

PS/HI Note 89-8
BH/fp
20 juillet 1989

OPTIQUE DES LIGNES D'INJECTION DES LINACS 1 ET 2
ET PROCEDURE D'ADAPTATION DES FAISCEAUX

B. Hadorn, P. Têtu

Introduction

Cette note décrit l'état opérationnel de l'optique des lignes d'injection des Linacs 1 et 2 au PSB et à la boucle LEAR du point de vue des éléments agissant sur le faisceau (quadrupôles, aimants de déflexion et dégroupes).

L'optique est calculée à l'aide du programme Trace 3D, ensuite le faisceau est mesuré dans les lignes LTE, LTS, LBE et LBS, ce qui permet de vérifier la concordance entre programme et faisceau.

1.1 Dans cette note, vous trouverez un schéma de l'ensemble des lignes (Fig.1) puis pour chacune de celles-ci :

- a) une explication succincte de l'utilisation de la ligne considérée et des contraintes à respecter,
- b) une liste des valeurs des éléments agissant sur l'optique du faisceau,
- c) une copie des résultats des mesures du faisceau,
- d) une copie des résultats obtenus à l'aide du programme Trace 3D montrant les émittances d'entrée et de sortie dans les trois plans de phase ainsi que la disposition des éléments de la ligne et la trajectoire extrême du faisceau dans les plans horizontal, vertical et longitudinal (longueur du paquet exprimée en degrés de la phase de la RF).

1.2 Récapitulation des lignes des Linacs 1 et 2 et des différentes particules accélérées

LINAC 2

- 1.2.1 La ligne LT va du tank 3 du Linac 2 jusqu'à l'aimant BHZ 30. La ligne LTB va de ce dernier vers le PSB. Elle est commune aux faisceaux des deux Linacs. LTE, LTS, LBE et LBS sont des lignes de mesure. Les particules accélérées sont des protons ou des deutons.

LINAC 1

- 1.2.2 La ligne OT va du tank 3 du Linac 1 à la boucle LEAR lorsque les particules accélérées sont des protons ou des H^- . La ligne OT va du tank 3 du Linac 1 jusqu'à l'aimant BHZ 30 où elle rejoint la ligne LTB lorsque les particules accélérées sont des ions d'oxygène O^{8+} et de soufre S^{16+} . OTS est une ligne de mesure de dispersion d'énergie.

2.1 Linac 2 - PSB

2.1.1 Caractéristiques du faisceau :

Particules	:	Protons
Energie	:	49.7MeV
Intensité nominale	:	140mA
Durée du faisceau	:	120µsec
Taux de répétition	:	1.2sec

2.1.2 Comparaison entre le calcul et les mesures du faisceau

Le faisceau est mesuré dans les lignes LTE et LTS (Fig. 2-4) ce qui nous permet d'obtenir les paramètres de Twiss (α et β) dans les trois plans de phase, dans le plan longitudinal, ces paramètres se réfèrent à l'ellipse de la même façon que dans les plans transverses, seules les unités changent : degré et keV, avec les émittances données en degré x keV). Ces valeurs sont introduites dans le fichier LTE.DAT, avec lequel on calcule "en marche arrière" les émittances à la sortie du tank 3 (Fig. 5).

A l'aide d'un deuxième fichier LTTB.DAT (lignes LT, LTB et LBE) contenant les valeurs d'émittance obtenues auparavant, on détermine les trajectoires puis les émittances du faisceau dans les lignes LBE et LBS (Fig. 6). Ensuite on compare ces valeurs à celles obtenues effectivement dans les lignes LBE et LBS par mesure directe du faisceau (Fig. 7-9).

Vu la complexité de la ligne, il est clair que les résultats obtenus ne sont qu'approximativement comparables, en particulier, les valeurs de β proportionnelles au carré des dimensions peuvent représenter de petites différences. Mais, ayant le résultat calculé, on a pu constater que, pour obtenir un MISMA < 10% sur la mesure dans la ligne LBE, une retouche de quelques pourcents des deux derniers quadrupôles (QFW50 et QDW60) permettrait de finaliser le réglage et d'obtenir l'adaptation voulue.

2.1.3 Liste des valeurs des éléments agissant sur l'optique du faisceau (LT + LTB)

1. Les quadrupôles

	Longueur magnétique (mm)	Ampère	Gradient (T/m)
LT QDN10	255	252	-4.03
LT QFN12	255	201	3.216
LT QDN20	255	150	-2.408
LT QFN22	255	115	1.84
LT QDN30	255	100.56	-1.61
LT QFN32	255	86.83	1.39
LT QDN40	255	92.30	-1.48
LT QFN42	255	69	1.10
LT QDN50	255	70.15	-1.12
LT QFN55S	255	89.40	1.43
LT QDN60S	255	32	-0.51
LT QFN65S	255	32	0.51
LT QFW70	467	10.45	0.735
LT QDN75	255	43	-0.688
LTB QDN10	255	28.52	-0.46
LTB QFN20	255	87.91	1.41
LTB QDW30	467	9.30	-0.66
LTB QFW40	467	7.10	0.50
LTB QFW50	467	11.30	0.79
LTB QDW60	467	12	-0.84

2. Les aimants de déflexion

LT BHZ10 LTE = 1088A ; LTS = -1088A
 LT BHZ20 10.8A
 LT BHZ30 - 256.5A
 LTB BHZ40 LBE = -95.4A ; LBS = 57.2A

3. Le dégroupéur

LT CDB10 3300mV 300 kV effectif

3.1 Linac 2 - PSB

3.1.1 Caractéristiques du faisceau

Particules : Deutons
 Energie : 23.56MeV
 Intensité nominale : 20 mA
 Durée du faisceau : 120µsec
 Taux de répétition : 1.2sec

3.1.2 Comparaison entre le calcul et les mesures du faisceau

On procède de la même manière que pour les protons.

Les fichiers nécessaires sont *LTED.DAT* pour le calcul en "marche arrière" et *LTTBD.DAT* pour le calcul qui sert à la comparaison avec le faisceau mesuré.

