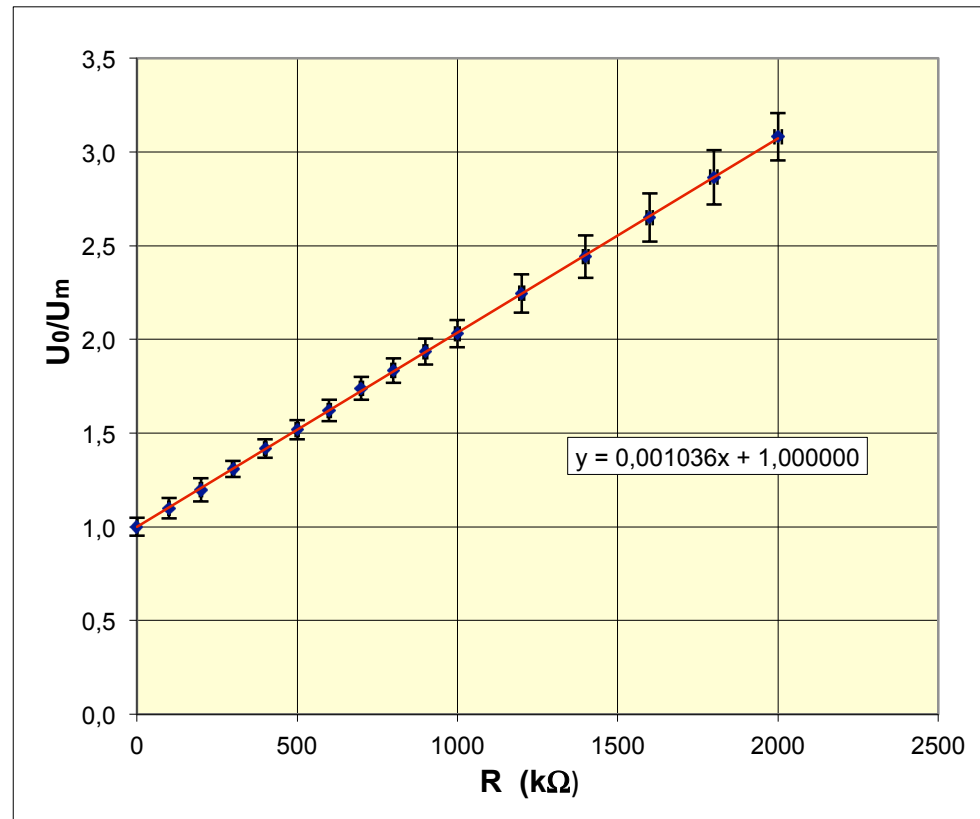


Résistance d'un oscilloscope

$R_{osc} \text{ (k}\Omega\text{)}$	\pm
965	25

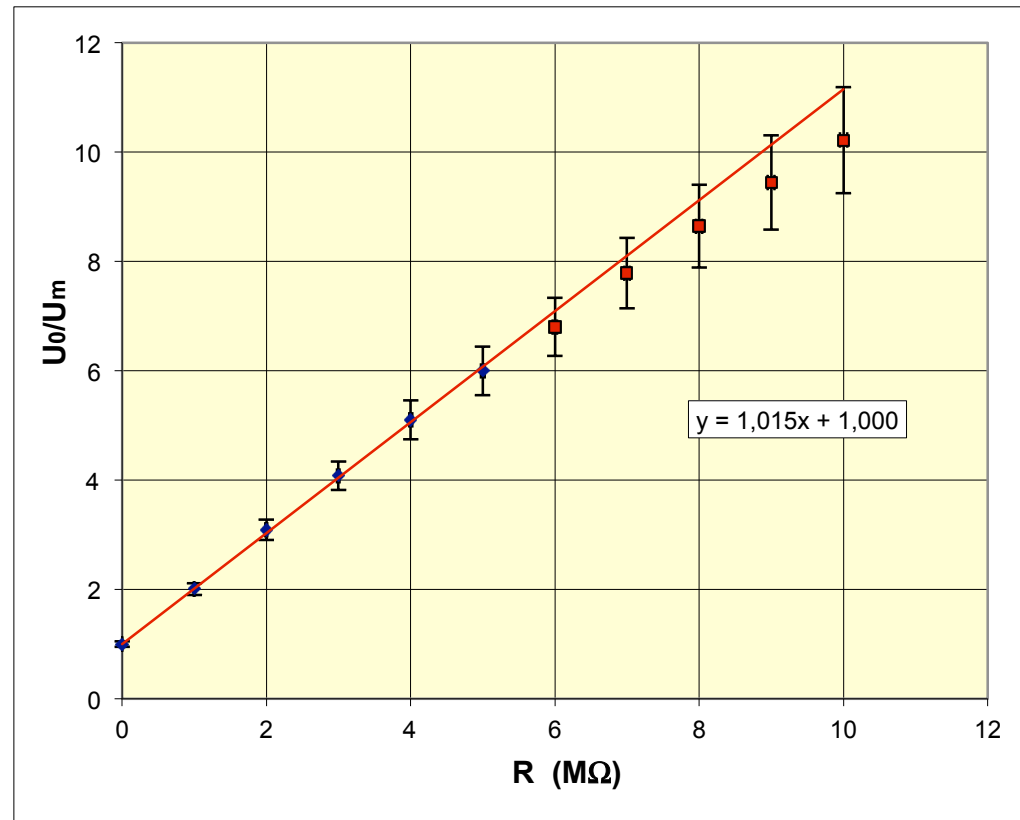
$R \text{ (k}\Omega\text{)}$	\pm	$U_m \text{ (V)}$	\pm	U_0/U_m	\pm
0	2	21,2	0,5	1,00	0,05
100	3	19,3	0,5	1,10	0,05
200	3	17,7	0,5	1,20	0,06
300	4	16,20	0,16	1,31	0,04
400	4	14,96	0,16	1,42	0,05
500	5	13,96	0,15	1,52	0,05
600	5	13,08	0,15	1,62	0,06
700	6	12,20	0,14	1,74	0,06
800	6	11,56	0,14	1,83	0,07
900	7	10,96	0,13	1,93	0,07
1000	7	10,44	0,13	2,03	0,07
1200	8	9,44	0,21	2,25	0,10
1400	9	8,68	0,20	2,44	0,11
1600	10	8,00	0,20	2,65	0,13
1800	11	7,40	0,20	2,86	0,14
2000	12	6,88	0,12	3,08	0,13



Résistance d'un oscilloscope

$R_{osc} (M\Omega)$	\pm
0,985	0,035

$R (M\Omega)$	\pm	$U_m (V)$	\pm	U_0/U_m	\pm
0,00	0,00	10,20	0,25	1,00	0,05
1,00	0,01	5,08	0,15	2,01	0,11
2,00	0,01	3,30	0,12	3,09	0,19
3,00	0,02	2,50	0,10	4,08	0,26
4,00	0,02	2,00	0,09	5,10	0,36
5,00	0,03	1,70	0,08	6,00	0,45
6,00	0,03	1,50	0,08	6,80	0,53
7,00	0,04	1,31	0,08	7,79	0,65
8,00	0,04	1,18	0,07	8,64	0,75
9,00	0,05	1,08	0,07	9,44	0,86
10,00	0,05	1,00	0,07	10,22	0,97

