

MESURES DES EMITTANCES ET DU CENTRAGE DES FAISCEAUX
DANS LA LIGNE DE MESURE "800 MEV" DU PSB

C. Metzger

1. Introduction
2. Mesure d'émittance
 - 2.1 Méthode
 - 2.2 Condition optique de la mesure et positions des détecteurs
 - 2.3 Détermination des paramètres ϵ , L et S
 - 2.4 Optiques
 - 2.4.1 Plan horizontal ; mode de recombinaison à 20 paquets
 - 2.4.2 Plan vertical ; mode de recombinaison à 20 paquets
 - 2.4.3 Plan horizontal ; mode de recombinaison à 10 paquets
 - 2.4.4 Plan vertical ; mode de recombinaison à 10 paquets
3. Mesure du centrage des faisceaux
 - 3.1 Détermination des positions des centres
 - 3.2 Erreur tolérable sur les positions moyennes

REFERENCES

FIGURES

1. Introduction

Les principes de la mesure d'émittance d'un faisceau primaire éjecté d'un synchrotron sont décrits dans la référence 1) et nous en rappellerons brièvement les points principaux dans le chapitre suivant.

Le but de ce rapport est de montrer que cette méthode, utilisée dans l'espace de glissement situé dans la ligne de mesure entre TS-Q4 et le "beam dump"²⁾, permet la mesure des émittances du faisceau recombinaison ainsi que la position des trajectoires centrales de chacun des quatre faisceaux. Ces dernières mesures doivent permettre le réglage fin de la ligne de recombinaison³⁾.

2. Mesure d'émittance

2.1 Méthode

La distribution de densité des protons, dans les plans de phase transversaux, présente des ellipses d'équidensité⁴⁾ données par les invariants de Courant et Snyder. Ces ellipses peuvent s'écrire :

$$\frac{1}{L} [y^2 - 2Syy' + (L^2 + S^2)y'^2] = \epsilon \quad (1)$$

où les paramètres ϵ , L et S sont définis dans la référence 5).

La dimension d'un faisceau d'émittance ϵ peut être déduite de l'équation (1) :

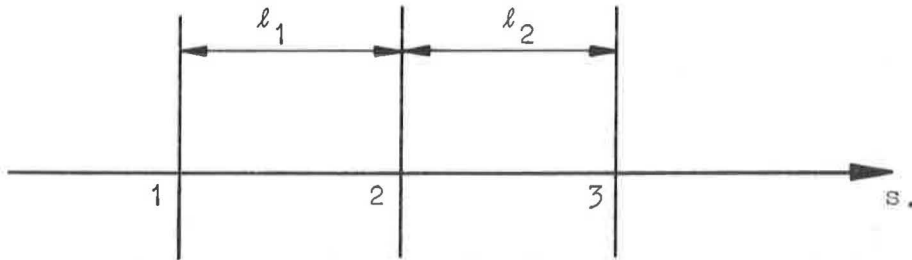
$$\hat{y} = \sqrt{\frac{\epsilon(L^2 + S^2)}{L}} \quad (2)$$

D'autre part, elle peut également se déduire des densités mesurables de particules, profils du faisceau, qui sont données par :

$$\left. \begin{aligned} P(x) &= \int_{-\infty}^{+\infty} P(x,z) dz \\ P(z) &= \int_{-\infty}^{+\infty} P(x,z) dx \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

où $P(x,z)$ est la densité de particules dans le faisceau.

En mesurant trois profils de faisceau en différents endroits de l'espace de glissement nous pourrons déduire trois dimensions qui, rapportées à l'espace de phase de l'un des points de mesure, nous permettront de calculer les paramètres ϵ , L et S .



$$\hat{y}_i = \sqrt{\frac{\epsilon(S_i^2 + L^2)}{L}} \quad (4)$$

avec $S_1 = S - l_1$

$$S_2 = S$$

$$S_3 = S + l_2$$

2.2 Condition optique de la mesure et positions des détecteurs

Considérons le plan de phase normalisé correspondant au point 2. Dans ce plan l'émittance ε est représentée par un cercle d'équation :

$$\eta^2 + \eta'^2 = \varepsilon$$

de rayon $\sqrt{\varepsilon}$. Ramenées à ce plan, les trois dimensions $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \hat{y}_3$ dessinent 3 paires de droites parallèles formant un hexagone circonscrit au cercle (fig. 1).

Pour obtenir la meilleure détermination des paramètres ε , L et S, on doit choisir des conditions optiques et des longueurs de glissement, entre les points de mesure, tels que les \hat{y}_i définissent un hexagone régulier (surface minimum) circonscrit au cercle.

La fig. 2 nous montre clairement que les conditions optimums ($[l_1 + l_2]$ minimum) sont obtenues lorsque l'ellipse d'émittance ε est droite dans le plan de phase correspondant au point 2. Dans ce cas nous obtenons pour les longueurs de glissement :

$$l_1 = l_2 = L\sqrt{3} \quad (5)$$

Cette solution offre l'avantage d'un faisceau de dimension acceptable (voir point 2.4) et facilement réglable, puisque nous obtenons un faisceau symétrique par rapport au plan 2 (fig. 2b).

