



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

DATE : 2002/03/01
N/RÉF. : DAPNIA/SACM/IPHI2002/11

Francisco BALLESTER
Alain FRANCE
Jacques GAIFFIER
François SIMOENS
Armand SINANNA

Rédaction: François SIMOENS

Tests RF du premier tronçon de RFQ du projet IPHI



TABLE DES MATIERES

<i>Tests RF du premier tronçon de RFQ du projet IPHI</i>	<i>1</i>
<i>1 Résumé</i>	<i>4</i>
<i>2 Conditions des tests</i>	<i>5</i>
2.1 Banc de mesure	5
2.2 Tronçon de RFQ	6
2.3 Alignement et mise à l'échelle des mesures	7
2.4 Effet des ouïes de pompage sur le champ mesuré	9
<i>3 Fréquences de résonance</i>	<i>9</i>
<i>4 Composantes modales de la tension accélératrice</i>	<i>11</i>
4.1 Composante quadripolaire	11
4.2 Composantes dipolaires	12
<i>5 Distributions longitudinales des défauts capacitifs</i>	<i>14</i>
<i>6 Conclusion</i>	<i>16</i>

1 Résumé

Des tests radiofréquences ont permis de caractériser le premier tronçon de RFQ du projet IPHI avant les usinages de finition et le brasage. Ils ont permis de diagnostiquer un excellent équilibre transverse mécanique : les composantes dipolaires de la tension du mode accélérateur sont inférieures à $\pm 10^{-2}$ de la composante quadripolaire. Ce diagnostic électromagnétique est en parfait accord avec les mesures mécaniques tridimensionnelles.

Un quadrant du tronçon a été équipé d'un port de pompage puis de 3. La perturbation locale de la composante quadripolaire de la tension accélératrice due aux ouïes de pompage est de l'ordre de 10^{-4} . La fréquence de résonance du mode accélérateur est très faiblement modifiée par l'ajout des boîtiers de pompage.

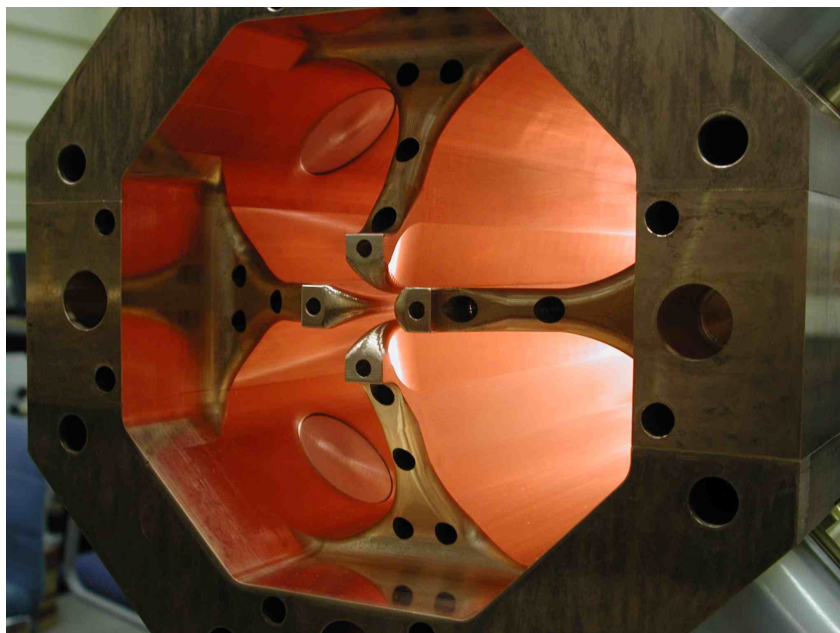


figure 1 : région terminale "entrée faisceau" (z=0 m)

2 Conditions des tests

2.1 Banc de mesure



figure 2 : vue d'ensemble du banc de mesure

Le banc de mesure par perturbation a été installé dans un local climatisé (figure 2). Le signal RF généré par l'analyseur de réseau excite le tronçon de RFQ à l'aide de 4 boucles magnétiques placées dans les 4 quadrants d'un même plan transverse. Les phases sont réparties entre les 4 quadrants à l'aide de la matrice de commutation (figure 3). La réception du signal est effectuée à travers une boucle unique (câble bleu de la figure 3).

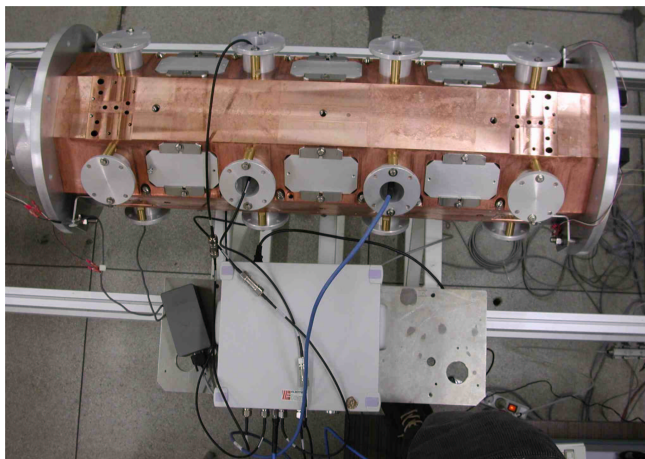


figure 3 : Dispositif de mesure de la transmission à travers le tronçon de RFQ

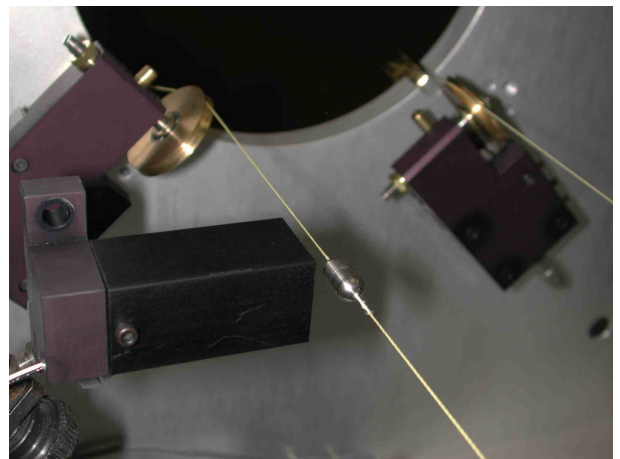


figure 4 : objet perturbateur utilisé pour les mesures

Après ajustement des temporisations du contrôle-commande et changements de capteurs infra-rouges défectueux, le banc de mesure a parfaitement fonctionné : il a permis d'acquérir au moins 3 jeux de mesures de profil des tensions des 4 quadrants par configuration mécanique testée, dans un laps de temps de l'ordre d'une demi-heure.

Pour les prochains tests on modifiera la distance entre les paires émetteur-récepteur qui assurent le calage de la position initiale de référence de l'objet perturbateur (position dite "home"). Distants de 55 centimètres, ils fonctionnent en limite de sensibilité.

