



HAL
open science

Mesure de tension dans la maquette du DTL d'IPHI au CERN

P.E. Bernaudin, E. Froidefond, M. Fruneau, D. Marchand

► **To cite this version:**

P.E. Bernaudin, E. Froidefond, M. Fruneau, D. Marchand. Mesure de tension dans la maquette du DTL d'IPHI au CERN. 2003. in2p3-00022314

HAL Id: in2p3-00022314

<http://hal.in2p3.fr/in2p3-00022314>

Preprint submitted on 7 May 2003

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Mesure de tension dans la maquette du DTL d'IPHI au CERN

P.E. Bernaudin^a, E. Froidefond^b, M. Fruneau^b, D. Marchand^b

Rapport interne LPSC 03.05

a - CEA/DSM/DAPNIA/SEA, Saclay.

b - Laboratoire de Physique Subatomique et de Cosmologie, IN2P3/CNRS, Grenoble.

1. Principe

La maquette de DTL (Drift Tube Linac) de IPHI est constituée d'un corps cylindrique cuivré, de tubes de glissements horizontaux en cuivre maintenus par des tubes de cuivre verticaux. Cette maquette doit accepter un signal de 350 Mhz avec une puissance crête de $P_{crête} = 60$ kW.

La tension crête $U_{crête}$ atteinte entre deux tubes de glissement ne peut être mesurée directement sans perturber le champ. Lorsque des électrons de surface sont arrachés et accélérés (émission par effet de champ), ils émettent un rayonnement de bremsstrahlung lors de leur ralentissement, s'étalant jusqu'à l'énergie maximum E_0 . Cette énergie E_0 correspond à la tension crête entre deux tubes de glissement. Le spectre en énergie présente un front rectiligne (cf. figure 3), dont le prolongement vers l'axe des abscisses donne E_0 .

La mesure de ce spectre avec une précision suffisante (de l'ordre du keV) nécessite l'emploi d'un détecteur à jonction de germanium dont la résolution peut atteindre 0,9 keV. Celui-ci est refroidi à l'azote liquide, ce qui nécessite une maintenance régulière car la jonction ne doit jamais se réchauffer lorsqu'elle est sous tension (-2,5 kV).

2. Précautions de mode opératoire

2.1. Refroidissement

La grande longueur (plus de trois mètres) de tuyau entre le réservoir d'azote et l'entrée du Dewar provoque une chute importante de la pression d'alimentation. Dans ce cas elle peut être portée à 0,6 bar sans créer de surpression sur la jonction, ni de bouchon de glace. Si la pression est maintenue au-dessous de 0,5 bar, plus de 50 litres d'azote liquide sont nécessaires à la mise en froid.

2.2. Alimentation électrique

Lors des mesures au CERN, les premiers spectres étaient très perturbés par les signaux transitant sur le secteur provenant de l'alimentation HT de la RF, et de ce fait inexploitable. L'interposition d'un transformateur d'isolement ne change rien à la situation. Ces perturbations ne sont éliminées que lorsque l'amplificateur du détecteur est alimenté par un secteur séparé. Une fois ce changement réalisé, le transformateur est laissé en place.



Figure 1: Installation du détecteur à jonction germanium "Béatrice" auprès de la maquette de DTL du projet IPHI.