L'intensité des quadrupôles *LTQDN10* jusqu'à *LTBQFN20* est réglée à 96% par rapport à la valeur protons (différence de la valeur $\gamma = m/m_0$ due à la vitesse des deutons qui est deux fois plus faible que celle des protons). *LTBQDW30* jusqu'à *LTBQDW60* étant des quadrupôles non pulsés, leur valeur, qui permet d'adapter correctement les protons, ne peut pas être changée, en conséquence les émittances d'un faisceau de deutons dans la ligne LBE ne sont pas exactement adaptées.

3.1.3 Liste des valeurs des éléments agissant sur l'optique du faisceau (LT + LTB)

1. Les quadrupôles

	Longueur magnétique (mm)	Ampère	Gradient (T/m)
LT QDN10	255	242	-3.87
LT QFN12	255	193	3.09
LT QDN20	255	144	-2.31
LT QFN22	255	110	1.77
LT QDN30	255	96.8	-1.55
LT QFN32	255	83	1.33
LT QDN40	255	88.75	-1.42
LT QFN42	255	66.2	1.06
LT QDN50	255	67.5	-1.08
LT QFN55S	255	85.6	1.37
LT QDN60S	255	30.6	-0.49
LT QFN65S	255	30.6	0.49
LT QFW70	467	10.08	0.71
LT QDN75	255	41.25	-0.66
LTB QDN10	255	27.5	-0.44
LTB QFN20	255	84.37	1.35
LTB QDW30	467	8.94	-0.66
LTB QFW40	467	6.8	0.50
LTB QFW50	467	10.79	0.79
LTB QDW60	467	11.5	-0.84

2. Les aimants de déflexion

LT BHZ10 LTE = 1044.5A ; LTS = -1044.5A
 LT BHZ20 10.4A
 LT BHZ30 - 246.2A
 LTB BHZ40 LBE = -91.6A ; LBS = 55A

3. Le dégroupueur

LT CDB10 3168mV 288 kV effectif

4.1 Linac 1 - Boucle LEAR

4.1.1 Caractéristiques des faisceaux

Particules	: Protons	H ⁻
Energie	: 49.4MeV	49.4MeV
Intensité nominale	: 8 à 12mA	1 à 2mA
Durée du faisceau	: 8 à 20µsec	8 à 20µsec
Taux de répétition	: 1.2sec	1.2sec

4.1.2 Ces faisceaux sont réduits à une durée de 300 nsec par un kicker rapide installé dans la ligne OT avant d'être injectés dans la boucle LEAR. L'adaptation a pour but d'obtenir un faisceau de dimension réduite dans le plan horizontal au milieu de la boucle LEAR et de dimensions raisonnables à l'entrée et à la sortie de celle-ci.

La charge d'espace dans la ligne est négligeable pour les deux types de faisceaux.

Cette adaptation se fait à l'aide du programme Trace 3D et du fichier OTL.DAT (Fig. 10).

4.1.3 Liste des éléments agissant sur l'optique du faisceau (OT sortie tank 3 - SEMgrid MSGHV10)

1. Les quadrupôles

		Longueur magnétique (mm)	Ampère	Gradient (T/m)
1er triplet	OT QDN01S	255	114.25	-1.83
	OT QFN02	255	204	3.26
	OT QDN03	255	114.25	-1.83
2ème triplet	OT QFN11S	275	3.652	1.46
	OT QDN12	275	8.265	-3.3
	OT QFN13	275	3.652	1.46

5.1 Linac 1 - PSB

5.1.1 Caractéristiques du faisceau

Particules : Ions
Energie : 11.8MeV par nucléon
Intensité nominale : 50 μ A
Durée du faisceau : 100 μ sec
Taux de répétition : 1.2sec

5.1.2 Réglage et adaptation du faisceau d'ions dans les lignes OT et LTB

- Avec le fichier OTEMI.DAT, on mesure l'émittance approximative à la sortie du Linac en affichant pour les quadrupôles du 1er triplet les intensités suivantes : $I_{outer} : 115.1A$ et $I_{inner} = 208.8A$. Ceci permet à l'aide des mesures sur les SEMgrids MSG05 et MSG10 de déterminer les valeurs angulaires et les dimensions du faisceau.
- On doit garder la même valeur des quadrupôles (LTBQDW30-LTBQDW60 quadrupôles DC) indispensable à l'adaptation des protons. Le fichier OTB.DAT sans charge d'espace "en marche arrière" de la ligne d'émittance (LBE) jusqu'au 3ème triplet nous indique les dimensions et les angles du faisceau que l'on doit obtenir à ce point pour avoir une adaptation correcte (Fig 11).
- Avec le fichier OTADA.DAT, on adapte alors l'émittance de sortie du Linac aux valeurs voulues à la sortie du 3ème triplet (Fig, 12).
- La Fig. 13 nous montre l'adaptation finale du faisceau qui sera mesuré dans LBE.
- Les valeurs des quadrupôles étant ajustées, on vérifie l'adaptation dans la ligne d'émittance (LBE) par mesure directe du faisceau. Si nécessaire, on effectue de petites corrections au niveau du 2ème et 3ème triplet en utilisant le fichier OTADA.DAT.