2.2 Tronçon de RFQ

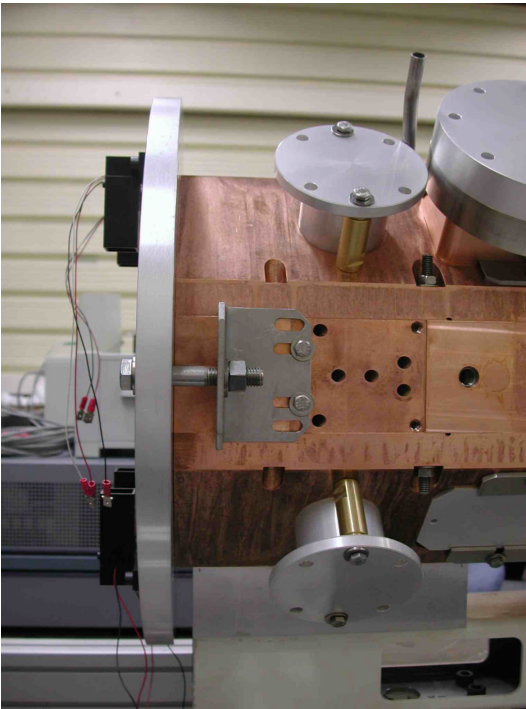


figure 5 : plaque de fermeture côté "entrée faisceau"
en $z=0$ m

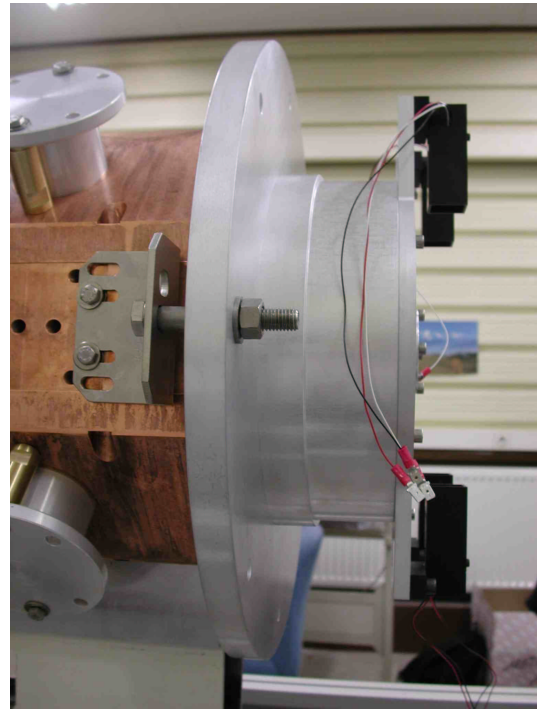


figure 6 : bloc cylindrique de fermeture du tronçon
en $z=1$ m

Le tronçon de RFQ est terminé :

- 1- A l'extrémité "entrée faisceau", notée #1, par une plaque de fermeture équipée de plaques de surépaisseurs aux dimensions nominales (figure 5).
- 2- A l'extrémité terminée brutalement par un bloc cylindrique protégeant les meures de perturbations électromagnétiques extérieures à la cavité (figure 6).

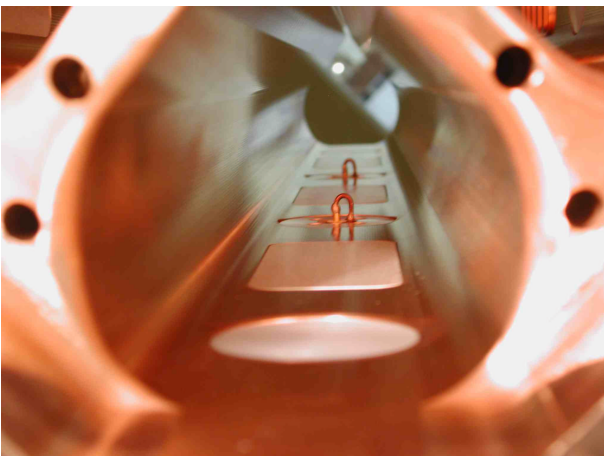


figure 7 : blocs obturant les orifices de pompage à fleur
de surface interne

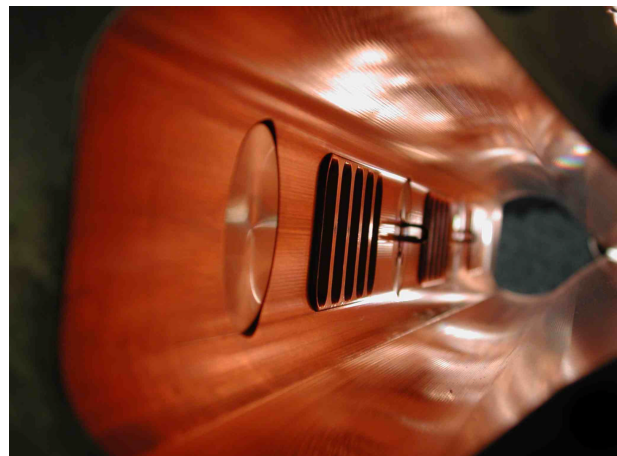


figure 8 : vue depuis l'intérieur des grilles de pompage
et des pistons d'accord

Le profil de la tension du mode accélérateur et le spectre en fréquence ont été mesurés pour 3 configurations du tronçon de RFQ :

- 1- Avec tous les orifices mécaniques des fonds de quadrants obturés par des blocs affleurant la surface interne (figure 7).
- 2- En équipant le centre d'un quadrant d'un port de pompage (figure 9).
- 3- En équipant ce même quadrant de ses trois ports de pompage (figure 8 et figure 10).

