

BESOINS EN LENTILLES SEXTUPOLAIRES ET OCTUPOLAIRES A HAUTE ENERGIE

J. Gareyte

Dans un rapport antérieur ¹⁾ on avait essayé de préciser les besoins prévisibles en lentilles octupolaires pour une intensité accélérée de 10^{13} p/p. On avait montré qu'il serait souhaitable de réaliser $\int B''' dl = 4.5 \cdot 10^4 \text{ T m}^{-2}$

M. Gyr ²⁾ avait conclu à la possibilité d'atteindre ce chiffre avec 8 éléments de 40 cm de long, refroidis à l'eau, et incorporant des tôles magnétiques à haut champ de saturation.

Le moment est venu de réexaminer ces conclusions à la lumière des nouvelles données théoriques et expérimentales, et de la nouvelle orientation du programme de développement du PS.

1. NOUVELLES DONNEES

- Des mesures effectuées sur les machines à électrons, qui présentent une instabilité de même type que notre instabilité verticale dite Head-Tail (10 - 15 GeV/c), il ressort que, dans une grande gamme d'intensité, le champ octupolaire stabilisateur est proportionnel à l'intensité. Ceci justifie les hypothèses et donc les conclusions de la Ref. 1).

- Des mesures effectuées sur le PS ont confirmé que le seuil, comme pour les machines à électrons et les I.S.R., dépend de la chromaticité $\frac{\partial Q}{\partial r}$. Des sextupoles permettraient donc de diminuer le champ octupolaire nécessaire à la stabilisation. Cette diminution peut atteindre un facteur 2 si l'on annule la chromaticité $\left(\frac{\partial Q_Y}{\partial r} = 0 \right)$. Pour bénéficier de facteurs de réduction plus importants, il faut inverser la chromaticité ($\frac{\partial Q_Y}{\partial r} = + .02 \text{ cm}^{-1}$ au lieu de $- .02 \text{ cm}^{-1}$ à 14 GeV/c au PS).

2. EVALUATION DES BESOINS

2.1. Sans effet sextupolaire

- $I_p = 2 \cdot 10^{12}$: l'effet octupolaire nécessaire est :
 $\int B''' dl = .78 \cdot 10^4 \text{ T m}^{-2}$. Il est réalisé en alimentant 8 octupoles D avec 60 A. L'année prochaine, 6 octupoles seulement seront disponibles et devront donc être alimentés avec 80 A. Compte tenu du cycle, la limite thermique sera atteinte ($I_{\text{eff}} = 30 \text{ A}$).
- $I_p = 5 \cdot 10^{12}$: $\int B''' dl = 2.2 \cdot 10^4 \text{ T m}^{-2}$: peut être réalisé avec 8 octupoles nouveaux de 20 cm de long (M. Gyr).
- $I_p = 10^{13}$: $\int B''' dl = 4.5 \cdot 10^4 \text{ T m}^{-2}$: peut être réalisé avec 8 octupoles de 40 cm de long.

2.2. En utilisant un effet sextupolaire

En ce qui concerne l'instabilité "Head-Tail" (10 - 15 GeV/c), les chiffres précédents peuvent être divisés par 2 si l'on annule la chromaticité et par ~ 4 si on l'inverse. Malheureusement, la première instabilité (6 - 9 GeV/c) ne semble pas du même type. Elle est très difficile à observer et encore mal connue. On sait ³⁾ qu'un fort effet octupolaire est nécessaire

si l'on veut réduire l'augmentation d'émittance verticale dans cette zone d'énergie. Le chiffre à prendre en considération est ici la limite d'effet octupolaire admise par la machine : au dessous de 9 GeV/c, pour le point de fonctionnement nominal, et si l'on veut conserver une excursion radiale possible de 1 cm, cette limite est $2.6 \cdot 10^4 \text{ T m}^{-2}$. Il apparait hautement souhaitable de prévoir un effet de cet ordre pour $I_p = 5 \cdot 10^{12}$. Pour $I_p = 10^{13}$, on pourrait se contenter de la même valeur, si l'on peut annuler la chromaticité.

