

EQUIPE D'ETUDE DE LA MACHINE

Notes sur la réunion du 2 avril 1971

PHENOMENES LIES AUX INTENSITES ELEVEES

J. Gareyte

1. Cet exposé est basé sur la synthèse des informations recueillies par Y. Baconnier, D. Boussard, J. Gareyte et P. Lefèvre au cours d'un récent voyage aux Etats-Unis.

Elles résultent :

- a) d'une "panel discussion" sur les phénomènes de haute intensité organisée pendant la Conférence des Accélérateurs de Chicago (participants : Y. Baconnier, CERN; L. Smith, LRL; A. Sessler, LRL; M.Q. Barton, BNL; Hoffmann, CEA).
- b) d'une réunion organisée à Berkeley groupant, outre les membres du MPS et E. Jones des ISR, G. Lambertson, A. Sessler, L. Smith, J. Lasslett, P. Morton, V.K. Neil, H. Grunder, M. Lee.
- c) d'une visite à Brookhaven.

INSTABILITES

2. Au Cambridge Electron Accelerator (CEA) on observe deux types d'instabilités transversales :

- a) une instabilité collective que l'on a pu supprimer efficacement au moyen de quadropoles RF excités avec une fréquence correspondant à l'harmonique $h' = 362$ légèrement différente du nombre harmonique de la machine ($h = 360$). On produit ainsi un découplage entre les paquets qui ont maintenant des fréquences d'oscillation

bétatroniques différentes. Toutefois comme ces quadrupoles RF sont enclenchés pendant toute l'accélération et en particulier à l'injection, on ne peut éviter certaines pertes à l'injection qui entraînent un remplissage non uniforme et par conséquent une modulation azimutale de l'intensité.

- b) une instabilité d'un seul paquet qui est stabilisée par des octupoles. On observe une dissymétrie de l'effet stabilisateur des octupoles, un courant négatif ayant plus d'effet qu'un même courant de polarité opposée. Sessler interprète cette dissymétrie par la répartition non symétrique des amplitudes bétatroniques.

3. Certaines instabilités observées dans l'Electron Ring Accelerator (ERA) du LRL (Berkeley) sont assez bien expliquées par l'influence des parois et l'effet de masse négative.

4. Au Bevatron de Berkeley on observe une instabilité verticale lorsque le faisceau est dégroupé soit à l'injection soit à haute énergie (6 GeV/c) lorsque la RF est coupée sur le palier.

L'instabilité peut avoir les modes suivants :

$$\begin{aligned} f_{n-} &= (n - Q_z) f_0 & n &= 3 \dots 9 \\ f_{n+} &= (n + Q_z) f_0 & f_0 &= \text{fréquence de révolution} \end{aligned}$$

Le mode le plus dangereux est le mode 5 ($f = 10.04$ MHz) qui a un temps de croissance de 100 ms pour une intensité de $3.8 \cdot 10^{12}$ p/p.

Pour supprimer cette instabilité on a essayé successivement et sans succès :

- d'augmenter la dispersion d'énergie par un facteur 3 pour introduire un amortissement de Landau,
- d'introduire une composante sextupolaire ou octupolaire dans le champ de guidage au moyen de PFW de puissance assez limitée.

Finalement on a réussi à la stabiliser au moyen d'un circuit de contre-réaction constitué des éléments suivants :

- une station PU d'une sensibilité de 15 mV/cm suivie d'un amplificateur différentiel capable de rejeter des signaux en mode commun de 50 V (en présence de RF) et 1 V (RF coupée),
- un déphaseur,
- un amplificateur accordé de très grand gain (10^6),
- une paire d'électrodes à laquelle on applique le signal de correction.

L'amplificateur accordé ne permet de stabiliser qu'un seul mode mais cela s'avère suffisant. Si un gain G est nécessaire pour stabiliser le mode n , un gain de $5G$ excite le mode $-n$. Le phénomène a une largeur de bande de 4 kHz ce qui est $1/5$ de la dispersion de fréquence existant dans le faisceau. Cette valeur est indépendante de l'intensité.

