

LES KICKERS, EJECTION ET RECOMBINAISON DU BOOSTER

ETAT - AMELIORATIONS (?)

J.P. Delahaye

1. IMPORTANCE DE CES ELEMENTS

Le mécanisme même de l'éjection et de la recombinaison verticale des quatre anneaux Booster nécessite le fonctionnement de sept kickers (quatre d'éjection et trois de recombinaison). De plus, chacun des faisceaux individuels traverse obligatoirement trois de ces kickers (un horizontal et deux verticaux). Chacun de ces éléments pouvant perturber un ou plusieurs paquets du faisceau injecté au PS, un soin tout particulier a été apporté tout d'abord à leur définition [1] puis à leur construction [2], et enfin à leur mesure [3,4]. En outre, à chaque démarrage, leur synchronisation est vérifiée et finement optimisée.

Actuellement le transfert au PS des faisceaux haute intensité du Booster d'émittances verticales doubles de celles initialement prévues pour l'intensité nominale, a rendu critique l'influence de ces kickers pour deux raisons:

- leur déflexion a dû être augmentée de  $\sim 30\%$ , les obligeant à travailler à la limite de la tenue en tension des éléments;
- les marges de sécurité en acceptation sont réduites autant dans la ligne de transfert qu'à l'injection PS.

Le but de cette note consiste à faire le point sur l'état de ces kickers puis en déduire si certaines améliorations [5] récemment proposées, pourraient être entreprises pour améliorer les plus critiques de ces éléments.

2. INFLUENCE SUR LE FAISCEAU DE LA QUALITE DES KICKERS

Tout misteering d'un faisceau d'émittance  $\epsilon$  et de paramètres d'adaptation  $\alpha$  et  $\beta$  ou G et B, causé par une déflexion parasite  $\theta$  (en mrad) entraîne un grossissement transversal géométrique  $\Delta\epsilon/\epsilon$  donné par la formule:

$$\Delta\epsilon/\epsilon = 2\theta\sqrt{\beta/\epsilon} + \frac{\theta^2\beta}{\epsilon}$$

$$\Delta\epsilon/\epsilon = \frac{2\theta}{\sqrt{\epsilon G}} + \frac{\theta^2}{\epsilon G}$$

Ce "blow-up" est ainsi minimal pour un faisceau présentant un noeud (waist) aussi petit que possible ( $\beta$  minimal,  $G$  maximal) dans le plan de déflexion à l'endroit du kicker.

Aussi l'adaptation du faisceau dans la ligne de transfert a-t-elle été optimisée dans ce sens pour minimiser les perturbations dues aux "défauts" des kickers, ou inversement pour imposer le minimum de contraintes aux kickers:

Plan	Kicker	Déflexion nominale	Caractéristiques du faisceau dans les kickers					Blow-up causé par $\pm 2\%$ de déflexion parasite
			$\epsilon$	$\alpha$	$\beta$	G	B	
Horizontal	E i K i = 1,2,3,4	7 mrad	32 $\pi$	0	5,72	0,175	0	12%
Vertical	T i K i = 1,4	8 mrad	12 $\pi$	0,14	2,29	0,437	0,06	14%
Vertical	T K 2	7 mrad	12 $\pi$	0,02	2,26	0,443	-0,01	12%

Les divers "défauts" de kicker introduisant des déflexions parasites peuvent être classés en trois catégories:

- le temps de montée (de 5 à 95% de la déflexion nominale): défini à 60 ns, il laisse 65 ns pour le passage de paquets d'émission longitudinale de 12 mrad;
- la forme du début du plateau (absence d'overshoot ou undershoot);
- le ripple et la constance du plateau.

Des erreurs de  $\pm 2\%$  pour ces deux derniers points communs prévues [1] lors de la construction sont suivant le tableau ci-dessus le maximum admissible.

### 3. MESURES ET REGLAGE "OPTIMAL"

#### a) Champ magnétique intégré ou déflexion de faisceau

Celle-ci pourrait être obtenue après calibration par une fonction de la haute tension appliquée.

Afin d'être plus précis et de tenir compte de la variation du champ le long du pulse, cette mesure est obtenue par intégration du signal obtenu par une boucle de mesure placée spécialement à l'intérieur du kicker. Des comparaisons [4] avec la déflexion réelle correspondante du faisceau détectée sur les pick-up en aval

du kicker ont montré (Fig. 1) que cette mesure souffre malheureusement d'un offset constant mais différent pour chaque kicker. Une calibration de cette boucle *in situ* permettrait de revalider cette mesure d'autant plus nécessaire que c'est par son biais que l'opération routinière ajuste et surveille le bon fonctionnement des kickers.

b) Adaptation - Réglage de la Steepening Line

La boucle de mesure décrite ci-dessus, donne une idée (Fig. 2) de la forme du pulse mais le signal y est déformé par le temps de propagation de l'onde dans le kicker.

