

Synthèse et Analyse du Filtre de Chebyshev

Table des matières:

Introduction :	4
Objectif :	5
Mise en place du Projet :	5
Filtres à réponse impulsionnelle infinie (RII) :	6
Introduction :	6
Équation d'un filtre RII :	6
Fonction de transfert analogique :	7
L'approximation de Chebyshev :	8
Le filtre Chebyshev:	8
Les structures RIF et RII :	10
Choix de structure :	13
Approches de Conception entre Filtres IIR et FIR :	13
Stabilité du filtre :	14
Filtre Passe-bas :	15

Définition :	15
Ondulation maximale dans la bande passante :	16
Exemple d'un filtre Chebyshev d'ordre 2 :	17
Synthèse du filtre :	17
Conclusion :	18
Application LabVIEW :	18
Filtre Chebyshev passe haut :	25
Application LabVIEW :	26
Filtre Chebyshev passe bande :	30
Application LabVIEW :	30
Conclusion :	33
Filtre Chebyshev coupe bande :	33
Conclusion :	35
Application LabVIEW :	35
Filtre passe bas approximation Chebyshev :	38
Filtre passe haut approximation Chebyshev :	39
Filtre passe bande approximation Chebyshev :	40
Filtre coupe bande approximation Chebyshev :	41
TEST MIL :	42
TEST MIL du filtre:	46

Liste des figures :

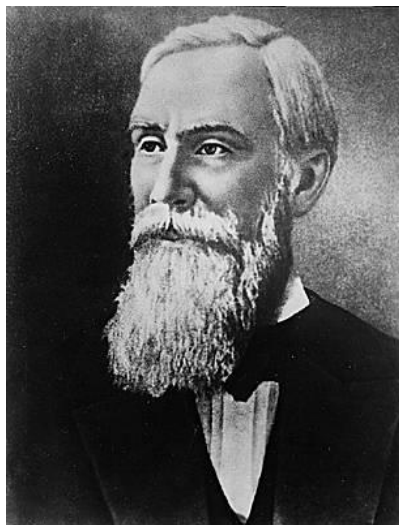
<i>Figure 1: Spectre Chebyshev</i>	9
<i>Figure 2: Comparaison entre Chebyshev 1 et 2</i>	10
Figure 3: Filtre numérique	11
<i>Figure 4: Structure RIF</i>	12
<i>Figure 5: Structure RII</i>	12
Figure 6: Comparaison entre FIR et IIR	13
Figure 7 critère stabilité du filtre	14
Figure 8 Gabarit filtre passe bas	16
<i>Figure 9: Filtre passe bas</i>	17
Figure 10 spectre passe-bas	18
Figure 11 Application	18
Figure 12 Génération de signal	19
Figure 13 Représentation du signal généré	19
Figure 14 Spectre	20
Figure 15 Bloc filtre	20
Figure 16 La partie filtrage	21
Figure 17 Configuration du filtre	21
Figure 18 : réponse temporel	22
Figure 19: réponse fréquentiel	22
Figure 20 : Analyse de fonction de Transfer	23

Figure 21 Diagramme de bode.....	24
Figure 22 Chebyshev coefficient	25
Figure 23: Gabarit passe haut.....	25
Figure 24: Configuration passe-haut.....	27
Figure 25: réponse temporel	28
Figure 26: réponse fréquentiel	28
Figure 27: réponse fréquentiel	28
Figure 28 Analyse de fonction de Transfer.....	29
Figure 29 Diagramme de bode.....	29
Figure 30 Configuration passe-bande	31
Figure 31 réponse fréquentiel	32
Figure 32 réponse temporel	32
Figure 33 Analyse fonction de transfert.....	33
Figure 34 Diagramme de bode.....	33
Figure 35 Application	35
Figure 36 Configuration coupe-bande	36
Figure 37 Réponse temporel	36
Figure 38 Réponse fréquentiel	37
Figure 39 Analyse de fonction	37
Figure 40 Diagramme de bode.....	37
Figure 41 Schéma filtre Chebyshev passe-bas.....	38
Figure 42 Block paramètre du signal utile sinusoïdale	38
Figure 44 Filter design passe-bas.....	39
Figure 43 La réponse du filtre.....	39
Figure 45 la réponse de Filtre passe haut approximation Chebyshev	40
Figure 46 La réponse de Filtre passe bande approximation Chebyshev	40
Figure 47 La réponse de Filtre coupe bande approximation Chebyshev	41
Figure 48 Le test MIL	46
Figure 49 La réponse du test MIL.....	46

Introduction :

Les filtres Chebyshev sont souvent utilisés dans les applications où une atténuation rapide des fréquences indésirables est cruciale, même au prix de petites ondulations dans la bande passante.

Le filtre Chebyshev est basé sur les travaux mathématiques du mathématicien russe Pafnuty Chebyshev, également connu sous le nom de Tchebychev. Il a développé les polynômes de Tchebychev et les a utilisés pour développer des approximations de fonctions.



Ces filtres trouvent des applications dans des domaines tels que la télécommunication, l'électronique de puissance, et le traitement du signal. Ce projet est rédigé suite aux travaux du module traitement du signal, on va s'intéresser globalement sur le filtre de type Chebyshev comme étant une approximation très puissante au niveau du contrôle fréquentiel rapide par rapport à d'autre approximation, on parle ici d'un facteur très important dans l'analyse fréquentiel du comportement d'un système ou un signal et qui va être traité en détail dans ce rapport.

On va essayer encore de créer et tester pratiquement le filtre Chebyshev et d'analyser le comportement fréquentiel du système en utilisant les logiciels LabVIEW et Simulink.

Ce travail est rédigé suite aux travaux pratiques du module traitement du signal sous l'encadrement de monsieur Latif Rachid, en utilisant le logiciel LabVIEW pour l'étude, l'analyse, la synthèse, la conception et la validation des applications de traitement de l'information.

Et finalement une application de transmission de données par modulation puis démodulation pour modéliser l'effet du filtre dans une application réelle en utilisant Simulink.

Objectif :

L'objectif de ce rapport est d'étudier, créer, analyser et utiliser l'approximation du filtre Chebyshev d'une façon pratique et applicable dans les différentes applications industrielles.

Mise en place du Projet :

Nous avons commencé par étudier le filtre, faire la synthèse d'un filtre analogique Chebyshev et d'un filtre numérique Chebyshev qui implique les étapes spécifiques adaptées à chaque domaine, puis analyser sa conception qui repose sur des équations mathématiques spécifiques pour obtenir les caractéristiques de réponse souhaitées, offrant ainsi une flexibilité dans l'adaptation aux besoins spécifiques des systèmes électroniques, le travail sera réalisé par les logiciels LabVIEW et Simulink comme état des outils puissants en conception, test et validation des filtres.

Filtres à réponse impulsionnelle infinie (RII) :

Introduction :

- Les filtres RII sont caractérisés par une fonction de transfert exprimée par une fraction rationnelle en z^{-1} :

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^{N-1} b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^{M-1} a_k z^{-k}}$$

- L'introduction de pôles dans $H(z)$ réduit considérablement le nombre de coefficients par rapport à un filtre équivalent RIF.
- Propriétés : – Très efficaces en temps de calcul, mais...
- Offrent une réponse en phase non linéaire en général
- Leur stabilité doit être vérifiée lors de la conception

Équation d'un filtre RII :

$$y[n] = \sum_{k=0}^{N-1} b[k] x[n-k] + \sum_{k=1}^{M-1} a[k] y[n-k]$$

$x[n]$: valeurs successives du signal d'entrée

a_k, b_k : coefficients de la fonction de transfert du filtre,

$y[n]$: valeurs successives du signal de sortie,

N, M : ordres du numérateur et du dénominateur de $H(z)$

(M est souvent appelé l'ordre du filtre).

Stabilité des filtres RII :

- Il faut s'assurer que le $H(z)$ ne possède pas de pôles à l'extérieur du cercle défini par $z=1$.
- Les pôles situés le long de $z=1$ donnent lieu à des réponses oscillatoires.

Conception d'un filtre RII

- Toujours cinq étapes requises :

1. Spécification du filtre
2. Calcul des coefficients
3. Choix d'une architecture de mise en œuvre.
4. Simulation (conseillé)
5. Implémentation.

Fonction de transfert analogique :

- Plusieurs approches possibles (vues dans MIC5100) :
 - Filtres de Butterworth
 - Filtres de Chebyshev(directe et inverse)
 - Filtre de Caerou elliptiques
 - Filtres de Bessel
 - Filtre de phase

L'approximation de Chebyshev :

Dans le contexte du traitement du signal, fait référence à une méthode de conception de filtres qui vise à obtenir une réponse en fréquence spécifique tout en minimisant les ondulations dans la bande passante ou d'arrêt, selon les besoins de l'application. Cette approche est couramment utilisée dans la conception de filtres, qu'ils soient analogiques ou numériques.

L'équation générale d'un filtre Chebyshev de type I en fonction de sa réponse en fréquence normalisée est :

$$G_n(\omega) = |H_n(j\omega)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \varepsilon^2 T_n^2(\omega/\omega_0)}}$$

avec ε est le facteur d'ondulation, ω_0 la **fréquence de coupure** et T_n est le n^{e} **polynôme de Tchebychev** du premier type.

1. Caractéristiques de l'approximation de Chebyshev :

- L'approximation de Chebyshev permet de concevoir des filtres avec une réponse en fréquence qui présente des ondulations contrôlées dans la bande passante ou d'arrêt. Ces ondulations permettent d'obtenir une transition plus abrupte entre les régions de transmission et d'arrêt par rapport à d'autres méthodes d'approximation.

2. Ordre du filtre :

- Un filtre Chebyshev peut être de premier, deuxième, troisième ordre, et ainsi de suite. L'ordre du filtre détermine la complexité du filtre et sa capacité à s'approcher des spécifications de conception.

3. Conception des filtres IIR :

- Dans le domaine des filtres IIR (Infinite Impulse Response), l'approximation de Chebyshev est souvent utilisée pour concevoir des filtres avec une réponse impulsionnelle infinie. Ces filtres présentent généralement des caractéristiques de raccordement abruptes, mais avec des ondulations contrôlées dans la bande passante.

4. Conception des filtres FIR :

- Bien que moins courant, l'approximation de Chebyshev peut également être appliquée aux filtres FIR (Finite Impulse Response) en utilisant des méthodes d'optimisation. Cela peut être nécessaire lorsque des spécifications strictes en matière de réponse en fréquence doivent être respectées.

Le filtre Chebyshev:

Le filtre Chebyshev est un type de filtre électronique qui tire son nom du mathématicien russe Pafnuty Chebyshev. Il appartient à la famille des filtres analogiques et il est caractérisé par ses propriétés de réponse en fréquence spécifiques.

Contrairement aux filtres Butterworth, les filtres Chebyshev présentent des ripples (ondulations) dans la bande. Les filtres Chebyshev sont des filtres analogiques ou numériques qui présentent des ondulations dans la bande passante afin d'obtenir une pente de coupure plus abrupte par rapport à d'autres types de filtres, comme les filtres Butterworth.

