

EQUIPE D'ETUDE DE LA MACHINE

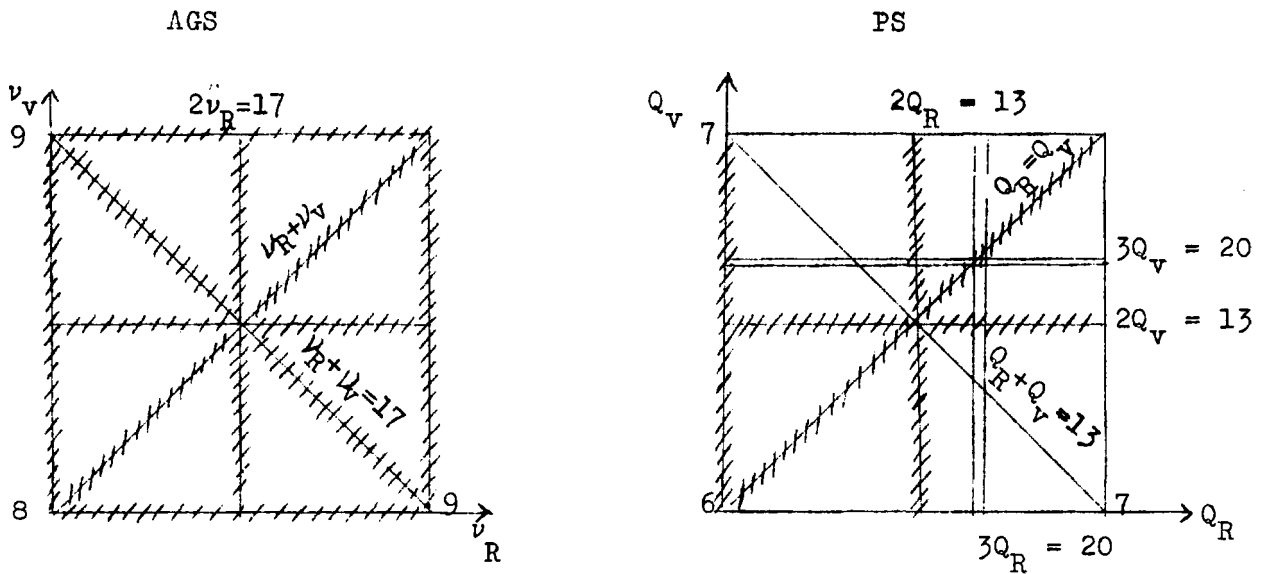
Notes sur la réunion du 11 juillet

Nouvelles des accélérateurs américains

par Y. Baconnier et C. Bovet

a) Brookhaven - AGS

- 1) Comparaison des circuits de correction du champ à l'injection (voir figure 1).



Les lignes hachurées représentent des bandes d'arrêt compensées.

Fig. 1

<u>AGS</u>		<u>PS</u>	
<u>Eléments</u>	<u>Effet</u>	<u>Eléments</u>	<u>Effet</u>
i) Effet dipolaire (correction de champ)			
Sin 90 Rad Cos 90 Rad	9 <sup>e</sup> harmonique radial de l'orbite fermée $\nu_R = 9$	- (a) -	7 <sup>e</sup> harmonique rad. de l'orbite fermée $Q_R = 7$
Sin 90 Vert. Cos 90 Vert.	9 <sup>e</sup> harmonique vertical de l'orbite fermée $\nu_V = 9$	- (b) -	7 <sup>e</sup> harmonique vert. de l'orbite fermée $Q_V = 7$
Sin 80 Rad Cos 80 Rad	8 <sup>e</sup> harmonique radial $\nu_R = 8$	Sin 60 Rad Cos 60 Rad	6 <sup>e</sup> harmonique rad. $Q_R = 6$
Sin 80 Vert Cos 80 Vert	8 <sup>e</sup> harmonique vertical $\nu_V = 9$	- -	7 <sup>e</sup> harmonique vert. $Q_V = 6$
Sin 120 Vert.	12 <sup>e</sup> harmonique vertical introduit par la super- période (champ terrestre)	pas nécessaire au PS	
Dipôles vert.	perturbations verticales	Dipôles vert.	id.
Enroulements de culasse (BLW)	perturbations radiales	Enroulements de culasse (BLW)	id.
ii) Effet quadrupôles (correction de gradient)			
24 quadrupôles d'injection	contrôle de $\nu_R$ et $\nu_V$	40 quadrupôles d'injection	contrôle de $Q_R$ et $Q_V$
170 Rad	compense la bande d'arrêt $2\nu_R = 17$ agit simultanément sur les bandes d'arrêt $2\nu_V = 17$ $2\nu_R = 17$ $\nu_V = 17$	Sin 130 Rad Cos 130 Rad	compense la bande d'arrêt $2 Q_R = 13$
- BLW	correction de la fonction $\beta_R$	-	compense la bande d'arrêt $2 Q_V = 13$
- BLW sur aimants F et D adjacents	permettent de faire varier la différence $\nu_R - \nu_V$ sans exciter les quadru- pôles		
120 - BLW			PS, 6665

