

## MESURES AVEC PICK-UP QUADRIPOLAIRE A LEAR.

M. Chanel

### 1. INTRODUCTION

Le faisceau refroidi par "*electron-cooling*" est très dense. Il est intéressant de mesurer le "*detuning*" incohérent ainsi que les distributions transversales du faisceau pour connaître leur évolution en fonction de la densité du faisceau. La présence d'une résonance de la machine (par exemple  $2Q_v = 5$ ) peut-elle influencer les distributions lorsque les particules de faible amplitude ont un point de fonctionnement incohérent proche ou, au contraire, la présence de l'"*electron cooling*" permet-elle de la traverser sans problème ? Est-il possible de visualiser des résonances de forme quadripolaire? Dans cette note, nous décrivons des mesures réalisées en mars-avril sur les variations de "*Q-shift*" en fonction de différents paramètres.

### 2. MESURES AVEC PICK-UP ET KICKER QUADRIPOLAIRES

Une pick-up quadripolaire est sensible aux oscillations de forme d'un faisceau circulant dans la machine. Utilisée en récepteur, elle peut donc permettre la visualisation des instabilités quadripolaires (instabilités créées par les ions par exemple). En excitant le faisceau par un kicker quadripolaire et en regardant la réponse sur la pick-up, c'est-à-dire en faisant la fonction de transfert, il est possible de déterminer le degré de stabilité du faisceau. Dans ce dernier cas, la réponse que nous appellerons BTFQ nous renseigne sur la distribution du point de fonctionnement des particules en fonction de leur amplitude donc du "*detuning*" incohérent dû à la charge d'espace.

Dans cette note, le symbole  $q$  représente la partie décimale du point de fonctionnement,  $Q$  le point de fonctionnement,  $x$  ou  $h$  le plan horizontal,  $y$  ou  $v$  le plan vertical, l'indice *inc* ou *i* représente la partie incohérente, l'indice 0 le point de fonctionnement uniparticule.

Plusieurs types de mesures et d'études ont été faites :

- mesures de l'émittance horizontale et du "*detuning*" vertical en fonction du nombre de particules circulant et refroidies par "*electron cooling*".
- mesures de l'émittance horizontale et du "*detuning*" vertical en fonction du courant d'électrons de l'"*electron cooling*".
- mesures des distributions transversales et des "*detuning*" transversaux lorsque le point de fonctionnement cohérent est approché de la résonance  $2Q_v = 5$ .

**2.1 La mesure de l'émittance est obtenue par le Beam Ionisation Profile Monitor (BIPM). Au moment des premières mesures seul le BIPM horizontal était disponible.**

**2.2 La mesure du “detuning” incohérent est obtenue par la variation de fréquence de la résonance quadripolaire  $(3-2qv)f_{rev}$  et  $(1+2qh)f_{rev}$ . Les harmoniques impaires 3 et 1 sont choisies pour éviter les confusions qui pourraient survenir entre les harmoniques paires et l'harmonique 2 (due à la non-linéarité) d'une résonance dipolaire (en effet, comment différencier  $(2+2qh)f_{rev}$  et  $2(1+qh)f_{rev}$  ?). Il faut noter que le point de fonctionnement incohérent est obtenu en utilisant les relations dérivées par W. Hardt (ISR/Int 300 GS/66.2) et qui peuvent se simplifier de la façon suivante :**

$$Q_{2,x} = 2 * \left( Q_{0,x} - \Delta q_{i,x} * \left( 0.75 - 0.25 \frac{ax/ay}{1 + ax/ay} \right) \right)$$

$$Q_{2,y} = 2 * \left( Q_{0,y} - \Delta q_{i,y} * \left( 0.75 - 0.25 \frac{ay/ax}{1 + ay/ax} \right) \right)$$

où  $ax$  et  $ay$  sont les dimensions *RMS* du faisceau,  $Q_{2,x}$  et  $Q_{2,y}$  le nombre d'ondes quadripolaires,  $Q_{0,x}$  et  $Q_{0,y}$  le nombre d'ondes dipolaires. Dans le cas de LEAR, en assumant  $a = \sqrt{R/Q_0}$ , on obtient :

$$Q_{2,x} = 2 Q_{0,x} - \Delta q_{i,x} * 1.23$$

$$Q_{2,y} = 2 Q_{0,y} - \Delta q_{i,y} * 1.26$$

Pour que cette mesure soit correcte il faut sur un même faisceau stable réaliser les mesures suivantes:

- 1) mesurer  $f_{rev}$ ,
- 2) mesurer  $Q_{0x,y}$  cohérent,
- 3) mesurer  $Q_{2x}$  et  $Q_{2y}$

Mais il faudrait aussi mesurer le point de fonctionnement cohérent dans le cas de densité de faisceau très faible (sans “*electron cooling*”). Dans les mesures qui ont été réalisées, seules  $Q_{2x}$ ,  $Q_{2y}$  ont été mesurées systématiquement.  $Q_{0x}$  et  $Q_{0y}$  ont seulement été mesurées pour une valeur de la série de mesures, et  $f_{rev}$  a été maintenue constante pendant la série de mesures.

Il faut noter que les mesures ont toutes été réalisées avec la BTFQ et trop souvent avec une puissance d'excitation trop forte, la pick-up quadripolaire ayant un niveau de bruit beaucoup trop élevé. Celui-ci fut fortement réduit (-15 dB.) en stoppant la jauge de mesures du vide E4VGI401 mais cela fut découvert après les mesures.

La BTFQ fut réalisée avec le “*network analyser*” (Fig.1). Le sens de balayage a une importance sur la forme et l'amplitude de la réponse. Cette influence est réduite en réduisant la puissance d'excitation. La réponse est aussi nettement plus importante si on réalise le balayage en excitant d'abord les particules de grande amplitude. En effet, la BTFQ donne la distribution du point de fonctionnement incohérent en fonction de l'amplitude des particules (Fig. 2).

Lors de toutes les mesures nous fûmes gênés par la superposition des lignes  $(1+2qh)f_{rev}$  et  $(2-qv)f_{rev}$ . Le point de fonctionnement cohérent est proche de la résonance de couplage  $2Qh-Qv = -2$ , donc le point de fonctionnement incohérent est souvent sur cette ligne de résonance.

Un changement du point de fonctionnement habituel est nécessaire pour faciliter les mesures. Dans certain cas nous avons pu mesurer  $(1+2qh)_{frev}$  en balayant des hautes fréquences vers les basses fréquences.

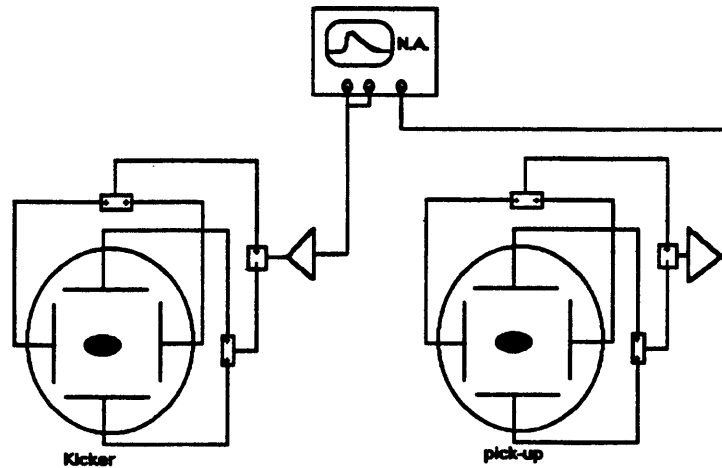


Figure 1 - Schéma de la mesure BTFQ. Le signal du "network analyser" excite le faisceau par le kicker quadripolaire. La réponse du faisceau reçue par la pick-up quadripolaire est amplifiée avant comparaison par le network analyser.

