

## 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.

Tableau 1: Mesure dans le plan Horizontal, sommet de la bande latérale

Bande latérale No	Freq. (MHz)	Noise	Signal cooling off on	densité spectrale cooling off on	densité spectrale cooling on	Attenuation de densité spectrale	S/N local
10	2.08E+01	128	206	194	26052	21252	-0.88441262
30	6.23E+01	104	356	240	115920	46784	-3.94061022
50	1.04E+02	90	351	211	115101	36421	-4.99727231
70	1.45E+02	81	321	193	96480	30588	-4.97468709
90	1.87E+02	78	385	203	142141	35125	-6.07103034
110	2.29E+02	63	329	167	104272	23920	-6.39406528
130	2.70E+02	65	290	152	79875	18879	-6.26431885
150	3.12E+02	65	248	141	57279	15656	-5.63314615
170	3.53E+02	59	212	125	41463	12144	-5.33298963
190	3.95E+02	55	185	113	31200	9744	-5.05417319
210	4.36E+02	40	121	95	13041	7425	-2.44614437
230	4.78E+02	54	130	102	13984	7488	-2.7126558
240	4.99E+02	50	117	93	11189	6149	-2.59986781
260	5.40E+02	45	85	75	5200	3600	-1.59700843
280	5.82E+02	42	66	62	2592	2080	-0.95571662
300	6.23E+02	38	52	51.5	1260	1208.25	-0.18213741

Tableau 2: Mesure dans le plan Vertical, sommet de la bande latérale

Bande latérale No	Freq. (MHz)	Noise	Signal cooling off on	densité spectrale cooling off on	densité spectrale cooling on	Attenuation de densité spectrale	S/N local
10	2.08E+01	180	254	223	32116	17329	-2.67947948
30	6.23E+01	135	221	181	30616	14536	-3.23503535
50	1.04E+02	116	259	196	53625	24960	-3.32122724
70	1.45E+02	113	297	204	75440	28847	-4.17501025
90	1.87E+02	97	275	186	66216	25187	-4.197865
110	2.29E+02	76	202	148	35028	16128	-3.36834826
130	2.70E+02	74	207	156	37373	18860	-2.97016272
150	3.12E+02	67	150	120	18011	9911	-2.5942035
170	3.53E+02	63	143	112	16480	8575	-2.83723079
190	3.95E+02	50	126	107	13376	6949	-1.74551752
210	4.36E+02	46	78	69	3968	2645	-1.76149987
230	4.78E+02	33	61	55	2632	1936	-1.33380632
240	4.99E+02	41	73	67	3648	2808	-1.13657726
260	5.40E+02	32	55	50	1785	1476	-0.82551863
280	5.82E+02	26	35	34	549	480	-0.58331107
300	6.23E+02	23	26	26	147	147	0