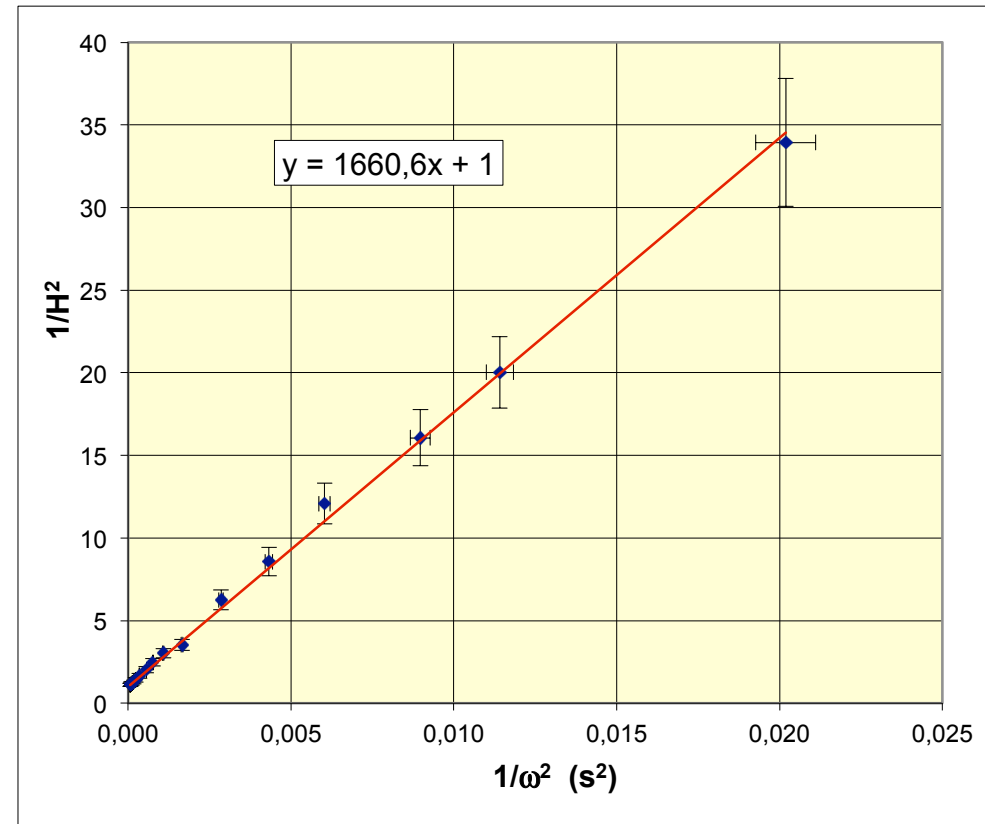


Capacité du mode AC d'un oscilloscope

C_{osc} (nF)	\pm
24,5	1,5

F (Hz)	\pm	$1/\omega^2$ (s ²)	\pm	U_m (V)	\pm	$1/H^2$	\pm
100				20,00	0,45		
20,37	0,12	6,10E-05	7,30E-07	18,91	0,43	1,12	0,10
18,81	0,11	7,16E-05	8,68E-07	18,88	0,43	1,12	0,10
16,95	0,10	8,82E-05	1,09E-06	18,59	0,42	1,16	0,10
14,16	0,09	1,26E-04	1,62E-06	18,19	0,41	1,21	0,11
12,29	0,08	1,68E-04	2,22E-06	17,68	0,40	1,28	0,12
10,43	0,07	2,33E-04	3,22E-06	16,83	0,39	1,41	0,13
8,57	0,06	3,45E-04	5,06E-06	15,49	0,36	1,67	0,15
6,71	0,05	5,63E-04	8,98E-06	14,06	0,33	2,02	0,19
5,77	0,05	7,61E-04	1,29E-05	12,73	0,30	2,47	0,23
4,84	0,04	1,08E-03	1,97E-05	11,49	0,28	3,03	0,28
3,91	0,04	1,66E-03	3,35E-05	10,64	0,26	3,53	0,33
2,98	0,03	2,85E-03	6,68E-05	8,00	0,21	6,25	0,61
2,42	0,03	4,33E-03	1,15E-04	6,84	0,19	8,56	0,86
2,05	0,03	6,03E-03	1,78E-04	5,76	0,17	12,08	1,24
1,68	0,03	8,97E-03	3,03E-04	4,99	0,15	16,06	1,69
1,49	0,03	1,14E-02	4,20E-04	4,47	0,14	20,02	2,16
1,12	0,03	2,02E-02	9,23E-04	3,43	0,12	33,94	3,88

- La capacité d'entrée du mode AC sert à filtrer les basses fréquences.
- Il faut ne pas confondre avec la capacité résiduelle due à la proximité des fils dans les circuits électroniques (de l'ordre de 10 à 25 pF) et qui limite l'efficacité de l'oscilloscope aux hautes fréquences (10 à 20 kHz).

