



UNIVERSITÉ GRENOBLE ALPES

COMPTE RENDU

TP 1 SIGNAUX ET SYSTÈMES ANALOGIQUES

TP2. ANALYSE SPECTRALE ET FILTRAGE NUMÉRIQUE

TABLE DE MATIÈRES :

TP1 / TP2

1) Introduction TP1..... / 1) Introduction TP2.....

2) Travail réalisé :

a) Systèmes linéaires..... / a)Analyse spectrale

b) Filtre DSL..... / b) Filtrage numérique

3) Conclusion.....

GROUPE :

Saidj Boualem..... Tiemoko William..... Kuanyshov Arsen....

1 Introduction

La façon la plus ancienne et la plus simple de réduire les composantes harmoniques est d'ajouter un filtre passe bas non dissipatif. Pendant cette séance nous allons étudier les différents filtres passifs. L'intérêt d'utiliser ces filtres est de garantir une atténuation minimum prédéterminée, indépendante des impédances de source et de charge, pour des fréquences élevées vis à vis de la fréquence de coupure du filtre.

Leur fonction de transfert est défini comme :

$$\underline{H(\omega)} = \frac{V_{S2}}{V_{S1}} = \frac{\text{Tension en sortie avec filtre}}{\text{Tension en sortie sans filtre}}$$

Dans le cas d'un filtre passe-bas, cette fonction de filtrage normalisée est définie par une fraction rationnelle à coefficients réels, dont le dénominateur possède un degré n égal à l'ordre du filtre :

$$\overline{H(\Omega)} = \frac{\overline{N(\Omega)}}{1 + a_1(J\Omega) + 1 + a_2(J\Omega) + \dots + a_n(J\Omega)}$$

2 Préparation

2.1 Gabarit normalisé

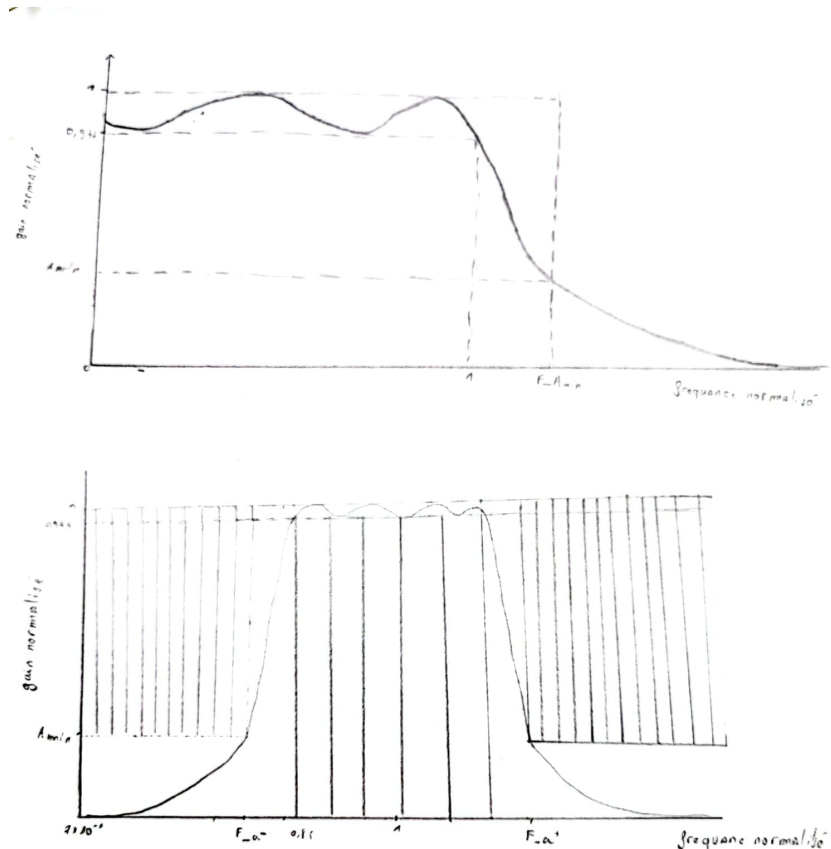


FIGURE 1 – Les gabarits normalisés des filtres.