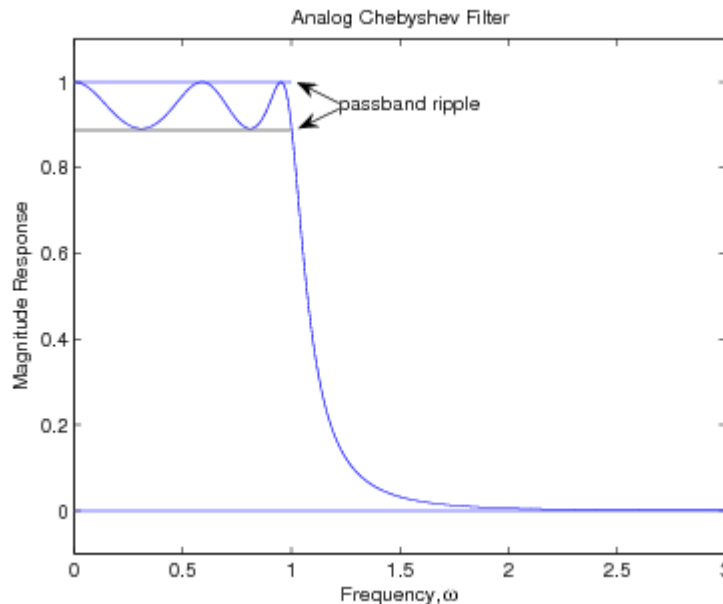


Figure 1: Spectre Chebyshev

Le développement d'un filtre Chebyshev implique la résolution d'équations mathématiques spécifiques qui déterminent les coefficients du filtre. La caractéristique principale des filtres Chebyshev est qu'ils minimisent l'ondulation dans la bande passante tout en permettant une pente de coupure raide. Cette conception est basée sur les polynômes de Chebyshev, qui sont des fonctions mathématiques utilisées pour décrire les caractéristiques de fréq

Le filtre Chebyshev peut être de type I (avec une ondulation uniquement dans la bande passante) ou de type II (avec une ondulation uniquement dans la bande coupée).

Les ingénieurs ajustent les paramètres du filtre en fonction des spécifications requises, tels que la fréquence de coupure, le niveau d'ondulation acceptable, et la pente de coupure souhaitée. Passante, mais cela leur permet d'atteindre une pente de coupure plus abrupte.

Alors les filtres Chebyshev sont une famille de filtres qui présentent des caractéristiques de raccordement abruptes mais avec des ondulations dans la bande passante. Ces filtres sont classés en deux types principaux : les filtres Chebyshev de type I et les filtres Chebyshev de type II.

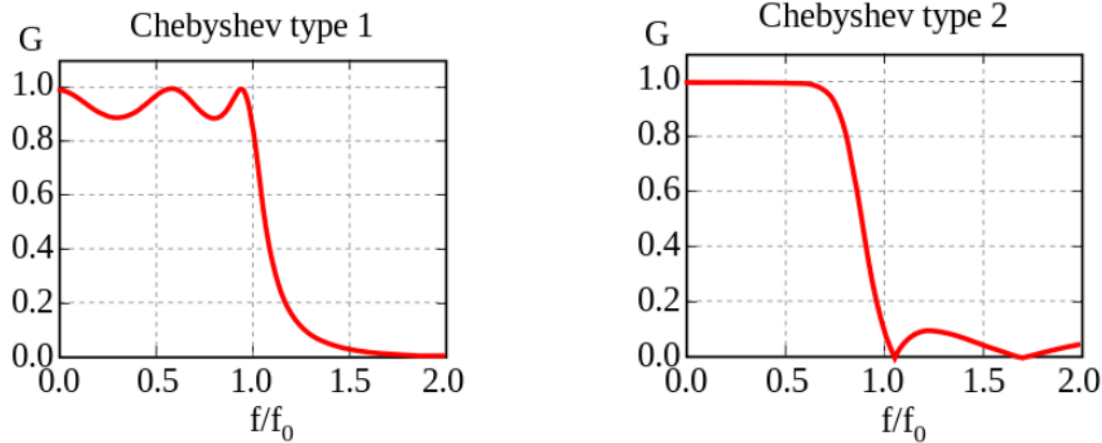


Figure 2: Comparaison entre Chebyshev 1 et 2

Le filtre Chebyshev implique la manipulation des équations de Chebyshev pour obtenir les coefficients du filtre, ce qui permet de personnaliser ses caractéristiques en fonction des besoins spécifiques de l'application.

Propriétés des filtres de Tchebychev I

- Ondulation dans la bande passante réglée par ϵ
- Pas d'ondulation en bande rejetée – Raideur de coupure importante
- Meilleure atténuation que Butterworth

Propriétés des filtres de Tchebychev II

- Ondulation dans la bande rejetée réglée par ϵ
- Pas d'ondulation en bande passante

Les structures RIF et RII :

Les filtres RIF (réponse impulsionnelle finie) ou non récursif et RII (réponse impulsionnelle infinie) ou récursif sont référence à deux types de structures de filtres numériques. Ces termes sont souvent utilisés pour décrire la nature récursive d'un filtre numérique, ce qui signifie que la sortie du filtre dépend non seulement des entrées actuelles, mais également des sorties précédentes.

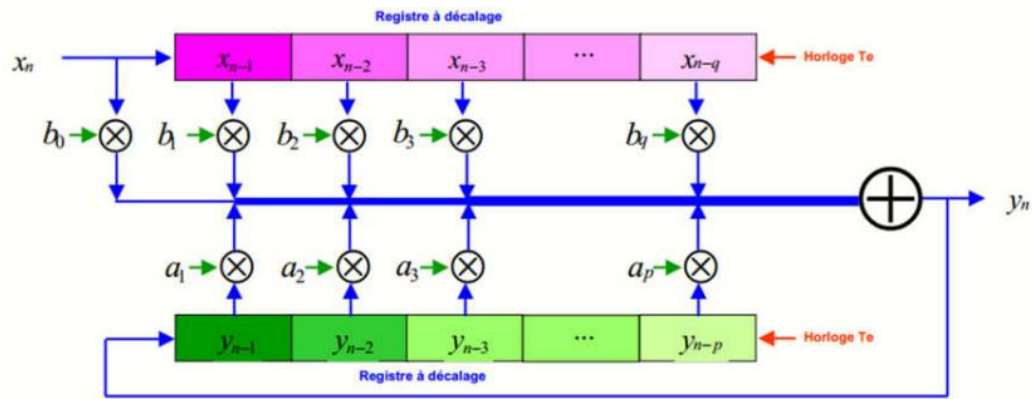


Figure 3: Filtre numérique

Ces structures sont couramment utilisées dans la conception de filtres numériques, un filtre numérique est défini généralement par :

$$y_n = \sum_{i=0}^{i=q} b_i x_{n-i} + \sum_{j=1}^p a_j y_{n-j}$$

Filtres à réponses impulsionnelle finie (RIF) ou filtres non récurrents

La structure RIF est caractérisée :

- La sortie y_n ne dépend que des entrées x_n et pas des sorties y_n . Ce qui fait tous les

coefficients a sont nuls : $y_n = \sum_{i=0}^{i=q} b_i \cdot x_{n-i}$

- Leur réponse à une impulsion s'annule au bout d'un certain temps
- Ils n'ont pas d'équivalent analogique.
- Ce sont des filtres toujours stables
- Une plus grande facilité d'implantation dans un système numérique de traitement

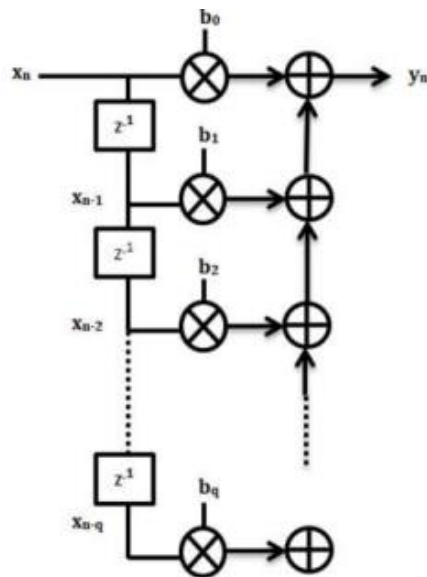


Figure 4: Structure RIF

Filtres à réponse impulsionnelle infinie (RII) ou filtres récursifs :

Les filtres RII sont caractérisés par :

- La sortie dépend des entrées et des sorties précédentes
- Leur réponse à une impulsion s'annule au bout d'un temps infini
- Ils s'appellent filtres récursifs ou à réponse impulsionnelle infinie (IIR)

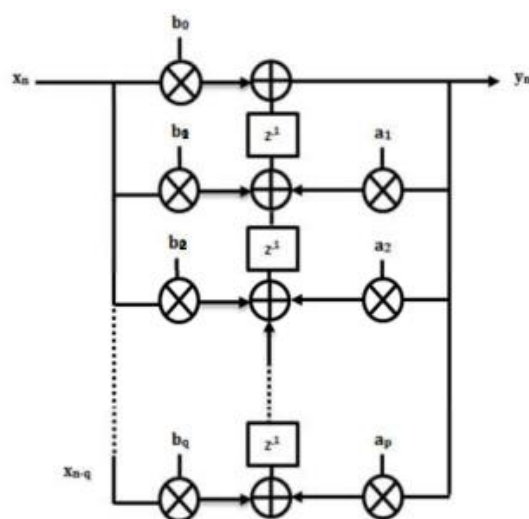


Figure 5: Structure RII

Choix de structure :

Synthétiser un filtre numérique à partir d'un gabarit analogique donné, le choix se pose entre un filtre récursif et un filtre non-récursif. Les caractéristiques ci-dessous permettent de valider les critères en faveur de l'une ou de l'autre.

- Les filtres RII nécessitent un volume calculatoire moins important que les filtres RIF
- Les filtres RIF ont une phase linéaire alors que les RII introduisent de la distorsion de temps de propagation ;
- Seuls les RIF travaillent sur un horizon fini. Cela peut être important si les données sont perturbées : un RII sera perturbé pendant une durée importante alors qu'un RIF ne le sera que pendant N échantillons, longueur de la réponse impulsionnelle ;
- Les RIF sont toujours stables ; un RII peut être instable ;
- Les RIF ont un bruit d'arrondi faible du fait de leur structure

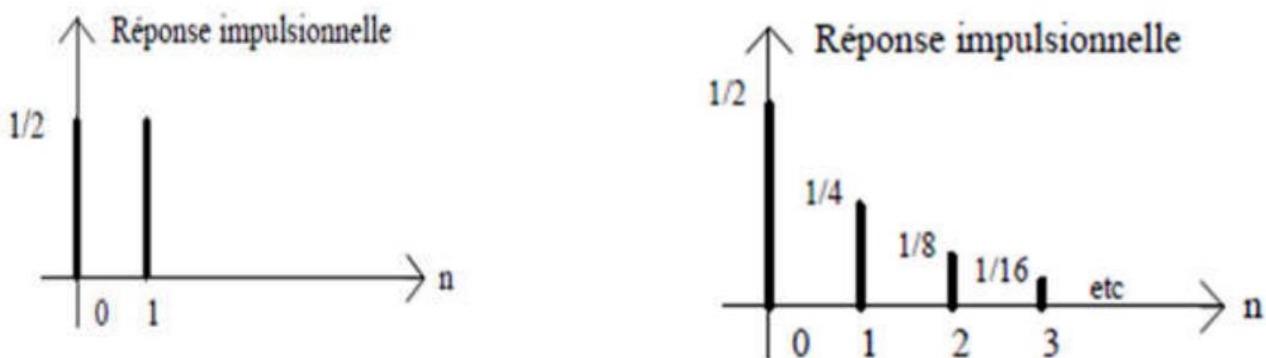


Figure 6: Comparaison entre FIR et IIR

Approches de Conception entre Filtres IIR et FIR :

On note que l'approximation de Chebyshev est principalement associée aux filtres IIR (Infinite Impulse Response), qui ont une réponse impulsionnelle potentiellement infinie. Cette approche n'est généralement pas utilisée directement dans les filtres FIR (Finite Impulse Response), qui ont une réponse impulsionnelle finie.

