

Simulation du filtre de Chebyshev de l'émetteur CW des ARRL Handbook de 1981 et 1990

Les schémas, les composants, et le calcul des inductances :

<https://archive.org/details/arrl-1981-radio-amateur-handbook/page/n199>

https://mirror.thelifeofkenneth.com/lib/electronics_archive/arrl-1981-radio-amateur-handbook.pdf

QRP Classics - The Best QRP Projects from QST and the ARRL Handbook

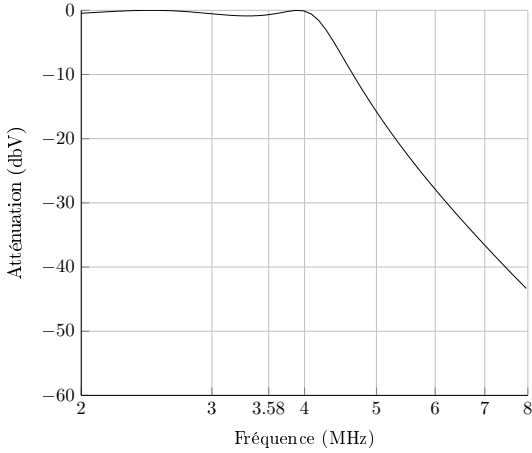
[https://mirror.thelifeofkenneth.com/lib/electronics_archive/QRP Classics - The Best QRP Projects from QST and the ARRL Handbook_text.pdf](https://mirror.thelifeofkenneth.com/lib/electronics_archive/QRP_Classics_-_The_Best_QRP_Projects_from_QST_and_the_ARRL_Handbook_text.pdf)

self.xls

(<https://f6crp.pagesperso-orange.fr/ba/tore.htm>)

$$T50-2 : L = 49\left(\frac{n}{100}\right)^2$$

La simulation pour l'émetteur de 1981 :



ARRL Handbook 1981

R1 = 50 Ω

C17 = 820 pF

C18 = 820 pF

L3 = 29T T50-2 (4 μH)

L4 = 35T T50-2 (6 μH)

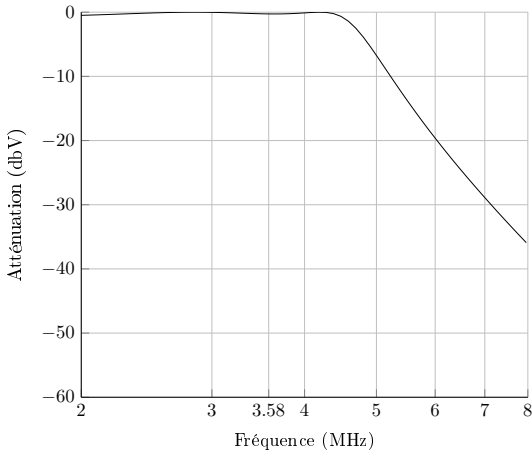
L5 = 29T T50-2 (4 μH)

R2 = 50 Ω

Fondamentale : -0.7 dbV

Harmonique : -37.8 dbV

La simulation pour l'émetteur de 1990 :



ARRL Handbook 1990

R1 = 50 Ω

C17 = 820 pF

C18 = 820 pF

L3 = 25T T50-2 (3 μH)

L4 = 32T T50-2 (5 μH)

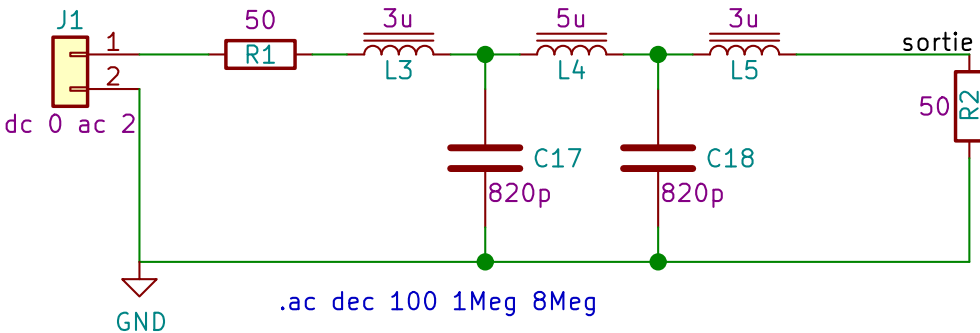
L5 = 25T T50-2 (3 μH)

