

## MESURES SUR LE REFROIDISSEMENT STOCHASTIQUE DE LEAR

F. Caspers, M. Chanel, J.C. Perrier, E. Roux, J.L. Sanchez

### Les conditions

- Faisceau dégroupé sur le flat-top à 609 MeV/c,  $N = 12 \times 10^9$  protons,
- Dispersion en fréquence  $(\Delta f/f)_{2\sigma} \cong 10^{-3}$ ,
- Equilibre entre forces de refroidissement et forces de chauffage du faisceau (frottement interne, résonances...).

### Les mesures

Le but est de mesurer l'optimisation du refroidissement dans les plans transversaux en comparant trois méthodes et la théorie.

1. La mesure de l'atténuation du signal Schottky lorsque le système de refroidissement est enclenché; mesure du signal sur le sommet de la distribution, mesure du bruit à l'écart de la distribution des particules boucle ouverte et boucle fermée, calcul de la densité spectrale du signal faisceau, suppression du bruit, calcul du rapport signal/bruit et atténuation en dB ( $10 \text{ Log}[\text{rapport des densités spectrales boucle ouverte et fermée}]$ ), ceci pour plusieurs bandes latérales espacées sur la bande passante du système (voir tableaux 1 et 2 et figures 1 et 2).
2. La mesure de l'atténuation du signal Schottky lorsque le système de refroidissement est enclenché; mesure du signal avec intégration du signal, mesure du bruit à l'écart de la distribution des particules boucle ouverte et boucle fermée, calcul de la densité spectrale du signal de faisceau, suppression du bruit, intégration, calcul du rapport signal/bruit et l'atténuation en dB ( $10 \text{ Log}[\text{rapport des intégrales signal boucle ouverte et fermée}]$ ), ceci pour plusieurs bandes latérales espacées sur la bande passante du système (voir tableau 3 et figures 3 et 4).
3. La mesure de la fonction de transfert du faisceau (BTF) avec un analyseur de réseau digital, ce qui permet de mesurer sur le sommet de toutes les bandes latérales en une seule fois. Cette mesure ( $S$ ) est reliée à l'atténuation ( $T$ ) par la relation  $T = 1/(1+S)$ . La réponse BTF  $S$  est donnée en dB par  $S_{dB} = 20 \text{ Log } S_{lin}$ , de même  $T_{dB} = 20 \text{ Log } T_{lin}$  (voir tableau 4 et figures 3 et 4).

### Les résultats

1. Les figures 3 et 4 montrent les comparaisons des différentes mesures d'atténuation. Il y a une bonne correspondance de la forme en fonction de la fréquence entre les mesures BTF et densité spectrale, prises toutes les deux sur le sommet de la distribution. En vertical, les deux mesures n'ont pas été prises avec le même gain global du système (différence 3 dB). L'atténuation mesurée par l'intégrale souffre, vers les hautes fréquences, d'une erreur due au recouvrement partiel de la bande latérale avec le signal de mode commun et ne peut donc pas être considérée comme fiable.

2. En utilisant les mesures de signal/bruit (tableaux 1 et 2) et la théorie simplifiée du refroidissement stochastique (D. Möhl, CAS Oxford, CERN 87-03, p. 533), il est aisé de calculer la réponse BTF optimale, donc l'atténuation optimale, et de comparer avec les mesures (figures 5 à 9). Nous constatons que l'atténuation et la BTF mesurées sont systématiquement trop élevées aux fréquences comprises entre 100 et 300 MHz et trop faibles aux fréquences plus élevées. La figure 10 montre les changements de gain à appliquer en fonction de la fréquence sur les deux systèmes. La forme déjà appliquée (environ 10 dB/décade) est à augmenter à environ 20 dB/décade : voir confirmation par théorie (M. Chanel : publication en cours).
3. La mesure du rapport signal/bruit (les tableaux 1, 2, 3 et les figures 11 et 12 indiquent qu'à cette quantité de mouvement, ce rapport est encore très bon, même aux conditions d'équilibre entre refroidissement et frottement interne.

Mesures prises en décembre 1993.