Les filtres FIR sont bien adaptés pour produire une réponse en fréquence égale en raison de leur capacité à avoir une phase linéaire, ce qui est souvent préférable dans de nombreuses applications de filtrage. De plus, les filtres FIR sont plus faciles à concevoir et à mettre en œuvre, avec une complexité moindre par rapport aux filtres IIR, particulièrement lorsqu'il s'agit de respecter des spécifications strictes.

Cependant, si des exigences spécifiques nécessitent une réponse en fréquence avec des ondulations contrôlées, des techniques d'optimisation peuvent être utilisées dans la conception d'un filtre FIR pour atteindre des caractéristiques similaires à celles d'un filtre Chebyshev. Cela peut impliquer des méthodes itératives pour ajuster les coefficients du filtre afin de minimiser l'erreur par rapport aux

spécifications souhaitées. En résumé, bien que l'approximation de Chebyshev soit moins couramment appliquée aux filtres FIR, des approches d'optimisation peuvent être employées pour obtenir des résultats similaires lorsque cela est nécessaire.

Les exemples de conception du filtre Chebyshev par la suite de ces applications seront à base de structure RII.

Stabilité du filtre :

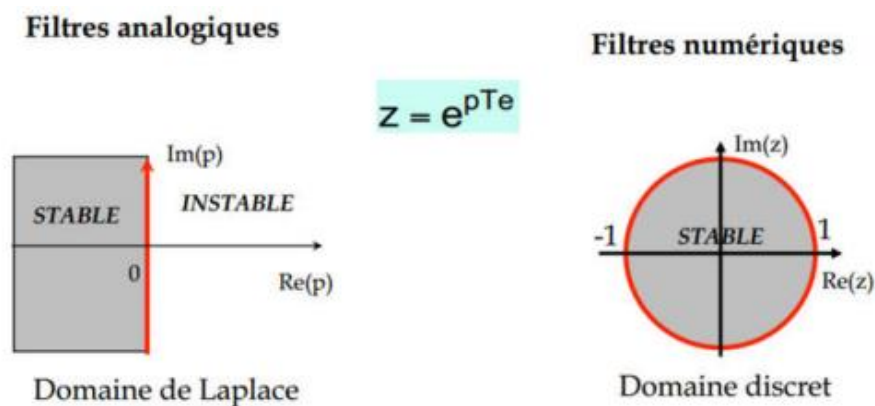


Figure 7 critère stabilité du filtre

Le critère de stabilité du filtre analogique :

Est un principe fondamental dans la conception des filtres, visant à garantir que le système reste stable sous diverses conditions. Pour un filtre analogique, la stabilité est souvent évaluée en termes de localisation des pôles dans le plan complexe. Selon le critère de stabilité de Routh-Hurwitz, un système est stable si tous les pôles de sa fonction de transfert ont des parties réelles strictement négatives. En d'autres termes, aucun pôle ne peut être situé dans le demi-plan droit du plan complexe. Ce critère assure que le système ne diverge pas avec le temps et maintient une réponse stable à l'entrée. En outre, dans le domaine fréquentiel, un filtre analogique est considéré comme stable si sa fonction de transfert n'a pas de singularités sur l'axe imaginaire ou dans le demi-plan droit du plan de Laplace. Cette condition garantit que le système ne présente pas de comportement oscillatoire ou explosif. En résumé, la stabilité d'un filtre analogique est essentielle pour assurer sa fonctionnalité et son comportement prévisible dans diverses applications.

Le critère de stabilité du filtre numérique :

Le critère de stabilité du filtre numérique est basé sur la localisation des pôles de la fonction de transfert dans le plan z , où z représente le domaine des nombres complexes. Pour qu'un filtre numérique soit stable, tous ses pôles doivent être situés à l'intérieur du cercle unité dans le plan z . Cela signifie que les pôles doivent avoir une magnitude (ou un rayon) inférieure à 1.

Une façon courante de vérifier la stabilité d'un filtre numérique est d'utiliser le critère de stabilité de Jury ou le critère de stabilité de Routh-Hurwitz adapté au domaine z . Ces critères examinent les coefficients du polynôme caractéristique du filtre pour déterminer si tous les pôles se trouvent à l'intérieur du cercle unité. Si un ou plusieurs pôles se trouvent à l'extérieur du cercle unité, le filtre est instable.

instable et peut présenter un comportement imprévisible, y compris une réponse oscillante ou divergente.

Exemple :

Soit le filtre RII obéissant à l'équation récurrente : $y(n) = \frac{x(n) + y(n-1)}{2}$, ce filtre a pour transformée en Z ; $H(z) = \frac{z}{(2z-1)}$. La fonction $H(z)$ présente donc un pôle en $z = 1/2$, le système est donc stable. Sa réponse impulsionnelle est : $h(n) = \frac{1}{2} \times \left(\frac{1}{2}\right)^n$, elle converge vers zéro quand $n \rightarrow \infty$.

Filtre Passe-bas :

Définition :

Le filtre Chebyshev passe-bas est un type spécifique de filtre Chebyshev qui permet le passage des fréquences plus basses tout en atténuant les fréquences plus élevées au-delà de la fréquence de coupure. Ce type de filtre est souvent utilisé dans le domaine de la conception de circuits électroniques et de traitement du signal.

Le filtre passe-bas de Chebychev d'ordre n est défini par le module au carré de sa fonction de transfert selon :

$$|T| = \frac{T_0^2}{1 + \epsilon^2 C_n^2\left(\frac{f}{f_0}\right)}$$

où C_n est défini par une relation de récurrence,

$$C_n\left(\frac{f}{f_0}\right) = 2 \frac{f}{f_0} C_{n-1}\left(\frac{f}{f_0}\right) - C_{n-2}\left(\frac{f}{f_0}\right)$$

et où le taux d'ondulation dans la bande passante est fixé par le paramètre réel, ϵ . Dans la pratique, on utilise trois valeurs d'ondulation, 0.1 dB, 0.5 dB et 1 dB.

Réponse en fréquence avec ondulation dans la bande passante :

Contrairement aux filtres Butterworth qui offrent une réponse plate dans la bande passante, le filtre Chebyshev passe-bas présente des ondulations contrôlées dans cette région. Cela permet d'atteindre une pente de coupure plus abrupte, mais au prix de légères fluctuations d'amplitude dans la bande passante.

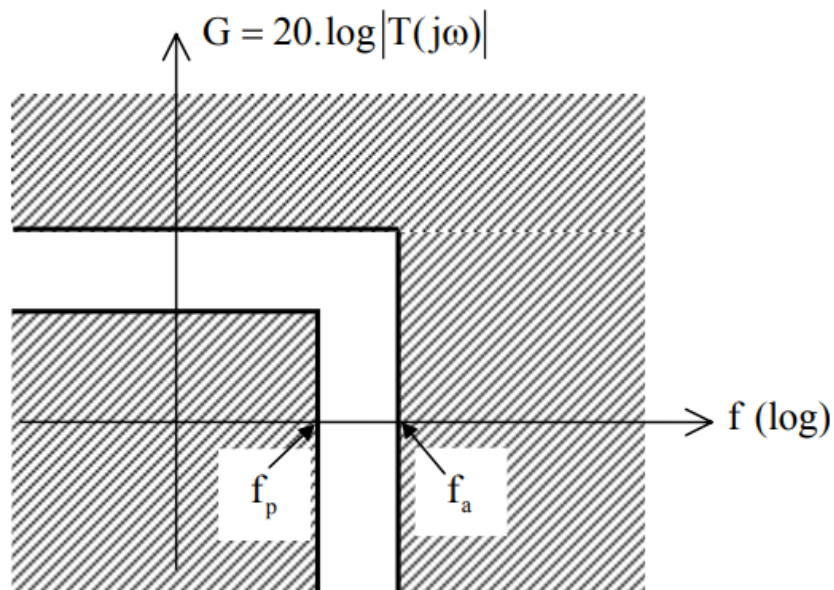


Figure 8 Gabarit filtre passe bas

Ordre du filtre :

L'ordre du filtre Chebyshev détermine la rapidité avec laquelle il atténue les fréquences au-delà de la fréquence de coupure. Plus l'ordre est élevé, plus le filtre peut atteindre une atténuation rapide, mais cela peut également entraîner des exigences de conception plus complexes.

Fréquence de coupure :

La fréquence de coupure est la fréquence à laquelle le filtre commence à atténuer les signaux. Au-delà de cette fréquence, les signaux sont fortement atténués.

Ondulation maximale dans la bande passante :

L'utilisateur spécifie généralement une ondulation maximale acceptable dans la bande passante. Les filtres Chebyshev permettent un compromis entre la pente de coupure raide et l'ondulation dans la bande passante.

Types d'applications : Les filtres Chebyshev passe-bas sont utilisés dans diverses applications telles que le traitement audio, la communication sans fil, la modulation et la démodulation, ainsi que dans d'autres domaines nécessitant une sélectivité fréquentielle élevée.

