

PS/DL/Note 76-19
PS/OP/Note 76-20
23.7.1976.

PERFORMANCES DES PFW PROVISOIRES A TROIS COURANTS:
RESUME DES ESSAIS EFFECTUES AVEC LE FAISCEAU JUSQU'AU
17 JUILLET 1976

E. Brouzet, J. Gareyte

1. INTRODUCTION

Le meilleur point de fonctionnement du PS à haute intensité (celui avec lequel on évite les causes les plus importantes de dégradation du faisceau) est décrit, au dessus de la transition, par:

$$\left[\begin{array}{ll} Q_H = 6.23 & \xi_H \geq 0 \\ Q_V = 6.31 & \xi_V \geq 0 \end{array} \right] \quad \text{I}$$

Avec ce point on est en effet loin de toute résonance importante et de plus on évite le déclenchement des instabilités transversales de "Head-tail" en satisfaisant à la condition: chromaticités négatives avant la transition, chromaticités positives après la transition⁽¹⁾

Rappelons que le point de fonctionnement "naturel" du PS (celui qu'on peut mesurer vers 10 GeV/c sur la machine sans corrections) est

$$\left[\begin{array}{ll} Q_H = 6.25 & \xi_H = -1 \\ Q_V = 6.30 & \xi_V = -1 \end{array} \right]$$

et qu'à haute énergie ($P > 14$ GeV/c) il s'éloigne encore plus des valeurs optimales. L'évolution de ce point de fonctionnement en Q_H, Q_V est donné dans la référence ⁽²⁾.

Le système PFW provisoire à trois courants (I_F, I_D, I_∞) a été réalisé, très rapidement, pour apporter une solution partielle au problème ci-dessus mentionné. Ses limites étaient connues ⁽³⁾:

- trois courants pour contrôler quatre paramètres: il est peu probable qu'on puisse atteindre le point idéal, même à basse énergie.
- limitation d'efficacité de la boucle en huit autour des culasses à haute énergie.
- limitations des courants des alimentations provisoires.

Les matrices reliant les trois courants aux quatre paramètres à contrôler ont été calculées en détail et avec grand soin par R. Gouiran ⁽³⁾. Néanmoins, une incertitude résiduelle de l'ordre de 10% sur les termes des matrices empêchait une évaluation sûre à priori des performances de ce système: le point de fonctionnement doit être réalisé avec beaucoup de précision.

Nous allons voir que, par chance, cette solution provisoire donne d'excellents résultats: point I quasi-parfait jusqu'à 21 GeV/c. Les limitations à haute énergie, bien que réduites par rapport à ce que l'on attendait, sont réelles. Tous les essais prévus n'ont pu être réalisés par manque de temps: ils se sont révélés extrêmement longs et pénibles (non reproductibilité des alimentations, pannes, ennuis innombrables avec le système de contrôle).

Nous indiquerons ceux qui restent à faire pour évaluer les limitations du système, mais donnerons à ce sujet nos impressions provisoires.

2. CONDITIONS DES MESURES

Comme déjà mentionné ces essais prennent beaucoup de temps et ils auraient demandé de nombreux mois s'ils avaient été faits pendant les périodes d'études ordinaires.

On a bénéficié du "pulse to pulse modulation system" qui nous a permis de travailler en parallèle avec l'opération soit sur le cycle A disponible lorsque le SPS ne prenait pas le faisceau (mise au point de la transition à 10 GeV/c) soit sur un cycle B sur trois pendant les jours où celui-ci nous était alloué (mise au point de 10 GeV/c à 26 GeV/c).

Cet arrangement nous a permis de progresser relativement vite mais, en l'état actuel du système de contrôle, il donne lieu à de nombreuses interférences avec les réglages nécessaires pour l'opération: occupation d'une console, accès quasi-permanent aux réglages des différents GFA employés, utilisation du CODD.

