

Orsay, le 4 Avril 1986

SIMULATION DES CORRECTIONS DE TRAJECTOIRES SUR LIL

R. CHEHAB ^{*}, K. HUBNER ^{**}, Y. THIERY ^{*}.

I - INTRODUCTION.

Les défauts d'alignement dans un linac induisent comme dans toute machine des perturbations de trajectoire. Ces perturbations peuvent entraîner - notamment dans les systèmes de transport périodiques - une augmentation de l'émittance. Une première approche analytique ⁽¹⁾ après avoir considéré différents types de défauts - défauts de position et d'inclinaison des quadrupôles, erreurs sur le gradient, désalignement et inclinaison des sections supportant les quadrupoles - évaluait les tolérances et situait les contraintes les plus sévères au niveau du positionnement latéral des quadrupôles. Une première évaluation schématique du système de corrections indiquait qu'un système de corrections possible consistait à équiper le système FODO du LIL d'un correcteur, toutes les deux périodes.

Il s'avérait utile, sinon indispensable, de vérifier un certain nombre de conclusions obtenues par l'approche analytique en procédant à des simulations ⁽²⁾. Ces simulations ont été effectuées sur le Linac W équipé d'un système de focalisation de type FODO ; elles ont porté sur le calcul des perturbations des trajectoires du faisceau dues à deux types de défaut que nous avons retenus suite aux évaluations antérieures : le dépositionnement latéral des quadrupôles et leur inclinaison sur l'axe longitudinal. La simulation des corrections de trajectoire a été effectuée à l'aide du programme MICADO conçu pour la correction d'orbites dans les ISR ⁽³⁾. Les simulations sur les défauts comme celles sur les corrections portent sur un ensemble de 30 machines.

* LAL-ORSAY

** CERN

II - QUELQUES REMARQUES PRELIMINAIRES.

Avant de présenter les résultats des simulations, il nous paraît utile de mentionner les hypothèses de travail sur LIL.

II -1- Champ accélérateur.

Les quadrupôles du système FODO étant placés sur les sections d'accélérateur et les distances entre quadrupôles étant comparables aux longueurs des quadrupôles, il s'est avéré nécessaire de prendre en compte l'accélération à l'intérieur des quadrupôles. A partir des courbes de champ ⁽⁴⁾ pour les sections LIPS et non-LIPS (fig. 1) nous avons découpé chaque quadrupôle en p tranches (p , pair) ; dans chaque tranche le champ d'accélération est constant. L'énergie totale du Linac W est de 650 MeV.

II -2- Quadrupôles FODO.

Le système FODO comprend 17 périodes - Le déphasage bêtatron est d'environ 80 degrés par période ^{(5), (6)}.

II -3- Mesureurs de position.

Les mesureurs de position (PU) sont au nombre de 10 ; ils sont placés dans les intersections IS_8 à IS_{17} . Ces mesureurs sont constitués soit par des capteurs de position (UMA) soit par un fil traversant le faisceau (WBS).

II -4- Bobines de correction.

Les bobines dipolaires sont localisées au niveau des quadrupôles focalisants, soit :

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
X	Q ₁	Q ₅	Q ₀₉	Q ₁₃	Q ₁₇	Q ₂₁	Q ₂₅	Q ₂₉	Q ₃₃
Y	Q ₂	Q ₆	Q ₁₀	Q ₁₄	Q ₁₈	Q ₂₂	Q ₂₆	Q ₃₀	Q ₃₄

La répartition des correcteurs dans le plan X choisie par D. WARNER pour le LIL, correspond exactement à celle décrite ici - Dans le plan Y, cette répartition (7) diffère par un décalage d'une période FODO dans le sens Q₂ - Q₃₄ et un décalage supplémentaire d'une période pour le dernier correcteur : ce qui entraîne une diminution d'une unité dans le nombre de correcteurs verticaux du FODO.

Ajoutons que des correcteurs sont prévus dans les quadrupôles du doublet d'adaptation et du quadrupôle QA₃ (QNM 273).

Ces remarques conduisent à l'évaluation suivante pour le nombre de correcteurs situés après la section 6 (AC26) en se référant à la note (7) :

Plan X : 10 correcteurs ; Plan Y : 10 correcteurs.

III - SIMULATION DES MACHINES COMPORTANT DES DEFAUTS.

Les simulations des défauts ont été effectuées grâce au programme TRANSPORT⁽⁸⁾.

Ces défauts ont porté sur :

- le dépositionnement latéral du quadrupôle,
- l'inclinaison des axes transverses du quadrupôle par rapport à l'axe longitudinal avec deux types d'inclinaison :
 - . inclinaison à l'entrée,
 - . inclinaison au centre.

III -1- Effets sur le faisceau d'un défaut d'alignement d'un quadrupôle.

La référence pour les défauts par rapport au référentiel de la machine étant considérée à l'entrée de l'élément magnétique⁽⁸⁾, tous les défauts de désalignement seront rapportés à cette référence. Dans ces conditions, si $\vec{\xi}_0$ représente le désalignement du quadrupôle à l'entrée, \vec{X}_0 et \vec{X}_1 les coordonnées de la particule à l'entrée et à la sortie du quadrupôle, R la matrice de transfert du quadrupôle et A la matrice définie par :

$$A = \begin{bmatrix} 1 & L & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

où L est la longueur du quadrupôle,
on peut écrire⁽⁵⁾ :

$$\vec{X}_1 = R\vec{X}_0 + (A-R)\vec{\xi}_0$$

Le deuxième terme du second membre représente la perturbation de la trajectoire évaluée à la sortie du quadrupôle.

Pour un quadrupôle ayant subi un déplacement δ_x ou δ_y on peut poser :

$$\vec{\xi}_0^T = \left(\delta_x, 0, \delta_y, 0, 0, 0 \right)$$

Pour un quadrupôle subissant une inclinaison à l'entrée de valeur $\delta\theta$ ou $\delta\varphi$,
on a :

$$\vec{\xi}_0^T = \left(0, \delta\theta, 0, \delta\varphi, 0, 0 \right)$$

Pour un quadrupôle subissant une inclinaison au centre de valeur $\delta\theta$ ou $\delta\varphi$,
on a :

$$\vec{\xi}_0^T = \left(\frac{L}{2} \delta\theta, -\delta\theta, \frac{L}{2} \delta\varphi, -\delta\varphi, 0, 0 \right)$$

III -2- Génération des défauts.

Les défauts d'alignement des quadrupôles seront générés de manière aléatoire pour les 30 machines considérées. Les distributions des défauts sont normales avec les écarts-types suivants :

- Défaut de position	σ :	= 0.3 mm
- Défaut d'inclinaison	σ :	= 0.5 mrad
- Défaut des P.U.	σ :	= 0.2 mm

Ces distributions sont tronquées à $\pm 3\sigma$.

.../..

III -3- Résultats.

Pour chacun des défauts considérés - dépositionnement latéral, inclinaison à l'entrée et au centre du quadrupôle - nous avons obtenu les résultats suivants :

(a) Moyenne et écarts-types des perturbations du faisceau.

$$\bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_j x_{ij} , \quad \bar{y}_i = \frac{1}{N} \sum_j y_{ij}$$

avec $j = 1 \text{ à } N$ ($N = 30$)
 j , indice de la machine
 $i = 1 \text{ à } Q$ ($Q = 34$)
 i , indice du quadrupôle.

$$\langle x_i \rangle = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_j (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}$$
$$\langle y_i \rangle = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_j (y_{ij} - \bar{y}_i)^2}$$

L'indice i se rapportant à chacun des éléments du Linac W (FODO-LIL). De même,

$$\langle x_{i0} \rangle = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_j x_{ij}^2}$$
$$\langle y_{i0} \rangle = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_j y_{ij}^2}$$

Ces résultats sont présentés sur les figures 2 à 7.

.../...

(b) Histogramme des déformations maxima.

On a relevé pour chaque machine, la perturbation maximum et on a tracé les histogrammes correspondants (Figures 8 à 10).

(c) Caractéristiques associées aux perturbations maxima.

On définit les grandeurs suivantes :

$$(A) \rightarrow \overline{\Delta \hat{x}} = \frac{1}{N} \sum_I^N \Delta \hat{x}_j \quad N, \text{ nb de machines}$$

$$(B) \rightarrow \langle \delta \hat{x} \rangle_{\text{rms}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_1^N (\Delta \hat{x}_j - \langle \Delta \hat{x} \rangle)^2}$$

$$(C) \rightarrow \langle \overline{\Delta x} \rangle_{\text{rms}} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{1}{Q_F-1} \sum_1^{Q_F} \Delta x_{ij}^2}$$

Q_F nb de Qpôles focalisants ou de périodes FODO.

Les résultats des évaluations sont alors reportés ci-dessous (valeurs en cm).

DEFAUT	MOYENNES		ECARTS TYPES CENTRES		ECARTS TYPES SUR Q. POLE	
	\overline{X}	\overline{Y}	\overline{X}	\overline{Y}	\overline{X}	\overline{Y}
Déplacement	0.44822	0.45968	0.18451	0.20952	0.25162	0.25520
Angle face avant	0.11486	0.11409	0.04281	0.03719	0.06634	0.06523
Angle au centre	0.00904	0.00926	0.00407	0.00351	0.00511	0.00547

(A)

(B)

(C)

(d) Transmission d'un faisceau perturbé.

La transmission du faisceau perturbé peut être étudiée par l'intermédiaire du coefficient :

$$\overline{R_{1i}} = \frac{\overline{\Delta x_{qi}}}{(a_i - b_i)} \quad (\text{moyenne sur 30 machines})$$

.../..

où Δx_{qi} représente la perturbation au niveau du quadrupôle Q_i .
 a_i le rayon de l'iris au niveau du quadrupôle Q_i ,
 b_i le rayon du faisceau au niveau du quadrupôle Q_i .
Le coefficient $\overline{R_{1i}}$ a été déterminé pour chacun des types de défaut (courbes 11 à 13).

(e) Fraction du faisceau perdue.

Lorsque le coefficient $\overline{R_{1i}}$ dépasse en valeur absolue, l'unité, des pertes de faisceau peuvent s'ensuivre. Il faut alors déterminer ces pertes et la fraction du faisceau transmis (voir Annexe).

Les simulations faites montrent alors que :

- . seul le déplacement latéral des quadrupôles peut entraîner une perte d'une fraction du faisceau (plan X).
- . les pertes (Q_{17} , Q_{21} , Q_{27}) n'atteignent pas 10% sur la totalité du faisceau (plan X et Y) [voir figure 11].

Notons que si $\overline{R_{1i}}$ dépasse la valeur unité, R_{1i} peut être bien évidemment plus grand et les pertes de faisceau plus importantes.

III -4- Brefs commentaires sur les résultats.

En considérant les résultats (a), on peut observer :

- que les écarts types des perturbations de trajectoire augmentent en fonction du nombre n de périodes FODO suivant une loi voisine de \sqrt{n} . Un tel résultat était tout à fait prévisible (1), (9)
- que les écarts types des perturbations relatives au déplacement et à l'inclinaison présentent les rapports approximatifs suivants :

$$\frac{(\Delta x) \text{ depl.}}{(\Delta x) \text{ incl. avant}} \quad \# \quad 4$$

$$\frac{(\Delta x) \text{ depl.}}{(\Delta x) \text{ incl. centre}} \quad \# \quad 40$$

Ces rapports sont en accord avec ceux obtenus lorsqu'on compare les effets au niveau d'un seul quadrupôle (10).

- le faisceau est mal transmis au niveau des quadrupôles Q_{17} , Q_{21} et Q_{27} (plan X). Les pertes correspondantes atteignent des valeurs comprises entre 6 et 9%. Aucune perte n'est observable du fait des perturbations dans le plan Y (lorsqu'on raisonne sur les valeurs moyennes $\overline{R_{1i}}$).

IV - CORRECTION DES MACHINES PERTURBEES.

La correction des trajectoires perturbées se fait grâce au programme MICADO. Celui-ci fournit un jeu de corrections et le résidu de trajectoire après correction. La séquence de corrections fournie par MICADO est ensuite introduite dans TRANSPORT qui fournit alors la position du faisceau dans toute la machine. Les résultats de MICADO et TRANSPORT coïncident bien évidemment au niveau des pick-ups.

IV -1- Brefs rappels sur MICADO (3)

La méthode utilisée par ce programme recourt essentiellement aux transformations de Householder qui facilitent le calcul des corrections par les moindres carrés. Elle permet de minimiser la norme de la distorsion de trajectoire*. Dans une première étape, chaque correcteur est testé séparément et on retient celui qui donne la norme minimum. Dans la deuxième étape, on teste une paire de correcteurs dont le premier retenu, de façon à minimiser à nouveau la norme. Le calcul continue jusqu'à ce que la distorsion devienne inférieure à une valeur fixée à l'avance ou que le nombre de correcteurs atteigne le nombre fixé à l'avance.

* représentée par le vecteur $\vec{r} = \vec{b} + A\vec{x}$ où \vec{b} représente la position du faisceau dans les pick-ups, \vec{x} le vecteur de corrections, A la matrice de correction.

IV -2- Matrice de correction.

La répartition des correcteurs et des pick-ups permet de déterminer la matrice de correction A dont les coefficients sont définis par :

$$a_{ij} = \frac{\partial x_{pi}}{\partial x'_{cj}}$$

Le coefficient a_{ij} est déterminé (par TRANSPORT) en faisant le quotient du déplacement du faisceau au niveau du pick up "i" dû à la correction appliquée au niveau du correcteur j.

Les matrices de correction en x et y correspondant au fonctionnement complet des sections du LIL (650 MeV) sont données sur les tableaux 1 et 2. Précisons que le gradient des quadrupôles est de 2,8 T/m.

IV -3- Résultats.

Les résultats portent sur des simulations opérant sur 30 machines. Deux cas ont été envisagés à chaque fois :

1er cas : on suppose qu'il n'y a pas de défaut dans les PU [positionnement ou lecture].

2ème cas : on suppose qu'il existe un défaut dont la répartition en fonction des machines et des PU est normale avec un écart type de 0,2 mm.

Dans ces conditions, les résultats obtenus sont les suivants :

(a) Force des correcteurs.

Nous avons calculé en fonction du nombre de correcteurs utilisés les deux grandeurs suivantes :

.../..

$$|\widehat{Bl}| = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |\widehat{Bl}|_j ;$$

N étant le nombre de machines

$$\text{et } \overline{<Bl>} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{1}{n_c-1} \sum_{i=1}^{n_c} |Bl|_{ij}^2} ;$$

n_c étant le nombre de correcteurs

\widehat{Bl}_j est la plus forte correction dans la machine j

Bl_{ij} est la ième correction dans la machine j

Ces résultats sont portés sur les figures 14 et 15 (sans défaut sur les PU) et 16 et 17 (avec défaut sur les PU).

(b) Défaut de trajectoire résiduel.

Nous avons porté sur les mêmes figures les perturbations de trajectoire $D_{x,y}$ subsistant dans les PU après la correction. A cet effet, nous avons déterminé en fonction du nombre de correcteurs les deux grandeurs suivantes :

$$|\widehat{D}_{x,y}| = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N |\widehat{D}_{x,y}|_j$$

$$\text{et } \overline{<D_{x,y}>} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \sqrt{\frac{1}{n_p-1} \sum_{i=1}^{n_p} |D_{x,y}|_{ij}^2} ;$$

n_p étant le nombre de pick-ups.

(c) Fréquence d'utilisation des correcteurs.

Afin de repérer les correcteurs les plus sollicités, nous avons tracé les histogrammes correspondant à l'utilisation des 9 correcteurs en 1ère (le plus efficace) 2° et 3° positions (Fig. 18 à 21).

.../...

(d) Scatterplot.

On a examiné la fréquence des associations de correcteurs les plus efficaces (1 et 2° correcteurs). Ce diagramme est représenté sur la figure 22.

(e) Transmission du faisceau décentré après correction.

Sur la figure 23, on a représenté le coefficient $\overline{R_{1i}}$ après correction des trajectoires. Ce résultat correspond à une machine corrigée avec 5 correcteurs. On a représenté sur les figures 24 et 25 les moyennes et écarts-types des perturbations de faisceau résiduelles après correction avec 5 correcteurs.

Nous avons tracé sur la figure 26, les histogrammes des défauts maxima résiduels \hat{x}_j et \hat{y}_j après correction (5 corrections)

(f) Quelques exemples de correction de trajectoire.

Nous avons observé les corrections progressives de trajectoires lorsqu'on utilise un, puis deux, puis trois correcteurs dans une configuration à trois correcteurs ($\hat{n}_c = 3$). Pour cela nous avons considéré 2 types de corrections :

- un premier type où le correcteur le plus efficace est le premier : séquences 1-4-7 pour X et 1-7-5 pour Y.
- un deuxième type où le correcteur le plus efficace est assez éloigné sur la machine : séquences 7-1-5 pour X et 6-1-3 pour Y.

Ces résultats apparaissent sur les figures 27 à 30 - Les paramètres numériques associés aux courbes ont la signification suivante :

- 1 - sans correction
- 2 - 1 correcteur (le 1er)
- 3 - 2 correcteurs (les deux premiers)
- 4 - 3 correcteurs

IV -4- Brefs commentaires sur les résultats.

L'observation des résultats portant sur les corrections permet d'indiquer que :

- les corrections maxima ne dépassent jamais 18 gauss-m. [La valeur nominale étant de 20 gauss-m]^{(1), (11)}

La valeur de la correction maximum augmente généralement en fonction du nombre de correcteurs.

La valeur moyenne des corrections varie peu en fonction du nombre de correcteurs [fig. 14 à 17].

La comparaison des cas avec et sans défaut des PU ne montre pas de différence de comportement des corrections.

- Les résidus de trajectoire sont une fonction décroissante du nombre de correcteurs. Les résidus de trajectoires observés sur des machines comportant des PU avec défaut sont un peu plus importants que dans le cas de PU sans défaut, la valeur de ces résidus ($D_{x,y,rms}$) tend asymptotiquement vers l'écart type du défaut des PU lorsque le nombre de correcteurs augmente. Pour un résidu maximum de 1 mm, le nombre de correcteurs nécessaires est de 4 environ.

Le choix de 3 correcteurs seulement maintient le résidu moyen au dessous de 0,8 mm.

- Les correcteurs les plus souvent utilisés sont les correcteurs 1 (Q_1) et 7 (Q_{25}) pour le plan X et 1 (Q_2) et 7 (Q_{26}) pour le plan Y.

- L'étude des couples [premier, deuxième] de correcteurs schématisé sur le scatterplot - dans le cas $\hat{n}_c = 3$ - montre que l'association des corrections 1 et 7 reste forte par exemple dans le plan X (fig. 22).

La densité des correcteurs sur la figure montre que si le premier correcteur choisi se trouve au début du FODO, le

deuxième s'en trouve beaucoup plus éloigné. Un comportement réciproque est observable pour les correcteurs en fin de FODO. L'utilisation des correcteurs permet bien évidemment d'améliorer la transmission du faisceau comme on peut le voir avec la fonction $\overline{R_{1i}}$ calculée après correction.

- L'observation des courbes (27 à 30) mais aussi des courbes 15 et 17 montre que l'utilisation d'un correcteur fait rapidement chuter la distorsion de trajectoire ; celle-ci diminue ensuite avec l'augmentation du nombre de correcteurs, mais avec un taux de variation de plus en plus faible.

V - QUELQUES CONCLUSIONS.

Cette étude montre l'intérêt de l'utilisation d'un système de correction pour le LIL-W, particulièrement pour les positrons (grande émittance). Ce système qu'on peut schématiquement décrire par [9 correcteurs H et V sur le FODO avec $|B_1| \leq 19$ gauss-m] correspond aux prévisions initiales⁽¹⁾.

Pour le défaut d'alignement dominant - dépositionnement latéral des quadropôles - correspondant aux tolérances habituelles ($\sigma = 0.3$ mm) un jeu de 3 à 4 correcteurs permet de réduire le résidu de trajectoire au voisinage du mm. La répartition des correcteurs obtenue à partir d'un tirage au hasard des défauts à corriger, n'est jamais figée. La totalité des correcteurs est susceptible d'être utilisée même si tous les correcteurs ne sont pas utilisés en même temps.

Ajoutons enfin que les défauts des PU n'entraînent pas de changement important par rapport à une situation où il n'y aurait ni erreur de lecture ni défaut de positionnement des PU.

0

0 0

Remerciements

Les auteurs sont reconnaissants à Madame Y. MARTI de la division LEP et à M. Guy LE MEUR du LAL pour leur assistance et leurs remarques.