2.2 La recherche des coefficients

Le code Python qu'on a utilisé pour calculer les coefficients de filtre N°1 de Chebyshev soumis :

```
import numpy as np
from numpy import log, sinh, tanh, sin
π = np.pi
n=6
δ = 0.2

fc = 11.1e6
Ωc = 2*π*fc
R0 = 140

g = chebyCoeff(δ, n)

#type B, on commence par une bobine

print("R0=", R0, 'Ω')
for i in range(1,n+1) :

    if i%2 == 1 : # impair, L
        print("  L"+str(i)+"=", R0*g[i]/Ωc*1e6, "μH")
    else :
        print("  C"+str(i)+"=", g[i]/(R0*Ωc)*1e12, "pF")

print("R"+str(n+1)+"=", g[n+1]*R0, 'Ω')
```

FIGURE 2 – Code Python pour rechercher les coeff-s de filtre 1.

```

R0= 140 Ω
L1= 2.729632808443258 μH
C2= 139.61582010328723 pF
L3= 4.49541437465984 μH
C4= 149.0737852491278 pF
L5= 4.210203447731343 μH
C6= 90.51817278260027 pF
R7= 215.39737937478571 Ω

```

FIGURE 3 – Coefficients de filtre 1.

De même façon on cherche les coefficients du filtre N°2 : Qui nous donne :

```

clear all;
n=4;
A=0.1;
sigma=log(coth(A/17.37))
m=sinh(sigma/(2*n))
g0=1
g(1)=2*sin(pi/(2*n))/m
g(5)=(coth(sigma/4))^2
f0=15.7*(10^6)

for i=2:4
    g(i)=(4*sin((2*i-1)*pi/(2*n))*sin((2*i-3)*pi/(2*n)))/g(i-1)*(m^2+(sin((i-1)*pi/n))^2);
end
R0=125

for i=1:4
    L(i)=R0*g(i)/f0
    C(i)=g(i)/(f0*R0)
end
R5=R0*g(5)

```

FIGURE 4 – Code Python pour rechercher les coeff-s de filtre 2.

```

g(1)=1.1088
g(2)=1.3062
g(3)=1.7704
g(4)=0.8181
g(5)=1.3554

```

FIGURE 5 – Coefficients de filtre 2.

Avec ces coefficients du prototype de filtre passe bas nous allons retrouver les element du filtre passe-bande transforme :

3 Mesures (analyseur de spectre)

3.1 Mesurer la réponse en fréquence de chacun des 3 filtres à l'aide de l'analyseur de spectre

Nous avons câblé l'analyseur de spectre à notre filtre numéro 1 et mesuré ces valeurs du Gain pour retracer cette réponse grâce à l'outil "LibreOffice".

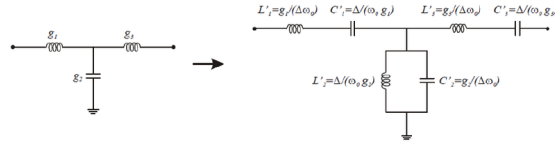


FIGURE 6 – Transformation en frequence passe-bas-passe-bande.

```

R0=125          L1=8.8u
C2=575p         L3=9.9u
C4=664.9p       L5=14.2u
C6=901.7p       L7=6.6u
C8=416.9p       R9=169.4

```

FIGURE 7 – Coefficients de filtre 2.

Fréquence	Gain
9.7	0
10.1	-1
12.2	-6
13	-11.5
13.4	-16
13.9	-20
16	-34
20	-48
24	-49

TABLE 1 – Tableau des valeurs filtre №1.

Filtre1 : La forme du réponse fréquentielle peut nous dire que c'est bien le filtre passe bas avec la fréquence de coupure 11.1MHz.