Exemple d'un filtre Chebyshev d'ordre 2 :

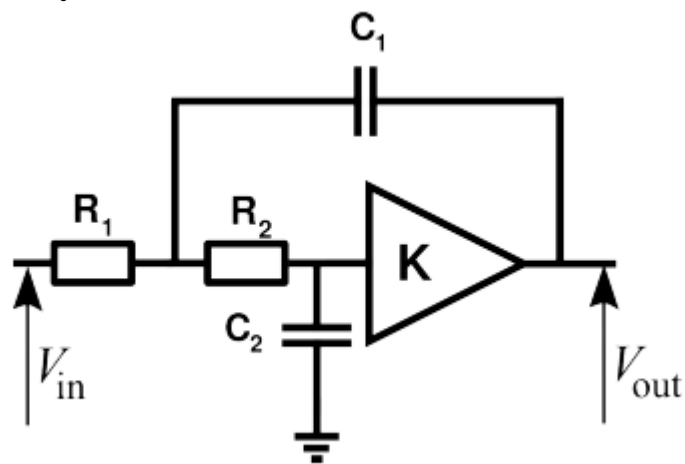


Figure 9: Filtre passe bas

Synthèse du filtre :

Les paramètres du filtre s'écrivent alors :

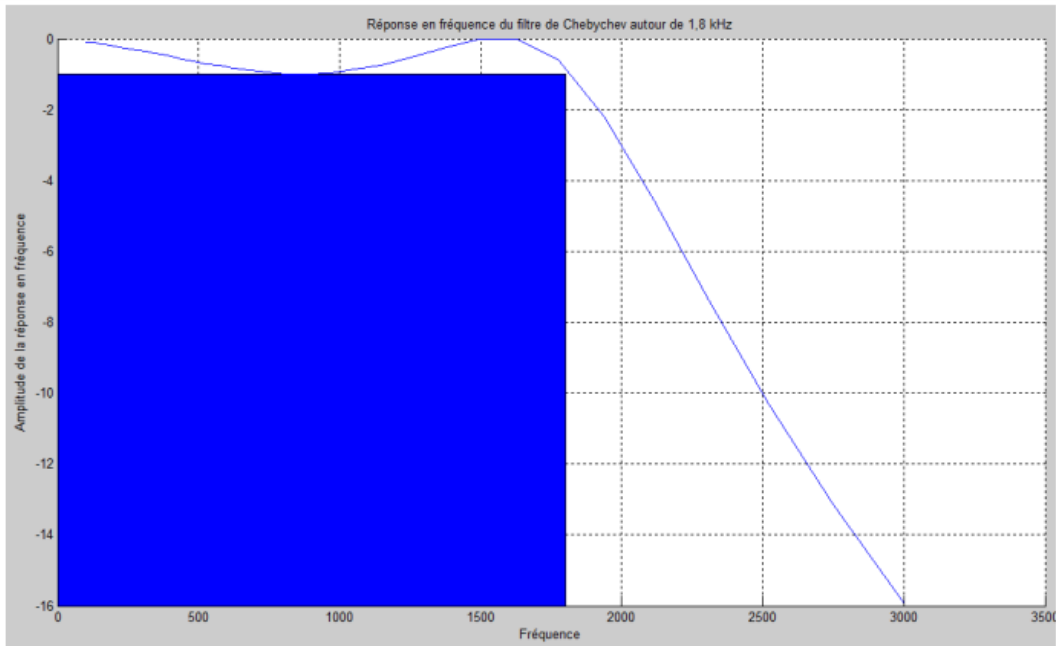
$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{C_1 C_2 R_1 R_2}}$$

$$m = 1/2 \left((1 - K) \sqrt{\frac{R_1 C_1}{R_2 C_2}} + \frac{R_1 + R_2}{\sqrt{R_1 R_2}} \sqrt{\frac{C_2}{C_1}} \right)$$

On doit alors choisir les paramètres R_1 , R_2 , C_1 , C_2 . La manière la plus simple consiste à fixer $R_1 = R_2$. En effet, on pourrait choisir $C_1 = C_2$ car on a une plus grande gamme de choix sur les résistances cependant, la synthèse n'est alors pas possible pour toutes les valeurs de K et est donc plus contraignante. En prenant donc $R_1 = R_2 = R$ et $K = 1$, les paramètres s'écrivent alors :

$$\omega_0 = \frac{1}{R \sqrt{C_1 C_2}} \text{ et } m = \sqrt{\frac{C_2}{C_1}}$$

On a pris $R = 1 \text{ k}\Omega$, $C_1 = 350 \text{ nF}$ et $C_2 = 22 \text{ nF}$



10

Figure 10 spectre passe-bas

La caractéristique du filtre de Chebyshev est son ondulation dans la bande passante.

Elle résulte de l'action combinée du filtre du premier et du deuxième ordre. En effet le second ordre présente une résonance importante aux alentours de la fréquence du filtre complet. L'ordre 1 doit donc venir atténuer et compenser l'effet de cette résonance. On place donc sa fréquence de coupure bien plus bas afin que l'atténuation soit suffisamment élevée. C'est donc le compromis entre l'atténuation du premier ordre et la résonance du second ordre qui va induire cette ondulation dans la bande passante.

Conclusion :

Le filtre Chebyshev passe-bas offre une alternative intéressante lorsque des caractéristiques spécifiques, telles qu'une atténuation rapide des hautes fréquences, sont nécessaires malgré de légères ondulations dans la bande passante.

Application LabVIEW :

On va essayer en utilisant les blocs LabVIEW de réaliser une opération de filtrage passe bas a approximation Chebytshev.

La structure du filtre utiliser doit est RII pour pouvoir utiliser l'approximation.



Figure 11 Application

Premièrement, il faut choisir un signal a fréquence multiple pour pouvoir examiner l'élimination des grandes fréquences et faire passer les petits selon une fréquence de coupure choisi.

Génération du signal :

En utilisant le logiciel, on a essayé de générer un signal périodique harmonique pour nous permettre de visualiser le filtrage des fréquences indésirable par la suite, le signal est de fréquence 7Hz et d'amplitude 1.

L'affichage est du signal est fait dans le domaine temporel et fréquentiel en utilisant la fonction transforme de Fourier rapide.

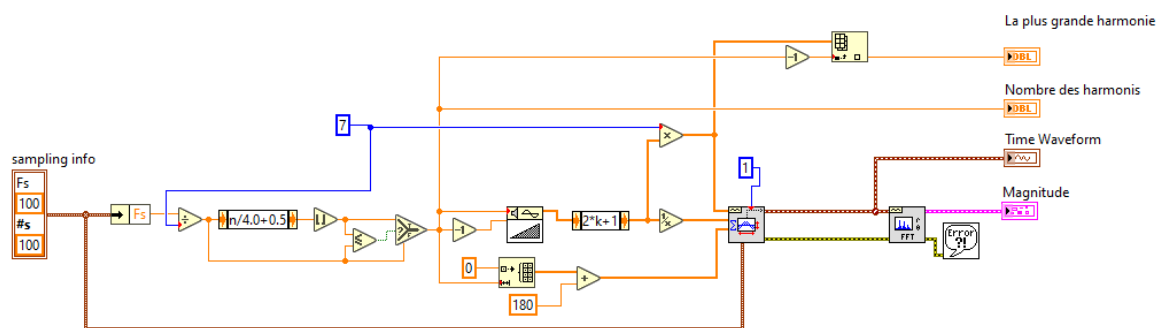


Figure 12 Génération de signal

La représentation temporelle du signal est la suivante :

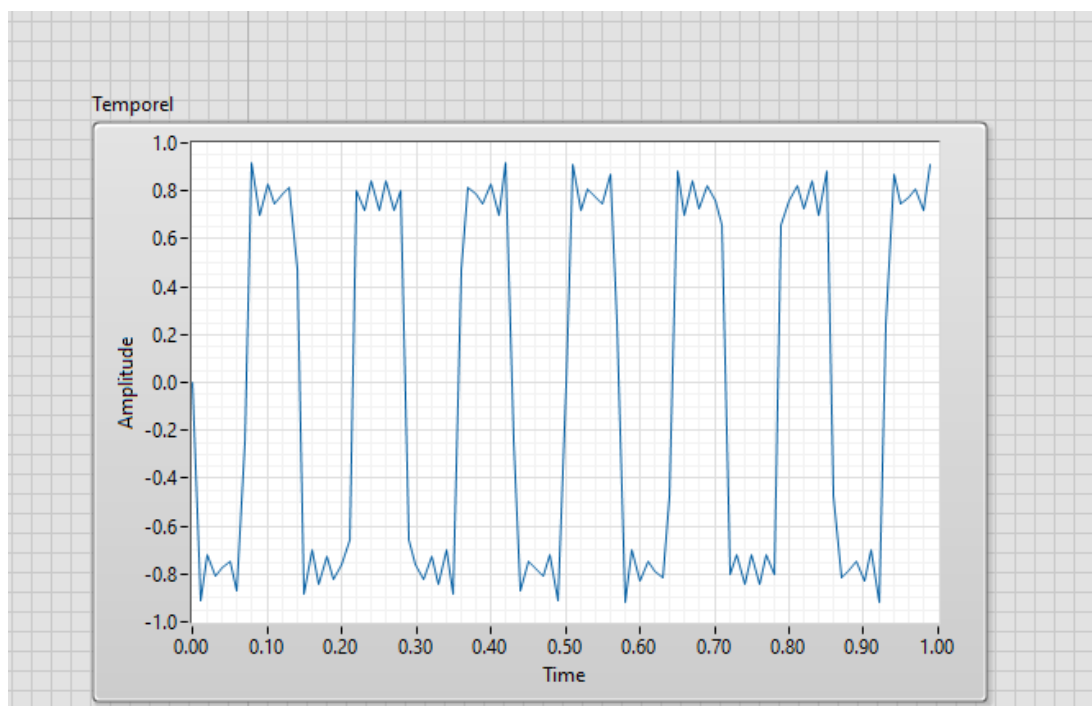


Figure 13 Représentation du signal généré

Le spectre du signal genere est le suivant, un spectre de la forme va nous permettre de visualiser l'élimination et la conservation des bandes de fréquence en filtrage.

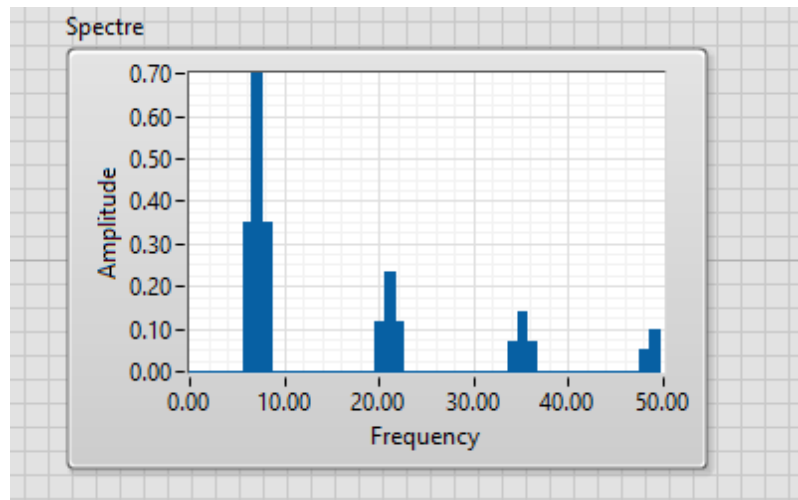


Figure 14 Spectre

Filtrage :

L'application du filtrage est réalisée par la fonction 'Filtre' via **Function>>Express>>Signal Analysis>>Filter**, qui offre une grande capacité au niveau de la conception des filtres.