Cette instabilité semble s'interpréter par le fait que le terme $U \gg V$ dans les équations de dispersion. Bien que les signaux cohérents recueillis sur la PU soient toujours faibles, un grossissement important du faisceau est décelé par des cibles. Ce grossissement disparaît si l'instabilité est amortie par le système ci-dessus.

5. A Brookhaven on a observé 3 types d'instabilités sur l'AGS.

- a) Instabilité longitudinale provenant de l'interaction du faisceau avec des résonances d'ordre supérieur des nouvelles cavités d'accélération. Ce phénomène est maintenant bien compris et a été analysé par M.Q. Barton dans un rapport présenté à la Conférence de Chicago; le même effet a été observé et étudié au PS. A l'AGS cette instabilité a été supprimée en élevant la première fréquence de résonance parasite de 21 à 50 MHz et en réduisant son facteur de qualité Q de 30 à 12. Cette mesure devrait suffire jusqu'à 10^{13}

- b) Instabilité verticale d'un seul paquet vers 20 GeV/c lorsque $dQ_V/dR = 0$. Elle est stabilisée par un courant relativement faible dans les sextupoles (30 A). Cette instabilité a lieu malgré la dispersion de quantité de mouvement plus élevée qu'il y a dans l'AGS ($\pm 2 \cdot 10^{-3}$ mesuré) comparé au PS ($\pm 0.5 \cdot 10^{-3}$). Un système de stabilisation par contre-réaction agissant sur chaque paquet est prévu.
- c) Instabilité horizontale collective de mode $n = 8$ au voisinage de l'injection. Elle atteint une grande amplitude lors de la traversée de la bande d'arrêt $Q_H = 8\frac{1}{2}$. On peut la supprimer par une bonne compensation de cette bande d'arrêt. Elle est très sensible à la pression résiduelle.

6. A la Conférence de Chicago, A. Sessler a passé en revue les théories connues expliquant les instabilités dans les accélérateurs mais il n'a pas abordé : les effets du gaz résiduel
les modes d'oscillations internes des paquets
l'amortissement de Landau,
qui sont précisément trois des grands points d'interrogation actuels au PS.

7. Les effets du gaz résiduel ont été discutés aussi bien à Chicago qu'à Berkeley et à Brookhaven. Tout le monde est d'accord pour constater que ce paramètre a une influence mais personne n'a pu donner d'explication satisfaisante.

Deux points semblent acquis :

- De fortes pressions résiduelles localisées sont plus néfastes qu'un effet réparti.
- L'effet de la pression résiduelle est "sextupolaire" (il a pu parfois être en partie compensé par des lentilles sextupolaires) mais on voit mal pourquoi la distribution des ions ou des électrons formés à partir du gaz résiduel serait dissymétrique.

Personne n'a signalé de calculs à ce sujet.

A l'AGS la pression moyenne est de 2.10^{-6} Torr, on a parfois 4.10^{-6} , au delà on éprouve beaucoup de difficultés. Il devient difficile d'opérer l'AGS.

8. L'instabilité verticale à 10 GeV du PS qui est baptisée "Head Tail" par similitude avec ce qui est observé à Orsay et Frascati, a été discutée lors de la réunion de Berkeley, sur la base d'abord des modèles de Sands et de Pellegrini. Plusieurs points de ce modèle ont été mis en doute :

- Le déphasage supposé par Sands petit par rapport à 1 radian est de 10 à 20 radians.
Zotter a effectué des calculs sur le modèle de Sands avec un déphasage élevé. Morton s'est basé sur un programme de computer avec macroparticules mais ces deux auteurs ont obtenu des résultats contradictoires.
- Sands utilise un modèle de paquet "creux" (toutes les particules font des oscillations d'égale amplitude).
Les participants ont estimé cette hypothèse assez valable si l'on y ajoute un terme d'amortissement de Landau.
- On s'est beaucoup interrogé sur la force qui intervient dans ce mécanisme. La pression résiduelle a une grande influence. L'effet de paroi résistive n'explique pas les observations. Partout (ISR, PS, Bevatron) il faudrait multiplier l'effet de parois par un facteur 5 pour expliquer les observations.

INJECTION ET ACCELERATION DANS L'AGS

9. La grande similitude entre l'AGS et le CPS et la différence entre les performances actuelles des deux machines (2.10^{12} vs 3.10^{12} p/p) justifiaient une comparaison détaillée.

