



COMMISSARIAT À L'ÉNERGIE ATOMIQUE

DSM - DAPNIA

DIRECTION DES SCIENCES DE LA MATIÈRE

DEPARTEMENT D'ASTROPHYSIQUE, DE PHYSIQUE DES PARTICULES,
DE PHYSIQUE NUCLÉAIRE ET DE L'INSTRUMENTATION ASSOCIÉE
SERVICE D'ÉTUDE DES ACCÉLÉRATEURS

DATE : 11 mai 2001

N° RÉF. : DAPNIA/SEA/PH 2001/31

François SIMOENS, fsimoens@cea.frAline FRANCE, afrance@cea.frJacques GAIFFIER, jgaiffier@cea.fr

Effet des doigts stabilisateurs dans un tronçon de maquette de RFQ

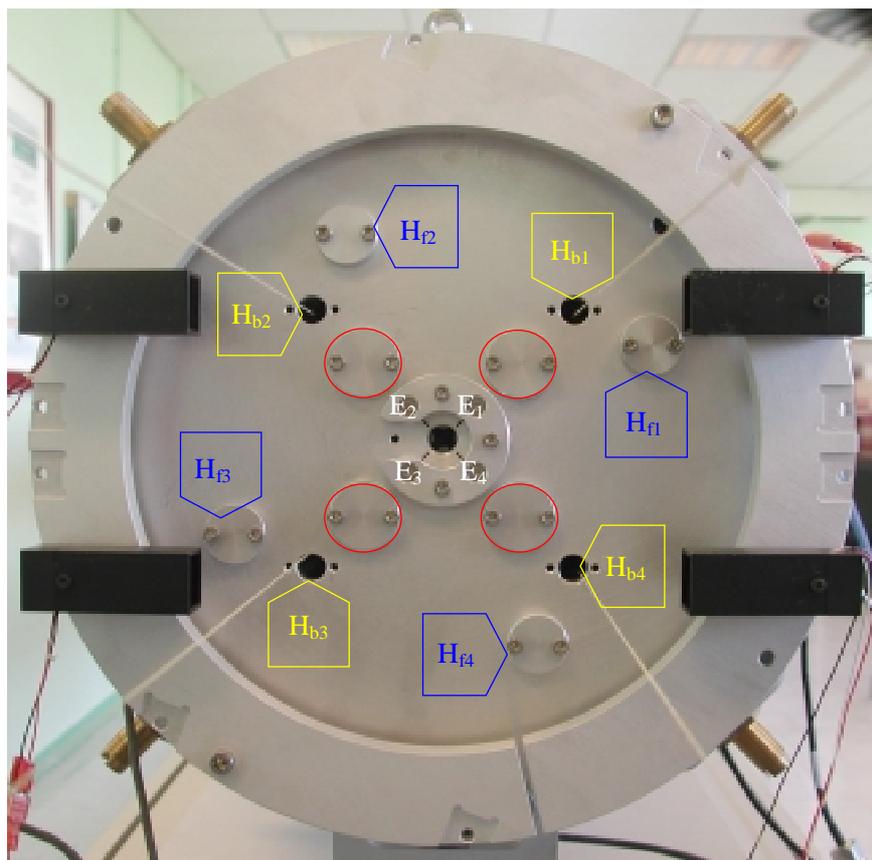


figure 1: plaque de fermeture de la maquette

TABLE DES MATIERES

<i>Effet des doigts stabilisateurs dans un tronçon de maquette de RFQ</i>	<u>1</u>
1 Introduction	<u>4</u>
2 Condition expérimentale de l'étude	<u>4</u>
2.1 Configuration mécanique de l'expérience	<u>4</u>
2.2 Mesures électromagnétiques	<u>6</u>
2.3 Déplacement de l'objet perturbateur	<u>7</u>
3 Effet des doigts de stabilisation dipolaire sur le spectre en fréquence	<u>8</u>
3.1 Spectres mesurés dans le tronçon A sans et avec les doigts stabilisateurs	<u>8</u>
3.2 Effets des doigts stabilisateurs sur les fréquences des modes quadripolaires	<u>11</u>
3.3 Effets des doigts stabilisateurs sur les fréquences des modes dipolaires	<u>12</u>
3.4 Synthèse sur les mesures de spectres en fréquence	<u>14</u>
4 Effet des doigts sur la composante quadripolaire de la tension accélératrice	<u>15</u>
4.1 Plage de données exploitables	<u>15</u>
4.1.1 Plage de données exploitables pour une mesure Electrique / Magnétique	<u>15</u>
4.1.2 Définition de points de données discrètes	<u>16</u>
4.2 Distribution longitudinale du champ quadripolaire déduite de la perturbation du champ magnétique	<u>17</u>
4.2.1 Alignement des mesures brutes par perturbation du champ magnétique	<u>17</u>
4.2.2 Mesures par perturbation du champ magnétique en fond de quadrant près de la base des pistons	<u>18</u>
4.2.2.1 Caractéristiques des mesures	<u>18</u>
4.2.2.2 Effet perturbateur des doigts sur le champ magnétique en fond de quadrant	<u>19</u>
4.2.3 Mesures par perturbation du champ magnétique sur la bissectrice	<u>20</u>
4.2.3.1 Caractéristiques des mesures	<u>20</u>
4.2.3.2 Effet perturbateur des doigts sur le champ magnétique sur la bissectrice	<u>20</u>
4.2.4 Composantes S et T de la tension accélératrice déduites des mesures par perturbation du champ magnétique	<u>22</u>
4.2.5 Synthèse de l'analyse des mesures du champ magnétique avec les doigts	<u>22</u>
4.3 Distribution longitudinale du champ quadripolaire déduite de la perturbation du champ électrique	<u>23</u>
4.3.1 Mise au point des mesures électriques	<u>23</u>
4.3.1.1 Appui sur les électrodes	<u>23</u>
4.3.1.2 Alignement des mesures électriques	<u>24</u>
4.3.2 Analyse des mesures par perturbation du champ électrique	<u>25</u>
4.3.2.1 Caractéristiques des mesures	<u>25</u>
4.3.2.2 Effet perturbateur des doigts le champ électrique	<u>26</u>
4.3.3 Synthèse des analyses des mesures du champ électrique avec les doigts	<u>27</u>
5 Conclusion	<u>28</u>

1 Introduction

Au début de l'année 2001, dès réception de nouvelles plaques de fermeture, l'effet des doigts dits de stabilisation dipolaire a été testé expérimentalement sur un tronçon de maquette de RFQ.

Trois types de mesure ont été effectués :

1/ Spectres en fréquence comparés avec et sans doigts.

Ils montrent l'effet des doigts sur la distribution en fréquence des modes quadripolaires et dipolaires.

2/ Distributions longitudinales de la composante quadripolaire de la tension accélératrice avec et sans doigts.

La composante quadripolaire de la tension a été mesurée par perturbation du champ magnétique et du champ électrique. Les analyses de ces essais apportent des informations sur le processus de réglage.

3/ Distributions longitudinales des composantes dipolaires S et T de la tension accélératrice avec et sans doigts.

Ces mesures valident la relation que nous faisons entre les pentes aux extrémités et le modèle électrique de ces régions.

Ce document présente l'effet des doigts de stabilisation sur les spectres en fréquence et sur les distributions longitudinales de la composante quadripolaire de la tension accélératrice.

2 Condition expérimentale de l'étude

2.1 Configuration mécanique de l'expérience

Les essais ont été effectués dans le tronçon de maquette de RFQ baptisé A (longueur=1,0146 m, 8 pistons par quadrant) équipé des plaques de fermeture les plus récentes. Ces dernières sont pourvues de 12 trous que des bouchons amovibles depuis l'extérieur permettent d'obturer. On distingue 3 ensembles de 4 orifices : chaque ensemble correspond à une position distincte dans les quadrants qui permet une mesure par perturbation :

- 1- Du champ électrique, en guidant une sphère diélectrique en appui sur les extrémités des électrodes $\{E_1, E_2, E_3, E_4\}$ (figure 1);
- 2- Du champ magnétique sur la bissectrice $\{H_{b1}, H_{b2}, H_{b3}, H_{b4}\}$ (figure 1), en guidant un perturbateur métallique;
- 3- Du champ magnétique en fond de quadrant près de la base des électrodes (ensemble $\{H_{f1}, H_{f2}, H_{f3}, H_{f4}\}$ de la figure 1) en guidant le même perturbateur.

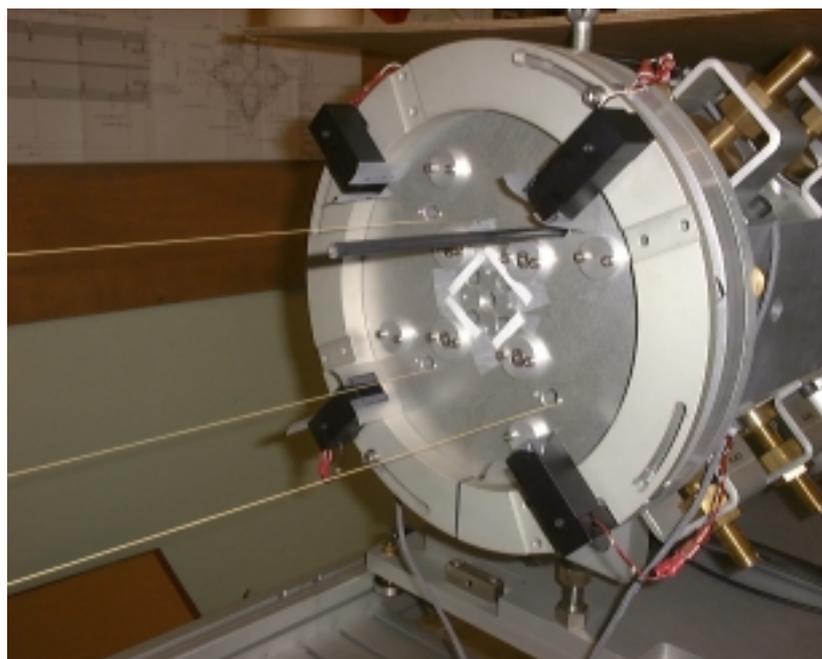


figure 2: mise en place du fil pour une mesure par perturbation du champ magnétique sur la bissectrice

Ces plaques de fermeture disposent également de 4 doigts amovibles dits de stabilisation dipolaire (repérés par des cercles rouges sur la figure 1). Leurs dimensions (figure 3), à l'exception de la longueur, sont celles calculées pour la maquette par Pascal Balleyguier à l'aide du code "Mafia" (page 10 de la référence [I]) :

- longueur = 156 mm
- diamètre = 16 mm
- position radiale du centre des tubes $r=32,5\sqrt{2}=45,96$ mm.

La longueur de 156 mm supérieure aux 150 mm calculés par les simulations permettra de tester la procédure de réglage de cette cote par réusinages successifs.

La conception mécanique des plaques de fermeture permet donc d'effectuer des mesures:

- En perturbant au choix le champ à 3 positions de la section transverse des quadrants;
- Avec ou sans les doigts montés;
- Sans retirer ces plaques d'une configuration mécanique testée à une autre. Tous les dispositifs sont démontables depuis l'extérieur. Nous utilisons une baguette « passe-fil » pour la mise en place du fil à travers le tronçon (figure 2), lors de la modification du lieu de passage des fils.

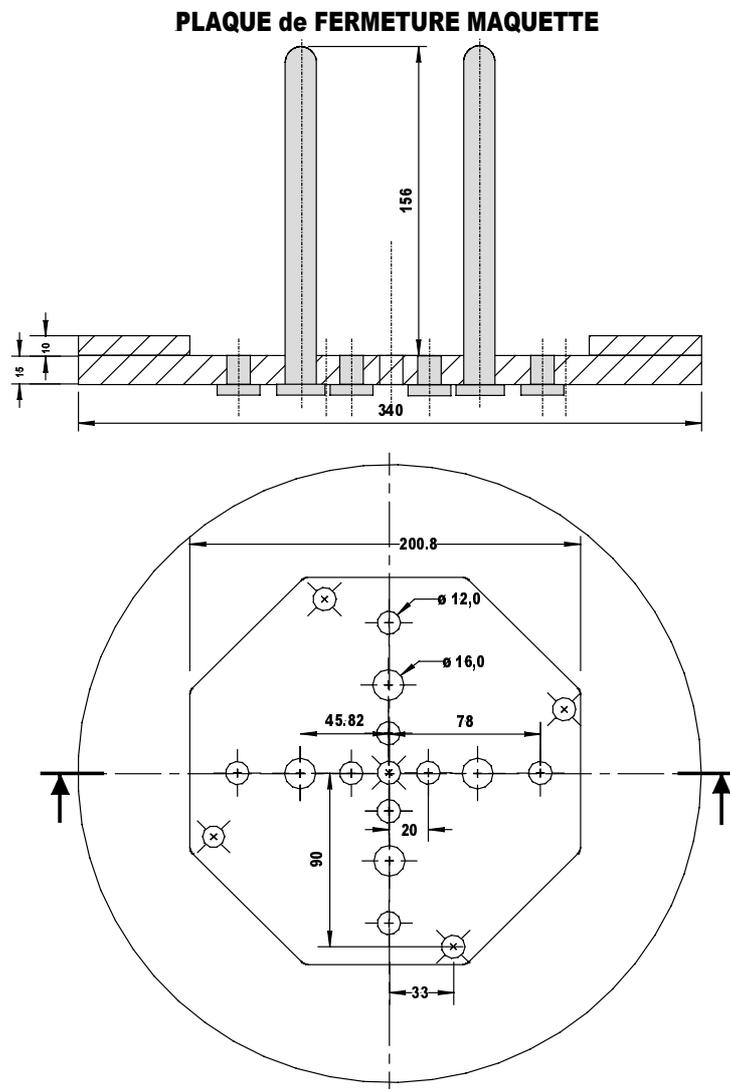


figure 3 : schéma de la plaque de fermeture de la maquette

2.2 Mesures électromagnétiques

Les spectres mesurés correspondent à l'amplitude du coefficient de transmission s_{21} acquise en fonction de la fréquence, avec et sans les doigts.