2.3 Détermination des paramètres ε , L et S

En résolvant le système d'équations (4) avec :

$$l_1 = l_2 = l$$

on obtient :

$$\left. \begin{aligned} \varepsilon &= \frac{[8(q - 2b)b - p^2]^{1/2}}{\ell} \\ L &= \frac{\ell [8(q - 2b)b - p^2]^{1/2}}{2(q - 2b)} \\ S &= \frac{\ell p}{2(q - 2b)} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

où :

$$\begin{aligned} b &= \hat{y}_2^2 \\ p &= \hat{y}_3^2 - \hat{y}_1^2 \\ q &= \hat{y}_3^2 + \hat{y}_1^2 \end{aligned}$$

2.4 Optiques

2.4.1 Plan horizontal : mode de recombinaison à 20 paquets

Dans ce cas il est possible d'obtenir un faisceau focalisé en un point où la dispersion est quasi nulle ($m_{13} = -0.069$ m). Les paramètres calculés de l'ellipse droite dans le plan de phase correspondant au point 2 sont :

$$\varepsilon_H = 33 \cdot 10^{-6} \text{ rad m}$$

$$L_H = 1.63 \text{ m}$$

La distance entre les détecteurs est donc :

$$\ell = L \sqrt{3} = 2.82 \text{ m}$$

Aux points 1 et 3 la dispersion n'est pas nulle. Elle est respectivement :

$$m_{13}(1) = 1.09 \text{ m}$$

$$m_{13}(3) = -1.23 \text{ m}$$

Ces valeurs donnent un élargissement des profils du faisceau (gaussien) inférieur à 1.5⁰/o pour $\Delta p/p = \pm 1 \cdot 10^{-3}$.

Sur la fig. 3 les enveloppes horizontale et verticale du faisceau sont représentées. Le diamètre maximum du faisceau, au point 2, est :

$$2\hat{x}_2 = 14.7 \text{ mm}$$

2.4.2 Plan vertical : mode de recombinaison à 20 paquets

Afin d'éviter un éparpillement des détecteurs le long de la ligne de mesure, nous plaçons les détecteurs verticaux aux mêmes endroits que les détecteurs horizontaux. Ceci entraîne que les paramètres L et S de l'ellipse doivent être :

$$L_V = 1.63 \text{ m}$$

$$S_V = 0 \text{ au point 2.}$$

Les enveloppes du faisceau ayant ces caractéristiques et une émittance $\epsilon_V = 12 \cdot 10^{-6}$ rad m sont représentées sur la fig. 4. Le diamètre du faisceau est :

$$2\hat{z}_2 = 8.8 \text{ mm}$$

2.4.3 Plan horizontal : mode de recombinaison à 10 paquets

En variant les forces des 4 lentilles de la ligne de mesure il n'est pas possible d'obtenir une optique non dispersive sur les détecteurs en se maintenant dans les ouvertures. Un quadrupole supplémentaire placé avant les aimants de déflexion résoudrait probablement la difficulté.

2.4.4 Plan vertical : mode de recombinaison à 10 paquets

Pour ce faisceau nous avons choisi de déplacer légèrement le point focal afin d'obtenir une enveloppe horizontale acceptable. Dans le plan de phase vertical correspondant au point 2, les paramètres de l'ellipse sont :

$$\varepsilon = 30 \cdot 10^{-6} \text{ rad m}$$

$$L = 1,67 \text{ m}$$

$$S = 0,6 \text{ m}$$

Les enveloppes sont représentées sur la fig. 5 et le diamètre du faisceau est :

$$2\hat{z}_2 = 15 \text{ mm}$$

3. Mesure du centrage des faisceaux

Les émittances de chacun des quatre faisceaux à la sortie du PSB sont :

$$\varepsilon_V = 9 \cdot 10^{-6} \text{ rad m}$$

$$\varepsilon_H = 26 \cdot 10^{-6} \text{ "}$$

et celles du faisceau recombiné (mode de recombinaison à 20 paquets) ne doivent pas dépasser :

$$\varepsilon_V = 12 \cdot 10^{-6} \text{ rad m}$$

$$\varepsilon_H = 33 \cdot 10^{-6} \text{ "}$$

L'accroissement de ces émittances provient de différents facteurs, entre autre de la non coïncidence des trajectoires centrales des quatre faisceaux.

3.1 Détermination des positions des centres

Les mesures des profils aux points 1 et 3 (fig. 2b) nous permettent de déterminer les positions moyennes de chacun des quatre faisceaux :

$$\overline{y}_i = \frac{\int_{-\infty}^{+\infty} y P_i(y) dy}{\int_{-\infty}^{+\infty} P_i(y) dy} \quad i = 1, 3 \quad (7)$$

Ramenés au plan de phase correspondant au point 2, \overline{y}_1 et \overline{y}_3 définissent deux droites dont l'intersection donne la position moyenne et l'angle de la trajectoire centrale du faisceau en ce point (fig. 6).