REFERENCES

- (1) - R. CHEHAB note LAL/PI 83-28/T
 - (2) - K. HÜBNER note PS/LPI 84-37
 - (3) - B. AUTIN, Y. MARTI CERN ISR-MA/73-17
 - (4) - CERN-LAL Collaboration - Status of the LEP e^+ injector linac.
Proceedings of the 1984 Linac Conference Darmstadt.
 - (5) - R. CHEHAB, B. MOUTON note LAL/PI 82-36/T
 - (6) - A. BELLANGER Modifications éventuelles du système FODO de LIL -
PS/LPI/Note 83-10
 - (7) - D. WARNER note PS/LPI Mémo 84-121
 - (8) - K.L. BROWN et al CERN 80-04
 - (9) - R. HELM in "The Two-Mile Accelerator" 1968 - W.A. Benjamin, Inc
 - (10) - R. CHEHAB LAL/PI 85-27/T
 - (11) - G. SUBERLUCQ, M. TARDY PS/PSR/Note 85-11
-

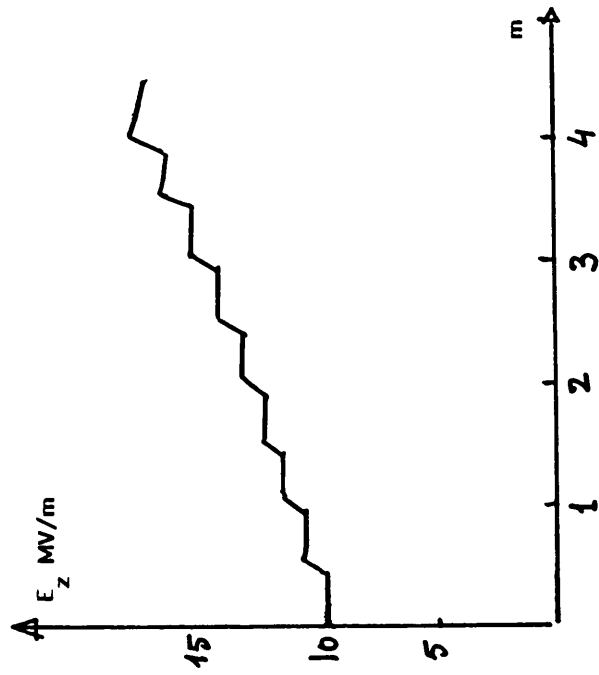
X	CR 1	CR 3	CR 5	CR 7	CR 9	CR 11	CR 13	CR 15	CR 17	CR 19	CR 21	CR 23	CR 25	CR 27	CR 29	CR 31	CR 33
FU 1	0.116	0.159	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
FU 2	0.107	-0.094	-0.183	0.034	0.247	0.035	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
FU 3	-0.071	0.101	0.148	-0.062	-0.211	0.012	0.279	0.060	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
FU 4	-0.009	-0.149	-0.090	0.158	0.170	-0.150	-0.267	0.113	0.397	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
FU 5	0.133	0.055	-0.111	-0.133	0.097	0.204	-0.064	-0.268	-0.009	0.342	0.114	0.	0.	0.	0.	0.	0.
FU 6	-0.055	0.108	0.134	-0.078	-0.200	0.037	0.271	0.027	-0.354	-0.113	0.379	0.366	0.	0.	0.	0.	0.
FU 7	-0.147	-0.051	0.129	0.138	-0.119	-0.216	0.089	0.290	-0.016	-0.376	-0.095	0.341	0.413	0.098	0.	0.	0.
FU 8	-0.026	-0.120	-0.051	0.137	0.113	-0.142	-0.191	0.123	0.299	-0.092	-0.377	-0.145	0.266	0.461	0.291	0.	0.
FU 9	0.131	-0.040	-0.173	-0.035	0.211	0.113	-0.240	-0.204	0.249	0.317	-0.195	-0.465	-0.219	0.258	0.567	0.483	0.
FU 10	0.138	0.114	-0.076	-0.196	0.032	0.264	0.040	-0.315	-0.164	0.368	0.304	-0.198	-0.502	-0.355	0.102	0.558	0.608

MATRICE DE CORRECTION A (PLAN X)

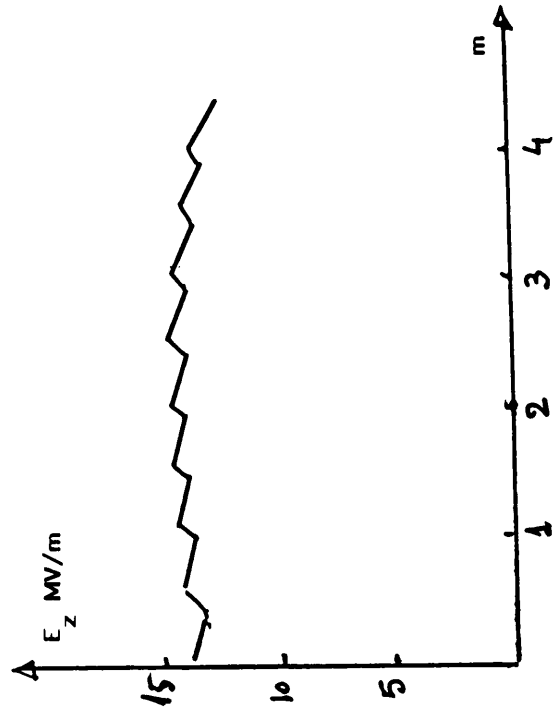
Y	CR 2	CR 4	CR 6	CR 8	CR 10	CR 12	CR 14	CR 16	CR 18	CR 20	CR 22	CR 24	CR 26	CR 28	CR 30	CR 32	CR 34
RU 1	0.116	0.046	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
RU 2	0.023	-0.117	-0.110	0.103	0.180	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
RU 3	0.004	0.145	0.093	-0.146	-0.171	0.129	0.250	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
RU 4	-0.101	-0.112	0.062	0.170	-0.028	-0.225	-0.023	0.272	0.108	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
RU 5	0.133	0.003	-0.179	-0.079	0.213	0.170	-0.225	-0.287	0.229	0.408	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
RU 6	0.062	0.152	0.019	-0.186	-0.085	0.209	0.162	-0.205	-0.280	0.196	0.391	0.102	0.	0.	0.	0.	0.
RU 7	-0.109	0.024	0.165	0.039	-0.207	-0.118	0.231	0.225	-0.255	-0.335	0.114	0.461	0.348	0.	0.	0.	0.
RU 8	-0.117	-0.146	0.060	0.212	-0.013	-0.274	-0.055	0.321	0.166	-0.366	-0.350	0.119	0.493	0.465	0.062	0.	0.
RU 9	0.008	-0.129	-0.098	0.124	0.171	-0.102	-0.243	0.044	0.346	0.019	-0.361	-0.312	0.066	0.412	0.480	0.146	0.
RU 10	0.128	0.023	-0.159	-0.097	0.181	0.182	-0.181	-0.288	0.169	0.396	0.007	-0.429	-0.444	-0.075	0.408	0.663	0.363

MATRICE DE CORRECTION A (PLAN Y)

GRADIENT DANS LES STRUCTURES DU LIL



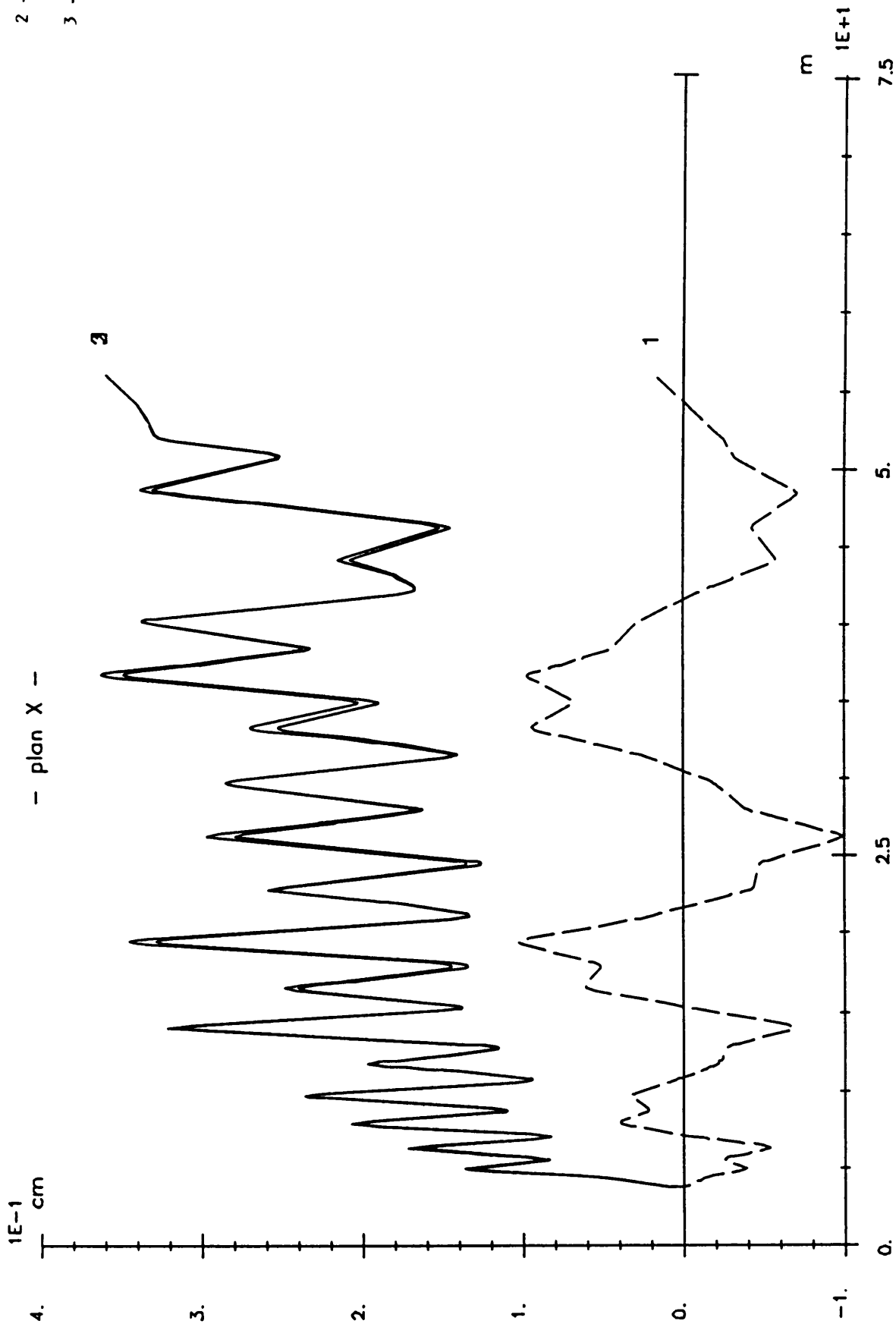
Sections [7 ; 8 ; 9 ; 10 ; 11 ; 12 ; 13 ; 14]



Sections [5 ; 6 ; 15 ; 16]

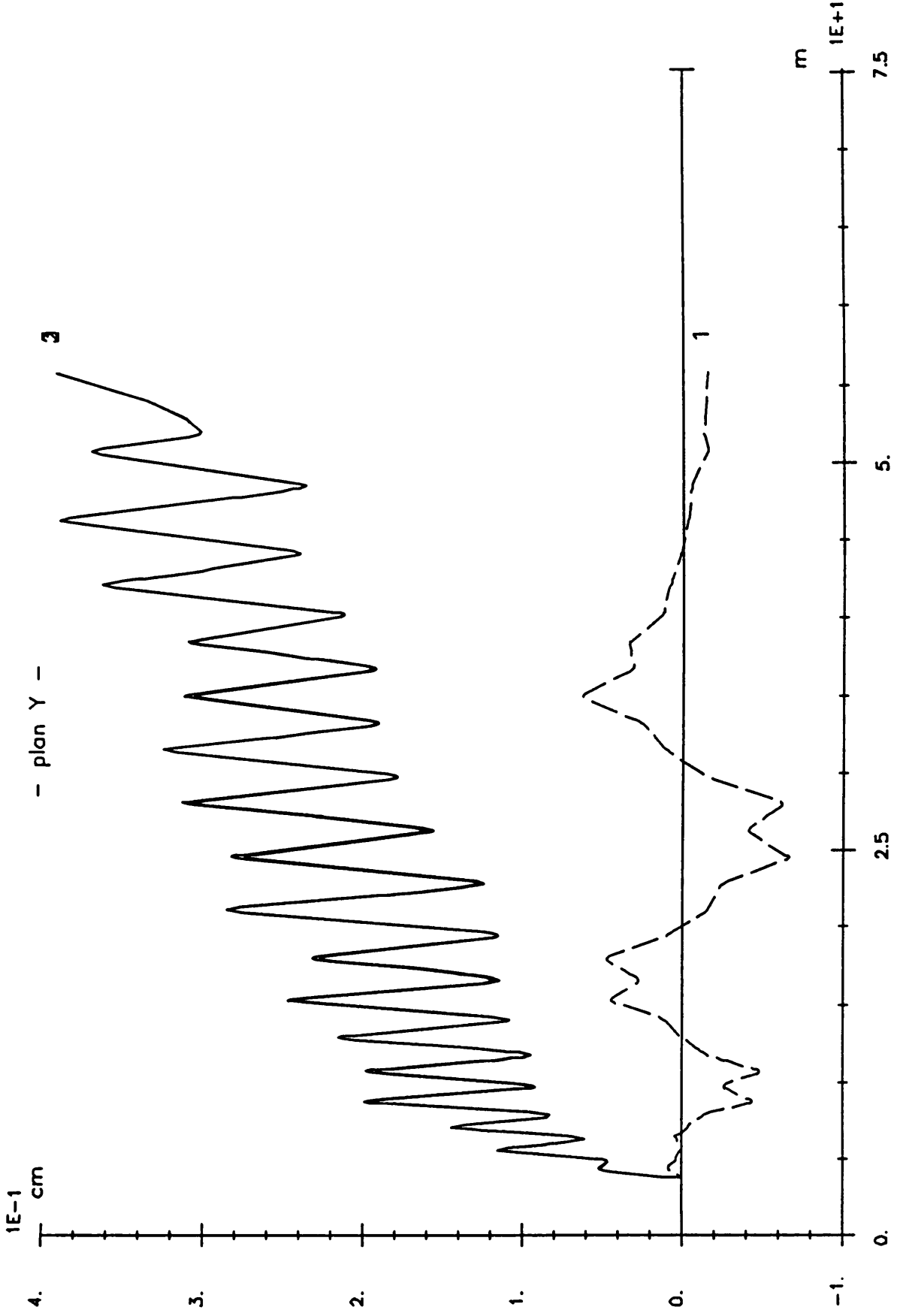
LINAC W

- 1 - \bar{x}_i
- 2 - $\langle x_i \rangle$
- 3 - $\langle x_{i0} \rangle$



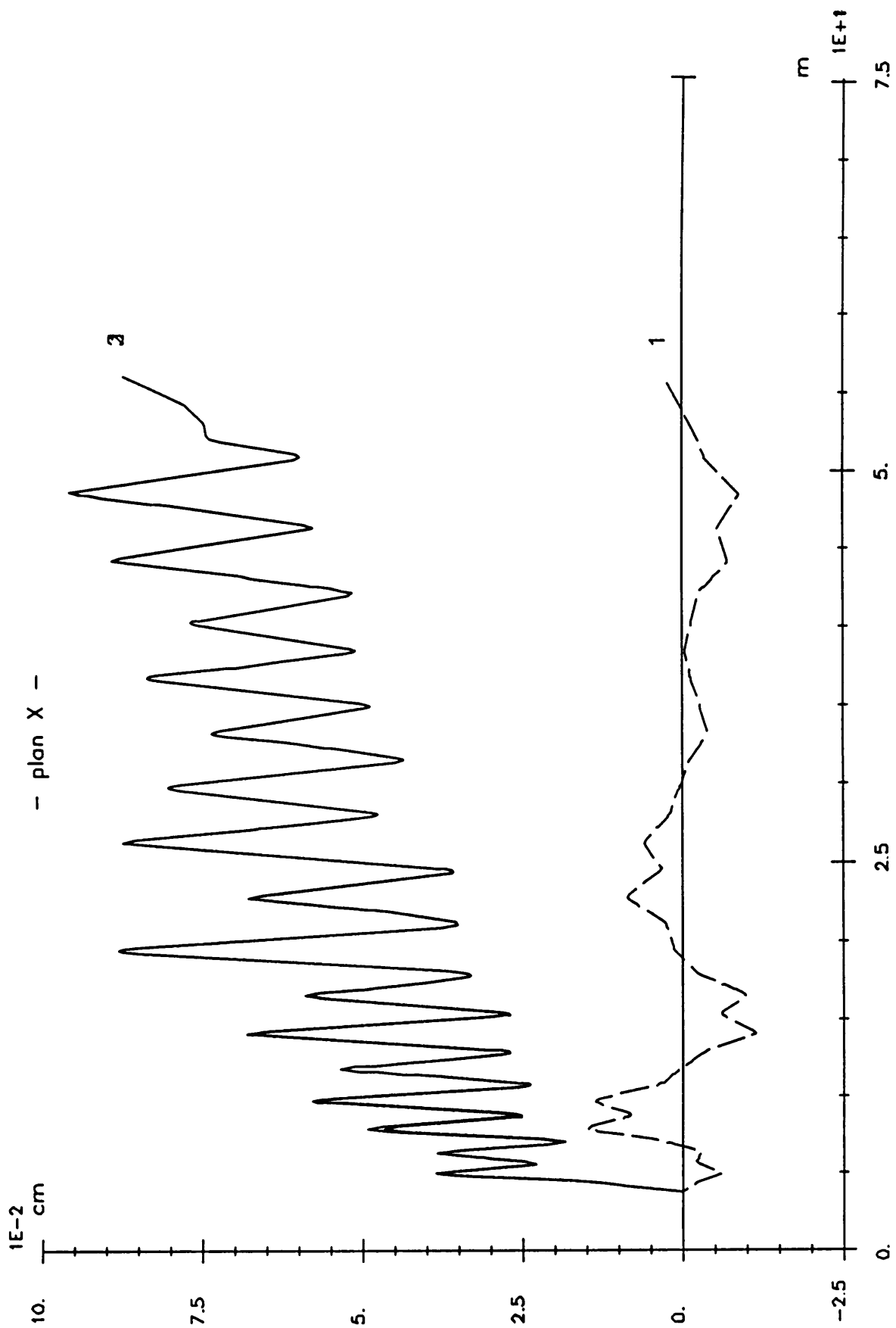
- DESAXAGE du FAISCEAU -
(défaut de position)

- 1 - \bar{y}_i
- 2 - $\langle y_i \rangle$
- 3 - $\langle y_{i0} \rangle$



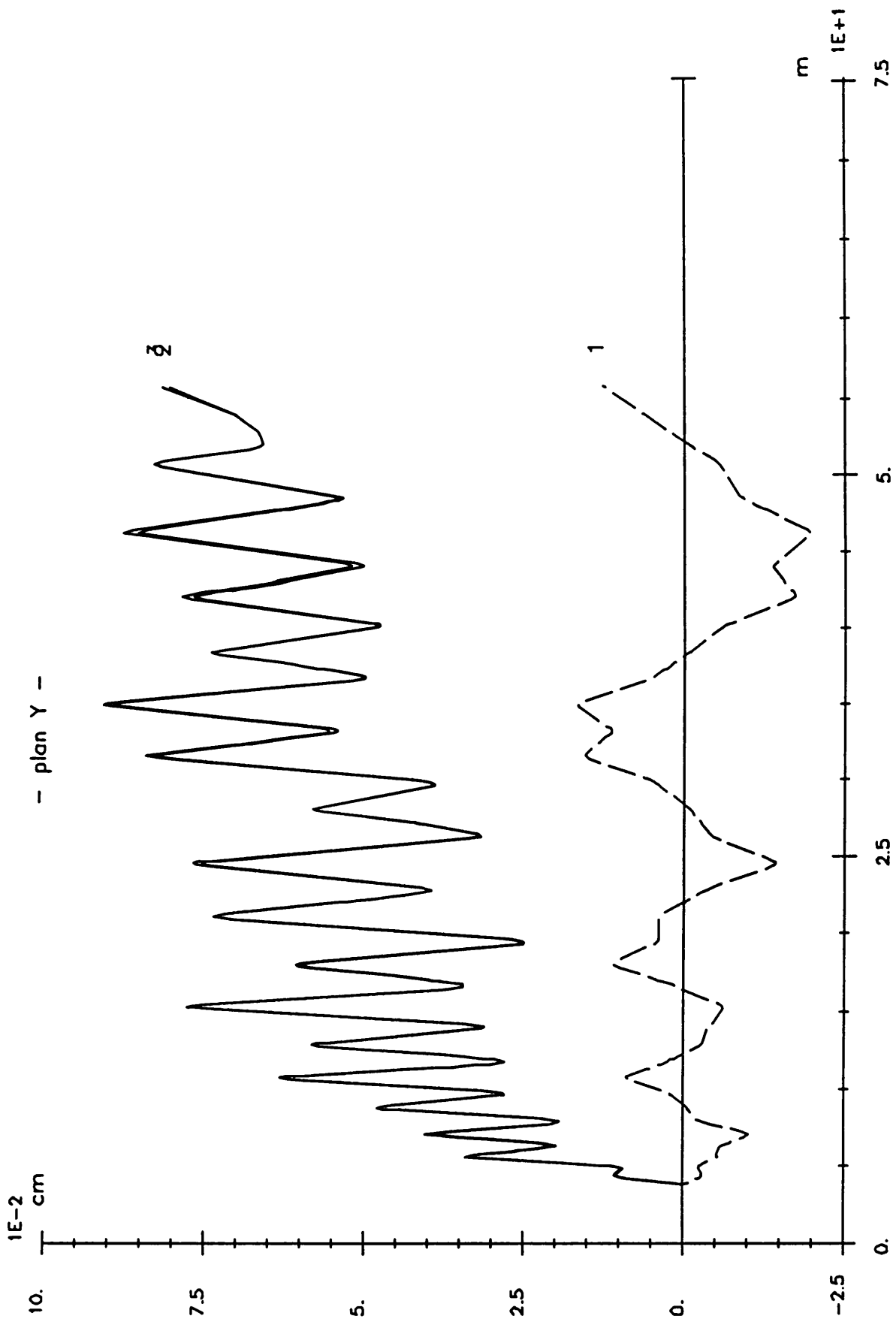
- DESAXAGE du FAISCEAU -
 (défaut de position)