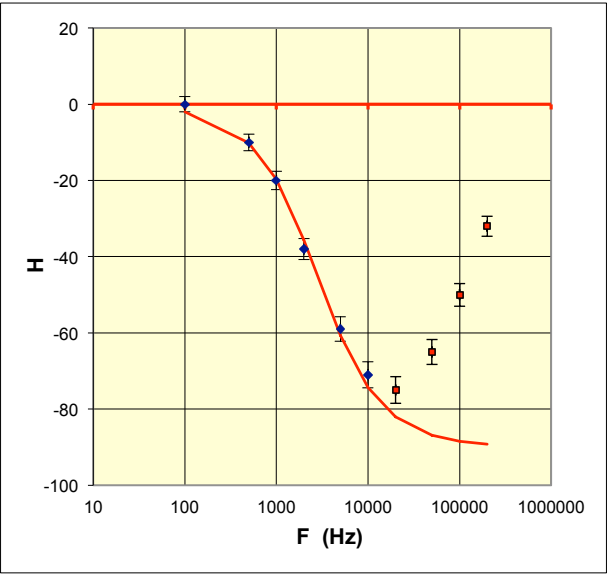
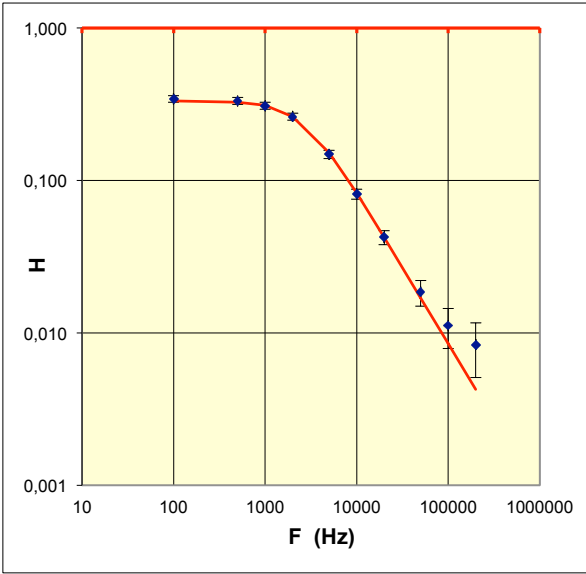


Capacité “parasite” d'un oscilloscope

Branchement direct avec câble coaxial

		R (MΩ)		R _{osc} (MΩ)		R' (MΩ)		c _{osc+câble} (pF) ±		c _{osc+câble} (pF) ±		
		1,00		1,00		0,50		187 37		171 34		
F (Hz)	±	U _{Am} (V)	±	U _{Bm} (V)	±	H	±	H _{Th}	χ ²	φ (°) ±	φ _{Th} (°)	χ ²
1,00E+02	5,20E-01	17,5	0,4	6,00	0,17	0,343	0,018	0,333	3,10E-01	0 2	-2	1,05E+00
5,00E+02	2,52E+00	17,8	0,4	5,92	0,17	0,333	0,017	0,327	1,03E-01	-10 2	-10	3,32E-03
1,00E+03	5,02E+00	17,8	0,4	5,50	0,16	0,309	0,016	0,310	7,28E-03	-20 2	-20	2,04E-02
2,00E+03	1,00E+01	17,5	0,4	4,59	0,14	0,262	0,014	0,262	3,07E-05	-38 3	-36	7,92E-01
5,00E+03	2,50E+01	18,0	0,4	2,67	0,10	0,148	0,009	0,152	1,23E-01	-59 3	-61	3,05E-01
1,00E+04	5,00E+01	18,0	0,4	1,47	0,08	0,0817	0,0063	0,082	1,47E-02	-71 3	-74	9,66E-01
2,00E+04	1,00E+02	18,3	0,4	0,775	0,066	0,0423	0,0045	0,042	1,21E-03	-75 4	-82	
5,00E+04	2,50E+02	18,0	0,4	0,334	0,057	0,0186	0,0036	0,017	1,92E-01	-65 3	-87	
1,00E+05	5,00E+02	17,9	0,4	0,200	0,054	0,0112	0,0033	0,009	6,66E-01	-50 3	-88	
2,00E+05	1,00E+03	17,1	0,4	0,143	0,053	0,0084	0,0033	0,004	1,57E+00	-32 3	-89	
									2,98E+00			
										3,13E+00		