3.2 Erreur tolérable sur les positions moyennes

Soit ε l'émittance de chacun des quatre faisceaux. L'accroissement de l'émittance du faisceau recombinaison est défini par³⁾ :

$$\frac{\delta\varepsilon}{\varepsilon} = \xi^2 + 2\xi$$

où $\xi = \left| \frac{\overline{y}_i}{\hat{y}_i} \right|$ est déterminé par la mesure du profil avec une erreur égale à :

$$\Delta\xi = \frac{1}{\hat{y}_i} \sqrt{\Delta\overline{y}_i^2 + \left(\frac{\overline{y}_i}{\hat{y}_i} \right)^2 \Delta\hat{y}_i^2}$$

Lorsque les faisceaux sont centrés ($\overline{y}_i = 0$), cette erreur devient :

$$\Delta\xi = \frac{\Delta\overline{y}_i}{\hat{y}_i}$$

D'autre part, l'accroissement tolérable de l'émittance $\frac{\delta \varepsilon}{\varepsilon} = 0,2$ 3) nous fixe :

$$\xi_{\max} = 0,1$$

par conséquent, lorsque $\overline{y_i} = 0$ l'erreur tolérable sur ξ est :

$$\Delta \xi = \xi_{\max}$$

et l'erreur sur la position moyenne devient :

$$\overline{\Delta y_i} \leq 0,1 \hat{y}_i .$$

Si pour déterminer la position des centres nous utilisons les mêmes optiques que pour les mesures des émittances, l'erreur sur les positions moyennes, dans le cas le plus défavorable (vertical, 20 paquets), doit être :

$$\overline{\Delta y_i} \leq 0,38 \text{ mm.}$$

Distribution

Liste MPS-SI/1

REFERENCES

1. C. Bovet, et G. Guignard, Mesure de l'émittance d'un faisceau primaire, SI/Note DL/68-7.
2. C. Metzger, Optics of the 800 MeV spectrometer, CERN/SI/Int. DL 69-9.
3. E. Weisse, Lay-out and performances specification of beam monitors and steering magnets in the PSB-CPS transfer system, CERN/SI/Int. MAE/69-13.
4. C. Bovet, Optique des faisceaux primaires, CERN 66-25.
5. C. Bovet et al., A selection of formulae and Data useful for the design of AG synchrotrons, MPS-SI/Int. DL/68-3.