Tableau1: Mesure dans le plan Horizontal, sommet de la bande latérale								
Bande latérale No	Freq. (MHz)	Noise	Signal cooling off	Signal cooling on	densité spectrale cooling off	densité spectrale cooling on	Atténuation de densité spectrale	S/N local
10	2.08E+01	128	206	194	26052	21252	-0.88441262	1.590088
30	6.23E+01	104	356	240	115920	46784	-3.94061022	10.71746
50	1.04E+02	90	351	211	115101	36421	-4.99727231	14.21
70	1.45E+02	81	321	193	96480	30688	-4.97468709	14.70508
90	1.87E+02	78	385	203	142141	35125	-6.07103034	23.36308
110	2.29E+02	63	329	167	104272	23920	-6.39406528	26.2716
130	2.70E+02	65	290	152	79875	18879	-6.26431885	18.90533
150	3.12E+02	65	248	141	57279	15656	-5.63314615	13.55716
170	3.53E+02	59	212	125	41463	12144	-5.33298963	11.91123
190	3.95E+02	55	185	113	31200	9744	-5.05417319	10.31405
210	4.36E+02	40	121	95	13041	7425	-2.44614437	8.150625
230	4.78E+02	54	130	102	13984	7488	-2.7126558	4.79561
240	4.99E+02	50	117	93	11189	6149	-2.59986781	4.4756
260	5.40E+02	45	85	75	5200	3600	-1.59700843	2.567901
280	5.82E+02	42	66	62	2592	2080	-0.95571662	1.469388
300	6.23E+02	38	52	51.5	1260	1208.25	-0.18213741	0.872576

tableau 2: Mesure dans le plan Vertical, sommet de la bande latérale								
Bande latérale No	Freq. (MHz)	Noise	Signal cooling off	Signal cooling on	densité spectrale cooling off	densité spectrale cooling on	Atténuation de densité spectrale	S/N local
10	2.08E+01	180	254	223	32116	17329	-2.67947948	0.991235
30	6.23E+01	135	221	181	30616	14536	-3.23503535	1.67989
50	1.04E+02	116	259	196	53625	24960	-3.32122724	3.985211
70	1.45E+02	113	297	204	75440	28847	-4.17501025	5.908059
90	1.87E+02	97	275	186	66216	25187	-4.197865	7.037517
110	2.29E+02	76	202	148	35028	16128	-3.36834826	6.064404
130	2.70E+02	74	207	156	37373	18860	-2.97016272	6.824872
150	3.12E+02	67	150	120	18011	9911	-2.5942035	4.012252
170	3.53E+02	63	143	112	16480	8575	-2.83723079	4.152179
190	3.95E+02	50	126	107	13376	8949	-1.74551752	5.3504
210	4.36E+02	46	78	69	3968	2645	-1.76145987	1.875236
230	4.78E+02	33	61	55	2632	1936	-1.33380532	2.416896
240	4.99E+02	41	73	67	3648	2808	-1.13657726	2.170137
260	5.40E+02	32	53	50	1785	1476	-0.82551863	1.743164
280	5.82E+02	26	35	34	549	480	-0.58331107	0.81213
300	6.23E+02	23	26	26	147	147	0	0.277883