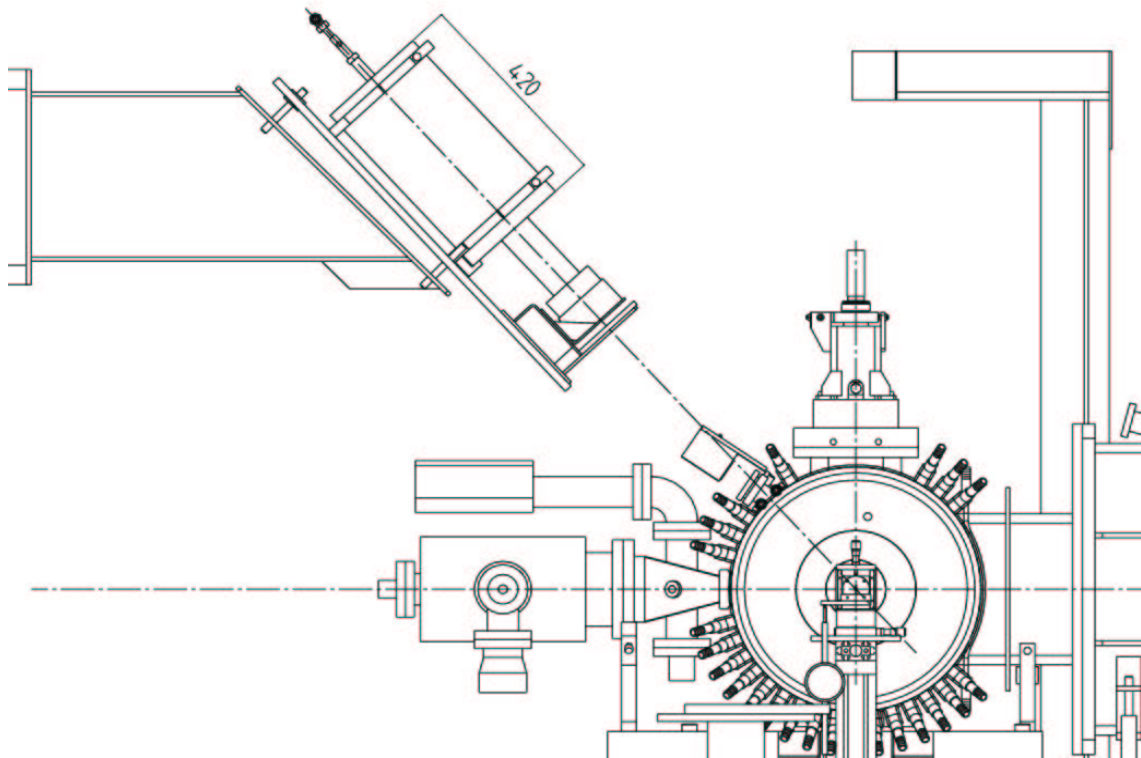


Figure 2: Schéma d'implantation du détecteur germanium auprès de la maquette du DTL

2.3. Empilement

Si le détecteur reçoit un nombre d'impulsions trop grand par rapport à sa capacité de traitement, celles-ci sont « empilées » c'est-à-dire qu'elles s'ajoutent. Le programme d'acquisition affiche un paramètre appelé « temps mort », fonction de l'empilement. Le spectre tend à s'étaler et la pente du front s'incurve, jusqu'à rendre la détermination de E_0 impossible. Le nombre d'impulsions arrivant sur la jonction diminue soit en l'éloignant de la source, soit en atténuant une partie du rayonnement avec une fenêtre de plomb. Dans notre cas, l'éloignement n'est pas envisageable, l'espace disponible autour de la maquette étant très limité. Le détecteur est à une distance fixe de l'axe de la maquette d'environ 90 cm. Des plaquettes de différentes épaisseurs ou des briquettes de plomb sont disposées devant la jonction, en laissant une fente plus ou moins large. Ceci peut créer un autre problème : une partie des photons, en diffusant dans le plomb, diminuent leur énergie et génèrent un rayonnement de bremsstrahlung parasite. Le décalage du spectre ainsi engendré n'est gênant que lorsque la fenêtre est très mince et l'épaisseur de plomb importante (mesure à 43kW).

2.4. La calibration

Le rayonnement mesuré se situe dans l'intervalle 50-150 keV. La jonction est calibrée avec des sources présentant des pics énergétiques importants dans cette région. Leurs caractéristiques sont regroupées dans le tableau ci-dessous.