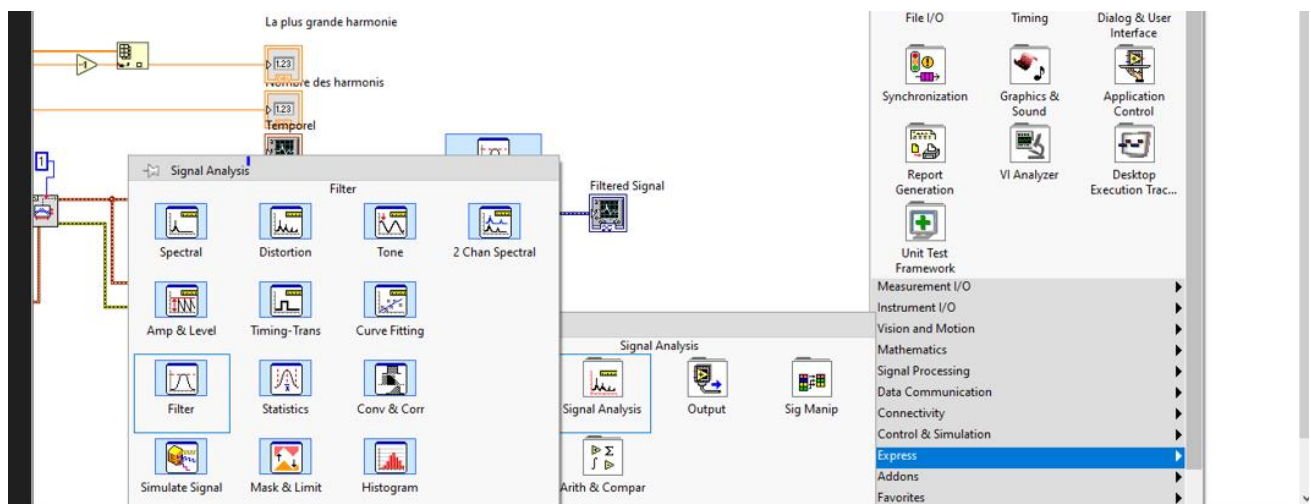


Figure 15 Bloc filtre

La fonction nous offre la possibilité de définir la nature du filtre et d'initialiser les paramètres voulu.

Alors on a choisi un filtre passe bas à une fréquence de coupure de 10Hz pour éliminer les fréquences parasites indésirable dans le système.

armonis

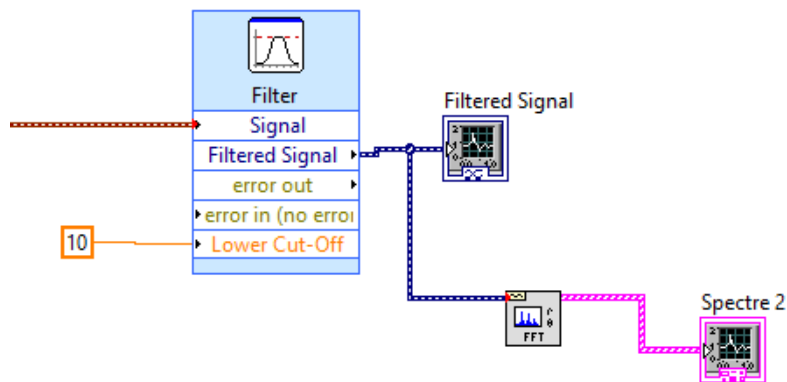


Figure 16 La partie filtrage

On pose la fréquence de coupure (Lower cut off) a 10Hz, le signal d'entrer, la nature de filtrage, l'ordre et on obtient la réponse du signal filtre (Filtred signal).

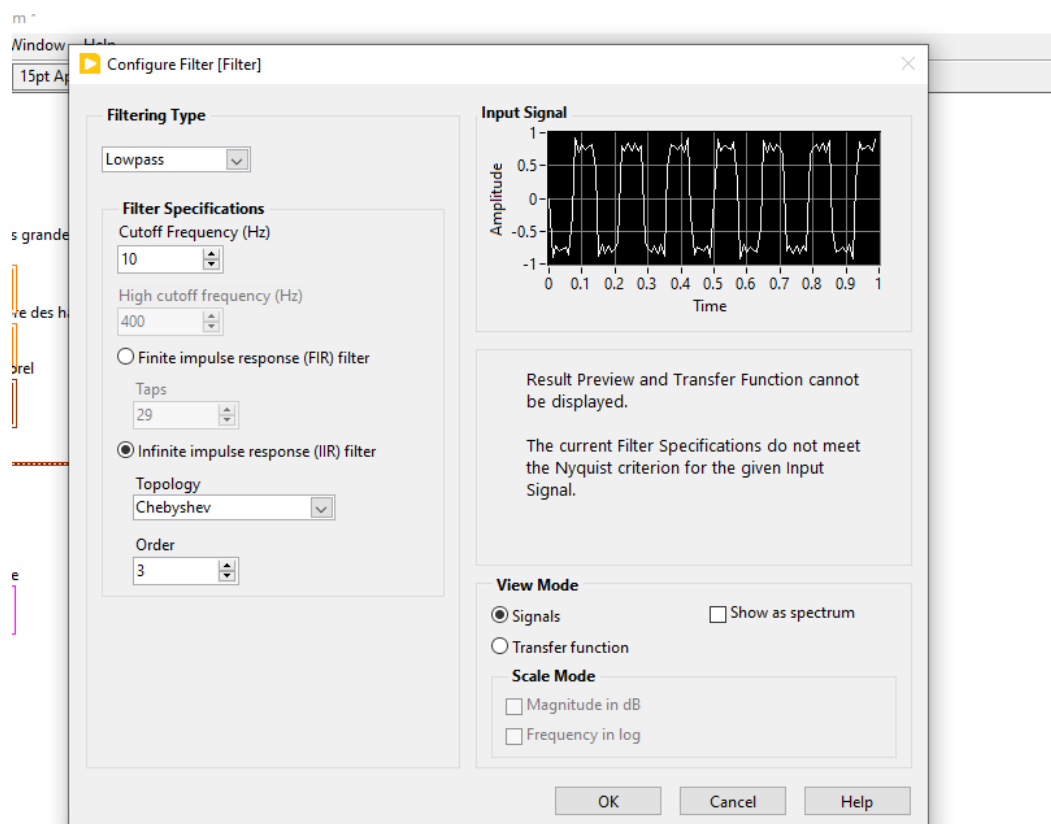


Figure 17 Configuration du filtre

Affichage et validation des résultats :

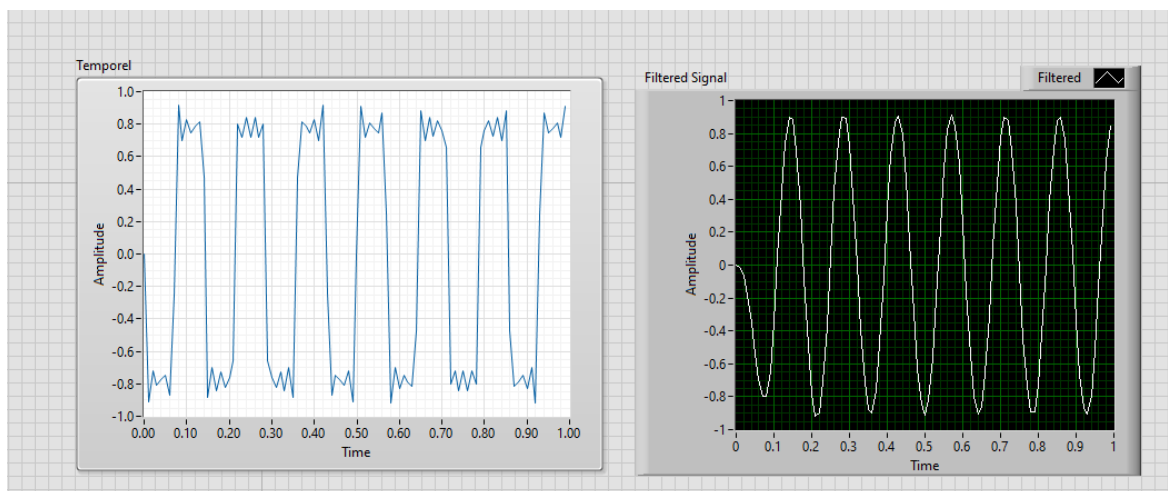


Figure 18 :réponse temporel

L'élimination des hautes fréquences nous a produit un signal lisse périodique a une fréquence principale, et l'élimination des fréquences supérieure a 10Hz, la réponse fréquentielle est la suivante :

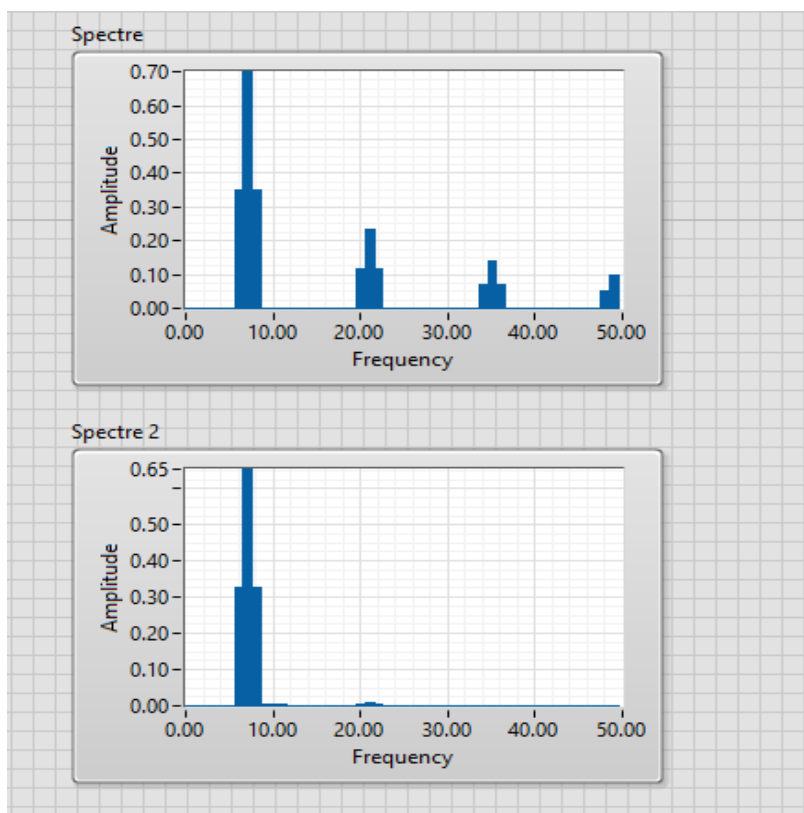


Figure 19:réponse fréquentiel

Analyse des résultats :

La fonction de transfert nous permet toujours une compréhension de l'application du système (filtre Chebyshev) et une interprétation des résultats, pour un filtre passe bas, la réponse de la fonction de Transfer en gain et en fréquence est présentée de la forme suivante :