- La plage de mesure varie entre 340 MHz et 1GHz.
- La cavité a été excitée en favorisant différentes distributions transverses du champ afin de pouvoir identifier la nature des pics de résonance^{II}. Sur les figures des spectres en fréquence, les pics quadripolaires et dipolaires sont respectivement baptisés « Qn » et « Dm », les indices n ou m correspondant à l'ordre longitudinal du mode.



figure 4 : banc de mesure par perturbation

- ❑ Un analyseur de réseau vectoriel mesure la phase du coefficient de transmission s_{21} en fonction du temps à une fréquence constante.
- ❑ La puissance du signal émis par l'analyseur de réseau est de -3dBm.
- ❑ La fréquence constante lors de la mesure est celle correspondant au pic de résonance du mode testé sans objet perturbateur à l'intérieur de la cavité.
- ❑ La calibration TOSM deux ports est conservée en mode de balayage temporel
- ❑ La bande de fréquence du filtrage de mesure est $F_I = 300$ Hz
- ❑ Une acquisition contient 2001 points et dure 24 secondes. Elle est déclenchée avant l'entrée de l'objet dans chacun des quadrants de la cavité grâce à des détecteurs infra-rouge.

2.3 Déplacement de l'objet perturbateur

L'objet perturbateur est déplacé en continu à travers la cavité et les systèmes de poulies de renvoi à une vitesse constante de 49,4mm/s. La longueur totale parcourue est de $L= 14820$ mm en $T= 300$ s.

Pour chaque quadrant, les données sont acquises sur une longueur de $24 \times 49,4 = 1185,6$ mm.

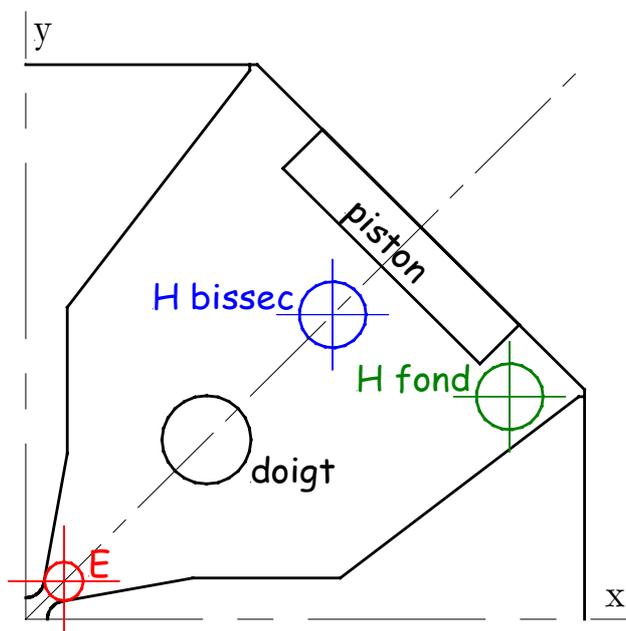


figure 5 : 3 positions de guidage du fil testées dans la section transverse de la maquette de RFQ

Les mesures par perturbation ont été effectuées aux 3 différentes positions de la section transverse qu'on peut tester avec le dispositif mécanique :

- 1- en fond de quadrant près de la base pistons (champ magnétique)
- 2- sur la bissectrice (champ électrique)
- 3- en appui sur l'extrémité des électrodes (champ électrique)

Pour les mesures par perturbation du champ magnétique

L'objet perturbateur est une ogive en titane, constituée d'un cylindre d'une hauteur de 8 mm terminé par 2 demi-sphères de rayon 4 mm;

Le fil qui supporte l'objet perturbateur est en kevlar de 0,66 mm de diamètre;

Un tendeur pneumatique est activé pour limiter la flèche du fil et de son perturbateur lors de la mesure dans la cavité. Il est ensuite désactivé pour faciliter le passage de l'ogive à travers les systèmes de poulies de renvoi dans le quadrant suivant.

Pour les mesures de champ électrique

L'objet perturbateur est une sphère en delrin de diamètre 7 mm.

Le fil est en kevlar de 0.33 mm de diamètre, tendu à 50 N.

Les vérins pneumatiques dégagent la sphère pour le passage des plaques de fermeture de la cavité (figure 29).

3 Effet des doigts de stabilisation dipolaire sur le spectre en fréquence

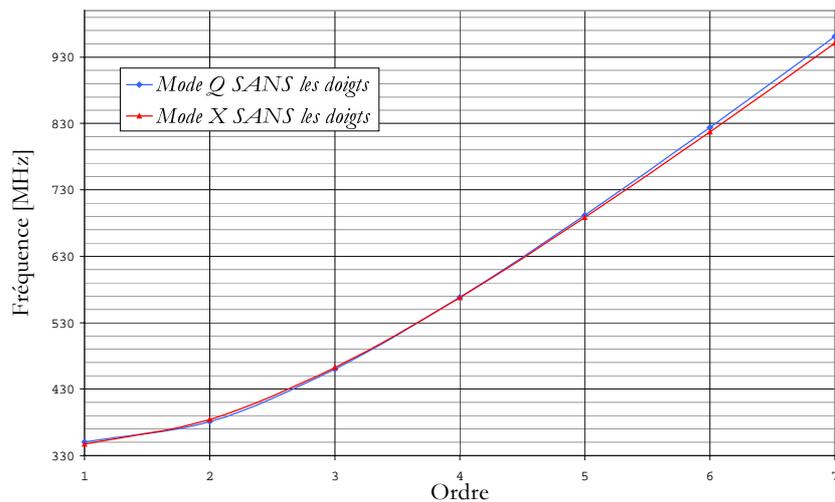
3.1 Spectres mesurés dans le tronçon A sans et avec les doigts stabilisateurs

Tableau des fréquences des premiers modes longitudinaux dipolaires et quadripolaires dans le tronçon A sans et sans doigts

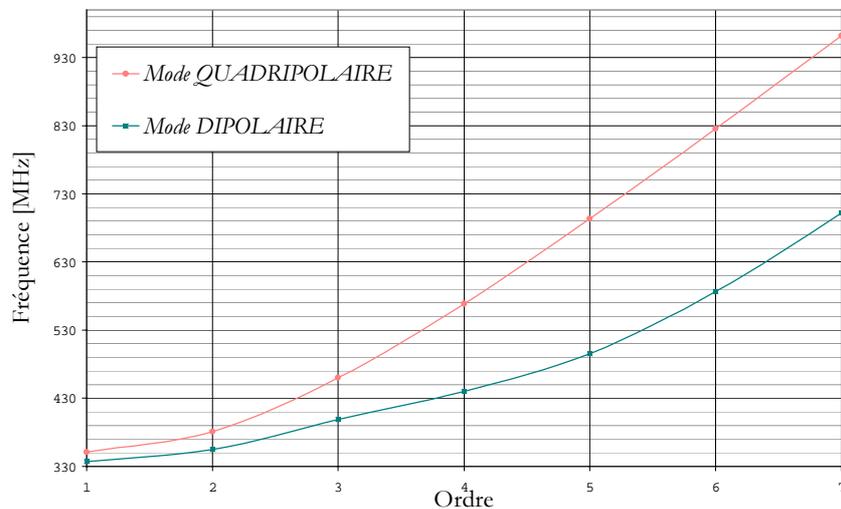
Ordre	Sans les doigts		Avec les doigts	
	Modes dipolaires Excitation X [MHz]	Modes quadripolaires Excitation Q [MHz]	Modes dipolaires Excitation X [MHz]	Modes quadripolaires Excitation Q [MHz]
1	346,932	350,576	336,435	350,73
2	384,267	381,044	354,365	380,905
3	462,449	460,408	398,685	459,92
4	567,8085	568,6185	439,975	568,585
5	688,481	692,061	495,58	693,25
6	817,3045	823,959	586,395	825,855
7	950,804	960,7955	701,63	962,41

Tableau 1

**Courbe de dispersion dans le tronçon A
sans ses doigts stabilisateurs** (pistons affleurants)



**Courbe de dispersion dans le tronçon A
muni de ses doigts stabilisateurs** (pistons affleurants)



Spectre dans le tronçon A sans doigts stabilisateurs

(pistons affleurants 09_01_01)

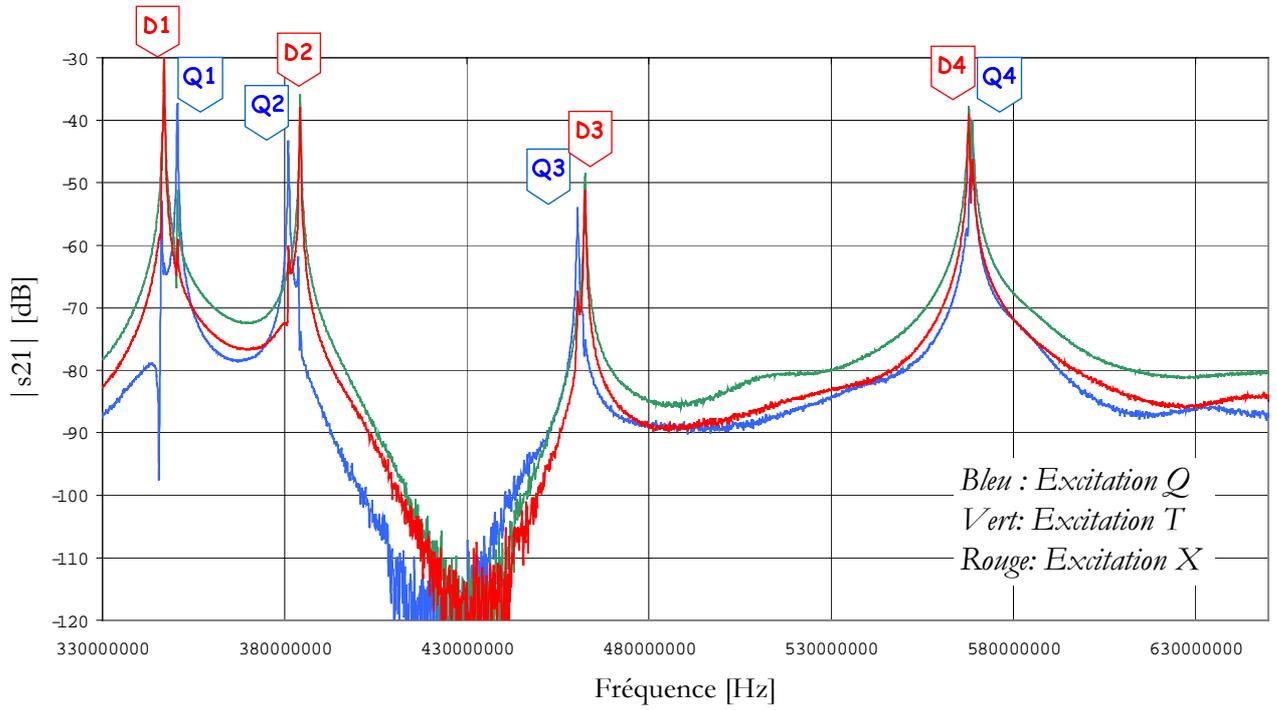


figure 6: spectre dans le tronçon A sans doigts stabilisateurs (330 - 650 MHz)

Spectre dans le tronçon A pourvu des doigts stabilisateurs

(pistons affleurants 08_01_01)

