

MPS/Int. DL 65-5
12.3.1965

PROGRAMMES FORTRAN CERN POUR LE CALCUL DES
TRAJECTOIRES PERTURBEES ET DES SYSTEMES
D'EJECTION PAR RESONANCE DANS LE CPS

TABLE DES MATIERES

| | Page |
|-----------------------------------------------------------------|------|
| I. Introduction | 1 |
| II. Programme 45804 pour le calcul des trajectoires dans le CPS | 1 |
| III. Données du programme 45804 | 4 |
| IV. Résultats du programme 45804 | 7 |
| V. Description du calcul 45805 : éjection lente | 7 |
| VI. Données du programme 45805 | 13 |
| VII. Résultats du programme 45805 | 17 |
| Remerciements | 19 |
| Références | 19 |

I. INTRODUCTION

Ces programmes *) ont pour but de calculer dans le plan horizontal les trajectoires des protons à l'intérieur de la chambre à vide du CPS, pendant le palier du champ magnétique, lorsqu'un certain nombre de sections droites contiennent des lentilles additionnelles, linéaires ou d'ordre supérieur.

On travaille dans l'approximation où la machine non perturbée (sans lentilles additionnelles) est considérée comme linéaire et formée de 50 périodes symétriques et identiques. Dans cette approximation on ne tient donc pas compte des super périodes qu'introduisent les sections longues.

Les trajectoires peuvent être tracées sur un grand nombre de révolutions et les points calculés sont fournis dans autant de sections droites qu'on le désire (premier programme). D'autre part, lorsqu'on étudie l'éjection par résonance (second programme), plusieurs paramètres concernant la région stable du plan de phase peuvent être calculés, tels que position des points fixes, surface de la région stable, position du faisceau non perturbé correspondant à une surface stable nulle (fin d'éjection, et point fixe double), maxima et minima atteints dans la chambre à vide au cours d'une révolution, etc.

II. PROGRAMME 45804 POUR LE CALCUL DES TRAJECTOIRES DANS LE CPS

Description du calcul

Ce programme calcule la trajectoire d'une particule dans le plan horizontal.

Nous appellerons machine non perturbée l'ensemble formé par l'aimant principal et les kickers et quadripôles utilisés pour corriger l'orbite fermée et ajuster le Q horizontal à la valeur Q_c . Les effets de ces différents

*) Ces programmes constituent un développement des programmes autocodes précédemment établis par H.G. Hereward.

aimants sont supposés répartis sur la circonférence de sorte que la machine non perturbée présente 50 périodes symétriques. Dans le plan de phase (x,p) , on utilisera des variables normalisées⁴⁾ au moyen desquelles la machine se divise en 100 périodes symétriques allant d'une section droite à la suivante. Des lentilles multipolaires, dont le champ magnétique est de la forme $B = \text{const. } x^n$ (où $n = 0,1,2,\dots$ et $x = 0$ représente la position radiale du centre de la chambre à vide), peuvent alors être introduites au milieu des sections droites sous forme de lentilles minces. Le mouvement d'un point du plan de phase normalisé au cours d'une révolution dans le CPS se calcule par une succession de transformations correspondant à des portions de machine non perturbée et des traversées de lentilles minces.

1) Portion de machine non perturbée

D'une section droite à la suivante, la transformation⁴⁾ du plan de phase sera une rotation d'un angle $\mu = 2\pi Q_0/100$, autour de la trajectoire centrale du faisceau ($x = 0, p = 0$). On aura :

$$\begin{pmatrix} x \\ p \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \mu & \sin \mu \\ -\sin \mu & \cos \mu \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ p_0 \end{pmatrix}.$$

Si $n-1$ sections droites successives ne contiennent pas de lentilles, la transformation du plan de phase jusqu'à la $n^{\text{ième}}$ section se fait par une rotation d'un angle $n\mu$.

2) Lentilles

En principe les lentilles sont placées au milieu des sections droites^{*)}, plusieurs lentilles pouvant occuper la même position.

*) On aurait pu introduire en plus des lentilles d'ordre n des déplacements à effectuer à l'intérieur d'une section droite mais dans l'approximation des sections droites moyennes faite ici, cela n'aurait pas beaucoup de sens. D'autre part, on peut dans certains cas utiliser des nombres fractionnaires pour fixer un point intérieur à une période (voir la note de la page 4).

D'autre part (dans ce premier programme) les lentilles sont toujours centrées sur la chambre à vide. La transformation sera donc :

$$\begin{aligned}x &= x_0 \\ p &= p_0 + \sum k_n x^n,\end{aligned}$$

où k_n est la force normalisée de la lentille d'ordre n (**).

Unités des forces normalisées k_n

Supposons que les unités normalisées du plan de phase soient $[x] = 1 \text{ mm}$ et $[p] = 1/12.0 \text{ mrad}$. Ces unités donnent les grandeurs physiques de x, p en section D, mais en section F on devra multiplier les longueurs par 1.35 et diviser les angles par 1.35.