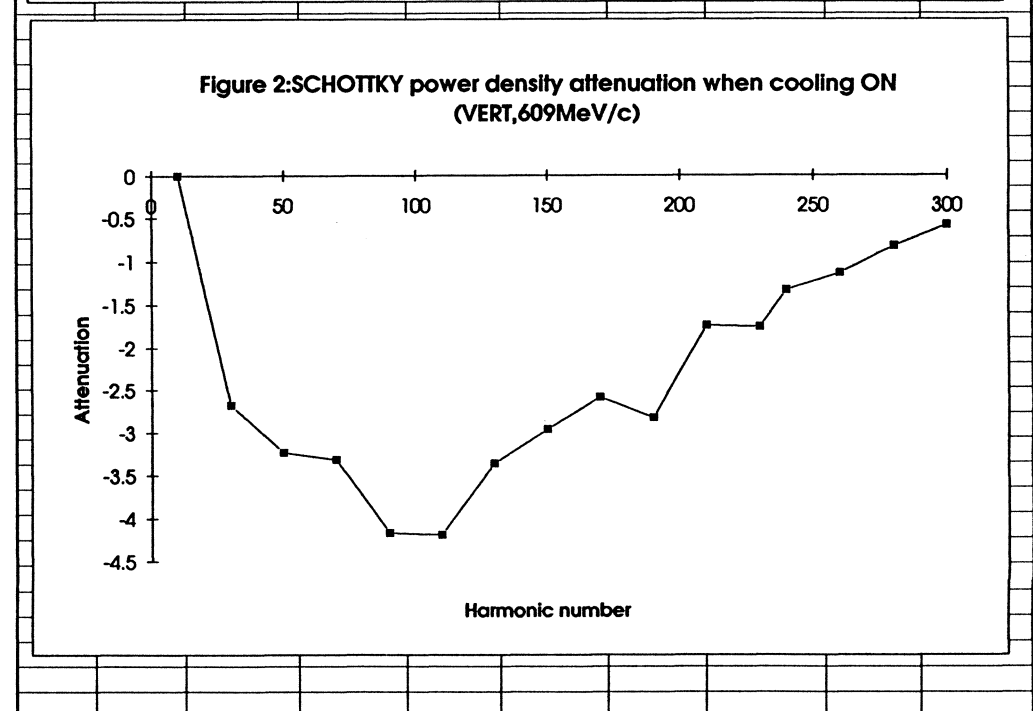
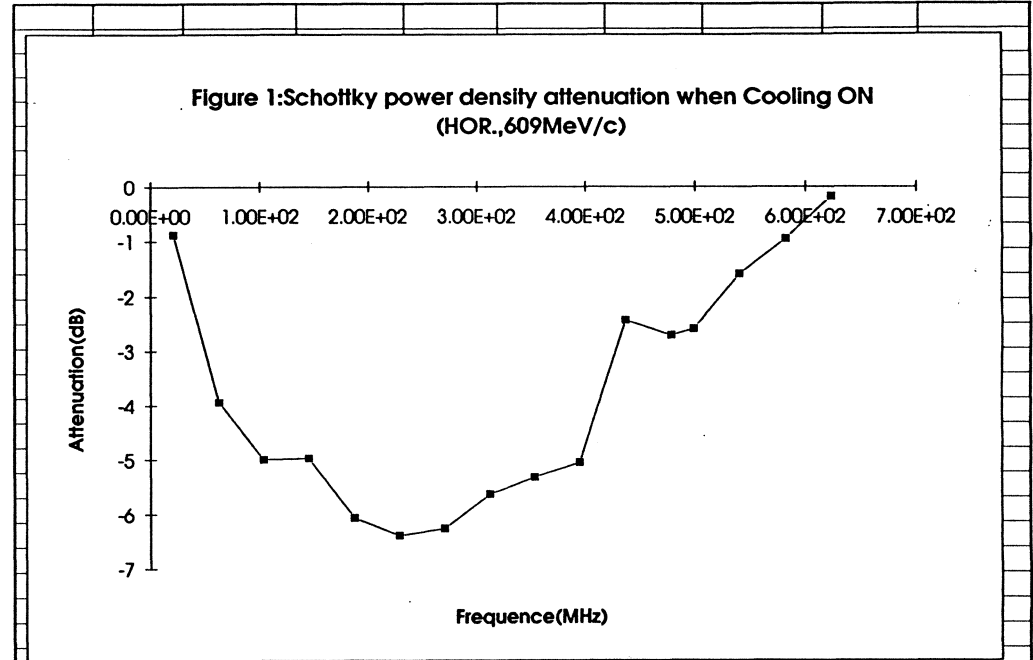


Tableau 3: Mesure bande latérale, intégrale					
Bande latérale No	Freq. (MHz)	Atténuation signal vertical	Atténuation signal horizontal	signal sur bruit vert. (dB)	signal sur bruit hor.(dB)
10	2.08E+01	-1.6	-1.7	-18.38	-14.48
20	4.16E+01	-2.9	-2.7	-15.68	-9.61
30	6.23E+01	-1.8	-3.4	-13.05	-6.36
40	8.31E+01	-1.2	-3.7	-9.77	-4.055
50	1.04E+02	-1.6	-4.1	-6.51	-2.48
60	1.25E+02	-1.7	-4.3	-4.68	-0.84
70	1.45E+02	-1.8	-4	-3.69	0.135
80	1.66E+02	-2.3	-4	-4.36	0.543
90	1.87E+02	-2	-4.3	-4.4	1.211
100	2.08E+02	-2.1	-4.7	-3.2	2.4
110	2.29E+02	-1.9	-4.5	-2.04	2.67
120	2.49E+02	-2.1	-4.1	-1.13	3.27
130	2.70E+02	-2.5	-4.7	-0.29	3.56
140	2.91E+02	-2.3	-5.1	-1.27	3.005
160	3.32E+02	-2.3	-6.5	-3.08	3.88
170	3.53E+02	-2.2	-6.2	-1.59	3.39
180	3.74E+02	-1.7	-5.4	0.333	3.342
190	3.95E+02	-1.7	-5.1	0.325	3.24
200	4.16E+02	-1.7	-3.3	-1.71	2.79
210	4.36E+02	-1.9	-2.9	-4.44	2.62
230	4.78E+02	-0.6	-3.5	-2.91	-1.12
240	4.99E+02	-0.2	-4.5	-3.25	-3.99