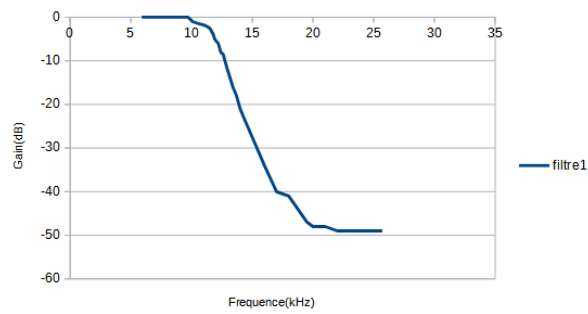


FIGURE 8 – Reponses fréquentielles filtre N°1

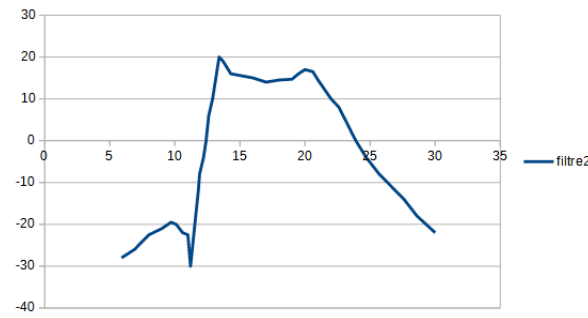


FIGURE 9 – Reponses fréquentielles filtre N°2

Fréquence	Gain
5.9	-28
10.1	-20
12.2	-4
13.4	20
14	17.5
18	14.5
22.6	8
23.9	0
27.6	-14

TABLE 2 – Tableau des valeurs filtre N°2.

Filtre2 : C'est bien le filtre passe-bande de Chebyshev à la fréquence de coupure égale à 15MHz environ (En réalité un peu plus petite). On peut voir qu'en réalité son ondulation est plus importante que 0.1dB vu en preparation.

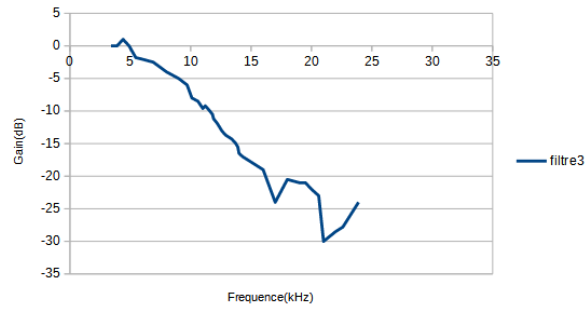


FIGURE 10 – Reponses fréquentielles filtre N°3

Fréquence	Gain
3.9	0
5.45	-20
8.8	-39.29
9.3	-55
10.2	-37
11	-35
11.4	-36.5
12.2	-40
12.8	-40.7

TABLE 3 – Tableau des valeurs filtre N°2.

Filtre3 : On peut noter comme cette graphique est atténué au debut. Sa fréquence de coupure est de 4.1 MHz.

3.2 Lorsque cela est possible (filtre 1 et 3), superposer le diagramme de Bode en gain de la transmittance. Commenter.

Le diagramme de Bode de deux filtres(1 et 3) superposé est représenté sur l'image si dessous.

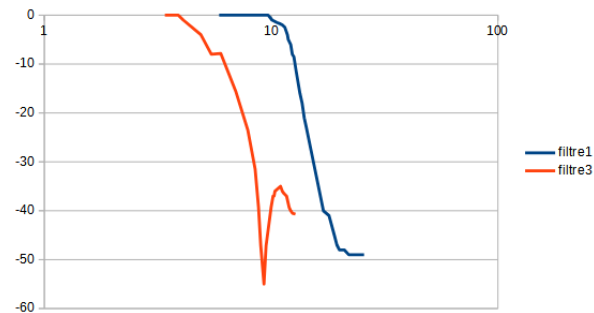


FIGURE 11 – Reponses fréquentielles filtre N°1 et N°3 superposés.

3.3 Conclusion sur les mesures réalisées.

Les reproductions des signaux et des analyses spectrales sont très faciles à réaliser et prouvent l'existence des divers harmoniques. L'importance du filtrage est plus difficile à prouver car l'amplitude des raies reproduites varie selon la vitesse de balayage, l'existence de bruit de fond et la précision de l'interface.

3.4 Expliquer la méthode de mesure que vous auriez dû considérer pour mesurer les fonctions de filtrage. Vous montrerez notamment que l'obtention de la fonction de filtrage se ramène à calculer

$$\overline{H(\omega)} = \frac{\overline{V_{S2}}}{E_g} * \frac{R_L + R_g}{R_L}$$

Il faut pas oublier de faire un produit de la fonction de filtrage avec la fonction de transfert V_{S2}/E_g

$$\frac{V_{S2}}{E_g} = \frac{V_{S2}}{E_g} * H(\omega)$$

Ce qui nous ramène à En sachant que la résistance d'entrée est de 50 Ohm et la charge R_L est aussi

$$H(\omega) = \frac{V_{S2}}{E_g} * \frac{R_1 + R_g}{R_1}$$

de 50 Ohm donc l'optimisation du transfert d'énergie crée le rendement de 0.5

4 Simulations

- 4.1 1. Simuler les réponses en fréquence de chacun des 3 filtres à l'aide de LTSpice. Pour les deux premiers, saisir le schéma avec les valeurs trouvées en préparation. Le schéma du 3e filtre vous est donné et vous servira de modèle.