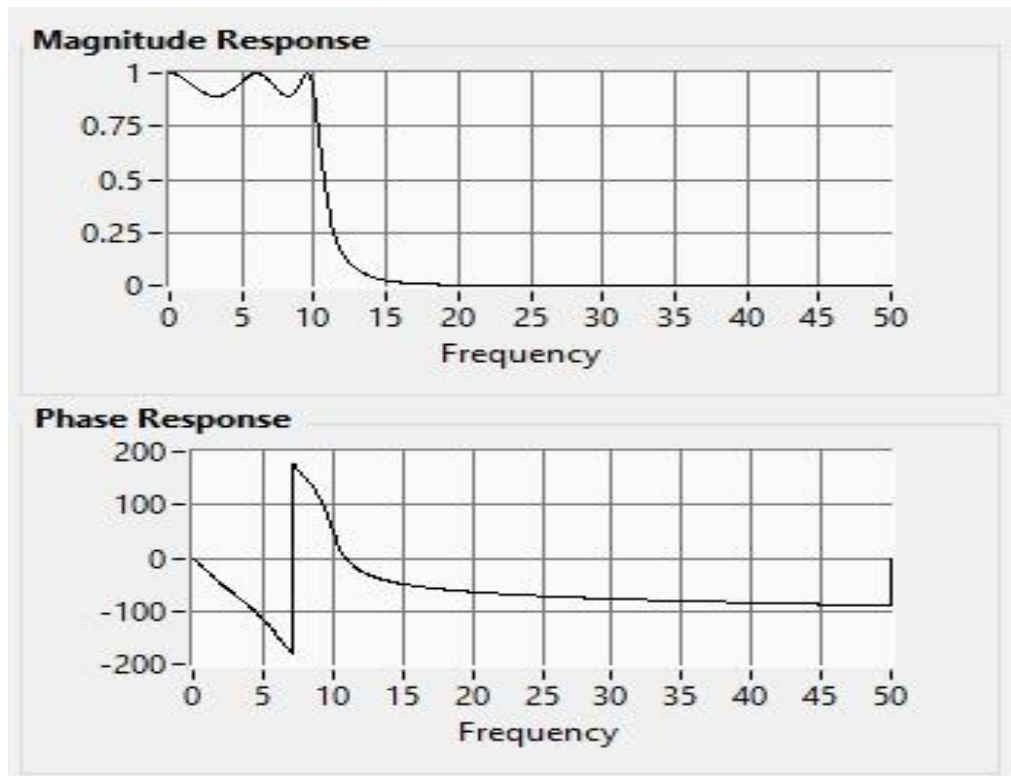


Figure 20 :Analyse de fonction de Transfer

Et voici le diagramme de Bode pour une visualisation plus globale et précise :

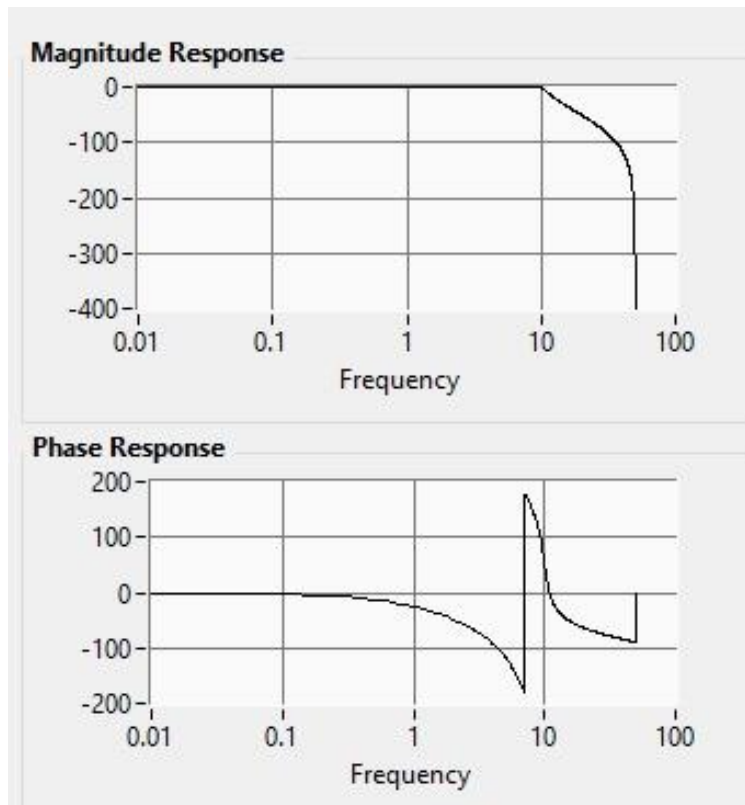


Figure 21 Diagramme de bode

La validation des résultats dans LabVIEW implique l'utilisation d'indicateurs, d'outils d'analyse, de visualisation en temps réel et de tests automatisés, en fonction des besoins spécifiques de votre application. Le choix des outils dépendra de la nature des résultats que vous souhaitez valider.

Conception du filtre :

La conception du filtre de Chebyshev en LabVIEW offre une approche efficace pour atteindre des caractéristiques de filtrage précises. En utilisant les fonctionnalités puissantes de LabVIEW, on peut mettre en œuvre des filtres Chebyshev avec une grande flexibilité, ajustant les paramètres pour répondre aux exigences spécifiques de leur application. Cette méthode permet de créer des filtres efficaces avec des réponses en fréquence abruptes et des performances optimales, offrant ainsi une solution robuste pour le traitement du signal en temps réel.

Le théorème de Nyquist-Shannon, souvent appelé simplement le théorème d'échantillonnage, est fondamental en traitement du signal et en théorie de l'information. Il énonce qu'un signal continu peut être entièrement représenté à partir de ses échantillons pris à une fréquence d'échantillonnage au moins deux fois plus grande que la fréquence maximale du signal. En d'autres termes, pour reconstruire fidèlement un signal continu à partir de ses échantillons, la fréquence d'échantillonnage doit être au moins deux fois supérieure à la plus haute fréquence présente dans le signal. Ce théorème sous-tend la conception des systèmes d'échantillonnage et de reconstruction de signaux, et est

essentiel dans de nombreuses applications, notamment en télécommunications, en traitement du signal et en traitement d'image.

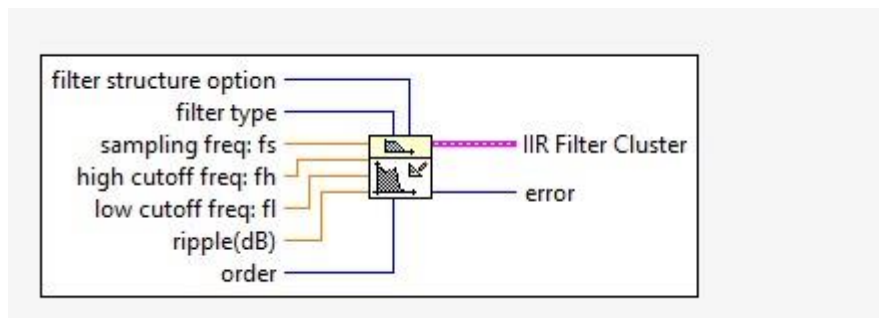


Figure 22 Chebyshev coefficient

Les valeurs de la fréquence de coupure basse (f_l) et de la fréquence de coupure haute (f_h) doivent respecter la relation suivante :

$$0 < f_l < f_2 < 0.5f_s$$

Où f_l est la fréquence de coupure basse (f_l), f_2 est la fréquence de coupure haute (f_h) et f_s est la fréquence d'échantillonnage (f_s). Si l'une de ces conditions n'est pas respectée, ce VI définit les coefficients inverses et les coefficients directs comme des tableaux vides et renvoie une erreur.

Le VI des coefficients de Chebyshev est un sous-VI du VI du filtre de Chebyshev.

Filtre Chebyshev passe haut :

Le filtre Chebyshev passe-bas est conçu pour permettre le passage des fréquences plus élevées tout en atténuant les fréquences plus basses en dessous de la fréquence de coupure. Comme les autres filtres Chebyshev, il tire son nom du mathématicien russe Pafnuty Chebyshev et présente des caractéristiques spécifiques qui le distinguent des autres types de filtres.

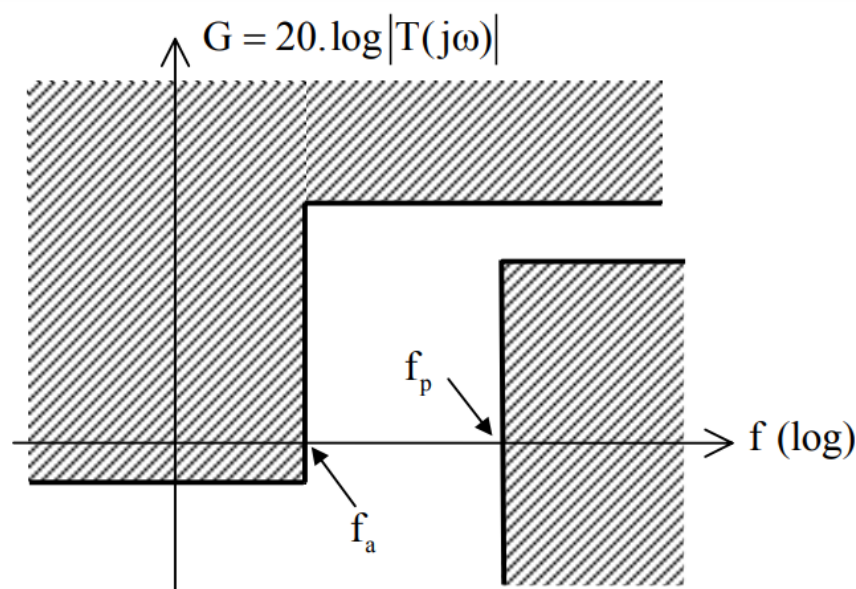


Figure 23: Gabarit passe haut

Réponse en fréquence avec ondulation : Le filtre Chebyshev passe-haut présente également des ondulations dans la bande passante, similairement au filtre Chebyshev passe-bas. Ces ondulations permettent d'atteindre une pente de coupure plus rapide que celle d'un filtre Butterworth, mais elles se traduisent par des variations d'amplitude dans la bande passante.

Ordre du filtre : Comme pour tous les filtres, l'ordre du filtre Chebyshev passe-haut détermine la rapidité avec laquelle il atténue les fréquences en dessous de la fréquence de coupure. Un ordre plus élevé permet généralement une atténuation plus rapide.

Fréquence de coupure : La fréquence de coupure est la fréquence à laquelle le filtre commence à atténuer les signaux. Au-dessus de cette fréquence, les signaux sont transmis avec moins d'atténuation.

Ondulation maximale dans la bande passante : L'utilisateur spécifie généralement une ondulation maximale acceptable dans la bande passante. Cette ondulation est un compromis nécessaire pour obtenir la pente de coupure souhaitée.

Nature d'applications : Les filtres Chebyshev passe-haut sont utilisés dans diverses applications, notamment la séparation de fréquences, la détection de signaux, et d'autres domaines où une atténuation rapide des basses fréquences est essentielle. Le filtre passe-haut offre une solution lorsque des caractéristiques spécifiques, telles qu'une atténuation rapide des basses fréquences, sont nécessaires malgré de légères ondulations dans la bande passante.

Application LabVIEW :

Dans cette partie on va détecter un signal bruité présente dans la bande de fréquence entre 15-50Hz en utilisant les blocs LabVIEW afin de réaliser une opération de filtrage passe-haut à approximation Chebyshev.

La structure du filtre utiliser doit est RII pour pouvoir utiliser l'approximation.

On utilise le même signal utilise dans la partie précédente.

Filtrage :

L'application du filtrage est réalisé par la fonction 'Filtre' via **Function>>Express>>Signal Analysis>>Filter**, qui offre une grande capacité au niveau de la conception des filtres.

La fonction nous offre la possibilité de définir la nature du filtre et d'initialiser les paramètres voulu.

Alors on a choisi un filtre passe haut d'ordre 5 à une fréquence de coupure de 15Hz pour détecter les fréquences choisit dans le système.

