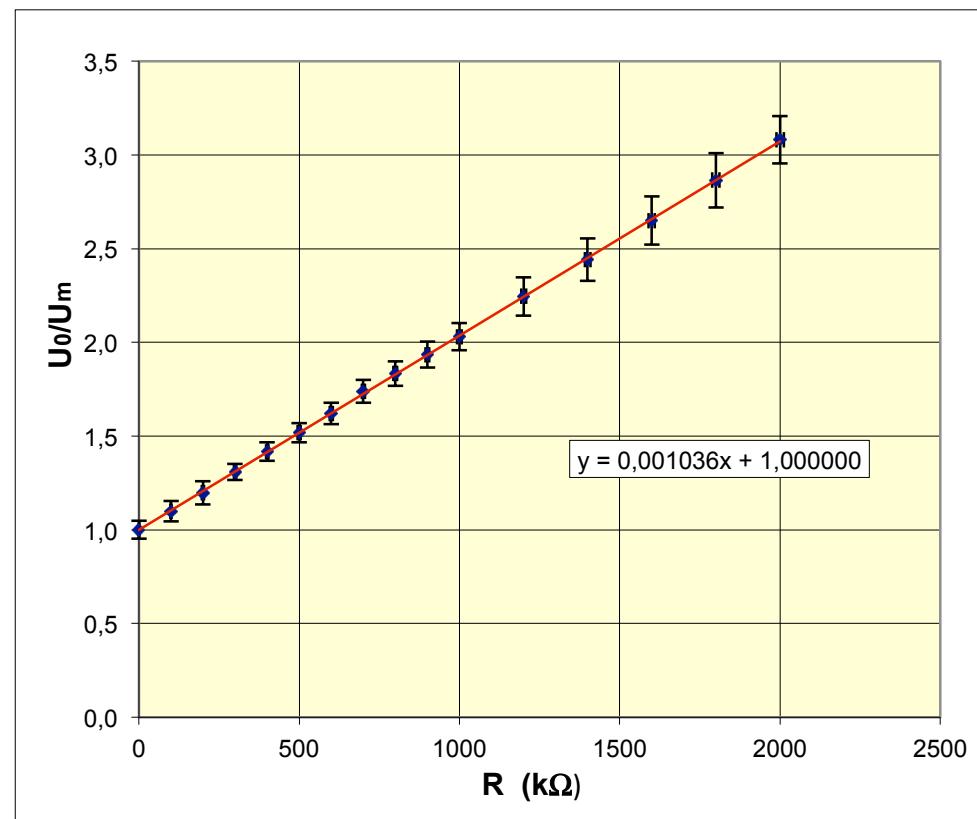


## Résistance d'un oscilloscope

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

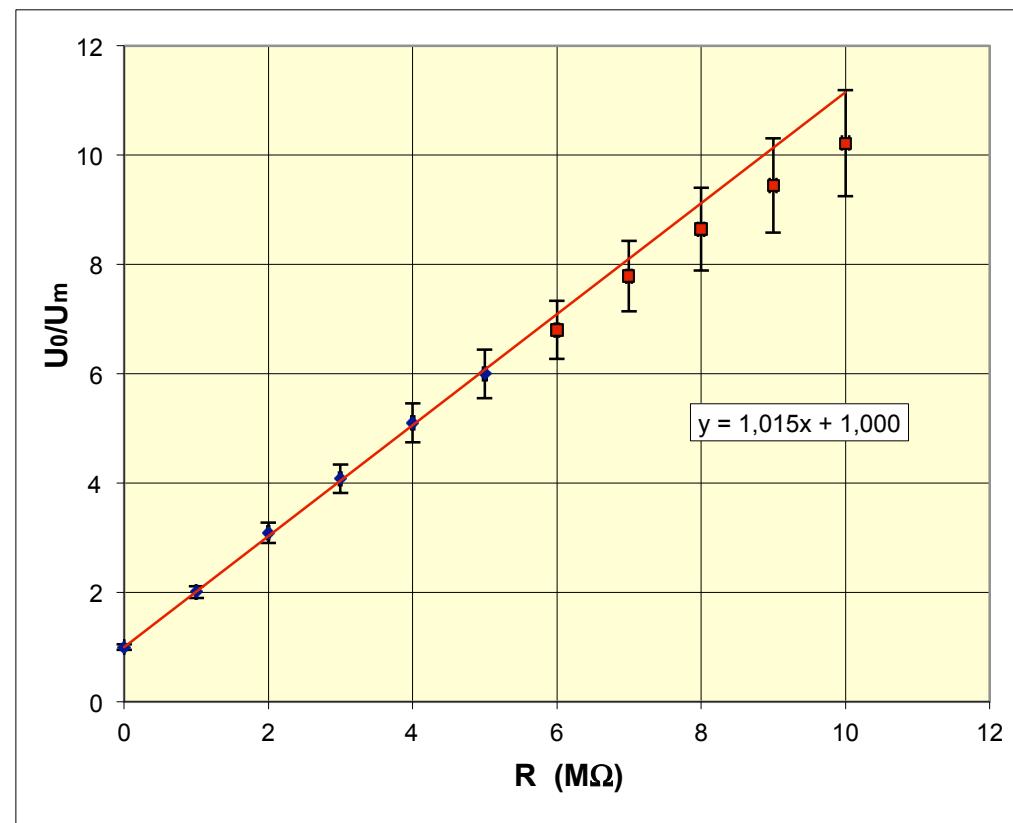
| $R$ (k $\Omega$ ) | $\pm$ | $U_m$ (V) | $\pm$ | $U_0/U_m$ | $\pm$ |
|-------------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| 0                 | 2     | 21,2      | 0,5   | 1,00      | 0,05  |
| 100               | 3     | 19,3      | 0,5   | 1,10      | 0,05  |
| 200               | 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