Source	E_γ (keV)	I_γ (%)
^{133}Ba	80,9971	34,11
	276,3997	7,147
	302,8510	18,30
	356,0134	61,94
	383,8480	8,905

<i>Source</i>	<i>E_γ (keV)</i>	<i>I_γ (%)</i>
¹⁵² Eu	121,7817	28,37
	244,6975	7,53
	344,2785	26,57

Les pics d'énergie supérieure à 200 keV sont nécessaires à l'obtention d'une bonne calibration, car ils permettent de s'affranchir d'un effet de « balancier » sur la droite d'étalonnage (intervalle d'énergie trop faible avec les pics à environ 81 et 122 keV). Lors des mesures au CERN, la résolution était de 0,9 keV.

3. Mesures de champ électrique sur la maquette

3.1. Intensité du rayonnement

A faible puissance HF, la mesure ne nécessite pas de fenêtre de plomb (pas de blindage), le rayonnement émis étant faible. Les claquages qui apparaissent à forte puissance crête (31 et 43 kW) sont éliminés en baissant le cycle utile jusqu'à 4%, alors qu'il est de 20% à faible puissance. Il faut malgré tout augmenter la quantité de plomb afin de diminuer l'empilement, car le nombre de photons par impulsion est toujours trop grand. L'arrondi demeure important, le réglage de la taille de la fenêtre étant approximatif et les acquisitions limitées dans le temps (cf. figure 3).

3.2. Analyse des spectres

La comparaison des spectres normalisés (cf. figure 4) permet de distinguer immédiatement la mesure de plus grande puissance crête (43 kW). Elle se caractérise par un fort décalage de son maximum et un front de spectre très incurvé. Ceci est dû à un empilement très important, et un effet non négligeable de la diffusion dans le plomb. Cet aspect du front rend impossible la détermination d'une droite de régression, et le point est rejeté pour l'analyse. Pour cette mesure, la fente entre les briquettes de plomb était réduite à l'épaisseur d'une feuille de papier.

Les cinq autres points présentent un front de spectre net, mais les queues, apparaissant pour les grandes puissances crête (26, 31 et 43 kW) dégradent la précision sur la valeur de tension crête U . Malgré cela la droite de régression du front est évaluée sur un intervalle d'énergie déterminé « à la main » (règle et crayon). Les points obtenus sont reportés sur le graphe de la figure 5. L'évaluation graphique de l'erreur sur chaque point (en tentant de trouver les droites « extrêmes ») donne au maximum $\Delta V = \pm 3\text{kV}$.

<i>P (kW)</i>	<i>T (μs)</i>	<i>f (Hz)</i>	<i>Cycle utile (%)</i>	<i>Blindage plomb</i>	<i>U_{RX} (kV)</i>	<i>Coefficient de corrélation¹</i>
8	8000	250	20	Néant	57,3	0,988
16	500	250	12,5	Plaquettes 1cm	79,1	0,999
21	400	250	10	Briquettes	89,9	0,998
26	400	250	10	Briquettes	99,5	0,999
31	400	100	4	Briquettes	111,2	0,998
43	400	100	4	Briquettes	109,4	-

Les coefficients de corrélations indiquent la qualité de l'ajustement entre la droite de régression et les points du front de spectre sur l'intervalle choisi. Le premier point (8 kW) est un peu moins bon

1 Définition du coefficient corrélation : $R = \frac{\text{cov}(x, y)}{\sigma_x \sigma_y} = \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i y_i - \bar{x} \bar{y} \right) / \left(\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2} \right)$