AGS

PS

iii) Effets de couplage (skew)

" Twist quad"	compensent $\nu_R - \nu_V = 0$ harmonique $0^e$	Quadrupôles (skew)	compense $Q_R - Q_V = 0$
Sin $17\theta$ Cos $17\theta$	correction de la bande d'arrêt ( $\nu_R + \nu_V = 17^+$ )	- (b)	correction de la bande d'arrêt $Q_R + Q_V = 13$
" Dust covers"	compensation des couplage induits par les champs parasites extérieurs		

- a) On espère d'introduire au PS en Septembre 1968 des circuits de correction de  $7^e$  harmonique radial.
- b) La réalisation de circuits de correction du  $7^e$  harmonique vertical et du  $13^e$  harmonique de couplage ( $Q_R + Q_V = 13$ ) dépend de la construction des éléments proposés dans le rapport MPS/Int. CO-67-18.

2) " Dust Covers"

On a installé des protections métalliques qui améliorent le blindage magnétique contre les champs parasites extérieurs, soit :

- Réduction de moitié de l'effet du champ terrestre
- Réduction du couplage Rad/Vert induit par les champs extérieurs
- Réduction des perturbations dipolaires dues aux champs extérieurs.

3) Point de travail (dans le diagramme  $Q_R - Q_V$ )

L'ensemble des corrections décrites au paragraphe 1 permet à l'AGS de fonctionner dans l'ensemble du carreau limité par les bandes d'arrêt entières  $\nu_{R,V} = 9, \nu_{R,V} = 8$ . (Au PS en supposant que l'on puisse traverser les résonances demi-entières  $Q_R$  et  $Q_V = 6 \frac{1}{2}$ , on est arrêté par les résonances  $Q_{R,V} = 6 \frac{2}{3}$  provenant de la super-période de la machine.) Il serait possible de compenser cette bande d'arrêt en installant un  $20^e$  harmonique de sextupôles.

<sup>+</sup>) La machine est très sensible à cette correction qui semble jouer un rôle très important, probablement lié au point de fonctionnement de l'AGS, très proche de cette bande d'arrêt.

4) Instabilités verticales à haute énergie

On a essayé de les stabiliser par un dispositif à contre-réaction; mais les résultats ne sont pas satisfaisants car si on réussit à stabiliser un mode, il apparaît d'autres modes que le circuit ne peut stabiliser.

Par contre on a réussi à stabiliser ces instabilités par un champ sextupolaire.

Ces instabilités sont moins fortes qu'il y a 2 ans. On n'en a pas bien compris la raison.

Pendant cette période l'intensité a augmenté ( $2.5 \times 10^{12}$  p/p) et la qualité du vide s'est améliorée. Mais on ne peut dire si ces effets sont liés.

5) Ejection

L'éjection lente était l'objet d'un travail intensif.

On éprouve des difficultés analogues aux nôtres à calibrer les moniteurs du faisceau éjecté.