tableau 4: Mesure BTF					
Bande latérale No	Freq. (MHz)	mesure btf horizontale S h	Atténuation déduite T h	mesure btf verticale S v	Atténuation déduite T v
10	2.08E+01	-9	-2.6375896	-7	-3.2074711
30	6.23E+01	-3.3	-4.526386	-3.25	-4.546728
50	1.04E+02	0	-6.0205999	0.7	-6.3776497
70	1.45E+02	1	-6.5349831	1.4	-6.7487761
90	1.87E+02	1.6	-6.8573893	-0.9	-5.5822515
110	2.29E+02	2.1	-7.1339109	0.7	-6.3776497
130	2.70E+02	2.15	-7.1619539	1.4	-6.7487761
150	3.12E+02	2.1	-7.1339109	-0.9	-5.5822515
170	3.53E+02	1	-6.5349831	-1.62	-5.2483135
190	3.95E+02	-1.86	-5.1402927	-1.7	-5.2121241
210	4.36E+02	-6	-3.5286972	-6.5	-3.3649468
230	4.78E+02	-7.9	-2.9394014	-10.7	-2.2235203
240	4.99E+02	-11	-2.1566648	-12.6	-1.8292793
260	5.40E+02	-15	-1.4216371	-15.4	-1.3624133
280	5.82E+02	-19	-0.9236722	-13.9	-0.1734142
300	6.23E+02	-21	-0.7415553	-13	-1.7547208

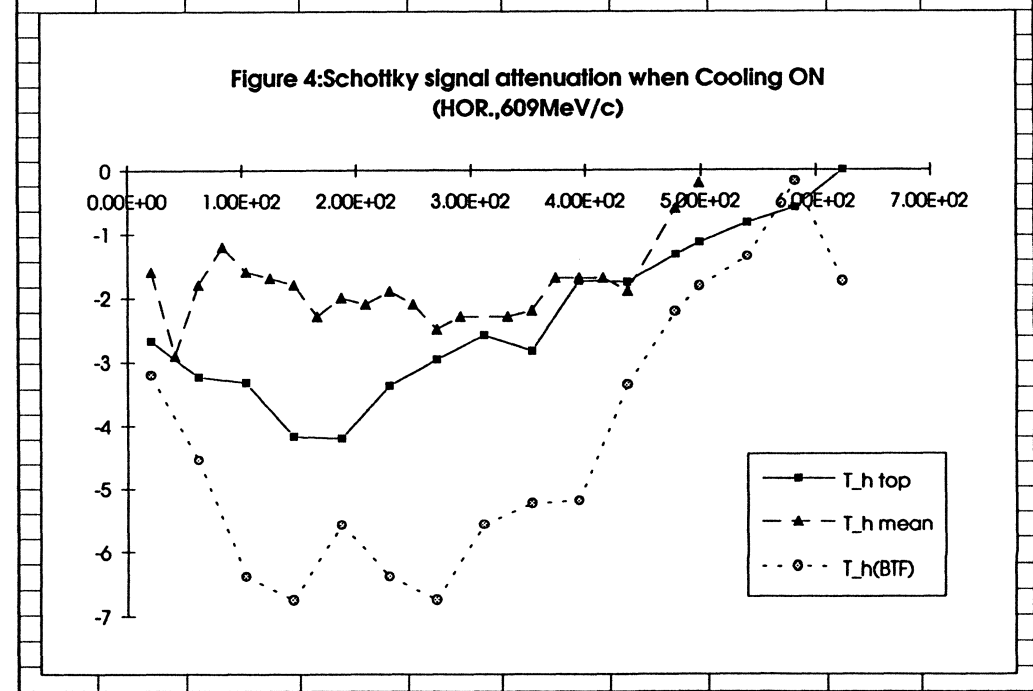
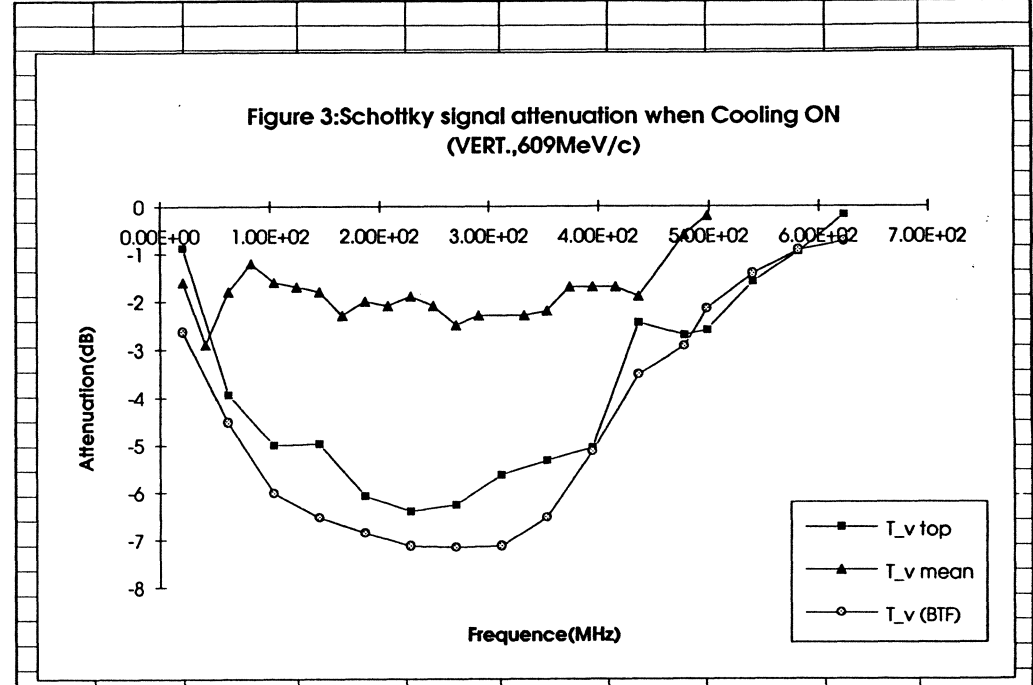