2.3. Effet sextupolaire nécessaire, et comment l'obtenir

A 14 GeV/c, $\frac{\partial Q_V}{\partial r} \simeq - .02 \text{ cm}^{-1}$. L'effet sextupolaire nécessaire pour annuler la chromaticité est $\int B''' dl = 67 \text{ T m}^{-1}$ et pour l'inverser, 134 T m^{-1} . Avec les sextupoles actuels, ce dernier chiffre correspond à 90° dans 6 éléments. A l'avenir on peut envisager :

- Lentilles sextupolaires compactes

Se basant sur l'étude de Gyr pour les octupoles, il semble facile de réaliser $\int B'' dl = 134 \text{ T m}^{-1}$ avec 8 (ou 6) sextupoles compacts. (à vérifier !). Placées en sections D, ces lentilles permettraient de réaliser le $\frac{\partial Q_V}{\partial r}$ voulu sans trop modifier $\frac{\partial Q_r}{\partial r}$ (il y a un facteur 1.84 entre les deux effets). Cette solution permettrait de conserver un bon outil pour les études d'instabilités à haute intensité. Comme pour les octupoles compacts, la possibilité de déplacer les lentilles (par exemple d'en mettre 2 en section F) pour des études particulières serait appréciable.

- Enroulements polaires

Ils ont l'avantage d'exister. Mais :

- ils produisent, en plus de l'effet sextupolaire, un fort effet quadrupolaire,
- l'effet quadrupolaire (Δn , comme l'effet octupolaire $\Delta \frac{\partial^2 n}{\partial x^2}$) s'inverse quand on passe d'un élément F à un élément D. L'effet sextupolaire ($\Delta \frac{\partial n}{\partial x}$) ne s'inverse pas.

Ces deux faits limitent fort l'usage pratique des enroulements polaires pour ce qui nous intéresse. Avec le branchement "normal" (le même courant passant dans les enroulements F et D), l'effet sextupolaire possible dans le plan vertical ($\frac{\partial Q_V}{\partial r}$) est limité à la fois par l'effet quadrupolaire et par l'effet sextupolaire (de mauvais signe) dans le plan horizontal ($\frac{\partial Q_H}{\partial r}$). L'effet maximum réalisable à la rigueur correspondrait à l'annulation de la chromaticité dans le plan vertical. La possibilité d'envoyer des courants différents dans les enroulements F et D ne changerait pas sensiblement le problème (on aggrave une des limitations si l'on diminue l'autre).

3. CONCLUSION

Pour conclure cette discussion de façon plus claire, on peut examiner des solutions types :

1. Solution minimum : en extrapolant nos connaissances actuelles, et en supposant que des phénomènes nouveaux n'apparaîtraient pas, elle doit permettre d'accélérer un faisceau de $5 \cdot 10^{12}$ (a) et 10^{13} (b) dans des conditions comparables aux conditions actuelles. Pas de souplesse ni de réserves pour les études.
2. Solution moyenne : plus confortable, pour les études comme pour l'opération .
3. Solution souhaitée : comme proposé dans la Ref. 1) : 6 ou 8 octupoles en section D, plus 4 octupoles en section F. Même chose pour les sextupoles. Cette solution permet des études fines, en particulier le "découplage" des effets non linéaires dans les espaces de phase vertical, horizontal et longitudinal.

Remarque : le nombre de lentilles d'une sorte peut être réduit si l'on augmente leur longueur pour conserver le même effet. Néanmoins, plus on en réduit le nombre, plus les harmoniques dangereux deviennent importants. Or, on veut éviter, et dans l'avenir plus encore que maintenant, d'élargir les bandes d'arrêt. C'est pour cela qu'on a proposé des nombres de 6 ou 8 lentilles.

| I_p | Solution minimum 1 | Solution moyenne 2 | Solution souhaitée 3 |
|--------------------|--|--|---|
| 5.10^{12} (a) | - effet octupolaire : $\int B''' dl = 2.2 \cdot 10^4 Tm^{-2}$ (8 octupoles D de 20 cm) - effet sextupolaire : 0 | - effet octupolaire : id 1a - effet sextupolaire : $\int B''' dl = 134 Tm^{-1}$ (8 sextupoles D compacts) | id 2a + 4 octupoles F id 2a + 4 sextupoles F |
| 10^{13} (b) | id 1a + enroulements polai- res pour $\frac{\partial Q_V}{\partial r} = 0$ entre 10 - 15 GeV/c | id 2a | id 3a |

J. Gareyte

References

- 1) J. Gareyte, Emploi des lentilles octupolaires au PS. CERN/MPS/DL 70-5.
- 2) M. Gyr. Studies on the PS octupoles. MPS/SR - Note 71-16/Corr. 16.4.1971.
- 3) G. Azzoni, E. Brouzet, J. Gareyte. Compte-rendu de MD, 13.4.1970.

Distribution

| | |
|--------------------|-------------------|
| Machine Study Team | G. Plass |
| D. Dekkers | F. Rohner |
| M. Gyr | P.H. Standley |
| U. Jacob | Ch. Steinbach |
| J.H.B. Madsen | C.J. Zilverschoon |