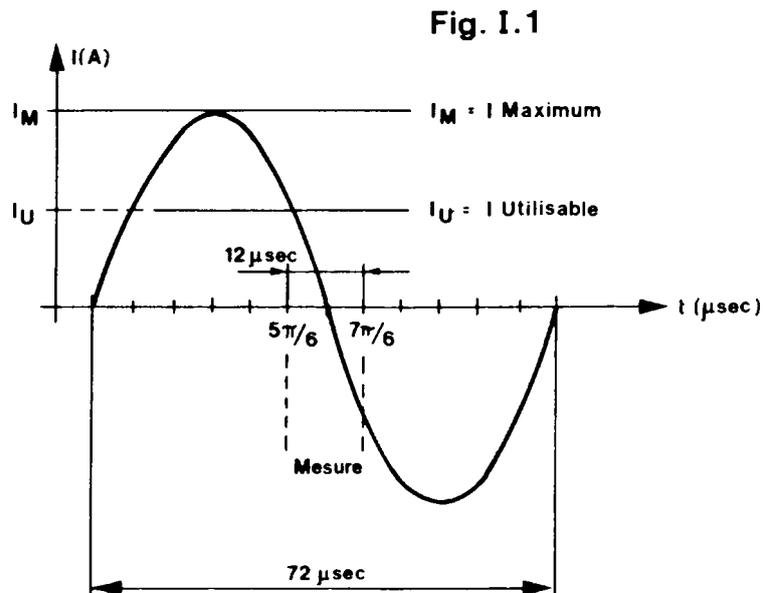
M. Weiss - a adapté les résultats des lignes au programme d'utilisation du LEBT.

REFERENCES

- D.J. Warner (éditeur) - Project study for a new 50 MeV linear accelerator for the CPS - MPS/LINP 73-1.
- A. Cheretakis, J. Knott, P. Mead, A. v.d. Schueren et U. Tallgren - The control system of the CERN new linac, PS/LIN/Note 76-20.
- S. Juul-Nyholm - The NSPES software, 12.4.78 (publication en préparation).
- S. Juul-Nyholm - Basic programs for creating colour TV synoptics for the new linac control system, PS/LIN/Note 76-18.
- S. Juul-Nyholm, - communications personnelles.
- K.O.H. Pedersen - Note sur le traitement du plan de phase (en préparation).
- T.R. Sherwood - communication privée.
- A. van der Schueren - Equipement digital et transfer de l'information pour NSPES, Memo PS/LIN 76-22.
- A. van der Schueren - communications privées.
- T.R. Sherwood - 50 MeV transport MPS/LIN Note 73-6.
- P. Têtu - Mesure d'émittance en une impulsion du faisceau à 50 MeV, MPS/LIN 71-8.
- P. Têtu - Potentiel de mesure 50 MeV pour le nouveau linac, MPS/LIN/Note 75-3.
- M. Bourgeois - communications privées.
- M. Bourgeois - Power supplies for DC magnets, MPS/LIN/SPEC 74-5.
- A. Septier - Focusing of charged particles (academic press).
- H.A. Enge - Deflecting magnets (volume II de focusing of charged particles).
- M. Weiss - communication privée.
- Proceeding of the international symposium of Magnet technology (1965).

ANNEXE IBALAYAGE DU FAISCEAU1. CONTRAINTES

Durant les 12 μsec de la mesure le faisceau doit être balayé devant la fente diamètre parallèlement à lui-même; nous avons pour ce faire deux kickers séparés par un espace de glissement que nous avons



choisi égal à deux mètres en tenant compte du fait que nous désirons que la déflection reste faible, et d'autre part nous désirons ne pas allonger exagérément la ligne.

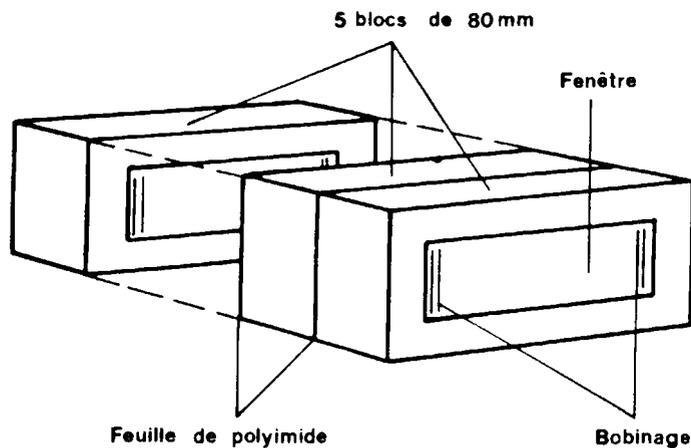
Les deux kickers donnent à chaque instant une déflection égale et de sens contraire. Les contraintes sont les suivantes : dimension maximum du faisceau à balayer = 80 mm ; angle de déflection maximum ± 20 mrad ; Précision dans la mesure angulaire de l'émission : $\pm 0,02$ mrad. Ceci impose pendant le balayage une égalité de la valeur absolue de l'induction dans les deux kickers que nous avons mesurée de façon dynamique - c'est pourquoi ces kickers sont reliés électriquement en série et alimentés par le même courant.