tableau 5: comparaison mesures BTF,Théorie										
Bande latérale No	Freq. (MHz)	Btf mesurée S h	T_h déduite top dist.	Btf mesurée S v	T_v déduite top dist.	T_h théorique	T_v théorique	btf_h théorique	btf_v théorique	
10	2.08E+01	-9	-2.6375896	-7	-3.2074711	-4.02003	-1.91511	-4.6043	-12.15727	
30	6.23E+01	-3.3	-4.526386	-3.25	-4.546728	-5.13692	-3.46079	-1.86755	-6.2050074	
50	1.04E+02	0	-6.0205999	0.7	-6.3776497	-5.42574	-4.10125	-1.23347	-4.386798	
70	1.45E+02	1	-6.5349831	1.4	-6.7487761	-5.54553	-4.42433	-0.97763	-3.5534722	
90	1.87E+02	1.6	-6.8573893	-0.9	-5.5822515	-5.59928	-4.59344	-0.86412	-3.1358237	
110	2.29E+02	2.1	-7.1339109	0.7	-6.3776497	-5.61639	-4.66955	-0.82815	-2.951663	
130	2.70E+02	2.15	-7.1619539	1.4	-6.7487761	-5.60594	-4.67733	-0.85011	-2.9329662	
150	3.12E+02	2.1	-7.1339109	-0.9	-5.5822515	-5.56779	-4.62435	-0.93053	-3.0607553	
170	3.53E+02	1	-6.5349831	-1.62	-5.2483135	-5.4942	-4.50724	-1.08677	-3.3472171	
190	3.95E+02	-1.86	-5.1402927	-1.7	-5.2121241	-5.3667	-4.31294	-1.36106	-3.8352983	
210	4.36E+02	-6	-3.5286972	-6.5	-3.3649468	-5.14635	-4.01771	-1.84644	-4.610563	
230	4.78E+02	-7.9	-2.9394014	-10.7	-2.2235203	-4.75002	-3.58602	-2.7594	-5.8294215	
240	4.99E+02	-11	-2.1566648	-12.6	-1.8292793	-4.43565	-3.30535	-3.52514	-6.6869158	
260	5.40E+02	-15	-1.4216371	-15.4	-1.3624133	-3.39009	-2.59075	-6.42196	-9.1802271	
280	5.82E+02	-19	-0.9236722	-13.9	-1.5969088	-1.55497	-1.68219	-14.1528	-13.40412	
300	6.23E+02	-21	-0.7415553	-13	-0.212384	-0.016576	-0.728551	-54.3783	-21.160265	