Comme nous le verrons, il reste encore beaucoup d'essais et de mesures à faire, qui nécessiteront un grand nombre d'heures d'étude en parallèle avec l'opération.

La mise au point s'est faite en utilisant les matrices de R. Gouiran⁽³⁾ en deux ou trois itérations: on applique, dans un premier stade, les courants calculés, puis on mesure les Q et ξ , on en déduit à l'aide des mêmes matrices les corrections à apporter aux courants initiaux etc... Souvent à la deuxième itération le point de fonctionnement était obtenu avec une précision suffisante. Près de la transition et à haute énergie, trois ou quatre itérations ont été nécessaires:

- à la transition on a besoin de précision et c'est une région très perturbée (γ_t jump)
- à haute énergie, des compromis sont à trouver, en raison des limitations inhérentes au système.

La boucle en huit, dont les effets sont découplés de ceux des autres courants, est réglée "en ligne" en mesurant les Q de la machine une fois que I_F et I_D ont été réglés pour obtenir les chromaticités voulues.

3. RESULTATS

Les courants optimisés sont portés sur la Fig. 1. Ceux de I_F et I_D peuvent être considérés comme définitifs. Celui de la boucle en huit est seulement ici à titre indicatif: depuis la mise au point, la calibration de la lecture d'intensité a changé, et le courant nécessaire pour obtenir le même effet est maintenant environ 5% plus bas. De toutes façons, comme dit ci-dessus, la boucle en huit est facile à régler quand les deux autres courants sont établis avec précision. Remarquons au contraire que I_F et I_D doivent être connus de façon précise, absolue et immuable, sinon tout le travail serait à recommencer.

Les résultats (Q et ξ) sont portés sur les Figs. 2 et 3.

a) La transition ($B = 0.289$ T; $P \approx 6$ GeV/c):

Au moment précis du passage de la transition, les deux chromaticités doivent passer d'une valeur négative à une valeur positive. Ceci doit être fait avec une grande précision, car l'instabilité Head-tail croît extrêmement vite dans cette région⁽¹⁾. Les courants ont donc été programmés de façon à assurer un saut de ξ le plus rapide possible, et exactement calé sur l'instant de transition (Fig. 2).

Heureusement, le système de γ_t jump, de par son principe même, amplifie considérablement ce saut de chromaticité, et le cale finement sur l'instant de transition.

W. Hardt⁽⁴⁾ a bien voulu calculer cet effet:

Si $\Delta\xi_N$ est le changement de chromaticité induit par l'effet sextupolaire des PFW en l'absence de courant dans les quadrupôles du système de γ_t jump, et si $\Delta\xi_Y$ est l'effet supplémentaire dû aux modifications de la fonction αp produites par ces courants, on a, tous calculs faits:

$$\delta = \frac{\Delta\xi_N + \Delta\xi_\gamma}{\Delta\xi_N} = 1 - CI_T(2.26 I_D + 1.7 (\sqrt{2} - 1) I_T)$$

où I_T et I_D sont respectivement les courants dans les triplets et doublets, et C est un coefficient qui dépend des paramètres de la machine.

Avec un courant de 570 A dans les triplets, ceci donne.

$$\delta = .84 - .9 I_D \text{ (kA)}$$

Comme $I_D \text{ max} = \frac{1}{2} 900 \text{ A}$ et qu'il s'inverse à la transition, on a:

- avant la transition $\delta = .43$
- après la transition $\delta = 1.25$

L'effet des PFW est diminué avant la transition, et augmenté après, ce qui va dans le sens d'une amplification du saut recherché, et est donc très favorable. L'effet calculé ici est celui correspondant à ξ_H . On peut voir sur la Fig. 2 que les mesures ne correspondent pas exactement aux calculs analytiques approchés ci-dessus. Une partie de la discordance peut certainement être attribuée à l'imprécision des mesures de chromaticité, qui sont très difficiles en présence du γ_t jump.