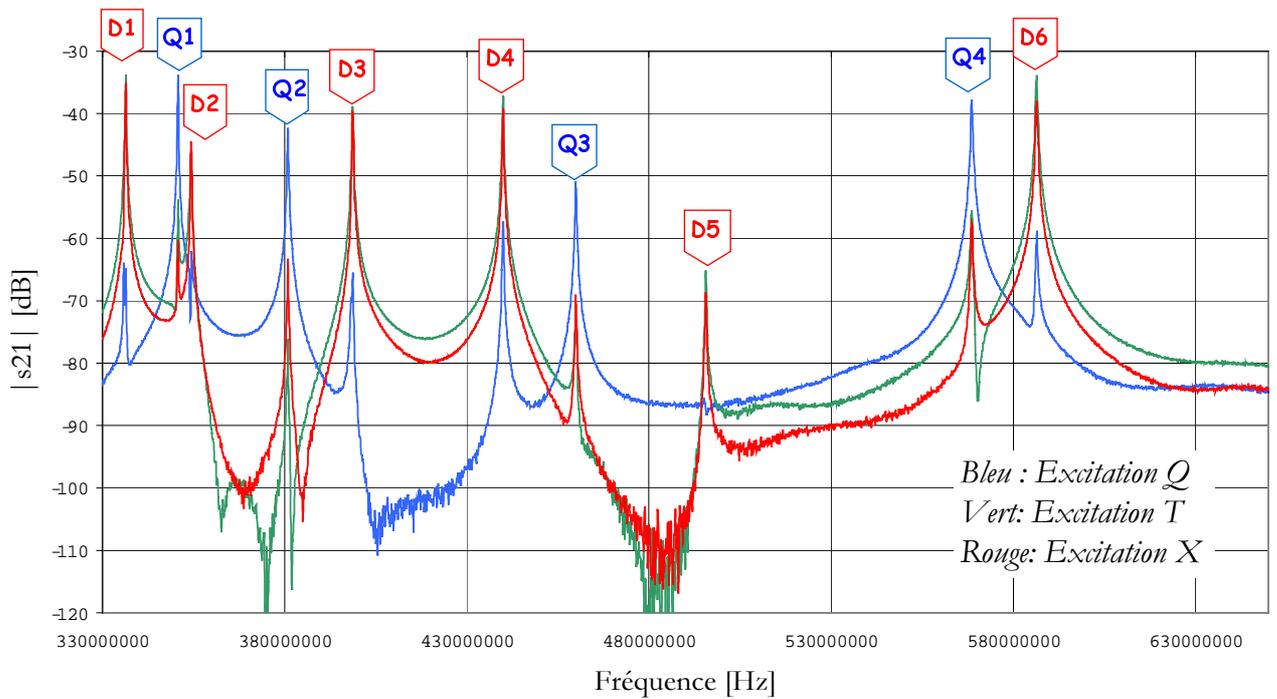


figure 7: spectre dans le tronçon A pourvu des doigts stabilisateurs (330 - 650 MHz)

Spectre dans le tronçon A sans doigts stabilisateurs

(pistons affleurants 09_01_01)

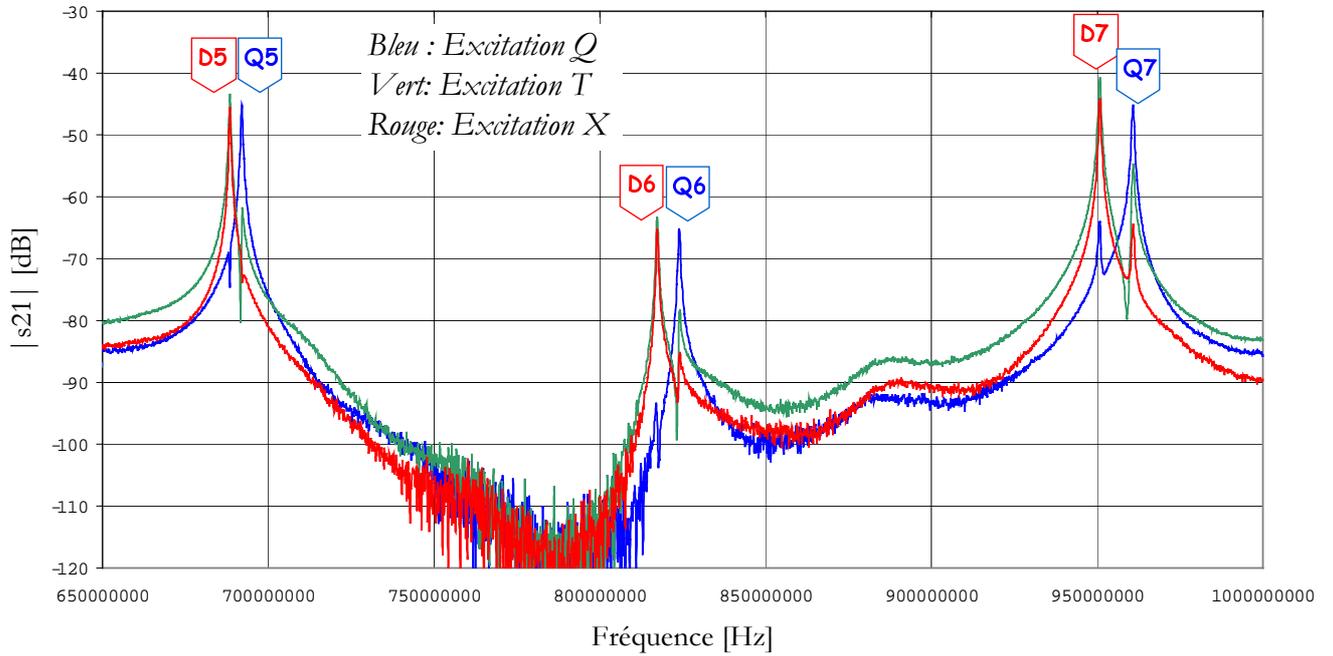


figure 8: spectre dans le tronçon A sans doigts stabilisateurs (650 – 1000 MHz)

Spectre dans le tronçon A pourvu des doigts stabilisateurs

(pistons affleurants 08_01_01)

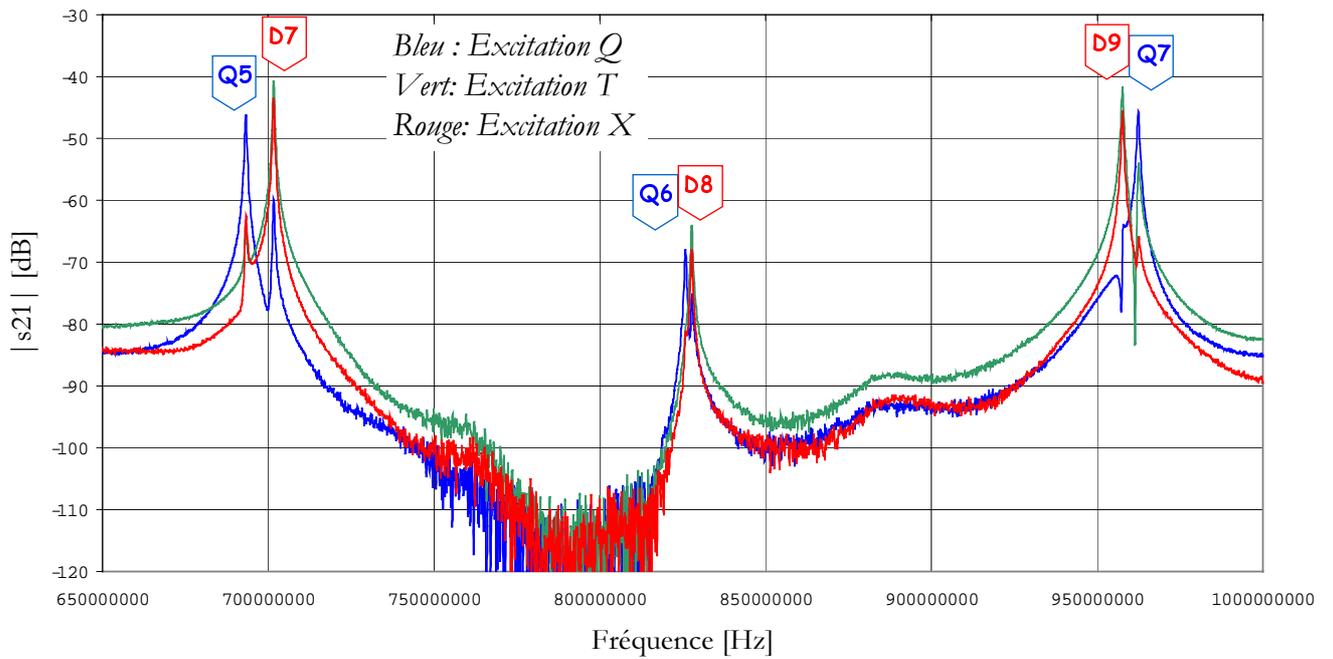


figure 9: spectre dans le tronçon A pourvu des doigts stabilisateurs (650 – 1000 MHz)

3.2 Effets des doigts stabilisateurs sur les fréquences des modes quadripolaires

Ordre	Ecart sans - avec doigts mode quadripolaire Q [kHz]
1	-154
2	139
3	488
4	34
5	-1189
6	-1896
7	-1615

Tableau 2: Variations en fréquence des 7 premiers ordres longitudinaux du mode quadripolaire provoquées par l'insertion des doigts de stabilisation dipolaire

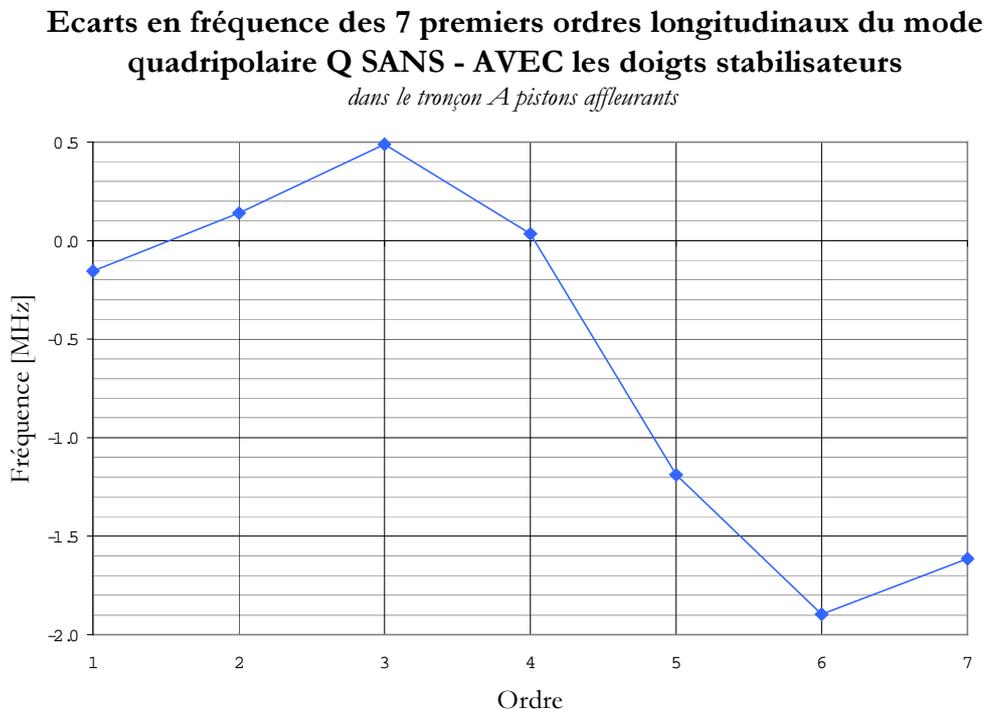


figure 10: Ecarts en fréquence des 7 premiers ordres longitudinaux du mode quadripolaire dus à l'insertion des doigts stabilisateurs

Pascal Balleyguier avait calculé la position radiale des doigts de manière à ne pas perturber le mode quadripolaire (page 3 de la référence [I]): on constate en effet une faible modification de la fréquence du mode accélérateur de l'ordre de 150 kHz. Cette petite variation relative de l'ordre de $4 \cdot 10^{-4}$ peut être facilement compensée à l'aide des pistons. En outre, la modification du mode accélérateur va dans le sens d'un rapprochement de la fréquence du mode accélérateur de la valeur théorique donnée par Superfish qui est de 350,7 MHz avec les pistons affleurants.

On observe de plus que les variations des fréquences des 4 premiers ordres longitudinaux sont inférieures à 500 kHz.