R2 = 50 Ω

Fondamentale : -0.3 dbV

Harmonique : -30.1 dbV

Le schéma KiCad pour l'émetteur de 1990 :



Calculs avec 6 pôles pour un ripple de 3 dBV et une fréquence de coupure de 3.8 MHz

Pour transmettre le maximum de puissance à l'antenne, son impédance doit être égale à celle de la source. Cela se démontre facilement en continu :

$$P = R_2 I^2 = R_2 \frac{U^2}{(R_1 + R_2)^2} \implies \text{Minimiser } \frac{(R_1 + R_2)^2}{R_2} = \frac{R_1^2}{x} + 2R_1 + x \implies \text{La dérivée } 1 - \frac{R_1^2}{x^2} \text{ s'annule en } x = R_1$$

Contrairement aux filtres de Chebyshev avec un nombre impair de pôles, la résistance de charge théorique est différente de celle de la source. Et appliquer tout de même une charge équivalente change la réponse du filtre. Le calcul de la résistance de charge théorique dépend du ripple et peut se faire avec :

FilterSynthesis_v1.0.xls

(<http://axotron.se/blog/tool-for-designing-butterworth-and-chebyshev-filters/>)

```
octave --eval 'printf("%f\n", 50/(tanh(log(1/tanh(3/(40/log(10))))/4))^2)'  
290.474081
```