Les contraintes sur la linéarité temps-courant sont moins strictes. De celles-ci dépend la constance de la valeur de l'unité diamètre U_d en fonction du diamètre. Le courant des kickers est de forme sinusoïdale (voir figure I.1), la mesure s'effectue entre $5\pi/6$ et $7\pi/6$ de la valeur angulaire. La période totale est de 72 μ sec.

2. APERCU DE LA REALISATION

Les kickers sont du type dit à "fenêtre", réalisés en tôles de fer pur (à 99 %) de 0,35mm d'épaisseur collées en blocs de 8cm. Les cinq blocs sont fixés rigidement à l'aide de tiges isolantes (voir figure I.2).

Fig.I.2·Aimant de balayage



Le bobinage (2 spires) se compose de plaques de cuivre sur toute la hauteur de l'ouverture. Les deux spires sont isolées par de l'araldite chargée (5 mm) et l'isolation par rapport à la carcasse magnétique est assurée par deux couches de Kepton de 0,1 mm d'épaisseur (polyimide ayant une bonne résistance aux radiations). L'alimentation est constituée d'une HT variable de 5 kV stabilisée à 10^{-3} . Elle charge une batterie de condensateurs ($\approx 7 \mu$ Fd). La décharge dans l'inductance (constituée des deux kickers en série et du câble faible inductance) s'effectue à l'aide d'un bloc de thyristors pour la première alternance et de diodes pour la seconde. Le courant maximum est d'environ 5000 Amp. Le coefficient de surtension est élevé ($Q=50$) et permet de ne pas avoir d'amortissement important de la seconde alternance.

3. DETERMINATION DE L'UNITE DIAMETRE

L'unité diamètre est égale au déplacement du faisceau devant la fente dans un intervalle de 0,5 μ sec. Une bobine de mesure placée dans le kicker et calibrée préalablement donne un signal $v = -dB/dt$, lu par un convertisseur A/D. C'est ce signal qui, moyennant un facteur, indique à l'ordinateur la valeur de l'unité diamètre en fonction de la consigne D/A donnée à l'alimentation.

4. CADENCEMENT

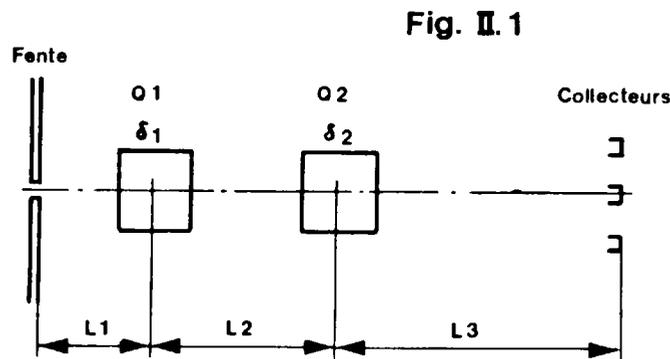
Le moment de la mesure dans l'impulsion est choisi à partir d'un retard digital variable qui déclenche les kickers. C'est à partir de la tension induite dans la bobine à l'intérieur de ces derniers que nous dérivons tout le cadencement nécessaire pour l'électronique de mesure. La tension induite est différenciée et mise en forme pour obtenir une impulsion standard de cadencement; différents délais ajustables donnent la séquence pour :

- a) le déclenchement des systèmes à mémoire ;
- b) l'ouverture de la fermeture des portes pour la mesure v_t et de v_p .

Il est en effet important que la mesure soit absolument calée sur le balayage puisque toute variation par rapport à la phase de la sinusoïde de balayage sera vue comme un déplacement en diamètre de l'émission du faisceau.

ANNEXE IIFOCALISATION DANS LES PLANS H ET V

L'étude de l'optique a été effectuée à l'aide du programme TRANSPORT qui a permis en particulier d'étudier l'influence de la largeur de la fente donc du courant analysé sur la mesure. On doit en effet avoir



un effet de charge espace minimum sur la parcours fente-collecteurs. Une étude simplifiée montre que l'on peut exprimer le transfert fente-collecteurs par la matrice suivante

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y'_1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \ell_3 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \delta_2 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \ell_2 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ \delta_1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \ell_1 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} Y_0 \\ Y'_0 \end{bmatrix}$$

On désire avoir la condition

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y'_1 \end{bmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{bmatrix} Y_0 \\ Y'_0 \end{bmatrix} \quad Y_1 = a_{12} Y'_0$$