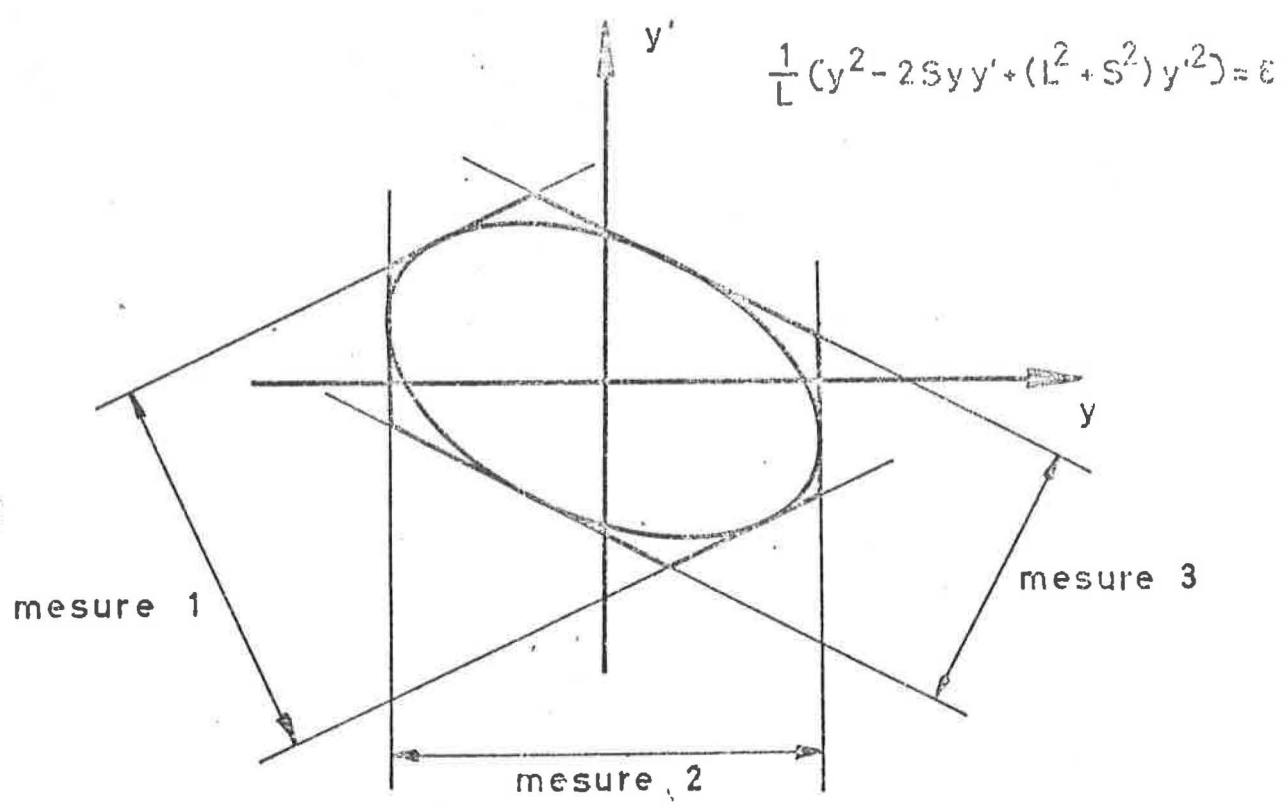
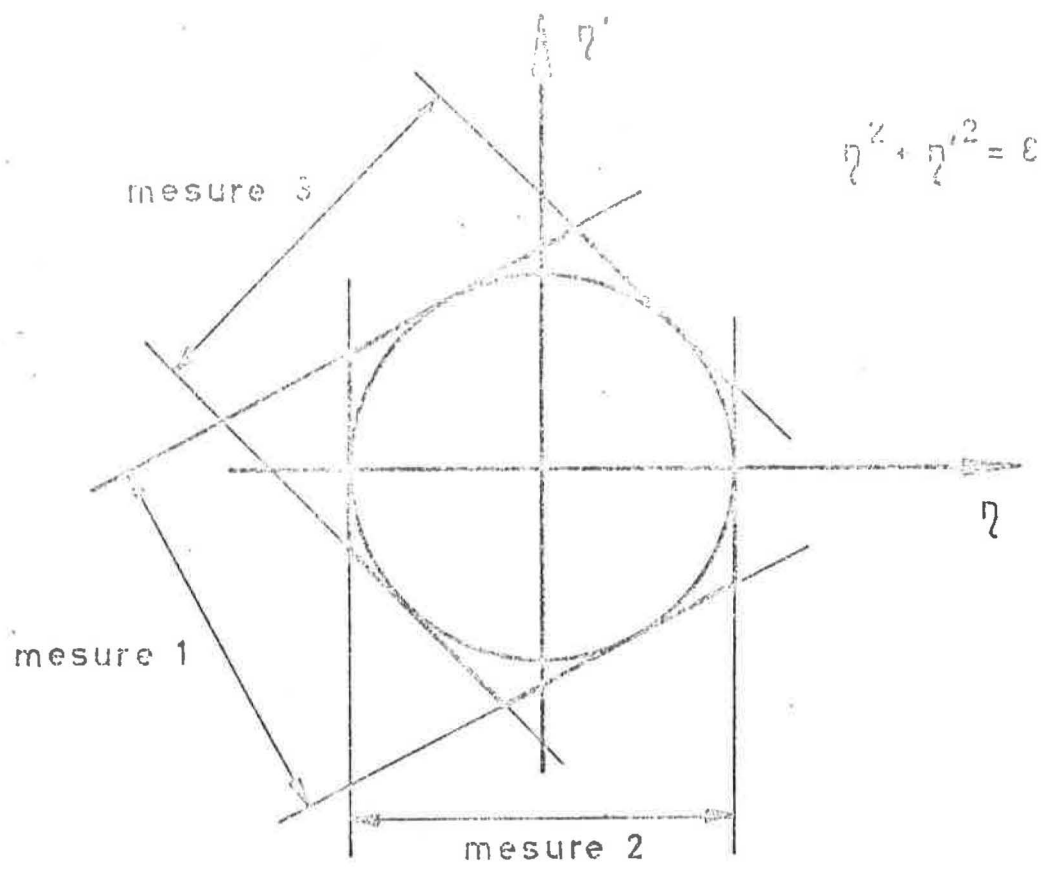
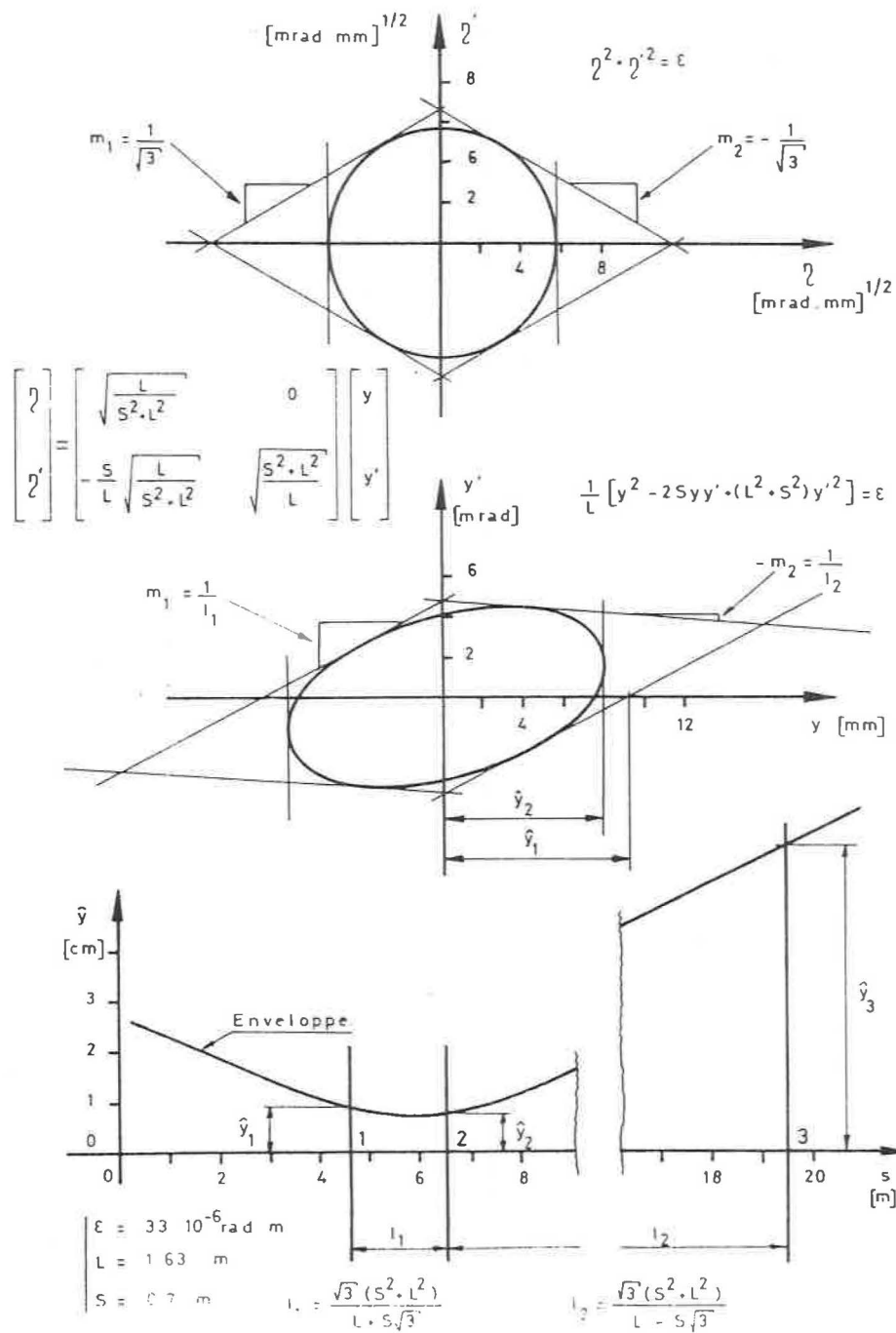