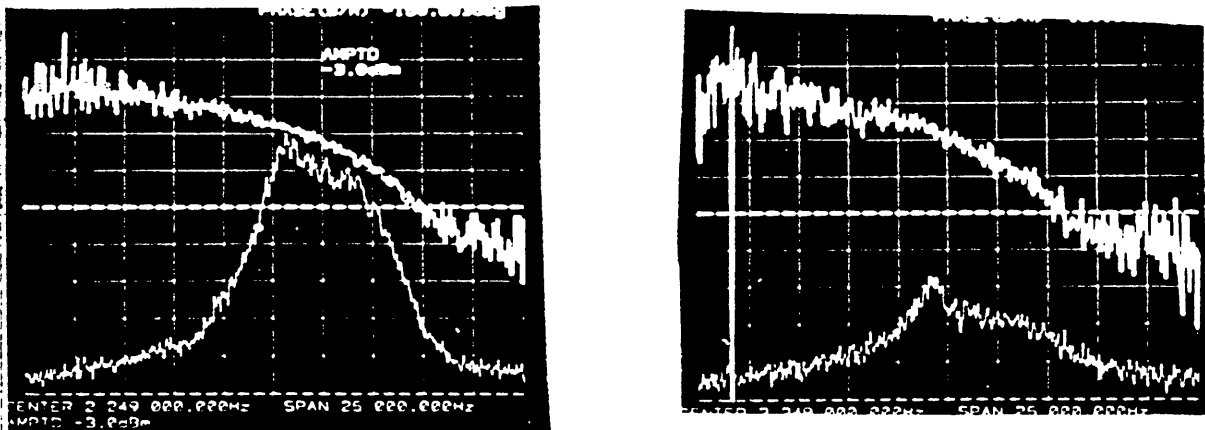


Figure 2 - Mesures de BTFQ sur 3-2qv avec balayage en fréquences croissantes (à gauche) c.à.d. des grandes vers les petites amplitudes et vice et versa (à droite).

### 3 MESURES EN FONCTION DU NOMBRE DE PARTICULES

Plusieurs séries de mesures avec le même point de fonctionnement machine (uniparticule) sont présentées. L'analyse porte sur l'émittance horizontale et le *detuning* incohérent en fonction du nombre de particules. D'après les calculs réalisés avec l'aide du logiciel développé par D.Möhl et R.Giannini (PS/AR/Note 92-22) pour l'"*intrabeam scattering*" on devrait trouver une variation des émittances et du *detuning* suivant les lois :

$$\epsilon_{h,v} \approx N^{0.41} \quad dq_{h,v} \approx N^{0.59}$$

avec l'hypothèse d'un couplage total entre les plans transversaux.

Les résultats sont consignés dans les figures 3, 4, et 5. La figure 3 indique une variation linéaire de l'émittance horizontale avec le nombre de particules en complet désaccord avec les calculs, mais les figures 4 et 5 indiquent un meilleur accord. Il semble qu'un fort courant d'électrons donne un meilleur accord avec les calculs. La mesure de la figure 4 indique des émittances plus petites que la mesure de la figure 3. On peut probablement conclure que le refroidissement horizontal n'était pas optimum pour la mesure 3. On remarque aussi qu'avec un grand nombre de particules la réponse BTFQ indique une dispersion en fréquence plus petite. Nous n'avons pas déterminé si le faisceau était proche du seuil d'instabilité ou si la distribution des particules était constante dans l'espace (voir la mesure paragraphe 5).

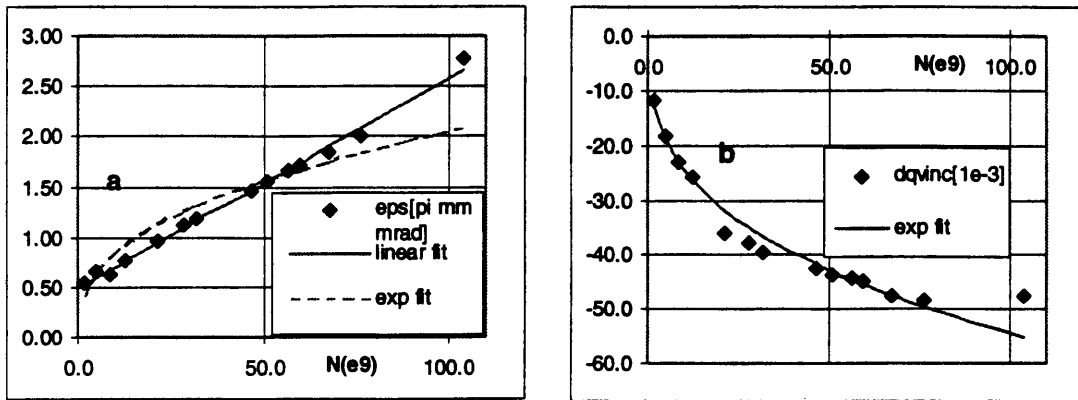


Figure 3 - Date = 24/03/95. Iélectrons = 1.A. Mesure de  $\epsilon_h$  (a) et  $dqv_{inc}$  (b) en fonction du nombre de particules.  $\epsilon_h$  semble suivre une loi linéaire avec  $N$  ( $\epsilon_h = 0.5 + 0.02 N$ ) plutôt qu'une loi exponentielle.  $dqv$  suit une loi exponentielle ( $dqv = 10.8 N^{0.35}$ ).