On a

$$a_{12} = D = \ell_2 + \ell_3 + \ell_2 \ell_3 \delta_2 \quad \rightarrow \quad \delta_2 = \frac{D - (\ell_2 + \ell_3)}{\ell_2 \ell_3}$$

$$a_{11} = D - \ell_3 + \ell_2 D \delta_1 = 0 \quad \rightarrow \quad \delta_1 = \frac{\ell_3 - D}{\ell_2 D}$$

On a 24 collecteurs. Pour notre faisceau la définition angulaire doit être comprise dans la gamme suivante :

$$3/24 \leq U_a \leq 12/24 \quad (U_a \text{ en mrad})$$

Appelons D la longueur focale équivalente de la ligne et $d = 18$ mm le pas entre collecteur. On a $D = d/u_a$ soit

$$3,60 \leq D \leq 14,40 \quad (\text{en mètres})$$

ℓ_1 n'entrant pas en compte dans le calcul nous l'avons choisi minimum. Des considérations d'adaptation dans le plan non mesuré nous ont fait opter pour $\ell_2 = 3$ m et $\ell_3 = 5$ m.

Dans la ligne de mesure nous utilisons les mêmes quadripoles pulsés que ceux utilisés dans le HEBT (type 7 de la nomenclature). Les caractéristiques sont les suivantes :

courant normal $I_n = 185$ A

B_r (mesuré) = 308 ± 2 G m

$G d\ell = B_r/R_o = 0,76$ T/m (avec $R_o = 41,2$ mm représentant 80% de l'ouverture)

$L_m = 0,2547$ m (longueur magnétique).

On peut alors tracer la courbe $\delta = f(u_a)$ (I = courant d'alimentation des quadripoles). Ces courbes sont données par les équations suivantes (voir figure II.2)

$$I_1 \text{ foc} = 234.4 u_a - 84.39$$

$$I_2 \text{ foc} = (1.8 - 8u_a)/0.0593 u_a$$

$$I_1 \text{ defoc} = 228.6 u_a - 82.3$$

$$I_2 \text{ defoc} = (1.8 - 8u_a)/0.0608 u_a$$

Lorsqu'on commande un certain u_a l'ordinateur calcule les courants à afficher et acquiert le résultat. Si pour une raison ou une autre l'acquisition est différente de plus d'un ampère de la commande il inscrit un message "quadripoles mismatch" sur l'unité de visualisation.