En mettant les valeurs reçu dans la preparation dans le schéma LTSpice de filtre Chebyshev d'ordre 6 :

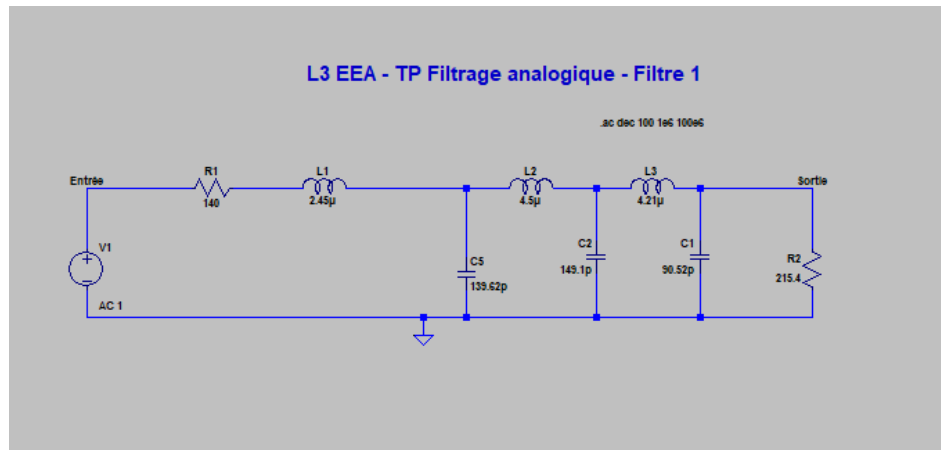


FIGURE 12 – Schéma de simulation filtre N°1.

On a reçu une reponse avec la simulation :

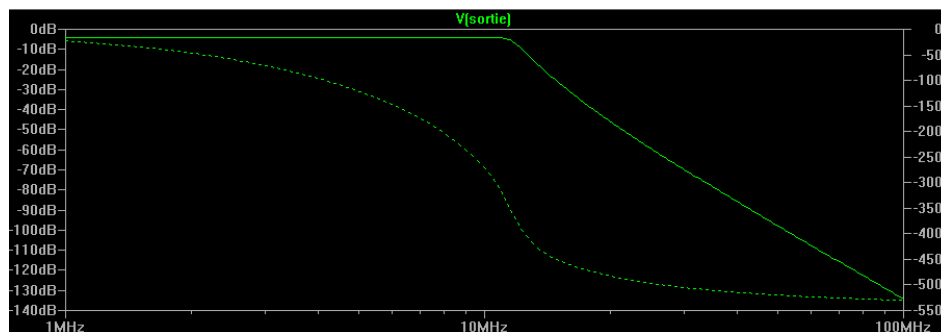


FIGURE 13 – Reponse de filtre N°1.

Comparaison des valeurs theoriques et simulation		
Element	Valeur théorique	Valeur simulation
fc	11.1MHz	10.2MHz
Amax	0.2	0.3

En mettant ces valeurs dans le schéma LTSpice de filtre Chebyshev d'ordre 8 :

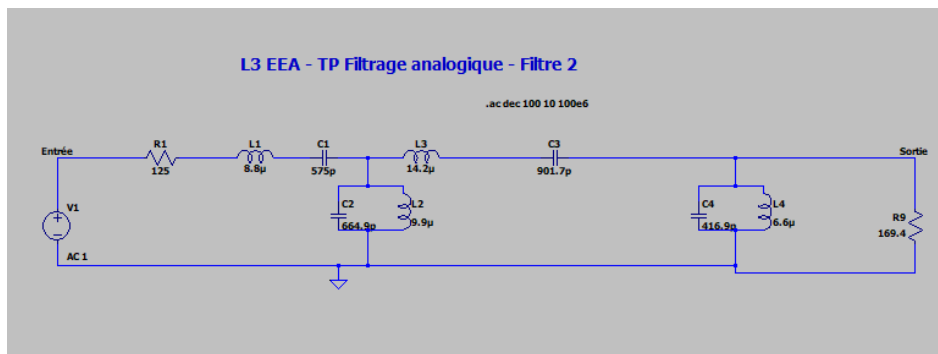


FIGURE 14 – Schéma de simulation filtre N°2.