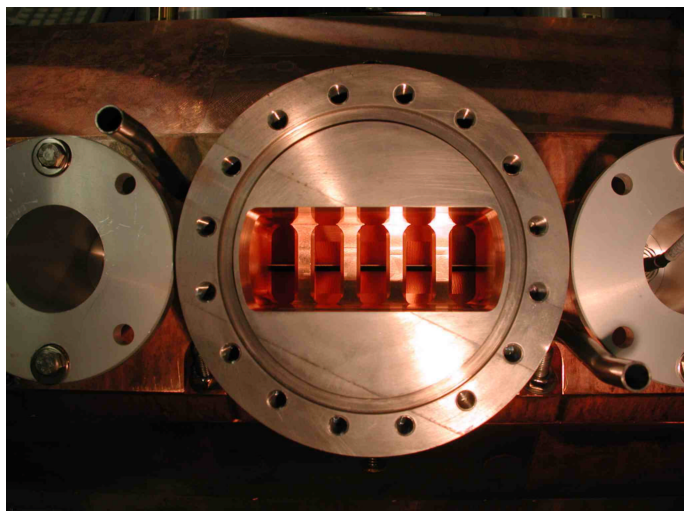


figure 9 : port de pompage monté dans le quadrant 1

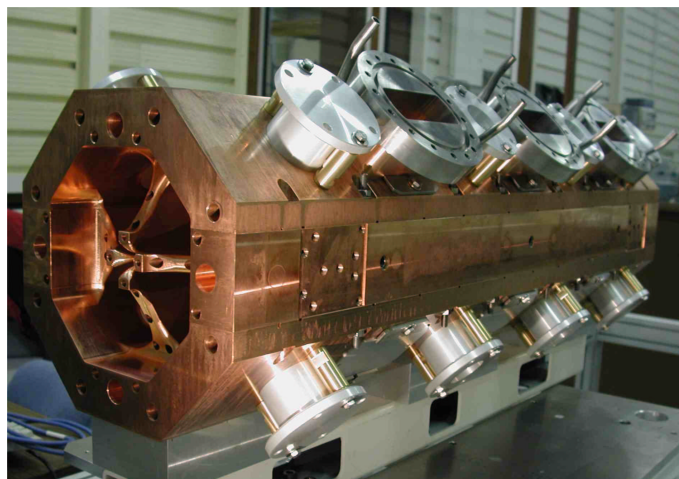
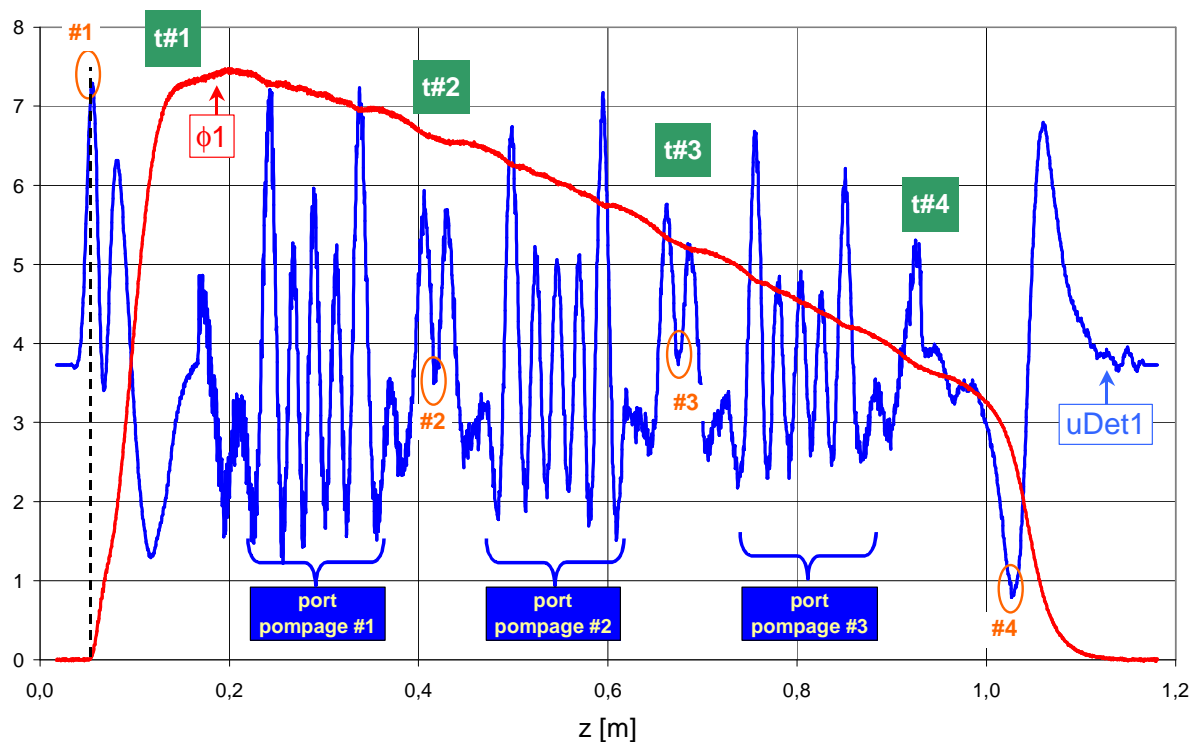


figure 10 : tronçon de RFQ équipé de 3 boîtiers de pompage dans le quadrant 1

2.3 Alignement et mise à l'échelle des mesures

figure 11 : phase du coefficient de transmission (" $\phi 1$ ") et courbe résultant du filtrage ("uDet1") mesurée par perturbation dans le quadrant 1 équipé des 3 ports de pompage

La méthode d'alignement de la phase perturbée sur les dimensions mécaniques du tronçon a été modifiée. La détection des changements de pente, qu'on effectue à l'aide d'un filtre numérique ("early-late gate" suivi d'un différentiateur), est désormais appliquée individuellement à la phase mesurée dans chaque quadrant.

On détecte sur la courbe résultant du filtrage ("uDet1") de la figure 11) à l'aide de 2 curseurs au choix:

- L'extrémité #1 d'entrée de la cavité (pic #1 de la figure 11)
- Le centre d'un des pistons d'accord (pics #2 et #3 de la figure 11)
- L'extrémité #2 "sortie" de la cavité (pic #4 de la figure 11).

Positions des points discrets (croix) autour des 3 ports de pompage selon les dispositifs mécaniques choisis pour l'alignement et la mise à l'échelle des mesures

end#1 = extrémité "entrée faisceau" (z=0 m)
 tun#k = centre du piston numéro k
 end#2 = extrémité finale de la cavité

Combinaisons testées:

- 1- end#1 ↔ end#2
- 2- end#1 ↔ tun#3
- 3- tun#2 ↔ end#2
- 4- tun#2 ↔ tun#3

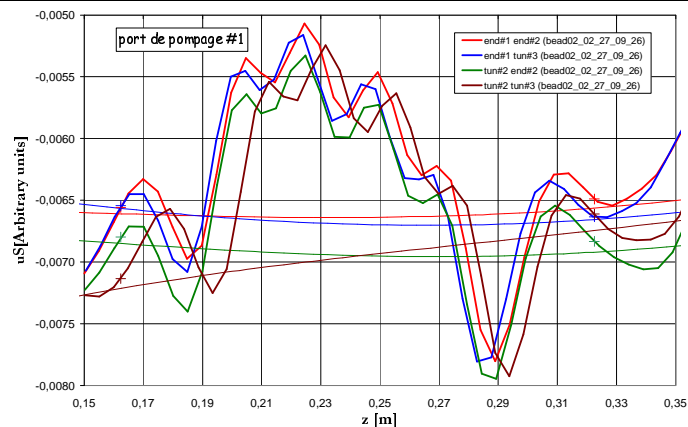


figure 12 : autour du port de pompage 1

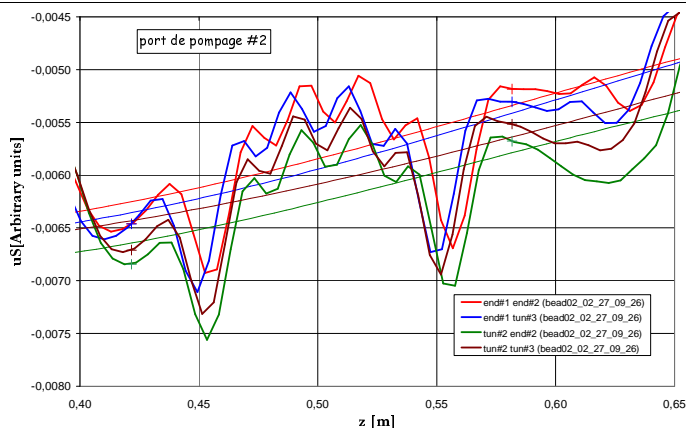


figure 13 : autour du port de pompage 2

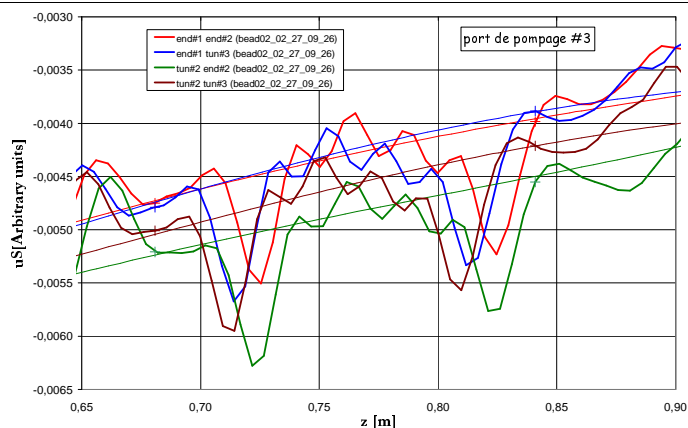


figure 14 : autour du port de pompage 3

L'opérateur désigne au code "rfqtunetool" les 2 dispositifs mécaniques sur lesquels le code doit aligner et mettre à l'échelle les 4 courbes. 4 combinaisons de choix des dispositifs repérés par le filtre ont été testées (figure 12, figure 13 et figure 14). Nous avons choisi :

- Le premier curseur pointant la plaque de fermeture côté "entrée faisceau";
- Le deuxième curseur situé au centre du troisième piston.