II.3

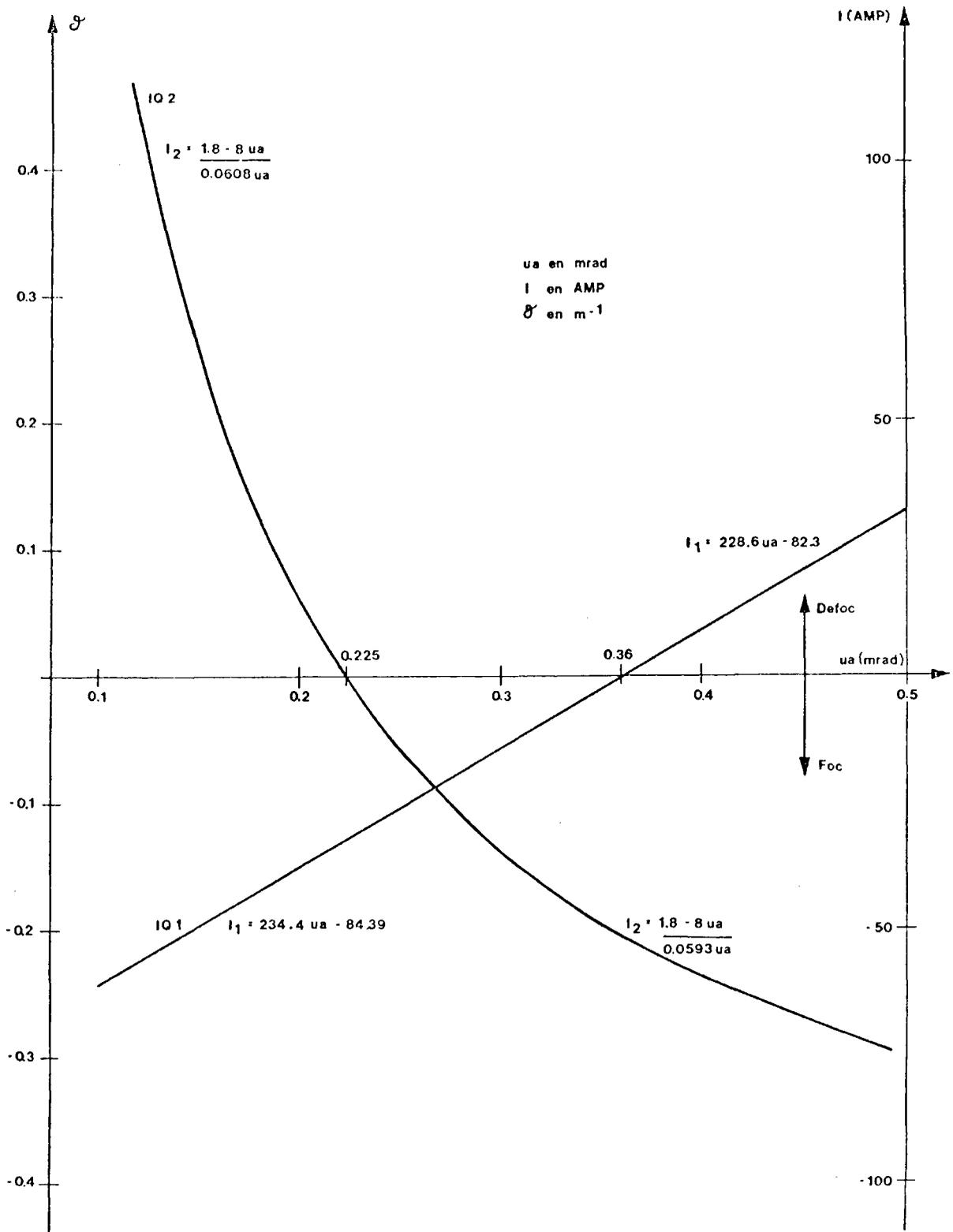


Fig. II.2 : Focalisation dans le plan mesuré

III.1

ANNEXE III

SPECTROMETRES

1. PARAMETRES

Pour nos spectromètres à secteur à gradient d'induction $n = 0$ la condition image peut s'exprimer ainsi :

$$m_{12} = \frac{a \cos(\psi-\alpha)}{\cos \alpha} + \sin \psi - \frac{ab \sin(\psi-\alpha-\beta)}{\cos \alpha \cos \beta} + \frac{b \cos(\psi-\beta)}{\cos \beta} = 0$$

et le grossissement image-objet par

$$m_{11} = \frac{\cos(\psi-\alpha)}{\cos \alpha} - \frac{b \sin(\psi-\alpha-\beta)}{\cos \alpha \cos \beta} = G \text{ (grossissement) .}$$

Dans notre cas pour les deux spectromètres nous avons

$R = 1,20$ m (rayon de courbure)

$\psi = 54^{\circ}3$ angle de deflexion.

Avec $a = A/R$; $b = B/R$ respectivement A est la distance de l'entrée du spectromètre à la fente objet et B la distance de la sortie du spectromètre à la fente image.

α, β respectivement angle d'entrée et de sortie par rapport à la trajectoire normale à ψ .

m_{11} est l'élément (Y/Y) de la matrice de transfert objet-image et

m_{12} l'élément (Y/Y') de cette même matrice.

Pour le 1er spectromètre afin d'avoir une composante de focalisation dans le plan non défléchi nous avons choisi $\alpha=\beta=4^{\circ}$.

Pour le 2ème spectromètre $\alpha=\beta=0$, nous avons tenu compte de la composante de défocalisation introduite par le dégroupeur à la tension d'utilisation. En fait cette composante étant très proche de la fente objet son effet est petite et a et b n'en sont que faiblement affectés (différents cas ont été étudiés à l'aide du programme TRANSPORT).

La dispersion pour ces spectromètres est donnée par

$$m_{12} = (y/\frac{\delta p}{p}) = 1 - \cos \psi + b \sin \psi + b(1-\cos \psi) \operatorname{tg} \beta = \frac{\Delta y}{\Delta p} \cdot \frac{p}{R}$$

III.2

Usuellement on donne la sensibilité "s" en keV par mm.

	G	Dispersion	Sensibilité	B(m)
1er spect.	- 0,62	1,87	44,6	2,07
2ème spect.	- 1,20	2,20	37,9	2,64

2. ABERRATIONS CHROMATIQUES AU PREMIER ORDRE

2.1 Aberration dans le grossissement

Le changement de grossissement en fonction de $\Delta p/p$ peut s'exprimer par :

$$\Delta G = - \frac{\Delta p}{p} a G^2 \left[\sin\psi - (\text{tg}\alpha + \text{tg}\beta)\cos\psi - \text{tg}\alpha \cdot \text{tg}\beta \cdot \sin\psi \right]$$

Pour une dispersion d'énergie de ± 200 keV on a pour le premier $(\Delta G)_1$ spectromètre et pour le second $(\Delta G)_2$

$$(\Delta G)_1 = \pm 0,0017 ;$$

$$(\Delta G)_2 = \pm 0,04$$

ce qui est négligeable.