5.1.3. Liste des valeurs des éléments agissant sur l'optique du faisceau (OT + LTB)

1. Les quadrupôles

			Longueur magnétique (mm)	Ampère	Gradient (T/m)
1er triplet	OT	QDN01S	255	124	-1.98
	OT	QFN02	255	198	3.17
	OT	QDN03	255	124	-1.98
2ème triplet	OT	QFN11S	275	4.75	1.9
	OT	QDN12	275	9.2	-3.68
	OT	QFN13	275	4.75	1.9
3ème triplet	OT	QFN21S	275	4.35	1.74
	OT	QDN22	275	6.60	-2.64
	OT	QFN23	275	4.35	1.74
	LTB	QDN10	255	98	-1.57
	LTB	QFN20	255	104	1.66
	LTB	QDW30	467	9.30	-0.66
	LTB	QFW40	467	7.10	0.50
	LTB	QFW50	467	11.30	0.79
	LTB	QDW60	467	12	-0.84

2. L'aimant de déflexion

LTB BHZ40 LTE = -91.6A; LTS = 55A

6. Conclusion

Le programme Trace 3D étant opérationnel à la salle de contrôle des Linacs peut être utilisé de façon interactive avec les mesures réelles du faisceau et, en particulier, nous pouvons soit calculer les valeurs de quadrupôles correspondant à des optiques différentes de celles présentées ci-dessus soit, en cas de panne de l'un ou l'autre élément, retrouver des valeurs acceptables d'adaptation permettant la continuation de l'opération des machines avec un minimum de pertes.

Dans un proche avenir, il sera possible avec le programme interactif de lire dans la base de données les valeurs des quadrupôles d'une ligne et de calculer directement à partir de celles-ci les émittances du faisceau obtenues le long et en bout de ligne.

Je remercie Uli Raich qui a installé le programme Trace 3D sur la console du Linac 1 et qui m'a initiée à son utilisation ainsi que Pierre Têtu qui m'a donné les informations nécessaires pour réaliser ce travail.

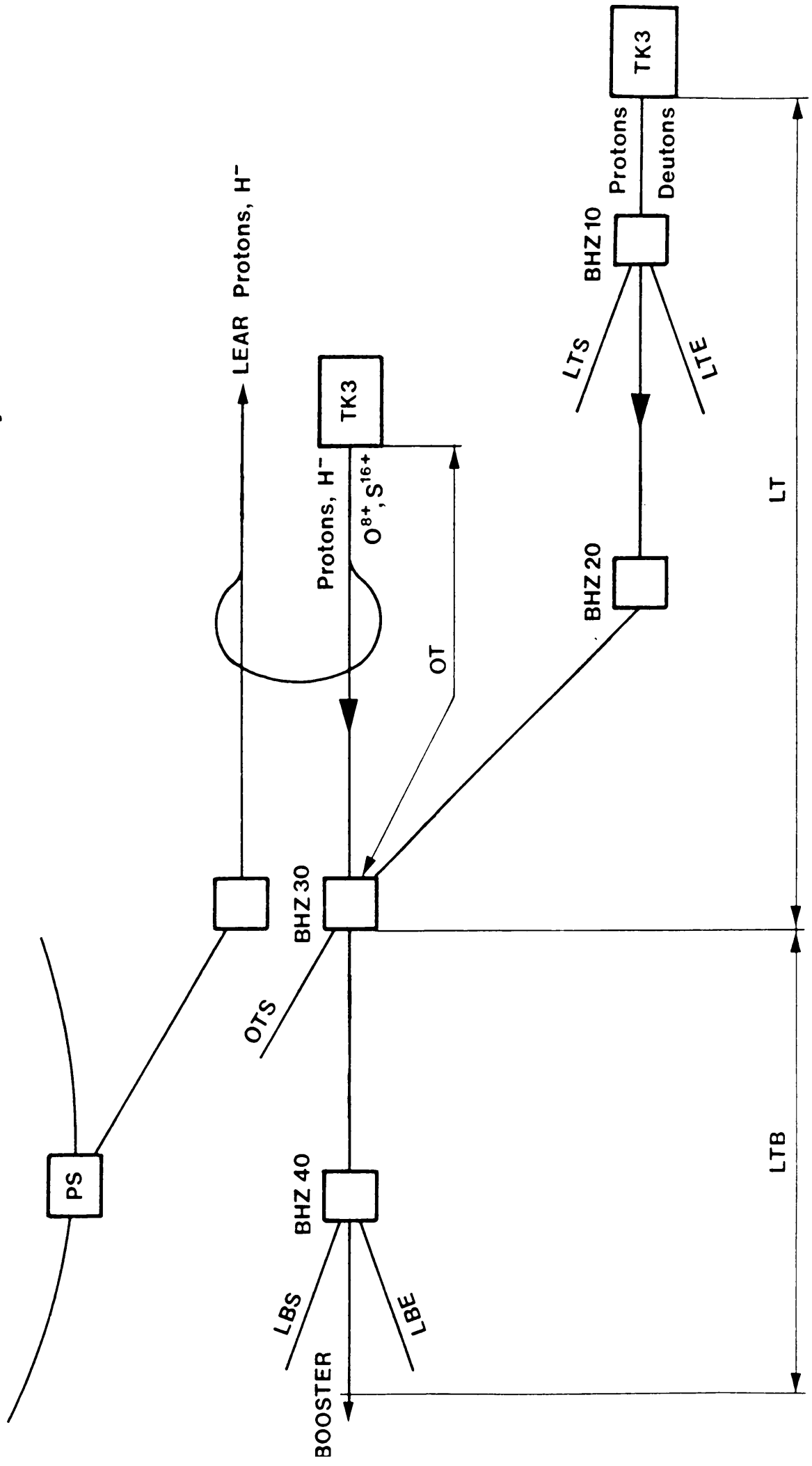
Références

P. Têtu,
New Linac Three Phase Planes Pulsed Emittance Measurement,
Linear Accelerator Conference,
Montauk, New York, USA, 1979