Ainsi pour avoir une mesure plus directe et plus sensible de l'adaptation de la ligne, un transformateur rapide adapté à la sortie de l'alimentation a été développé par G. Nassibian et a permis un réglage idéal de la Steepening Line que l'on a pu vérifier [4] avec la boucle de mesure (Fig. 2). On constate alors que pour un temps de montée du courant de  $\sim 10$  ns, celui du champ magnétique dépasse 50 nsec.

c) Forme du pulse et synchronisation sur les paquets par mesure directe sur le faisceau

Cette mesure, longue et fastidieuse, reste néanmoins la plus directe et la plus précise [3,4]. Elle consiste pour différents timing de déclenchement du kicker (par pas de 10 nsec) à mesurer la position de chacun des paquets (espacés de 125 nsec) du faisceau défléchi et en déduire la déflexion correspondante et donc la forme du pulse de champ magnétique. La Figure 3 représente pour chacun des kickers (sauf E1K) cette forme (temps de montée, over ou undershoot, ripple sur le palier) dans le cas de déflexion opérationnelle et avec un réglage optimal de la Steepening Line.

4. CARACTERISTIQUES PRINCIPALES DES DIFFERENTS KICKERS

Le tableau ci-dessous déduit des Fig. 3, résume leurs principales caractéristiques.

Kicker	Montée	Arrivée sur le palier			Palier
	Temps (nsec)	Type	Longueur (ns)	% maximal d'erreur	% de ripple
E 2K	80	overshoot	180	3%	$\pm 1\%$
E 3K	65	undershoot	55	3%	$\pm 1\%$
E 4K	60	undershoot	70	6%	$\pm 1\%$
T1K01	40	undershoot	70	10%	$\pm 1\%$
T4K01	60	overshoot	130	2%	$\pm 1\%$
T K02	70	overshoot	220	3%	$\pm 1\%$

On en conclut:

- i) que les temps de montée sont proches des spécifications (60 ns) sauf pour TK02 et E2K,
- ii) que les paliers semblent suffisamment stables ( $\sim \pm 1\%$ ),
- iii) que les arrivées sur les paliers provoquent parfois soit des overshoot très longs (jusqu'à 220 ns pour TK02) soit des undershoot très forts (jusqu'à 10% d'erreur pour T1K01).

## 5. INFLUENCE SUR LE FAISCEAU

La synchronisation kicker-paquets est ajustée finement ( $\pm 5$  nsec) de façon à ce que le centre de charge des différents paquets voit un champ magnétique aussi proche que possible du champ nominal. Suivant la forme et le type des défauts, il est ainsi parfois possible d'éviter des défauts importants et n'obtenir ainsi qu'une influence négligeable sur le faisceau même si la forme du pulse paraît à priori très mauvaise. En ce sens, il est clair qu'un temps de montée rapide est toujours un gros avantage car il laisse plus de marge de réglage, mais aussi qu'un overshoot même faible est toujours plus dangereux qu'un undershoot car il est souvent facile de placer ce dernier entre deux paquets (c'est le cas pour T1K01).

Ainsi, après optimisation de cette synchronisation, le tableau ci-dessous résume les diverses déflexions parasites provenant des différents kickers.

Kicker	Perturbation		Déflexion parasite	Blow-up géométrique	Blow-up de 95% de particules
	du paquet	de l'anneau			
E2K	1	2	+ 0,2 ns	17%	5%
	2	2	+ 0,1 ns	9%	2%
E3K	1	3	- 0,1 ns	8%	2%
E4K	1	4	- 0,1 ns	8%	2%
T1K01	1	1	- 0,1 ns	9%	2%
T4K01	1	4	+ 0,1 ns	9%	2%
T K02	1	2	+ 0,25 ns	23%	10%
	2	2	+ 0,20 ns	18%	5%

Les photos de la Fig. 4 confirment ce résultat: elles montrent les différences de positions horizontales et verticales des 20 paquets dans la ligne de mesure; en dehors des petites différences entre anneaux dont les kickers ne peuvent être tenus pour responsables, les seuls paquets dont le mésalignement soit supérieur à  $\frac{1}{2}$  mm sont les deux premiers de l'anneau 2 en vertical à cause de TK02 et le premier de l'anneau 2 en horizontal à cause de E2K. L'observation de cet alignement montre que le kicker E1K a une influence négligeable et donc que sa mesure précise, bien que très souhaitable, n'est pas absolument nécessaire.

6. CONCLUSION: AMELIORATIONS (?)

Les mesures sur les kickers et l'observation du faisceau concordent pour montrer que les performances de deux kickers pourraient être utilement améliorées avec en première priorité TK02 et en seconde EK2, ceci pour plusieurs raisons:

- a) diminution du blow-up dans le PS: le 1<sup>er</sup> bunch de l'anneau 2 subit un blow-up vertical de 10% pour 95% de ses particules;
- b) diminution des pertes aux limites d'acceptance: le blow-up vertical géométrique pour 100% des particules atteint 23% pour ce même paquet;
- c) diminution des oscillations bétatroniques dans le PS qui peuvent à la limite, soit déclencher des instabilités, soit saturer le feedback transversal correspondant;
- d) assurer un transfert propre du faisceau BR, ce qui limiterait les incertitudes en cas de mauvaise injection au PS.