Fig: 1



a)

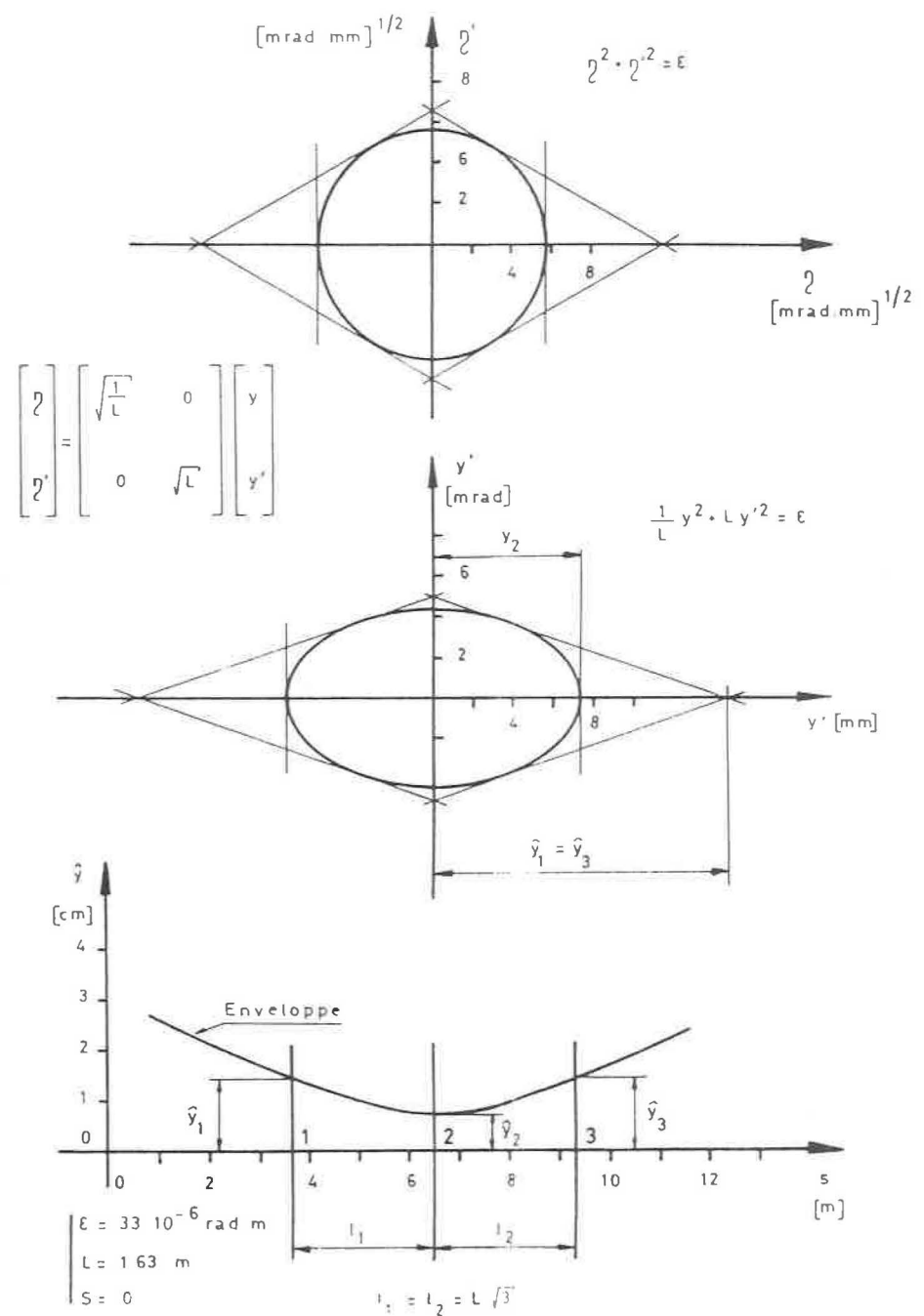


Fig: 2

b)