- 1 - \bar{x}_i
- 2 - $\langle x_i \rangle$
- 3 - $\langle x_{i0} \rangle$



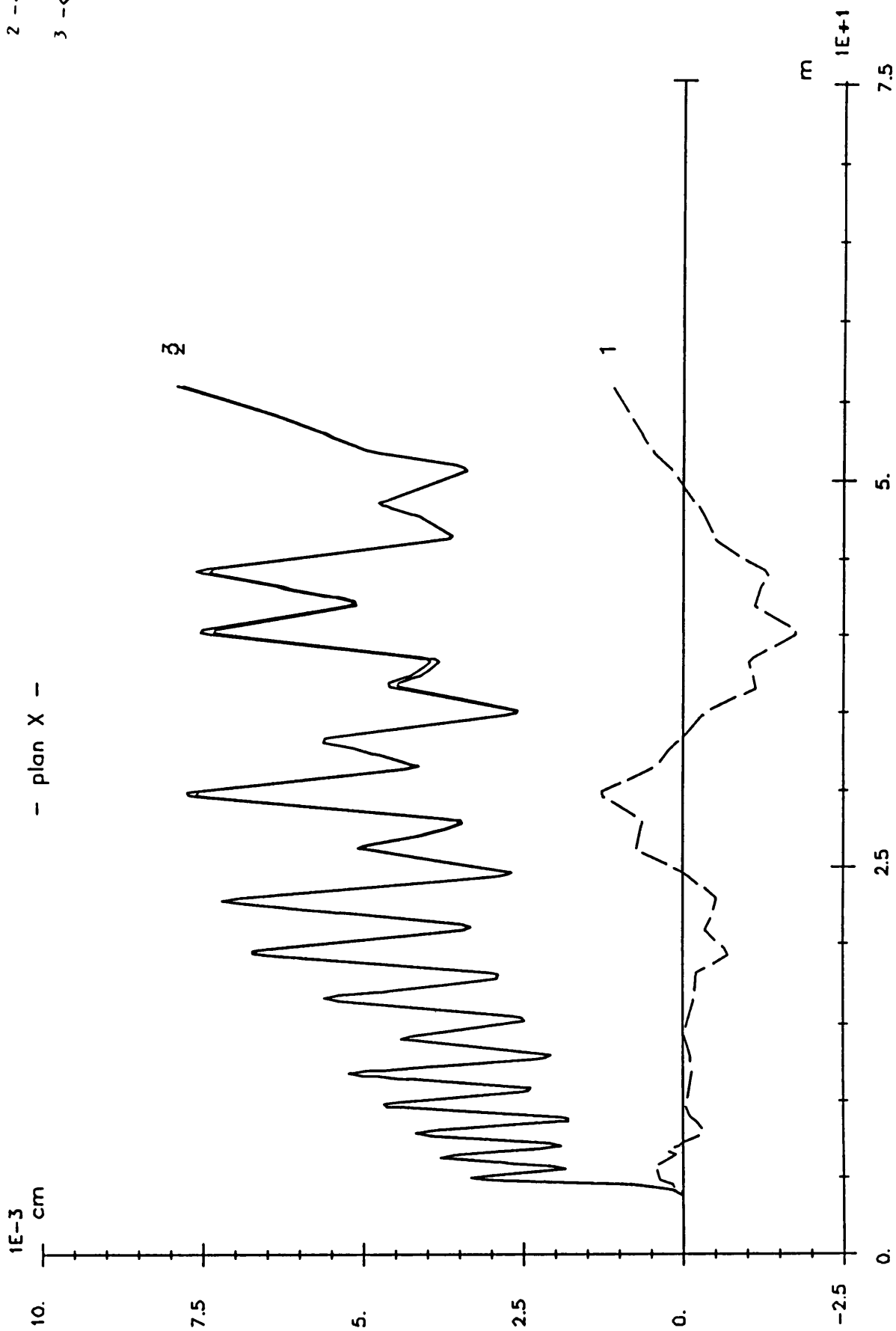
-- DESAXAGE du FAISCEAU --
 (défaut d'angle face avant)

- 1 - \bar{y}_i
- 2 - $\langle y_i \rangle$
- 3 - $\langle y_{i0} \rangle$



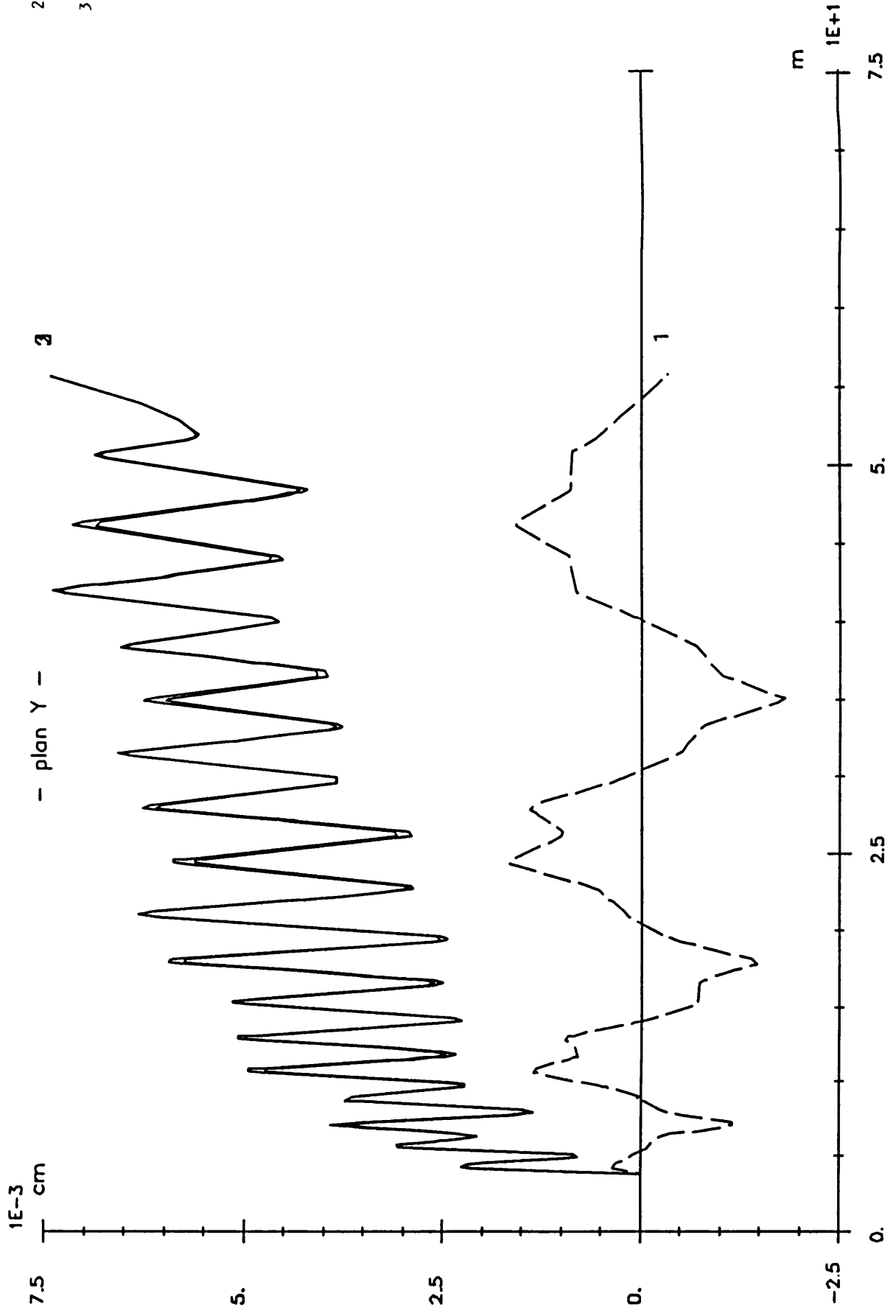
-- DESAXAGE du FAISCEAU --
 (défaut d'angle face avant)

- 1 - \bar{x}_i
- 2 - $\langle x_i \rangle$
- 3 - $\langle x_{i0} \rangle$

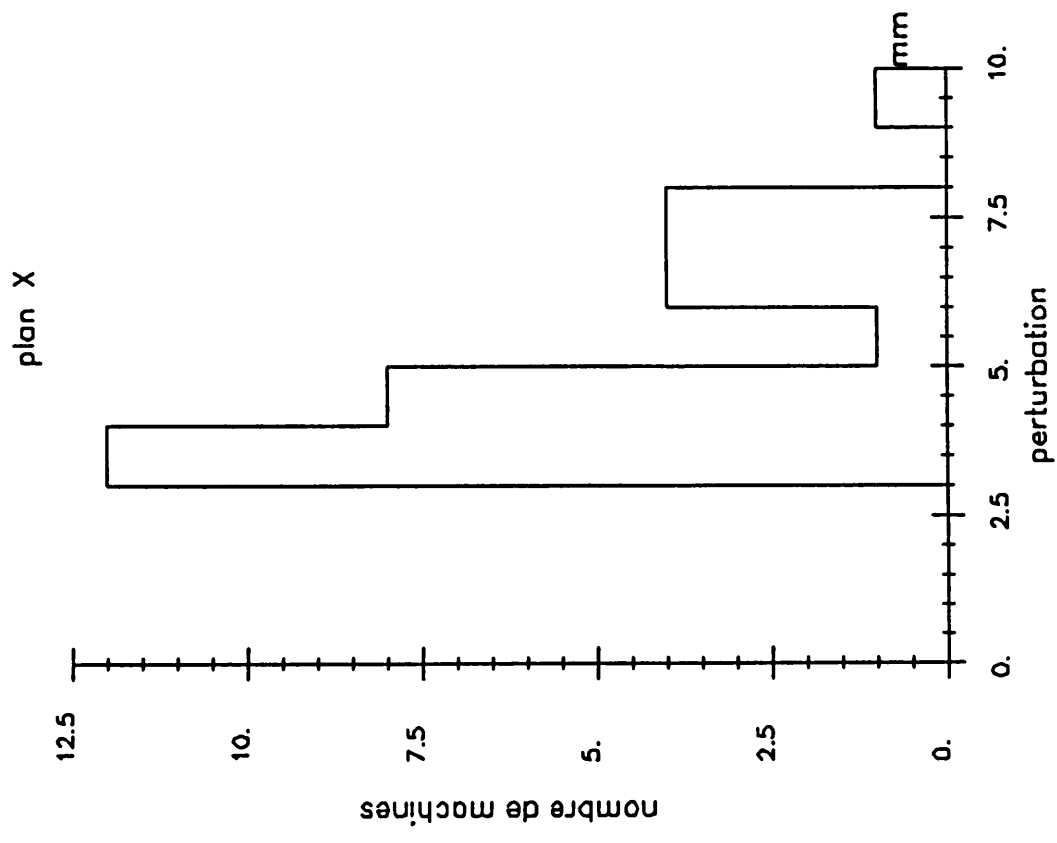
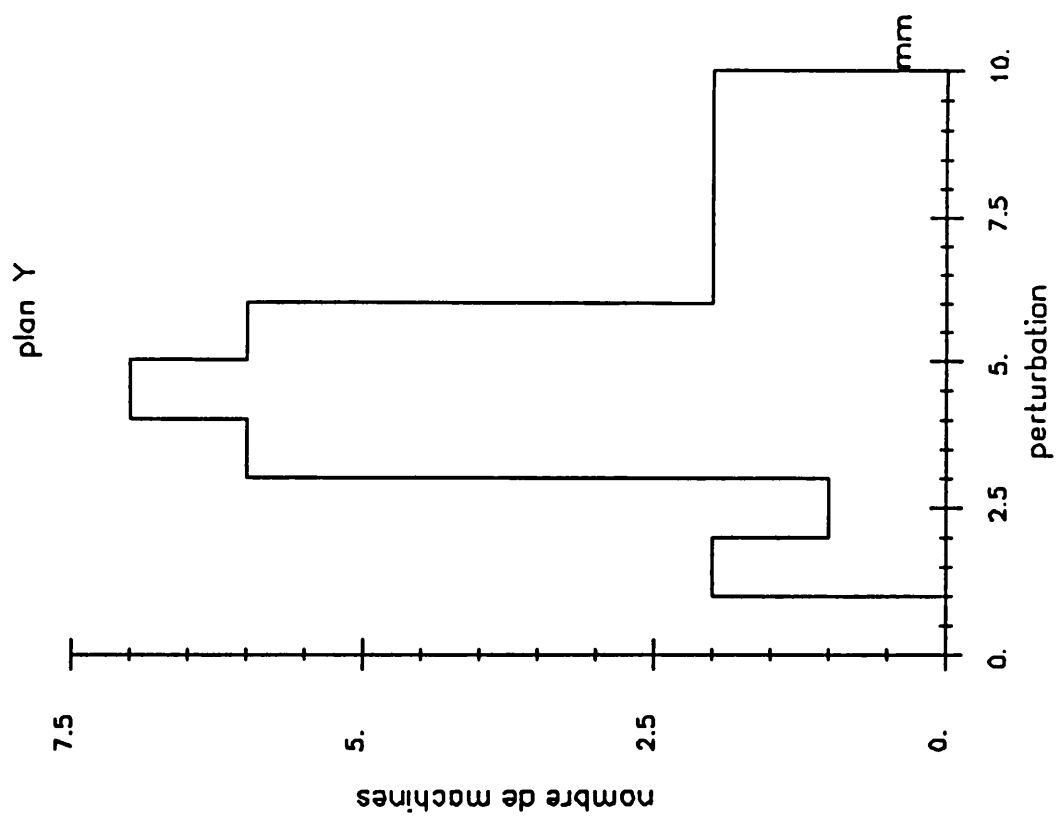


-- DESAXAGE du FAISCEAU --
 (défaut d'angle point centre)

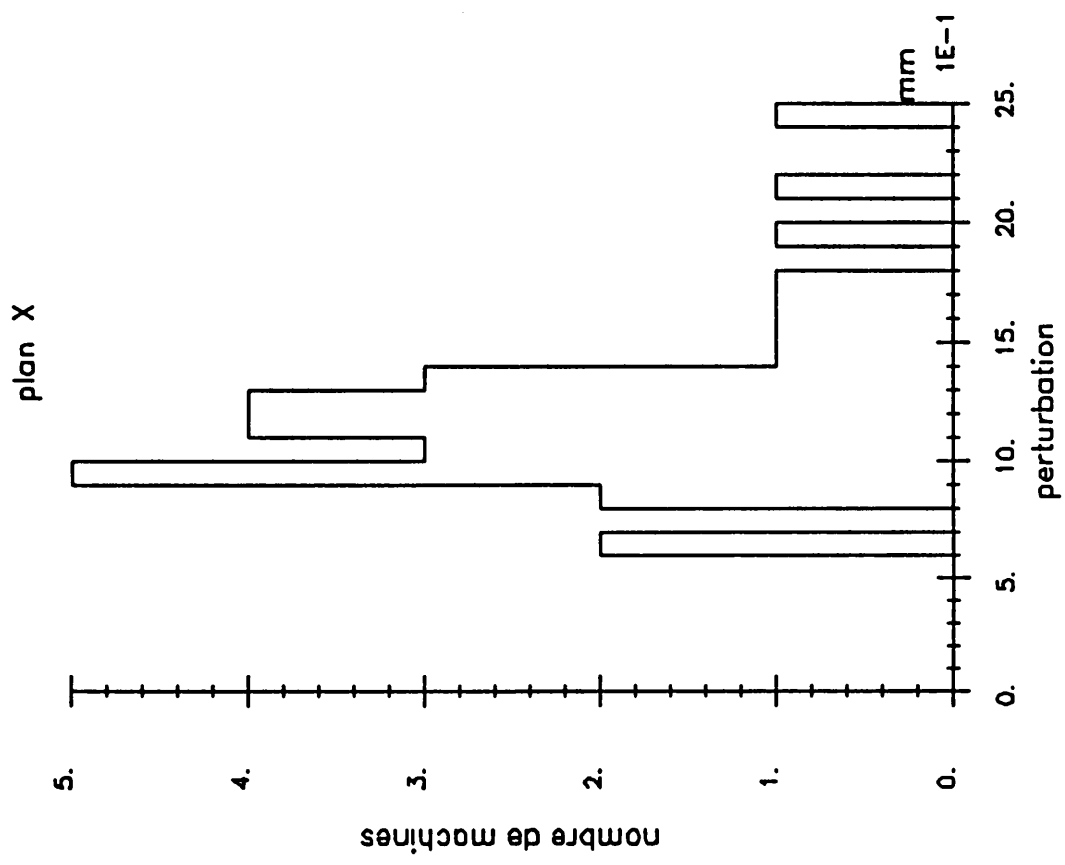
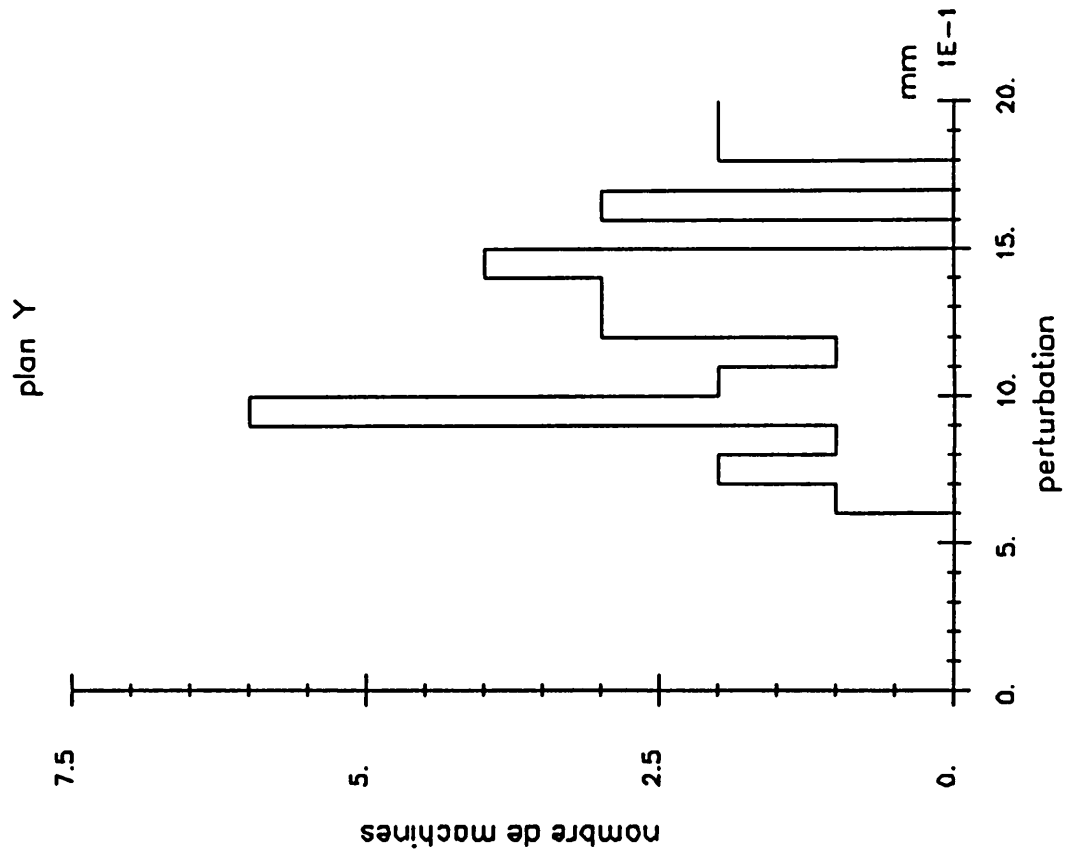
- 1 - \bar{y}_i
- 2 - $\langle y_i \rangle$
- 3 - $\langle y_{10} \rangle$