Ces deux kickers sont d'autant plus néfastes qu'ils perturbent chacun les deux mêmes paquets.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier J.-F. Labeye et A. Plunser pour leur aide effective dans les mesures des kickers et le soin apporté au réglage des Steepping Lines ainsi que G. Nassibian pour tout l'intérêt qu'il a déjà pris à développer des transformateurs de mesure, mais aussi pour celui qu'il prendra, je l'espère, à tenter d'améliorer encore la performance de ces éléments fondamentaux de la recombinaison verticale des quatre anneaux du Booster.

Distribution:

BOC  
Equipe 800 MeV  
B. Frammery  
J.F. Labeye  
G. Nassibian  
K.H. Reich  
A. Plunser

REFERENCES

- [1] E. Weisse, Optics of the BR-CPS Transfer System, SI/Note MAE 69-5.
- [2] A. Bruckner, A non linear step-pulse steepening delay line, CERN 68-25.  
A. Bruckner, Kicking Protons fast and cheap, Proc. US Particle Accelerators Conf., Chicago 1971, IEEE Trans. Nucl. Sci. NS-18, 1976.
- [3] M. Le Gras, C. Metzger, D. Williams, PSB 800 MeV Transfer Line, Examination of ejection and recombination kicker performance, MPS/BR Note 75-21.
- [4] J.P. Delahaye, Compte rendu des ME-BR 139a (mai 1976) et 143b (juillet 1976),  
Compte rendu du ME-BR du 7.5.1977.
- [5] G. Nassibian, Travelling wave kicker magnets with sharp rise and less overshoot,  
CERN/PS/BR 79-5.

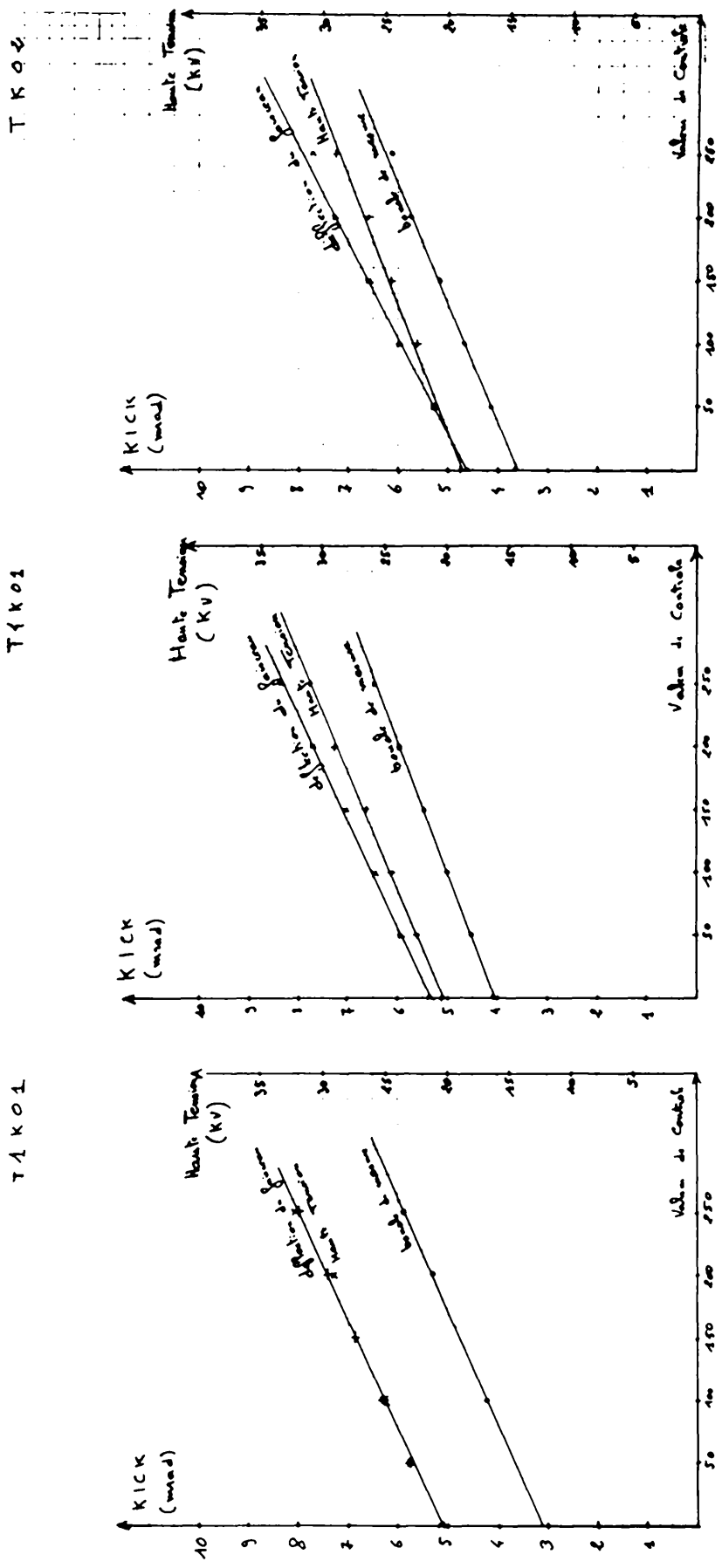
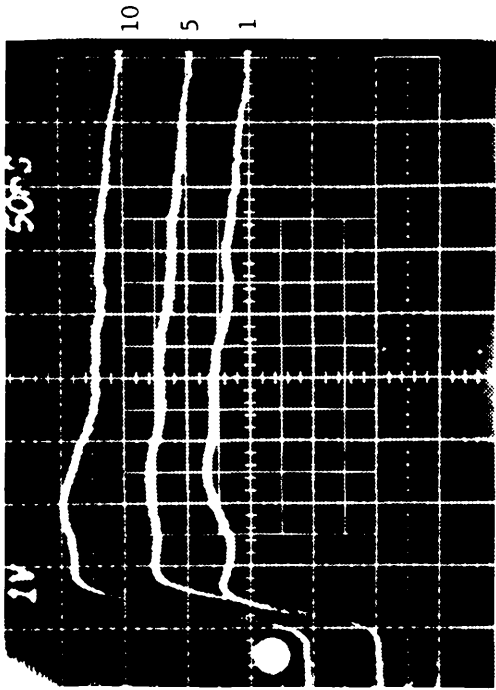