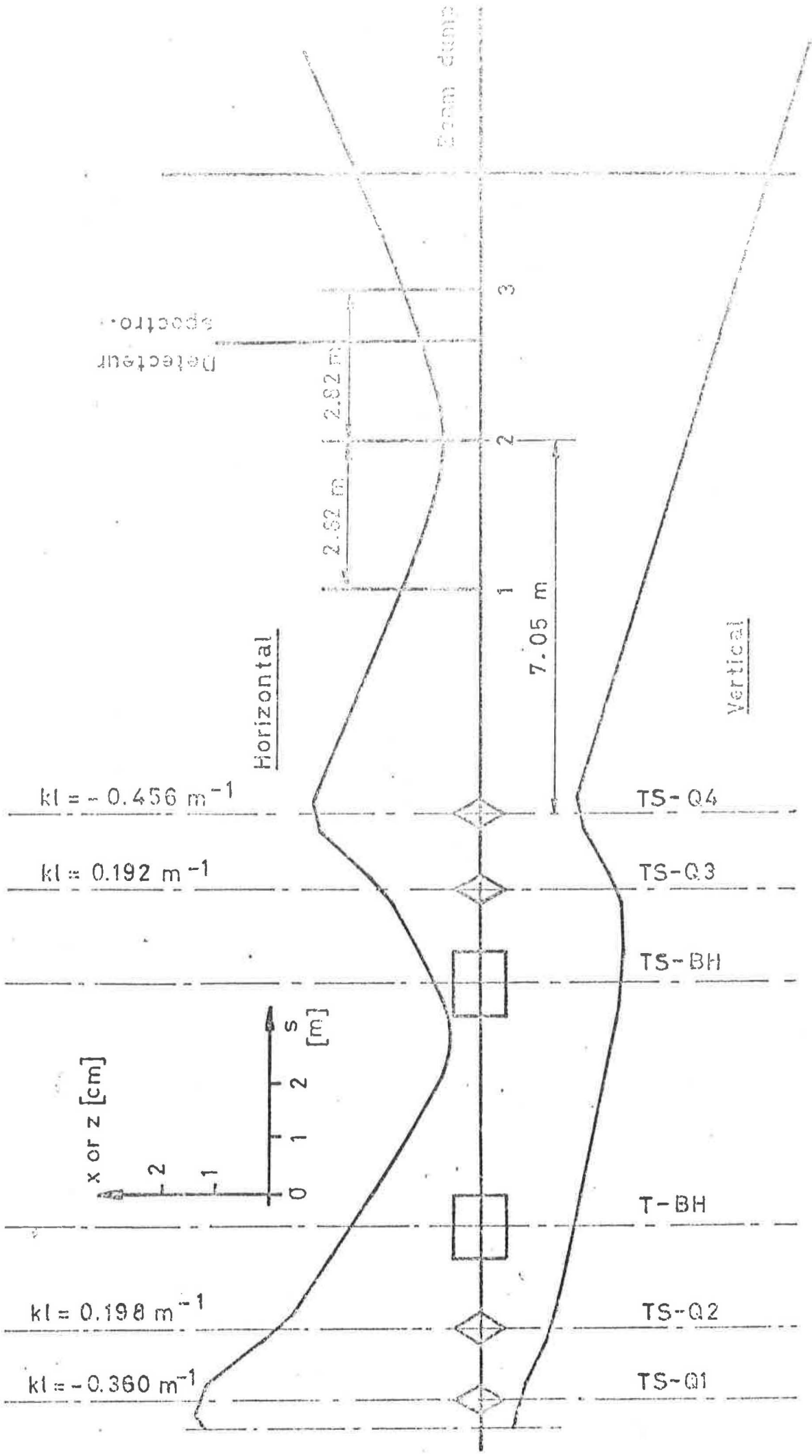


Fig:3. Mesure de l'émittance dans le Plan horizontal; mode 20 paquets.