$$\begin{array}{c} \mathbf{R_{osc} (M\Omega) \pm} \\ 0,985 \quad 0,035 \end{array}$$

| $R$ (MΩ) | ±    | $U_m$ (V) | ±    | $U_0/U_m$ | ±    |
|----------|------|-----------|------|-----------|------|
| 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 |

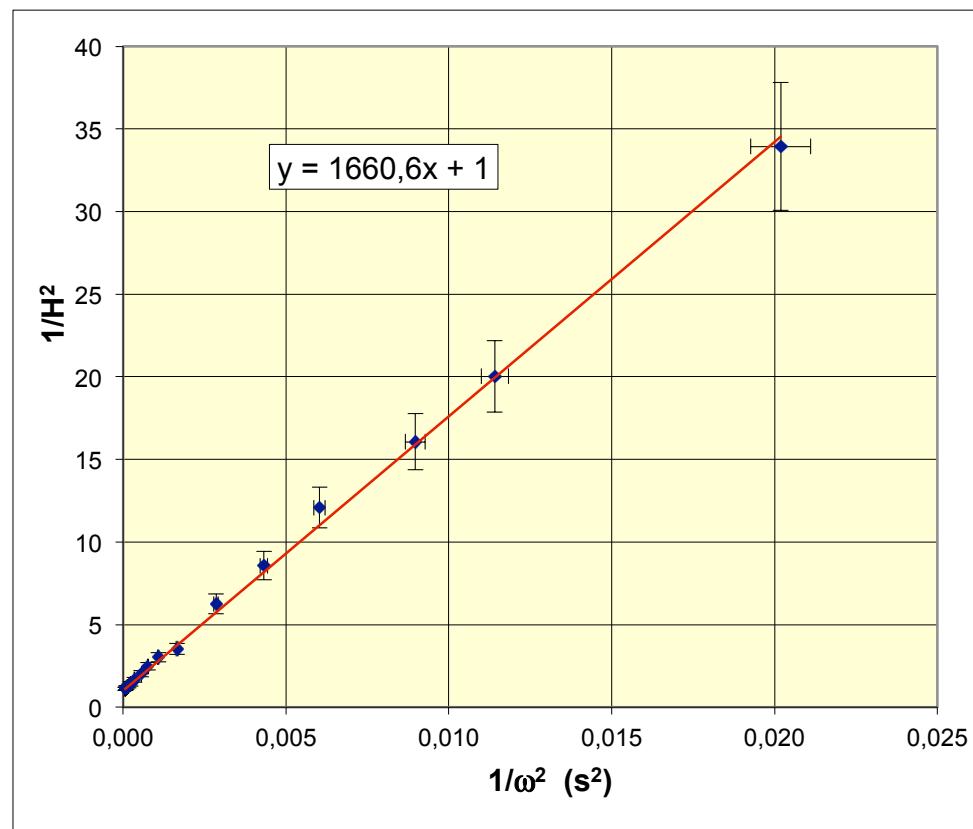


## Capacité du mode AC d'un oscilloscope

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

| $F$ (Hz) | $\pm$ | $1/\omega^2$ (s <sup>2</sup> ) | $\pm$    | $U_m$ (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).