Contrairement au cas du PS ils ont obtenu les valeurs théoriques pour les paramètres du faisceau éjecté.

b) Berkeley - Bevatron

L'efficacité de l'éjection résonante a été mesurée (par activation de feuilles d'Al).

On a 100	0/o	du faisceau à l'entrée du 1 <sup>e</sup>	aimant à septum de 1 cm
61	0/o	"	" 2 <sup>e</sup> aimant
54	0/o	"	" 3 <sup>e</sup> aimant (extérieur de la machine)

C. Bovet a signalé et décrit une intéressante méthode proposée par E. Mc Millan pour l'étude de la stabilité à long terme des particules dans un accélérateur à structure non-linéaire (voir annexe).

O. Barbalat

Distribution

Personnel scientifique MPS et SI

K. Hübner

L. Thorndahl

PS/6665

## A N N E X E

Dans les calculs de dynamique des particules dans un accélérateur, on considère les transformations qu'il faut appliquer au plan de phase pour représenter les effets subits par le faisceau au cours d'une révolution dans la machine.

Prenons par exemple le plan de phase horizontal et notons  $x$  la position,  $y = \frac{dx}{ds}$  l'angle d'une particule.

Dans le cas d'une machine ne présentant pas de champs non linéaires on sait que la transformation correspondant à une révolution peut s'exprimer par la relation linéaire :

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a & b \\ c & d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (1)$$

Lorsque  $|a + d| < 2$  le mouvement est stable et les points du plan  $(x,y)$  circulent sur des ellipses homothétiques lorsqu'on applique la transformation successivement (voir Fig. 1). Ces ellipses peuvent être appelées "courbes invariantes" pour rappeler le fait que toutes les particules du plan de phase qui sont situées sur cette courbe ont le même invariant de Courant et Snyder, c'est-à-dire la même énergie d'oscillation bétatronique incohérente. Le centre de l'ellipse est un point fixe stable.

Si on introduit un quadrupôle défocalisant dans la machine on peut rencontrer une situation où  $|a + d| > 2$ . Les points du plan  $(x,y)$  circulent alors sur des hyperboles (voir Fig. 2). Une telle situation peut être exploitée pour l'éjection résonnante du faisceau (éjection sur  $Q$  entier :  $a + d > 2$ , éjection sur  $Q$  demi-entier :  $a + d < 2$ ). Le point fixe central est instable.

Comme on le sait au CPS, une situation convenable pour l'éjection à  $Q$  entier est produite par l'adjonction d'un ou plusieurs sextupôles; les courbes invariantes appartiennent alors aux deux familles précitées selon qu'elles sont centrées sur le point fixe stable ou sur l'instable (voir Fig. 3).

Le point fixe instable a la propriété mathématique intéressante d'être un point d'accumulation pour les particules se trouvant sur les vecteurs propres  $\vec{v}_1$  (Fig. 2 et 3). Cela signifie qu'une notion de continuité peut être introduite sur les courbes invariantes issues d'un point instable. Dans le cas de la figure 3 ces courbes invariantes sont souvent appelées séparatrice convergente et séparatrice divergente. La séparatrice convergente sépare en effet la région stable du plan  $(x,y)$  de la région instable.

Dans le cas de la figure 3 la séparatrice convergente peut être tracée en partant du vecteur  $\vec{v}_1$  ou du vecteur  $\vec{v}_2$  (en utilisant la transformation inverse). Existe-t-il des cas où les deux courbes ainsi définies se coupent sans s'identifier (Fig. 5) ?

E.M. McMillan<sup>\*</sup> a prouvé que cela existe. Il suffit d'introduire dans une machine linéaire une transformation non linéaire du type :

$$\begin{aligned}x &= x \\y &= y + f(x)\end{aligned}$$

Dans un plan  $(x,y)$  convenablement choisi la transformation de McMillan peut s'écrire :

$$\boxed{\begin{aligned}x_1 &= y \\y_1 &= -x + f(y)\end{aligned}} \quad (2)$$

---

\* Edwin M. McMillan "Some Thoughts on Stability in Nonlinear Periodic Focusing Systems", September 5, 1967, UCRL-17795.