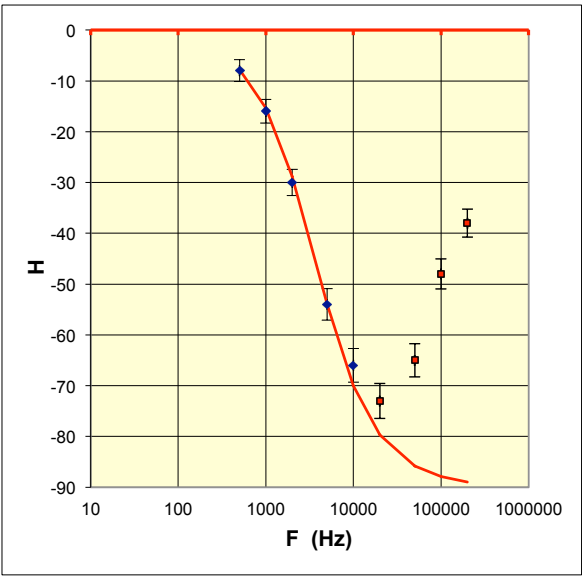
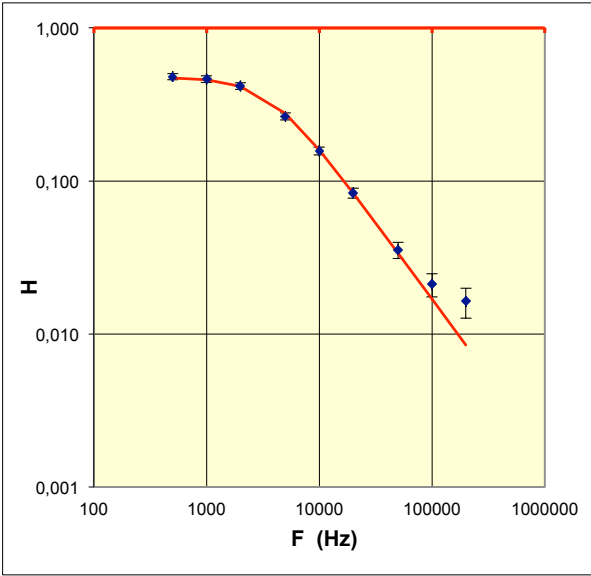
- La proximité des fils dans les circuits électroniques a pour conséquence une capacité résiduelle des entrées de l'oscilloscope, de l'ordre de 15 pF, qui limite l'efficacité aux hautes fréquences.
- À cela s'ajoute la capacité des câbles coaxiaux (environ 100 pF par mètre).
- Pour un pont diviseur de tension entre deux résistances de 1 MΩ (valeurs très grandes pour accentuer le “défaut” du montage), la limite à basse fréquence est normalement $H \approx 0,333$. Avec une capacité 115 pF, la fréquence de coupure est $F_c = 4150$ Hz.
- Les mesures d'amplitude indiquent plutôt une capacité ≈ 187 pF et une fréquence de coupure ≈ 2550 Hz. Les mesures de déphasage aux basses et moyennes fréquences indiquent plutôt une capacité ≈ 171 pF et une fréquence de coupure ≈ 2790 Hz (compatibles avec les précédentes), mais les valeurs incompatibles à haute fréquence suggèrent que la modélisation proposée par le fabricant est simplifiée.