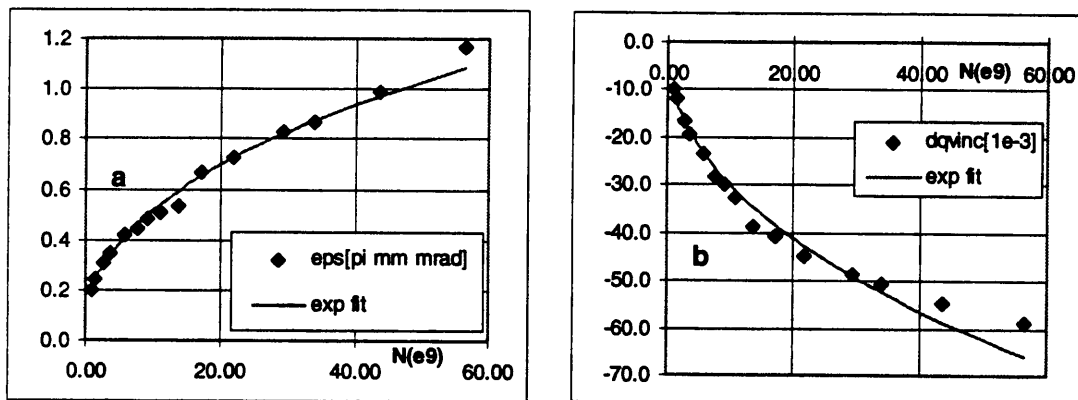


Figure 4 - Date = 27/03/95. Iélectrons = 1.A. Mesure de  $\epsilon_h$  (a) et  $dqv_{inc}$  (b) en fonction du nombre de particules.  $\epsilon_h$  et semblent suivre une loi exponentielle. ( $\epsilon_h = 0.19 N^{0.42}$ ,  $dqv = 10.5 N^{0.46}$ ).

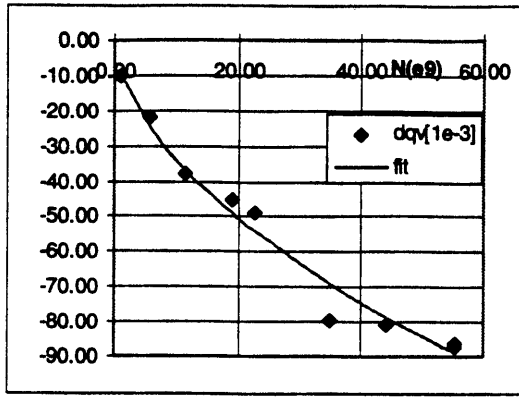


Figure 5 - Date = 03/04/95, Iélectrons = 2.17 A  
 Mesure de  $dqvi$  en fonction du nombre de particules.  $dqvi$  semble suivre une loi exponentielle ( $dqv = 9.4 N^{0.56}$ ).

#### 4. MESURES EN FONCTION DU COURANT D'ELECTRONS

Les résultats sont consignés figure 4. Ces mesures ont été réalisées avec une modulation de (4kHz,100V) pour stabiliser le faisceau. Il n'a pas été possible de mesurer le point de fonctionnement incohérent horizontal.