Le résultat pratique a été l'élimination complète de tout effet lié à l'instabilité head-tail et aux résonances non linéaires à la transition. Rappelons⁽⁵⁾ qu'on avait essayé de faire le même effet avec des sextupôles localisés (16 lentilles) ce qui n'avait pas donné de meilleurs résultats que l'emploi des 8 octupôles de Landau-damping (élimination de l'instabilité, mais élargissement considérable des bandes d'arrêt octupolaires occasionnant des pertes de faisceau).

Avec les PFW bien réglées, les pertes pouvant subsister à la transition sont dues à l'instabilité longitudinale hyperfréquence. Avec le système γ_t jump optimisé, on peut accélérer sans perte un faisceau de 10^{13} p à condition que l'émittance longitudinale soit ≥ 12 mrad (valeur maximum que donne habituellement le Booster).

b) Energies moyennes: de 6 à 21 GeV/c

On peut obtenir dans toute cette gamme les Q et ξ voulus. Un faisceau de 1.1×10^{13} p a été accéléré jusqu'à 10 GeV/c: la stabilité est assurée sans octupôles, et il n'y a aucun gonflement d'émittance verticale. La Fig. 4 donne les résultats des mesures d'émittance effectuées à diverses intensités avec ce système. Le transfert continu a été réglé dans ces conditions, et bénéficie du réglage de Q_H facile et précis grâce au courant de la boucle en huit.

c) Hautes énergies: 21 à 26.3 GeV/c

A partir de 21 GeV/c, la perte d'efficacité de la boucle en huit ne permet plus de rattraper les changements de Q induits par les courants de nappe nécessaires pour annuler les chromaticités. Il faut donc dans cette région trouver un compromis entre les Q et les ξ . Le but prioritaire étant de fournir aux ISR un faisceau ayant l'émittance verticale la plus faible possible, on a essayé de maintenir les Q le plus près possible de (6.23, 6.31). On doit alors relâcher les contraintes sur les chromaticités (Fig. 2).

Avec un tel réglage, on a pu accélérer jusqu'à 26.3 GeV/c un faisceau de 5×10^{12} p sans utiliser d'octupôles, et sans détecter d'instabilités ni de pertes de faisceau. On a procédé aussi à un réglage similaire pendant la descente de 26.3 GeV/c à 24 GeV/c, ainsi que sur le palier magnétique de 500 msec à 24 GeV/c; avec ce réglage on a pu conserver, sans pertes, ni instabilités transversales, le faisceau groupé de $5 \cdot 10^{12}$ ppi jusqu'à la fin du palier, mais de fortes instabilités longitudinales se développent sur le palier.

Les mesures de dimension de faisceau ont montré qu'il n'y avait plus d'augmentation de l'émittance verticale entre 10 GeV/c et 26 GeV/c à cette intensité (rappelons⁽²⁾ que normalement il y a doublement de l'émittance verticale causé par le transfert horizontal-vertical lors du croisement de $Q_H = Q_V$).

A plus haute intensité, des pertes de faisceau se manifestent, que l'on attribue à l'instabilité Head-tail (chromaticités négatives).

A l'aide des 16 sextupôles haute énergie (2 courants supplémentaires, S_F et S_D) on peut ramener les deux chromaticités à des valeurs positives jusqu'à 26.3 GeV/c. Ceci a été fait (courants sur Fig. 5, effet sur les chromaticités Fig. 2) mais n'a pas apporté d'amélioration spectaculaire: pertes de faisceau toujours présentes pour $I_p \approx 8 \times 10^{12}$. L'explication est probablement la suivante: nous n'avons eu le temps d'ajuster les courants S_F et S_D et de faire les mesures de ξ qu'en un nombre réduit de points (Fig. 5). Il est fort possible qu'en dehors de ces points les chromaticités restent négatives et que l'instabilité head-tail ait le temps de croître. Ou bien c'est l'instabilité multitor qui se manifeste, et un effet octupolaire modéré devrait l'amortir.