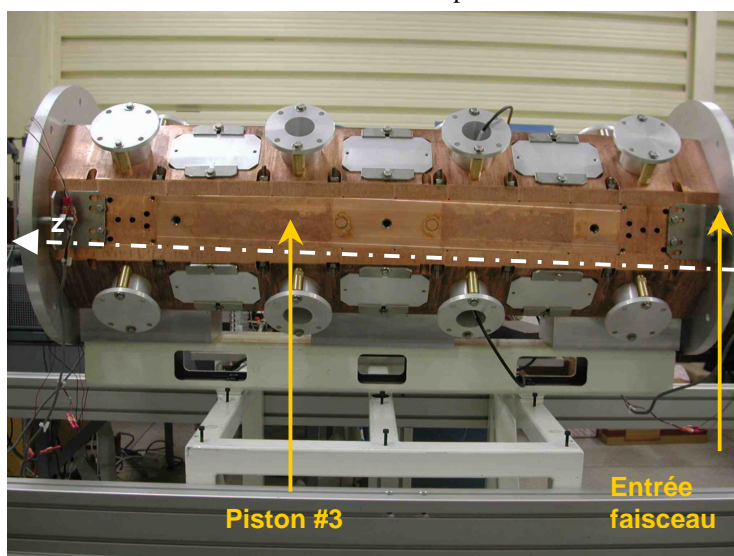


figure 15 : dispositifs mécaniques repérés sur les mesures de profils de tension

2.4 Effet des ouïes de pompage sur le champ mesuré

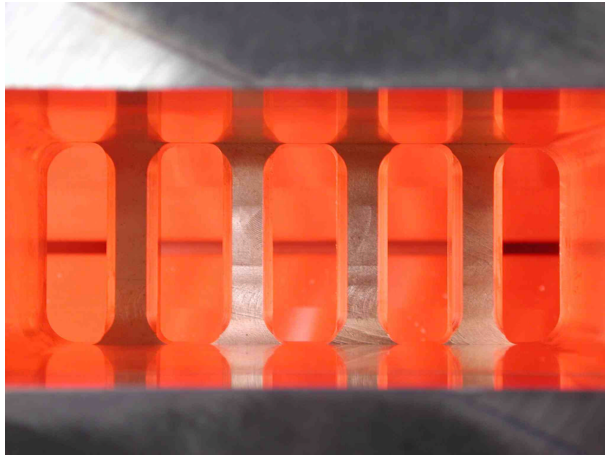


figure 16 : 4 grilles du port de pompage

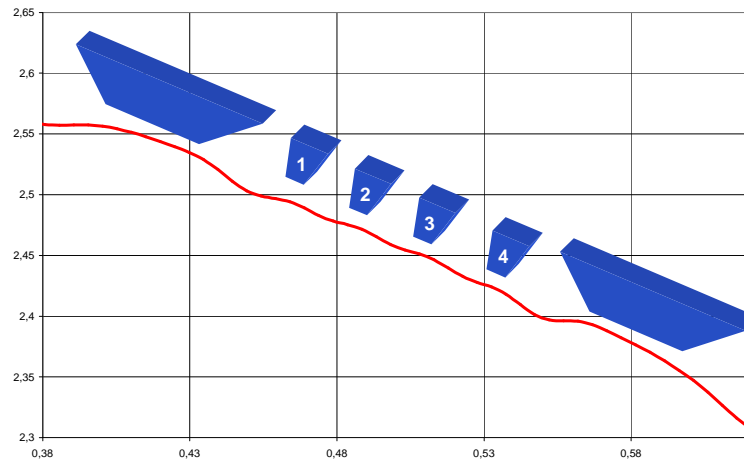


figure 17 : variations locales de la phase mesurée par perturbation dans le quadrant 1 équipé d'un port de pompage

Chaque ouïe du port de pompage diminue localement le champ magnétique, et donc la phase perturbée mesurée (figure 17). Ces variations sont parfaitement détectées par le filtre et on repère les 5 orifices de ces dispositifs mécaniques (figure 11).

3 Fréquences de résonance

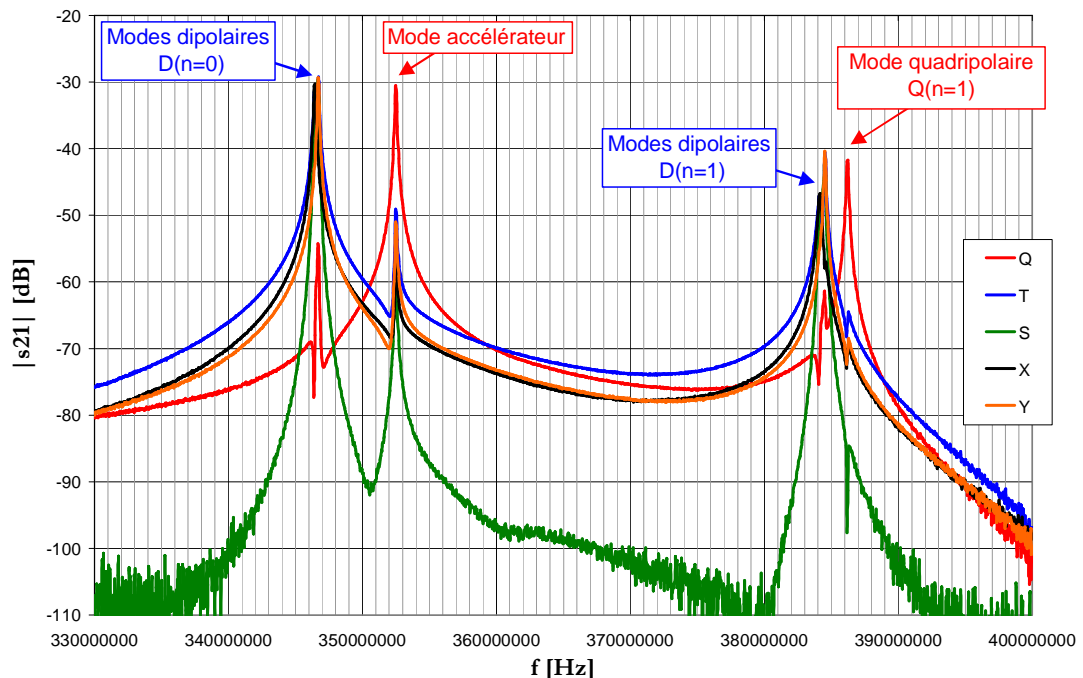


figure 18 : spectre en fréquence mesuré dans le tronçon de RFQ sans boîtier de pompage5

Par ordre de fréquences croissantes, on distingue 2 pics résonants dipolaires autour de 346,4 MHz suivis du mode quadripolaire accélérateur à la fréquence $f_Q = 352,5$ MHz. La valeur élevée de f_Q par rapport aux 350,7 MHz moyens provient principalement de la désadaptation de ce mode due à l'interruption brutale des électrodes. Le facteur de qualité du mode accélérateur est $Q=2800$.

	Fréquence du mode accélérateur f_Q	Fréquence du mode dipolaire f_X	Fréquence du mode dipolaire f_Y	Ecart $f_Y - f_X$
Sans boîtiers de pompage	$f_{Q0} = 352,496$ MHz	346,442 MHz	346,712 MHz	270 kHz
Avec 1 boîtier de pompage dans le quadrant 1	$f_{Q1} = 352,478$ MHz	346,421 MHz	346,692 MHz	271 kHz
Avec 3 boîtiers de pompage dans le quadrant 1	$f_{Q3} = 352,451$ MHz	346,392 MHz	346,671 MHz	279 kHz

$$(f_{Q3} - f_{Q0}) / (f_{Q1} - f_{Q0}) = 2,5$$

L'installation d'un boîtier de pompage a entraîné la diminution de la fréquence du mode accélérateur f_Q de 18 kHz. L'ajout de 2 grilles de pompage supplémentaires a encore diminué f_Q de 27 kHz. Ces très faibles variations peuvent être facilement corrigées à l'aide des pistons d'accord. Cette variation de f_Q est un effet de second ordre. En termes de circuits équivalents, les boîtiers de pompage modifient essentiellement la self du quadrant 1. Une variation $[dL_1, 0, 0, 0]$ se décompose sur une base propre en $[+dL_1/2, 0, -dL_1/2, 0] + [+dL_1/2, 0, +dL_1/2, 0]$. On montre que la première composante induit une variation *quadratique positive* de f_Q . La seconde composante induit une variation *linéaire, de pente négative*, et qui de plus domine très largement la précédente. Pour f_D , la même situation se reproduit: la première composante induit une variation quadratique (qui peut être positive ou négative), négligeable par rapport à la variation linéaire de pente négative, induite par la seconde composante. On conclut que les boîtiers de pompage augmentent légèrement l'inductance des quadrants.