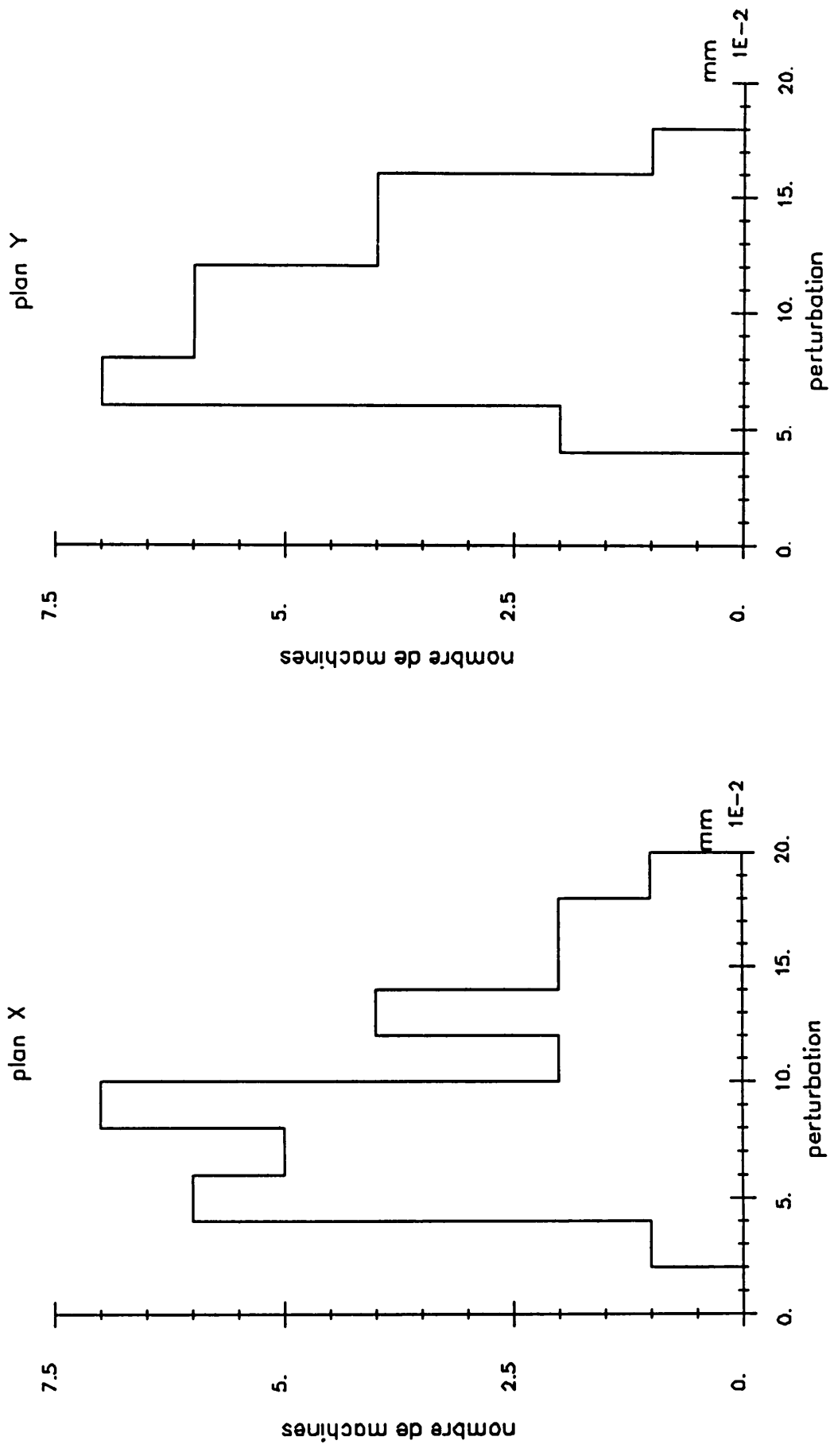
- DESAXAGE du FAISCEAU -
 (défaut d'angle point centre)



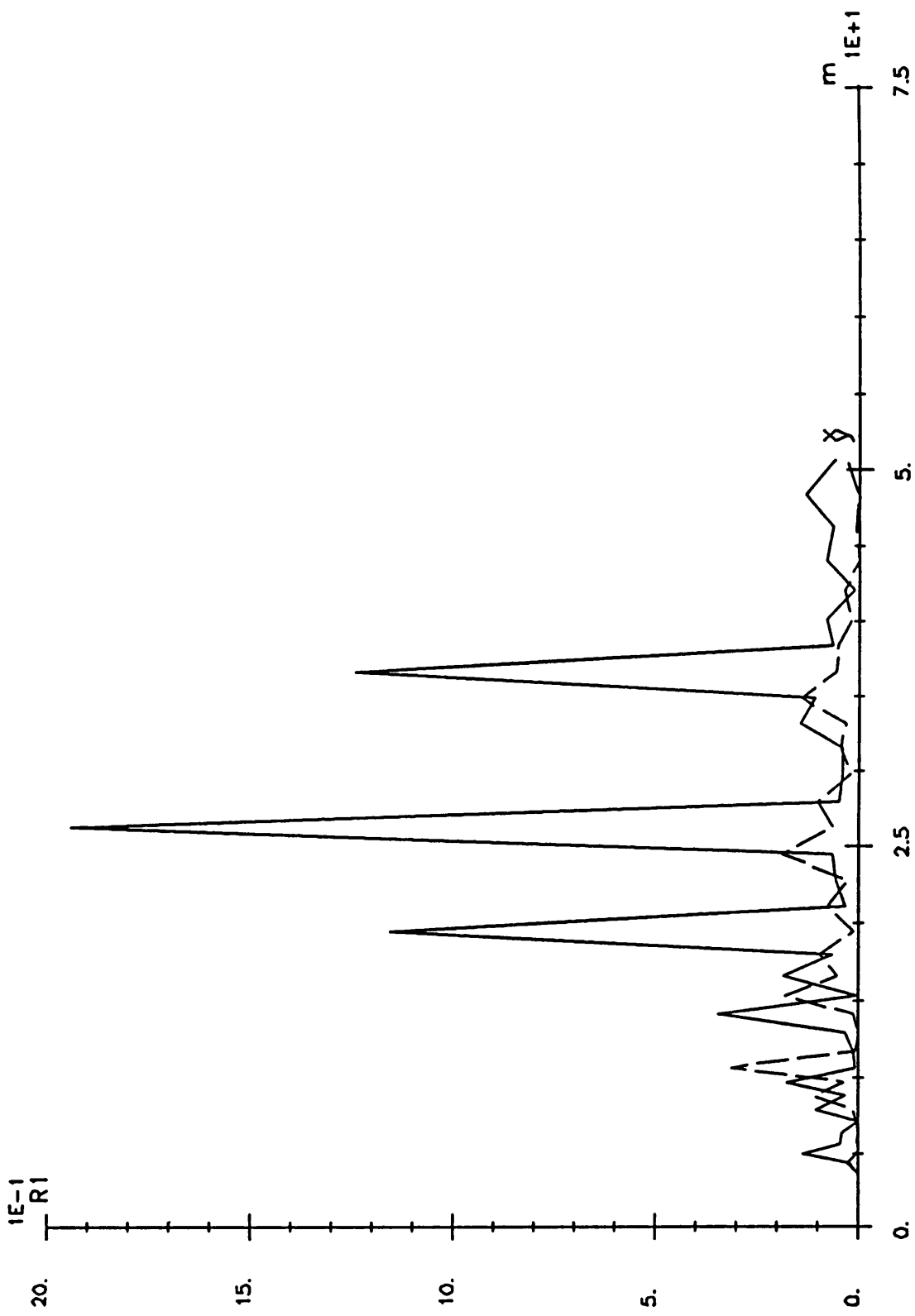
- défaut en DEPLACEMENT -



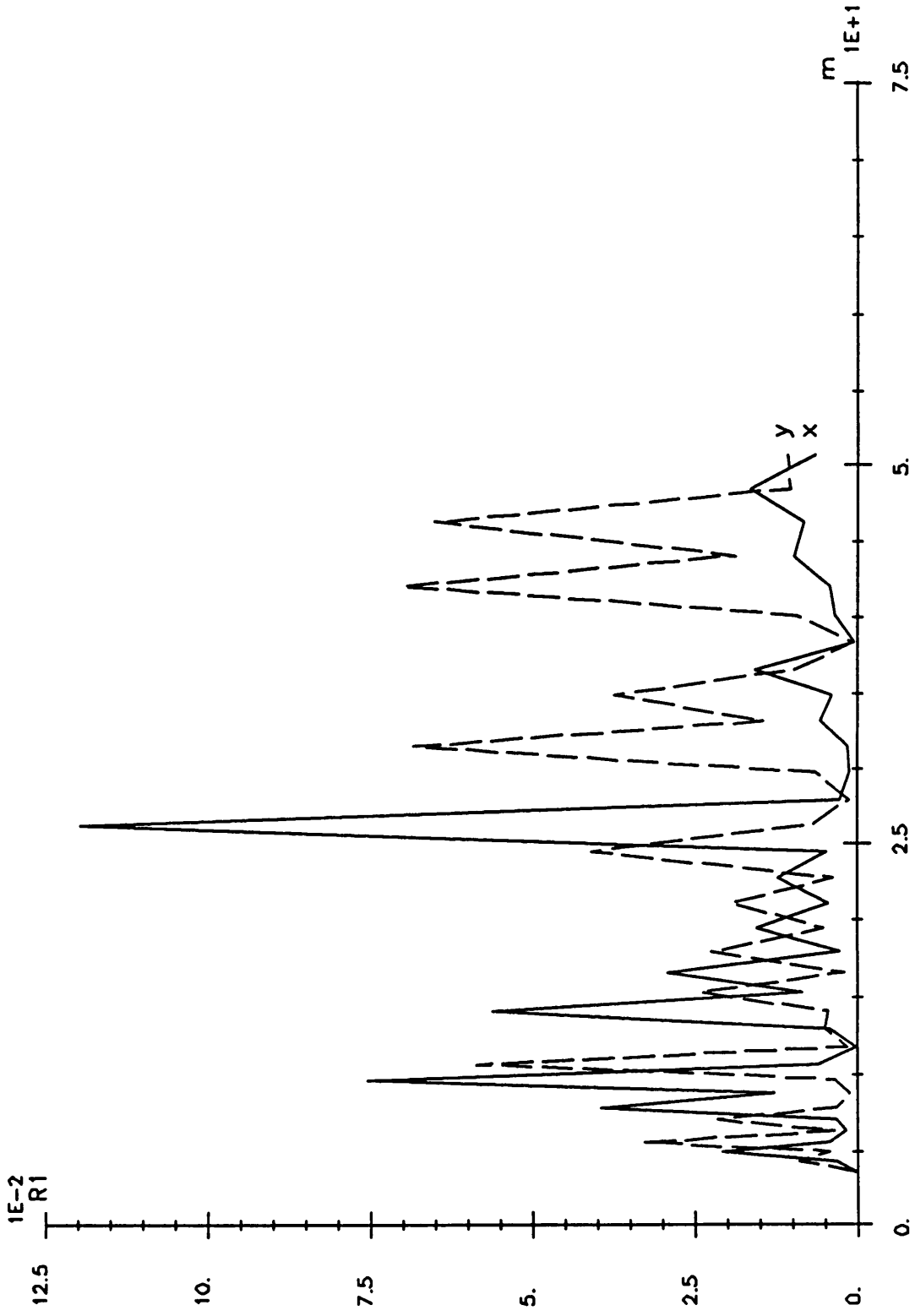
- défaut d'ANGLE face avant -



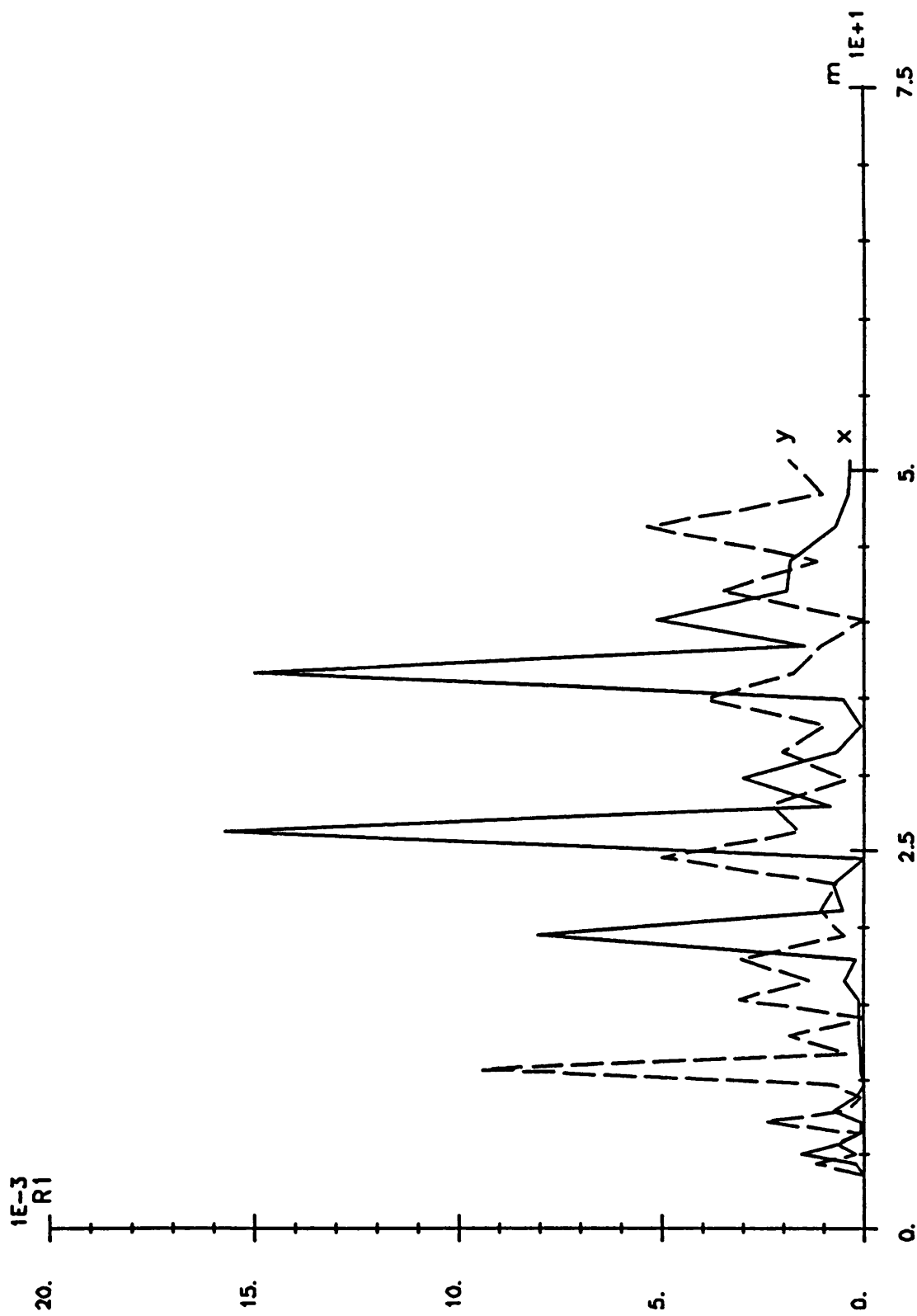
- défaut d'ANGLE point de centre -



- ETUDE DE LA TRANSMISSION D UN FAISCEAU DECENTRE -
 - defaut de deplacement -

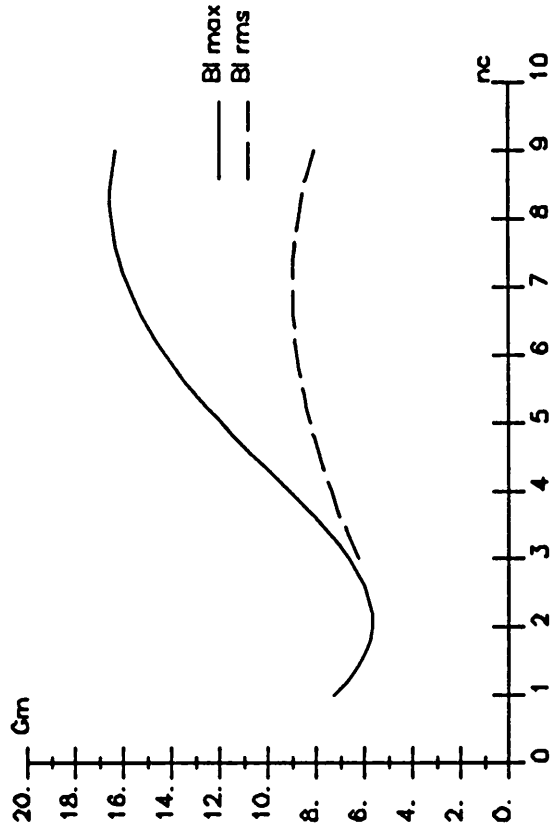


- ETUDE DE LA TRANSMISSION D UN FAISCEAU DECENTRE -
 - defaut d angle face avant -

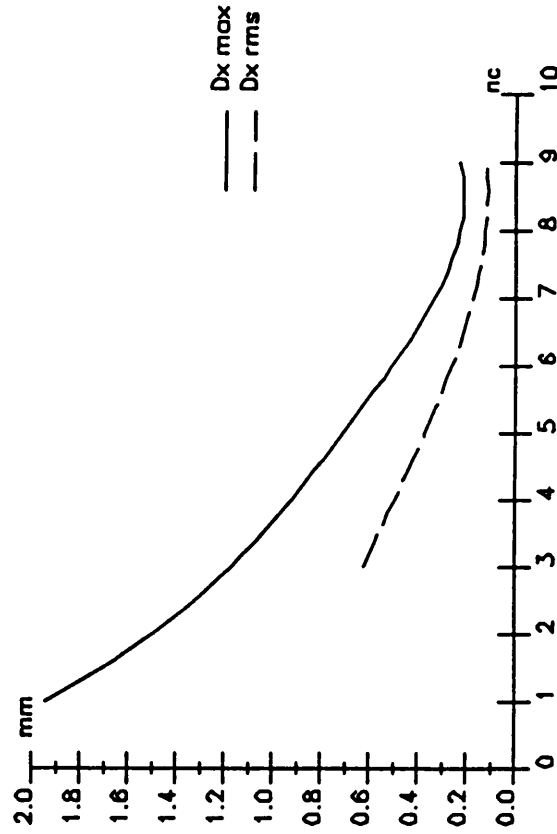
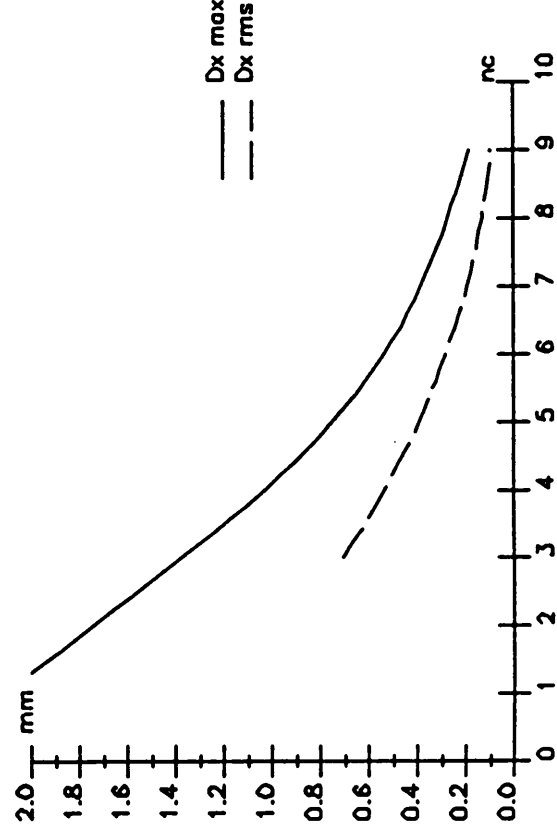
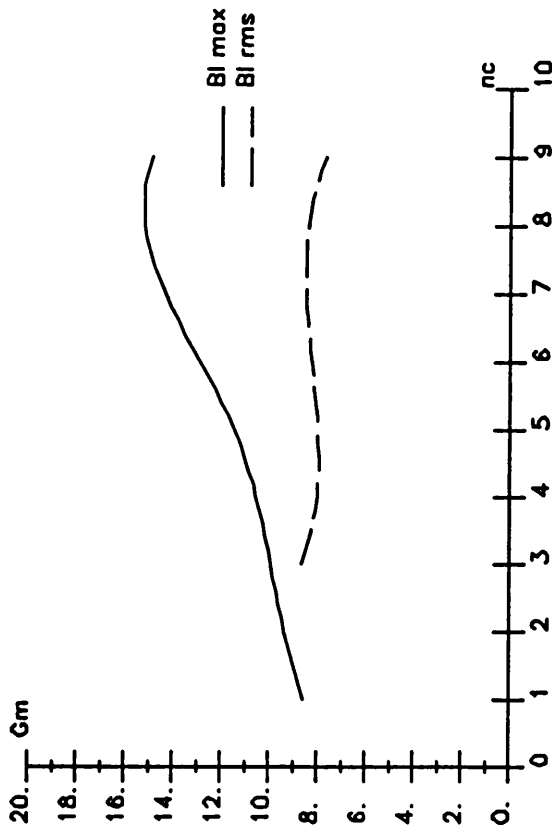