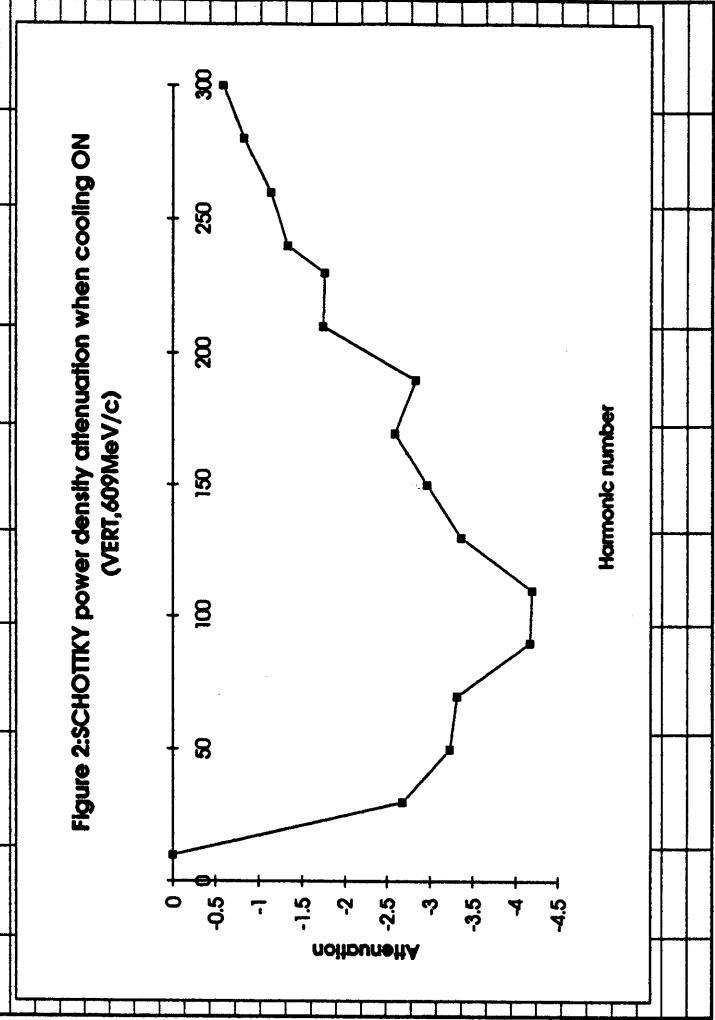
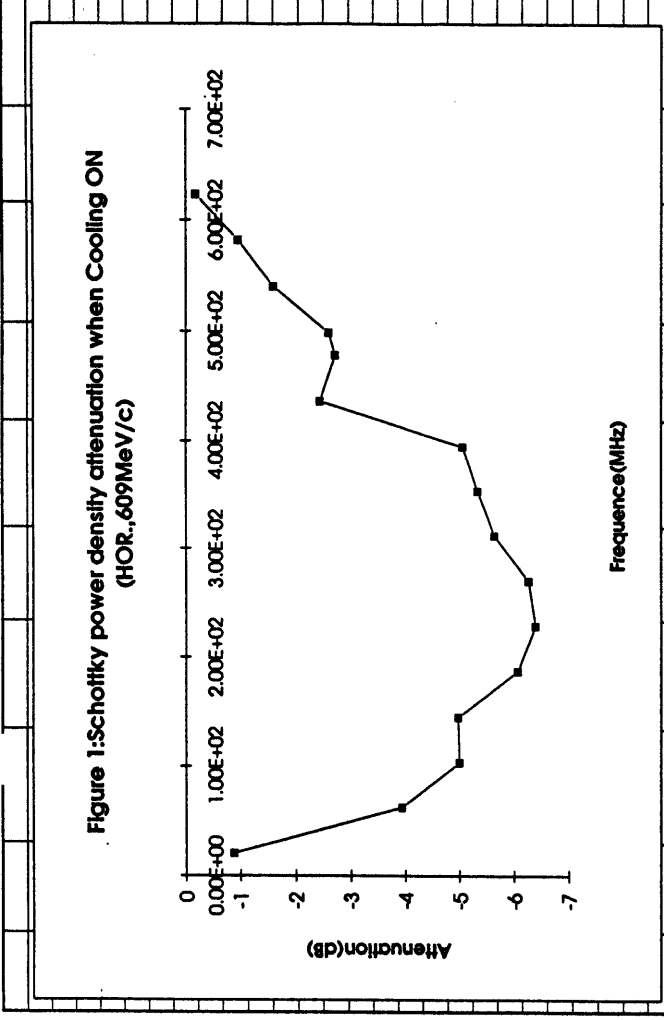


Figure 3:Scholityk signal attenuation when Cooling ON (VERT.,609MeV/c)

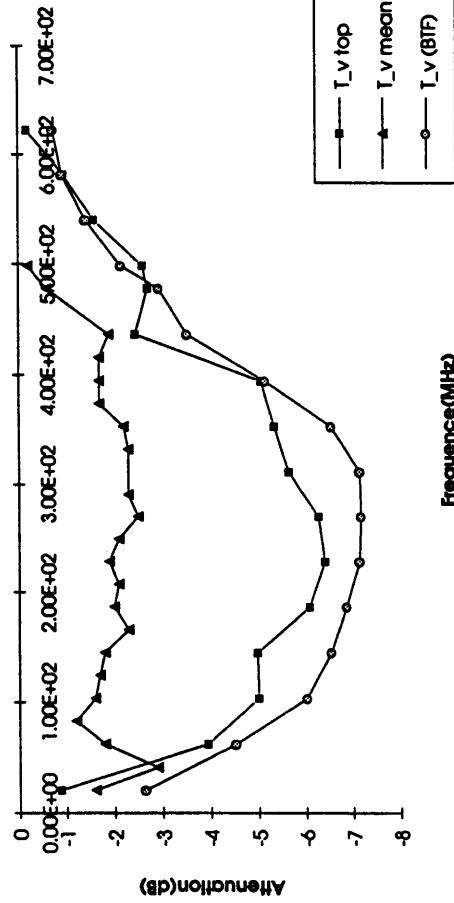


Figure 4:Scholityk signal attenuation when Cooling ON (HOR.,609MeV/c)