3.3 Effets des doigts stabilisateurs sur les fréquences des modes dipolaires

Ordre	Ecart sans - avec mode dipolaire (X) [MHz]
1	10,497
2	29,902
3	63,764
4	127,8335
5	192,901
6	230,9095
7	249,174

Tableau 3: Variations en fréquence des 7 premiers ordres longitudinaux du mode dipolaire provoquées par l'insertion des doigts de stabilisation dipolaire

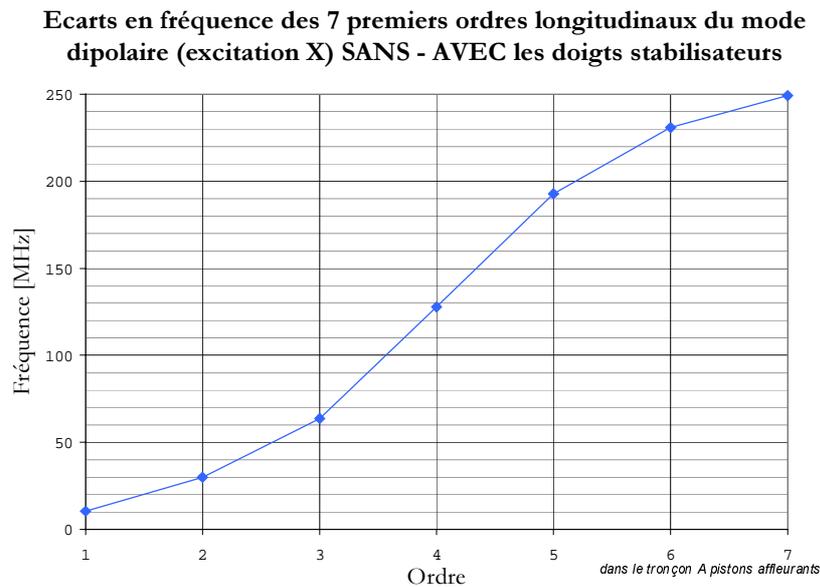
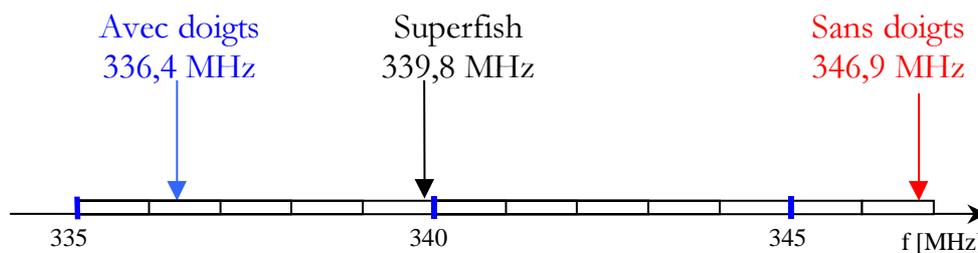


figure 11: Ecarts en fréquence des 7 premiers ordres longitudinaux du mode dipolaire SANS - AVEC les doigts stabilisateurs

Contrairement au mode quadripolaire accélérateur, le premier ordre longitudinal du mode dipolaire est fortement modifié, sa fréquence a diminué de 10 MHz.

La section transverse de la maquette étant parfaite, avec les pistons affleurants, le code 2d Superfish donne une fréquence du premier mode dipolaire égale à 339,8 MHz, du second de 370,6 MHz. Or l'insertion des barres aux longueurs optimisées doit permettre de retrouver en 3 dimensions la fréquence du mode dipolaire principal trouvée en 2 dimensions. Ainsi, par exemple dans les simulations d'un RFQ de 4x2 m réalisées par Pascal Balleyguier (voir la figure 3 de la référence [I]), les barres de 163 mm permettent de retrouver les 338,4 MHz en 3d trouvés en 2d.



Après insertion des doigts, on est passé d'une situation où le mode dipolaire était trop haut en fréquence à l'opposé. La correction du mode dipolaire est trop forte. Cela signifie que la longueur des doigts testés, qui est supérieure à celle calculée à l'aide du code Mafia, est trop importante.

Ecarts entre le mode quadripolaire accélérateur et les modes dipolaires voisins dans le tronçon A sans les doigts stabilisateurs (pistons affleurants 08_01_01)

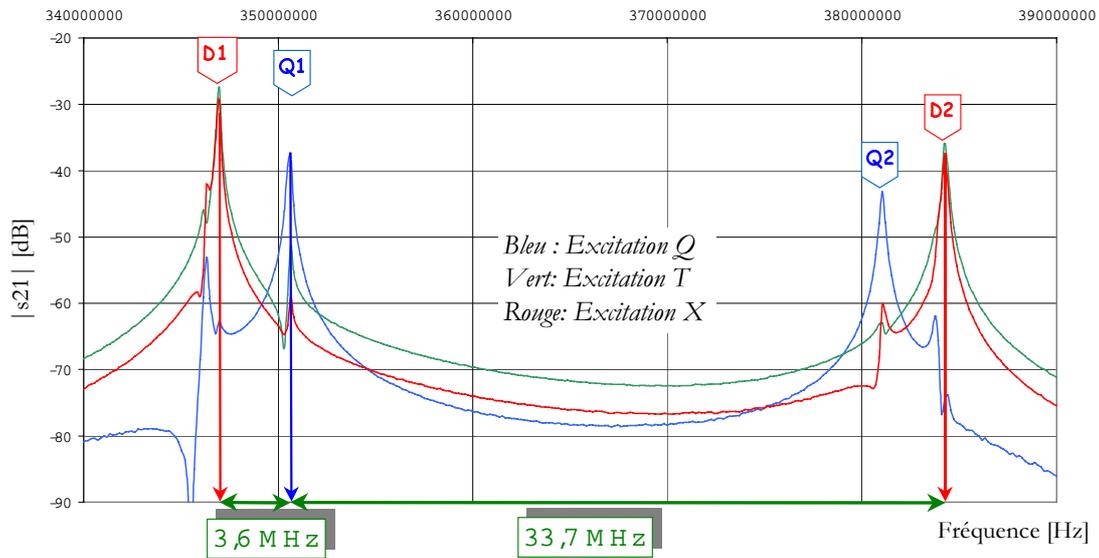


figure 12: Ecarts entre le mode quadripolaire accélérateur et les modes dipolaires voisins dans le tronçon A sans doigts

Le mode dipolaire fondamental avoisinait le mode accélérateur de $350,576 - 346,932 = 3,644$ MHz (voir la figure 12).

Ecarts entre le mode quadripolaire accélérateur et les modes dipolaires voisins dans le tronçon A pourvu des doigts stabilisateurs (pistons affleurants 08_01_01)

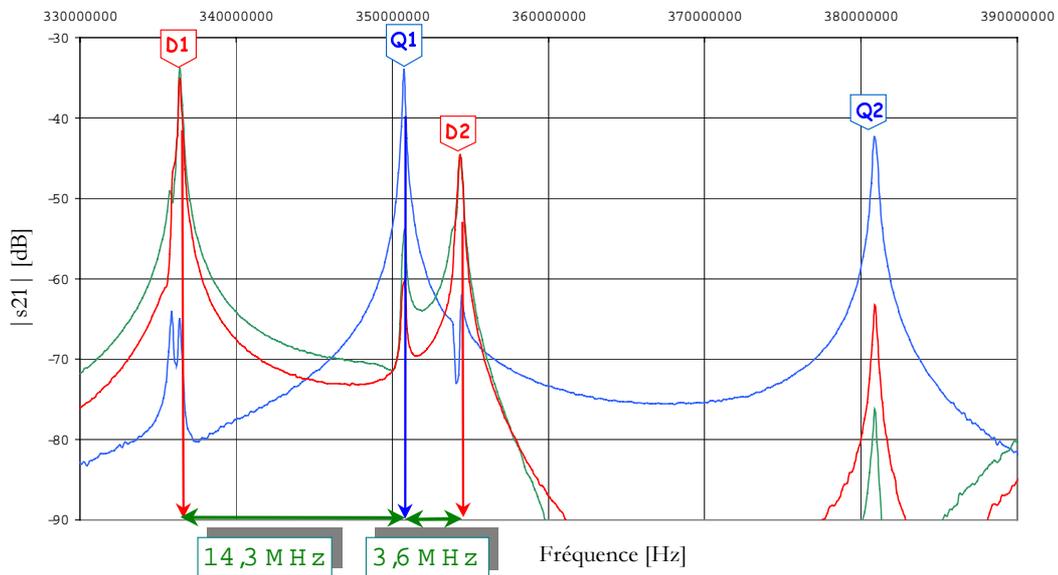


figure 13: Ecarts entre le mode quadripolaire accélérateur et les modes dipolaires voisins dans le tronçon A avec doigts

Désormais c'est le mode dipolaire de second ordre qui est le plus proche du mode accélérateur, distant de $354,365 - 350,73 = 3,635$ MHz (figure 13).

Les mesures par perturbation des tensions des modes dipolaires ont permis de confirmer que les pentes aux extrémités ont changé de signe : on est passé d'un type de désadaptation des modes dipolaires dans les régions d'extrémité à un autre.

3.4 Synthèse sur les mesures de spectres en fréquence

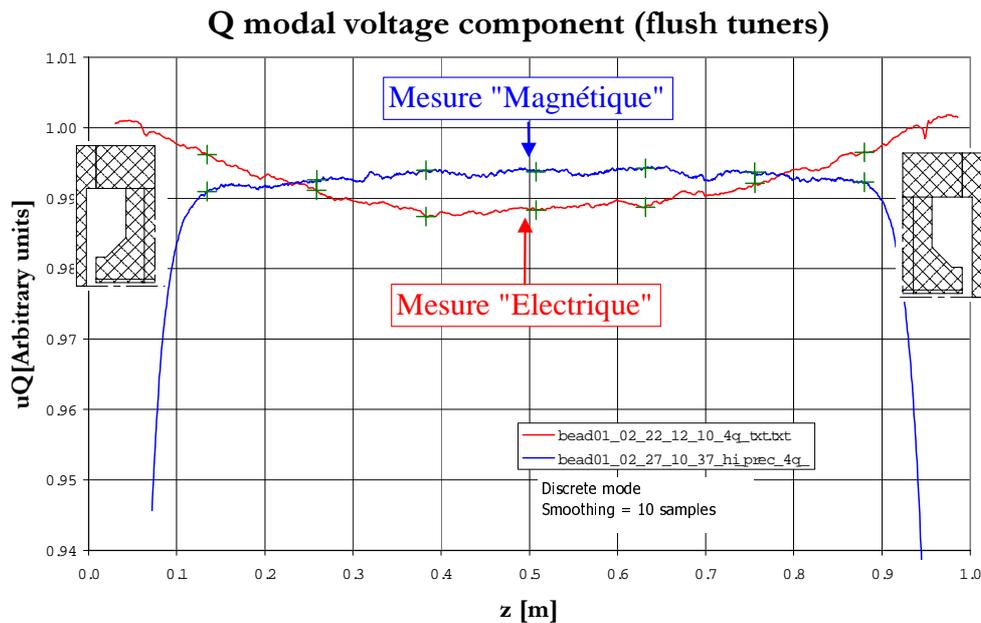
Ces premières mesures ont permis d'évaluer expérimentalement l'effet de l'insertion des doigts sur la distribution en fréquence des modes résonants longitudinaux.

- Les simulations 3d faites à l'aide du code "Mafia" permettent de déterminer une position radiale des doigts correcte: les mesures de spectres en fréquence montrent qu'ils perturbent peu la fréquence du mode quadripolaire.
- Les mesures ont montré que la longueur des doigts du test est excessive : la bonne longueur est proche de celle définie à partir des résultats du code Mafia.
- L'admittance terminale équivalente aux régions d'extrémité a changé de signe après insertion des doigts. La correction des conditions aux limites a été trop forte.

4 Effet des doigts sur la composante quadripolaire de la tension accélératrice

4.1 Plage de données exploitables

4.1.1 Plage de données exploitables pour une mesure Electrique / Magnétique



En premier lieu, remarquons (figure 14) que les mesures par perturbation du champ magnétique génèrent des données exploitables sur une plage plus restreinte que celles par perturbation du champ électrique. Dans les régions d'extrémité, à l'approche de la région où le champ magnétique commence à tourner d'un quadrant au voisin, le champ mesuré s'écroule brutalement. Le champ électrique, lui, continue à suivre les électrodes, et on peut le mesurer jusqu'à la fin de l'électrode¹.

On doit donc déduire les données des régions d'extrémité obtenues par perturbation du champ magnétique.

¹ En réalité certaines "aberrations" existent sur le champ électrique mesuré par perturbation par rapport à celui qui règne sans perturbation: cet aspect sera développé dans un document qui compare les mesures électriques et magnétiques.