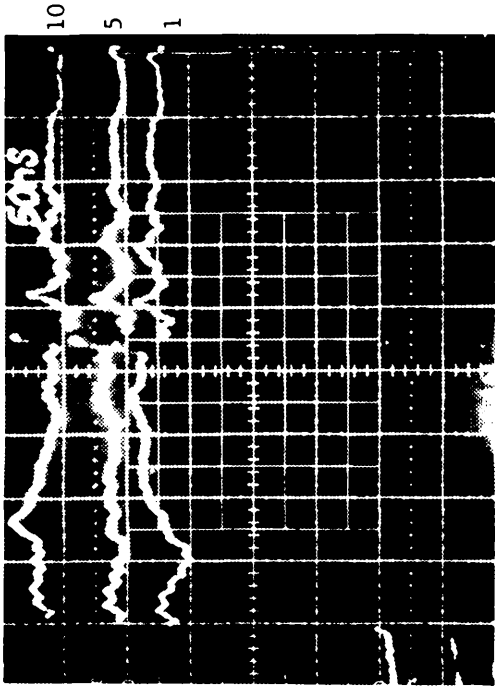
Fig. 1 Comparaison de la valeur effective en mrad de la déflexion mesurée sur le faisceau avec celle donnée par la boucle de mesure.

Boucle magnétique dans le kicker

E1K (HT = 31 kV)



Transformateur de courant  
(sortie alimentation)



E2K (HT = 28,5 kV)

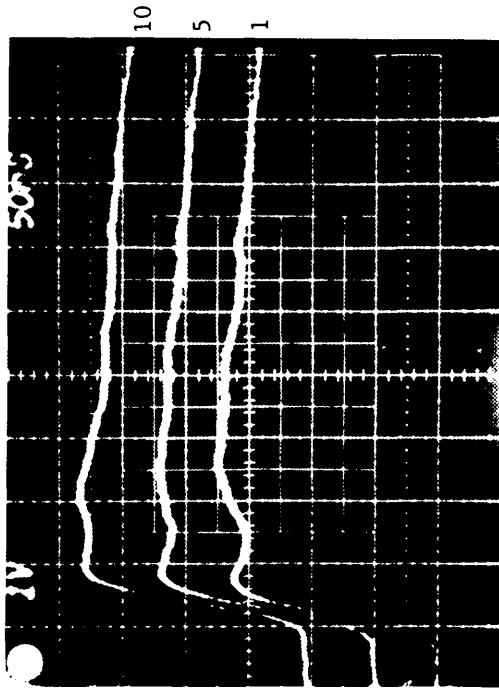
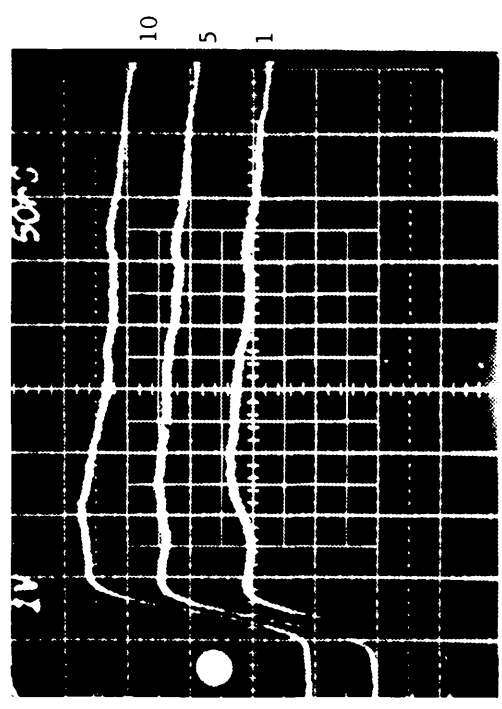


Fig. 2a) Comparaison des signaux de courant alimentation et de la boucle de mesure dans les kickers d'éjection (E1K-E2K) (pour différents réglages de la Steepening Line).