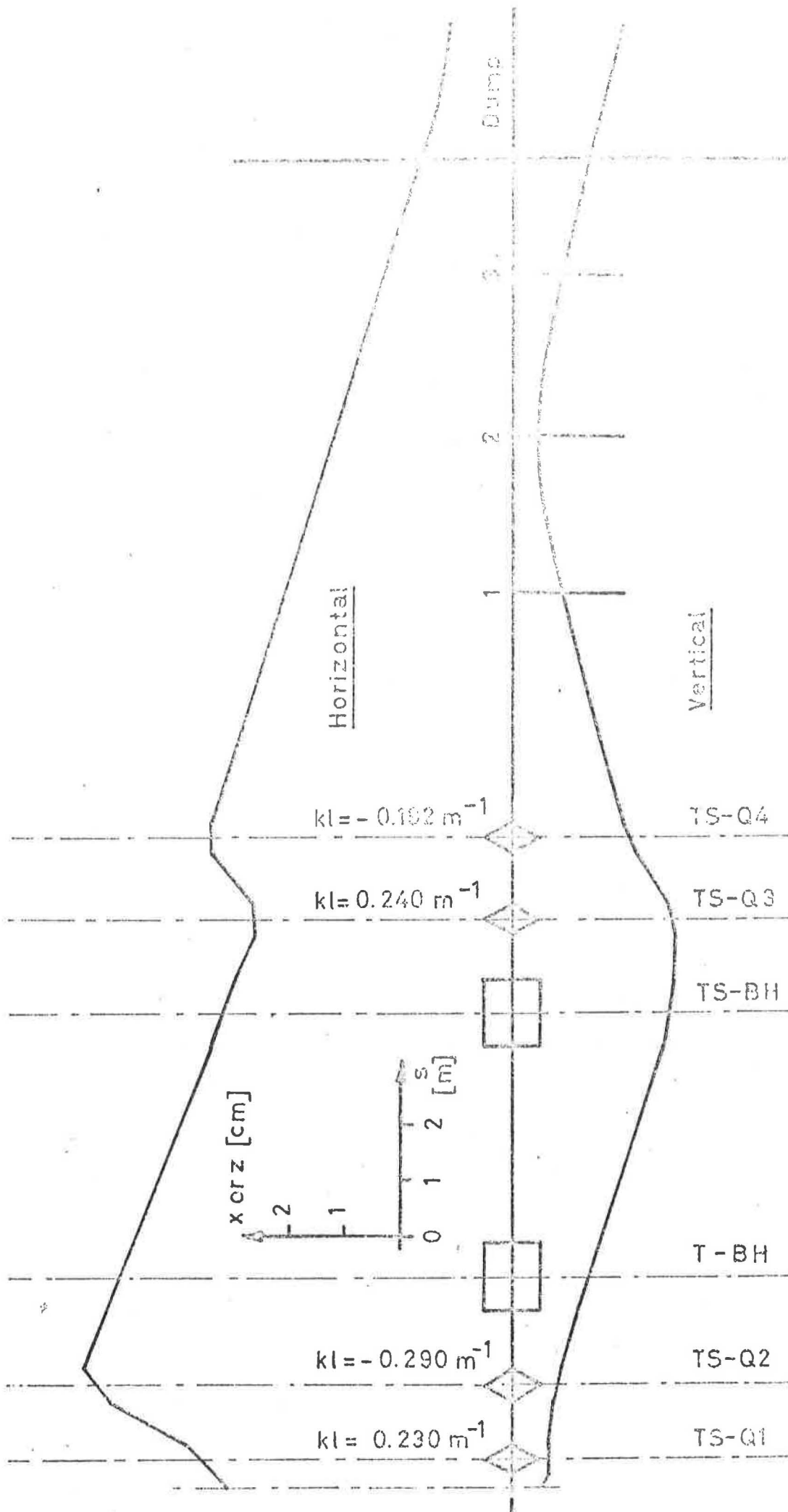


Fig:4. Mesure de l'émittance dans le Plan vertical; mode 20 paquets

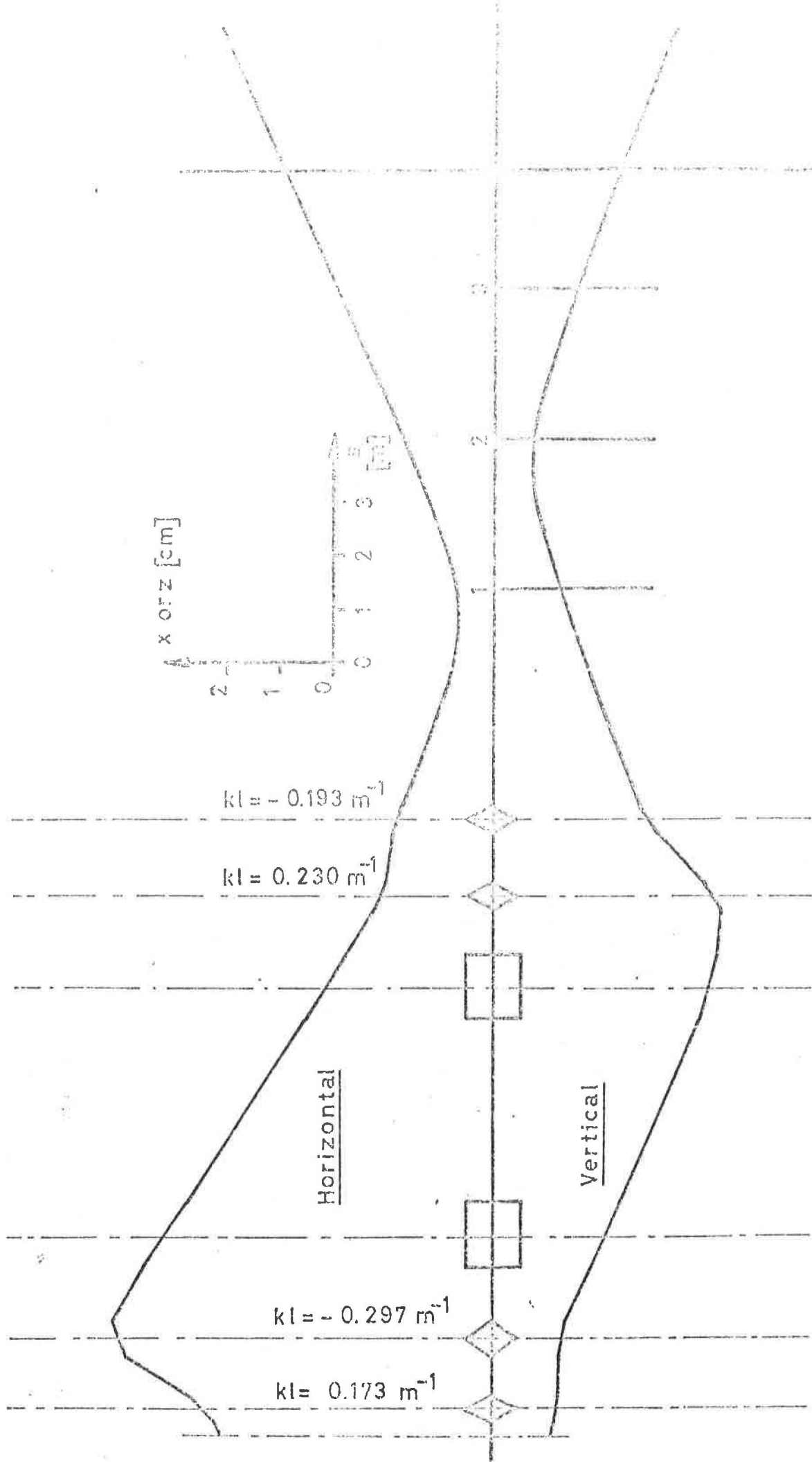