2.2 Aberration chromatique dans la distance image

Soit ΔB la variation dans la distance spectromètre-plan image

$$\Delta B = \frac{\Delta p}{p} \cdot R \cdot G^2 \left\{ \left[\sin\psi - (\text{tg}\alpha + \text{tg}\beta)\cos\psi - \text{tg}\alpha \cdot \text{tg}\beta \cdot \sin\psi \right] \right. \\ \left. \left[2a \sin\psi + a^2 (\cos\psi + \text{tg}\alpha \cdot \sin\psi) \right] - \sin\psi (\text{tg}\beta \cdot \sin\psi + \cos\psi) \right\}$$

Pour une dispersion d'énergie de ± 200 keV on a pour le premier spectromètre :

$$\Delta B = 7 \cdot 10^{-3} \text{ soit } 7 \text{ mm.}$$

Comme la fente est placée perpendiculairement au faisceau on ne corrige pas cette variation mais si l'on suppose des angles maximum dans le faisceau de ± 3 mrad on voit que le grossissement de l'image dû à cette erreur sera de $\pm 0,020$ mm.

Dans le 2ème spectromètre pour la même dispersion d'énergie on a $\Delta B = 11.3 \cdot 10^{-3}$. Il est intéressant de donner l'inclinaison correcte aux collecteurs. Avec une sensibilité de 38 keV par mm on a un déplacement transversal de 5,3 mm. $\text{tg}\alpha = 5.3/11.3 = 0.47$ $\alpha \neq 25^\circ$.

III.3

3. TEMPS DE VOL DANS LE PREMIER SPECTROMETRE

Soit $\lambda = \Lambda/R$; Λ est la différence entre la longueur d'une trajectoire quelconque par rapport à la trajectoire centrale mesurée entre le plan d'entrée et le plan de sortie de l'aimant.

En se limitant aux effets de premier ordre on peut écrire (Enge)

$$\lambda_2 = \Lambda/R = (\lambda/y) \frac{y_1}{R} + (\lambda/y') y_1' + (\lambda/\delta) \delta .$$

Cette relation est similaire à la relation de transfert dans l'aimant.

On obtient pour la trajectoire la plus défavorable $\Lambda = 3$ mm, ce qui équivaut à un déphasage par rapport à la phase zéro du paquet de $2,25^\circ$.

A cela s'ajoute le déphasage introduit par la différence de parcours jusqu'à la fente image causé par le balayage du kicker. Le calcul a été effectué pour un ΔE de 200 keV et en tenant compte de la position du kicker, la différence de parcours par rapport à la trajectoire $\Delta E=0$ est bien inférieure au millimètre.

Ces données nous ont conduit à choisir une unité phase $U\phi \geq 5^\circ$, ce qui pour un faisceau qui au point de mesure a une élongation en phase de l'ordre de $\pm 30^\circ$ est très raisonnable puisque cela permet d'avoir 12 points de mesure.

4. POSITION DES KICKERS

Si nous voulons alimenter les deux kickers en série (donc avec un courant identique) et que le 2ème kicker K2 compense séquentiellement l'effet de dispersion d'énergie du faisceau analysé par le premier, il faut que la distance aux fentes images soit inversement proportionnelle à la sensibilité des spectromètres.

Nous avons placé K1 le plus proche possible du spectromètre A1 pour profiter d'un bras de levier maximum par rapport à la fente. Finalement, nous avons :

$$K1 - \text{fente image 1} = 1,60 \text{ m} \qquad K2 - \text{collecteur} = 1,88 \text{ m} .$$

ANNEXE IVCALIBRATION1. CALIBRATION DU PLAN L

Les unités énergie U_e et phase $U\phi$ ont été calculées connaissant l'induction dans le kicker (pour U_e) et la tension effective dans le dégroupieur (pour $U\phi$) ; Il était toutefois intéressant de vérifier lors de la mise en service de la ligne ces calibrations ; cette Annexe rend compte des différents essais effectués qui ont été grandement facilités par la stabilité du faisceau.

1.1 Calibration de U_e

Nous avons comparé la courbe de la dispersion d'énergie obtenue en déplaçant la fente à celle que donnait le balayage du kicker. Les deux mesures ont été faites par observation du transformateur IM16 placé après la fente image du premier spectromètre.

1.2 Calibration de $U\phi$

Règlage de la phase du dégroupieur : avec et sans dégroupieur la position moyenne du faisceau suivant l'axe ϕ ne doit pas changer. Nous avons réglé cette phase suivant ce critère qui garantit que l'énergie moyenne du faisceau ne change pas en traversant le dégroupieur.

Calibration de la tension effective : On compare $U\phi$ théorique à la valeur $U\phi$ obtenue en faisant varier la phase du dégroupieur de $\pm 30^\circ$.