Quoi qu'il en soit, les sextupôles ont l'inconvénient de produire un effet quadrupolaire en présence des grandes amplitudes d'orbite fermée à haute énergie (en pointillé sur Fig. 2). De plus, il n'est pas sur que l'on puisse réaliser l'éjection rapide en leur présence. Un certain nombre d'essais sont donc à faire avant de pouvoir dire s'ils seront utiles ou non en opération.

4. CONCLUSIONS

Conformément à ce qui avait été prévu⁽⁶⁾ le système de PFW provisoire permet:

- d'accélérer $1 \cdot 10^{13}$ p par impulsion jusqu'à 10 GeV/c sans détérioration des qualités du faisceau et sans pertes dans la région de la transition et au delà.
- d'accélérer dans les mêmes conditions 5×10^{12} p jusqu'à 26 GeV/c et de conserver ce faisceau groupé sur un palier à 24 GeV/c sans instabilités transversales.

Jusqu'à 21 GeV/c on a pu établir avec ce système à trois courants le point de fonctionnement idéal défini à partir des connaissances théoriques actuelles sur la machine: pour des intensités $\leq 1 \cdot 10^{13}$ p, ce système est donc suffisant pour alimenter le SPS. Pour des intensités supérieures, le système à 5 courants, en apportant un degré de liberté supplémentaire en Q, et une possibilité d'octupôle réparti, pourrait s'avérer intéressant en cas de phénomènes nouveaux.

Au delà de 21 GeV/c, la solution à 5 courants pourrait bien être nécessaire pour accélérer et garder groupés sur un palier des faisceaux de plus de 5×10^{12} p, si les sextupôles se révèlent impossibles à utiliser opérationnellement.

Pour les besoins actuels de la physique 25 GeV/c et des ISR, c'est à dire jusqu'à $5 \cdot 10^{12}$ ppi, on peut envisager d'utiliser en opération ces PFW 3 courants, sans octupôles ni sextupôles, mais il reste pour cela à étudier le comportement des éjections rapides et lentes avec ces nouveaux points de fonctionnement.

La reproductibilité à long terme des 3 courants et de leur lecture doit être très bonne. Le système d'alimentations actuelles laisse à désirer sur ce point. Le passage par zéro du courant I_D , ainsi que la réaction des alimentations aux courants induits à haute énergie posent également des problèmes. Tout ceci devra être résolu par le système à 3 courants "consolidé" (nouvelles alimentations) qui aura des performances supérieures en courants de pointe (meilleurs points de fonctionnement à 26 GeV/c). Mais il serait bon que les alimentations actuelles soient améliorés sur tous ces points si on veut utiliser les possibilités de ce système en opération à haute énergie.

REFERENCES

1. "The Head-tail instability in the CPS with acceleration at 9.5 MHz, 200 MHz and in the SPS", J. Gareyte, PS/DL/Note 76-10.
2. "Etude sur le point de fonctionnement au-delà de la transition", E. Brouzet, MPS/OP/Note 75-20.
3. R. Gouiran, Communications personnelles.
4. W. Hardt, Communications personnelles.

5. "Compte rendu d'études machine", MPS/DL/Min. 75-25.
6. "Remarques à propos du choix d'un système PFW: implications pour l'avenir du PS", MST, MPS/DL/Note 75-3.