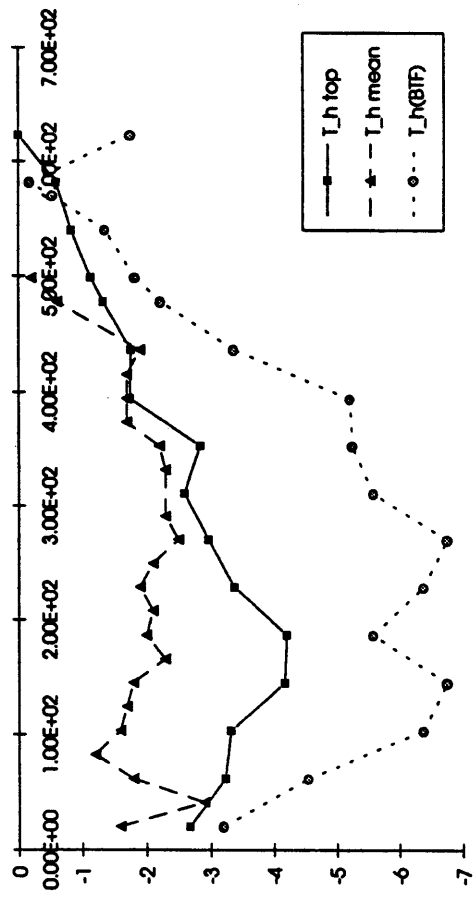


Tableau 3:Mesure bande latérale, intégrale

Bande latérale No	Freq. (MHz)	Atténuaatio n signal vertical	Atténuaatio n 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	-13.06	-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 BIF

Bande latérale No	Freq. (MHz)	mesure horizontale S h	Atténuaatio n déduite I h	mesure verticale S v	Atténuaatio n déduite I 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	-5.142927	-1.7	-5.2121241
210	4.36E+02	-6	-3.5286972	-6.5	-3.3649468
230	4.78E+02	-7.9	-2.934014	-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 BIF, Théorie

Bande latérale No	Freq. (MHz)	Bif S h	Bif mesurée S v	T_h top dist.	T_v top dist.	T_h théorique	T_v théorique	bif_h théorique	bif_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	-6.2060074
50	1.04E+02	0	-6.0205999	0.7	-6.3776497	-5.42574	-4.10125	-1.23347	-4.386798
70	1.45E+02	1	-6.5349931	1.4	-6.7487761	-5.54553	-4.42433	-0.97763	-3.5534722
90	1.87E+02	1.6	-6.8573993	-0.9	-5.5822515	-5.59228	-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	-6.5349931	-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	-3.58402	-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 (BIF) horizontal attenuation