Avec de telles variables, la définition de la force normalisée sera la suivante :

Si la lentille placée en section D produit à une distance x de son centre une déflexion Δp , la force normalisée s'exprimera par :

$$k_n \left[\text{unité normalisée} \right] = \frac{\Delta p}{x^n} \left[\frac{1/12.0 \text{ mrad}}{(1 \text{ mm})^n} \right] = 12.0 \frac{\Delta p}{x^n} \left[\frac{\text{mrad}}{(\text{mm})^n} \right].$$

Si la lentille est en section F, on a :

$$\begin{aligned}k_n \left[\text{unité normalisée} \right] &= \frac{\Delta p}{x^n} \left[\frac{1/12.0 \times 1/1.35 \text{ mrad}}{(1.35 \text{ mm})^n} \right] \\ &= 12.0 \times (1.35)^{n+1} \frac{\Delta p}{x^n} \left[\frac{\text{mrad}}{(\text{mm})^n} \right].\end{aligned}$$

**) Exemples de lentilles :

- $n = 0$ dipôle, "kicker";
- $n = 1$ lentille linéaire, quadripôle;
- $n = 2$ sextupôle
- $n = 3$ octupôle
- etc.

Exemple :

Un quadripôle produit une déflexion de $1/12$ mrad à 1 mm. La force s'exprimera :

quadripôle en section D : $k_1 = 1$ [unité normalisée]

quadripôle en section F : $k_1 = (1.35)^2$ [unité normalisée].

Le même quadripôle placé en section D ou en section F aura donc un effet 1.81 fois supérieur dans cette dernière position.

III. DONNÉES DU PROGRAMME 45804

1) Le système de la machine

La machine est caractérisée par une certaine distribution de lentilles dans les sections $N_1, N_2, N_3 \dots$. Le système de la machine est introduit dans les données par des cartes :

type 1 FORMAT (I1, F9.3, F10.5)

contenant les grandeurs J, A, D.

J : $n-1$ (lentille d'ordre n);

A : numéro de la section droite (A peut avoir n'importe quelle valeur positive, entière ou fractionnaire^{*}), mais toujours dans l'ordre correspondant à la direction du faisceau);

D : k_n (force positive ou négative de la lentille d'ordre n).

Le système est formé les cartes suivantes :

— 1 carte type 1.a : $J = b$ ^{**}, A = numéro de la section de départ du calcul, D = b.

— q cartes type 1.b : J, A, D, comme définis pour le type 1 (une carte pour chaque lentille).

*) Cela correspond à une généralisation abusive de la machine A.G. considérée comme C.G. mais qui peut être utile dans le cas des "bump coils" par exemple.

***) b = espace blanc.

- r cartes type 1.c : $J = b$, A comme type 1, $D = b$ (ces cartes intercalées entre les cartes type 1.b indiquent les sections supplémentaires où l'on désire connaître la trajectoire^{*)}). $q + r \leq 50$.
- 1 carte type 1.d : $J = b$, $A = Q_0$ (nombre d'oscillations bêtatroniques radiales de la machine non perturbée), $D = b$.
- 1 carte blanche

2) Les trajectoires à calculer

Elles sont fournies par un nombre quelconque de cartes :

- type 2 FORMAT (3F10.5)
contenant les paramètres NR, x_0 , p_0 .

NR : nombre de révolutions à calculer;

x_0, p_0 : coordonnées de la trajectoire dans le plan de phase de la section de départ.

3) Modifications du système

Pour faciliter l'essai de systèmes où peu de lentilles ont été changées, on peut procéder à une modification introduite par une carte :

- type 3 FORMAT (F10.5)
contenant le nombre 999.

On ne peut pas changer le nombre de cartes du système mais on peut remplacer la $IN^{i\text{ème}}$ carte au moyen du couple de cartes :

- type 4 FORMAT (I2)
contenant IN;

— type 1.b (carte de remplacement J, A, D)
avec la restriction $A(IN - 1) \leq A(IN) \leq A(IN + 1)$.