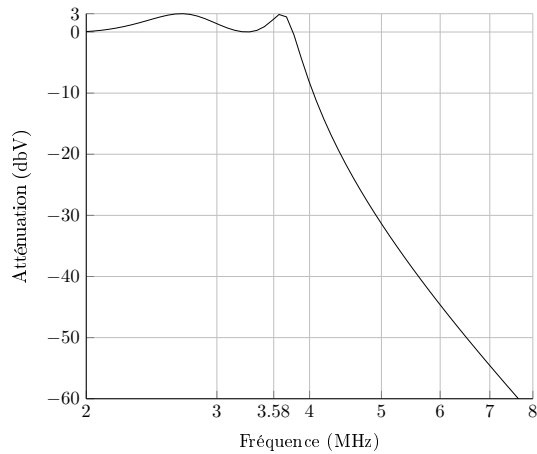
Ou avec :

```
#!/usr/bin/env octave  
# ----- #  
## \file chebyshev.m  
## \author Sebastien Beaugrand  
## \sa http://beaugrand.chez.com/  
## \copyright CeCILL 2.1 Free Software license  
## \note Source: https://  
## fr.wikipedia.org/wiki/Filtre_de_Tchebychev  
## \note Source: Design of Microwave Filters,  
## Impedance-Matching Networks, and Coupling  
## Structures, by Matthaei et. p99 https://  
## www.microwaves101.com/uploads/MYJ-part-1.pdf  
# ----- #  
s = str2num(argv(){1}); # 1=t 2=pi  
n = str2num(argv(){2});  
f = str2double(argv(){3}); # MHz  
rp = str2double(argv(){4}); # dBV  
r1 = 50; # ohms  
  
beta = log(coth(rp / (40 / log(10))));  
gamma = sinh(beta / (2 * n));  
a = sin((2 * [1:n] - 1) * pi / (2 * n));  
b = gamma ^ 2 + (sin([1:n] * pi / n)) .^ 2;  
g(1) = 2 * a(1) / gamma;  
for k = 2:n  
    g(k) = (4 * a(k-1) * a(k)) / (b(k-1) * g(k-1));  
endfor  
if (rem(n, 2) == 1)  
    g(n+1) = 1;  
else  
    g(n+1) = coth(beta / 4) .^ 2;  
endif  
w = 2 * pi * f;  
l = r1 * g(s:2:n) / w;  
c = g(3-s:2:n) / (w * r1) * 1e6;  
r2 = r1 * g(n+1);  
n = 100 * sqrt(l / 49);  
printf("R1 = %.0f ohms, R2 = %f ohms\n", r1, r2);  
printf("C = ");  
for k = 1:length(c)  
    printf("%f ", c(k));  
endfor  
printf("pF\n");  
printf("L = ");  
for k = 1:length(l)  
    printf("%f ", l(k));  
endfor  
printf("uH\n");  
printf("n = ");  
for k = 1:length(n)  
    printf("%f ", n(k));  
endfor  
printf("tours\n");  
  
#!/usr/bin/env python  
# ----- #  
## \file chebyshev.py  
## \author Sebastien Beaugrand  
## \sa http://beaugrand.chez.com/  
## \copyright CeCILL 2.1 Free Software license  
## \note Source: https://  
## fr.wikipedia.org/wiki/Filtre_de_Tchebychev  
## \note Source: Design of Microwave Filters,  
## Impedance-Matching Networks, and Coupling  
## Structures, by Matthaei et. p99 https://  
## www.microwaves101.com/uploads/MYJ-part-1.pdf  
# ----- #  
import sys  
import numpy as np  
import mpmath as mp  
  
s = int(sys.argv[1]) # 1=t 2=pi  
n = int(sys.argv[2])  
f = float(sys.argv[3]) # MHz  
rp = float(sys.argv[4]) # dBV  
r1 = 50 # ohms  
k = np.arange(1, n + 1) # [1,n+1[ = [1,n]  
a = np.zeros(n + 1) # n values + a[0]  
b = np.zeros(n + 1) # n values + b[0]  
g = np.zeros(n + 2) # n+1 values + g[0]  
  
beta = mp.log(mp.coth(rp / (40 / mp.log(10))))  
gamma = mp.sinh(beta / (2 * n))  
a[1:n+1] = np.sin((2 * k - 1) * np.pi / (2 * n))  
b[1:n+1] = gamma ** 2 + (np.sin(k * np.pi / n)) ** 2  
g[1] = 2 * a[1] / gamma  
for k in np.arange(2, n + 1):  
    g[k] = (4 * a[k-1] * a[k]) / (b[k-1] * g[k-1])  
if n % 2 == 1:  
    g[n+1] = 1  
else:  
    g[n+1] = mp.coth(beta / 4) ** 2  
w = 2 * np.pi * f  
l = r1 * g[s:n+1:2] / w  
c = g[3-s:n+1:2] / (w * r1) * 1e6  
r2 = r1 * g[n+1]  
n = 100 * np.sqrt(l[0] / 49)  
print("R1 = %.0f ohms, R2 = %.0f ohms" % (r1, r2))  
sys.stdout.write("C = ")  
for k in c:  
    sys.stdout.write("%.0f " % k)  
print("pF")  
sys.stdout.write("L = ")  
for k in l:  
    sys.stdout.write("%.2f " % k)  
print("uH")  
sys.stdout.write("n = ")  
for k in n:  
    sys.stdout.write("%.1f " % k)  
print("tours")
```

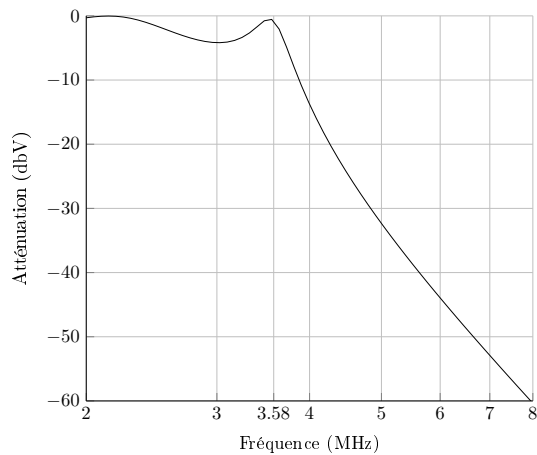
L'exécution donne :

```
./chebyshev.m 1 6 3.8 3
R1 = 50 ohms, R2 = 290.444981 ohms
C = 643.734282 664.211973 505.354755 pF
L = 7.338888 9.645852 9.348470 uH
n = 38.700545 44.368245 43.678953 tours
```