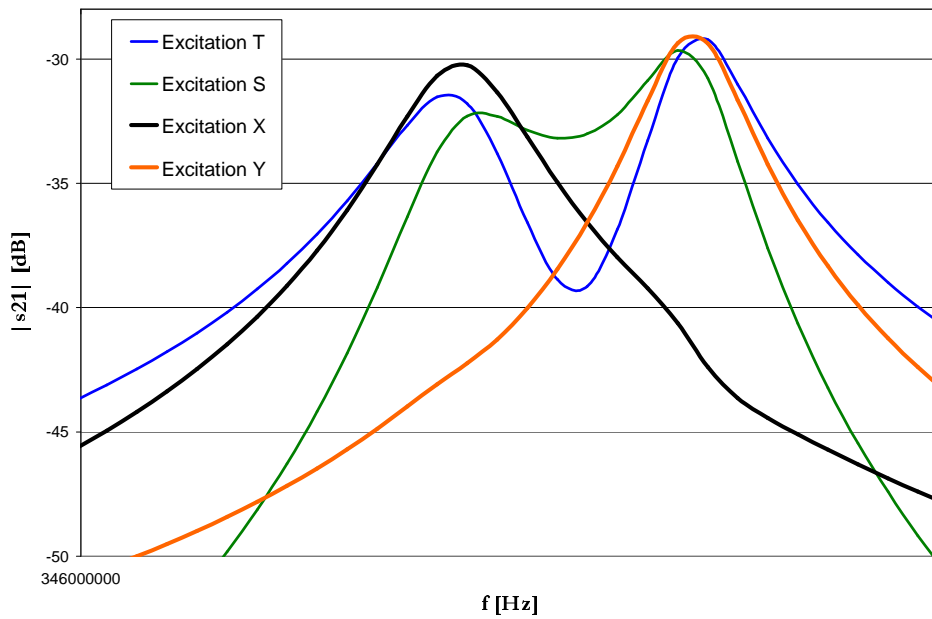


figure 19 : modes dipolaires de premier ordre longitudinal (tronçon de RFQ sans boîtiers de pompage)

Le mode dipolaire de premier ordre présente deux pics de résonance. Cet espace vectoriel est préférentiellement orienté $\{X, Y\} = \{ [-1/2, -1/2, +1/2, +1/2], [-1/2, +1/2, +1/2, -1/2] \}$.

4 Composantes modales de la tension accélératrice

4.1 Composante quadripolaire

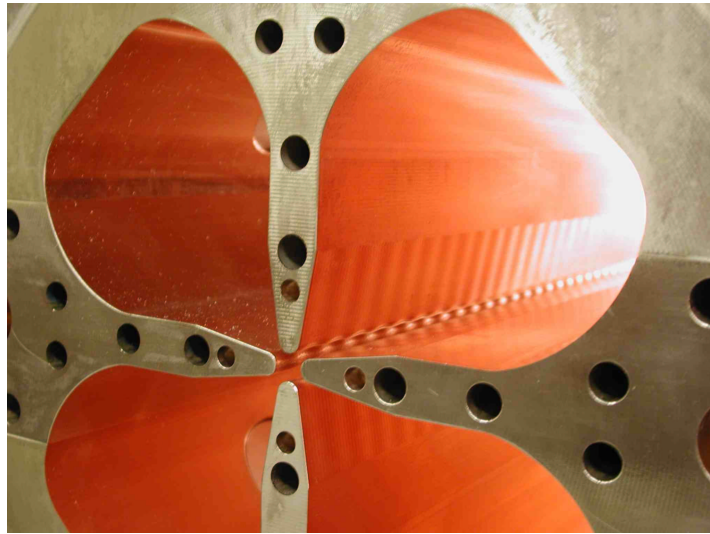


figure 20 : extrémité $z=1$ m du tronçon de RFQ

L'extrémité brutalement interrompue des électrodes (figure 20) constitue une charge terminale fortement désadaptée. Cette désadaptation introduit une pente sur la composante quadripolaire de la tension accélératrice (figure 21).

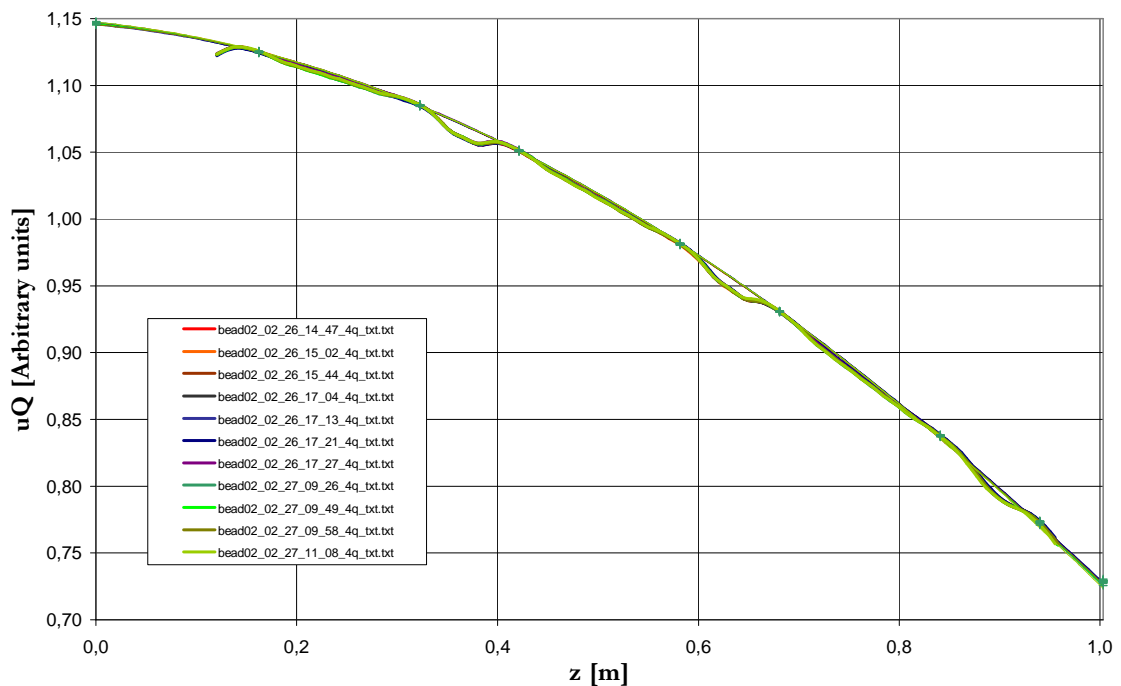


figure 21 : distribution longitudinale de la composante quadripolaire de la tension accélératrice avec aucun, un unique ou 3 ports de pompage dans le quadrant 1

Les surfaces affleurantes d'obturation des orifices des pistons d'accord étant légèrement en retrait par rapport à la surface interne, on observe des diminutions locales de la composante quadripolaire en face de chacun de ces dispositifs.