-- ETUDE DE LA TRANSMISSION D UN FAISCEAU DECENTRE --
 - defaut d angle point de centre -

- plan X -



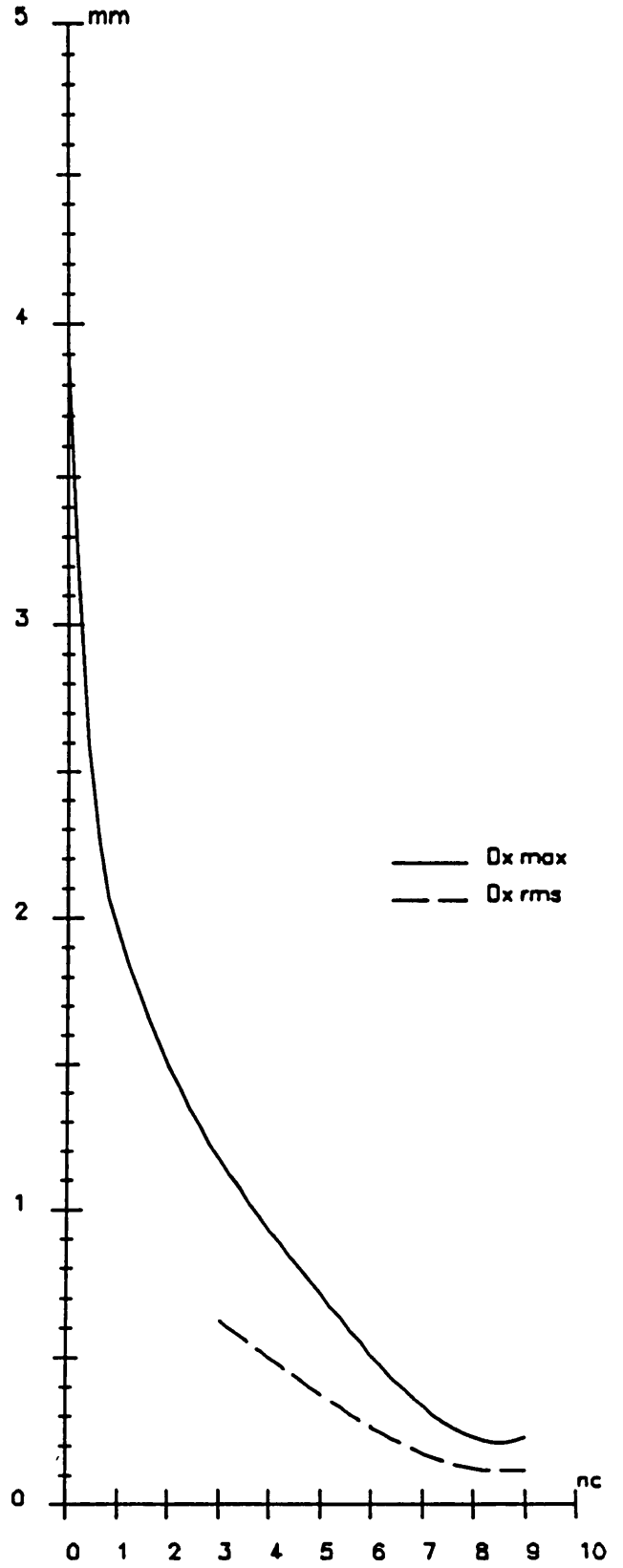
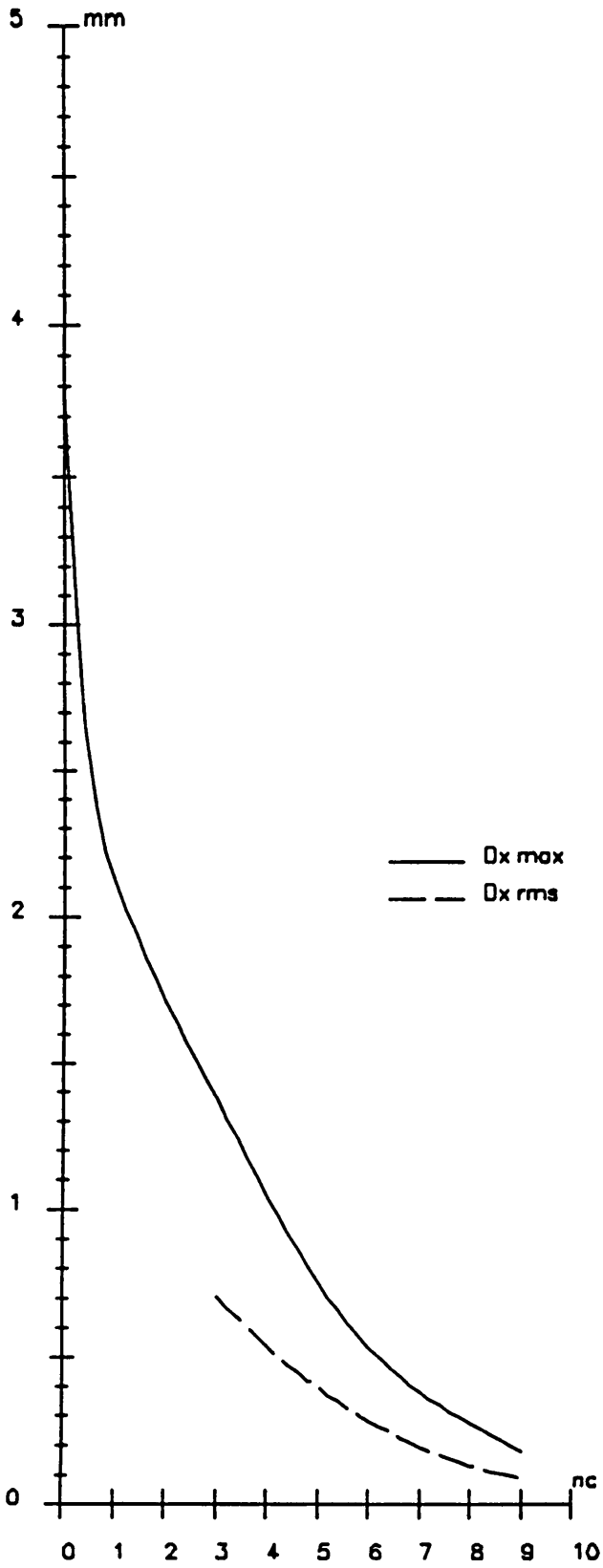
- plan Y -



- correcteurs - maximum 9
- moniteurs - sans défaut de position

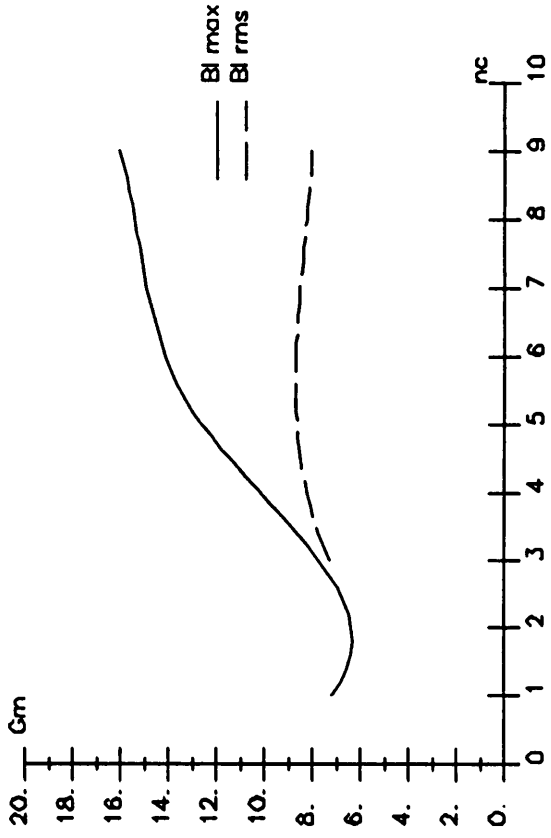
- plan X -

- plan Y -

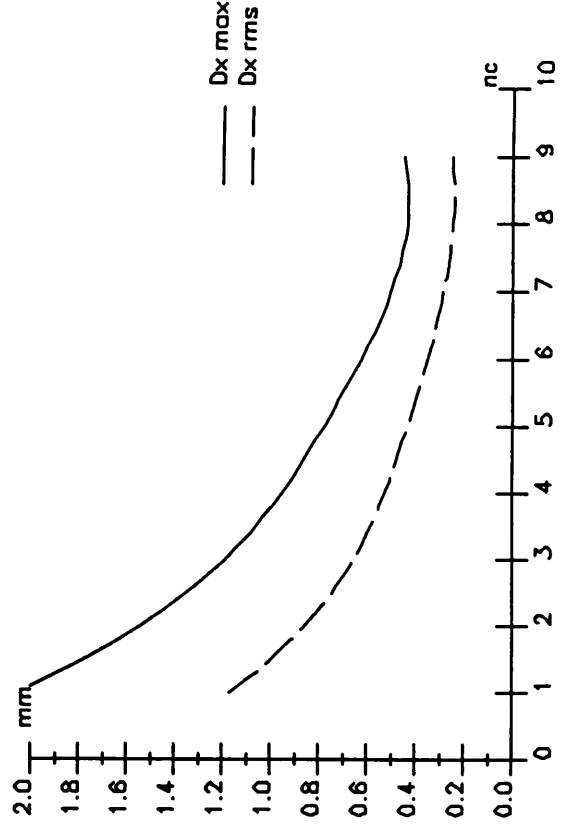
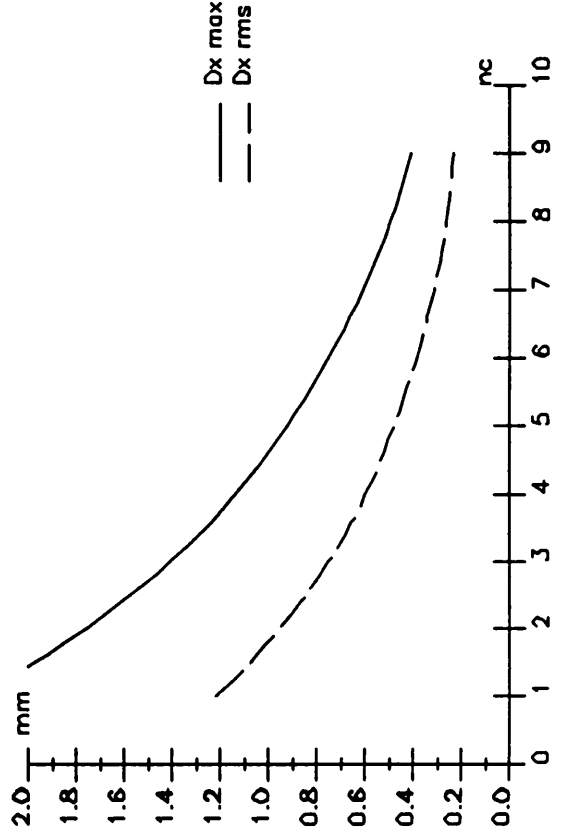
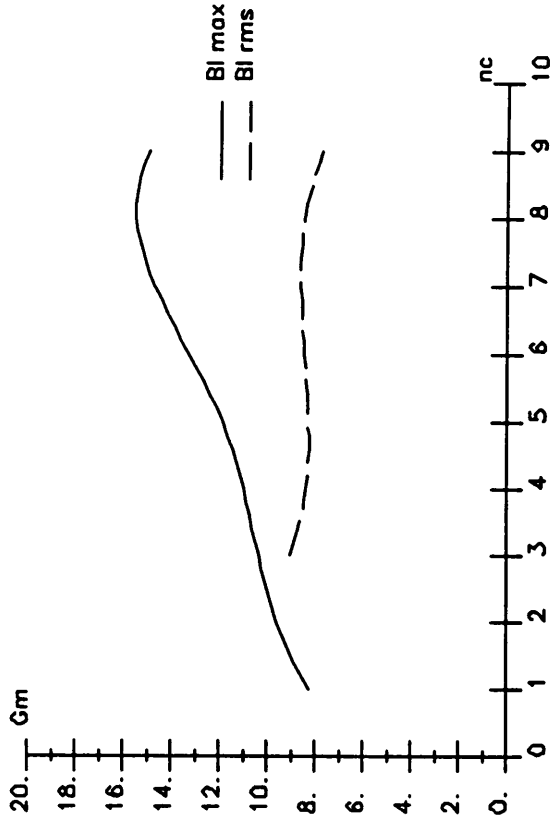


- correcteurs - maximum 9
- moniteurs - sans défaut de position

-- plan X --



-- plan Y --

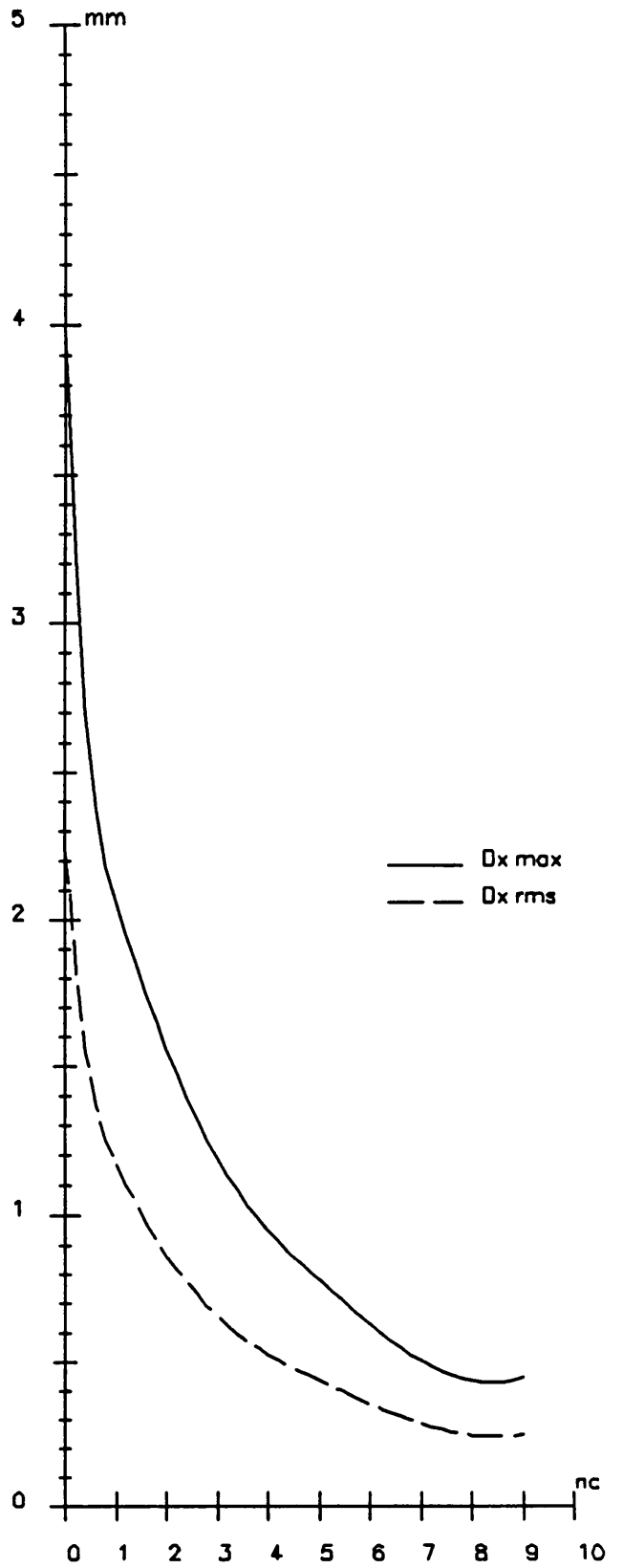
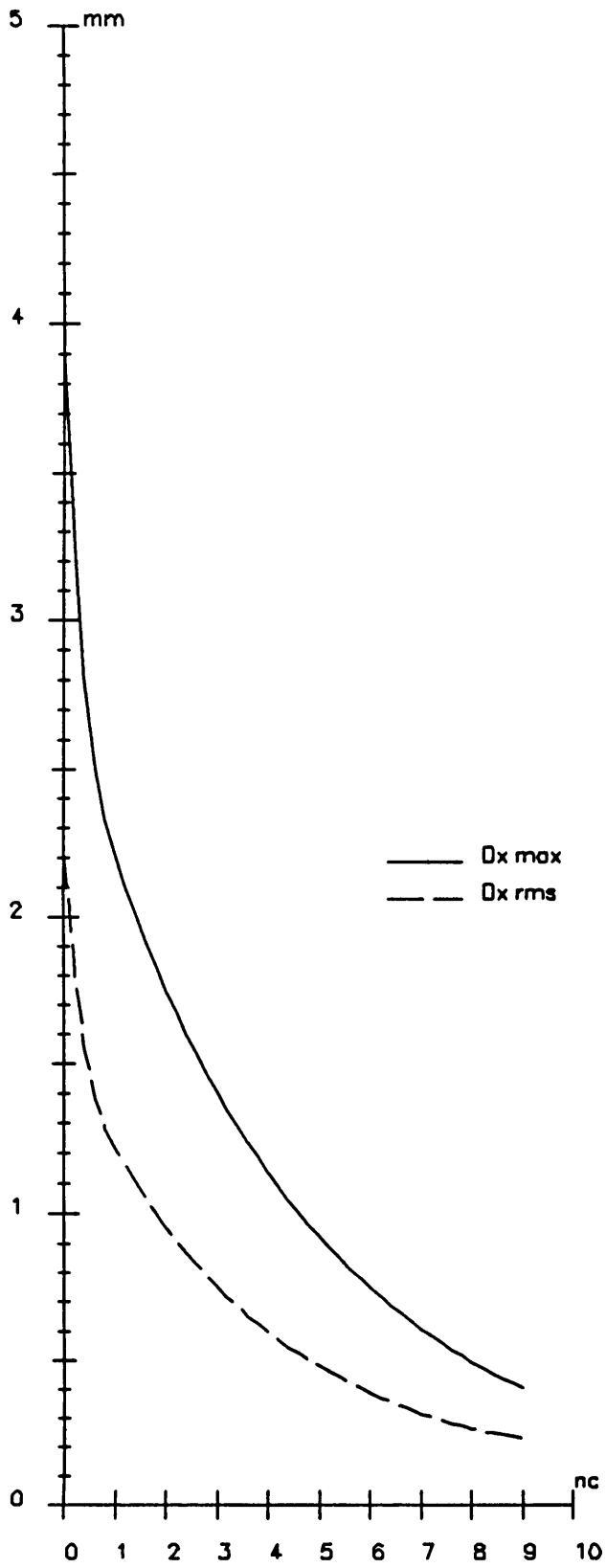


- correcteurs - maximum 9

- moniteurs - avec défaut de position

- plan X -

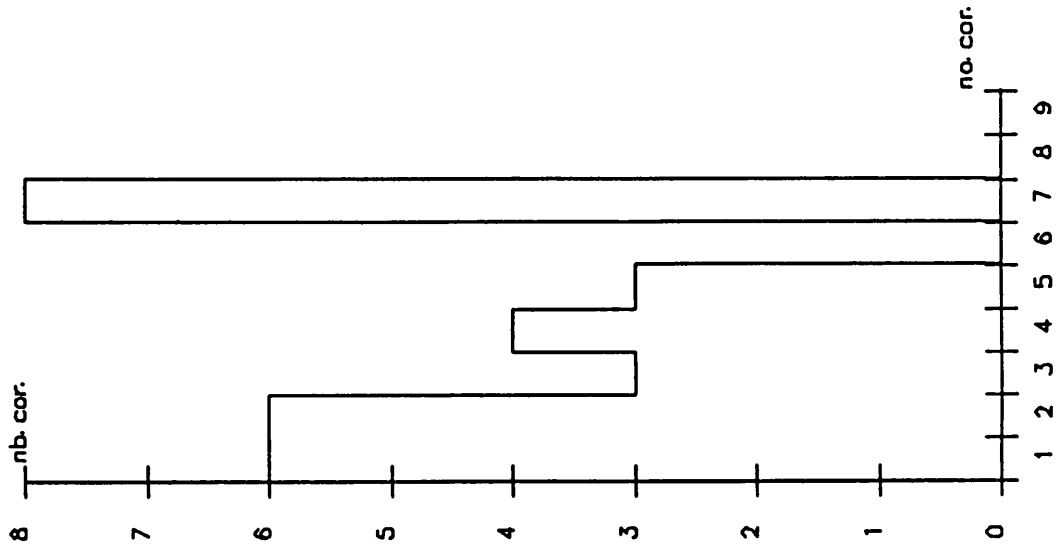
- plan Y -



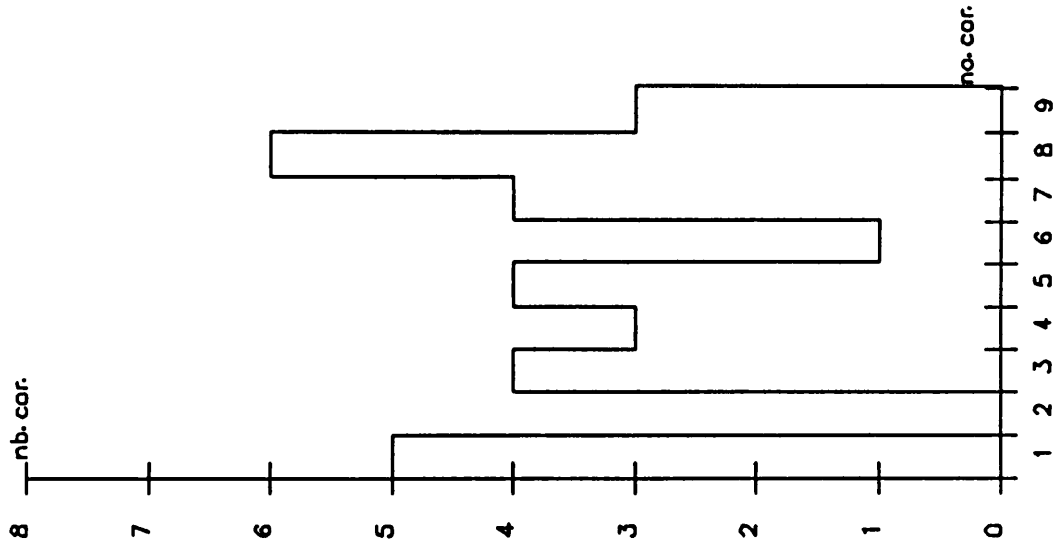
- correcteurs - maximum 9
- moniteurs - avec défaut de position