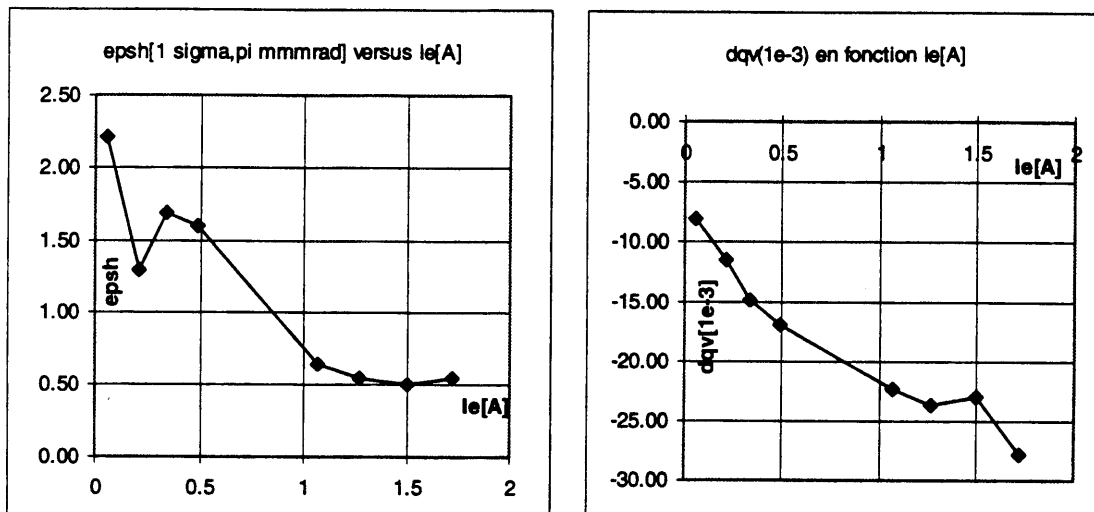


Figure 6 - Date = 24/03/95. Nprotons =  $10.5 \times 10^9$ ,  $p = 310$  MeV/c :  
 Mesure de  $eh$  et  $dqvinc$  en fonction du courant d'électrons.

#### 5. MESURES EN FONCTION DU POINT DE FONCTIONNEMENT

Le point de fonctionnement cohérent vertical est juste au dessus de la résonance  $2Qv = 5$ . Cette résonance étant excitée par des défauts naturels de la machine, il était intéressant d'étudier l'évolution de la distribution des particules dans un faisceau maintenu le plus dense possible par l'"electron cooling". Avec  $8 \times 10^{10}$  protons circulant dans LEAR, nous avons enregistré les distributions projetées et les *detuning* incohérents horizontaux et verticaux pour un point de fonctionnement cohérent vertical s'approchant de plus en plus de la résonance  $2Qv = 5$  (figures 7, 8, 9, 10, 11). Nous constatons:

- a) en se rapprochant de la résonance, l'émittance verticale augmente tandis que l'émittance horizontale diminue légèrement. En conséquence,  $dq_{hi}$  reste quasiment constant tandis que  $dq_{vi}$  diminue fortement. Le point de fonctionnement incohérent vertical des particules (assumant une distribution constante dans l'espace) s'approche de la résonance sans pouvoir la traverser. La distance minimum trouvée est de  $9.4 \times 10^{-3}$ .
- b) les comparaisons des *detuning* incohérents mesurés et calculés en utilisant des distributions dans l'espace ayant le même  $\sigma$  moyen que les distributions mesurées montrent :  $dq_{hi}$  est plutôt en accord avec une distribution parabolique ;  $dq_{vi}$  est plutôt en faveur d'une distribution gaussienne lorsque le point de fonctionnement cohérent est loin de la résonance et d'une distribution constante lorsque ce dernier est proche de la résonance.
- c) les différents lissages réalisés sur les projections mesurées indiquent une préférence pour une distribution constante dans l'espace. Ceci est aussi confirmé par la faible largeur des réponses obtenues quelque soit le point de fonctionnement cohérent choisi. Ceci confirme les calculs de S. Mashida (NIM, sect. A309 (1991), p. 43-59) qui indiquent une dépopulation des amplitudes faibles aux dépens des plus grandes avec modification de la distribution.

En résumé, il n'a pas été possible durant cette session de traverser la résonance  $2Q_v = 5$ . Les distributions transversales évoluent fortement lorsqu'on s'approche de la résonance. Durant une prochaine session, il faut améliorer la méthode de mesure, s'approcher plus près de la résonance et rendre la mesure des distributions transversales plus fiables.

Il faut remarquer qu'il n'est pas possible dans ces conditions d'atteindre la résonance de forme quadripolaire. Pour l'obtenir, il aurait fallu que le point de fonctionnement cohérent soit au-dessus de  $Q_v = 2.5$  et le point de fonctionnement incohérent en dessous de  $Q_v = 2.5$ .