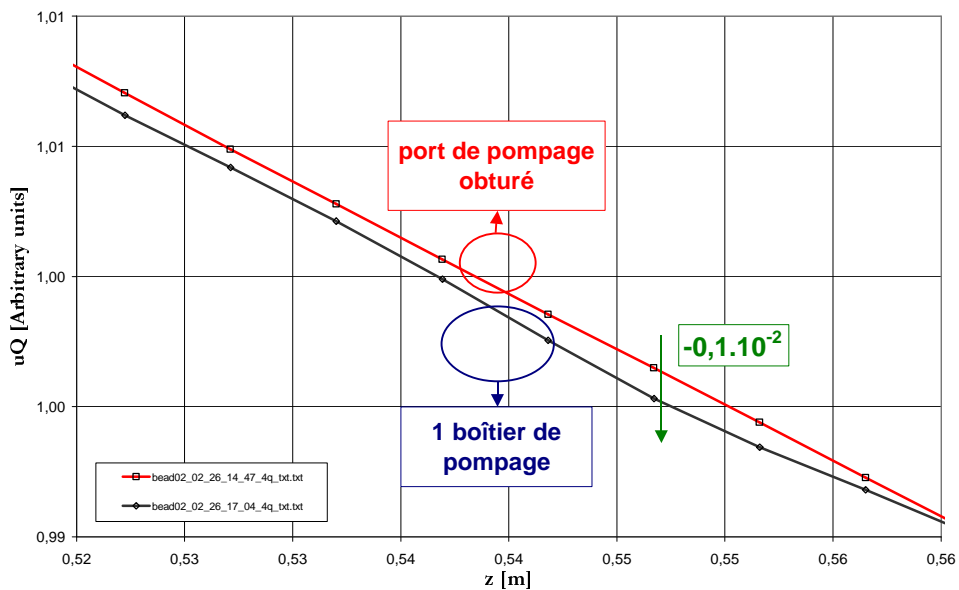
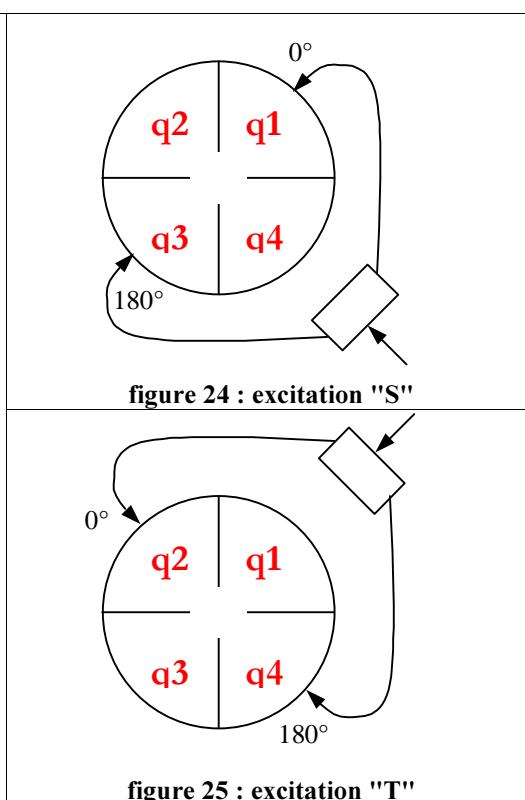
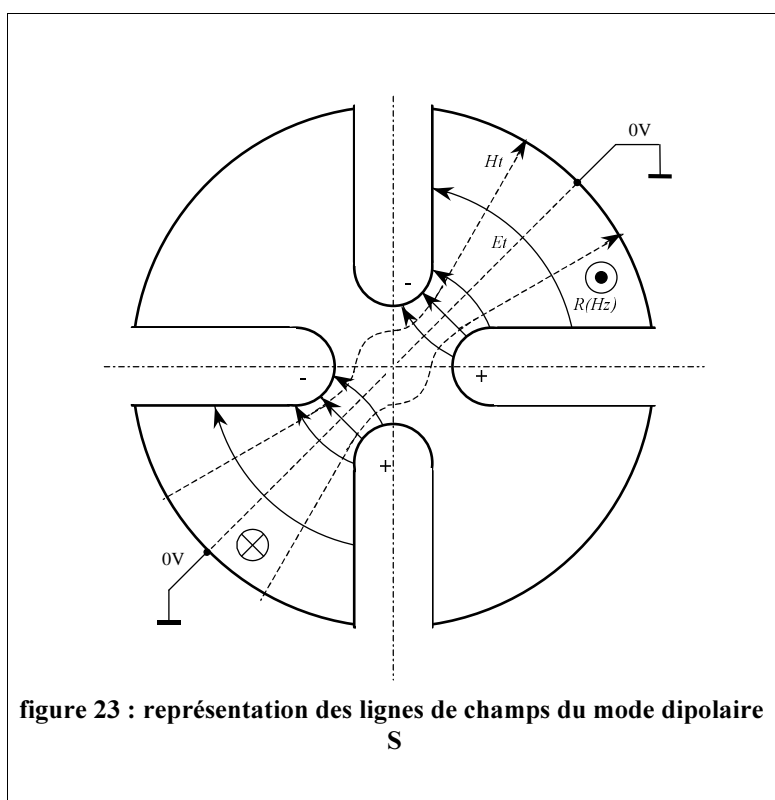


figure 22 : variation locale de la composante quadripolaire introduite par le boîtier de pompage

L'ajout de un puis de 3 boîtiers de pompage dans le quadrant 1 n'a pas notablement modifié la composante uQ de la tension (figure 17).

4.2 Composantes dipolaires



Les ports de pompage ont été installés dans le quadrant 1 : ils doivent donc au premier ordre déséquilibrer la composante dipolaire "S" (figure 23 et figure 24) et ne pas modifier la composante "T" (figure 25).

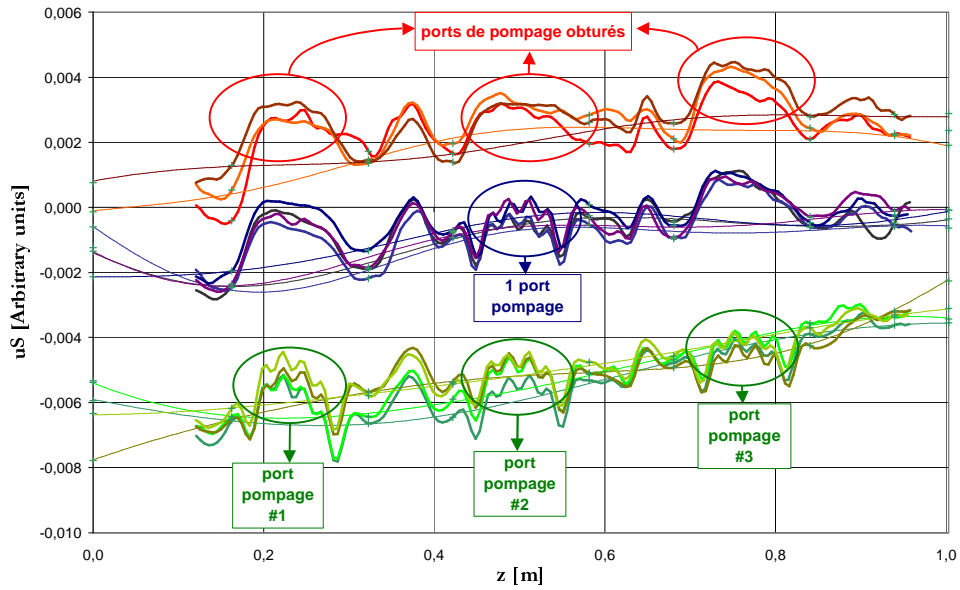


figure 26 : distribution longitudinale de la composante dipolaire uS de la tension accélératrice du tronçon de RFQ avec aucun, un unique ou 3 ports de pompage dans le quadrant 1

Sans boîtier de pompage, les composantes dipolaires de la tension accélératrice (figure 26 et figure 27) :

- 1- ont une amplitude crête-à-crête toujours inférieures à $4 \cdot 10^{-3}$,
- 2- ont une amplitude moyenne de l'ordre de $2 \cdot 10^{-3}$,
- 3- sont nettement inférieures $\pm 10^{-2}$ par rapport à la composante quadripolaire (qui est en moyenne égale à 1).