H. Haseroth & al.,
Ions Acceleration in the CERN Linac 1,
Linear Accelerator Conference,
Stanford, California, USA, 1986

P. Têtu,
Lignes d'injection et de mesures (Linacs 1 et 2),
PS/LI/Note 87-2

Fig. 1: Ensemble des lignes d'injection et de mesure



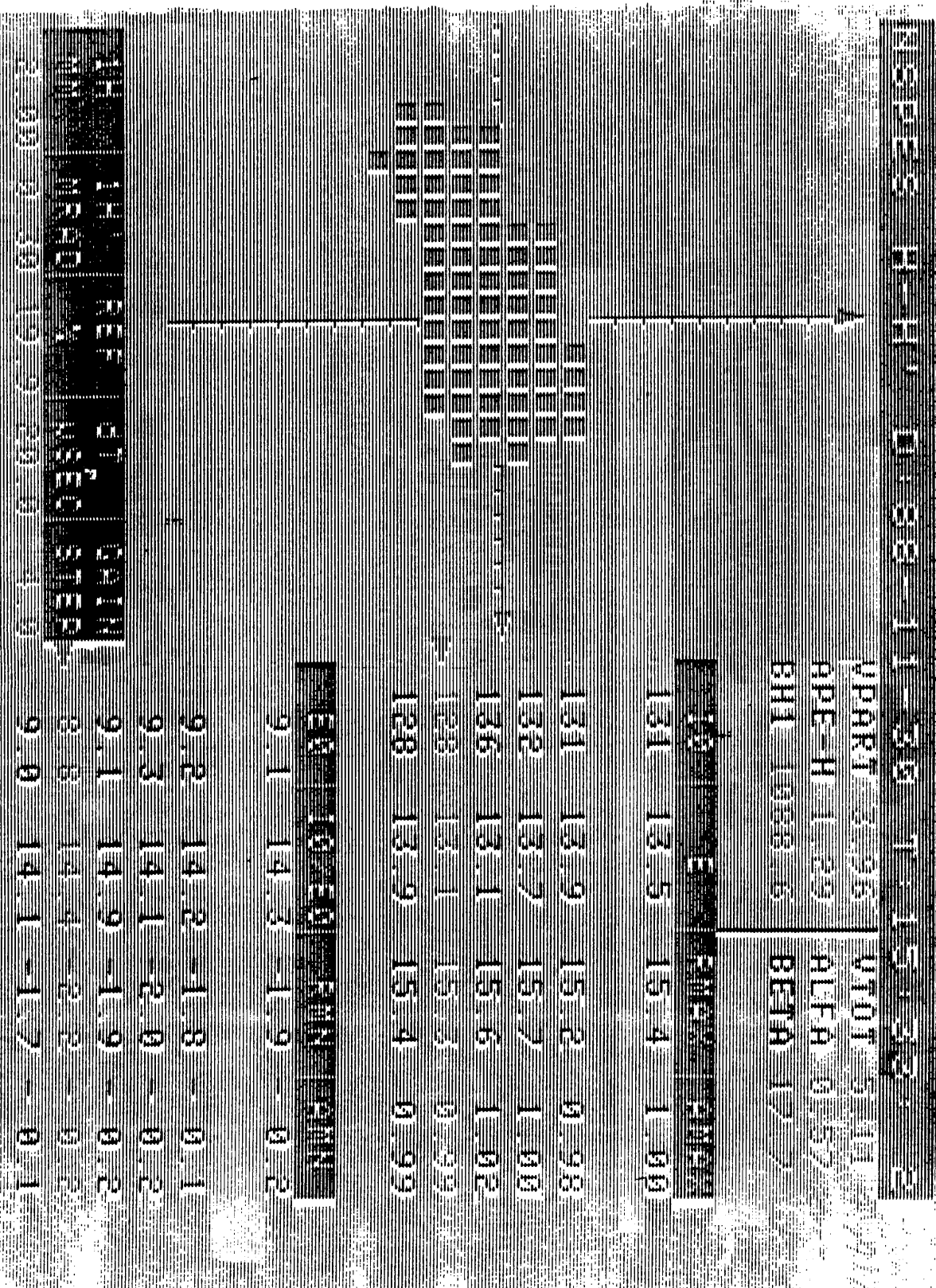


Fig. 2: Mesure du plan horizontal dans la ligne LTE

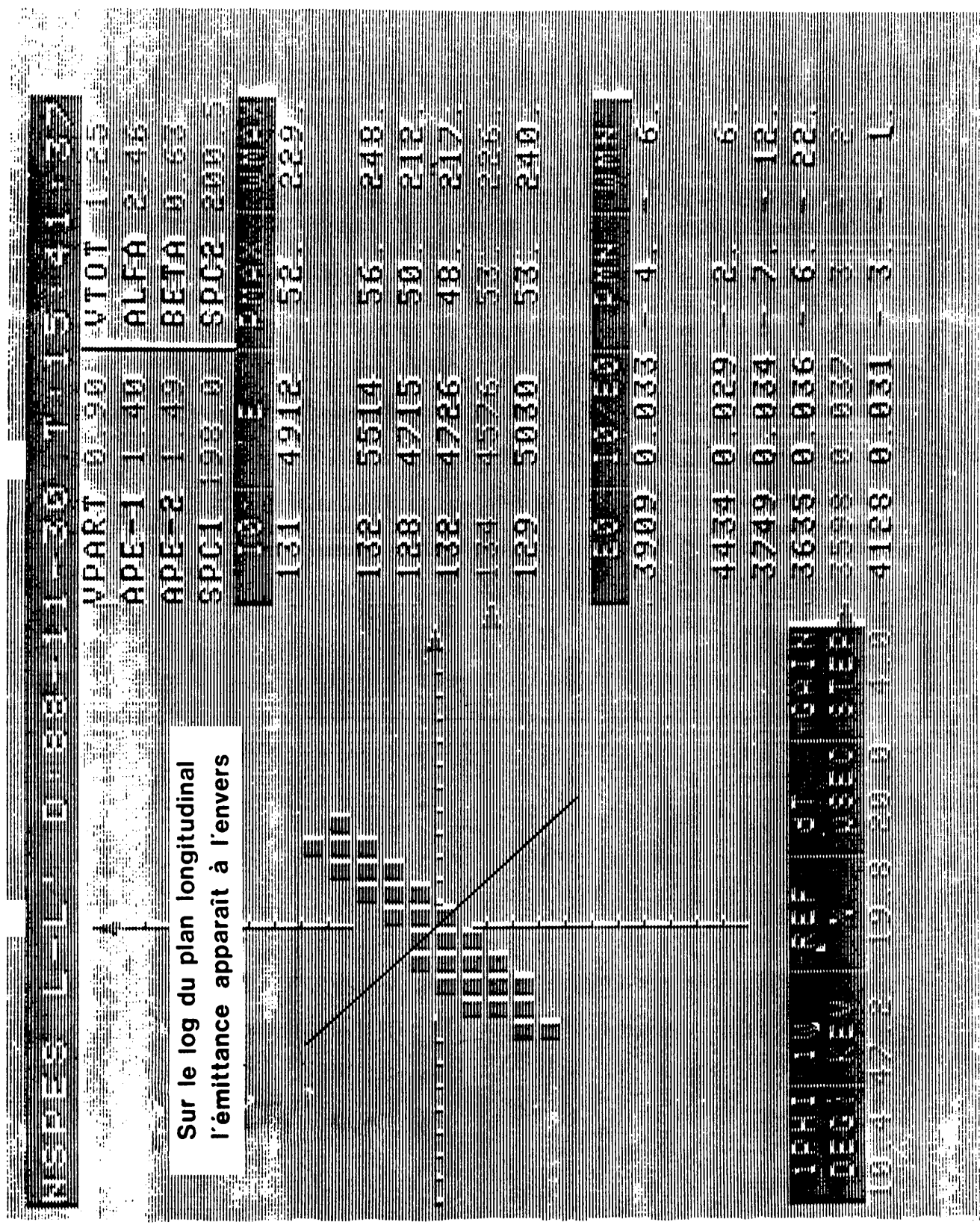


Fig.4: Mesure du plan longitudinal dans la ligne LTS

A= 1.050	B= 1.4159	H
A= -0.888	B= 0.9049	V
50.0 MM X 5.0 MRAD		
A= 1.026	B= 0.3678	Z
180.0 DEG X 500.0 KEV		

FILE LTE.DAT
GENERATED 01-DEC-88 14.36.56