Fig: 5. Mesure de l'émittance dans le Plan vertical; mode 10 paquets.

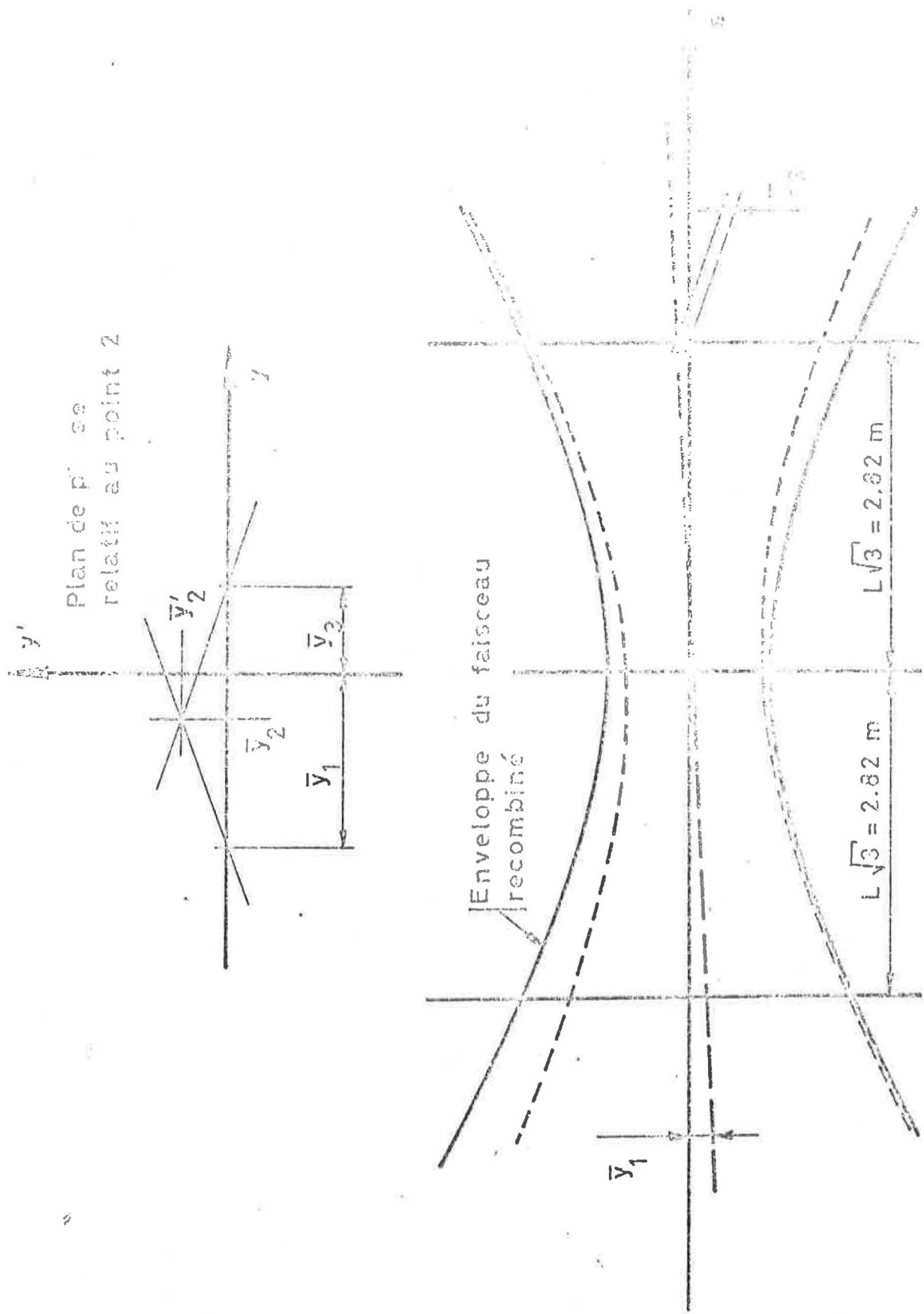


Fig: 6. Principe de la mesure du centrage des faisceaux.