On a reçu une reponse avec la simulation :

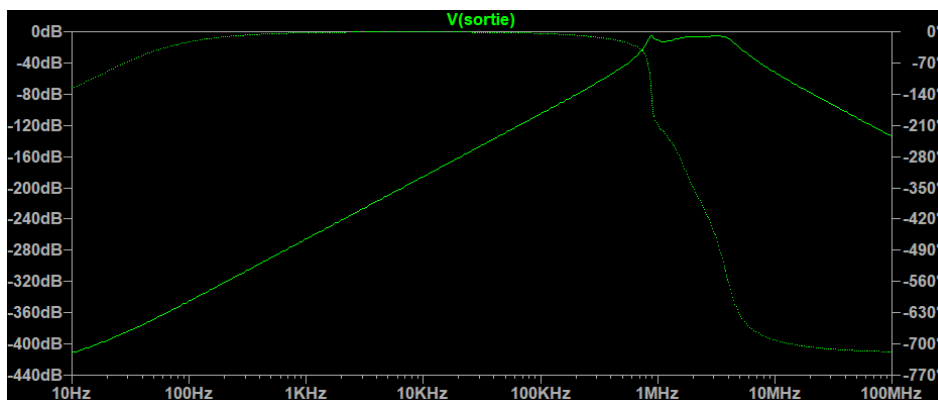


FIGURE 15 – Reponse de filtre N°2.

On peut voir bien que c'est le filtre de $f_b=980000\text{Hz}$ et $f_h=3.8\text{MHz}$ du coup sa fréquence de coupure est $f_c=(3.8-0.98)/2+0.98=2.39\text{MHz}$

Comparaison des valeurs theoriques et simulation		
Element	Valeur théorique	Valeur simulation
f_c	15,7MHz	2.39MHz
A_{max}	0.1dB	0.1dB
$\Delta f/f_0$	0,3	0.3

Le filtre 3 est déjà donné avec son schéma correspondant :

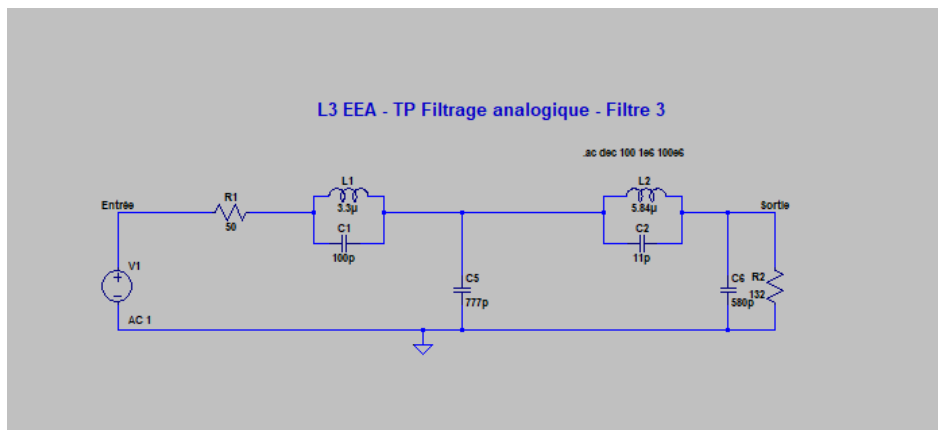


FIGURE 16 – Schéma de simulation filtre N°3.

C'est le filtre de type elliptique. La reponse est reçu donc :

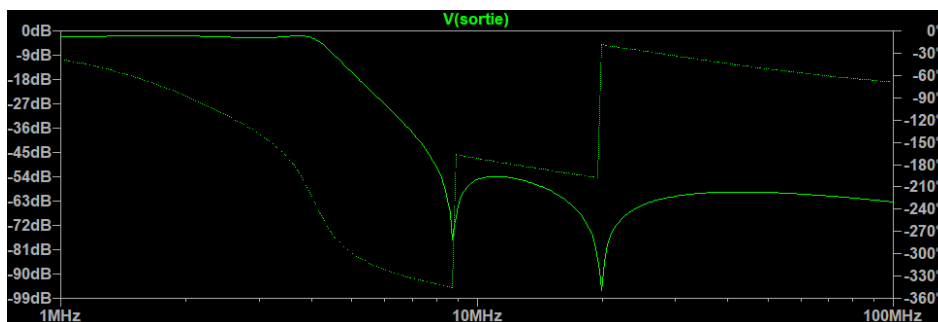


FIGURE 17 – Reponse de filtre N°3.