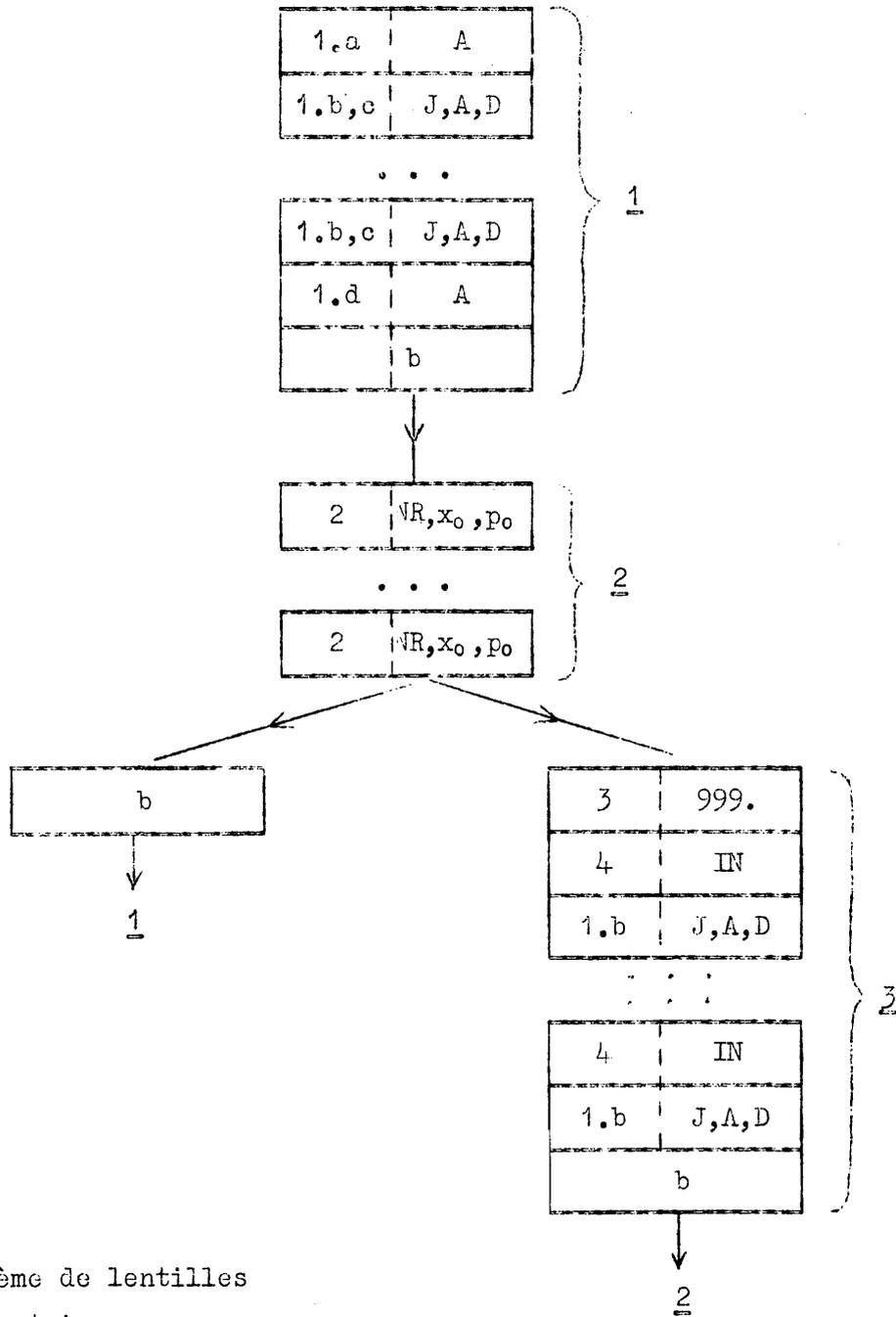
On peut placer à la suite autant de couples de remplacement qu'il est nécessaire. La fin de la modification est signalée par :

- une carte blanche.

On donne ensuite les trajectoires à calculer, voir 2)

*) En effet la trajectoire apparaîtra dans les résultats pour chaque section mentionnée dans les données du système, après le passage de la lentille s'il y en a une.

Résumé des données pour le programme 45804



- 1 : système de lentilles
- 2 : trajectoires
- 3 : modification du système

IV. RESULTS 45804

Précédés par l'énumération du système de lentilles, les résultats sont fournis pour chaque trajectoire sous une forme parfaitement explicite.

V. DESCRIPTION DU CALCUL 45805 : EJECTION LENTE

Introduction

Ce paragraphe ne donnera pas tout le contenu mathématique^{1,3)} ou logique du programme mais permettra de se fixer les idées sur les différentes informations accessibles.

La dynamique du faisceau utilisée dans ce second programme diffère de celle exposée aux pages 2 et 3 par les deux points suivants :

- 1) Le plan de phase (x,p) étant toujours rapporté au centre R_0 de la chambre à vide, on considère ici des faisceaux dont l'énergie peut être différente de E_0 . La position radiale (moyenne) du faisceau non perturbé sera donnée par :

$$e = \frac{E - E_0}{E_0} R_0 \alpha$$

où E est l'énergie moyenne du faisceau, E_0 l'énergie correspondant à l'orbite fermée centrale de la machine non perturbée de rayon R_0 , α étant le facteur de compaction des oscillations bétatroniques radiales dans la section considérée.

On voit donc que la transformation du plan de phase lorsqu'on passe d'une section droite à la suivante dans la machine non perturbée sera une rotation d'un angle $\mu = 2\pi Q_0/100$ autour de la trajectoire centrale du faisceau ($x = e, p = 0$).

- 2) Les lentilles d'ordre n peuvent avoir leur centre à la position radiale $R \neq R_0$ (axe de la chambre à vide). Dans le plan de phase (x,p) elles auront donc un champ de la forme $B = \text{const.} [x - (R - R_0)]^n$.

Pour certains systèmes de lentilles (notamment ceux qui seront utilisés dans l'éjection lente), le plan de phase horizontal (x,p) est divisé en deux régions, stable et instable, par des séparatrices dont la forme est représentée à la figure 1.