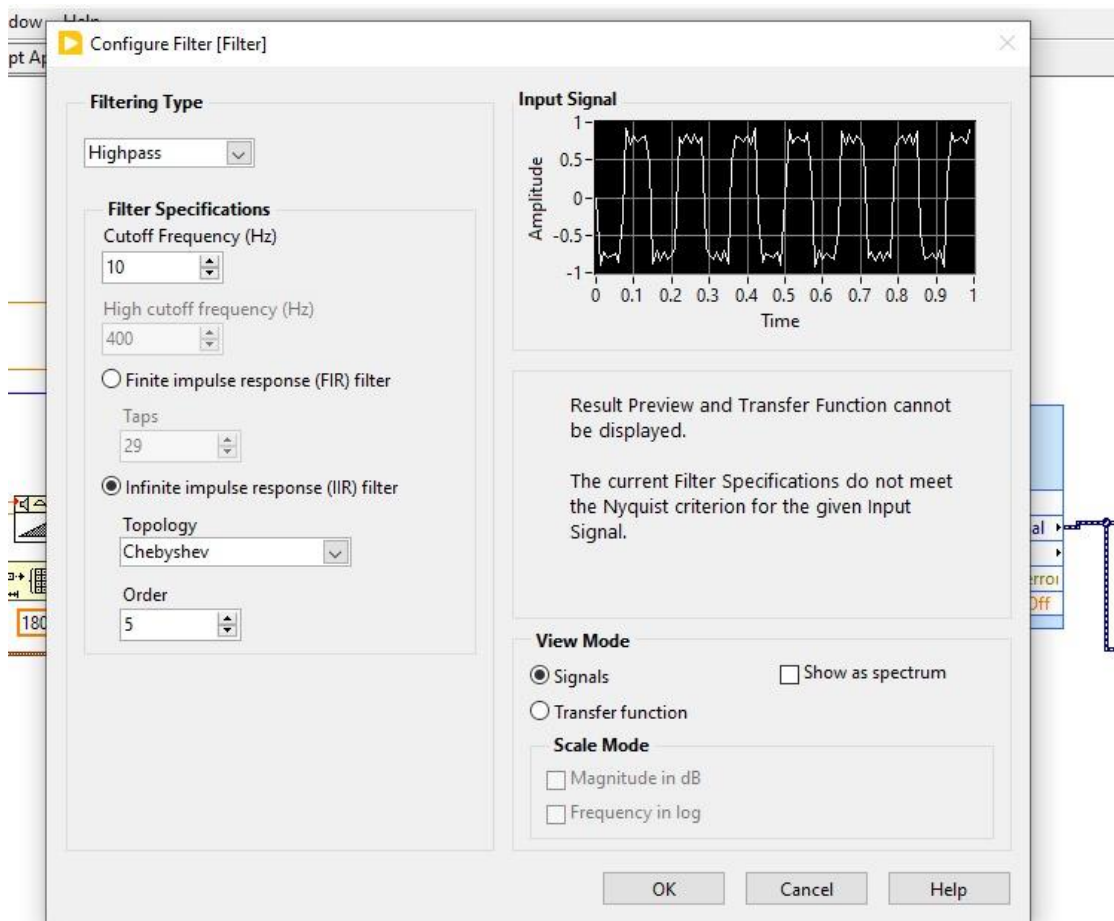


Figure 24: Configuration passe-haut

Affichage et validation des résultats :

On a obtenu alors les résultats suivants éliminant des base fréquences est bien remarquée dans la comparaison fréquentielle entre l'entrée et la sortie.

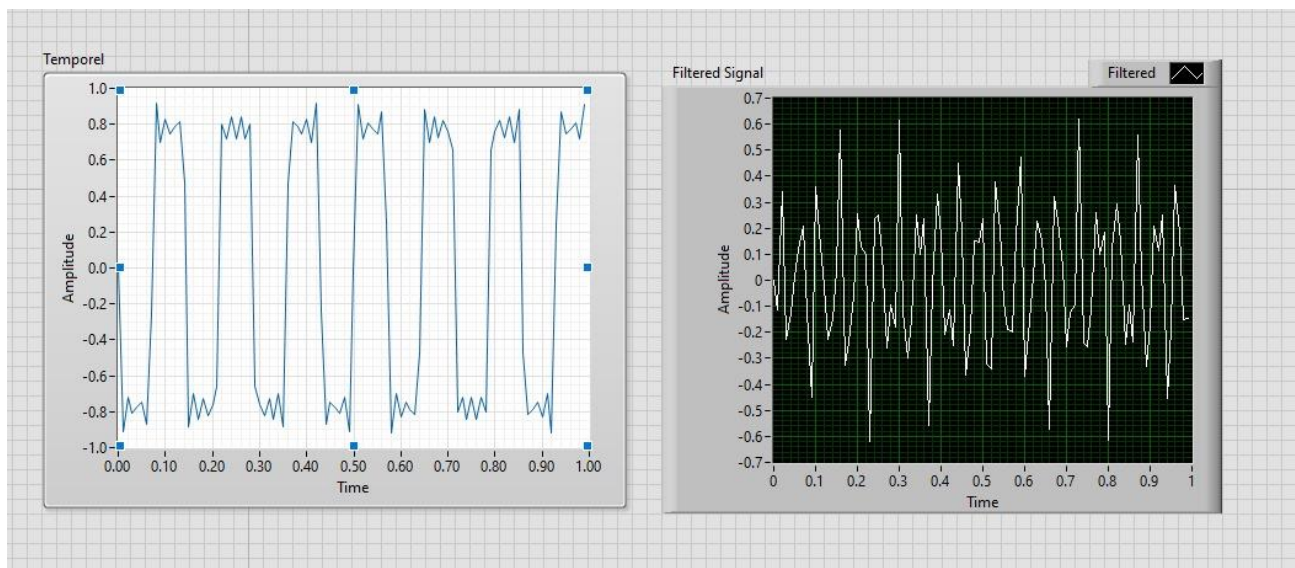


Figure 25:réponse temporel

Analyse des résultats :

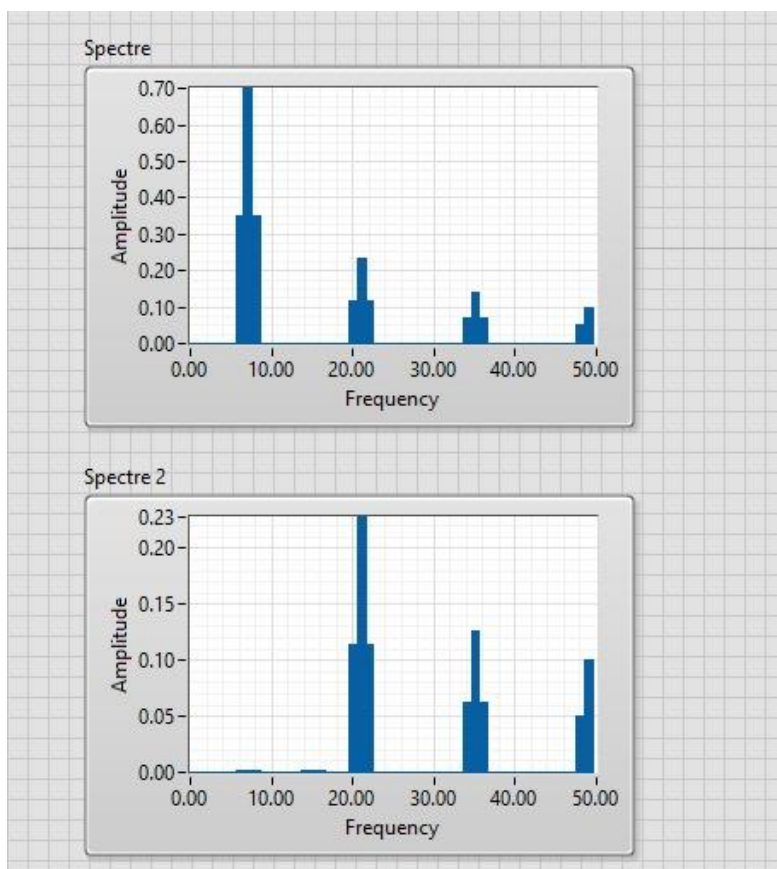


Figure 27:réponse fréquentiel

Analyse des résultats :