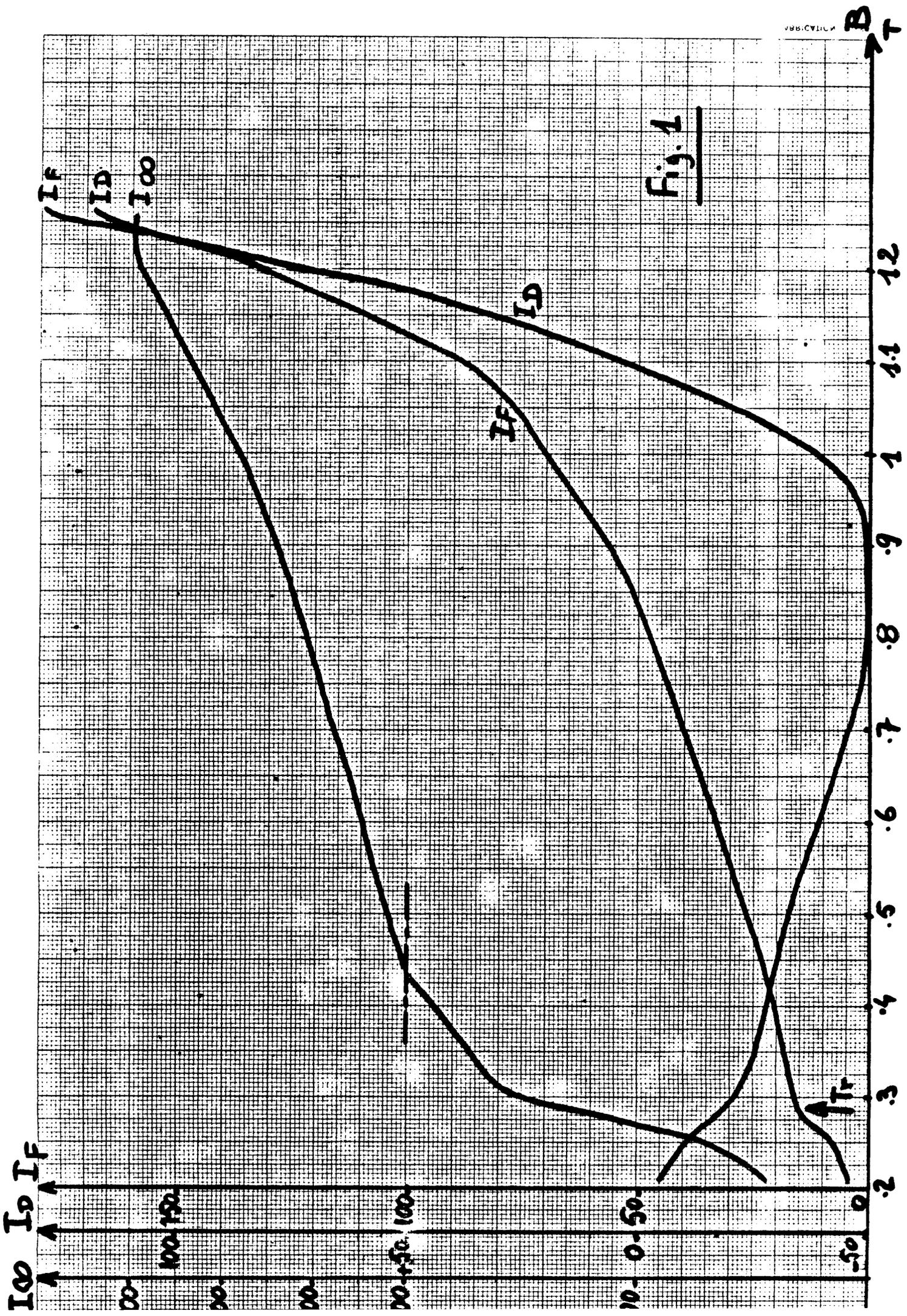
Distribution

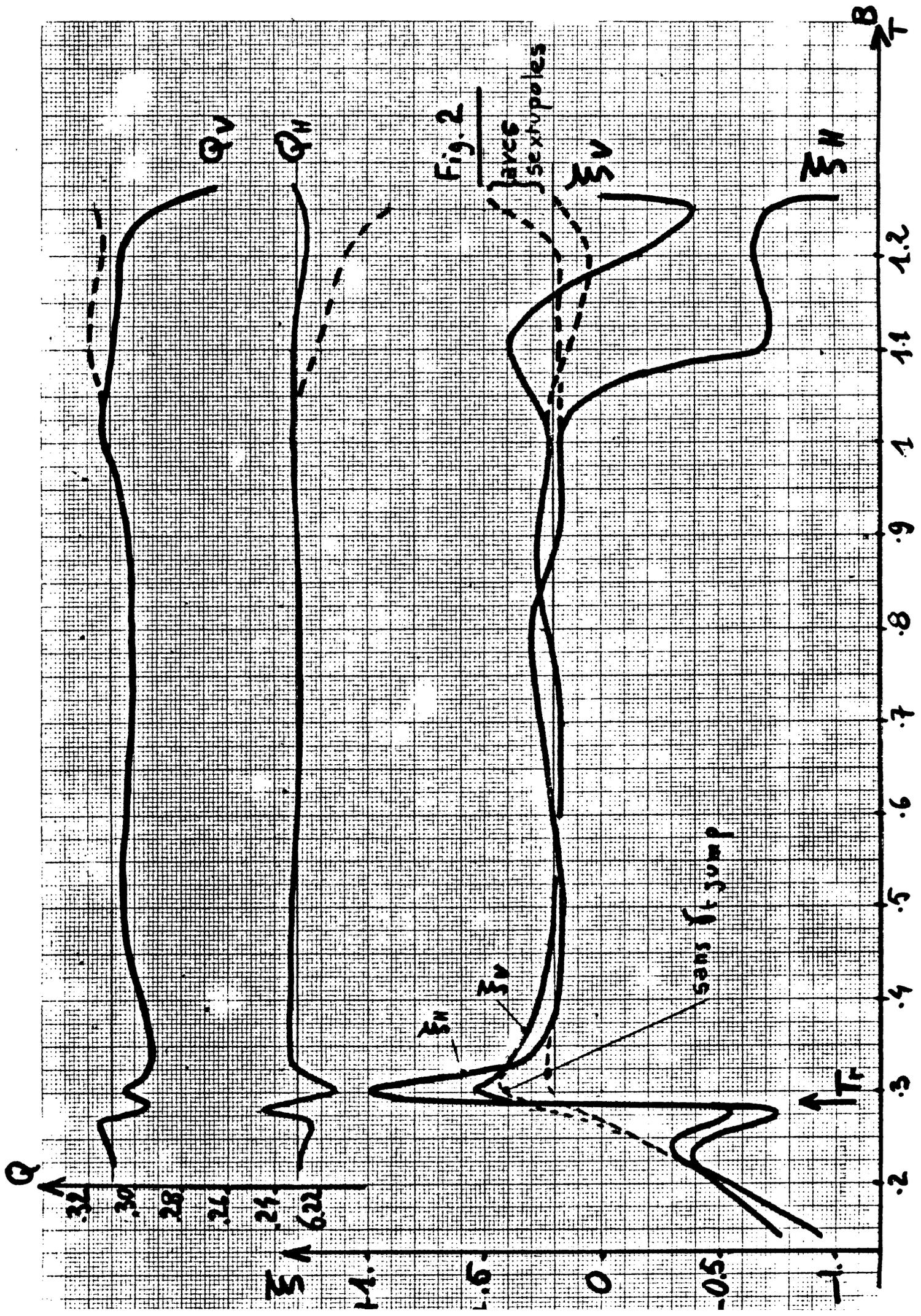
MAC

MST

Groupe OP

Groupe SM