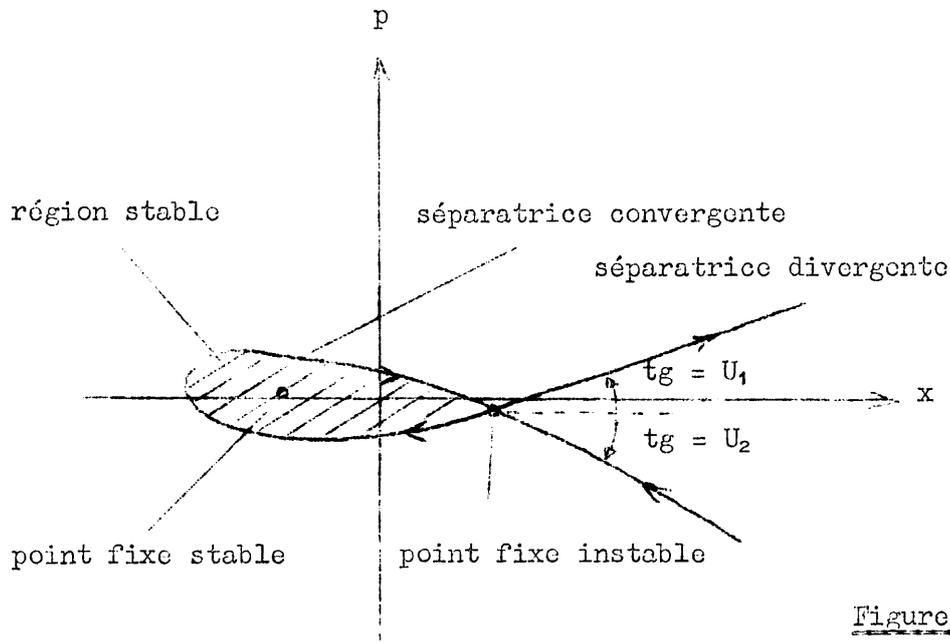


Figure 1

Après chaque révolution dans le CPS les points du plan de phase se trouvent à de nouvelles positions sauf les deux points fixes. Les points de la région stable circulent autour du point fixe stable, tandis que les points appartenant aux séparatrices se meuvent le long de celles-ci dans le sens des flèches indiquées, en faisant à chaque révolution un saut dont la grandeur croît avec l'éloignement du point instable.

Pour dessiner ces séparatrices, il convient donc de prendre quelques points sur la tangente U_1 au voisinage du point instable et d'observer un grand nombre de leurs sauts (en général entre 20 et 100).

Ces séparatrices permettent de définir l'acceptance du système d'éjection (surface de la région stable) et les propriétés du faisceau éjecté qui est capté sur la séparatrice divergente.

Le calcul se fait principalement en trois étapes :

- a) Calcul des points fixes par approximations successives.
- b) Détermination de la position asymptotique.
- c) Calcul des séparatrices par sauts multiples d'une série de points.

a) Points fixes

La méthode de solution par approximations successives est la seule^{*)} qui puisse être appliquée aux systèmes complexes de lentilles. Elle a l'inconvénient de nécessiter une connaissance approchée du point fixe cherché soit :

$$\vec{x}_1 = \begin{pmatrix} x_1 \\ p_1 \end{pmatrix} .$$

Au cours du calcul d'une révolution qui amènera \vec{x}_1 en \vec{x}_2 , on calcule également la matrice M qui donne la transformation linéaire dans le voisinage de \vec{x}_1 et \vec{x}_2 . (Voir figure 2).

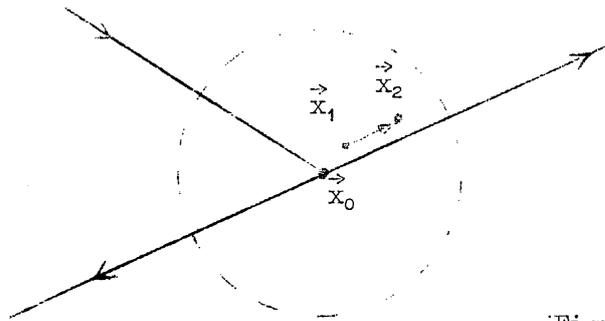


Figure 2

Si l'approximation linéaire est exacte, on a :

$$\vec{x}_2 - \vec{x}_0 = M(\vec{x}_1 - \vec{x}_0).$$

*) En effet la transformation du plan de phase qui correspond à une révolution dans la machine perturbée a en général un degré égal à $1 + \sum_i (n_i - 1)$, où $n_i \geq 1$ est l'ordre de la i^{ème} lentille. (Les dipôles n'entrent pas dans cette somme.)
Par exemple avec six lentilles sextupolaires, un quadripôle et des "kickers", l'équation serait du septième degré.

Mais si l'approximation linéaire est valable, la solution de cette équation donne \vec{x}_{o_i} qui tend vers \vec{x}_o par itération.

On peut montrer, dans les cas qui nous intéressent, que la suite des \vec{x}_{o_i} tend vers \vec{x}_o selon un certain chemin (traitillé dans la figure 3) pour autant que la solution proposée \vec{x}_1 se trouve dans une certaine portion du plan de phase (limite en pointillé dans la figure 3).