Branchement avec sonde 10 MΩ/45 pF

R (MΩ)		R _{sonde} (MΩ)		R'' (MΩ)		c _{sonde} (pF)		±		c _{sonde} (pF)		±		
1,00		10,0		0,91		94		19		92		18		
F (Hz)	±	U _{Am} (V)	±	U _{Bm} (V)	±	H	±	H _{Th}	χ ²	φ (°)	±	φ _{Th} (°)	χ ²	
5,00E+02	2,52E+00	17,8	0,4	8,56	0,22	0,481	0,023	0,472	1,60E-01	-8	2	-8	7,22E-03	
1,00E+03	5,02E+00	17,8	0,4	8,25	0,22	0,463	0,023	0,458	5,01E-02	-16	2	-15	7,79E-02	
2,00E+03	1,00E+01	17,5	0,4	7,31	0,20	0,418	0,021	0,415	1,64E-02	-30	3	-29	2,23E-01	
5,00E+03	2,50E+01	18,0	0,4	4,75	0,15	0,264	0,014	0,276	7,41E-01	-54	3	-54	5,45E-04	
1,00E+04	5,00E+01	18,0	0,4	2,83	0,11	0,1572	0,0095	0,160	6,02E-02	-66	3	-70	1,44E+00	
2,00E+04	1,00E+02	18,3	0,4	1,530	0,081	0,0836	0,0063	0,083	1,49E-03	-73	3	-80		
5,00E+04	2,50E+02	18,0	0,4	0,638	0,063	0,0354	0,0043	0,034	1,50E-01	-65	3	-86		
1,00E+05	5,00E+02	17,9	0,4	0,378	0,058	0,0211	0,0037	0,017	1,29E+00	-48	3	-88		
2,00E+05	1,00E+03	17,1	0,4	0,279	0,056	0,0163	0,0036	0,008	4,69E+00	-38	3	-89		
									7,16E+00					1,75E+00

- On peut atténuer l'inconvénient du câble coaxial "ordinaire" en utilisant une sonde d'impédance 1 MΩ/45 pF, ou mieux 10 MΩ/45 pF (ceci divise le signal par 10 donc on remultiplie les mesures, mais les parasites sont plus gênants).
- Pour un pont diviseur de tension entre deux résistances de 1 MΩ, la limite à basse fréquence est normalement $H \approx 0,476$. Avec une capacité 45 pF, la fréquence de coupure est $F_c = 7430$.
- Les mesures d'amplitude indiquent plutôt une capacité ≈ 94 pF et une fréquence de coupure ≈ 3560 Hz. Les mesures de déphasage aux basses et moyennes fréquences indiquent plutôt une capacité ≈ 92 pF et une fréquence de coupure ≈ 3630 Hz (compatibles avec les précédentes), mais les valeurs incompatibles à haute fréquence suggèrent que la modélisation proposée par le fabricant est simplifiée.
- On constate que la sonde n'améliore que modérément la bande passante (mais l'exemple traité est volontairement exagéré).