On mesure le déplacement du faisceau suivant l'axe ϕ ; on calcule connaissant la sensibilité du spectromètre quelle variation d'énergie moyenne doit déplacer le faisceau d'une valeur égale à celle mesurée ce qui permet de connaître la tension effective qui a changé l'énergie de la valeur mesurée. Pour $U\phi$ affiché égal à $7^{\circ}5$ on a trouvé que la mesure de $U\phi$ est égale à $7^{\circ}8$, et lors d'une seconde mesure $7^{\circ}7$. Il est clair qu'on obtient une linéarité correcte dans $U\phi$ en fonction de ϕ que si l'extension en phase du faisceau à mesurer ne dépasse pas $\pm 45^\circ$ ce qui est le cas au point de mesure (au dégroupieur).

IV.2

La préparation des lignes a été grandement facilitée par les synoptiques qui permettent de vérifier à tout instant l'état des lignes. Un fonctionnement correcte de tous les éléments se caractérise par un synoptique avec tous les éléments actifs de couleur verte. Un arrêt d'un élément est visualisé en rouge, un état indéterminé en jaune (voir fig. IV.1, synoptique du plan longitudinal).

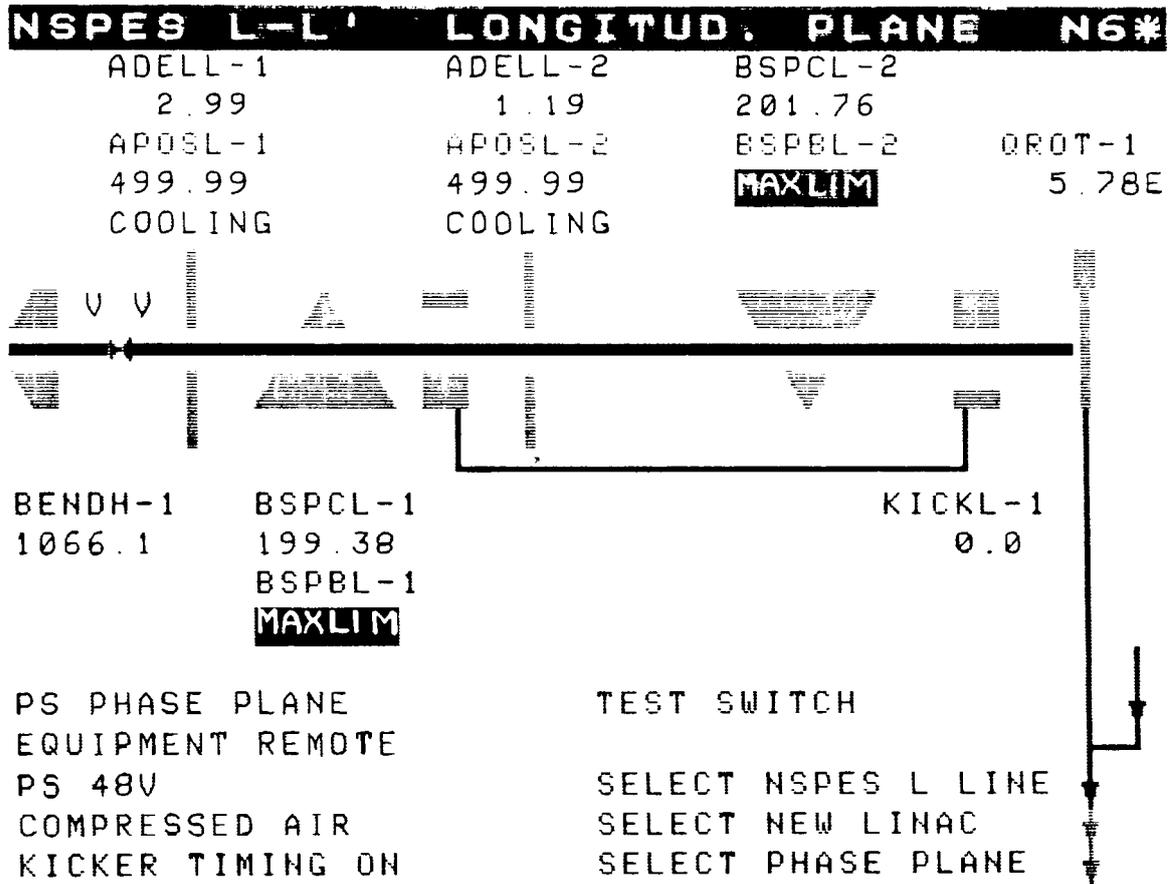
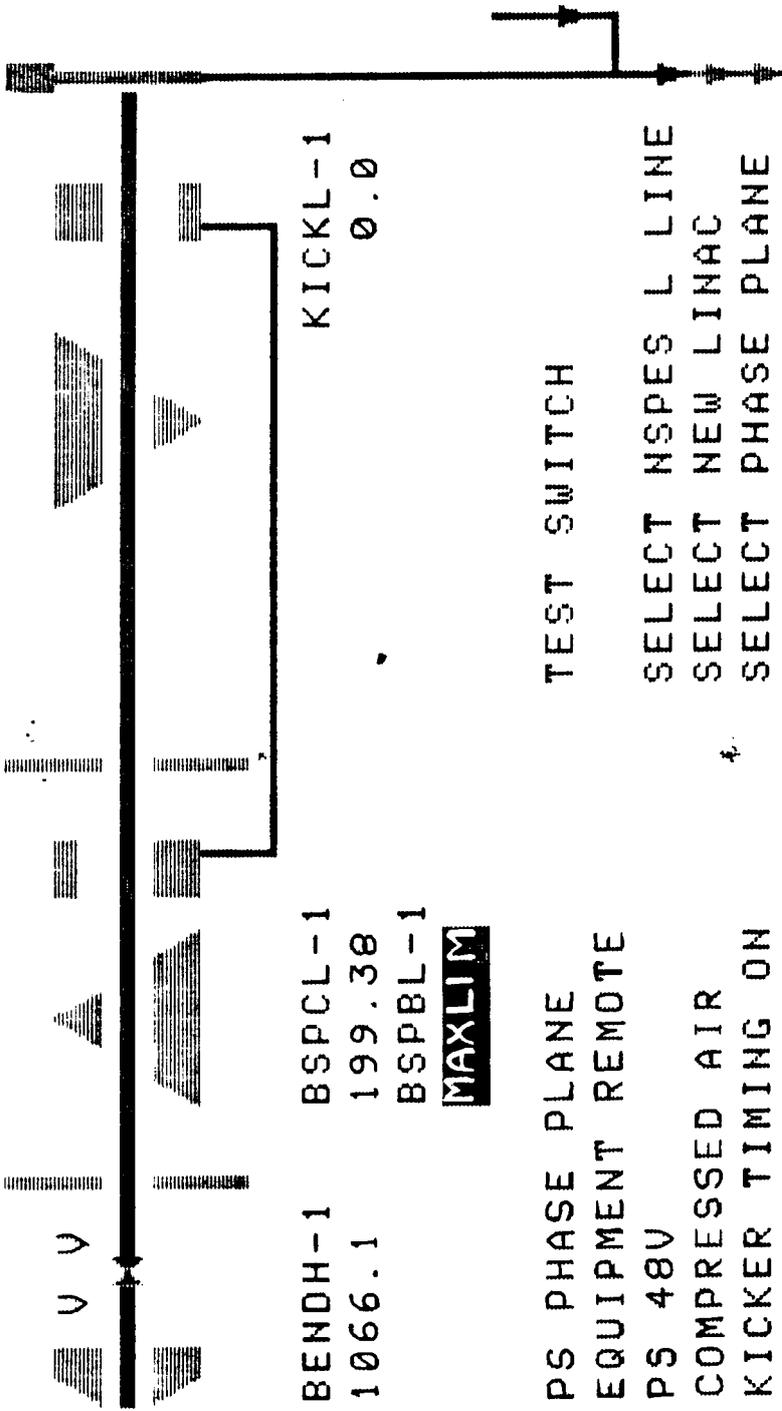