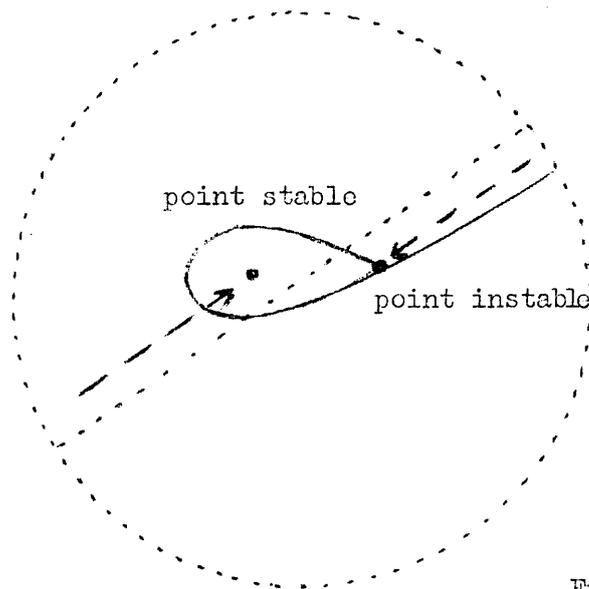


Figure 3

b) Position asymptotique

On peut montrer^{1,3)} que la distance entre les points fixes et par conséquent la surface de la région stable dépend du paramètre²⁾

$$e = \frac{E - E_0}{E} R_0 \alpha$$

défini à la page 7.

La valeur de e correspondant à la réunion des points fixes (surface stable $\rightarrow 0$) est appelée ici e_{as}^*). Pour $e > e_{as}$, il n'y a pas de région stable.

*) Notons que e_{as} est égal à zéro si le quadripôle est "normal" (ramenant à la sixième harmonique toutes les oscillations bétatroniques radiales), et si toutes les lentilles sont centrées sur le faisceau non perturbé [voir réf. 3)].

A tout système de lentilles devant permettre l'éjection lente correspond une valeur e_{as} qu'on peut calculer. Lorsque la position radiale moyenne du faisceau $R - R_0$ est plus petite que e_{as} , le faisceau reste stable pour autant que la surface stable correspondant à $e = R - R_0$ contienne l'émission du faisceau. e_{as} peut être calculé avec une bonne précision en considérant le lieu des points fixes lorsque $e \rightarrow e_{as}$ comme une courbe du second degré symétrique par rapport au point fixe double correspondant à $e = e_{as}$.

Il faut alors connaître une estimation de e_{as} et fournir au programme deux valeurs e inférieures à cette estimation qui lui serviront à calculer les quatre points fixes nécessaires à la solution (voir figure 4).

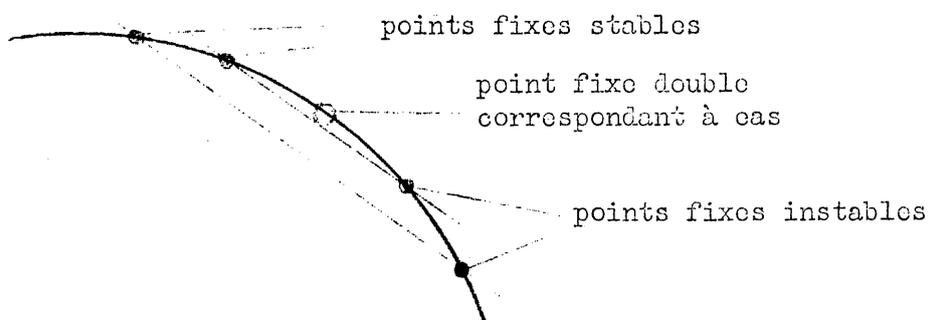


Figure 4

c) Calcul des séparatrices par sauts multiples d'une série de points

Lorsqu'un point fixe instable a été calculé ainsi que la tangente aux séparatrices partant de ce point, on peut calculer ces courbes.

Soit \vec{x}_0 le point instable, U_1 la pente de la tangente et PR_1 la distance du point de départ (voir figure 5). On a :

$$\vec{x}_1 = \begin{pmatrix} x_1 = x_0 + PR_1 \\ p_1 = p_0 + U_1 \times PR_1 \end{pmatrix}$$

et après une révolution dans la machine on obtient \vec{x}'_1 .

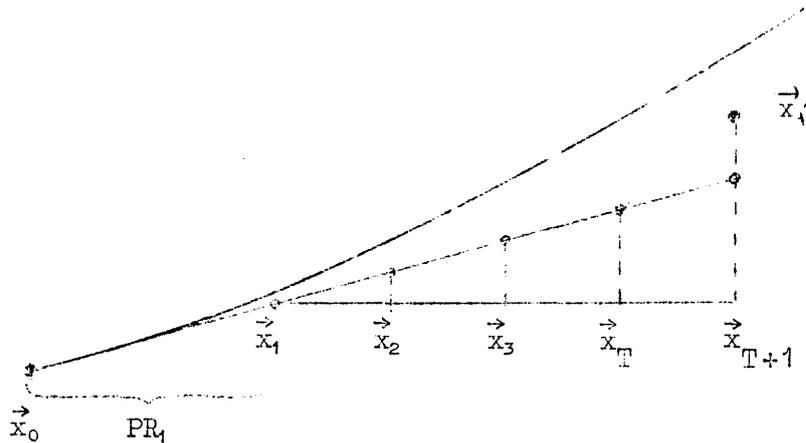


Figure 5

On définit alors les $T + 1$ points \vec{x}_i en divisant ^{*)} le segment $x'_1 - x_1$, et en plaçant ces points sur la tangente. Les $T + 1$ points sont alors utilisés comme points de départ des sauts multiples qui permettront de tracer la séparatrice.