4.1.2 Définition de points de données discrètes

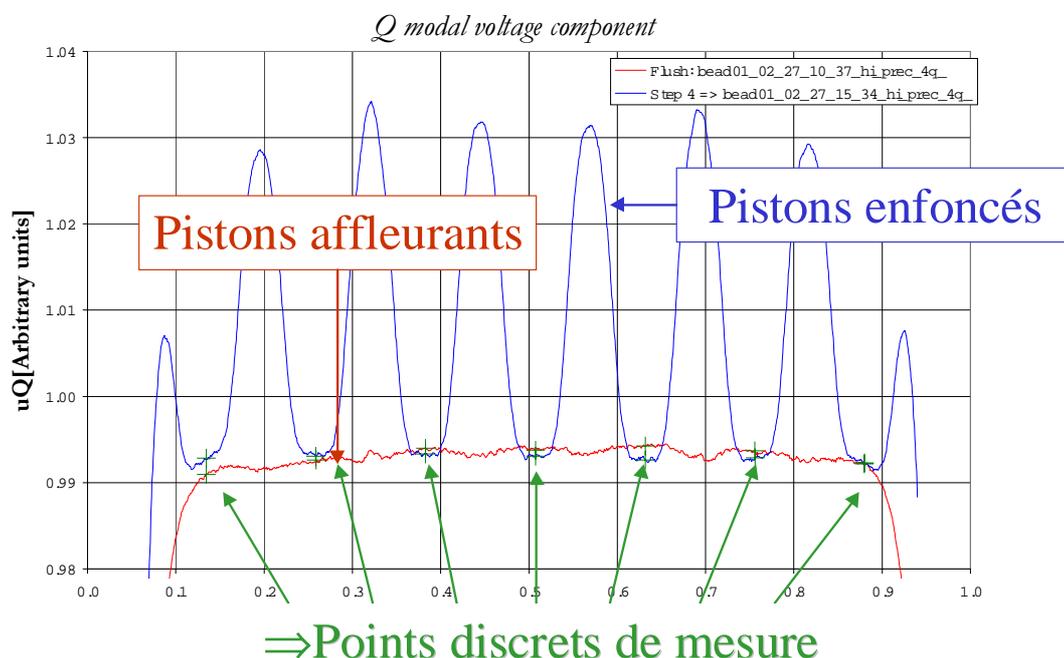


figure 15: positions des points discrets de mesure

On voudrait pouvoir considérer l'intégralité des données centrales. Quand les pistons sont affleurants (exemple de la courbe rouge de la figure 15), nous pouvons estimer les défauts capacitifs à partir de l'intégralité de ces points. Ces défauts électriques équivalents traduisent les déséquilibres entre quadrants et entrent dans le cadre de l'analyse continue des données. Cette analyse continue des données sera appliquée à la réception de fabrication des tronçons du RFQ avant et après brasage.

Le réglage des pistons est lui déduit d'une analyse discrète des données.

Dès que les pistons sont déplacés,

1. les lignes de champ magnétiques sont modifiées
2. apparaît un effet image entre l'objet perturbateur métallique et la surface des pistons.

Comme l'illustre la courbe bleue de la figure 15, des pics apparaissent au voisinage des pistons: on peut repérer les 8 pistons du tronçon étudié. Nous ne devons considérer qu'un nombre discret de points choisis répartis longitudinalement entre les irrégularités mécaniques. Ces points sont repérés par des croix vertes sur la figure 15.

4.2 Distribution longitudinale du champ quadripolaire déduite de la perturbation du champ magnétique

4.2.1 Alignement des mesures brutes par perturbation du champ magnétique

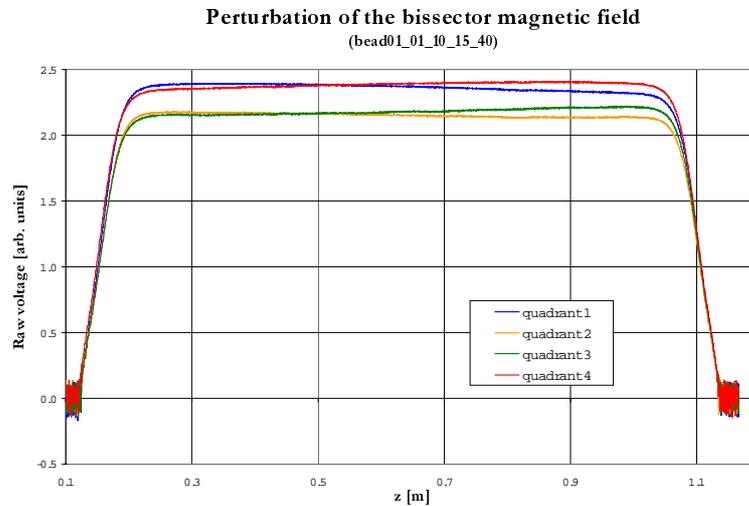


figure 16: tensions mesurées dans les 4 quadrants avec les nouvelles plaques de fermeture

Pour une mesure par perturbation du champ magnétique dans le tronçon A doté des nouvelles plaques de fermeture, faite en fond de quadrant ou sur la bissectrice, on n'observe pas de pics caractéristiques en entrée et sortie de la cavité lors de la traversée des plaques de fermeture (figure 16). Or, comme le banc de mesure n'est pas « temps réel », les valeurs de positions données par l'encodeur ne peuvent être reliées avec les points de mesure. Il est nécessaire de mettre au point une méthode pour caler les phases mesurées sur les valeurs des dimensions mécaniques.

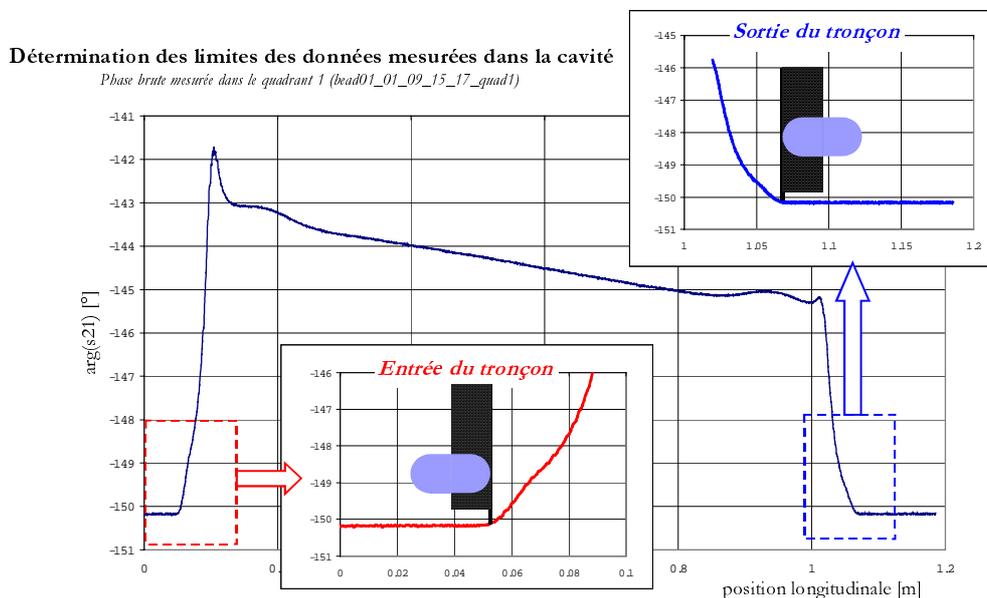


figure 17: la phase s'éloigne du niveau non perturbé dès que l'objet perturbateur dépasse les faces intérieures des plaques de fermeture

Nous avons vérifié la relation entre la position de l'ogive métallique perturbatrice et le seuil de montée de la phase par rapport au niveau qualifié de non perturbé. Il s'avère qu'avec une bonne précision, la phase commence à varier dès que l'objet perturbateur dépasse le plan des plaques de fermeture, le même phénomène se produisant à l'autre extrémité de la cavité (figure 17).

Une méthode numérique de détection de rupture de pente « early gate / late gate » a été implémentée afin de repérer les seuils en entrée et sortie à partir desquels le signal s'extrait du bruit. Pour permettre au code Matlab "rfqtunetool" de caler les mesures, on pointe à l'aide de curseurs les maxima de la courbe résultant de l'opération numérique de détection.

La distance entre ces deux points correspond alors à la longueur mécanique intérieure L entre les 2 plaques de fermeture à laquelle on additionne la longueur de l'objet perturbateur L-offset, ici 0,016 m. La première dimension L=1,0146 m a déjà été entrée dans le module de construction du modèle, sous la dénomination "abscissa of segment ends". La deuxième longueur est entrée directement lors du traitement des mesures 4 quadrants en tant que "L-OFFSET".

4.2.2 Mesures par perturbation du champ magnétique en fond de quadrant près de la base des pistons

4.2.2.1 Caractéristiques des mesures

fichier	fréquence du mode quadrupolaire	f1 Excitation S Excitation T	f2 Excitation S Excitation T	Direction
AVEC les DOIGTS				
Bead01_01_05_15_23	350,723 MHz			Q 4 > Q 1
Bead01_01_09_15_17	350,734 MHz	fS=335,891 MHz 335,834 MHz (-47,08 dB)	fT=336,425 MHz 336,436 MHz (-31,89 dB)	Q 1 > Q 4
Bead01_01_09_15_35	350,734 MHz	fS= 335,890 MHz (-42,87 dB) 335,828 MHz (-47,08 dB)	fT=336,4237 MHz (-41,43 dB) fT=336,436 MHz (-31,88 dB)	Q 4 > Q 1
SANS les DOIGTS				
Bead01_01_09_17_58	350,577 MHz	fS = 346,280 MHz (-37,49 dB) 346,231 MHz (-43,73 dB)	fT = 346,927 MHz (-37,01 dB) fT = 346,936 MHz (-25,63 dB)	Q 4 > Q 1
Bead01_01_10_11_25	350,575 MHz	fS=346,278 MHz (-37,51 dB) 346,2 MHz	fT=346,925 MHz (-37,04 dB) fT=346,934 MHz (-25,68 dB)	Q 1 > Q 4
Bead01_01_10_12_01	350,574 MHz	fS= 346,276 MHz (-37,52 dB) 346,23 MHz (-43,75 dB)	fT=346,9524 MHz (-37,05 dB) fT=346,933 MHz (-25,67 dB)	Q 4 > Q 1
Bead01_01_10_12_34	350,573 MHz	fS= 346,276 MHz (-37,52 dB) 346,229 MHz (-43,76 dB)	fT = 346,923 MHz (-37,05 dB) fT = 346,932 MHz (-25,68 dB)	Q 1 > Q 4

Tableau 4: mesures de la tension du mode accélérateur déduites de la perturbation du champ magnétique en fond de quadrant

4.2.2.2 Effet perturbateur des doigts sur le champ magnétique en fond de quadrant

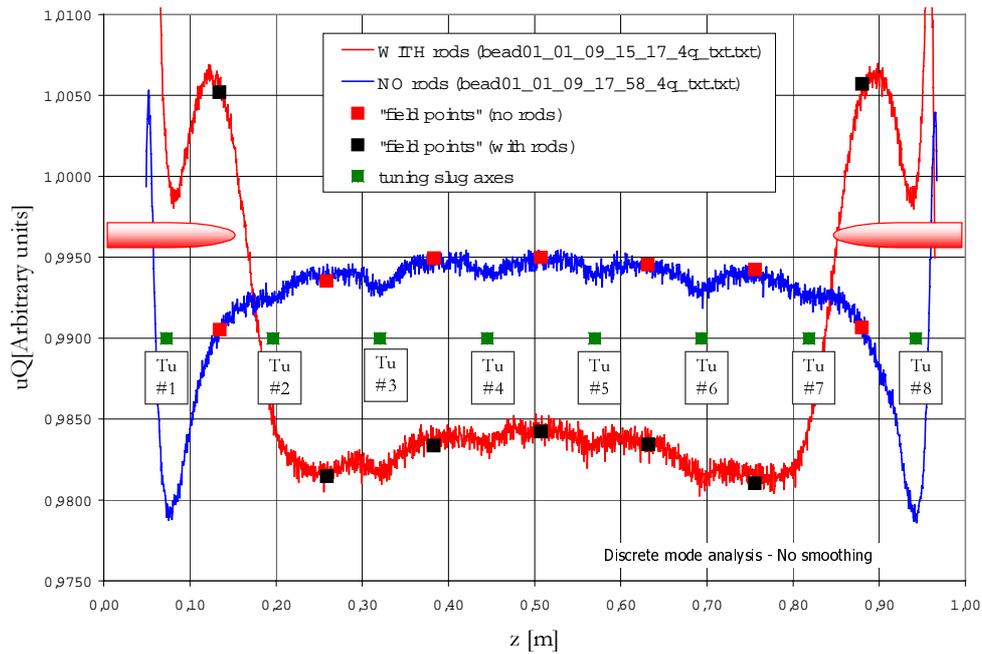


figure 18: illustration de l'effet des doigts sur la composante quadripolaire de la tension accélératrice déduite d'une mesure en fond de quadrant

Les doigts introduisent sur toute leur longueur une augmentation du champ magnétique perturbé. Pour une estimation des commandes de pistons, on perd ainsi les points de données discrètes ("field points") positionnés entre les pistons extrêmes et leur voisin. Sur la figure 18, les points de données noirs en $z=0,134$ m et à l'autre extrémité en $z=0,88$ m ne sont pas exploitables. Pour l'estimation des défauts capacitifs (analyse continue), on restreint le champ de données exploitables à celui compris entre les 2 seuils d'augmentation aux extrémités.