Fig. IV.1

NSPES L-L LONGITUD PLANE N6*

ADELL-1	2.99	ADELL-2	1.19	BSPCL-2	201.76	QROT-1	5.78E
APOSL-1	499.99	APOSL-2	499.99	BSPBL-2	MAXLIM		
COOLING		COOLING					



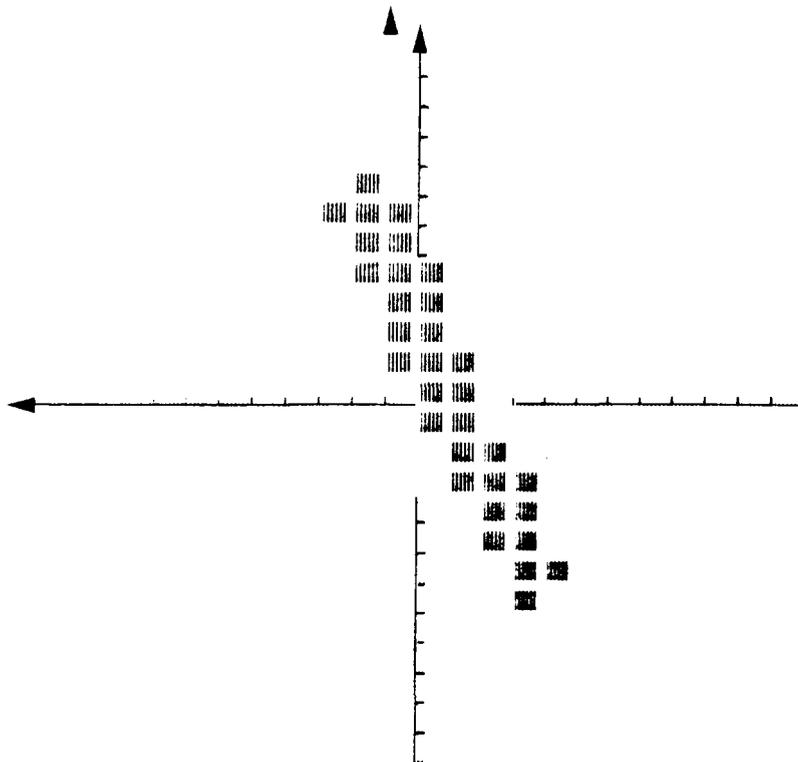
BENDH-1 1066.1
 BSPCL-1 199.38
 BSPBL-1 **MAXLIM**