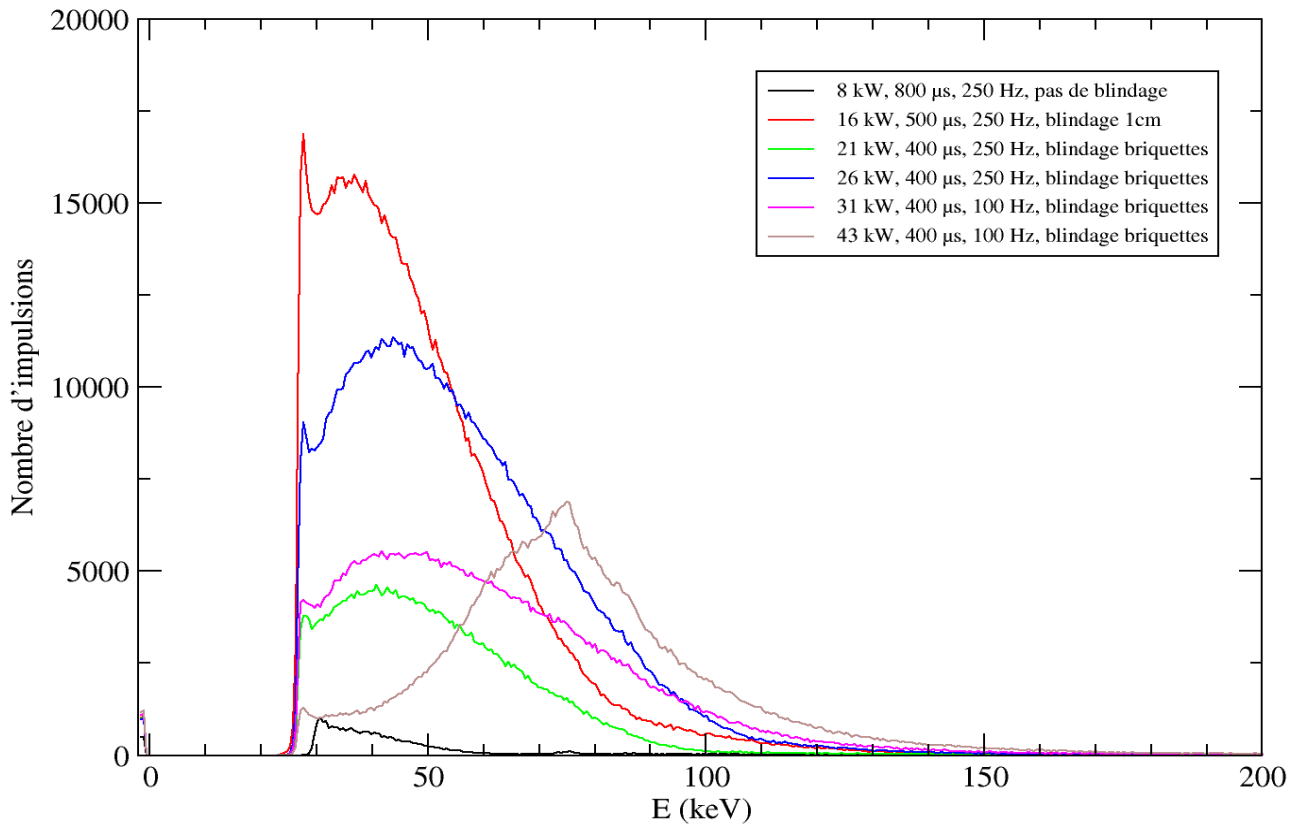


Figure 3: Spectres obtenus avec le détecteur à jonction germanium "Béatrice".