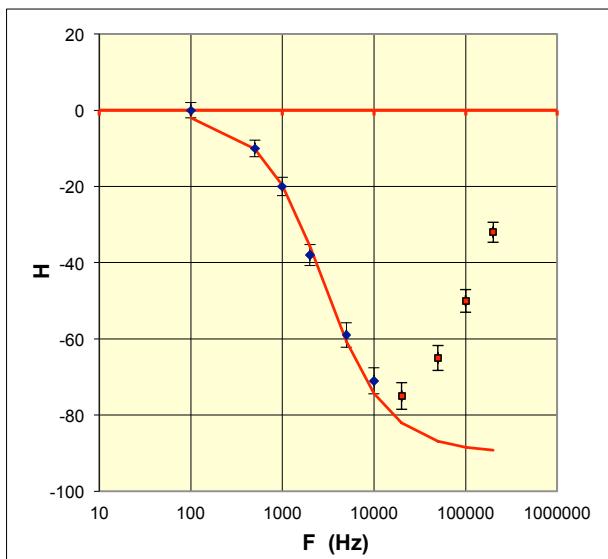
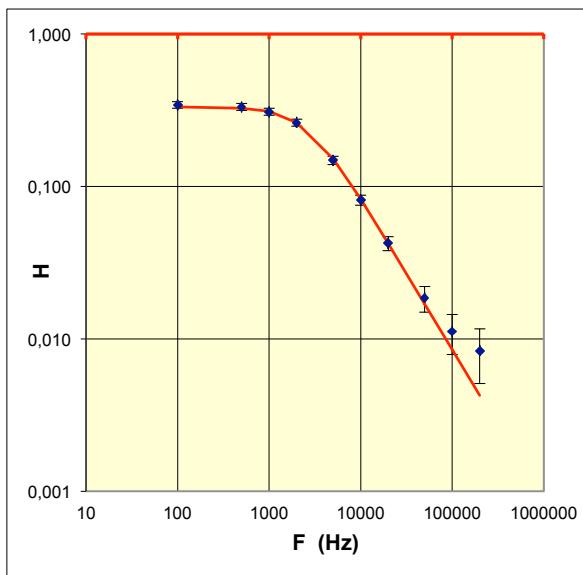


## Capacité "parasite" d'un oscilloscope

### Branchements direct avec câble coaxial

|               | <b>R (MΩ)</b> | <b>R<sub>osc</sub> (MΩ)</b> | <b>R' (MΩ)</b> |                           | <b>C<sub>osc+câble</sub> (pF)</b> | <b>±</b> |          | <b>C<sub>osc+câble</sub> (pF)</b> | <b>±</b>             |              |          |                           |                      |
|---------------|---------------|-----------------------------|----------------|---------------------------|-----------------------------------|----------|----------|-----------------------------------|----------------------|--------------|----------|---------------------------|----------------------|
|               | 1,00          | 1,00                        | 0,50           |                           | 187                               | 37       |          | 171                               | 34                   |              |          |                           |                      |
| <b>F (Hz)</b> | <b>±</b>      | <b>U<sub>Am</sub> (V)</b>   | <b>±</b>       | <b>U<sub>Bm</sub> (V)</b> | <b>±</b>                          | <b>H</b> | <b>±</b> | <b>H<sub>Th</sub></b>             | <b>χ<sup>2</sup></b> | <b>φ (°)</b> | <b>±</b> | <b>φ<sub>Th</sub> (°)</b> | <b>χ<sup>2</sup></b> |
| 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             |