Relative increase of the extreme field points voltages

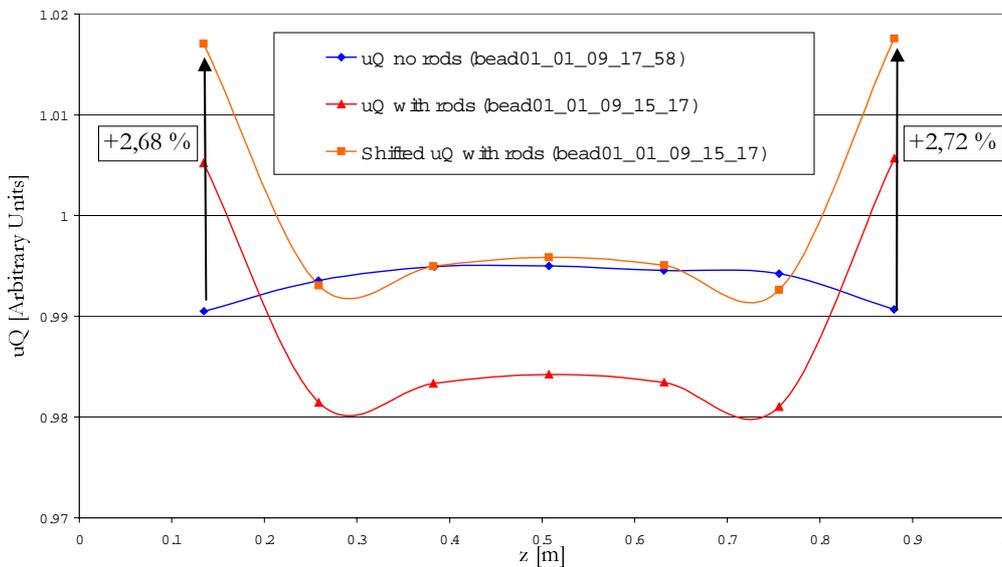


figure 19: augmentation relative due aux doigts pour une mesure par perturbation de H en fond en quadrant

Les 2 courbes avec et sans doigts ont été mises à un même niveau moyen des valeurs des 5 "field points" centraux. On peut ainsi estimer l'augmentation relative due aux doigts pour une mesure par perturbation de H en fond en quadrant pour chaque point discret extrême: elle est de l'ordre de 2,7 %.

4.2.3 Mesures par perturbation du champ magnétique sur la bissectrice

4.2.3.1 Caractéristiques des mesures

fichier	fréquence du mode quadripolaire	f1 Excitation S Excitation T	f2 Excitation S Excitation T	Direction
AVEC les DOIGTS				
Bead01_01_12_12_45	350,741 MHz	fS = 335,929 MHz (-45,02 dB) 335,881 MHz (-47,18 dB)	336,388 MHz (-44 dB) fT = 336,401 MHz (-33 dB)	Q4 > Q1
Bead01_01_12_14_18	350,737 MHz	fS = 335,926 MHz (-45,03 dB) 335,876 MHz (-47,16 dB)	336,385 MHz (-44 dB) fT = 336,4 MHz (-31,71 dB)	Q1 > Q4
SANS les DOIGTS				
Bead01_01_10_15_40	350,569 MHz	fS = 346,268 MHz (-37,69 dB) 346,220 MHz (-43,88 dB)	346,918 MHz (-37,15 dB) fT = 346,927 MHz (-25,75 dB)	Q4 > Q1
Bead01_01_10_17_15	350,567 MHz	fS = 346,270 MHz (-37,67 dB) 346,224 MHz (-43,83 dB)	346,915 MHz (-37,08 dB) fT = 346,925 MHz (-25,74 dB)	Q1 > Q4
Bead01_01_10_17_30	350,567 MHz	fS = 346,270 MHz (-37,67 dB) 346,222 MHz (-43,81 dB)	346,916 MHz (-37,07 dB) fT = 346,925 MHz (-25,74 dB)	Q4 > Q1
Bead01_01_11_16_13	350,569 MHz	fS = 346,270 MHz (-37,48 dB) 346,222 MHz (-43,7 dB)	346,920 MHz (-36,9 dB) fT = 346,9275 MHz (-25,61 dB)	Q4 > Q1
Bead01_01_12_10_02	350,579 MHz	fS = 346,282 MHz (-37,41 dB) 346,233 MHz (-43,66 dB)	346,929 MHz (-36,82 dB) fT = 346,937 MHz (-25,54 dB)	Q4 > Q1
Bead01_01_12_10_20	350,580 MHz	fS = 346,282 MHz (-37,42 dB) 346,233 MHz (-43,66 dB)	346,929 MHz (-36,82 dB) fT = 346,937 MHz (-25,55 dB)	Q1 > Q4

Tableau 5: mesures de la tension du mode accélérateur déduites de la perturbation du champ magnétique sur la bissectrice.

4.2.3.2 Effet perturbateur des doigts sur le champ magnétique sur la bissectrice

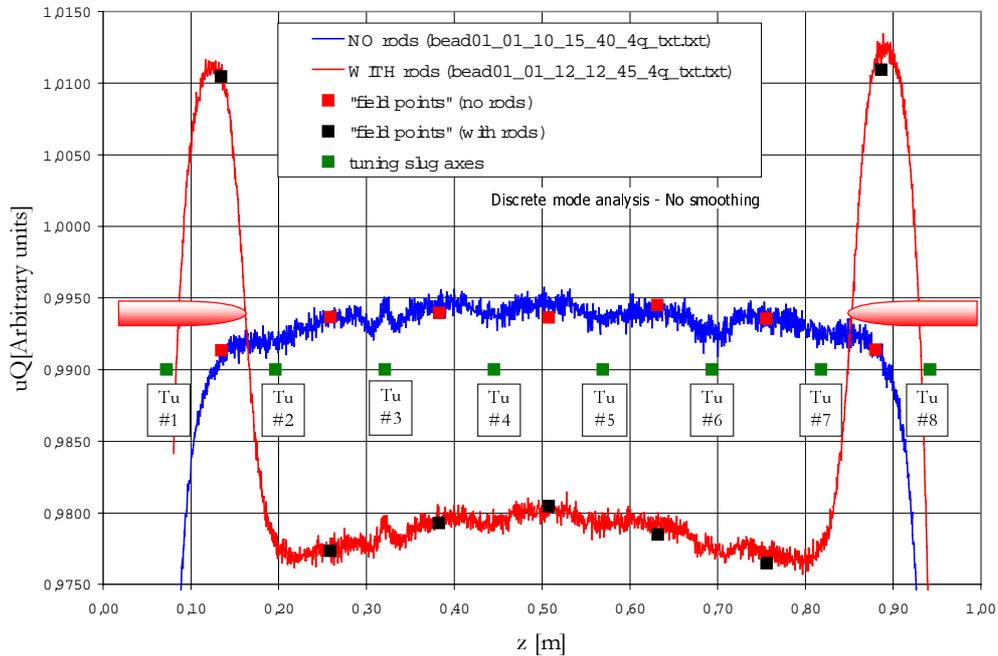


figure 20: illustration de l'effet des doigts sur la composante quadripolaire de la tension accélératrice déduite d'une mesure sur la bissectrice

De même que pour la mesure par perturbation du champ magnétique en fond de quadrant, les doigts introduisent une forte perturbation du champ magnétique mesuré sur la bissectrice. On perd les mêmes points de données discrètes ("field points") aux positions extrêmes (figure 20). Pour l'estimation des défauts capacitifs (analyse continue), on restreint le champ de données exploitables à celui compris entre les seuils des augmentations aux 2 extrémités.

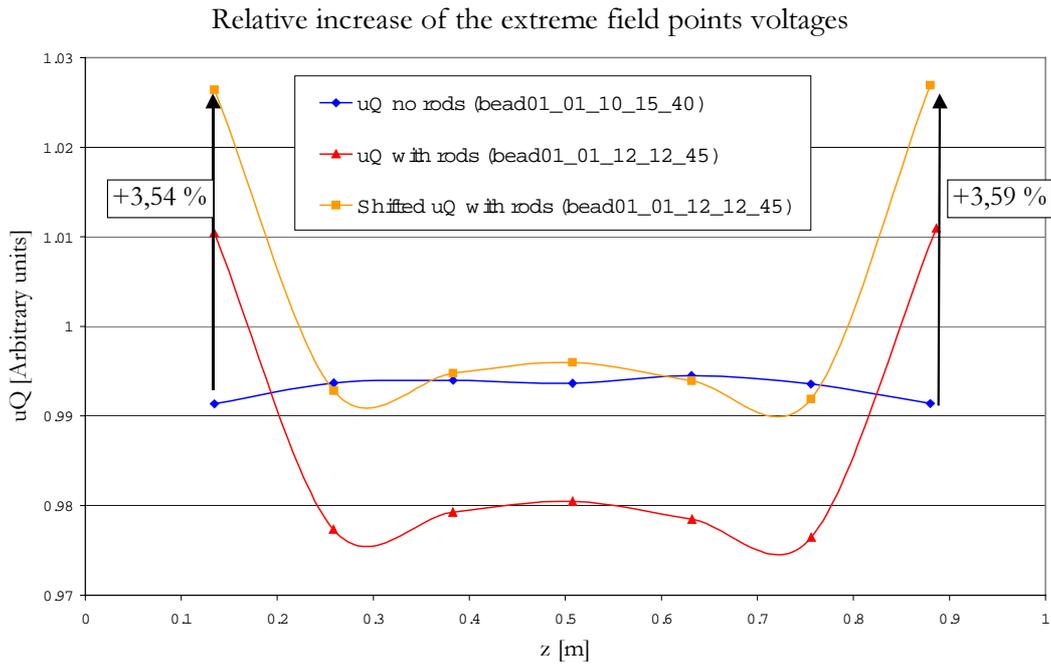


figure 21: augmentation relative due aux doigts pour une mesure par perturbation de H sur la bissectrice

Ainsi que pour la mesure par perturbation du champ magnétique en fond de quadrant, les 2 courbes avec et sans doigts ont été mises à un même niveau moyen des valeurs des 5 "field points" centraux. L'augmentation relative due aux doigts pour une mesure par perturbation de H sur la bissectrice est de l'ordre de 3,5 %.

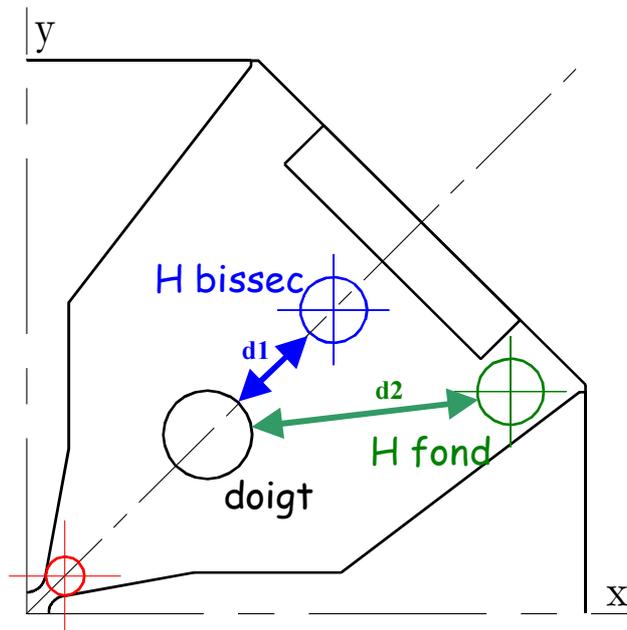


figure 22 : distances entre 2 positions de guidage testées et le doigt

L'augmentation relative due aux doigts pour une mesure par perturbation de H sur la bissectrice est supérieure à celle observée en fond de quadrant. Cette différence peut s'expliquer par la plus grande proximité avec le doigt de la première position par rapport à la deuxième (figure 22).

4.2.4 Composantes S et T de la tension accélératrice déduites des mesures par perturbation du champ magnétique

On distingue également une augmentation locale des composantes dipolaires S et T de la tension quadripolaire au voisinage des doigts dits "de stabilisation dipolaire", qui est plus faible en fond de quadrant (figure 23 et figure 24) que sur la bissectrice (figure 25 et figure 26).