I= 140.0
EMIT= 12.00 10.00 4500.00
EMIT0= 12.12 10.00 4502.62
W= 50.000 50.000

A= -0.570	B= 17.7000	H
A= -2.380	B= 16.3000	V
50.0 MM X 5.0 MRAD		
A= 2.460	B= 0.6300	Z
180.0 DEG X 500.0 KEV		

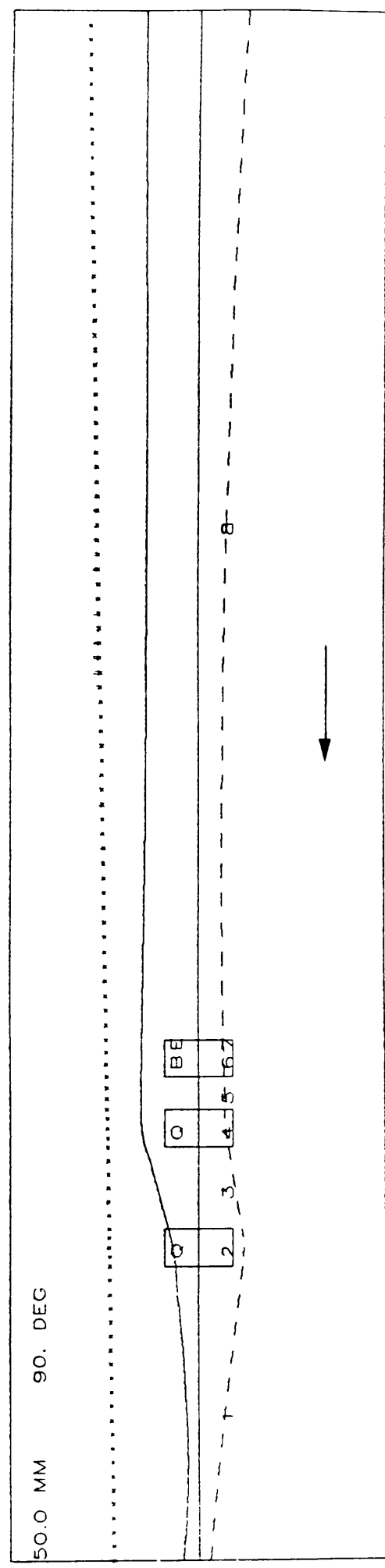


Fig.5: Trajectoire et calcul du faisceau (en arriere) de LTE à la sortie du tank 3

Emission d'entrée

A= 1.050	B= 1.4159	H
A= -0.888	B= 0.9049	V
50.0 MM X 5.0 MRAD		
A= 1.026	B= 0.3678	Z
180.0 DEG X 500.0 KEV		

FILE LTTB.DAT
 GENERATED 20-JUL-89 09.20.37
 I= 140.0
 EMPI= 12.12 10.00 4502.00
 EMTO= 12.52 10.00 4486.94
 W= 50.000 50.000