## 6. MESURES EN FONCTION DU POINT DE FONCTIONNEMENT

L'ensemble pick-up et kicker quadripolaires et BIPM a permis d'évaluer le comportement du faisceau sous forte charge d'espace et "*intra-beam scattering*".

Des améliorations sont à apporter pour le rapport signal/bruit de la BTFQ et sur la calibration du BIPM.

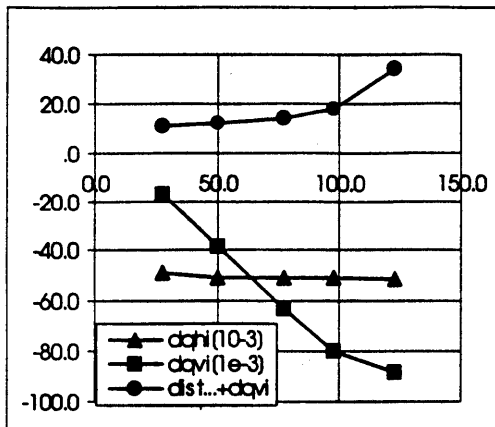


Figure 7 - Mesure des *detuning* incohérents horizontaux et verticaux ( $dq_{hi}$  et  $dq_{vi}$ ) en fonction de la distance du point de fonctionnement cohérent à la résonance  $2Q_v = 5$ . La courbe (dist...+  $dq_{vi}$ ) indique la distance du point de fonctionnement incohérent de la particule "zéro-amplitude" à la résonance  $2Q_v = 5$ .

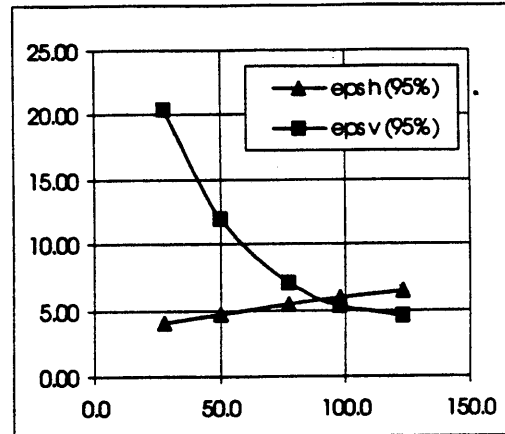


Figure 8 - Mesure des émittances horizontales et verticales en fonction de la distance du point de fonctionnement cohérent à la résonance  $2Q_v = 5$ .

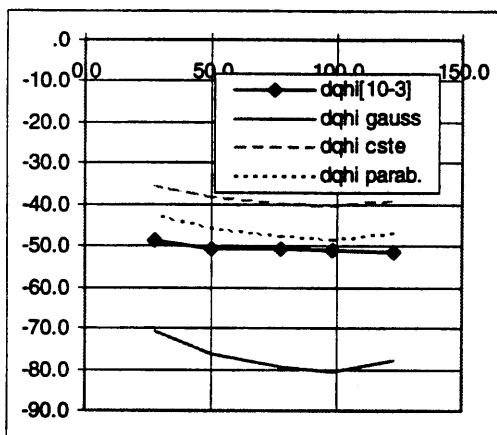


Figure 9 - Mesure du *detuning* incohérent horizontal ( $dq_{hi}$ ) en fonction de la distance du point de fonctionnement cohérent à la résonance  $2Q_v = 5$ . Comparaison avec le *detuning* théorique obtenu en utilisant différents types de distribution des particules dans l'espace.