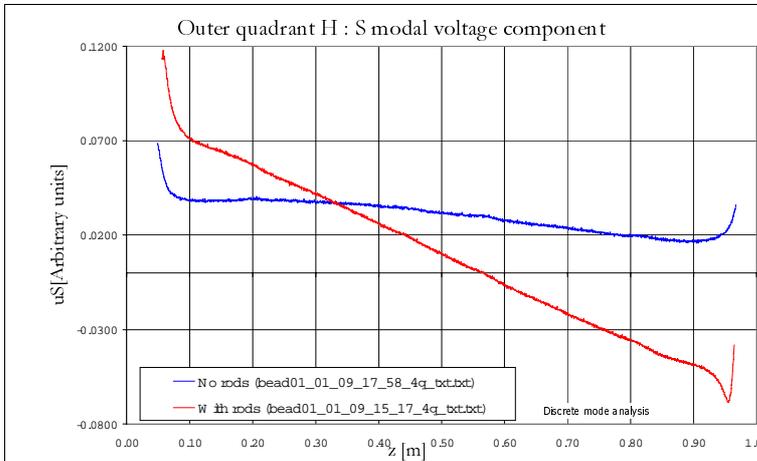


figure 23: composante dipolaire S de la tension accélératrice avec et sans doigts stabilisateurs déduite de mesure par perturbation du champ magnétique en fond de quadrant

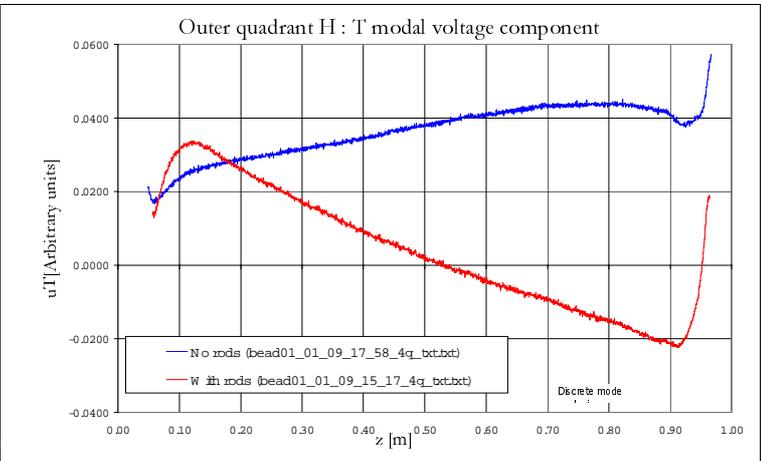


figure 24: composante dipolaire T de la tension accélératrice avec et sans doigts stabilisateurs déduite de mesure par perturbation du champ magnétique en fond de quadrant

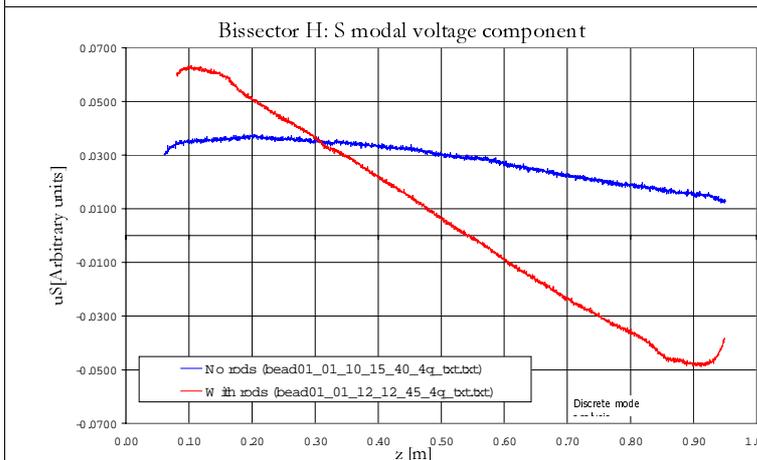


figure 25: composante dipolaire S de la tension accélératrice avec et sans doigts stabilisateurs déduite de mesure par perturbation du champ magnétique sur la bissectrice

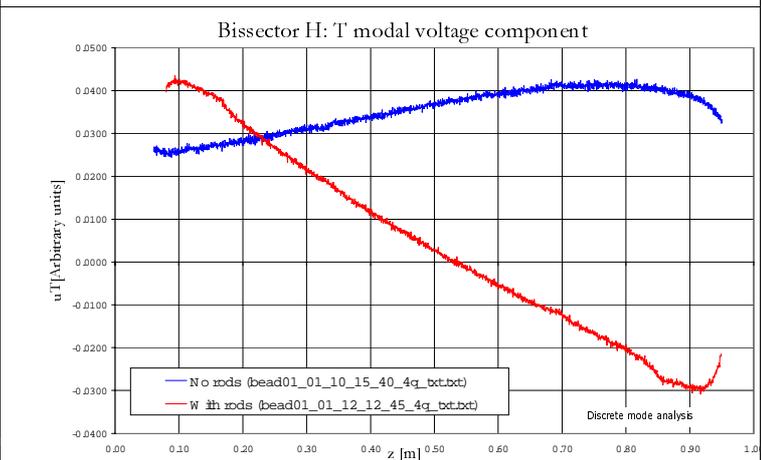


figure 26: composante dipolaire T de la tension accélératrice avec et sans doigts stabilisateurs déduite de mesure par perturbation du champ magnétique sur la bissectrice

4.2.5 Synthèse de l'analyse des mesures du champ magnétique avec les doigts

L'augmentation relative due aux doigts est supérieure pour une mesure sur la bissectrice qu'en fond de quadrant. Pour les 2 positions on perd:

- 1- de l'ordre de 200 mm de points de mesure à chaque extrémité;
- 2- les points discrets extrêmes.

Nous pensons donc que l'estimation des défauts capacitifs devra être faite sans les doigts montés. Cela ne constitue pas un handicap puisque par définition cette procédure ne s'intéresse qu'aux défauts d'équilibre entre les électrodes indépendamment des conditions aux limites.

Pour l'estimation des commandes de pistons, nous procéderons au réglage du mode quadripolaire sans les doigts, puis à celui de l'adaptation des conditions aux limites des modes dipolaires avec les doigts. Cette approche est justifiée puisqu'on estime que les doigts stabilisateurs modifient peu la composante quadripolaire de la tension accélératrice.

4.3 Distribution longitudinale du champ quadripolaire déduite de la perturbation du champ électrique

4.3.1 Mise au point des mesures électriques

Cette étude de l'effet des doigts exploite les premières mesures par perturbation réalisées avec les nouvelles plaques de fermeture. La mise au point des mesures par perturbation du champ électrique a rencontré des difficultés spécifiques.

4.3.1.1 Appui sur les électrodes

Sur les anciennes plaques de fermeture des tronçons de maquette, des fentes relient les 4 trous permettant le passage du perturbateur à travers les plaques près de la zone électrique. Elles se croisent au centre (dessin (a) de la figure 27). Au cours de la mesure à l'intérieur de la cavité, la bille est en appui sur l'électrode et les fils se situent dans la rainure entre le trou et le centre.

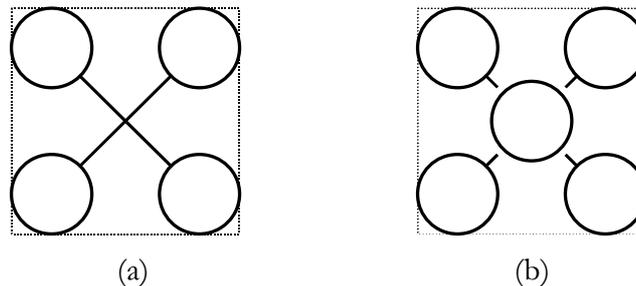


figure 27: configuration mécanique des orifices de passage de la bille pour une mesure par perturbation du champ électrique

Les trous des nouvelles plaques ne sont pas reliés entre eux. Cette modification permet d'assurer un point de masse commun pour les 4 charges résonantes des 4 lames en extrémité. Pour chaque orifice, une rainure permet à la bille d'être en appui sur les électrodes (schéma (b) de la figure 27).

Les premiers tests avec une bille de diamètre de 6 mm avaient généré des courbes très bruitées (figure 28).

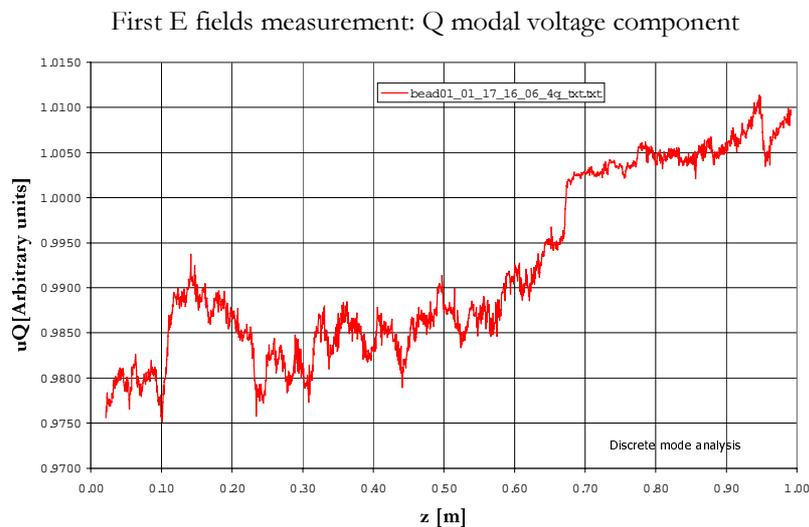


figure 28: résultat des premières mesures par perturbation du champ électrique (sphère de 6 mm): la bille rebondit sur les électrodes

Afin d'augmenter l'appui de la sphère sur les électrodes:

- 1- les rainures ont été approfondies par électro-érosion;
- 2- la sphère de diamètre 6 mm a été remplacée par une autre de diamètre 7 mm.

4.3.1.2 Alignement des mesures électriques

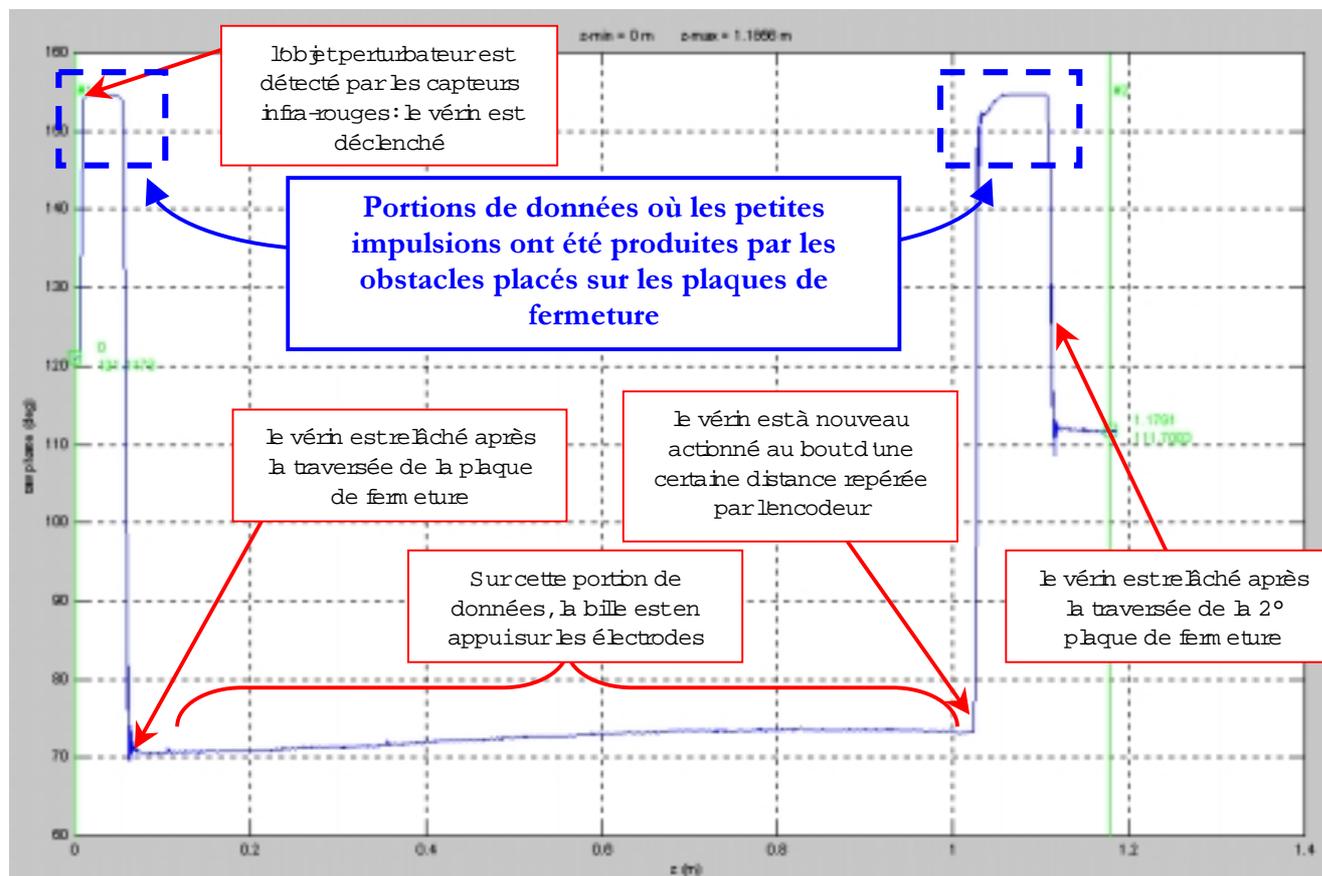


figure 29: exemple de la phase acquise lors d'une mesure par perturbation du champ électrique à travers un quadrant (bead00_09_26_14_36): les positions des plaques de fermeture sont repérées à l'aide des impulsions situées dans les 2 pics où les vérins dégagent le fil

Les plans d'entrée et de sortie de la cavité sont repérés à l'aide de perturbations locales des phases mesurées. Lors du traitement des données, le code Matlab isole les portions de phase brute qui correspondent au moment où le fil est dégagé par les vérins pneumatiques tandis que l'objet perturbateur traverse la plaque (figure 29).