Emission de sortie

A= -0.671	B= 6.8648	H
A= 2.705	B= 4.5525	V
50.0 MM X 5.0 MRAD		
A= 5.566	B= 3.8258	Z
180.0 DEG X 500.0 KEV		

Dégroupeur

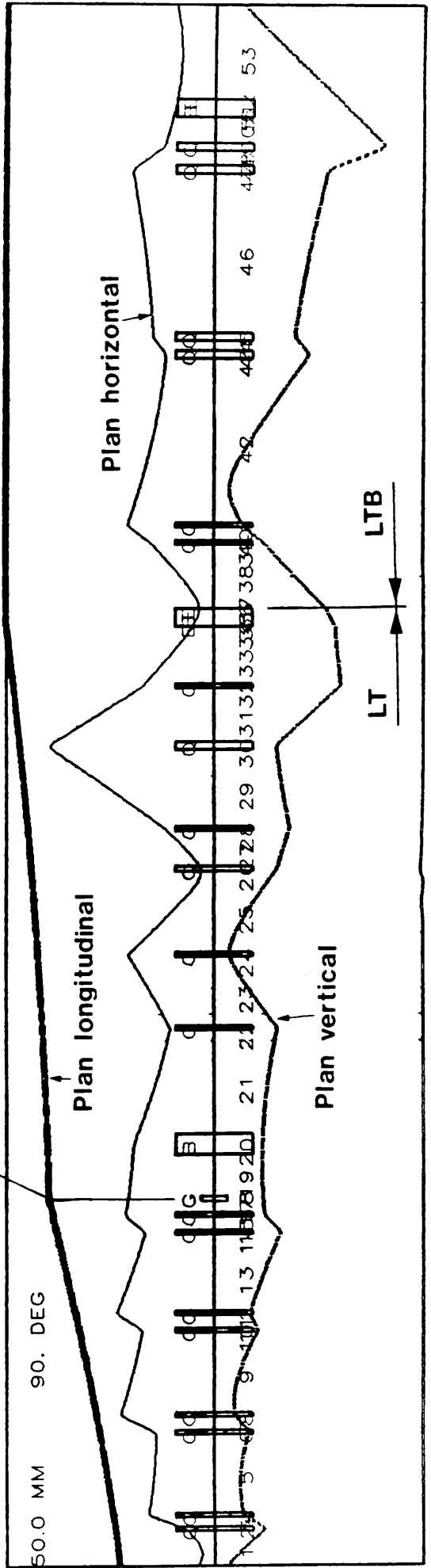


Fig. 6. Trajectoire extrême du faisceau et dimension des éléments du tank 3 à la ligne IRF

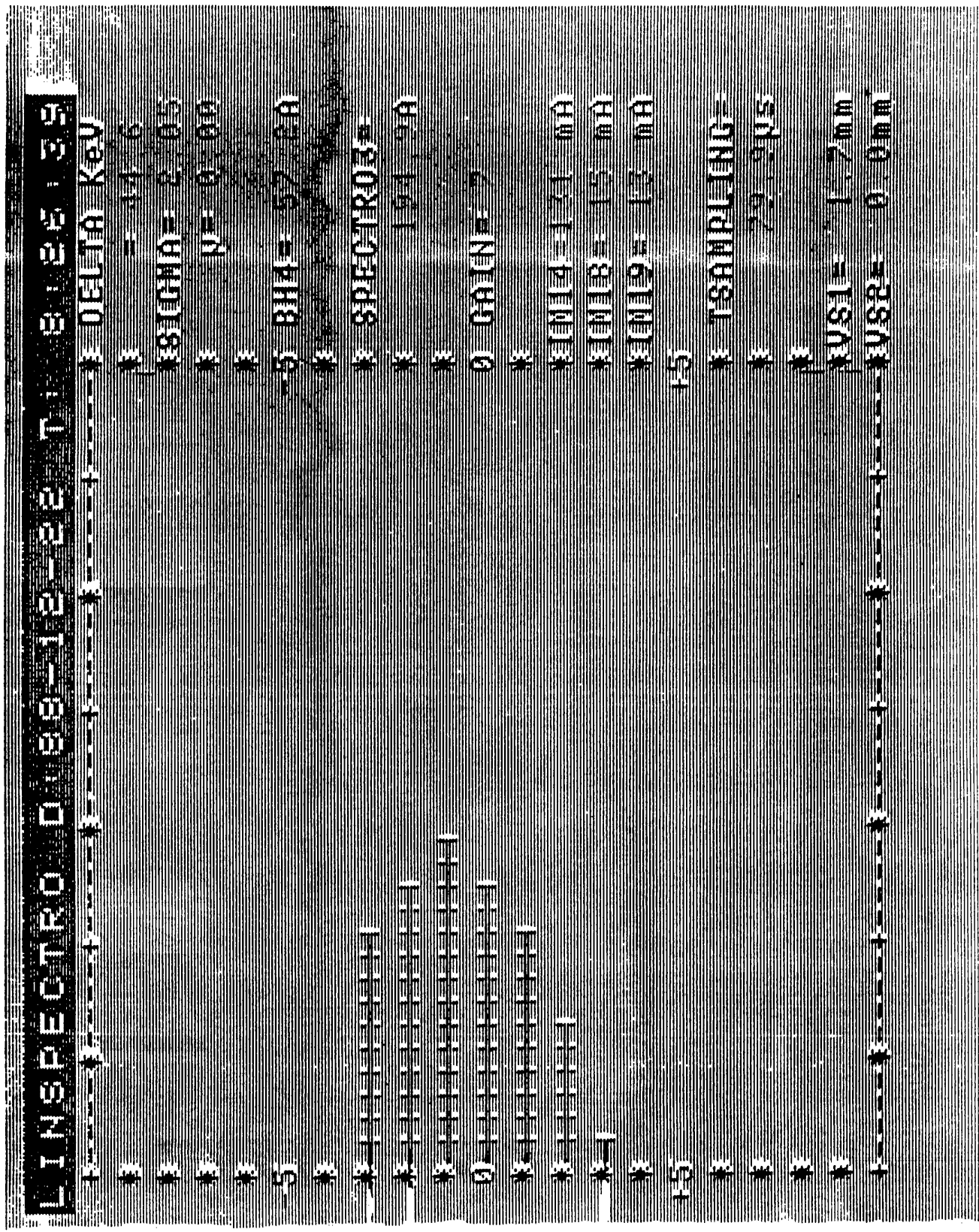


Fig.9: Mesure de la dispersion d'énergie dans la ligne LBS

A= -0.728	B= 3.3519	H
A= -1.030	B= 5.3009	V
50.0 MM X 5.0 MRAD		
A= -0.012	B= 0.8008	Z
180.0 DEG X 500.0 KEV		

A= 0.267	B= 4.0773	H
A= -0.065	B= 4.9070	V
50.0 MM X 5.0 MRAD		
A= 0.139	B= 0.8162	Z
180.0 DEG X 500.0 KEV		

FILE OTL.DAT
 GENERATED 20-JUL-89 09.37.35
 I= 0.0
 EMIT1= 30.00 30.00 3602.00
 EMIT0= 30.00 30.00 3602.00
 W= 49.400 49.400