Dans les résultats, en même temps qu'un point \vec{x}_i figurera dans une colonne spéciale nommée CONTROL le point \vec{x}_{T+1} du saut précédent, l'écart entre ces deux points permettant de juger la qualité de la tangente sur laquelle sont pris les $T+1$ points de départ.

Séparatrice convergente

Deux informations supplémentaires sont accumulées dans ce calcul :

- 1) Au cours des révolutions multiples dans la machine, de tous les points, les valeurs extrêmes $x_{\text{maximum maximorum}}$ et $x_{\text{minimum minimorum}}$ sont retenues. Elles indiquent la place qu'occupe dans la chambre à vide la région stable considéré.
- 2) La surface de la région stable est calculée au moyen du polygone que forment les points obtenus sur la séparatrice.

*) Plus précisément c'est le $\log(x_{T+1} - x_0) - \log(x_1 - x_0)$ qui est divisé en T parties égales pour définir des segments contenant le même nombre physique de particules.

Séparatrice divergente

Pour chaque nouveau point calculé sur la séparatrice, plusieurs informations sont fournies sur la trajectoire que ce point a décrite au cours de sa dernière révolution dans la machine.

- 1) La position du point est donnée dans au plus six plans de phases présélectionnés, outre le plan de phase d'éjection.
- 2) Les dix à quinze extrema \hat{x} de la trajectoire sont relevés ainsi que leurs positions azimutales.

Enfin, l'amplitude du saut $Dx = x' - x$, et la densité linéaire de particules appelée LOSS $\sim 1/Dx$ sont également calculées.

VI. DONNEES DU PROGRAMME 45805

- 1) Le système de la machine (voir aussi le paragraphe 1) de la page 4)

Arrangement des cartes :

| | |
|---------------------|---------------|
| — 1 carte type 1.a | } voir page 4 |
| — q cartes type 1.b | |
| — r cartes type 1.c | |
| — 1 carte type 1.d | |
| — 1 carte blanche | |

Les cartes 1.a et 1.c sont les mêmes que celles du programme 45804, la carte 1.a fixant la section d'éjection, les cartes 1.c étant au plus six en tout. Pour les cartes 1.b, une généralisation permet d'introduire des lentilles décentrées et à septum de la façon suivante :



— type 1.b FORMAT (I4, F9.3, 3F10.5)
contenant J, A, D, SEPTUM, CENTRE.

Cette lentille produit un champ proportionnel à $D(x-CENTRE)^{J-1}$ si $x \geq SEPTUM$,
égal à zéro si $x < SEPTUM$.

Pour la carte 1.d, on a $J = b$ et $A = Q_0$ comme précédemment, mais D peut servir à augmenter la précision qu'on désire atteindre dans le processus d'itération pour la recherche des points fixes. On a :

$$\text{PREC} = 0.001 + D.$$

Dans le calcul de \vec{x}_0 par approximations successives, le nombre d'itérations sera fixé par $x_{0i} - x_{0i-1} \leq \text{PREC}$ et le résultat fourni sera \vec{x}_{0i+3} .

2) Approximations des points fixes

Chaque approximation de point fixe est donnée par une carte :

— type 2 FORMAT (3F10.5)

contenant e, x_0, p_0 .

Après au plus quatre cartes de ce genre on met une carte :

— type 3 FORMAT (F10.5)

contenant le nombre 998.

3) Calcul de eas (surface stable $\rightarrow 0$)

Comme il est indiqué plus haut ce calcul nécessite quatre points fixes qu'on choisit de la manière suivante. Soit $e_0 \pm \Delta e_0$ l'approximation connue de eas; on désigne les quatre points fixes par des cartes type 2, avec :

— $e_0 - 2\Delta e_0, x_{01}, p_{01}$ donnant un point stable,

— $e_0 - 2\Delta e_0, x_{02}, p_{02}$ donnant un point instable,

— $e_0 - \Delta e_0, x_{01}, p_{01}$ donnant un point stable,

— $e_0 - \Delta e_0, x_{02}, p_{02}$ donnant un point instable.

La valeur de eas est alors calculée avec une incertitude $\Delta eas \ll \Delta e_0$.

Comme on cherche généralement eas pour pouvoir calculer ensuite les séparatrices correspondant à une région stable de surface donnée³, il faut indiquer la valeur Δe qui correspond à cette surface. ($e = eas - \Delta e$).

— 1 carte type 3 FORMAT (F10.5)

contenant Δe .

Le programme calcule alors les points fixes respectivement stable et instable correspondant aux paramètres :

$$eas - \Delta e, x_{01}, p_{01}$$

$$eas - \Delta e, x_{02}, p_{02} .$$

4) Analyse des séparatrices

~~m~~ m cartes type 5 FORMAT (7F10.5)
contenant $PR_1, T, PR_2, R, RO, LA_1, LA_2$ ^{*)}, ($m = 0, 1, 2$).