KICKL-1 0.0

PS PHASE PLANE
 EQUIPMENT REMOTE
 PS 48V
 COMPRESSED AIR
 KICKER TIMING ON

TEST SWITCH
 SELECT NSPES L LINE
 SELECT NEW LINAC
 SELECT PHASE PLANE

NSRES H-H1 D:29-3-19 Pt 9-14-72

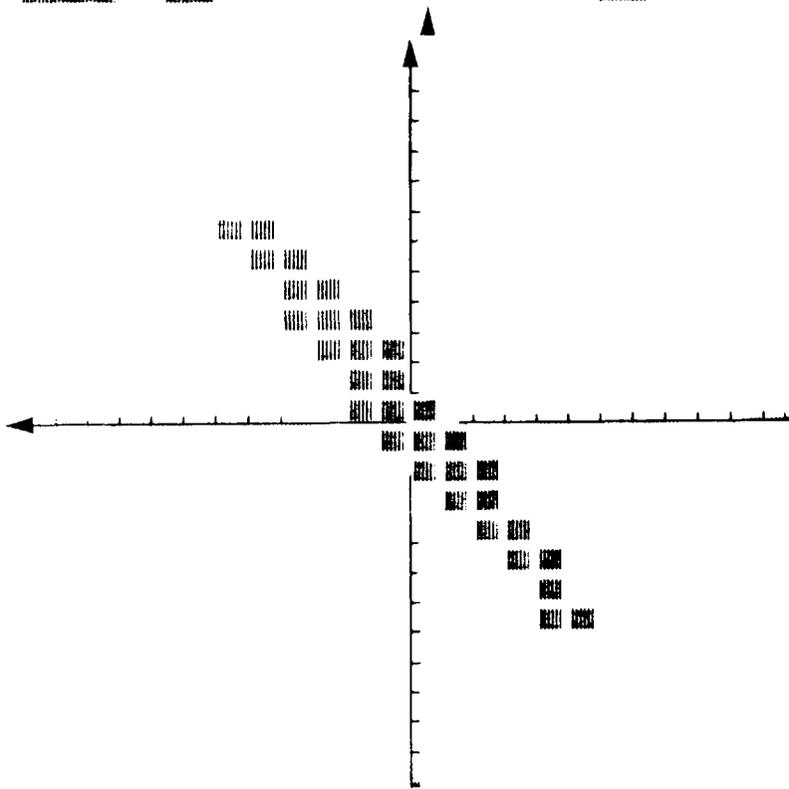


IO	E	RMAX	AMAX
113	6.0	14.5	0.98
115	5.6	14.2	0.87
114	6.0	15.5	1.06
113	5.8	13.2	0.92
116	6.8	15.3	1.02
111	5.8	14.4	1.02

EO	IO/EO	RMN	AMN
6.1	18.4	1.0	0.2
6.3	18.1	1.5	0.2
6.4	17.7	1.4	0.2
5.4	20.7	0.8	0.2
7.0	16.3	1.1	0.3
5.6	19.4	0.2	0.3

1H	1H'	REF	dT	GAIN
MM	MRAD	%	μSEC	STEP
1.98	0.30	24.9	50.0	6.0

NPES V-V' 0179-1-19 T: 9:17:27



IB	E	RMAX	AMAX
109	6.0	14.6	1.71
109	6.1	14.8	1.73
113	6.1	15.0	1.77
111	5.9	14.5	1.76
105	5.7	13.6	1.56
109	6.3	15.0	1.76

E0	I0/E0	RMN	AMN
5.2	20.8	0.1	-0.0

5.1	21.0	1.0	0.0
5.4	20.8	0.0	-0.0
5.2	21.3	0.6	0.0
4.9	21.3	0.2	0.0
5.6	19.4	-1.1	-0.1

1V	1V'	REF	dT	GAIN
MM	MRAD	%	μSEC	STEP
1.95	0.30	25.0	50.0	6.0