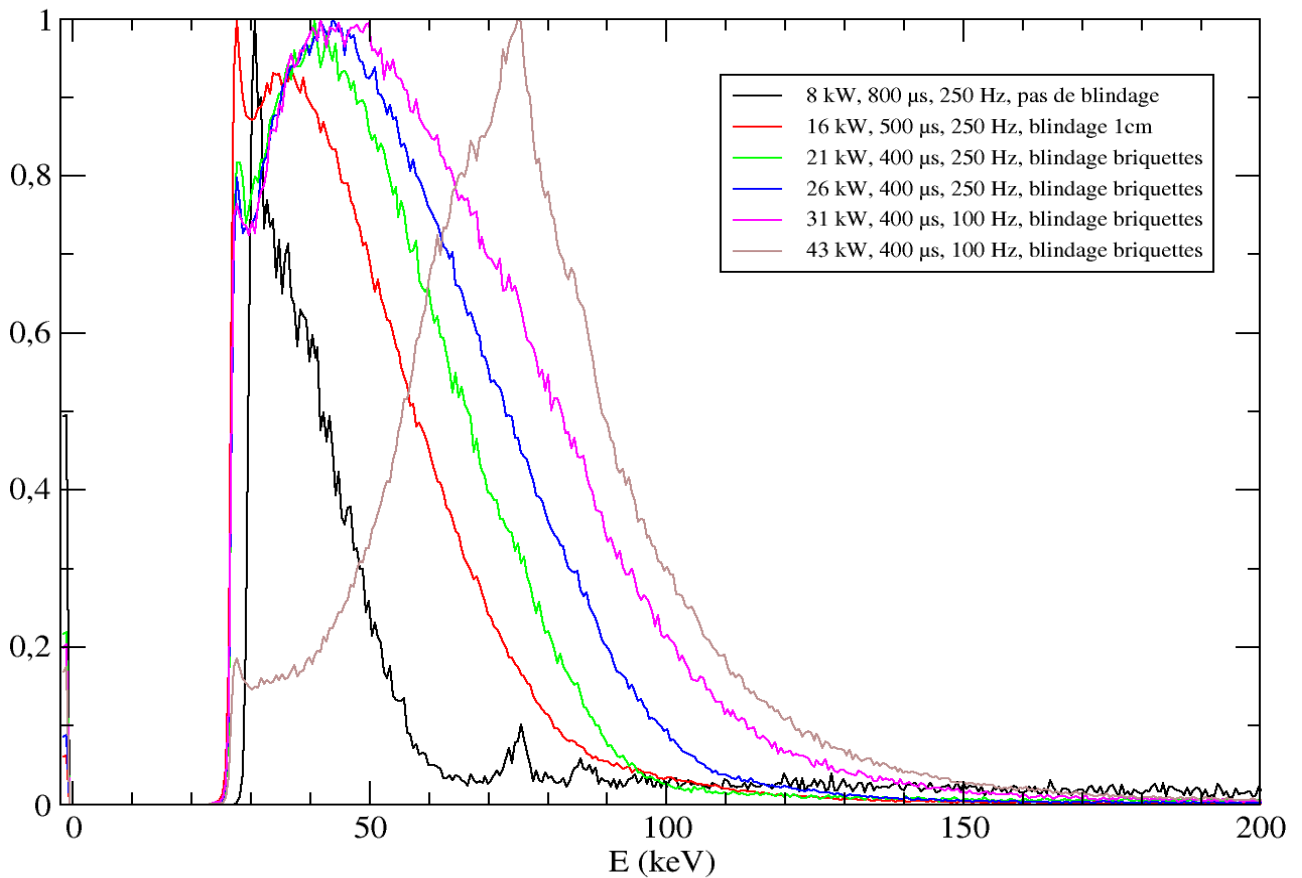


Figure 4: Spectres normalisés en intensité par rapport à leur maximum.

que les suivants car le premier spectre bénéficie d'une statistique moins grande. Le dernier point n'étant pas utilisé dans l'évaluation de la relation entre la tension crête et la puissance crête, le coefficient de corrélation n'apporte aucune information supplémentaire.

Tension crête $U_{crête}$ et énergie E_0 étant directement égales en valeur, le graphe de la figure 4 représente $U_{crête}$ en ordonnée. $U_{crête}$ est directement déduite de l'intersection de la droite de régression du front de spectre avec l'axe des énergies. $U_{crête}$ est proportionnelle à la racine carrée de la puissance crête $\sqrt{P_{crête}}$. Le coefficient de corrélation (cf. figure 5) montre que les points sont très bien alignés sur une droite.