Ce tronçon présente donc un équilibre mécanique transverse excellent sur toute sa longueur. Selon le critère de réglage de leur présence au sein de la tension accélératrice, les composantes dipolaires seraient déjà réglées. A titre de comparaison, la maquette de RFQ équipée des électrodes à profil réel présentait au moins $10 \cdot 10^{-2}$ de composantes dipolaires au sein de la tension accélératrice.

L'ajout de boîtiers de pompage a modifié la composante dipolaire uS (figure 26). La variation augmente avec le nombre de boîtiers. Si on avait simultanément ajouté des ports de pompage dans le quadrant 3 opposé au 1, uS n'aurait pas été modifiée.

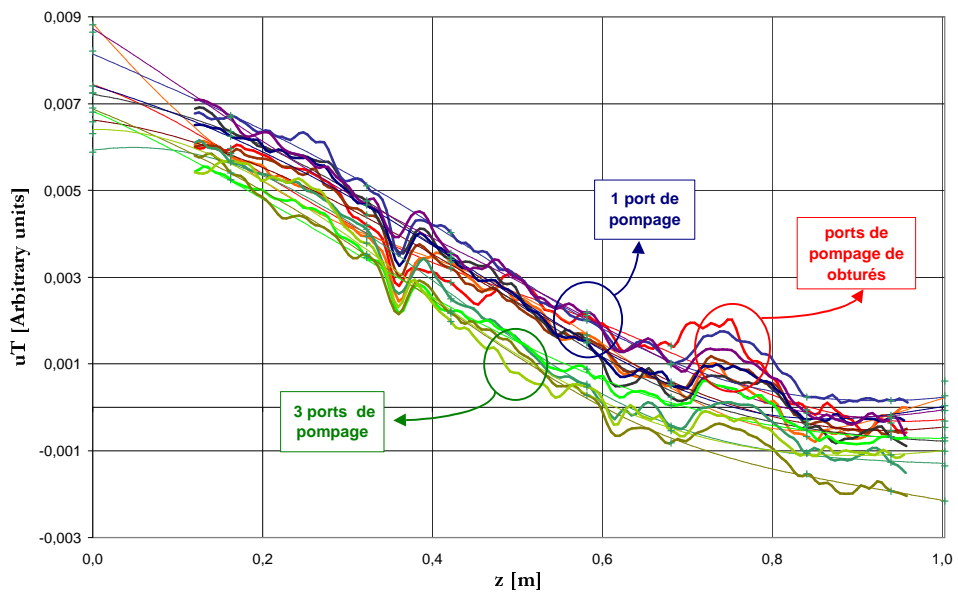


figure 27 : distribution longitudinale de la composante dipolaire uT de la tension accélératrice du tronçon de RFQ avec aucun, un unique ou 3 ports de pompage dans le quadrant 1

On commence à distinguer une variation de la composante dipolaire uT à partir de l'installation des 3 boîtiers de pompage (figure 27): on retrouve ici un effet de second ordre.

5 Distributions longitudinales des défauts capacitifs

Nous avons évalué les distributions longitudinales des défauts transverses estimées à partir des mesures par perturbation.

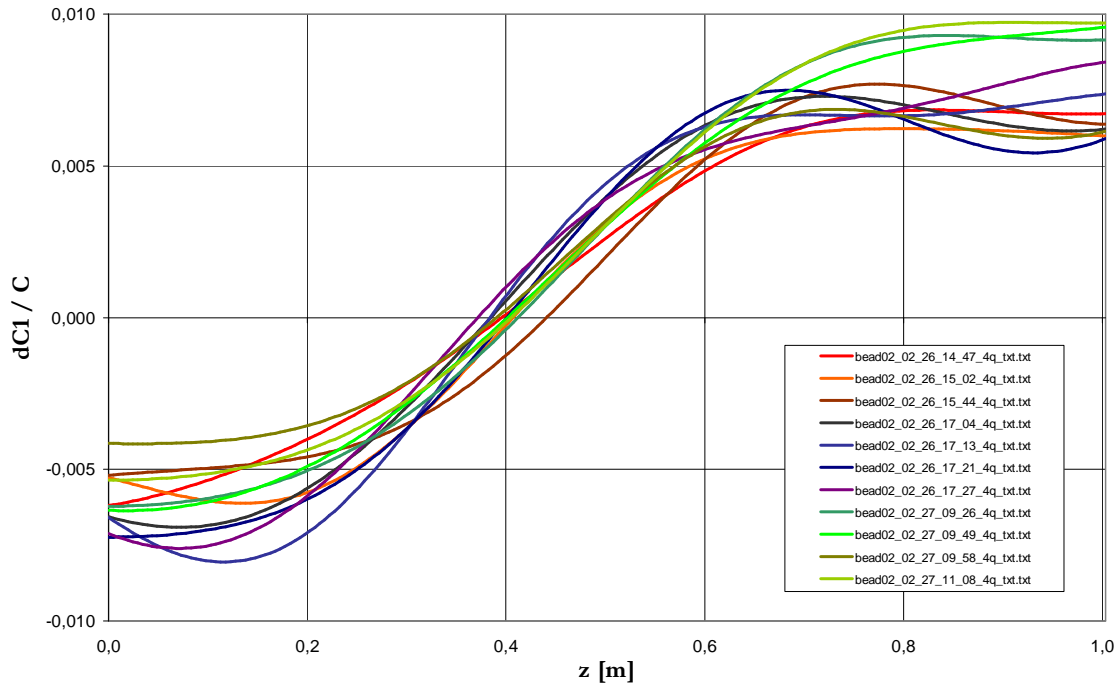


figure 28 : distribution longitudinale des défauts relatifs de la capacité équivalente du quadrant 1

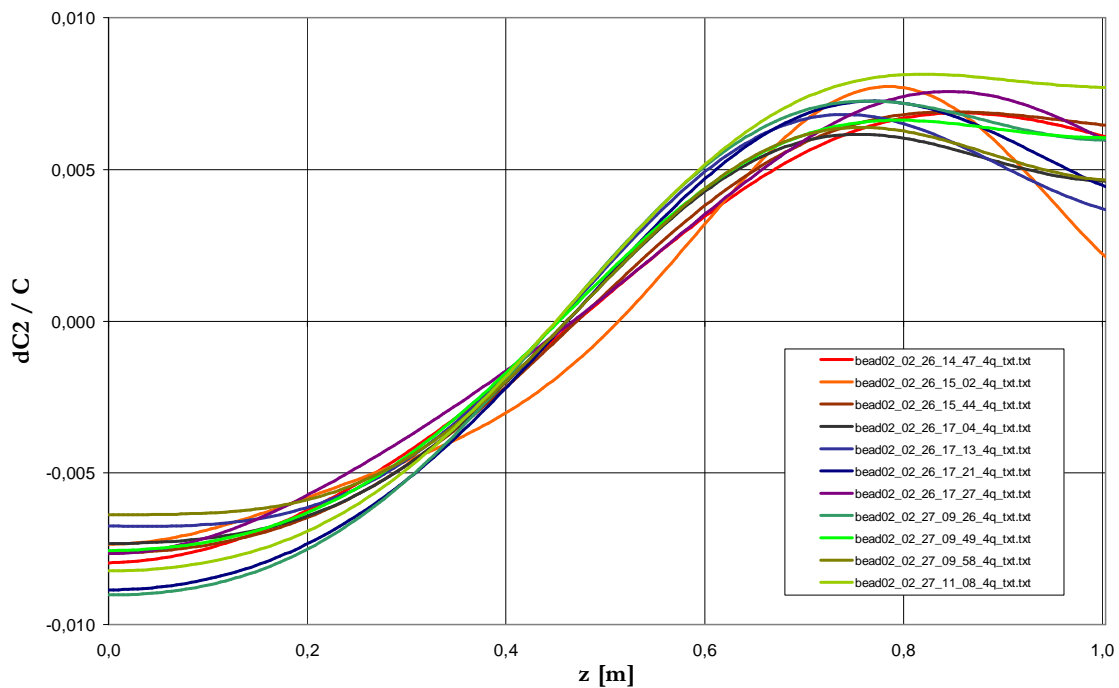


figure 29 : distribution longitudinale des défauts relatifs de la capacité équivalente du quadrant 2