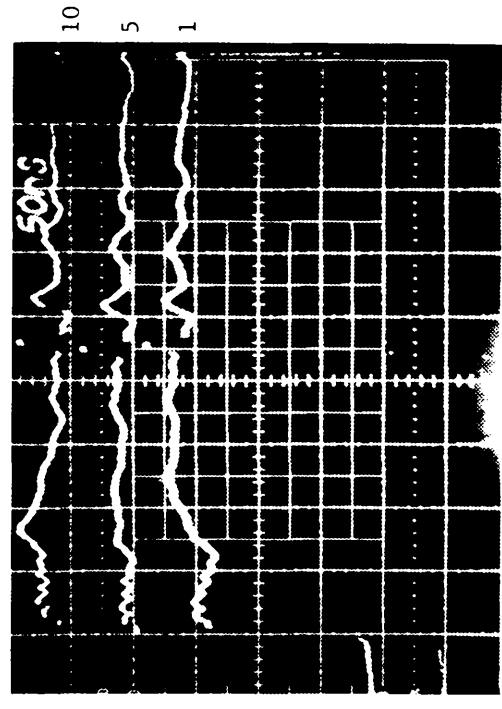


Boucle magnétique dans le kicker

E3K (HT = 30,5 kV)



Transformateur de courant  
(sortie alimentation)



E4K (HT = 29,5 kV)

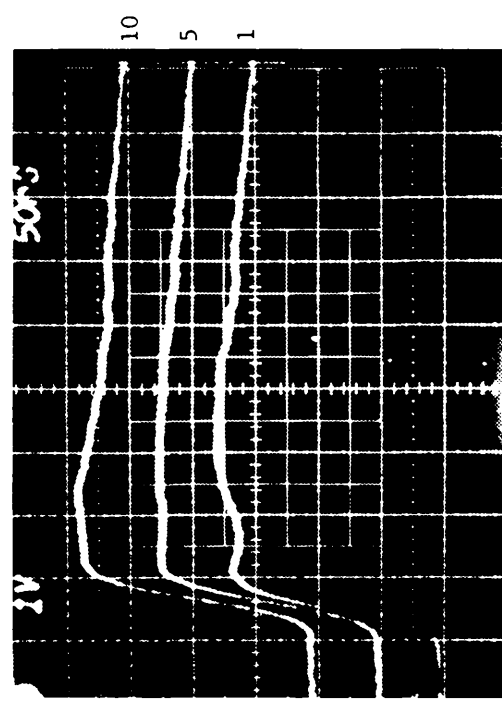
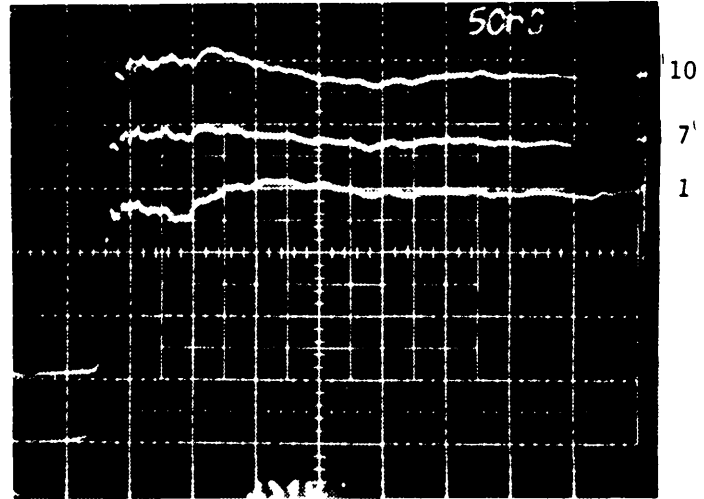
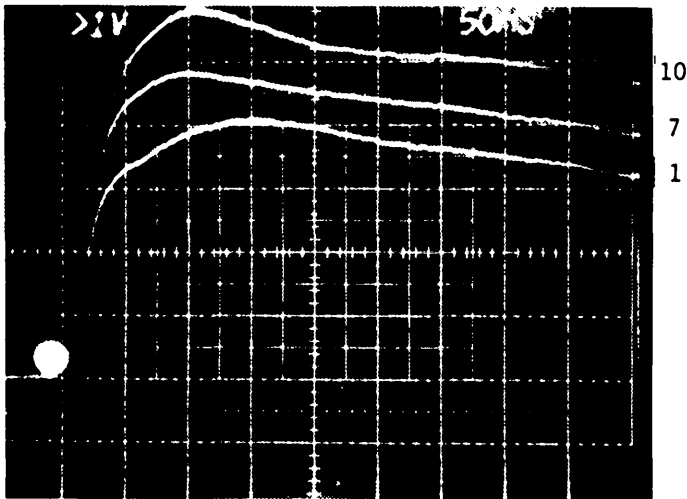


Fig. 2b) Comparaison des signaux de courant alimentation et de la boucle de mesure dans les kickers d'éjection (E3K-E4K) pour différents réglages de la Steepening Line.