Figure 5:Theoretical and measured(BTF) horizontal attenuation

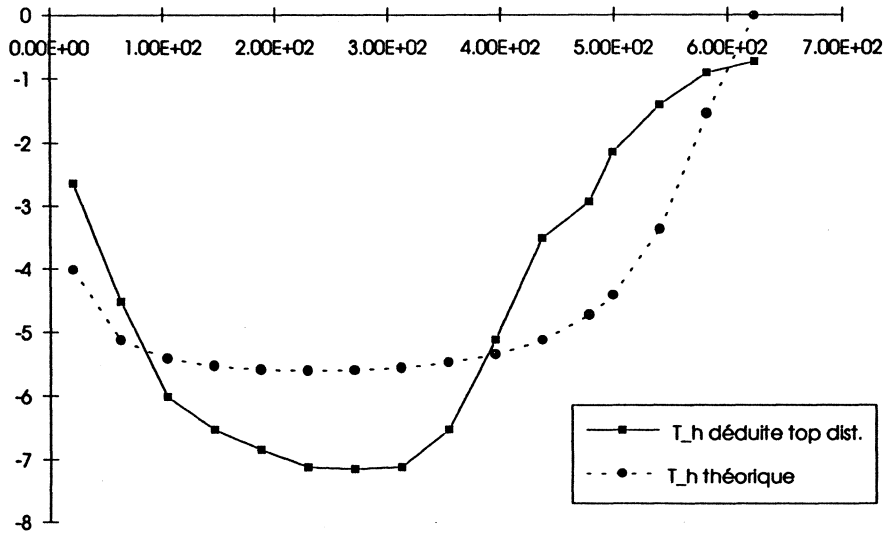


Figure 6:Theoretical and measured(BTF) vertical attenuation

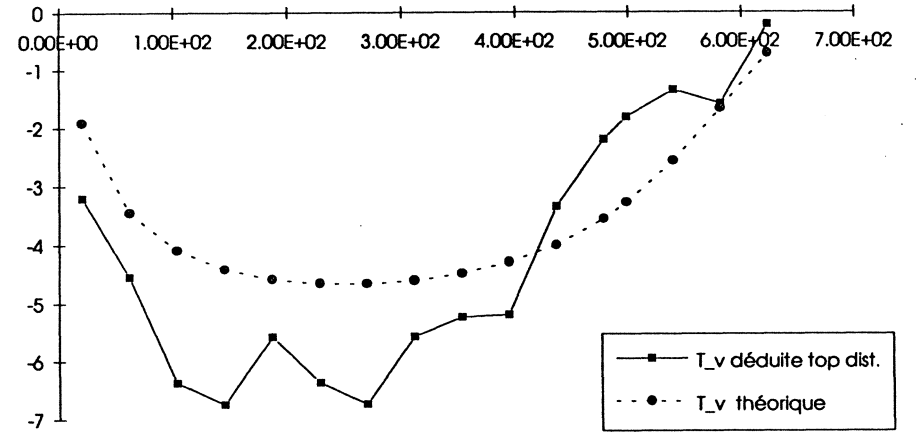


Figure 7:BTF SHOULD LOOK LIKE THIS

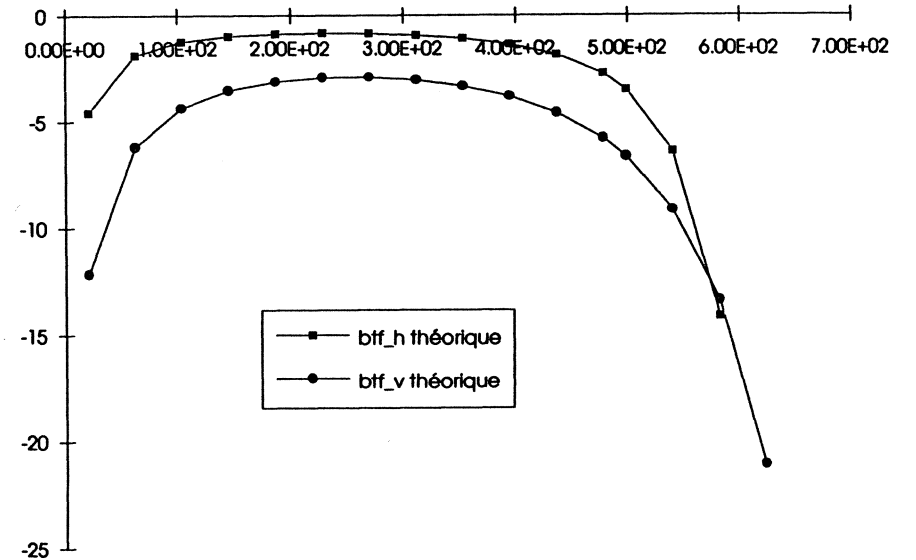


Tableau 6: Comparaison des mesures et théorie. que changer									
Bande latérale No	Freq. (MHz)	bff mesurée S h	bff mesurée S v	T_h théorique	T_v théorique	bff_h théorique	bff_v théorique	to do h	to do v
10	2.08E+01	-9	-7	-4.02003	-1.91511	-4.6043	-12.1572699	4.3957	-5.1572699
30	6.23E+01	-3.3	-3.25	-5.13692	-3.46079	-1.867553	-6.20500739	1.432447	-2.9550074
50	1.04E+02	0	0.7	-5.42574	-4.10125	-1.233474	-4.38679803	-1.23347	-5.086798
70	1.45E+02	1	1.4	-5.54553	-4.42433	-0.977635	-3.55347225	-1.97763	-4.9534722
90	1.87E+02	1.6	-0.9	-5.59928	-4.59344	-0.864123	-3.13582371	-2.46412	-2.2358237