- plan X -

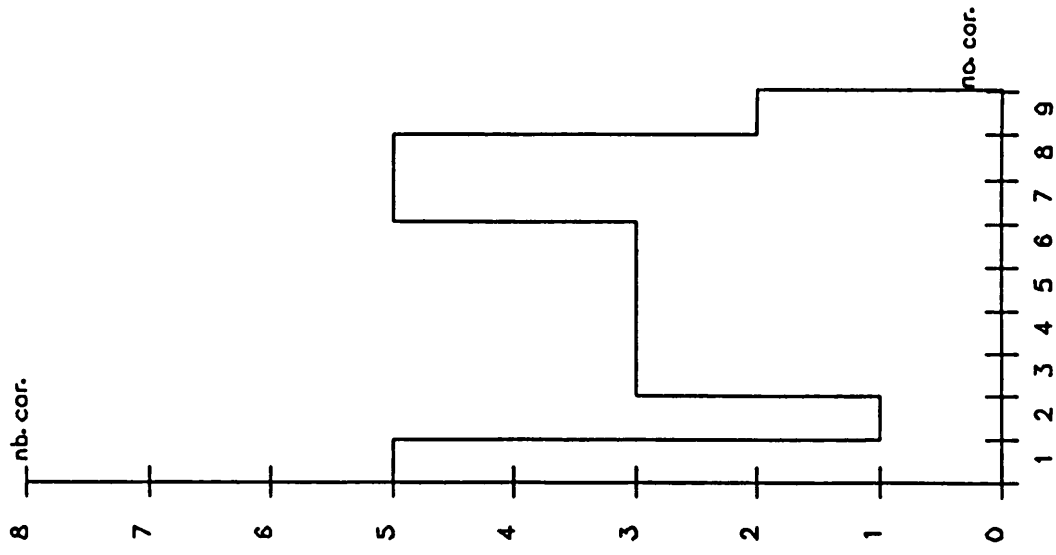
en 1er correcteur



en 2eme correcteur



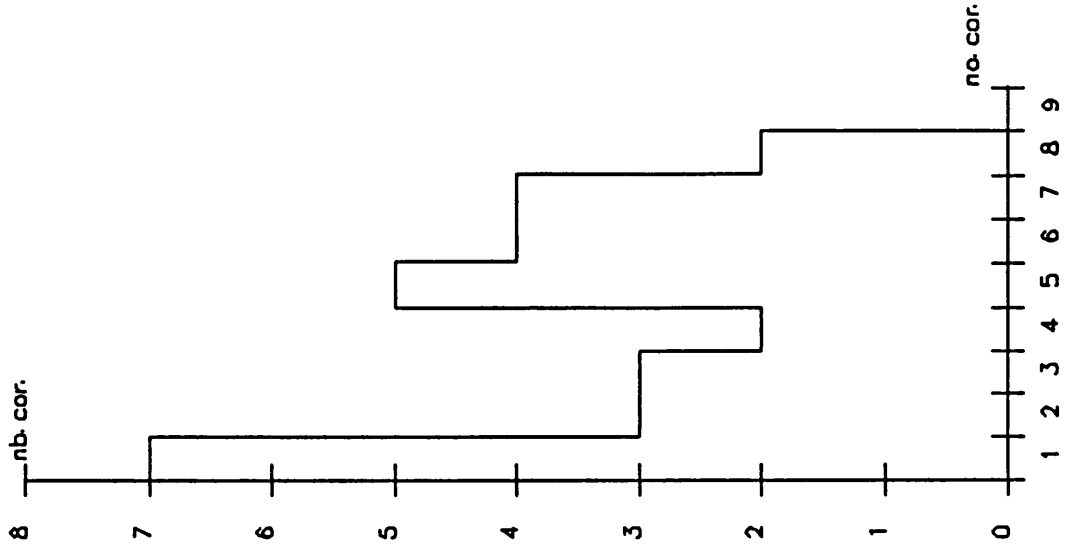
en 3eme correcteur



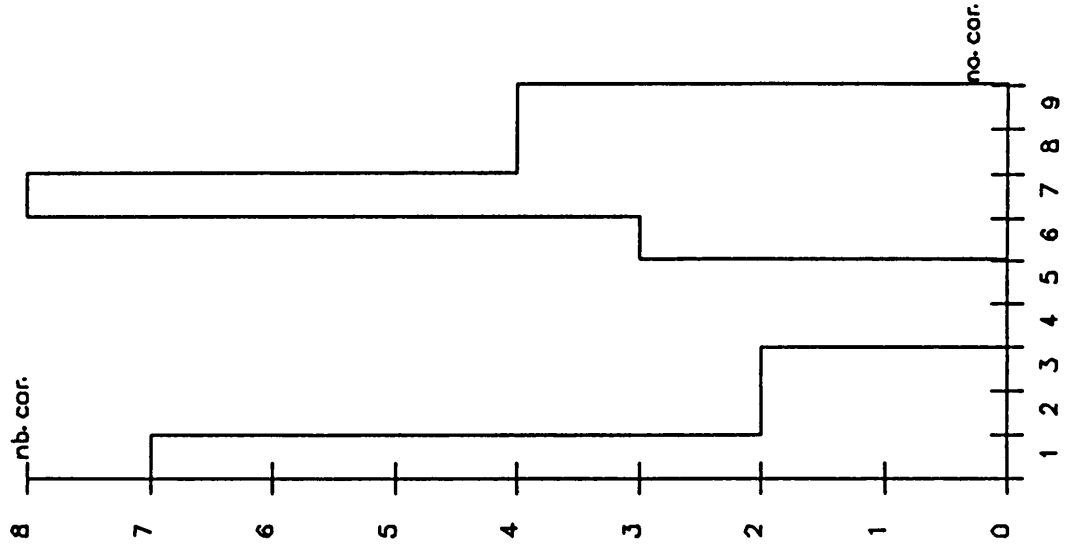
- FREQUENCE D UTILISATION DES CORRECTEURS - (suivant efficacite)

- sans défaut dans les moniteurs -

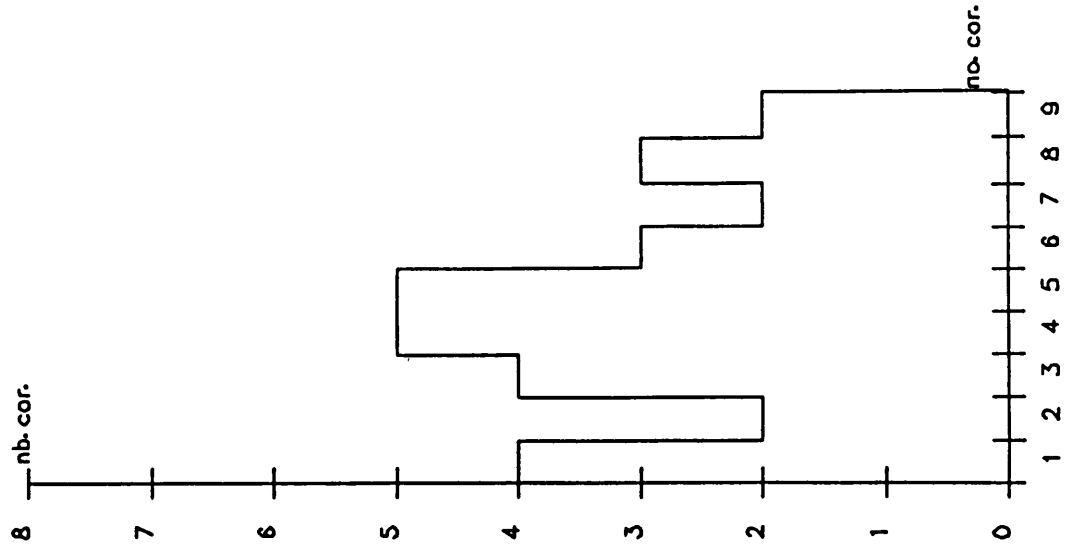
en 1er correcteur



en 2eme correcteur



en 3eme correcteur

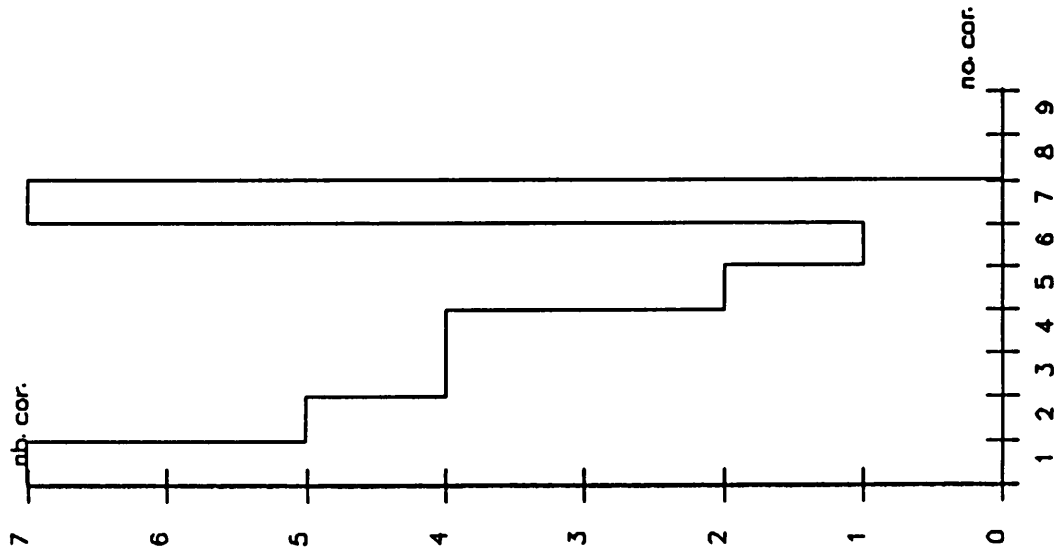


- FREQUENCE D UTILISATION DES CORRECTEURS - (suivant efficacite)

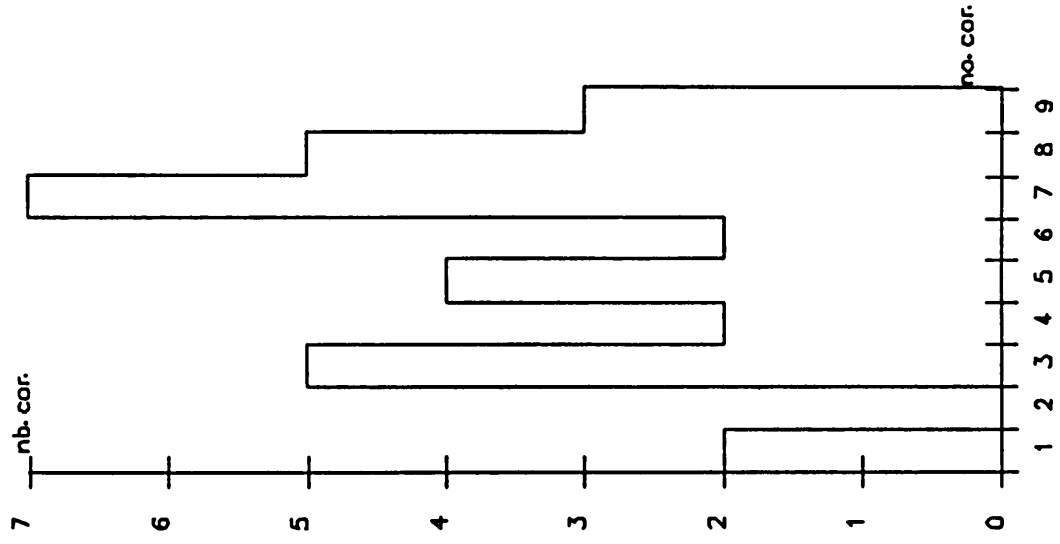
- sans defaut dans les moniteurs -

- plan X -

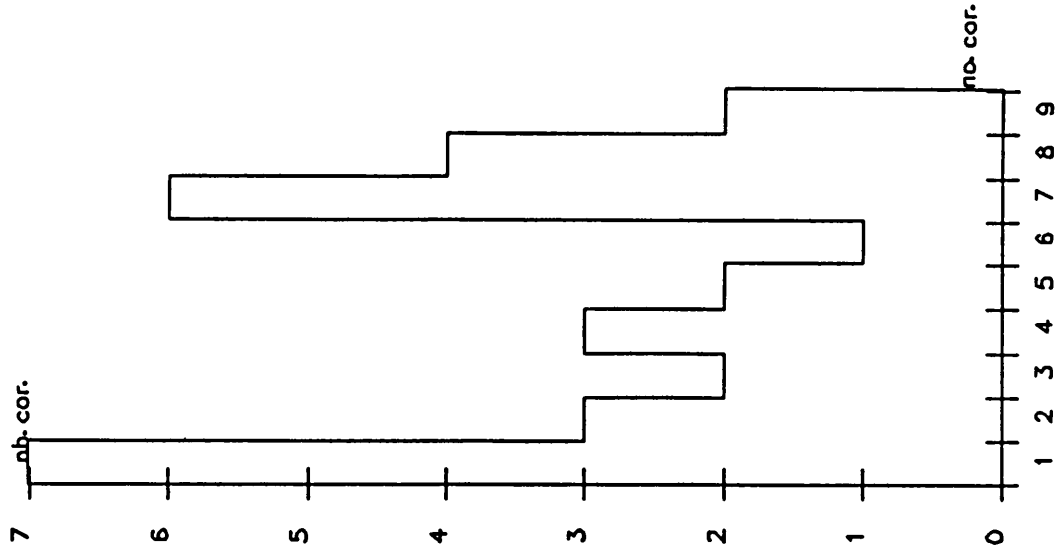
en 1er correcteur



en 2eme correcteur



en 3eme correcteur

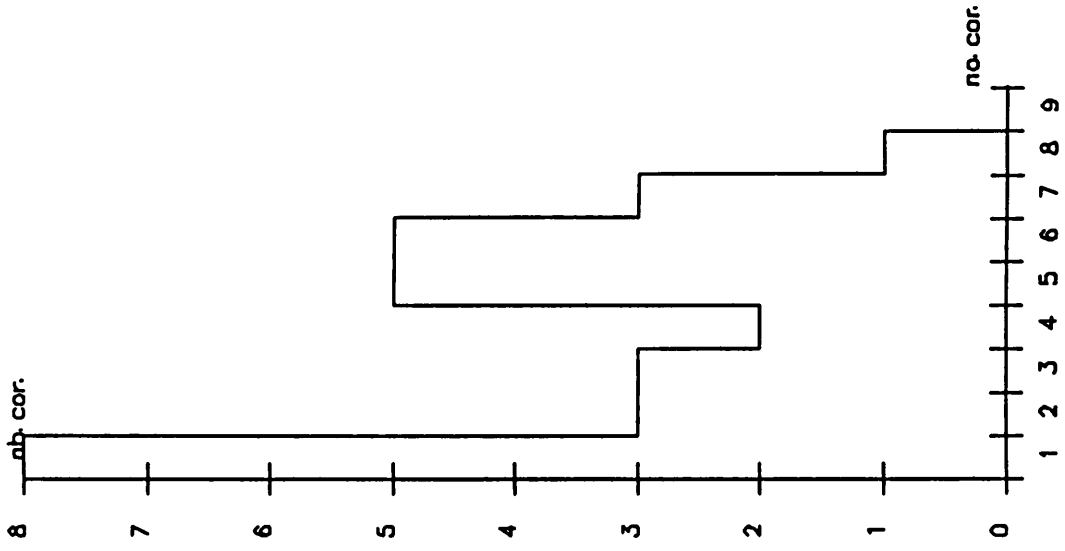


- FREQUENCE D UTILISATION DES CORRECTEURS - (suivant efficacite)