Actuellement l'AGS fonctionne avec une injection sur 10 tours et une espèce de capture avec prégroupage ("high trapping") Toutefois

pendant l'injection la tension RF est réduite à 120 keV ce qui joint à un \dot{B} réduit à 0.4 T/s correspond à un gain d'énergie de 27 keV/tour. Tout en maintenant $\dot{B} = 0.4$ T/s, la tension RF est élevée progressivement (en 40 ms) à sa valeur nominale de 240 keV. Puis B est porté à 3 T/s en 80 ms. On a alors les conditions nominales d'accélération de 206 keV/tour ce qui correspond à un angle de phase stable de près de 60°

Pour l'avenir on prévoit une capture vraiment adiabatique avec montée parabolique et non plus linéaire du champ et de la tension RF.

10. On a effectué une analyse détaillée des pertes à l'injection dans l'AGS et on peut dresser le tableau comparatif suivant :

	<u>AGS</u>	<u>CPS</u>
Faisceau Linac	35 mA	100 mA
Nombre de tours	10	3
Durée d'injection	$\sim 85 \mu\text{s}$	$\sim 20 \mu\text{s}$
Nombre de protons injectés	8.10^{12}	7.10^{12}
Reste au 5 ^e tour	70%	70%
Perte entre le 5 ^e tour et 1 ms	65%	65%
Reste après 1 ms	46%	46%
Reste à haute énergie	$37\% = 3.10^{12}$	$30\% = 2.10^{12}$
Acceptance longitudinale	5.7 eVs	3.4 eVs
Dispersion d'énergie acceptée	670 keV	500 keV
Dispersion d'énergie Linac (4 σ)	440 keV	600 keV

La différence d'intensité entre le PS et l'AGS s'explique donc par les facteurs suivants :

- Plus grand nombre de protons injectés. (A courant égal il ne faut pas oublier que le PS a 200 m de diamètre et l'AGS 256.9 m).
- Plus grande acceptation longitudinale, surtout comparée à la dispersion d'énergie du Linac (ce qui entraîne toutefois une certaine dilution et explique la dispersion d'énergie plus élevée par rapport au PS - voir section 5b).
- Pertes plus élevées après la première milliseconde.

11. Une des principales différences entre le PS et l'AGS à l'injection est la traversée à l'AGS de la bande d'arrêt demi-entière $Q_H = 8.5$ 10 ms après l'injection. Le point de travail passe de $Q_H = 2.4$ à 8.6 et de $Q_V = 8.8$ à 8.8 . Normalement cette traversée n'entraîne pas de pertes pour autant qu'elle soit très bien compensée; même un petit élargissement entraîne rapidement des pertes.

La compensation de la bande d'arrêt $Q_H + Q_V = 17$ (quadr. obliques) et d'une des bandes d'arrêt sextupolaire de couplage est un facteur important pour limiter les pertes au cours des premières millisecondes.

12. L'orbite fermée a les caractéristiques suivants :

Plan horizontal : injection 2.7 cm (crête à crête); haute énergie : 1.35 cm
Plan vertical : " 1.4 cm ; " " : 2.0 cm

Les champs de fuite des éléments de transport de faisceau sont compensés très efficacement par des bobines placées au voisinage de l'élément perturbateur.

13. C'est en particulier dans le domaine de l'instrumentation et des études de dynamique de faisceau que cette instrumentation permet que l'on se rende le mieux compte de l'effet négatif des récentes restrictions budgétaires et des réductions de personnel. Le moral est assez bas pour les mêmes raisons. A l'AGS il y a eu très peu d'études sur le grossissement du faisceau. On a uniquement effectué des mesures sur les dimensions radiales avec des cibles. Le grossissement radial est interprété comme le résultat d'un gonflement dans le plan longitudinal et on considère que les oscillations bétatroniques s'amortissent d'une manière adiabatique normale. Il est toutefois prévu d'effectuer des mesures de grosseur verticale pour lesquelles les effets longitudinaux n'interviennent pas.

O. Barbalat

Distribution

Personnel Scientifique MPS et SI
PS Operation
H.G. Hereward E.J.N. Wilson
K. Hübner C. Zettler
E. Keil B. Zotter