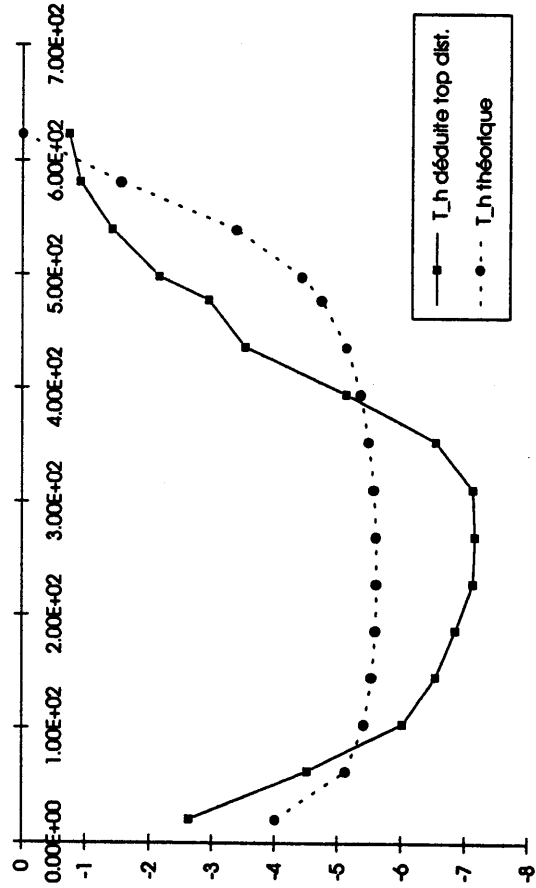


Figure 6: Theoretical and measured (BIF) vertical attenuation

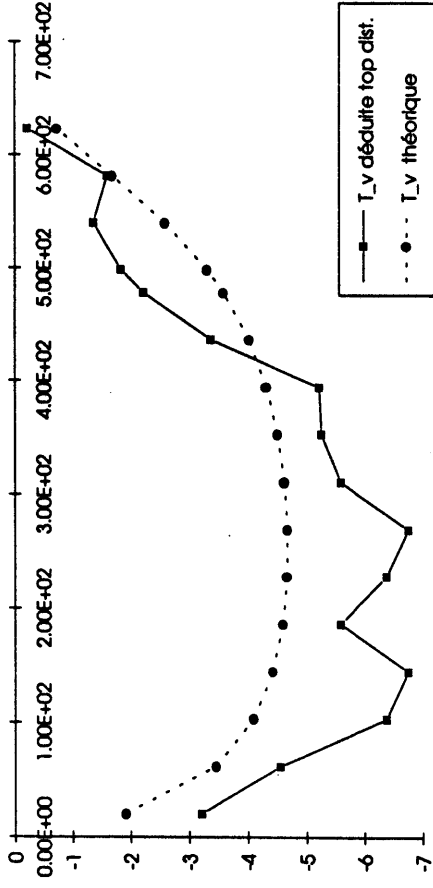


Figure 7: BIF SHOULD LOOK LIKE THIS

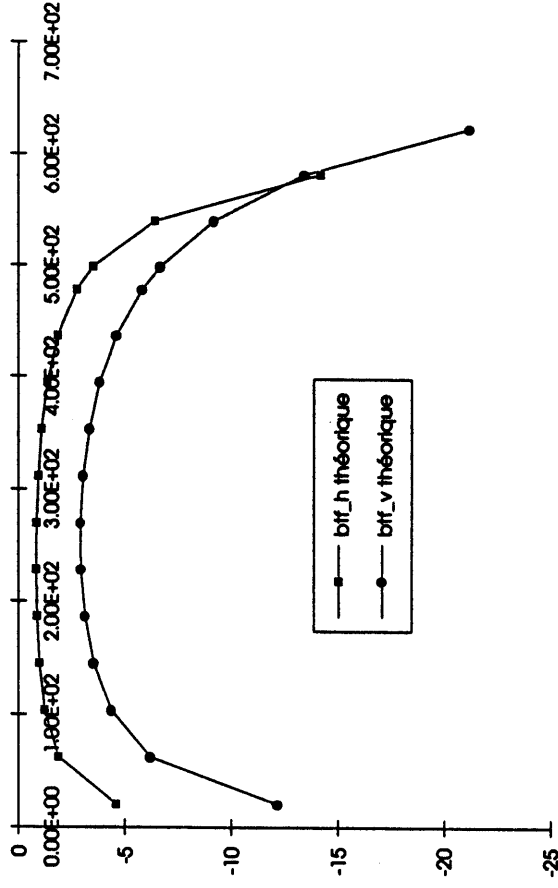


Figure 9:COMPARE MEASURED\_V AND TH\_V BTF

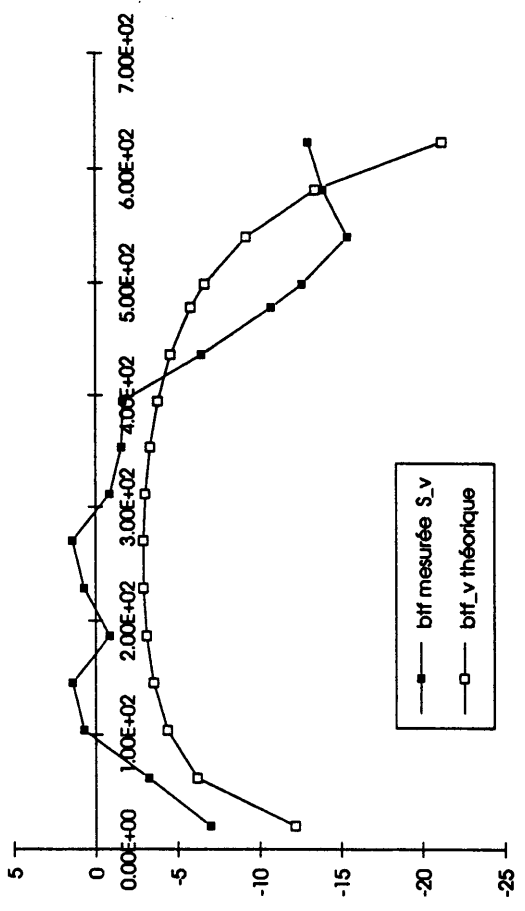


Figure 8:COMPARE MEASURED\_H AND TH\_ \_H BTF

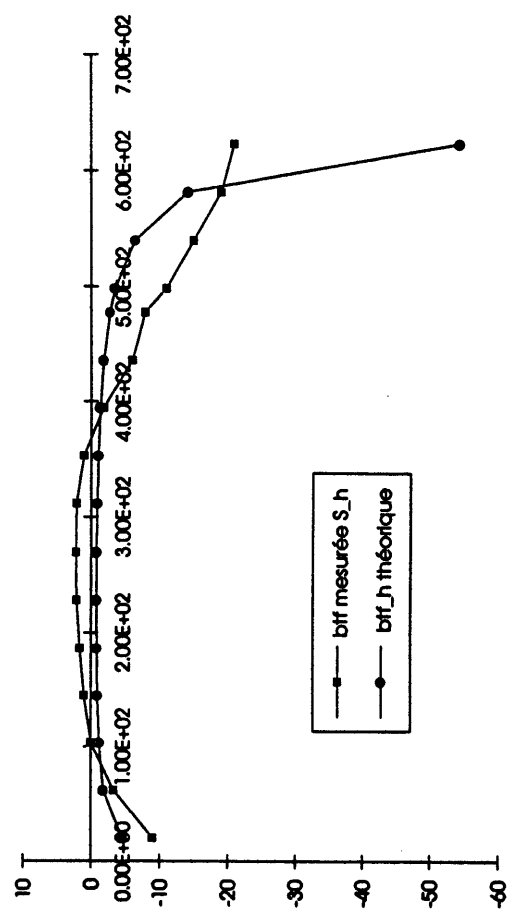