$Q_r = 5$

$3Q_r + Q_y = 25$

$3Q_r - Q_r = 12$

$2Q_r + Q_y = 19$

$2Q_r - Q_r = 5$

$3Q_r = 19$

$3Q_y - Q_r = 13$

6.5
6.4
6.3
6.2
6.1
6

6.1 6.2 6.3

$5 < P_{GeV/c} < 26$

26 GeV/c

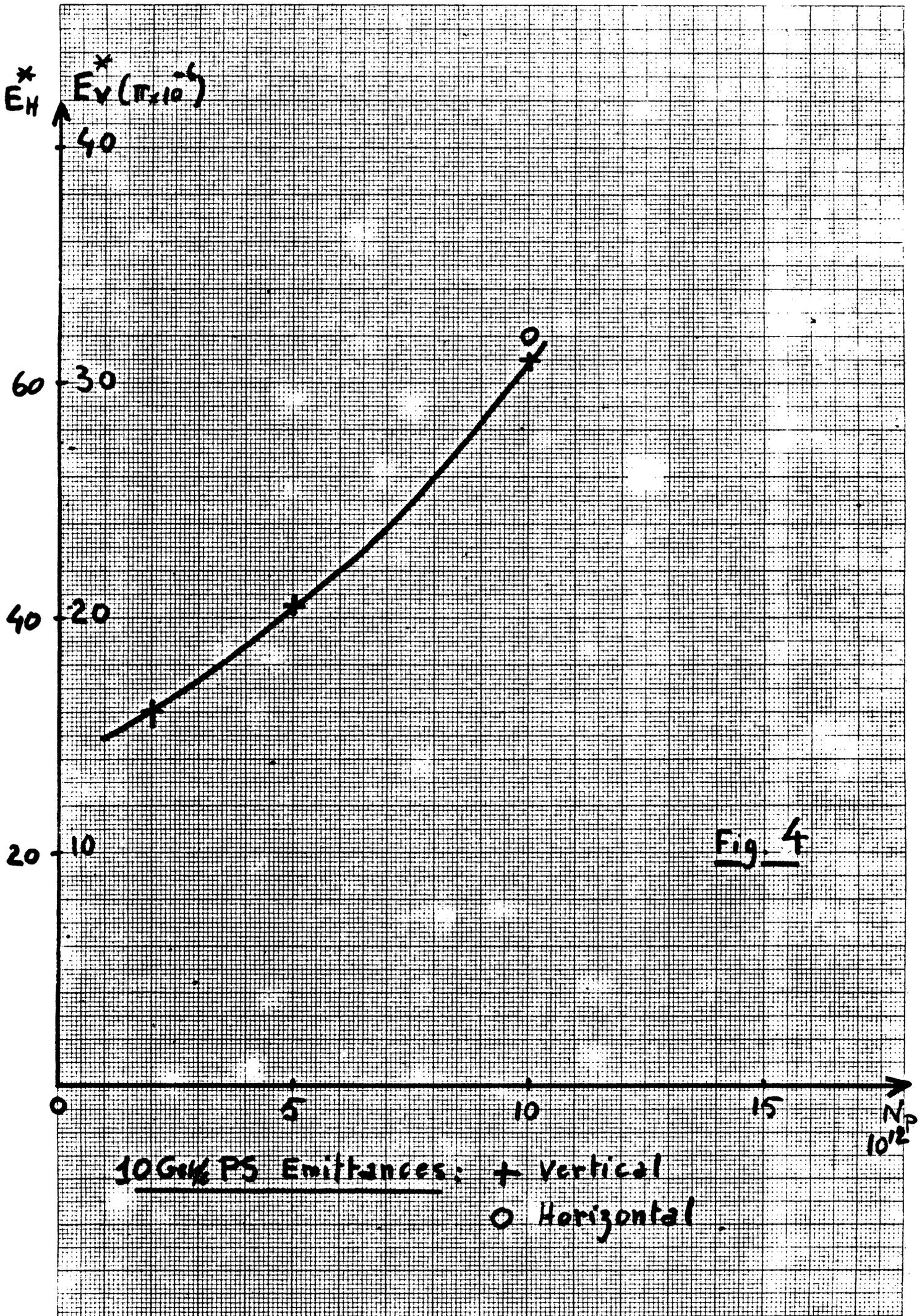
26.3 GeV/c

P^{visé}