- PR_1 : $|x_1 - x_{01}|$ (voir figure 5),
distance entre le point fixe instable et le point de départ
du calcul de la séparatrice (= 0.1 si $PR_1 = b$).
- $T - 1$: nombre maximum de points calculés à l'intérieur d'un saut
($T \leq 20$).
- PR_2 : distance minimum entre deux points fournis dans les résultats.
- $R \begin{cases} = b \\ > 0 \end{cases}$: la séparatrice convergente est calculée.
: la séparatrice divergente est calculée jusqu'à la limite $x \leq R$,
les points fournis dans les résultats sont tels que $RO \leq x \leq R$.
- RO : voir ci-dessus (= x_0 si $RO = b$).
- $LA_1 + 100$: limite du nombre des sauts servant à tracer une séparatrice.
- $LA_2 + 3$: limite du nombre de sauts à effectuer après le changement de signe
de Dx , dans le cas de la séparatrice divergente.

5) Modifications du système

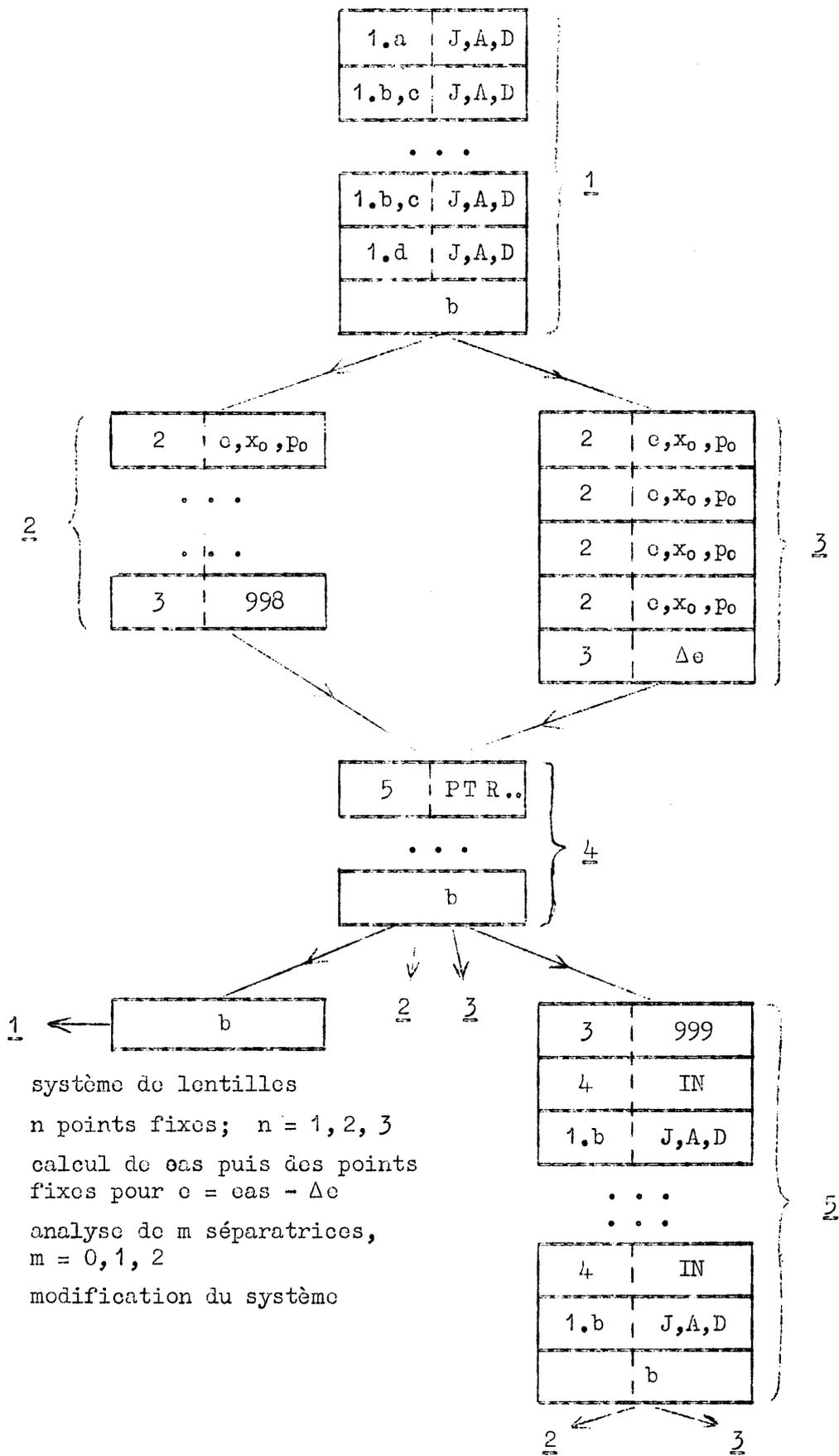
Elles se font au moyen des cartes de type 3.4 et 1.b comme cela est
indiqué à la page 5, paragraphe 3).