Simulation avec 6 pôles pour un ripple de 3 dbV et une fréquence de coupure de 3.8 MHz

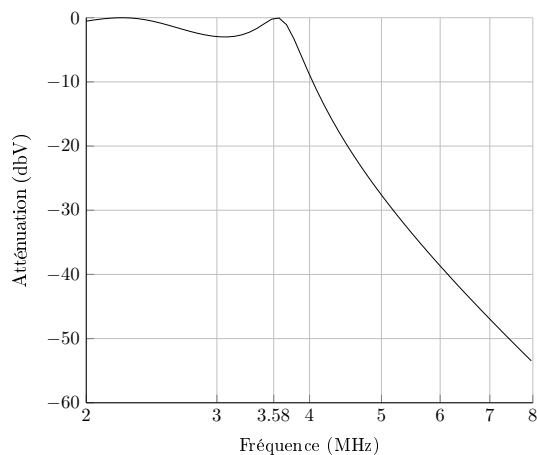


6 pôles avec R2 = 290 Ω
Ripple = 3 dbV
Fondamentale : 2.1 dbV
Harmonique : -55.9 dbV



6 pôles avec R2 = 50 Ω
Ripple > 3 dbV
Fondamentale : -1.0 dbV
Harmonique : -54.2 dbV

Avec 5 pôles l'atténuation est un peu moins importante mais le ripple reste limité :



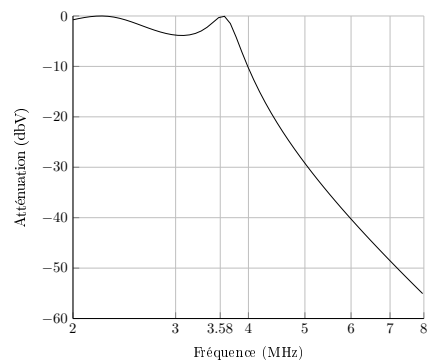
5 pôles
Ripple = 3 dbV
Fondamentale : -0.2 dbV
Harmonique : -48.1 dbV

```
./chebyshev.py 1 5 3.8 3
R1 = 50 ohms, R2 = 50 ohms
C = 638 638 pF
L = 7.29 9.50 7.29 uH
n = 38.6 44.0 38.6 tours
```

Simulation avec 5 pôles en T et condensateurs de serie

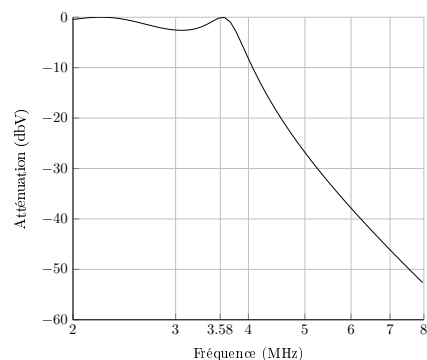
Avantage du réseau en T : avec 5 pôles il n'y a qu'une valeur pour les deux condensateurs.

Inconvénient : inductances importantes.



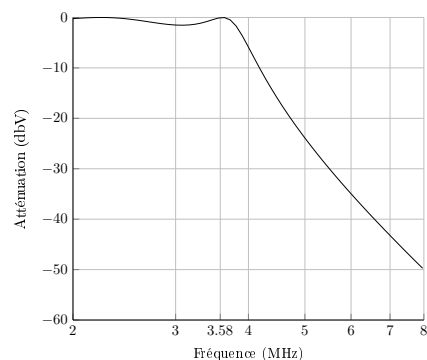
5 pôles 560 pF
Fondamentale : -0.3 dBV
Harmonique : -49.7 dBV

```
./chebyshev.py 1 5 3.8 3.87  
R1 = 50 ohms, R2 = 50 ohms  
C = 560 560 pF  
L = 8.49 10.92 8.49 uH  
n = 41.6 47.2 41.6 tours
```