Fig. 3

Dispersion des Q au cours de l'accélération



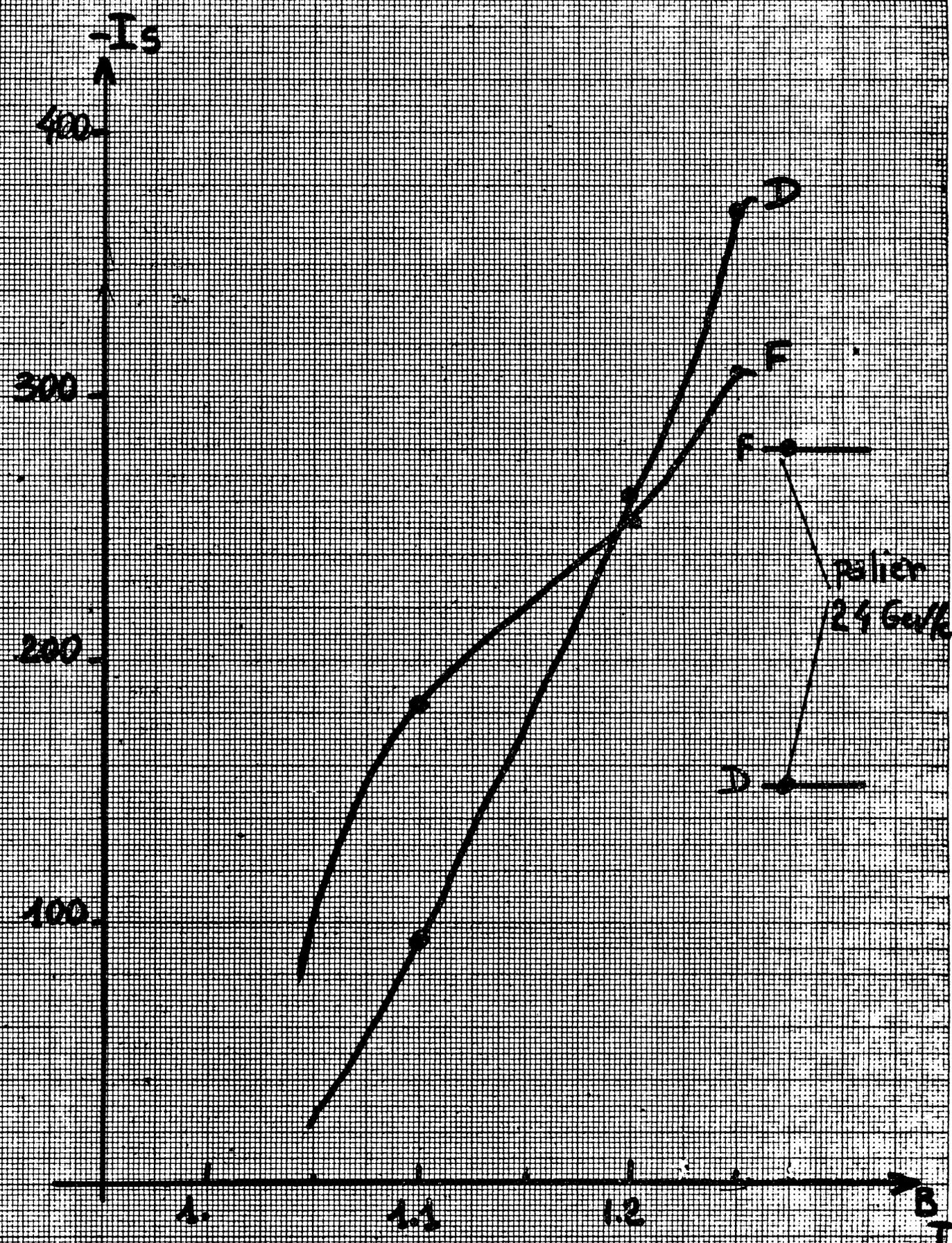


Fig. 5

Courant dans les Sextupoles