*) Pour une séparatrice convergente seules les valeurs de T et PR_2 sont
indispensables; pour une séparatrice divergente il faut spécifier au
moins T, PR_2, R .

Résumé des données

Chaque carte est désignée par

| | |
|------|---------|
| type | contenu |
|------|---------|



- 1 : système de lentilles
- 2 : n points fixes; $n = 1, 2, 3$
- 3 : calcul de eas puis des points fixes pour $e = eas - \Delta e$
- 4 : analyse de m séparatrices, $m = 0, 1, 2$
- 5 : modification du système

VII. RESULTATS DU PROGRAMME 45805

a) Points fixes

Le programme peut servir à calculer plusieurs couples de points fixes correspondant à des valeurs du paramètre e , ou des systèmes de lentilles différents.

Pour chaque système de lentille on obtient une page intitulée ... FIXED POINTS ... où les résultats sont précédés de l'énumération du système.

Suivent les coordonnées (x,p) du point fixe aux différents ordres d'itération. Puis différentes informations sont fournies sur la circulation autour du point fixe :

- MATRIX : est la matrice de transformation linéaire valable dans le voisinage du point fixe.
- HARMONIC : est le nombre de sauts nécessaires pour qu'un point décrive une ellipse infinitésimale autour du point fixe stable.
- TANGENT : est la tangente de l'angle que fait l'axe a de cette ellipse avec l'axe Ox .
- RATIO : est le rapport b/a des axes de cette ellipse.
- SLOPES : donne les pentes U_1 et U_2 . (Point instable)

b) Position asymptotique

Lorsqu'on cherche la valeur asymptotique eas du paramètre e , la PAGE 1 donne l'énumération du système de lentille et les deux premiers points fixes, la PAGE 2 donne les deux points fixes suivants et la PAGE 3 fournit eas ainsi que les points fixes correspondant à $e = eas - \Delta e$.

c) Séparatrices

Après le calcul des points fixes, si des cartes type 5 ont été placées, les séparatrices sont calculées à partir des paramètres $x_0, y_0, U_0 = \max(U_1, U_2)$, du dernier point fixe calculé qui doit être un point instable.

Pour chaque séparatrice les résultats sont précédés de l'énumération du système de lentilles :

1) La séparatrice convergente est alors donnée par une suite de lignes correspondant chacune à un point dont les coordonnées x et p sont fournies dans les six sections choisies et dans la section d'éjection (ordonnées d'après la direction du faisceau). A la fin de chaque ligne figure en contrebas le numéro du saut que représente la ligne et le numéro T de la fraction de saut.

Pour chaque ligne où $T = 1$, les deux derniers nombres x et p (de la colonne CONTROL) peuvent être comparés aux x et p de la colonne EJECTION et servent à juger la qualité de la tangente de pente U_0 utilisée autour du point instable. (Pour améliorer la situation, s'il y a lieu, on diminue PR_1 .)

Enfin lorsque la boucle est fermée, sa surface S est fournie ainsi que les valeurs x_{maximum} x_{minorum} et x_{minimum} x_{minorum} des valeurs x atteintes par tous les points calculés de la trajectoire convergente. Les positions azimutales où ces valeurs sont atteintes sont fournies par un nombre fractionnaire *)

2) La séparatrice divergente est fournie par une suite de trois lignes groupées. La première ayant la même signification que ci-dessus. La seconde ligne donne au plus quinze valeurs x_{minimum} et x_{maximum} atteintes au cours de la révolution, et dont les positions azimutales correspondantes sont indiquées au-dessous, dans la troisième ligne. La quantité LOSS fournit la densité de particules par mm en % au point MEANX.

Temps de calcul

Les séparatrices demandent en général cinquante à cent sauts pour être décrites à partir d'un point distant de $PR_1 = 0.01$. Même avec le plus grand nombre de points ($T = 20$), le calcul des séparatrices ne dépasse pas 2.0 min. (7090).

*) Voir remarque *) de la page 4. D'autre part, il faut noter que ces maxima sont calculés dans la machine de symétrie 100, c'est-à-dire sans tenir compte de la modulation donnée par le "wiggler factor". Mais ici encore, le déplacement des maxima et minima que donnerait cette modulation de longueur d'onde ~ 8 fois inférieure à la longueur d'onde bêta-tronique n'est pas intéressant dans l'approximation faite.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier très sincèrement le docteur H.G. Hereward des critiques positives et des suggestions qu'il a formulées tout au long de ce travail.

C. BOVET

REFERENCES

- 1) H.G. Hereward, The possibility of resonant extraction from the CPS, CERN AR/Int. GS/61-5.
- 2) E.D. Courant, H.S. Snyder, Theory of the alternating gradient synchrotron, Ann.Phys. 3, 1-48 (1958).
- 3) C. Bovet, Variation des paramètres de l'éjection lente, à paraître. MPS/Int. DL/65-6.
- 4) H.G. Hereward, Effect of quadrupoles in the CPS: Methods of calculation, CERN MPS/Int. DL/63-9.

Distribution: (ouverte)

Personnel Scientifique et Technique
de la Division MPS.