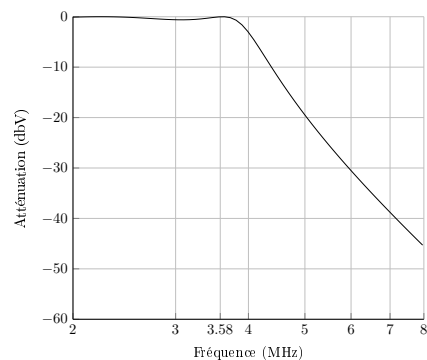
5 pôles 680 pF
Fondamentale : -0.1 dBV
Harmonique : -47.3 dBV

```
./chebyshev.py 1 5 3.8 2.6  
R1 = 50 ohms, R2 = 50 ohms  
C = 680 680 pF  
L = 6.75 8.87 6.75 uH  
n = 37.1 42.5 37.1 tours
```



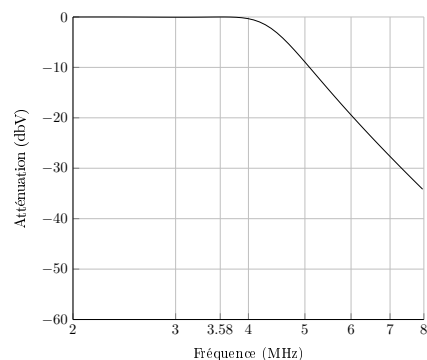
5 pôles 820 pF
Fondamentale : -0.1 dBV
Harmonique : -44.4 dBV

```
./chebyshev.py 1 5 3.8 1.53  
R1 = 50 ohms, R2 = 50 ohms  
C = 820 820 pF  
L = 5.27 7.17 5.27 uH  
n = 32.8 38.3 32.8 tours
```



5 pôles 1000 pF
Fondamentale : -0.0 dBV
Harmonique : -39.9 dBV

```
./chebyshev.py 1 5 3.8 0.614  
R1 = 50 ohms, R2 = 50 ohms  
C = 1000 1000 pF  
L = 3.80 5.56 3.80 uH  
n = 27.8 33.7 27.8 tours
```

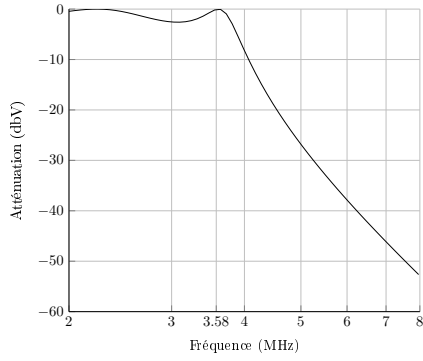


5 pôles 1200 pF
Fondamentale : -0.0 dBV
Harmonique : -28.8 dBV

```
./chebyshev.py 1 5 3.8 0.065  
R1 = 50 ohms, R2 = 50 ohms  
C = 1153 1153 pF  
L = 2.09 3.83 2.09 uH  
n = 21.2 28.3 21.2 tours
```

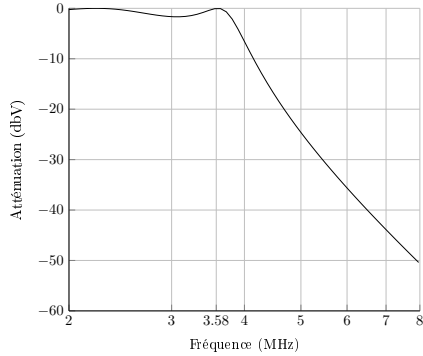
Simulation avec 5 pôles en Pi et condensateurs de serie

Avantages du réseau en Pi : inductances moins importantes par rapport au réseau en T, et une bobine en moins à construire.