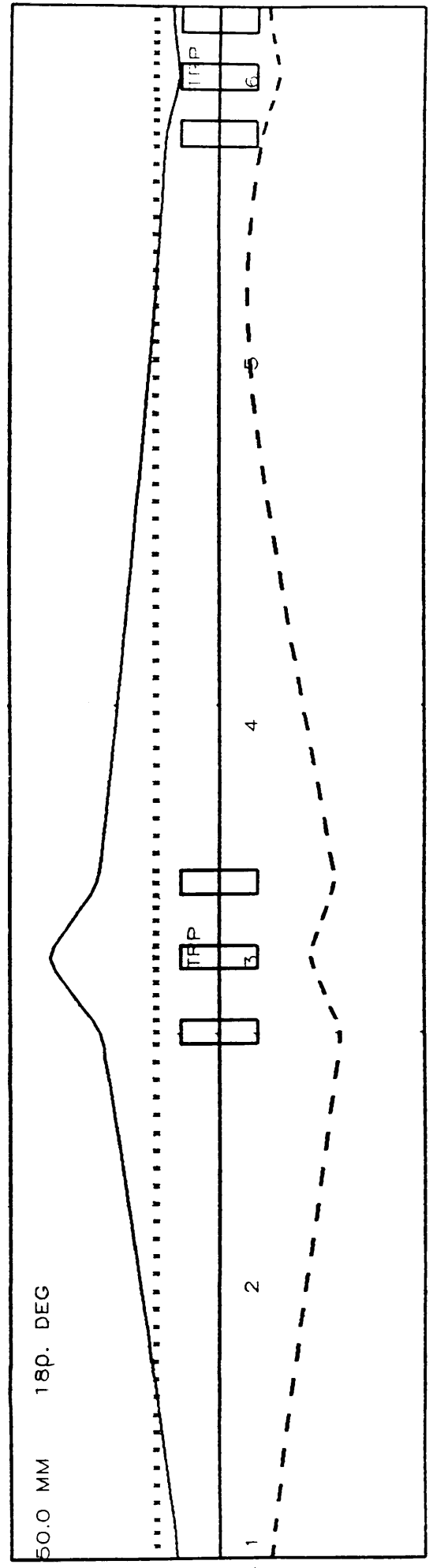


Fig.10: Adantation du faisceau protons pour LEAR

FILE OTB.DAT
 GENERATED 20-JUN-89 09.34.31
 I= 0.0
 EMITI= 30.00 30.00 3602.00
 EMITO= 30.05 30.00 3604.36
 W= 23.560 23.560

A= 0.737	B= 6.6313	H
A= -0.649	B= 10.4355	V
50.0 MM X 5.0 MRAD		
A= 1.036	B= 1.6604	Z
180.0 DEG X 500.0 KEV		

A= -0.920	B= 7.2300	H
A= 0.900	B= 4.1000	V
50.0 MM X 5.0 MRAD		
A= 2.560	B= 6.0480	Z
180.0 DEG X 500.0 KEV		

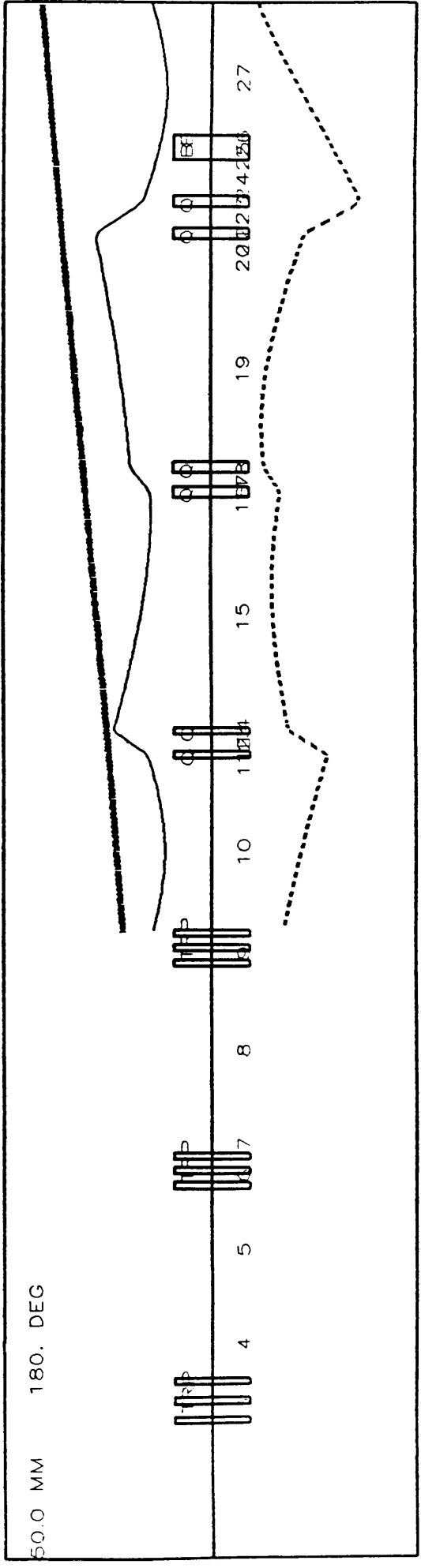


Fig.11: "Marche arrière" de LBE au troisième triplet indiquant l'adaptation voulue