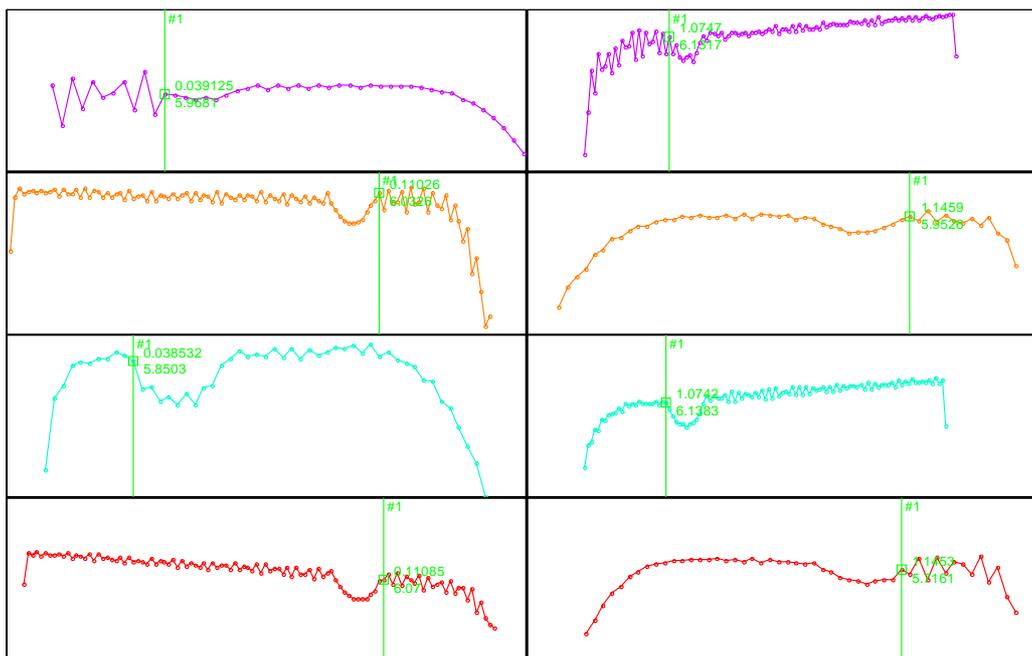


figure 30: interface de détection des impulsions en entrée (colonne de gauche) et sortie (colonne de droite) de la cavité (chaque ligne correspond à un quadrant) (bead01_01_08_14_54)

En repérant à l'aide de curseurs les impulsions produites par les perturbations locales (figure 30), on obtient un alignement avec un écart longitudinal entre les 4 courbes de 1 à 6 échantillons maximum: nous appelons cet écart "jitter", et le code Matlab calcule et affiche les "jitters" aux 2 extrémités après alignement afin de pouvoir estimer les décalages résiduels.

Typiquement deux échantillons d'une mesure 4 quadrants dans un tronçon de RFQ sont séparés de 0,6 mm.

4.3.2 Analyse des mesures par perturbation du champ électrique

4.3.2.1 Caractéristiques des mesures

fichier	fréquence du mode quadrupolaire	f1 Excitation S Excitation T	f2 Excitation S Excitation T	Direction
AVEC les DOIGTS				
Bead01_01_18_12_14	350,668 MHz	fS = 335,900 MHz (-45,79 dB) ""	fS = 336,345 MHz (-44,74 dB) fT = 336,360 MHz (-32,21 dB)	Q1 > Q4
Bead01_01_18_14_54	350,665 MHz	fS = 335,901 MHz (-45,82 dB) ""	fS = 336,347 MHz (-44,79 dB) fT = 336,361 MHz (-32,21 dB)	Q1 > Q4
Bead01_01_18_15_53	350,662 MHz	fS = 335,905 MHz (-45,83 dB) ""	fS = 336,350 MHz (-44,79 dB) fT = 336,364 MHz (-32,2 dB)	Q4 > Q1
SANS les DOIGTS				
Bead01_01_19_12_28	350,516 MHz	fS = 346,217 MHz (-38,29 dB) ""	fS = 346,875 MHz (-37,51 dB) fT = 346,883 MHz (-26,23 dB)	Q4 > Q1
Bead01_01_19_12_42	350,518 MHz	fS = 346,215 MHz (-38,3 dB) ""	fS = 346,873 MHz (-37,51 dB) fT = 346,881 MHz (-26,23 dB)	Q1 > Q4
Bead01_01_22_09_44	350,508 MHz	fS = 346,210 MHz (-38,18 dB) ""	fS = 346,857 (-37,44 dB) fT = 346,867 MHz (-26,27 dB)	Q1 > Q4

Tableau 6: mesures de la tension du mode accélérateur déduites de la perturbation du champ électrique

4.3.2.2 Effet perturbateur des doigts le champ électrique

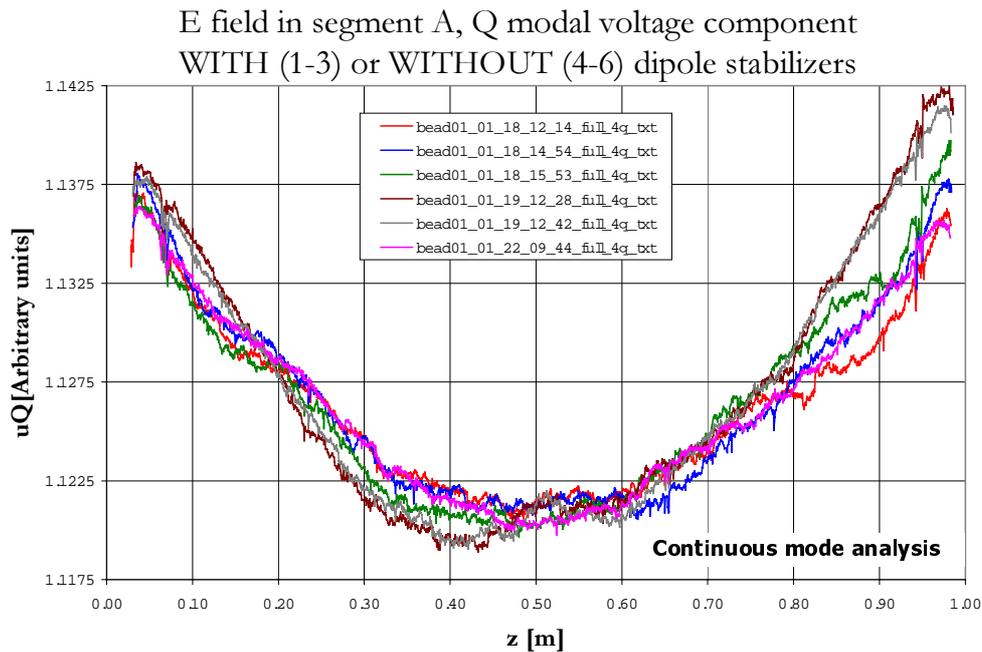


figure 31: comparaison entre les mesures brutes par perturbation du champ électrique avec (3 premières courbes) et sans (3 dernières courbes) les doigts stabilisateurs

Comme le montre la superposition des 6 courbes de la figure 31, il est difficile d'émettre un avis tranché quant au fait qu'on peut distinguer ou non la présence des doigts stabilisateurs sur une mesure par perturbation du champ électrique.

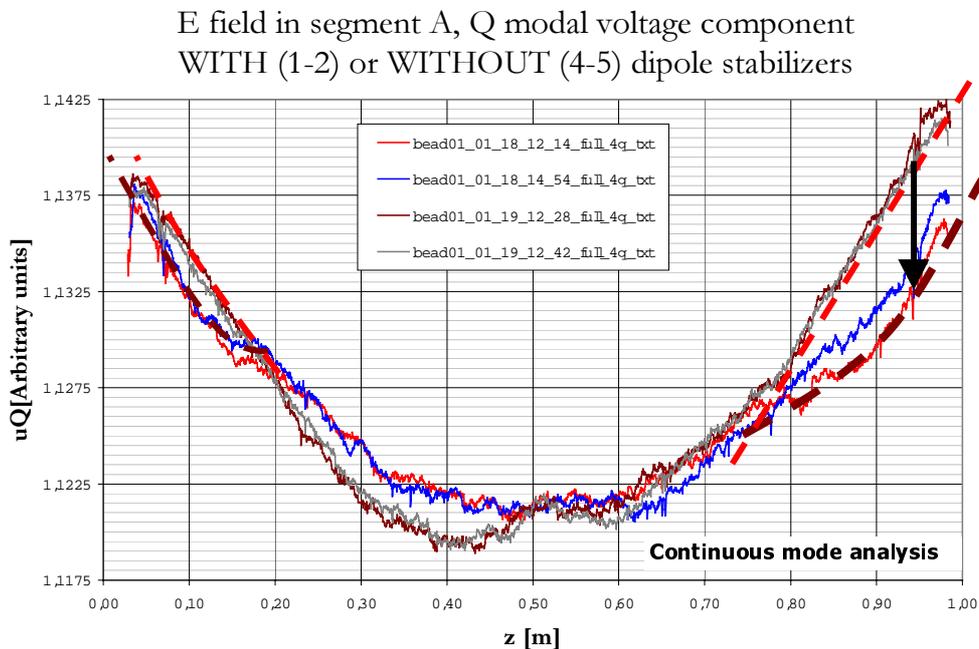


figure 32: comparaison entre les mesures brutes par perturbation du champ électrique avec et sans les doigts stabilisateurs

En faisant abstraction des mesures 3 et 6 courbes qui traversent l'ensemble du faisceau, on peut distinguer aux 2 extrémités une diminution relative du champ mesuré après insertion des doigts (figure 32). La variation relative maximale repérée par une flèche est de 5 pour mille.

On peut légitimement se demander si ces variations ne sont simplement liées au bruit de mesure. La variation entre les 2 couples de courbes dans la région centrale autour de 0,4 m va dans le sens de cette interprétation, de même que la difficulté pratique que nous avons rencontrée pour obtenir un appui correct de la sphère contre les électrodes (chapitre 4.3.1.1).

4.3.3 Synthèse des analyses des mesures du champ électrique avec les doigts

L'effet des doigts sur le champ électrique mesuré est difficile à distinguer d'une manière tranchée. En supposant que les écarts observés ne représentent pas le bruit de mesure, la variation maximale de $5 \cdot 10^{-3}$:

- 1- reste très largement inférieure aux variations observées lors d'une mesure par perturbation du champ magnétique;
- 2- peut être considérée comme faisant partie de l'incertitude des mesures.

On pense donc légitime de considérer que les doigts ne perturbent pas le champ électrique.

Cette conclusion permet de définir l'ordre du réglage du RFQ :

- 1- le réglage de la composante quadripolaire de la tension accélératrice sans les doigts
- 2- l'adaptation des conditions aux limites des modes dipolaires avec les doigts stabilisateurs.

5 Conclusion

- La position radiale et la longueur des doigts testés confirment les dimensions calculées par le code de simulation 3d "Mafia".
- L'étude complète de l'adaptation des modes dipolaires dans les régions d'extrémité des segments consistera à ajuster la longueur de chaque doigt.
- L'augmentation relative du champ mesuré due aux doigts est supérieure pour une mesure sur la bissectrice qu'en fond de quadrant. Pour les 2 positions on perd:
 1. de l'ordre de 200 mm de points de mesure à chaque extrémité;
 2. les points discrets extrêmes.

Les perturbations provoquées par les doigts ne constituent donc pas un critère de préférence entre une mesure par perturbation du champ magnétique en fond de quadrant ou sur la bissectrice de chaque quadrant.

- Afin de conserver la plus grande plage de données exploitables possible, l'estimation des défauts capacitifs doit être faite sans les doigts montés.

Cela ne constitue pas un handicap puisque par définition cette procédure ne s'intéresse qu'aux défauts d'équilibre entre les électrodes indépendamment des conditions aux limites.

- Les mesures par perturbation du champ électrique ont montré que les doigts ne perturbent pas le champ électrique.

Cette constatation permet de considérer en 2 étapes successives :

- 1- le réglage de la composante quadripolaire de la tension accélératrice sans les doigts.
- 2- l'adaptation des conditions aux limites des modes dipolaires avec les doigts stabilisateurs. Grâce à l'application du formalisme que nous avons développé, les pistons permettront de corriger les composantes dipolaires et en même temps les erreurs résiduelles sur la composante quadripolaire (référence [III]).

Références:

[I] « Etude des doigts de stabilisation du RFQ d'IPHI », P. Balleyguier, CEA/DIF/DPTA/SP2A 6/2000, 6 janvier 2000

[II] « Distribution en fréquence des modes de résonance dans un RFQ », F. Simoens, A. France & J. Gaiffier, rapport en cours de rédaction.

[III] « Réglage d'un tronçon de maquette de RFQ à l'aide de ses pistons », F. Simoens, A. France & J. Gaiffier, référence Dapnia : DAPNIA/SEA-01-06, 04/2001