Bande passante d'un voltmètre

Branchement direct avec câble coaxial court

		F_c (Hz)		Q		n			
		23788		0,75		20			
F (Hz)	\pm	U_{osc} (V)	\pm	U_v (V)	\pm	H	\pm	H_{Th}	χ^2
50,0	0,4	4,994	0,055	5,01	0,05	1,000	0,020	1,000	4,88E-08
100,0	0,8	4,993	0,055	5,01	0,05	1,000	0,020	1,000	7,81E-07
200,0	1,6	4,994	0,055	5,01	0,05	1,000	0,020	1,000	1,25E-05
500	4	4,993	0,055	5,02	0,05	1,002	0,020	1,000	6,02E-03
1000	8	4,991	0,055	5,03	0,05	1,004	0,020	1,002	1,23E-02
2000	16	4,993	0,055	5,06	0,09	1,010	0,0292	1,007	9,60E-03
4000	32	4,998	0,055	5,16	0,09	1,030	0,0296	1,029	8,11E-04
5000	40	5,003	0,055	5,26	0,09	1,050	0,0300	1,046	1,50E-02
6000	48	5,008	0,055	5,29	0,09	1,056	0,0302	1,068	1,60E-01
7000	56	5,011	0,055	5,35	0,09	1,068	0,0304	1,095	7,85E-01
8000	64	5,016	0,055	5,59	0,10	1,116	0,0314	1,128	1,40E-01
9000	72	5,020	0,055	5,92	0,10	1,182	0,0328	1,167	1,98E-01
10000	80	5,026	0,055	6,31	0,10	1,259	0,0344	1,215	1,70E+00
11000	88	5,030	0,055	6,70	0,38	1,337	0,0896	1,272	5,33E-01
12000	96	5,038	0,055	7,09	0,39	1,415	0,0943	1,341	6,20E-01
13000	104	5,041	0,055	7,41	0,41	1,479	0,0982	1,423	3,21E-01
14000	112	5,045	0,055	7,60	0,42	1,517	0,1005	1,517	1,54E-06
15000	120	5,052	0,056	7,60	0,42	1,517	0,1005	1,598	6,49E-01
16000	128	5,056	0,056	7,26	0,40	1,449	0,0964	1,572	1,64E+00
17000	136	5,062	0,056	6,45	0,36	1,287	0,0865	1,301	2,36E-02
18000	144	5,068	0,056	4,99	0,29	0,996	0,0687	0,882	2,76E+00
19000	152	5,077	0,056	2,95	0,19	0,589	0,0439	0,544	1,06E+00
20000	160	5,081	0,056	1,43	0,11	0,285	0,0254	0,330	3,14E+00
21000	168	5,086	0,056	0,78	0,08	0,156	0,0175	0,204	7,52E+00
22000	176	5,091	0,056	0,49	0,06	0,098	0,0139	0,128	4,68E+00
23000	184	5,095	0,056	0,33	0,06	0,066	0,0120	0,082	1,82E+00
24000	192	5,098	0,056	0,24	0,05	0,048	0,0109	0,054	2,75E-01
25000	200	5,103	0,056	0,18	0,05	0,036	0,0102	0,036	7,61E-04
27000	216	5,129	0,056	0,11	0,05	0,022	0,0093	0,017	3,41E-01
30000	240	5,141	0,056	0,07	0,04	0,014	0,0088	0,006	8,64E-01
35000	280	5,156	0,057	0,04	0,04	0,008	0,0085	0,001	6,35E-01
40000	320	5,169	0,057	0,02	0,04	0,004	0,0082	0,000	1,99E-01
									1,38E+01

• On vérifie que la mesure par l'oscilloscope aux hautes fréquences reste compatible avec la valeur efficace réglée sur le générateur pour les basses fréquences (pour un tel montage, la bande passante de l'entrée de l'oscilloscope va jusqu'à 20 MHz).

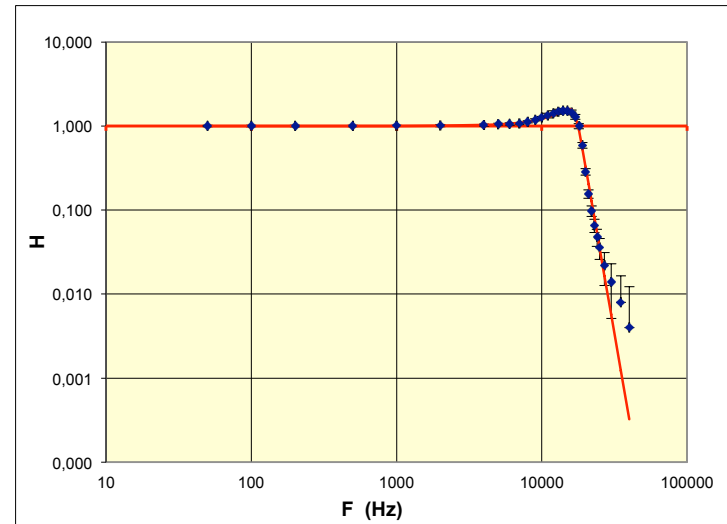
• L'amplitude du signal du générateur ne dépendant (normalement) pas de la fréquence, on utilise comme référence la mesure à 50 Hz pour traiter la réponse du voltmètre comme une fonction de transfert : $H = \frac{U_v(F)}{U_v(50\text{Hz})}$.