FILE OTADA.DAT

GENERATED 28-JUN-89 10:22:22

I= 0.0

EMITI= 30.00 30.00 3602.00

EMITO= 30.00 30.00 3602.00

W= 23.560 23.560

A= -0.549	B= 3.3777	H
A= -1.128	B= 5.1419	V
50.0 MM X	5.0 MRAD	
A= -0.000	B= 0.8007	Z
180.0 DEG X	500.0 KEV	

A= 0.737	B= 6.6300	H
A= -0.650	B= 10.4400	V
50.0 MM X	5.0 MRAD	
A= 1.036	B= 1.6600	Z
180.0 DEG X	500.0 KEV	

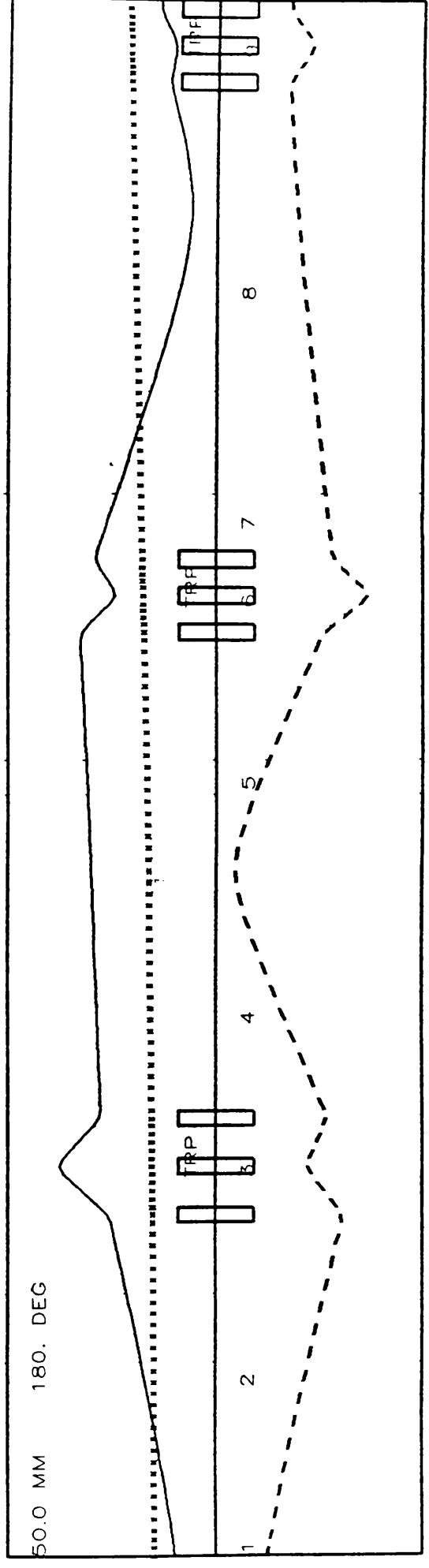


Fig. 12: Adaptation de l'émission du Linac 1

FILE OTB.DAT
 GENERATED 27-JUN-89 09.29.45
 I= 0.0
 EMITI= 30.00 30.00 3602.00
 EMITO= 30.13 30.01 3608.06
 W= 23.560 23.560

A= -0.630	B= 3.3700	H
A= -1.300	B= 5.0000	V
50.0 MM X 5.0 MRAD		
A= -0.152	B= 0.3609	Z
180.0 DEG X 500.0 KEV		

A= -0.840	B= 6.7032	H
A= 1.194	B= 4.5972	V
50.0 MM X 5.0 MRAD		
A= 5.649	B= 11.6288	Z
180.0 DEG X 500.0 KEV		

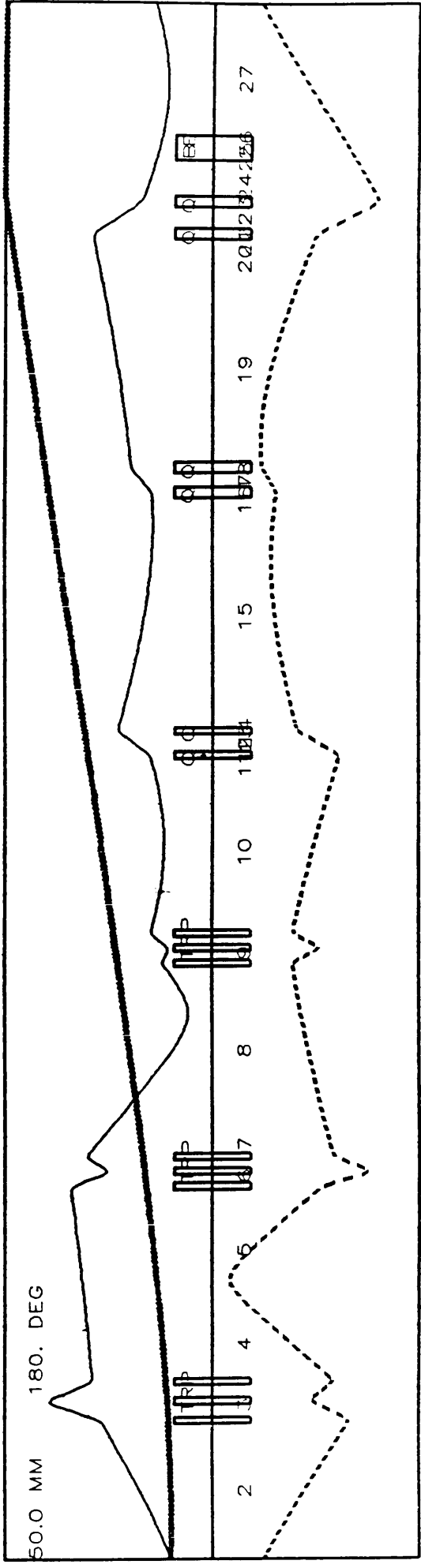


Fig. 13: Adaptation finale du faisceau d'ions

Distribution

Chefs de sections

Gelato G.
Hill Ch.
Tétu P.
Warner D.
Weiss M.

HI-S.M.

Bernard L.
Charmot H.
Dutriat C.
Tanke E.
Vallet J.L.

Booster supervisors

Cyvoct G.
Malandain E.
Rasmussen N.
Schindl K.
Schneider G.
Schönauer H.

Opérateurs HI

Arruat M.
Cyvoct G.
Jubin G.
Mangeot B.
Ovalle F.
Pasinelli S.
Ruelle M.

Boillot J.
Knott J.
Haseroth H.
Magnani L.
Perriollat F.
Raich U.