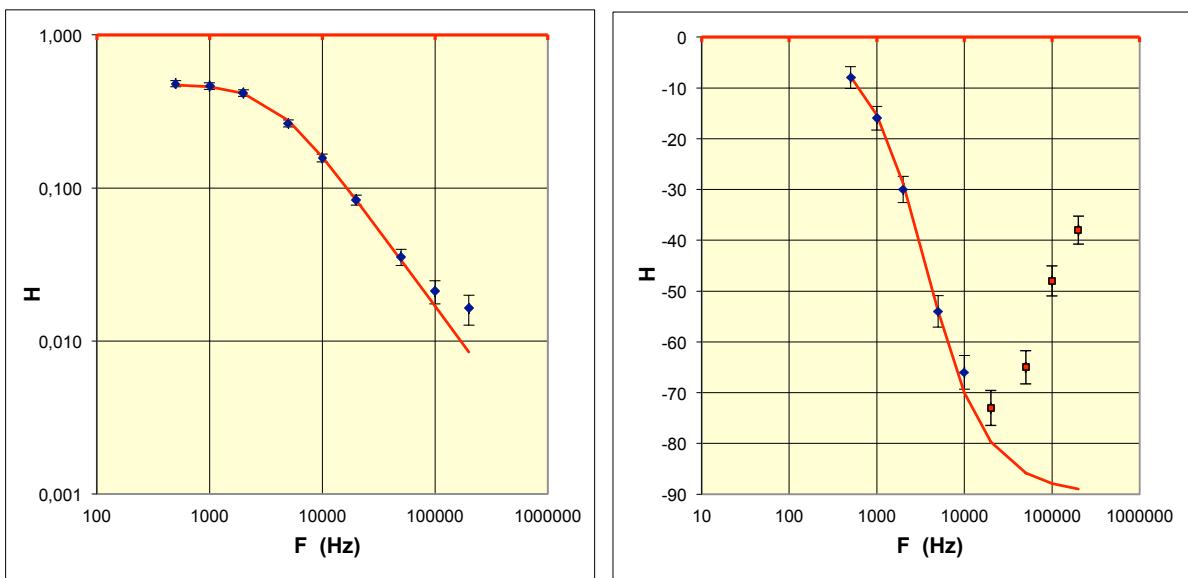
- La proximité des fils dans les circuits électroniques a pour conséquence une capacité résiduelle des entrées de l'oscilloscope, de l'ordre de 15 pF, qui limite l'efficacité aux hautes fréquences.
- À cela s'ajoute la capacité des câbles coaxiaux (environ 100 pF par mètre).
- Pour un pont diviseur de 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) $\pm$ |       | $c_{sonde}$ (pF) $\pm$ |        |          |          |               |       |                    |          |
|----------|----------|------------------|------------|------------------------|-------|------------------------|--------|----------|----------|---------------|-------|--------------------|----------|
|          | 1,00     | 10,0             | 0,91       | 94                     | 19    | 92                     | 18     |          |          |               |       |                    |          |
| $F$ (Hz) | $\pm$    | $U_{Am}$ (V)     | $\pm$      | $U_{Bm}$ (V)           | $\pm$ | $H$                    | $\pm$  | $H_{Th}$ | $\chi^2$ | $\varphi$ (°) | $\pm$ | $\varphi_{Th}$ (°) | $\chi^2$ |
| 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  $F_c = 7430$  Hz.
- Les mesures d'amplitude indiquent plutôt une capacité  $\approx 94$  pF et une fréquence de coupure  $\approx 3560$  Hz. Les mesures de déphasage aux basses et moyennes fréquences indiquent plutôt une capacité  $\approx 92$  pF et une fréquence de coupure  $\approx 3630$  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).



## Bandé passante d'un voltmètre

### Branchements direct avec câble coaxial court

| $F_c$ (Hz) | Q    | n             |       |           |      |       |        |          |          |
|------------|------|---------------|-------|-----------|------|-------|--------|----------|----------|
| 23788      | 0,75 | 20            |       |           |      |       |        |          |          |
| F (Hz)     | ±    | $U_{osc}$ (V) | ±     | $U_v$ (V) | ±    | H     | ±      | $H_{Th}$ | $\chi^2$ |
| 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).

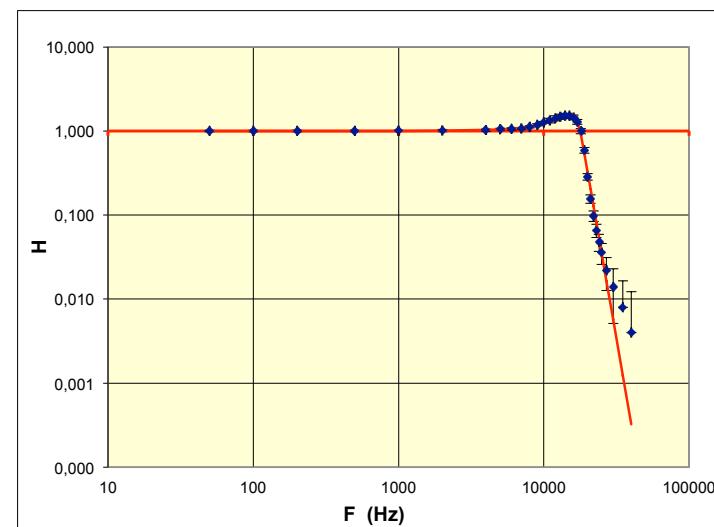
• L'amplitude du signal du générateur ne dépendant (normalement) pas de la fréquence, on utilise comme référence la mesure à 50 Hz pour traiter la réponse du voltmètre comme une fonction de transfert :  $H = \frac{U_v(F)}{U_v(50\text{Hz})}$ .

• 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 :

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

• 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 :

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



## Bandé passante d'un voltmètre

### Branchements direct avec câble coaxial court

|        | $F_c$ (Hz) | Q             | n     |           |      |       |        |          |          |
|--------|------------|---------------|-------|-----------|------|-------|--------|----------|----------|
|        | 19949      | 0,71          | 20    |           |      |       |        |          |          |
| F (Hz) | ±          | $U_{osc}$ (V) | ±     | $U_v$ (V) | ±    | H     | ±      | $H_{Th}$ | $\chi^2$ |
| 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 :  $H = \frac{U_v(F)}{U_v(50Hz)}$ .

• 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 :

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

• 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 :

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