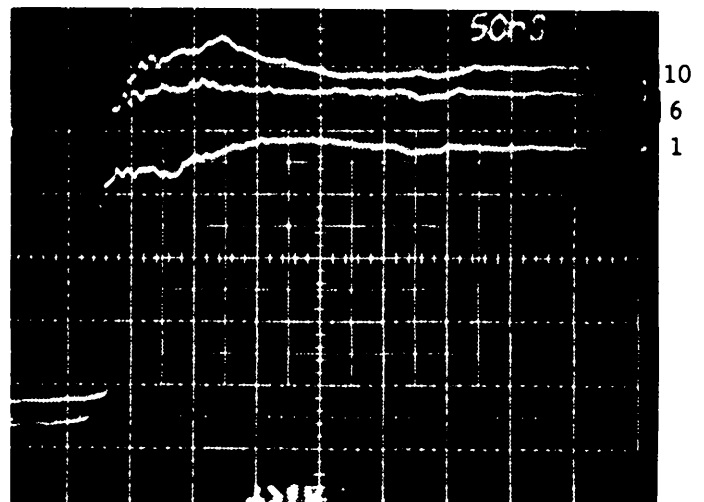
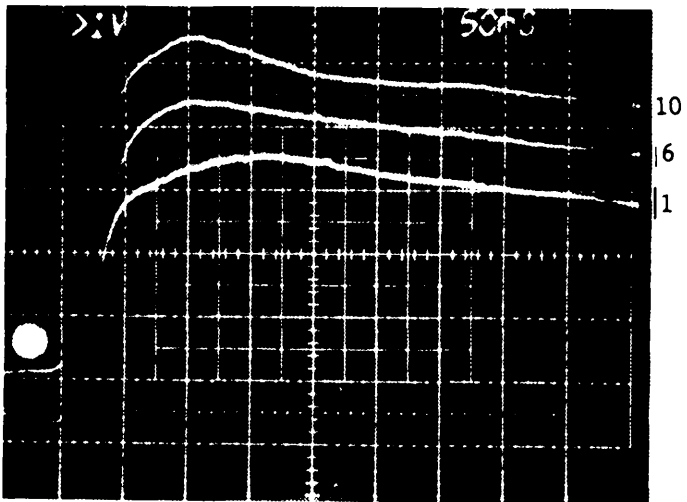
Boucle magnétique dans kicker

Transformateur de courant  
(sortie alimentation)

T1K01 (HT = 27,0 kV)



T4K01 (HT = 28,5 kV)



TK02 (HT = 28,5 kV)

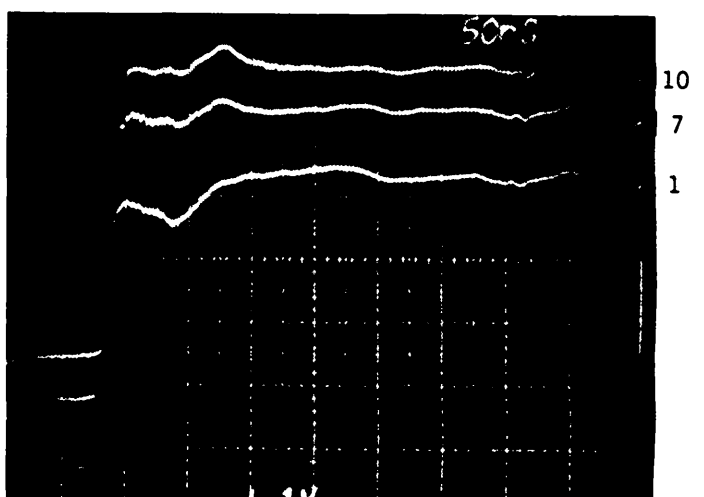
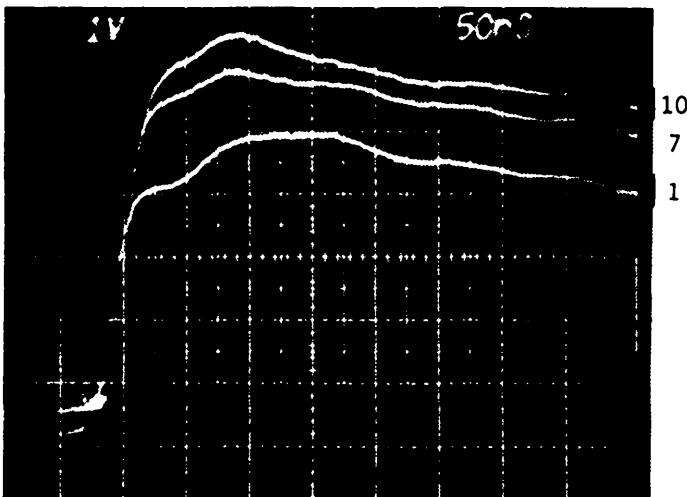


Fig. 2c) Comparaison des signaux de courant alimentation et de la boucle de mesure dans les kickers de recombinaison pour différents réglages de la Steepening Line.