• La modélisation n'est pas simple, car on ne connaît pas exactement les circuits de mesure du voltmètre utilisé, mais la forme de la courbe semble comparable à celle pour un circuit RLC-série avec sortie aux bornes du condensateur :

$$H = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{F}{F_c}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{F}{Q F_c}\right)^2}}$$

• La décroissance est par contre nettement plus rapide au delà de la fréquence de coupure. Après quelques essais, on constate que les mesures sont bien représentées par une expression théorique de la forme :

$$H = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{F}{F_c}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{F}{Q F_c}\right)^{20}}}$$



Bande passante d'un voltmètre

Branchement direct avec câble coaxial court

		F _c (Hz)		Q		n			
		19949		0,71		20			
F (Hz)	±	U _{osc} (V)	±	U _v (V)	±	H	±	H _{Th}	χ ²
50	0,4	3,233	0,037	3,29	0,04	1,000	0,023	1,000	7,71E-08
100	0,8	3,259	0,038	3,29	0,04	1,000	0,023	1,000	1,23E-06
200	1,6	3,256	0,038	3,29	0,04	1,000	0,023	1,000	1,98E-05
500	4	3,269	0,038	3,29	0,04	1,000	0,023	1,001	7,73E-04
1000	8	3,268	0,038	3,30	0,04	1,003	0,023	1,003	5,28E-04
2000	16	3,269	0,038	3,32	0,07	1,009	0,0339	1,010	9,32E-04
3000	24	3,271	0,038	3,36	0,07	1,021	0,0341	1,023	2,97E-03
4000	32	3,273	0,038	3,41	0,07	1,036	0,0345	1,042	2,47E-02
5000	40	3,275	0,038	3,45	0,07	1,049	0,0347	1,067	2,81E-01
7000	56	3,278	0,038	3,62	0,08	1,100	0,0358	1,140	1,25E+00
8000								1,192	
9000								1,255	
10000	80	3,286	0,038	4,47	0,08	1,359	0,0414	1,334	3,44E-01
11000								1,427	
12000								1,497	
13000								1,381	
14000								0,950	
15000								0,529	
16000								0,284	
17000								0,155	
18000								0,088	
19000								0,051	
20000	160	3,309	0,038	0,10	0,05	0,030	0,0140	0,031	2,45E-04
30000								0,001	

1,91E+00

• On vérifie que la mesure par l'oscilloscope aux hautes fréquences reste compatible avec la valeur efficace réglée sur le générateur pour les basses fréquences (pour un tel montage, la bande passante de l'entrée de l'oscilloscope va jusqu'à 20 MHz).

• L'amplitude du signal du générateur ne dépendant (normalement) pas de la fréquence, on utilise comme référence la mesure à 50 Hz pour traiter la réponse du voltmètre comme une fonction de transfert : $H = \frac{U_v(F)}{U_v(50\text{Hz})}$.

• La modélisation n'est pas simple, car on ne connaît pas exactement les circuits de mesure du voltmètre utilisé, mais la forme de la courbe semble comparable à celle pour un circuit RLC-série avec sortie aux bornes du condensateur :

$$H = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{F}{F_c}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{F}{Q F_c}\right)^2}}$$

• La décroissance est par contre nettement plus rapide au delà de la fréquence de coupure. Après quelques essais, on constate que les mesures sont bien représentées par une expression théorique de la forme :

$$H = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{F}{F_c}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{F}{Q F_c}\right)^{20}}}$$