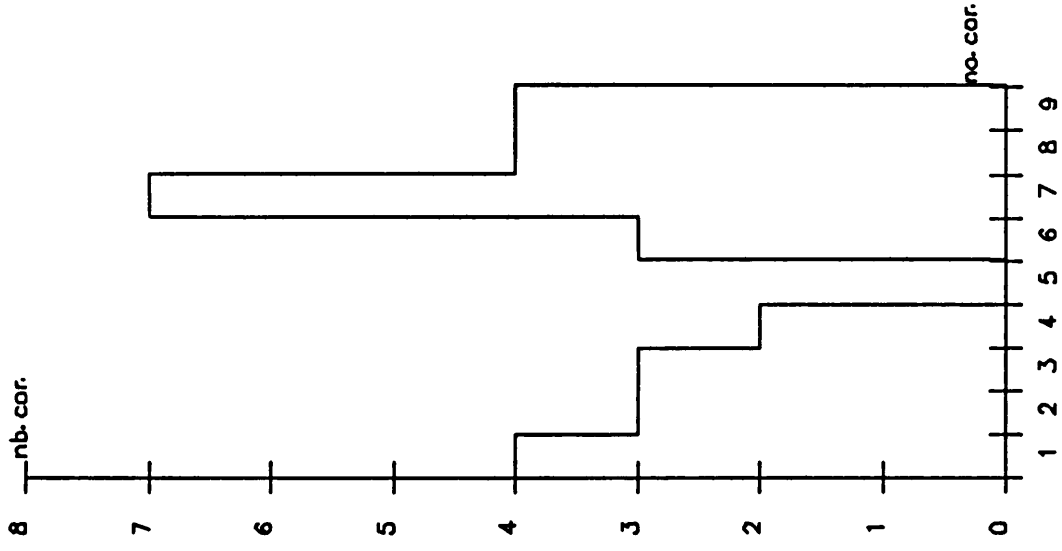
- avec defaut dans les moniteurs -

- plan Y -

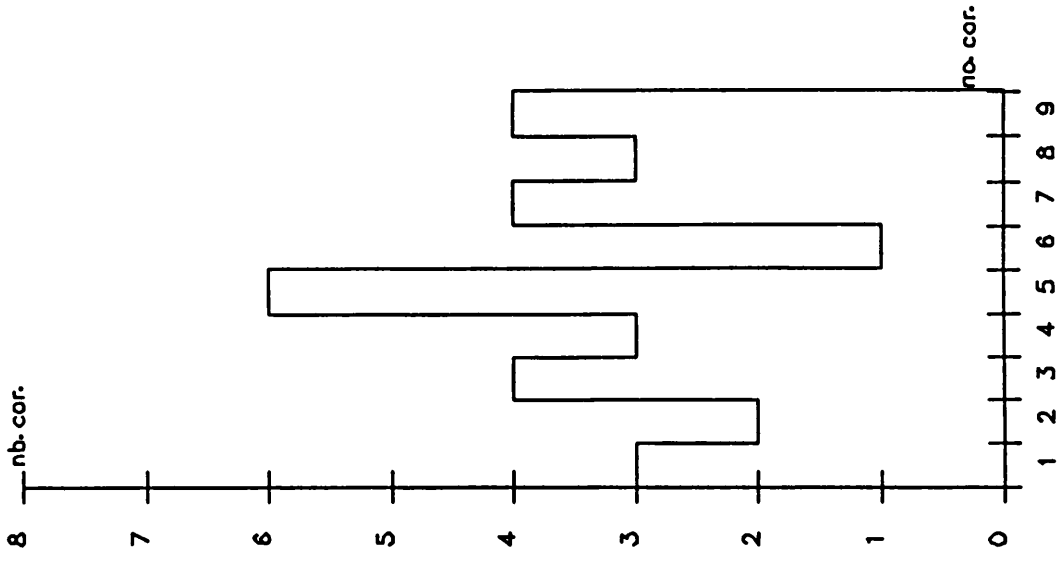
en 1er correcteur



en 2eme correcteur



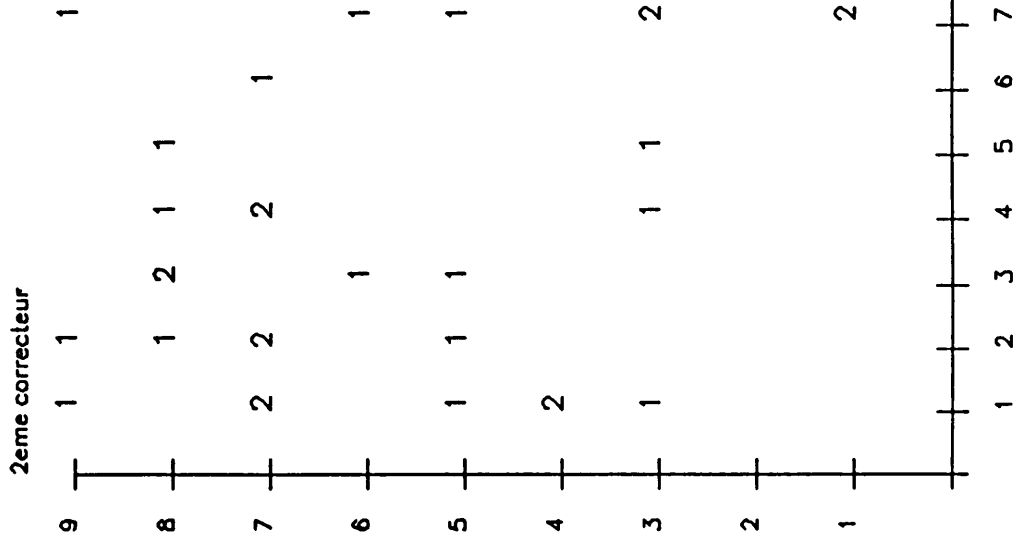
en 3eme correcteur



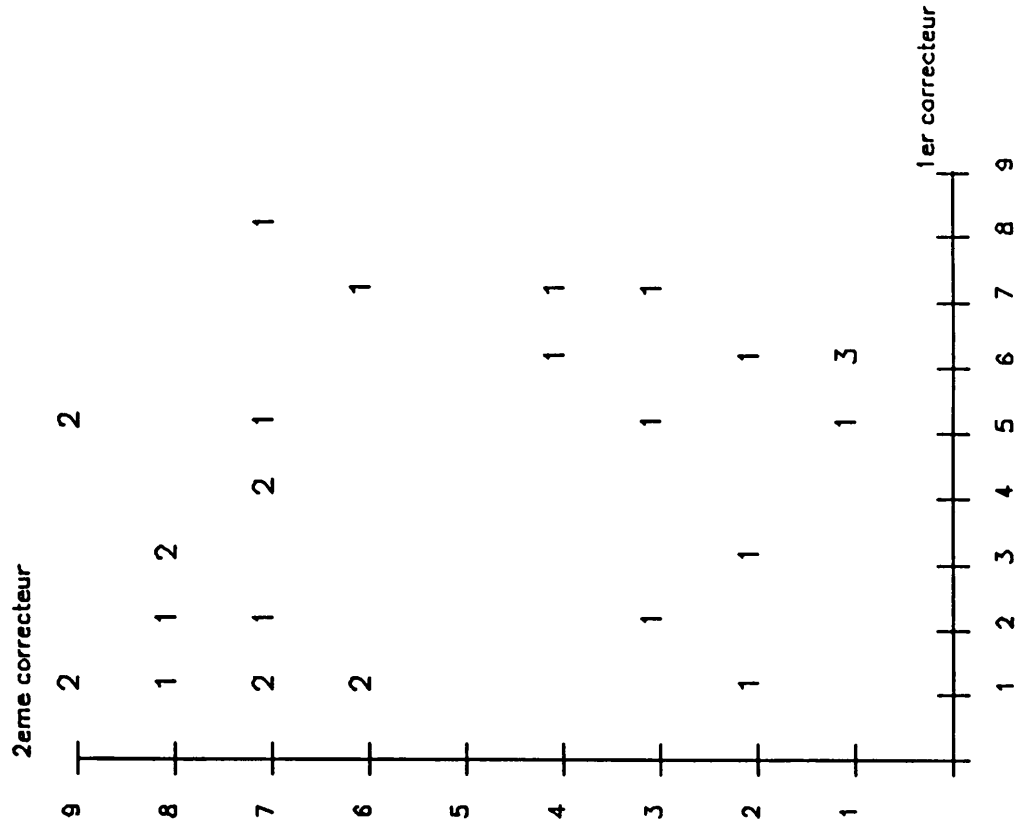
- FREQUENCE D UTILISATION DES CORRECTEURS - (suivant efficacite)

- avec defaut dans les moniteurs -

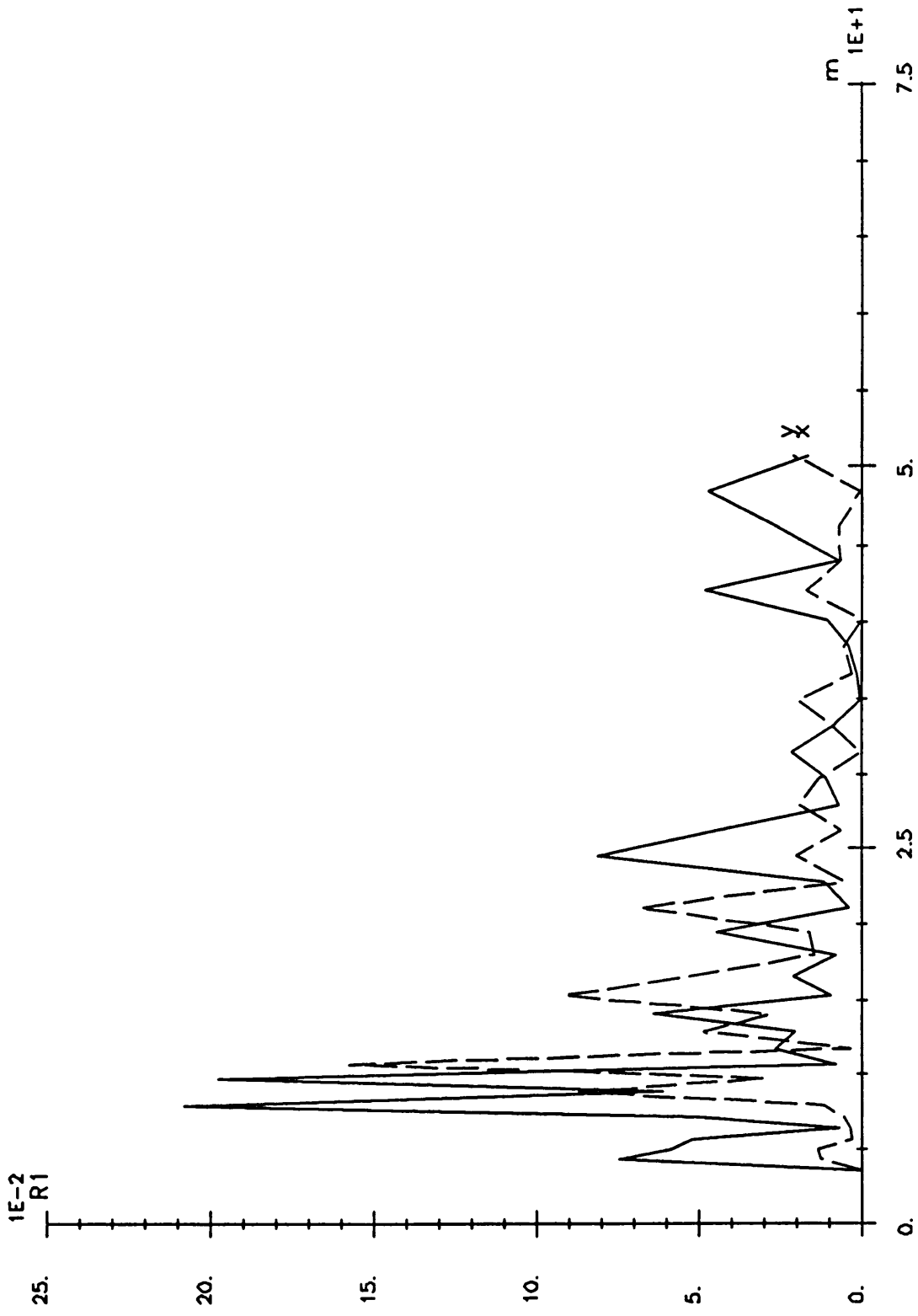
-- plan X --



-- plan Y --



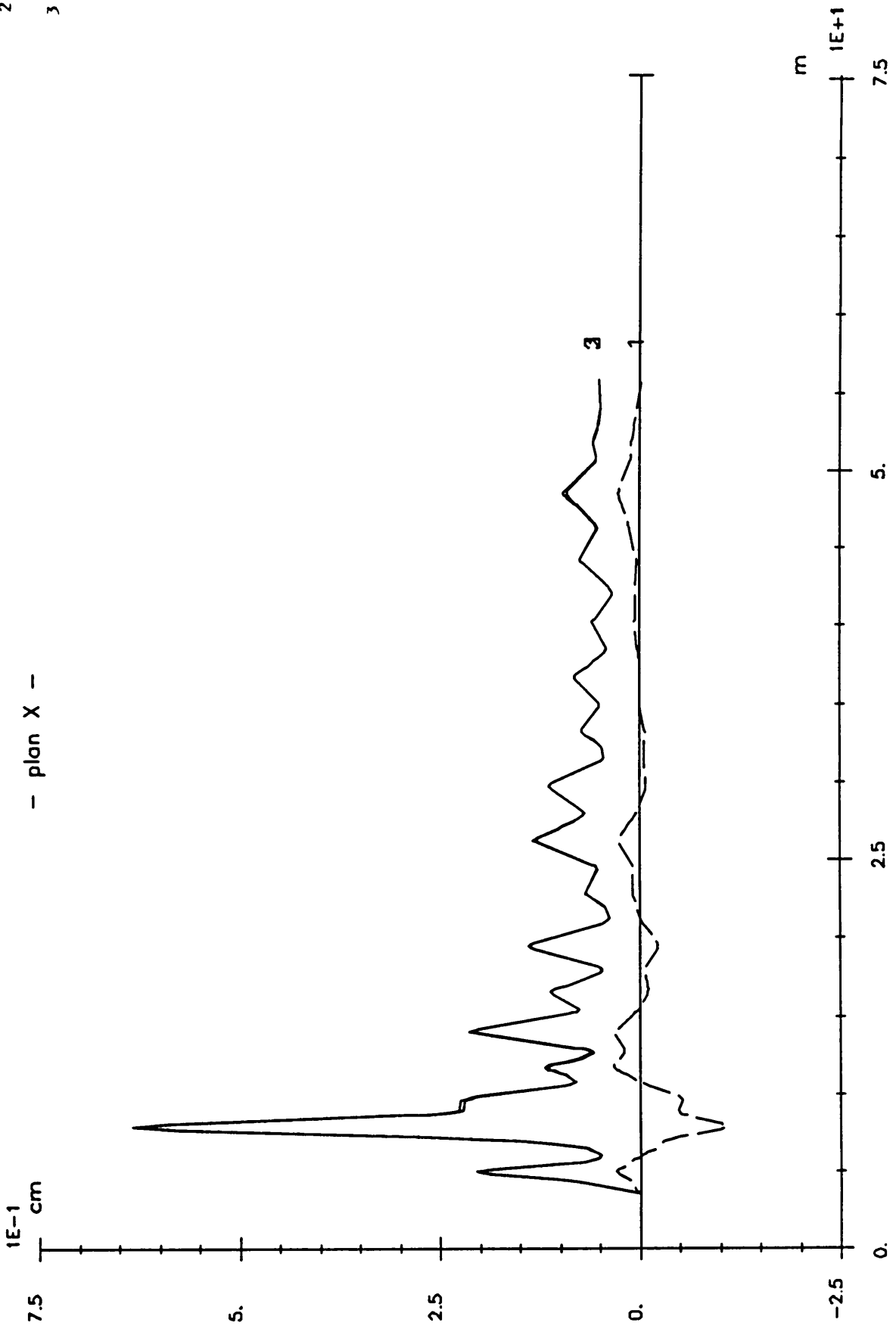
Frequence d'utilisation des 2 premiers correcteurs MICADO (Scatterplot)



-- ETUDE DE LA TRANSMISSION D UN FAISCEAU DECENTRE -- Apres correction (5 correcteurs).

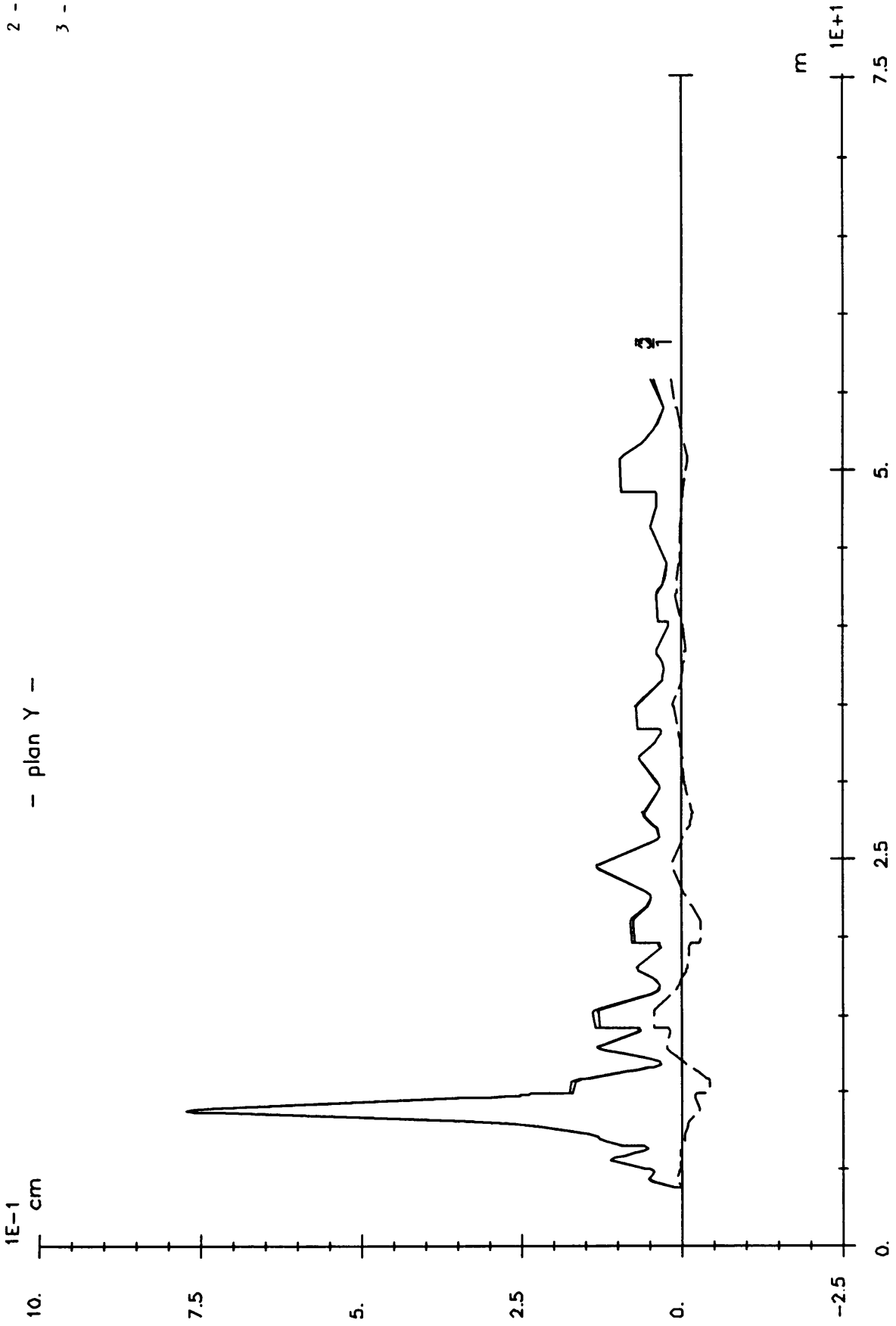
- defaut de placement -

- 1 - \bar{x}_i
- 2 - $\langle x_i \rangle$
- 3 - $\langle x_{i0} \rangle$

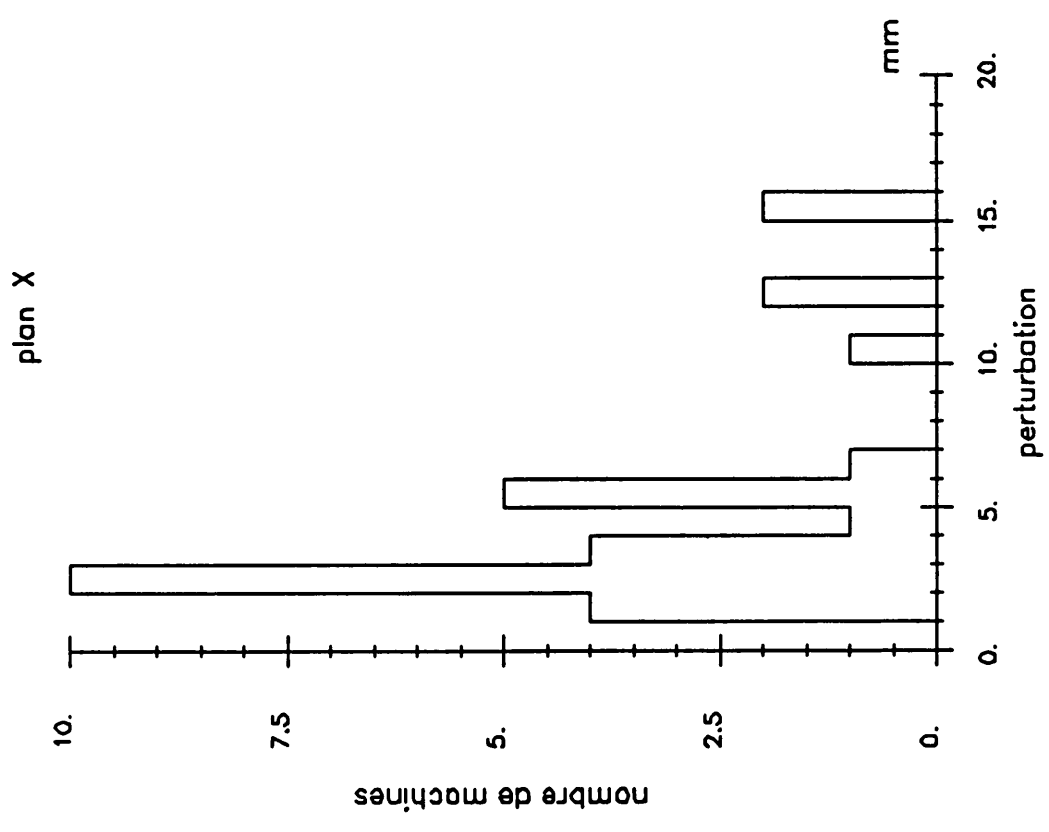
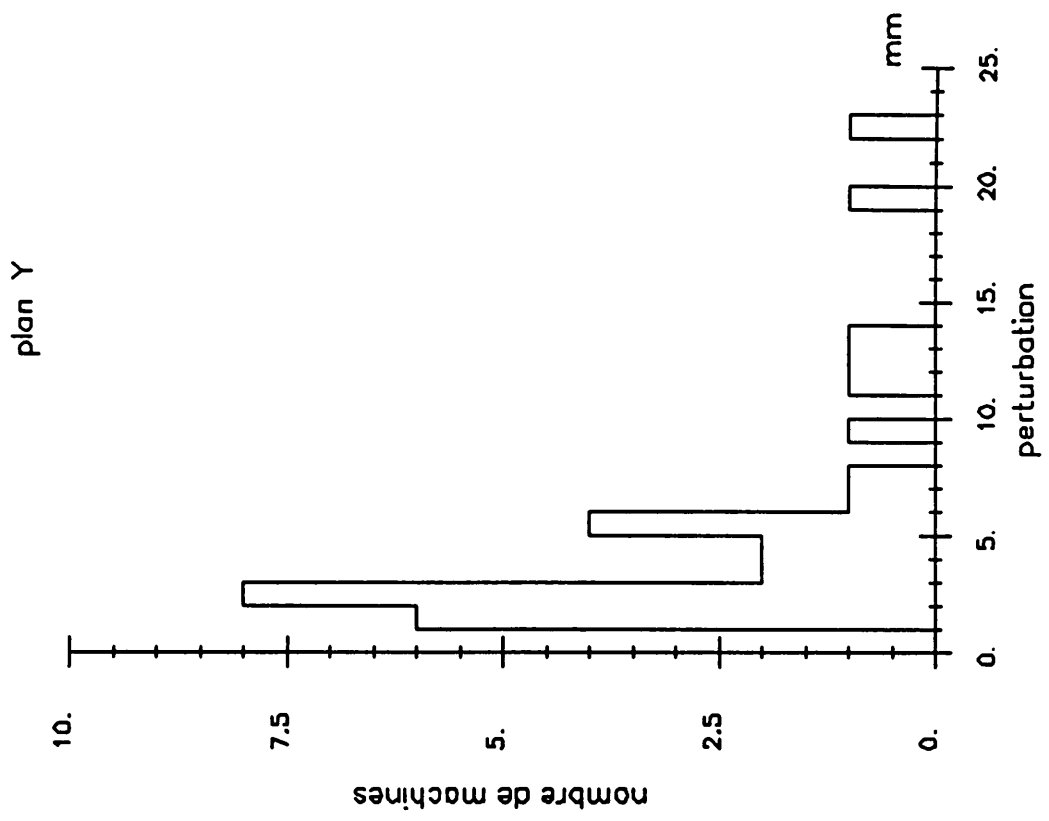