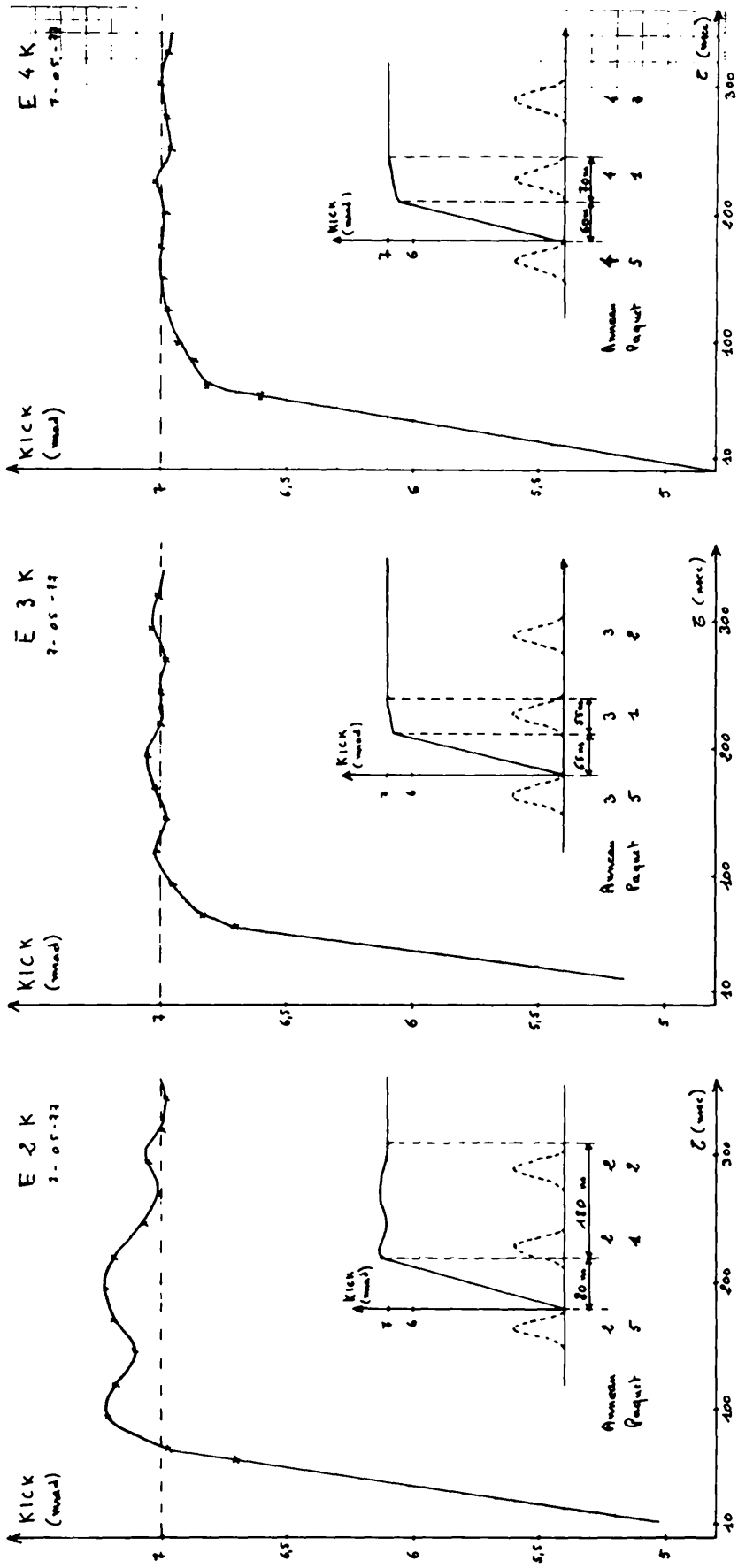


Fig. 3a) Mesures par le faisceau de la forme du pulse des kickers d'éjection.