Si on fait zoom on peut noter que -3dB est à point de $f_c=4.1\text{MHz}$:

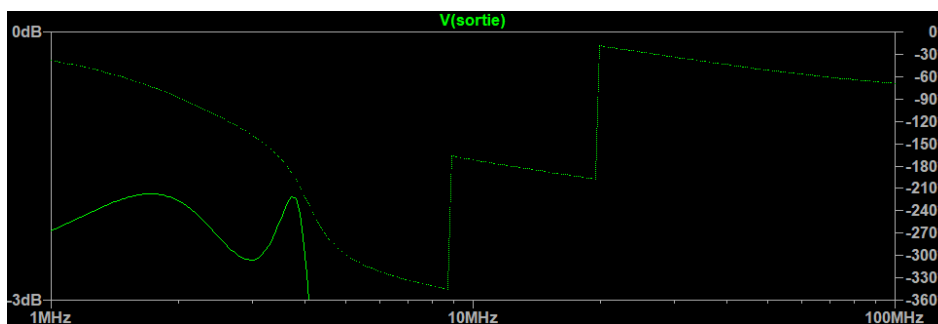


FIGURE 18 – Reponse de filtre N°3aggrandi.

Comparaison des valeurs theoriques et simulation		
Element	Valeur théorique	Valeur simulation
f_c	4,1MHz	4.1MHz
A_{max}	1dB	-1dB
A_{min}	52dB	-99dB

4.2 Que se passe-t-il si l'on change la valeur des résistances terminales ?

Nous allons voir que le rendement de puissance diffère. On peut considérer trois cas remarquables :

$$\eta = \frac{P_L}{P_S} = \frac{R_L I^2}{(R_L + R_S) I^2} = \frac{R_L}{R_L + R_S} = \frac{1}{1 + \frac{R_S}{R_L}}$$

- si $R_L = R_S$, alors $\eta = 0,5$;
- si $R_L \gg R_S$, alors $\eta = 1$;
- si $R_L \ll R_S$, alors $\eta = 0$.

5 Conclusion

Durant ce TP on a appris beaucoup de chose, on a étudié 3 filtres différents (passe bas et passe bande Chebyshev, elliptique), nous avons regardé et évalué la différence entre ces deux filtres à partir de leur caractéristique on note (le gain, bande passante, pente d'atténuation...), réalisé les schémas des deux filtres et nous avons simulé avec LTSpice.

On a appris aussi que chaque filtre a ses propres inconvénients et avantages et à partir de ça on décide quel filtre choisir, on vous présente le tableau ci-dessous pour bien illustrer les différents avantages-inconvénients de quelques filtres :

Filtre	Avantages	Inconvénients
BUTTERWORTH	<ul style="list-style-type: none"> Pente du gain de -20dB/décade Forme générale similaire pour tous les ordres (sauf la pente) Calculs faciles Aucunes ondulations dans la bande passante 	<ul style="list-style-type: none"> Ordre élevé pour une grande sélectivité
Chebyshev	<ul style="list-style-type: none"> Ordre plus petit pour une grande sélectivité Ondulation dans la bande passante en fonction de l'ordre n Filtres d'ordre impair, impédance d'entrée et sortie identique Type2 meilleur que le type1 au niveau de l'absence d'ondulation et du temps de propagation de groupe 	<ul style="list-style-type: none"> Ondulation dans la bande passante Utilisation d'ordre pair impossible avec le type2 Type2 peu utilisé à cause de sa complexité et la nécessité de régler les circuits LC précisément Temps de propagation de groupe non constant en bande passante
CAUER	<ul style="list-style-type: none"> Filtre à coupure maximale Coupure raide 	<ul style="list-style-type: none"> Difficulté du calcul Difficile à réaliser
BESSEL	<ul style="list-style-type: none"> Délai constant en bande passante (pour la fréquence) Indispensable pour les modulations HF (préserver la phase des signaux large bande) 	<ul style="list-style-type: none"> Sélectivité moins bonne Pas d'intérêt pour le filtrage numérique
LEGENDRE	<ul style="list-style-type: none"> Raideur maximale au niveau de la F_c Atténuations monotone 	<ul style="list-style-type: none"> Calculs complexes

FIGURE 19 – Tableau comparatif de différents filtres.