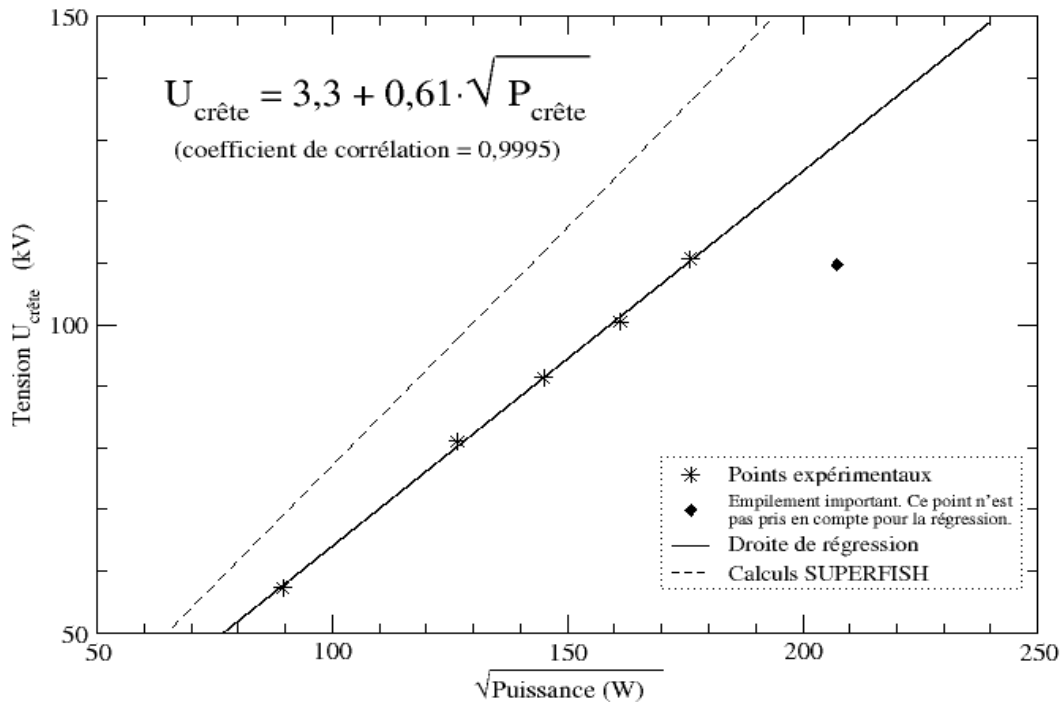


Figure 5: Tensions crêtes déduites des spectres pour les 6 valeurs de puissance crête utilisées (8, 16, 21, 26, 31 et 43 kW).

La relation expérimentale entre $U_{crête}$ et $P_{crête}$ respecte l'aspect linéaire de la relation théorique avec une très bonne précision (coefficient de corrélation à 0,9995). Par contre l'ordonnée à l'origine montre l'erreur commise dans l'appréciation des droites de front de spectre. En effet les droites d'ajustement « extrêmes » de chaque front de spectre montrent qu'une erreur de ± 3 kV peut intervenir sur la valeur de $U_{crête}$. Cette incertitude résulte d'un taux d'empilement non négligeable dans chacun des spectres, et de la possible modification de la distance inter-tubes due à la déformation d'un des tubes et à des échauffements.

La droite déduite des calculs SUPERFISH [1] donne une pente de 0,77 au lieu de 0,61 (cf. figure 5).

Le tableau ci-dessous montre que le rapport entre la tension mesurée et la tension calculée ne varie que de 1% ($\sigma = 0,012$) autour d'une valeur moyenne de 1,224.

P (kW)	$U_{SUPERFISH}$ (kV)	U_{mesure} (kV)	$U_{mesure}/U_{SUPERFISH}$
8	69,1	57,29	1,21
16	97,72	81,09	1,21
21	111,96	91,39	1,23
26	124,58	100,47	1,24
31	136,03	110,63	1,23

La puissance crête dépend de la racine carrée du coefficient de qualité de la cavité. Ce rapport 1,22 doit donc se retrouver dans le rapport des coefficients de qualité mesuré et calculé. Ils ont pour

valeur $Q_{mesure} = 36600$ [2] et $Q_{SUPERFISH} = 24662$ ([1]), ce qui donne :

$$\sqrt{\frac{Q_{mesure}}{Q_{SUPERFISH}}} = 1,22$$

Cette différence entre les coefficients de qualité résulte des caractéristiques géométriques réelles de la cavité, non prises en compte dans les calculs : les stems, les orifices prévus (fenêtre du signal RF, pompage, hublots de mesure), les gorges de joint.