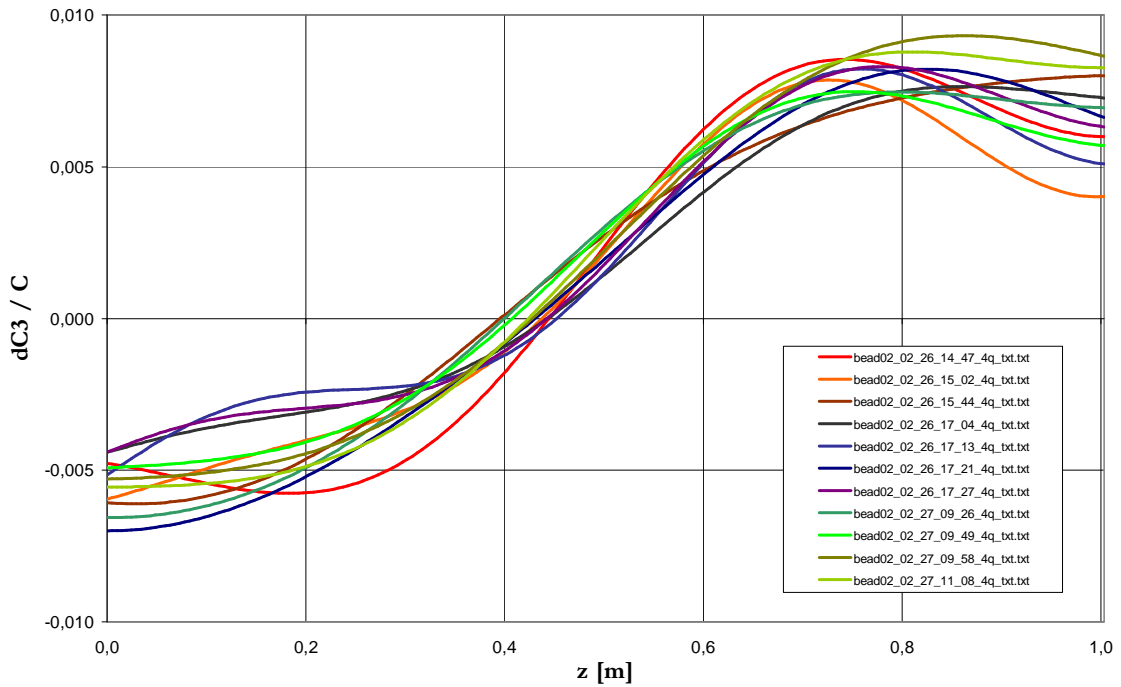


figure 30 : distribution longitudinale des défauts relatifs de la capacité équivalente du quadrant 3

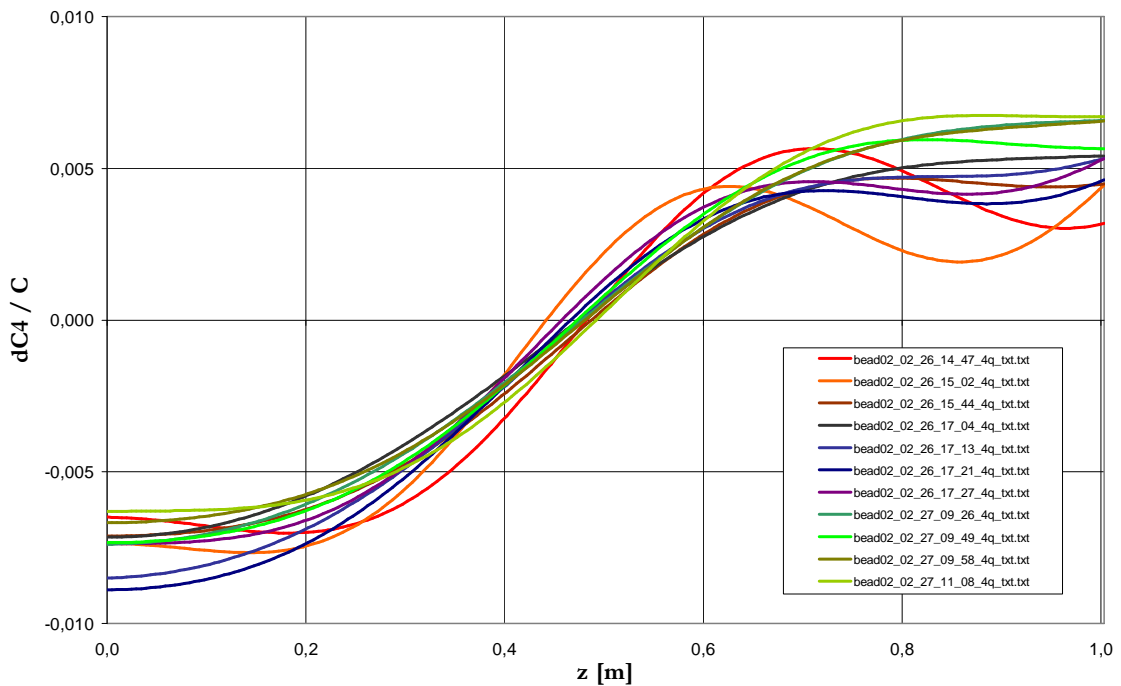


figure 31 : distribution longitudinale des défauts relatifs de la capacité équivalente du quadrant 4

Pour l'ensemble des quadrants les écarts relatifs des capacités par rapport au nominal sont inférieurs à $\pm 10^{-2}$. Rappelons que dans le cadre de cette estimation, on fait l'hypothèse que tous les défauts sont localisés dans la région centrale délimitée par l'extrémité des électrodes. Ces valeurs majorent les erreurs relatives des capacités qu'on peut relier à des déséquilibres de distances entre les extrémités des électrodes. Ce diagnostic RF confirme donc le très bon équilibre mécanique de ce tronçon que le capteur "tridimensionnel" a mesuré.

6 Conclusion

- Des tests radiofréquences ont permis de caractériser le premier tronçon de RFQ du projet IPHI avant les usinages de finition et le brasage.
- Le banc de mesure par perturbation a été transporté sur le site de SICN à Veurey/Voroise et installé près du tronçon de RFQ dans un local climatisé. Il a permis de mesurer les profils de tensions dans différentes configurations mécaniques en des temps très courts.
- Les mesures électromagnétiques ont diagnostiqué un excellent équilibre transverse mécanique : les composantes dipolaires de la tension du mode accélérateur sont inférieures à $\pm 10^{-2}$ de la composante quadripolaire. Ce diagnostic électromagnétique est en parfait accord avec les mesures mécaniques tridimensionnelles.
- Un quadrant du tronçon a été équipé d'un puis de 3 boîtiers de pompage. La perturbation locale de la composante quadripolaire de la tension accélératrice due aux ouïes de pompage est de l'ordre de 10^{-4} . La fréquence de résonance du mode accélérateur est très faiblement modifiée par l'ajout des boîtiers de pompage.
- Les distributions longitudinales des défauts capacitifs des quadrants sont inférieures à $\pm 10^{-2}$. Ce diagnostic confirme le très bon équilibre transverse entre les extrémités des électrodes sur toute la longueur de ce tronçon.
- Ces mesures seront répétées sur le tronçon de RFQ équipé de l'ensemble des boîtiers de pompage et retouché, avant qu'il ne subisse le brasage.