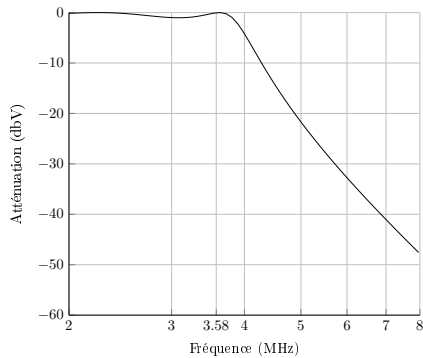
5 pôles 2700 pF
Fondamentale : -0.1 dBV
Harmonique : -47.3 dBV

```
./chebyshev.py 2 5 3.8 2.603  
R1 = 50 ohms, R2 = 50 ohms  
C = 2700 3549 2700 pF  
L = 1.70 1.70 uH  
n = 18.6 18.6 tours
```



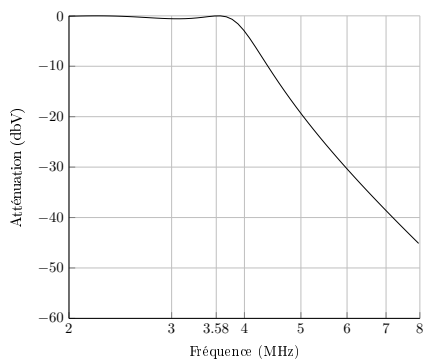
5 pôles 2200 pF
Fondamentale : -0.1 dBV
Harmonique : -45.0 dBV

```
./chebyshev.py 2 5 3.8 1.693  
R1 = 50 ohms, R2 = 50 ohms  
C = 2200 2974 2200 pF  
L = 1.99 1.99 uH  
n = 20.1 20.1 tours
```



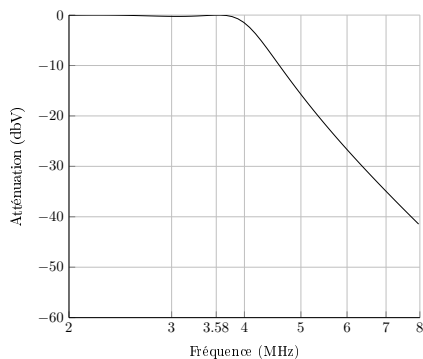
5 pôles 1800 pF
Fondamentale : -0.1 dBV
Harmonique : -42.2 dBV

```
./chebyshev.py 2 5 3.8 1.019  
R1 = 50 ohms, R2 = 50 ohms  
C = 1800 2527 1800 pF  
L = 2.28 2.28 uH  
n = 21.5 21.5 tours
```



5 pôles 1500 pF
Fondamentale : -0.0 dBV
Harmonique : -39.8 dBV

```
./chebyshev.py 2 5 3.8 0.588  
R1 = 50 ohms, R2 = 50 ohms  
C = 1500 2203 1500 pF  
L = 2.52 2.52 uH  
n = 22.7 22.7 tours
```

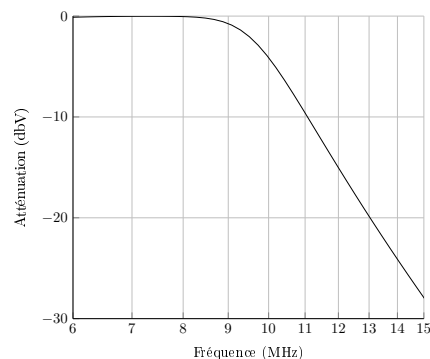


5 pôles 1200 pF
Fondamentale : -0.0 dBV
Harmonique : -36.1 dBV

```
./chebyshev.py 2 5 3.8 0.263  
R1 = 50 ohms, R2 = 50 ohms  
C = 1200 1893 1200 pF  
L = 2.75 2.75 uH  
n = 23.7 23.7 tours
```

Simulations de filtres sur d'autres modèles d'émetteur

Les atténuations sur la première harmonique paraissent insuffisantes. Par contre le ripple est très faible.



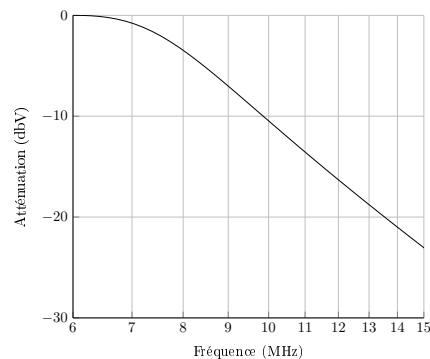
Émetteur CW simple 40m F6BQU

$R1, R2 = 50 \Omega$
 $C17, C20 = 470 \text{ pF}$
 $C18 = 1000 \text{ pF}$
 $L4, L5 = 16T \text{ T37-2 (1 } \mu\text{H)}$