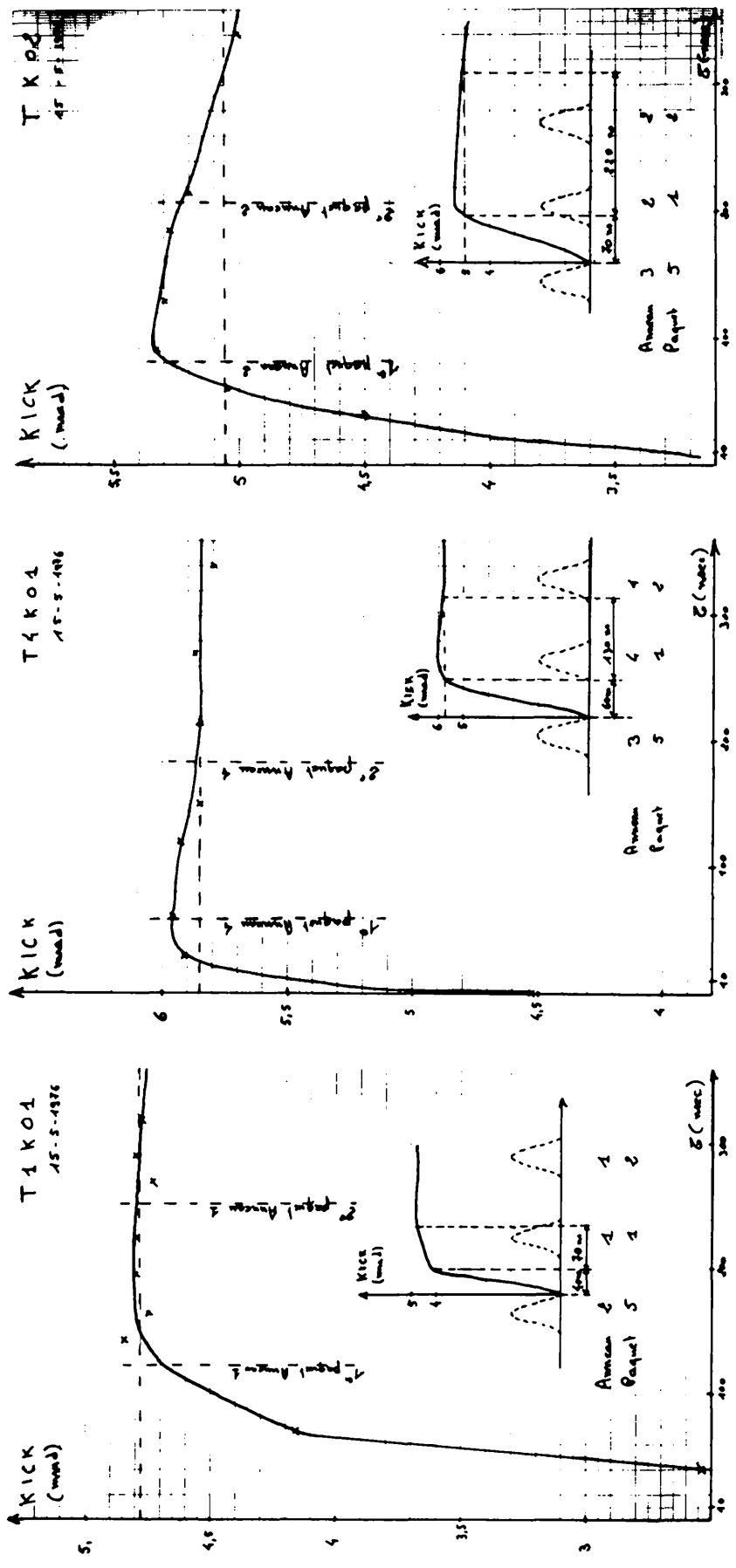
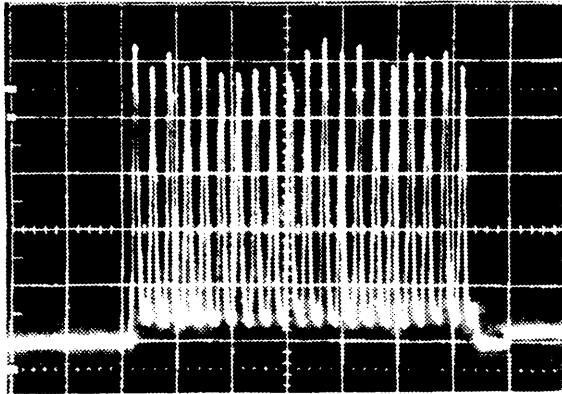


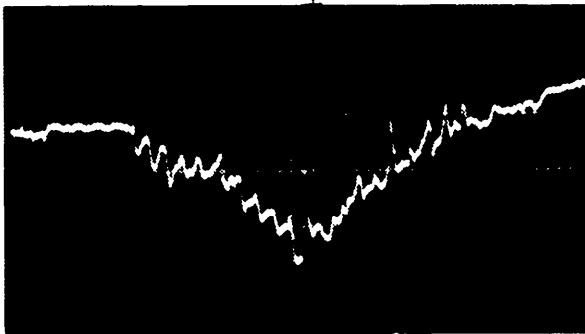
Fig. 3b) Mesures par le faisceau de la forme du pulse des kickers de recombinaison.



Signal  $\Sigma$  de la Pick up TSU2  
 20 paquets =  $1,6 \times 10^{13}$  ppp

Anneaux | 3 | 4 | 2 | 1 |

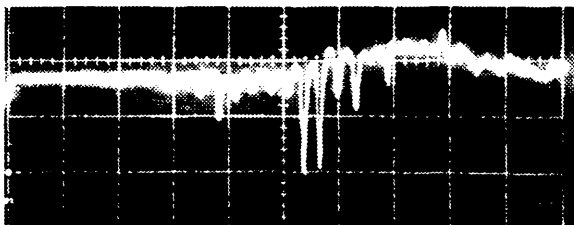
Perturbation horizontale par E2K  
 du 1<sup>er</sup> paquet de l'anneau 2



Signal  $\Delta$  horizontal, Pick up TSU1  
 1 carreau  $\leftrightarrow$  1 mm

Anneaux | 3 | 4 | 2 | 1 |

Perturbation verticale par TK02  
 des deux premiers paquets de l'anneau 2



Signal  $\Delta$  vertical, Pick up TSU2  
 1 carreau  $\leftrightarrow$  1 mm

Anneaux | 3 | 4 | 2 | 1 |

Fig. 4 Mésalignement des 20 paquets BR dans la ligne de mesure à 800 MeV à cause des kickers d'éjection (en horizontal) ou de recombinaison (en vertical). N.B.: Pour avoir une meilleure sensibilité, la restitution de la ligne de base avait été préalablement coupée.