Supposons que  $x = \varphi(y)$  représente une courbe invariante. Cela signifie que  $x_1 = \varphi(y_1)$  par définition, ce que l'on peut aussi écrire  $y_1 = \varphi^{-1}(x_1)$ .

On en déduit en utilisant (2) que les courbes invariantes  $\varphi$  et  $\varphi^{-1}$  sont liées à  $f$  par :

$$\boxed{f(y) = \varphi(y) + \varphi^{-1}(y)} \quad (3)$$

Il est donc possible de définir par (3) la lentille non linéaire  $f(x)$  qui produira une courbe invariante donnée  $y = \varphi(x)$ . (Exemples : Fig. 4, a,b,c,).

Lorsque  $\frac{1}{2} f(x)$  coupe la bissectrice du premier quadrant on a un point fixe stable si :

$$\frac{1}{2} f'(x) < 1$$

instable si :

$$\frac{1}{2} f'(x) > 1.$$

Une légère modification de  $f(x)$  dans la figure 4,a conduit au cas de la figure 5 où les courbes invariantes  $y = \varphi(x)$  et  $y = \varphi^{-1}(x)$  ne se rejoignent pas.

C. Bovet

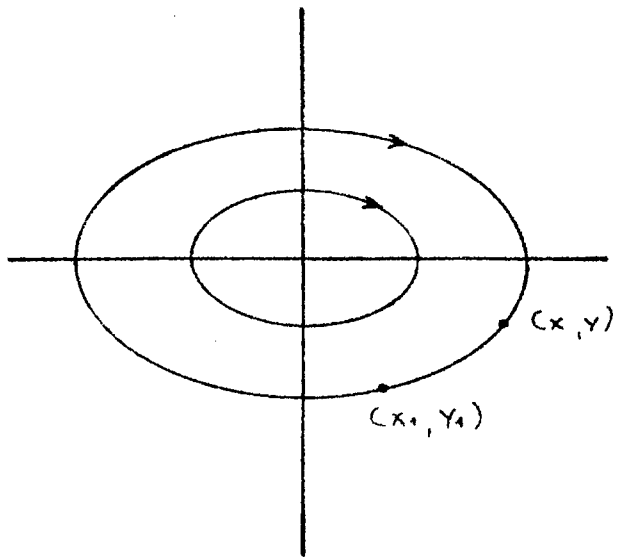


Fig. 1

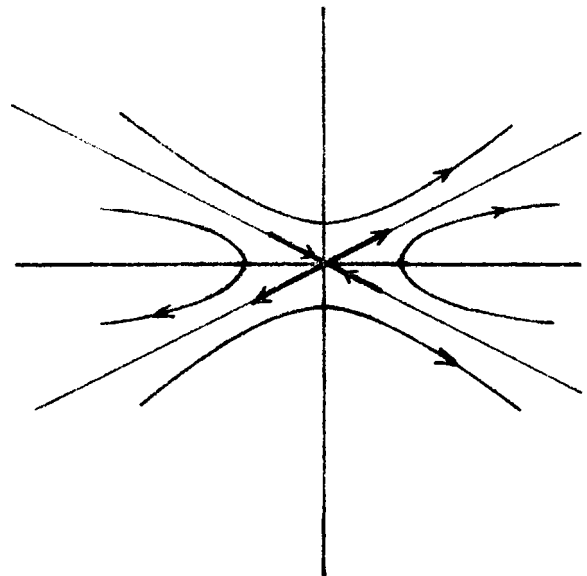


Fig. 2

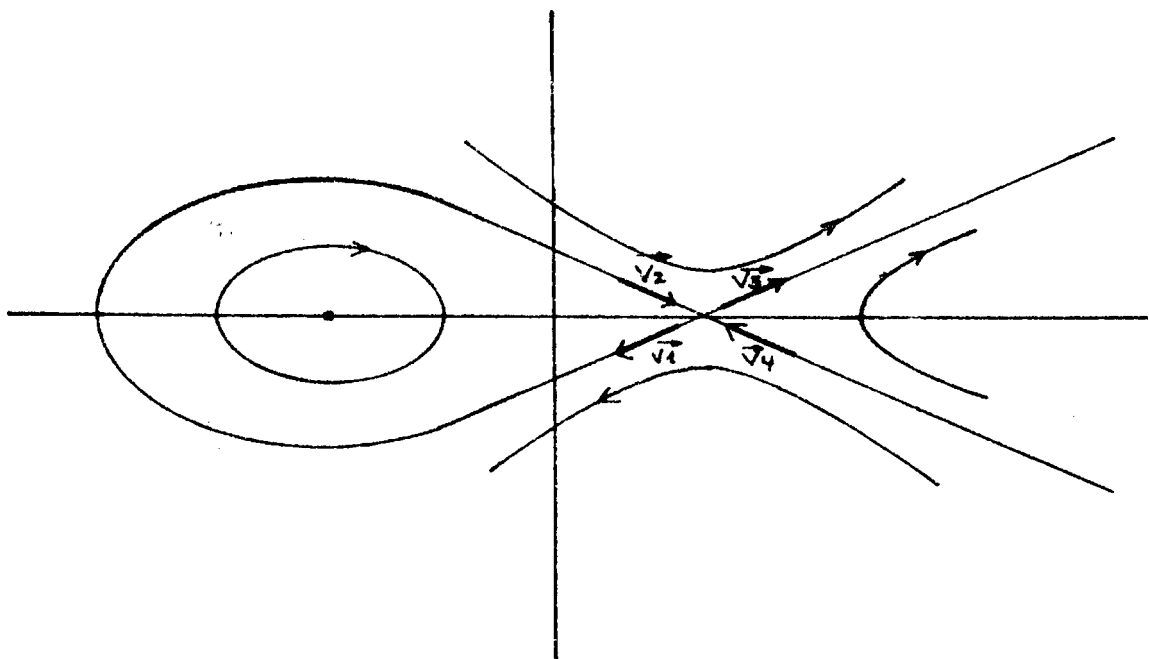


Fig. 3



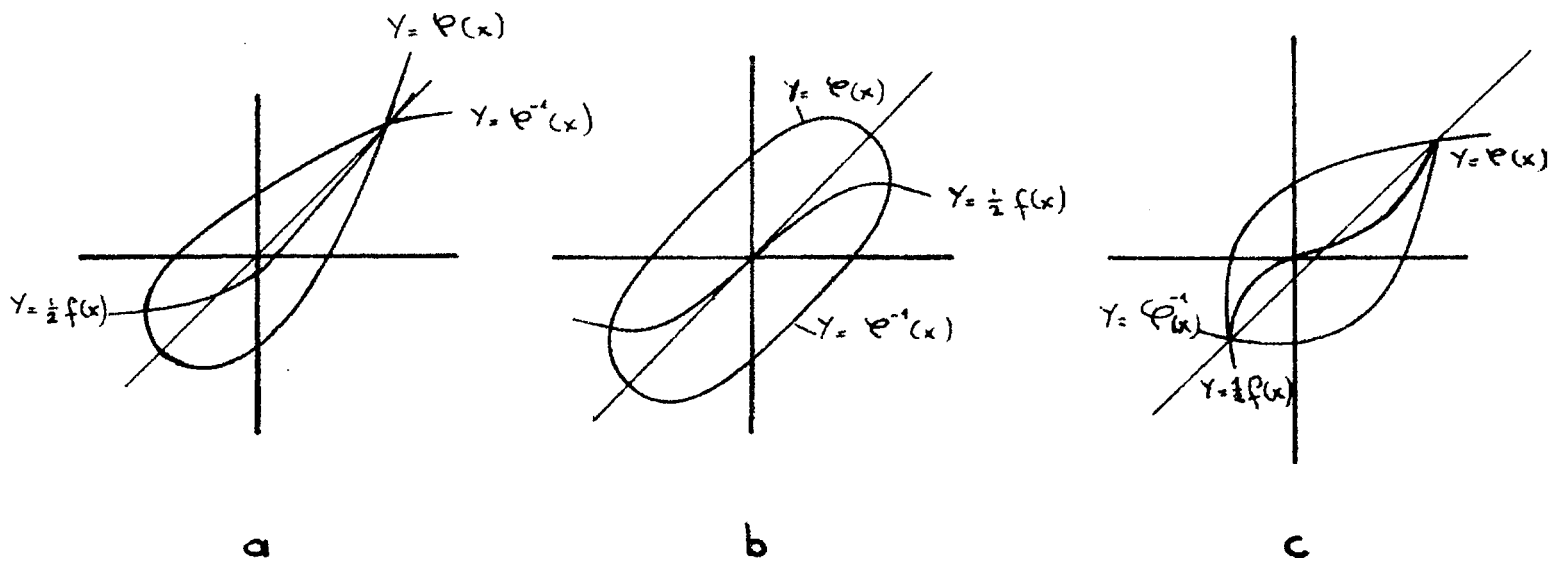


Fig. 4

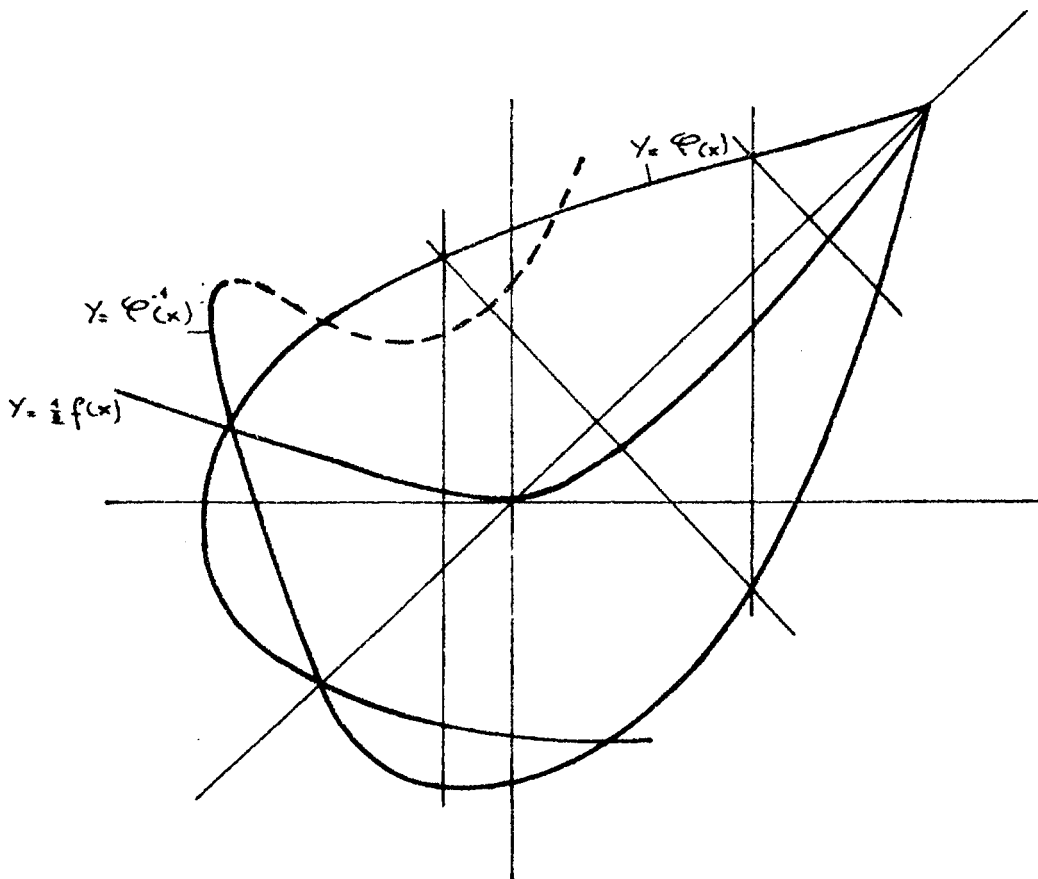


Fig. 5