110	2.29E+02	2.1	0.7	-5.61639	-4.66955	-0.828152	-2.95166304	-2.92815	-3.651663
130	2.70E+02	2.15	1.4	-5.60594	-4.67733	-0.850112	-2.93296624	-3.00011	-4.3329662
150	3.12E+02	2.1	-0.9	-5.56779	-4.62435	-0.93053	-3.06075532	-3.03053	-2.1607553
170	3.53E+02	1	-1.62	-5.4942	-4.50724	-1.086772	-3.34721708	-2.08677	-1.7272171
190	3.95E+02	-1.86	-1.7	-5.3667	-4.31294	-1.361065	-3.8352983	0.498935	-2.1352983
210	4.36E+02	-6	-6.5	-5.14635	-4.01771	-1.846445	-4.61056303	4.153555	1.88943697
230	4.78E+02	-7.9	-10.7	-4.75002	-3.58602	-2.759401	-5.82942149	5.140599	4.87057851
240	4.99E+02	-11	-12.6	-4.43565	-3.30535	-3.525138	-6.68691576	7.474862	5.91308424
260	5.40E+02	-15	-15.4	-3.39009	-2.59075	-6.421955	-9.18022709	8.578045	6.21977291
280	5.82E+02	-19	-13.9	-1.55497	-1.68219	-14.15276	-13.4041199	4.847235	0.49588008
300	6.23E+02	-21	-13	-0.01658	-0.728551	-54.37835	-21.1602654	-33.3783	-8.1602654