Tableau 6: Comparaison des mesures et théorie que changer

Bandé 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	-2.799401	-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 10:Modif. to system gain

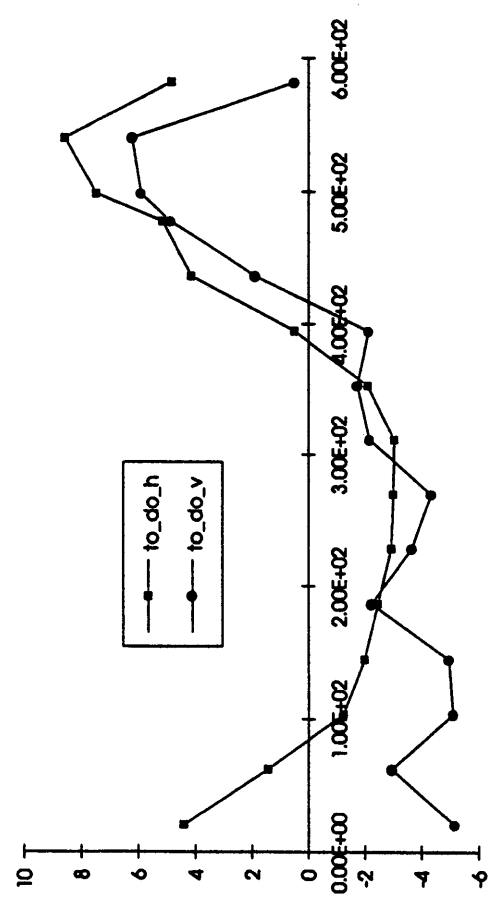


Figure 11: Rapport signal/bruit sommet dist.

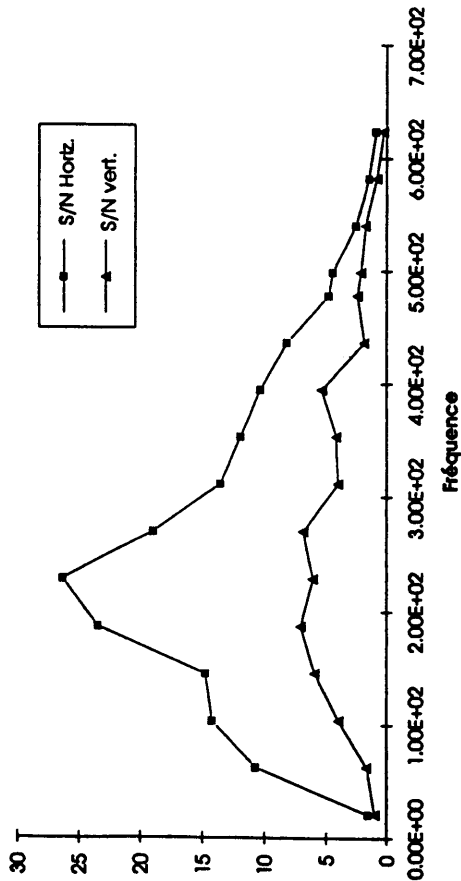


Figure 12: rapport signal sur bruit (dB), intégrale 1/2 fréq