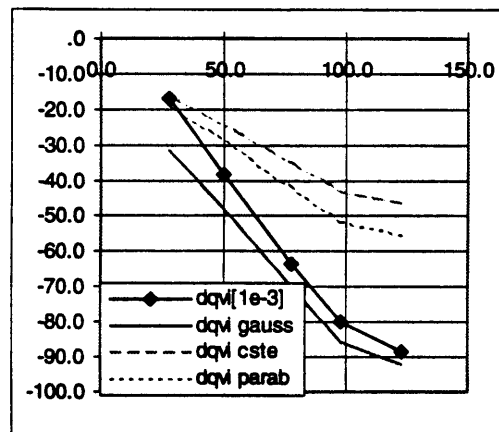
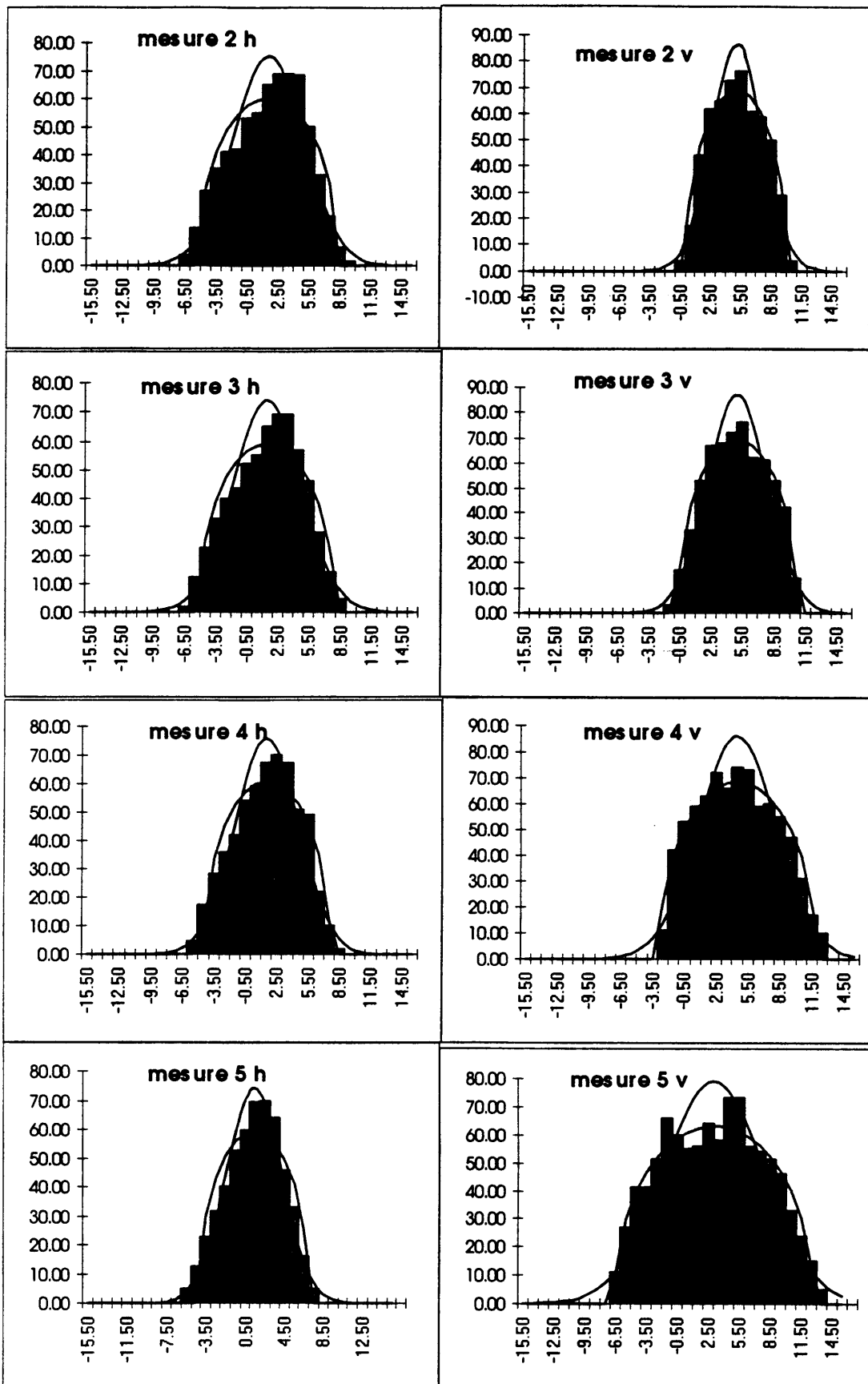


Figure 10 - Mesure du *detuning* incohérent vertical ( $dq_{vi}$ ) en fonction de la distance du point de fonctionnement cohérent à la résonance  $2Q_v = 5$ . Comparaison avec le *detuning* théorique obtenu en utilisant différents types de distribution des particules dans l'espace.



**Figure 11:** Projections sur les plans horizontal et vertical des distributions de faisceau obtenues en approchant le point de fonctionnement cohérent de la résonance  $2Q_v=5$ . Les deux courbes indiquées correspondent respectivement à la projection d'une distribution constante et gaussienne dans l'espace.