Figure 8: COMPARE MEASURED\_H AND TH. \_H BTF

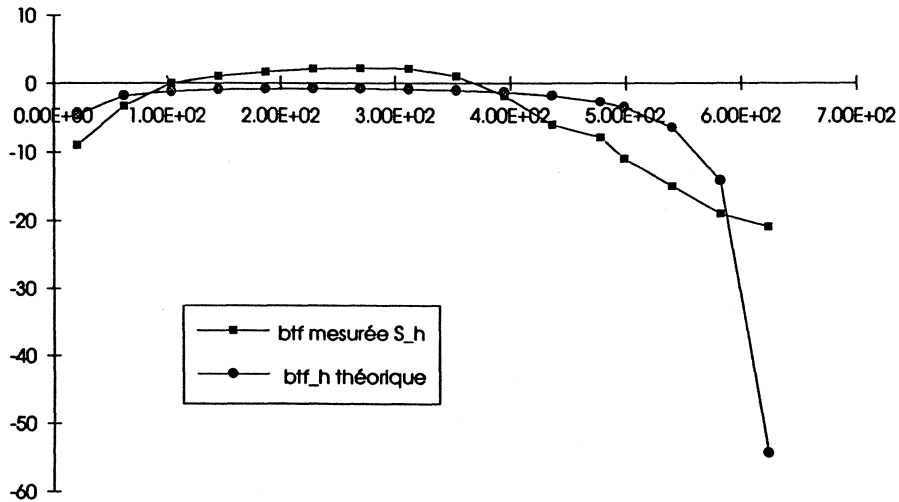


Figure 9: COMPARE MEASURED\_V AND TH\_V BTF

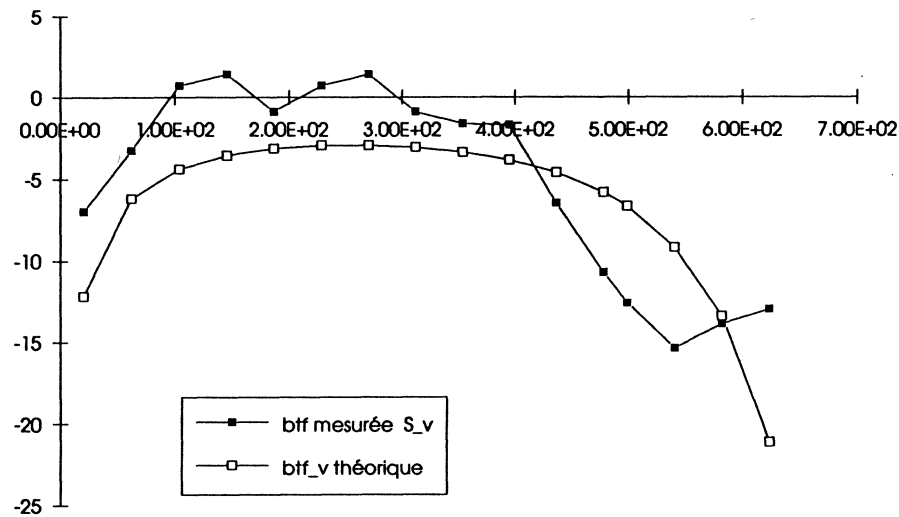


Figure 10: Modif. to system gain

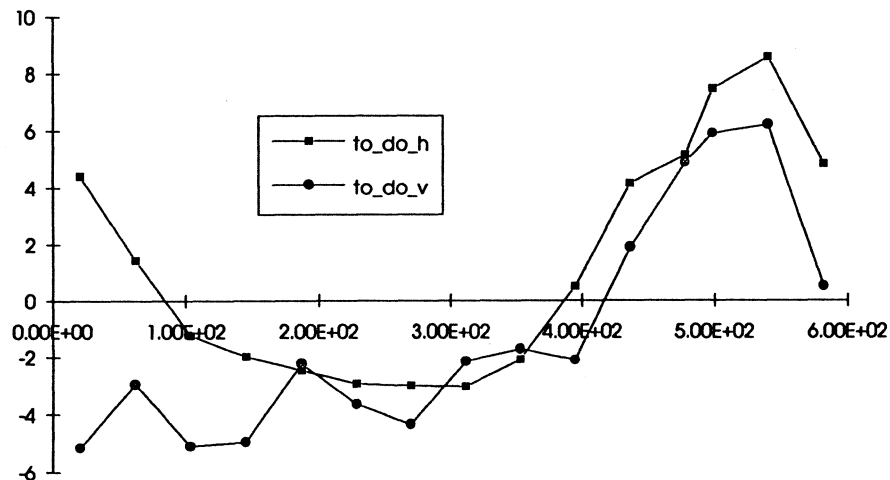


Figure 11: Rapport signal/bruit sommet dist.

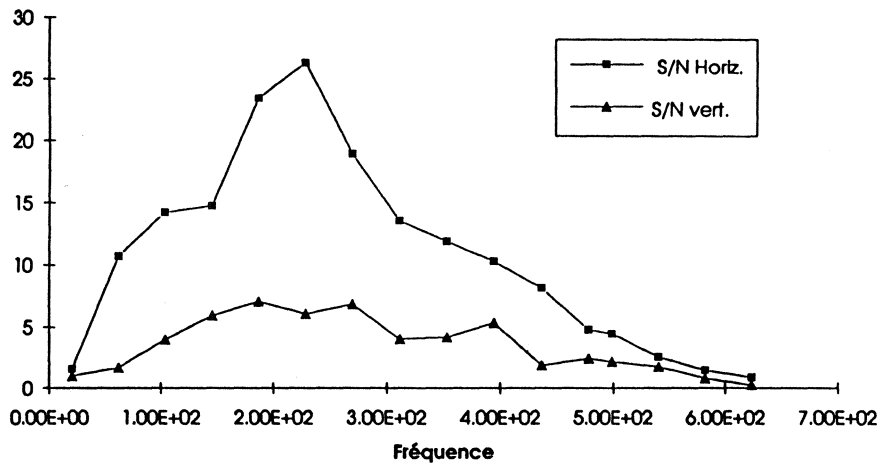


Figure 12: rapport signal sur bruit (dB),Intégrale 1/2 frev