$$\text{T37-2 : } L = 40 \left(\frac{n}{100} \right)^2$$

Fondamentale : -0.0 dBV

Harmonique : -24.1 dBV

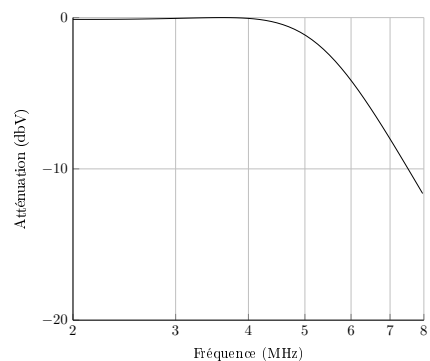


Pixie 40m

$R1, R2 = 50 \Omega$
 $C17, C18 = 820 \text{ pF}$
 $L4 = 1.2 \mu\text{H}$

Fondamentale : -0.8 dBV

Harmonique : -21.0 dBV

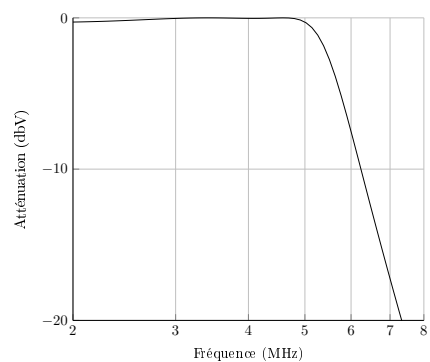


Pixie 80m

$R1, R2 = 50 \Omega$
 $C17, C18 = 820 \text{ pF}$
 $L4 = 2.2 \mu\text{H}$

Fondamentale : -0.0 dBV

Harmonique : -8.6 dBV

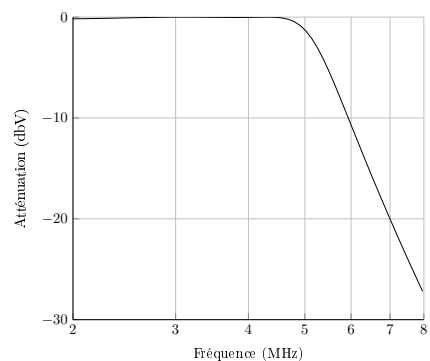


Bingo 80m ou Hobby 80 DSB

$R1, R2 = 50 \Omega$
 $C17, C18 = 820 \text{ ou } 762 \text{ pF}$
 $C20 = 1500 \text{ ou } 1560 \text{ pF}$
 $L4, L5 = 20T \text{ T50-2 (2 } \mu\text{H)}$

Fondamentale : -0.0 dBV

Harmonique : -18.6 dBV



Libra 80 SP5DDJ

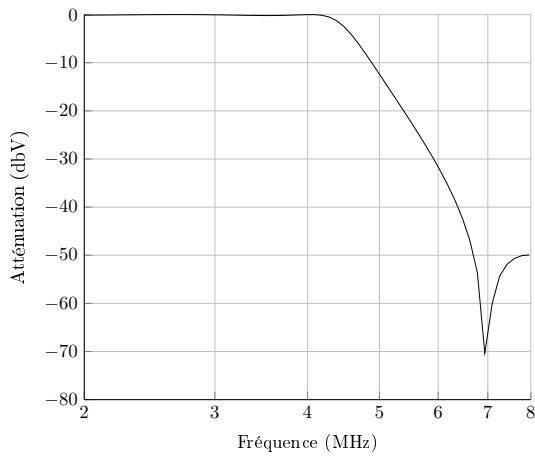
$R1, R2 = 50 \Omega$
 $C17, C18 = 820 \text{ pF}$
 $C20 = 1500 \text{ pF}$
 $L4, L5 = 23T \text{ T37-2 (2.2 } \mu\text{H)}$