- DESAXAGE du FAISCEAU - Après correction - (5 correcteurs)
 (défaut de déplacement)

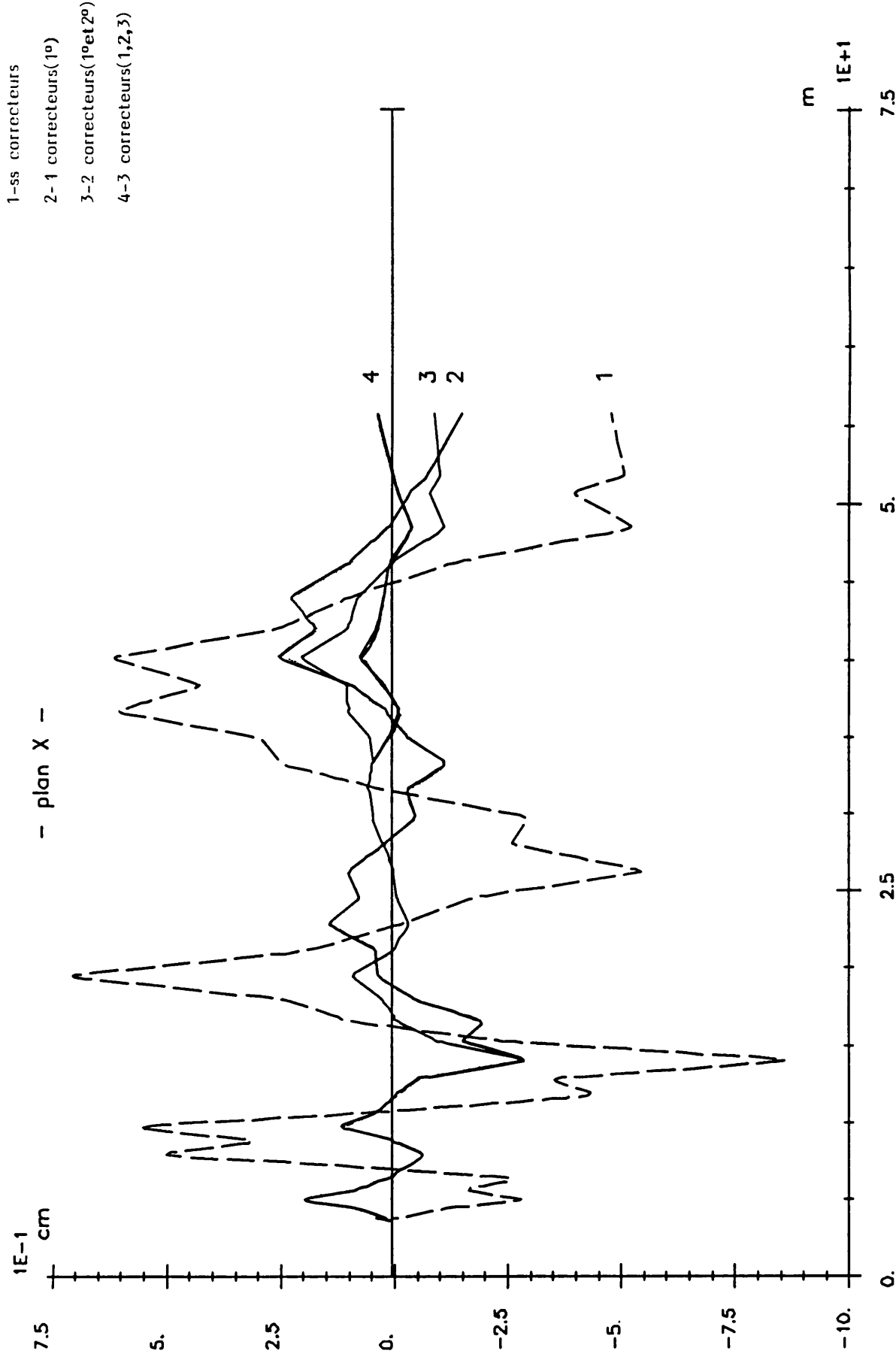
- 1 - \bar{y}_i
- 2 - $\langle y_i \rangle$
- 3 - $\langle y_{i0} \rangle$



-- DESAXAGE du FAISCEAU -- Après correction (5 correcteurs)
(défaut de déplacement)



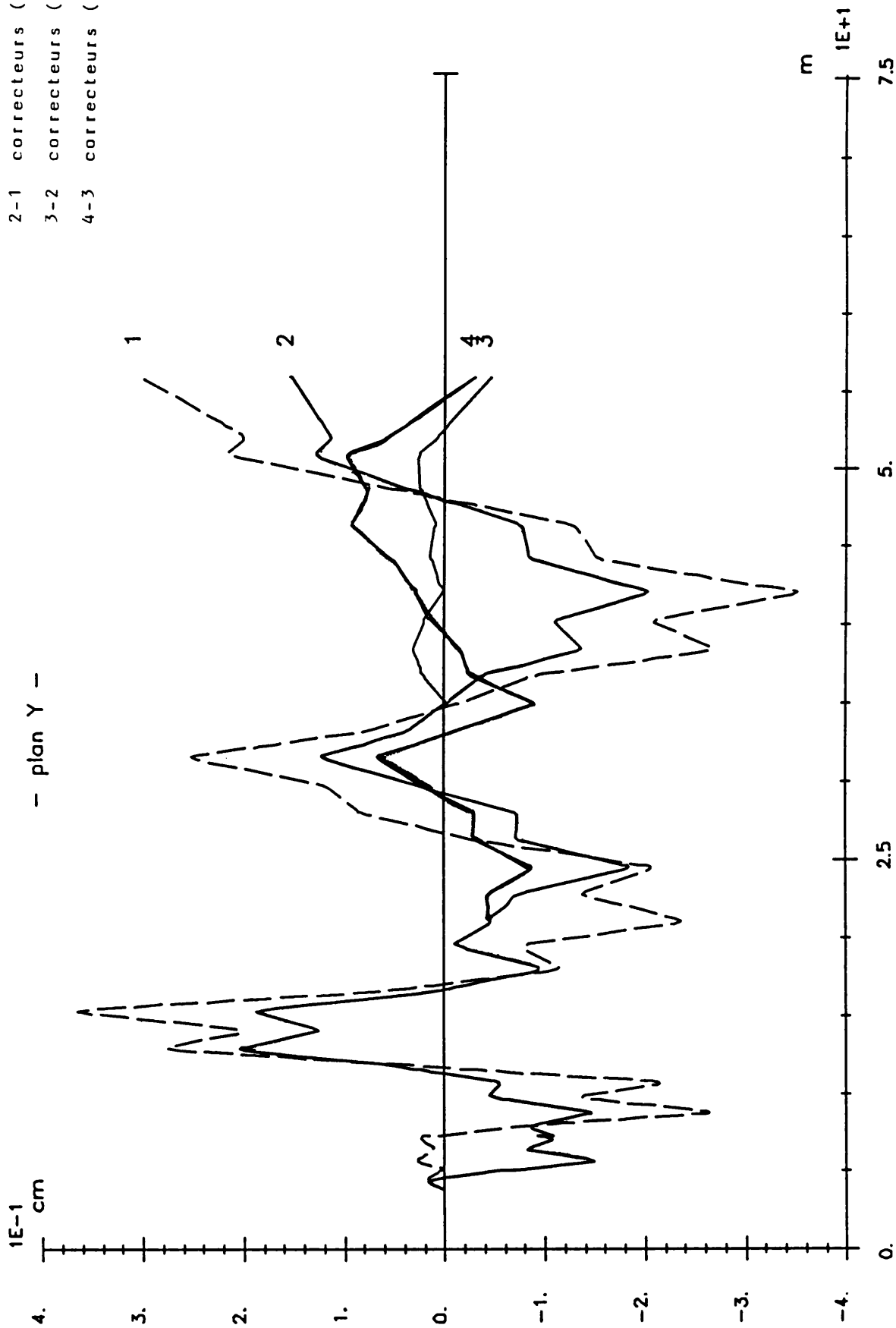
— défaut en DEPLACEMENT — Après correction (5 correcteurs)



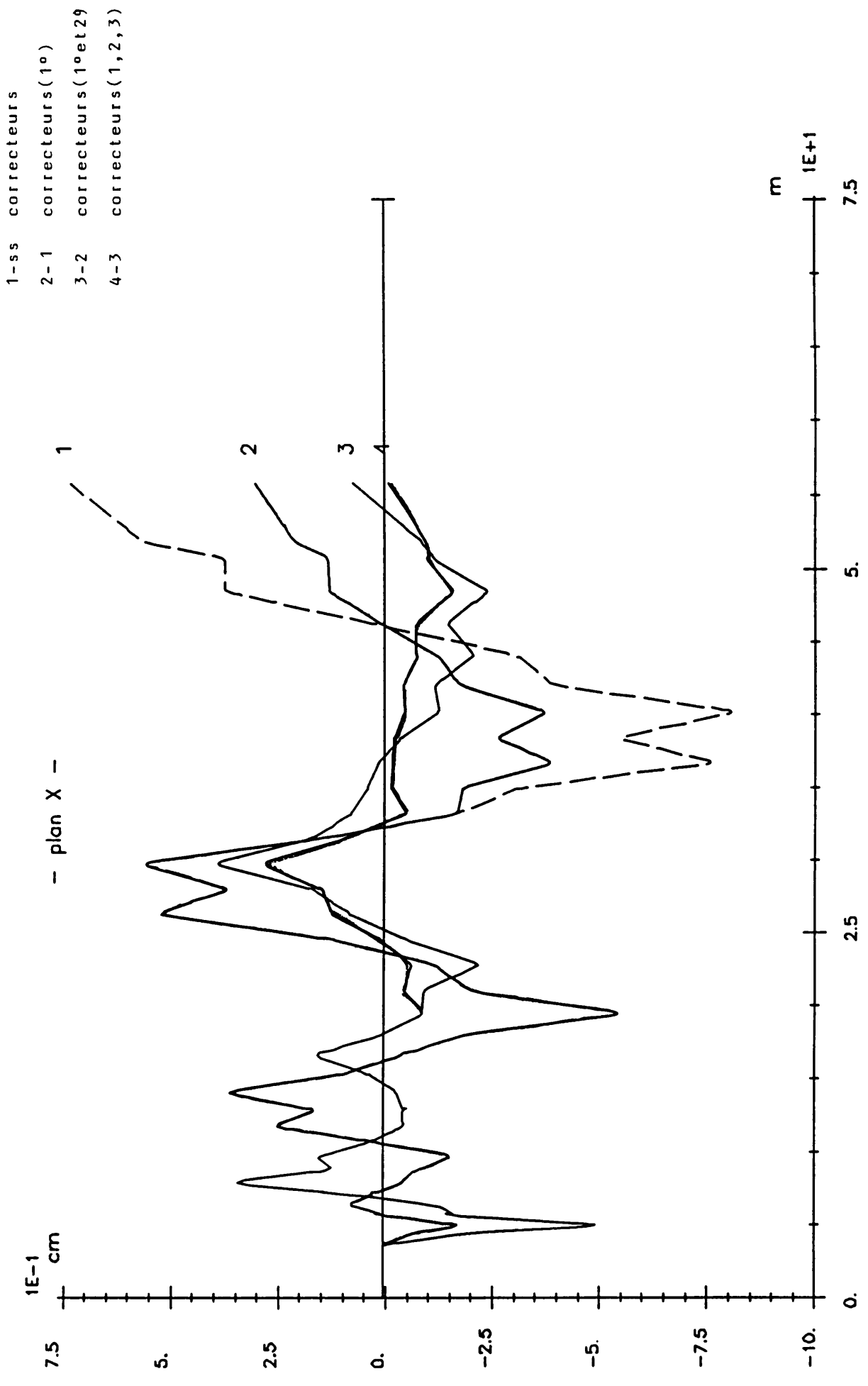
- 1-ss correcteurs
- 2-1 correcteurs(1°)
- 3-2 correcteurs(1°et 2°)
- 4-3 correcteurs(1,2,3)

-- DESAXAGE du FAISCEAU --
 (défaut de déplacement)

- 1-ss correcteurs
- 2-1 correcteurs (1°)
- 3-2 correcteurs (1° et 2°)
- 4-3 correcteurs (1, 2, 3)

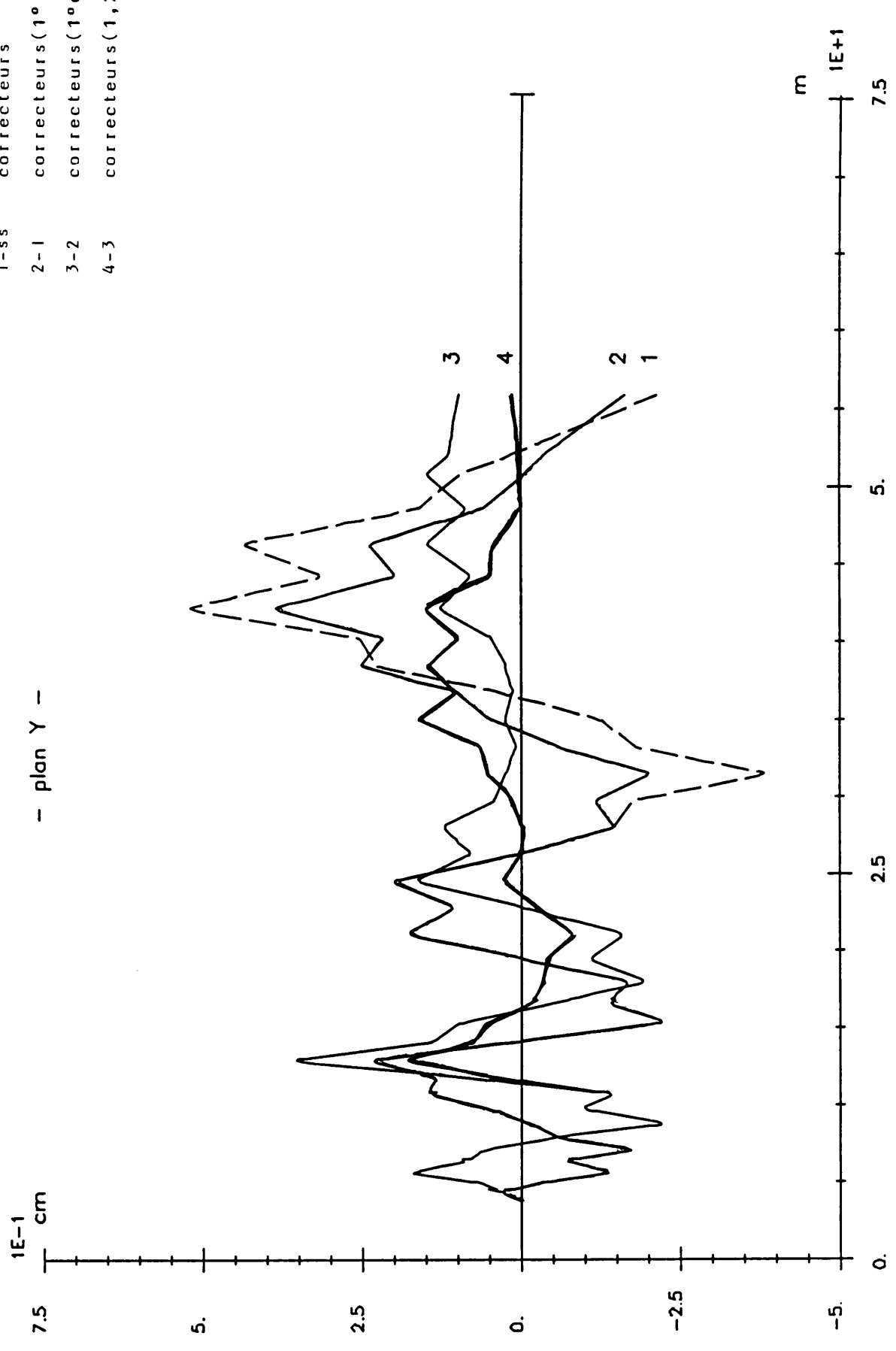


- DESAXAGE du FAISCEAU -
(défaut de déplacement)



-- DESAXAGE du FAISCEAU --
 (défaut de déplacement)

1-ss correcteurs
 2-1 correcteurs (1°)
 3-2 correcteurs (1° et 2°)
 4-3 correcteurs (1, 2, 3)



-- DESAXAGE du FAISCEAU --
 (défaut de déplacement)

ANNEXE

Evaluation des pertes en transmission du faisceau.

On suppose que la distribution des charges est uniforme en (x,y) .
Les pertes seront donc fournies par un rapport de surfaces.

$$\delta = \frac{S_P}{S_T}$$

où S_P représente la surface perdue

$S_T = \pi r_2^2$ r_2 étant fourni par l'enveloppe du faisceau (TRANSPORT).

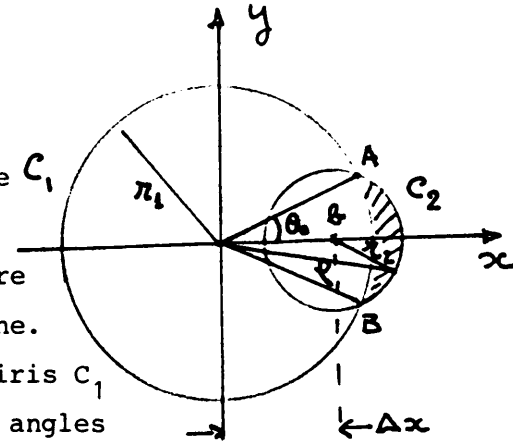
L'essentiel du problème revient à calculer S_P .

Le problème à traiter possédant des propriétés de symétrie de révolution, un certain nombre de simplifications sont possibles :

- le décentrage est sur l'axe des x , le centre du faisceau est à Δx du centre de la machine.
- le cercle du faisceau C_2 coupe celui de l'iris C_1 en deux points A et B correspondant à deux angles symétriques θ_0 et $-\theta_0$

Cet angle θ_0 est donné par :

$$\theta_0 = \text{Arc cos.} \left[\frac{\Delta x^2 + r_1^2 - r_2^2}{2 r_1 \Delta x} \right] \quad (1)$$



.../...

A chaque quadrupôle correspond un couple (r_1, r_2) un décentrage Δx et par conséquent une valeur θ_0 .

Calcul de la surface S_p .

Cette surface est comprise entre 2 arcs dont le rayon est donné par :

$$\begin{cases} \rho = \Delta x \cos \theta + \sqrt{r_2^2 - \Delta x^2 \sin^2 \theta} & \text{premier arc} \\ \rho = r_1 & \text{deuxième arc} \end{cases}$$

et la surface est donc donnée par :

$$\begin{aligned} S_p &= \iint \rho \, d\rho \, d\theta \\ \text{ou} \\ S_p &= \iint \rho \, d\rho \, d\theta = \int_{-\theta_0}^{\theta_0} d\theta \int_{r_1}^{\Delta x \cos \theta + \sqrt{r_2^2 - \Delta x^2 \sin^2 \theta}} \rho \, d\rho \\ S_p &= \frac{1}{2} \int_{-\theta_0}^{\theta_0} d\theta \left[\Delta x^2 \cos 2\theta + r_2^2 - 2\Delta x \cos \theta \sqrt{r_2^2 - \Delta x^2 \sin^2 \theta} - r_1^2 \right] \end{aligned}$$

On obtient :

$$\begin{aligned} S_p = \Delta x^2 \left\{ \frac{\sin 2\theta_0}{2} - \frac{(r_1^2 - r_2^2)}{\Delta x^2} \theta_0 - \sin \theta_0 \sqrt{\frac{r_2^2}{\Delta x^2} - \sin^2 \theta_0} \right. \\ \left. - \frac{r_2^2}{\Delta x^2} \arcsin \left(\frac{\Delta x \sin \theta_0}{r_2} \right) \right\} \end{aligned}$$

.../...

Faisceau transmis.

Le faisceau étant supposé entièrement transmis en y et partiellement transmis en x, on a pour la partie transmise $(1 - \delta_x)$.

De la même façon, le faisceau étant supposé entièrement transmis en x et partiellement en y, on a pour la partie transmise $(1 - \delta_y)$.

Les deux transmissions étant supposées relever de causes indépendantes, le faisceau finalement correspond à :

$$\eta = (1 - \delta_x) (1 - \delta_y)$$