4. Conclusion

La mesure du rayonnement X émis à l'intérieur de la maquette du DTL de IPHI a permis de déterminer avec une bonne précision la tension crête $U_{crête}$ atteinte entre deux tubes de glissements. En effet, l'accord avec la mesure du coefficient est à mieux que 1% en considérant la valeur du rapport des coefficients de qualité et celui des tensions crêtes (1,22).

La mise en oeuvre d'un détecteur de rayons X de grande précision (à jonction de germanium) a permis de mesurer les tensions sans intervention dans la cavité. La principale limitation réside dans la possibilité de réduire le taux d'empilement des impulsions de photon. L'influence de l'empilement ne peut pas être réellement quantifiée. La seule indication fournie par le programme d'acquisition est un « temps mort », calculé avec une résolution en temps de 4 microsecondes. L'empilement constitue un sérieux obstacle aux mesures à forte puissance crête dans la configuration actuelle de l'installation de la maquette au CERN (impossibilité d'éloigner le détecteur). La dégradation du front du spectre par un taux d'empilement trop grand, rend l'exploitation directe du spectre impossible (voir la mesure à 43 kW).

Par contre, même avec un taux de comptage faible, si le taux d'empilement reste négligeable, l'exploitation du spectre demeure possible.

Remerciements

L'équipe de test de la maquette tient à remercier le groupe « Structure Nucléaire » du LPSC pour le prêt du détecteur à jonction de germanium et sa disponibilité lors des essais au LPSC, et le service « Hygiène et Sécurité » (William Regairaz) du LPSC pour le prêt du système d'acquisition.

Bibliographie

- [1] D. Uriot, La maquette du DTL d'IPHI, CEA/DSM/DAPNIA/SEA/IPHI 99/49, juin 1999
- [2] Correspondance privée.

Emission par effet de champ

- [3] B. Bonin, « Field emission in RF cavities », CERN Accelerator School 1995, 96-03, p. 221-230
- [4] J. W. Wang & G. A. Loew, « Field emission and RF breakdown in high-gradient room-temperature linac structures », SLAC-PUB-7684, Octobre 1997.
- [5] M. Jimenez et al., « Electron fiels emission from large-area cathodes : evidence for the projection model », J. Phys. D : Appl. Phys., 27 (1994), p. 1038-1045.
- [6] J. Tan et al., « Radiofrequency field emission studies. 1 : Design of a microwave cavity », J. Phys D : Appl. Phys, 27 (1994), p. 2644-2653.
- [7] M. Luong et al., « A comparison of enhanced field emission from broad surfaces in direct current and radiofrequency regime », J. Phys. D : Appl. Phys., 30 (1997), p. 1248-1251.
- [8] J. Broere et al., « High power conditioning of the 202 Mhz IH tank 2 at the CERN Linac 3 », CERN report PS-98-050-FR (1998).

Mesures de haute tension par rayons X

- [9] P. Miller & E. Kashy, « Absolute calibration of Dee voltage by X-ray endpoint », Proc. 7th Int. Conf. on Cyclotrons and their applications (Birkhäuser, Basel, 1975), p. 171-174.
- [10] S. Nagamachi & M. Kondo, « Dee voltage calibration », RCNP report (Osaka, 1977).
- [11] G. O. Bolme et al., « Measurement of RF accelerator cavity field levels at power from X-ray emissions », Proceedings of the 1990 Linear Accelerator Conference (Albuquerque, 10-14 Sept. 1990), LA-12004-C, p. 219-222.
- [12] M. Di Giacomo et al., « Etalonnage des tensions HF de CIME par la méthode de rayons X », GANIL, rapport interne S 00 02 (2000).