Fondamentale : -0.0 dBV

Harmonique : -21.3 dBV

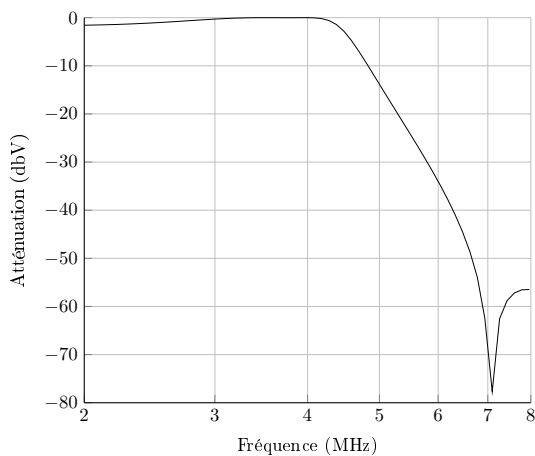
Filtre de Cauer du ARRL Handbook 2019 vol2 p489

Voir aussi l'article de J. Tonne W4ENE dans ARRL QEX Magazine, September 1998 p50
(https://archive.org/stream/QEX19812016/QEX_1998/QEX_1998-09#page/n51/mode/2up)



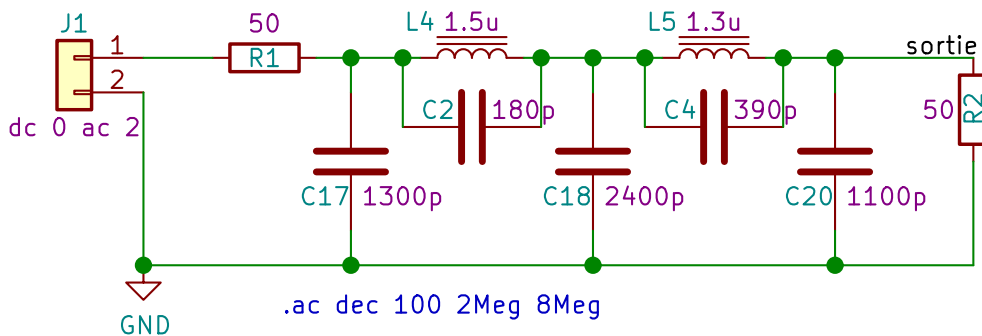
Filtre de Cauer

L4 = 2.29 μ H
L5 = 1.87 μ H
C2 = 99 pF
C4 = 279 pF
C17 = 935 pF
C18 = 1396 pF
C18 = 793 pF
Fondamentale : -0.2 dbV
Harmonique : -57.9 dbV

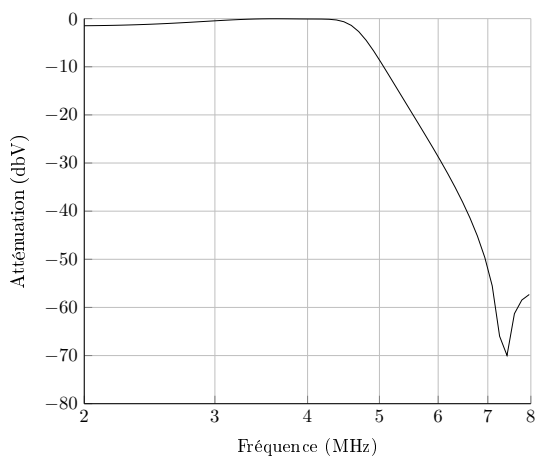


Filtre de Cauer optimisé par J. Tonne W4ENE

L4 = 1.5 μ H
L5 = 1.3 μ H
C2 = 180 pF
C4 = 390 pF
C17 = 1300 pF
C18 = 2400 pF
C18 = 1100 pF
Fondamentale : -0.0 dbV
Harmonique : -72.0 dbV



Filtre de Cauer avec condensateurs et bobines de serie



L5 = 1.2 μ H
C17 = 1200 pF
C18 = 2200 pF
C20 = 1000 pF
Fondamentale : -0.0 dbV
Harmonique : -59.4 dbV

```
echo 1.5 | awk '{ print 100 * sqrt($1 / 49) }'  
17.4964  
echo 1.2 | awk '{ print 100 * sqrt($1 / 49) }'  
15.6492
```