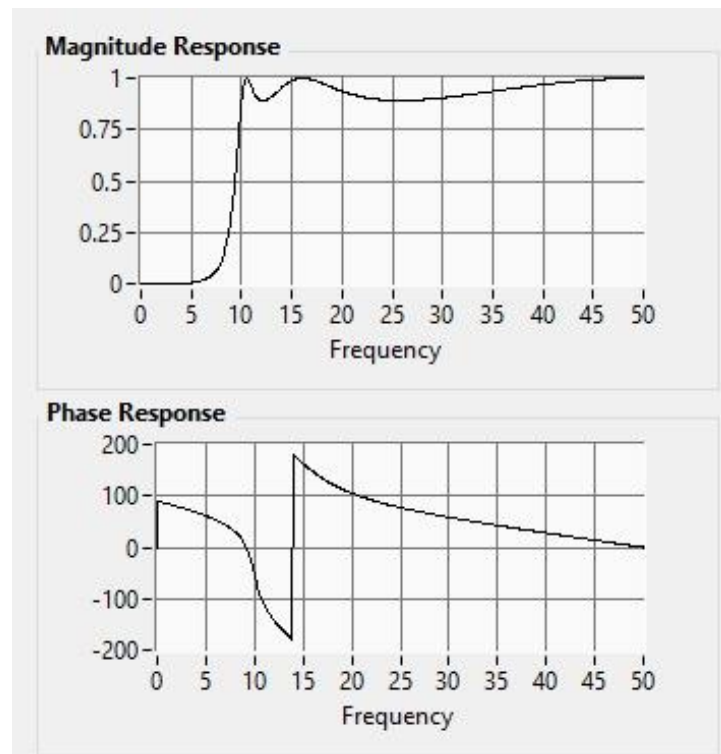


Figure 28 Analyse de fonction de Transfer

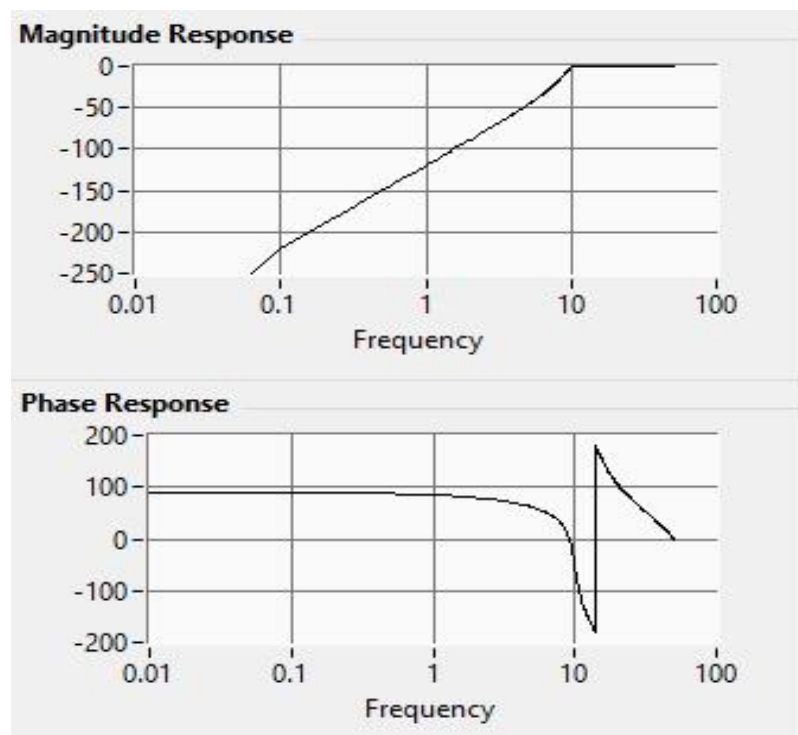
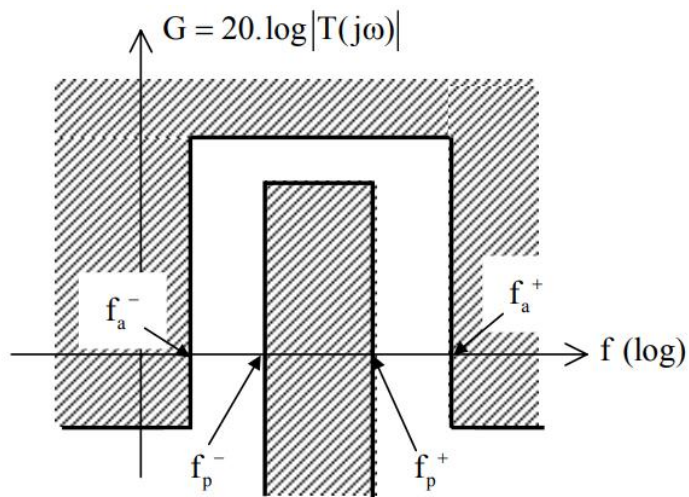


Figure 29 Diagramme de bode

Filtre Chebyshev passe bande :

Le filtre Chebyshev passe-bande est conçu pour laisser passer un certain intervalle de fréquences tout en atténuant les fréquences à l'extérieur de cet intervalle. Ce type de filtre est utilisé dans divers domaines, tels que le traitement du signal, les télécommunications et d'autres applications où la sélectivité en fréquence est cruciale.



Bande passante avec ondulation : Comme les autres filtres Chebyshev, le filtre passe-bande Chebyshev présente des ondulations contrôlées dans la bande passante. Ces ondulations permettent d'atteindre une sélectivité en fréquence élevée, mais elles se traduisent par des variations d'amplitude dans la bande passante.

Ordre du filtre : L'ordre du filtre Chebyshev passe-bande détermine la rapidité avec laquelle il atténue les fréquences en dehors de la bande passante. Un ordre plus élevé permet généralement une atténuation plus rapide.

Fréquences de coupure : Le filtre Chebyshev passe-bande est défini par deux fréquences de coupure, marquant le début et la fin de la bande passante. Les fréquences à l'extérieur de cette bande passante sont atténuées.

Ondulation maximale dans la bande passante : Comme pour les autres filtres Chebyshev, l'utilisateur spécifie généralement une ondulation maximale acceptable dans la bande passante en fonction des besoins de l'application.

Applications : Les filtres Chebyshev passe-bande sont utilisés dans des systèmes de communication pour isoler des canaux spécifiques, dans le traitement du signal pour extraire des fréquences spécifiques, et dans d'autres domaines où la sélectivité en fréquence est critique.

Application LabVIEW :

Dans cette partie on va détecter une bande de signal bruité présenté dans la bande de fréquence entre 13-30Hz en utilisant les blocs LabVIEW afin de réaliser une opération de filtrage passe-bande qui extrait la bande de fréquence choisit.

On utilise toujours le même signal utilise dans les parties précédentes.

Filtrage :

L'application du filtrage est réalisée par la fonction 'Filtre' via **Function>>Express>>Signal Analysis>>Filter**, qui offre une grande capacité au niveau de la conception des filtres.

La fonction nous offre la possibilité de définir la nature du filtre et d'initialiser les paramètres voulu.

Alors on a choisi un filtre passe bande d'ordre 9 a une fréquence de coupure minimale égale à 13Hz, et une fréquence de coupure maximale égale à 30Hz pour extraire les fréquences utiles.



Figure 30 Configuration passe-bande

Affichage et validation des résultats :

Extraire une bande de fréquence sélectionnée est une application qui combine l'élimination des fréquences supérieures à 30Hz et inférieures à 13Hz et l'isolation de la bande entre 13Hz et 30Hz.

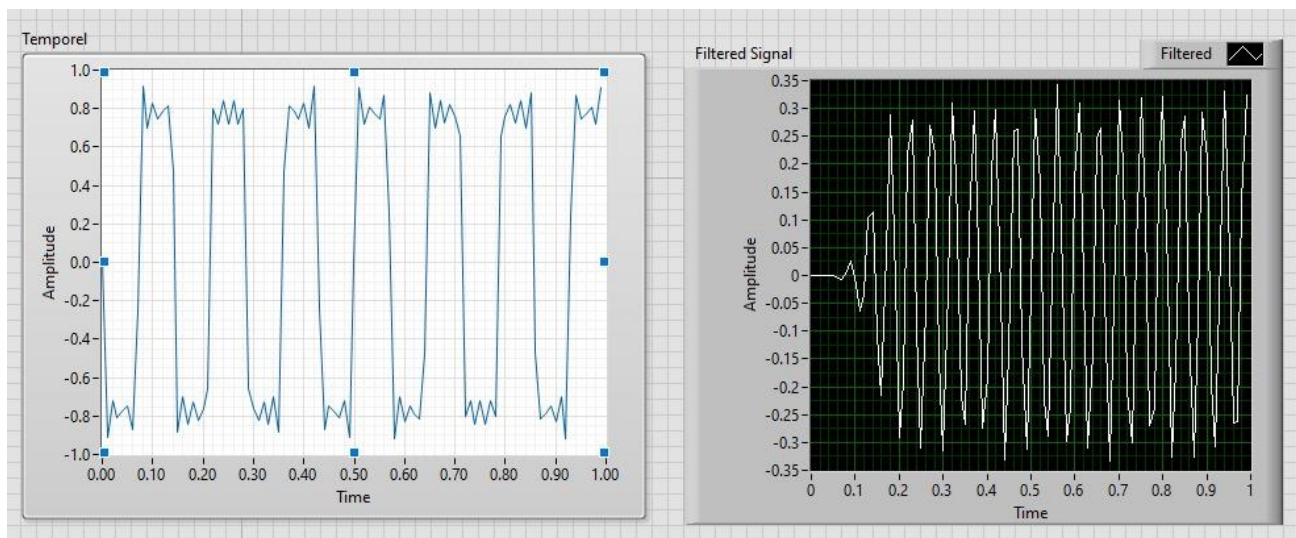


Figure 32 réponse temporel

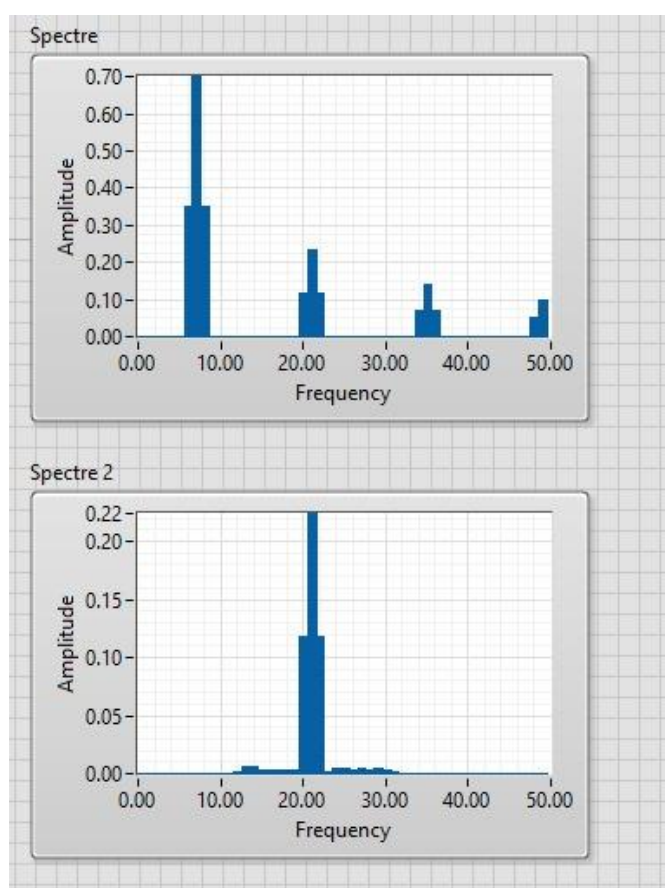


Figure 31 réponse fréquentiel

Analyse des résultats :

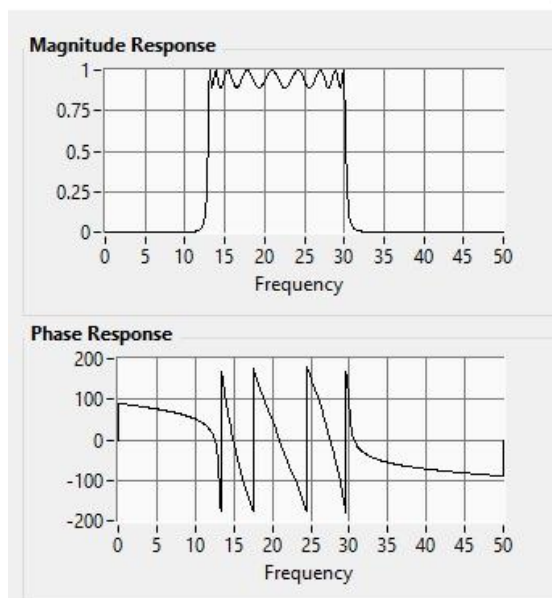


Figure 33 Analyse fonction de transfert

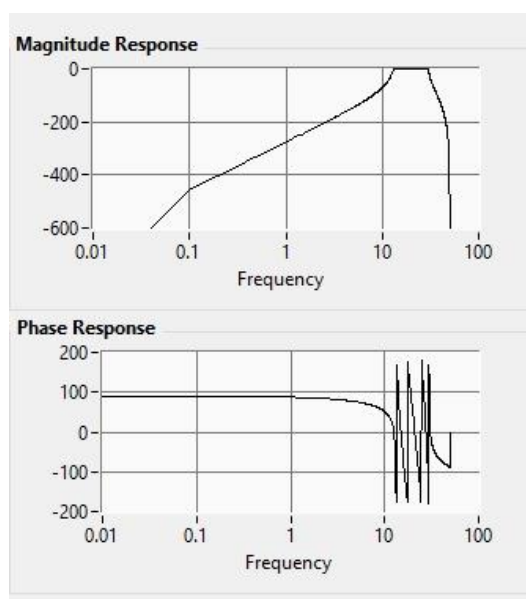


Figure 34 Diagramme de bode

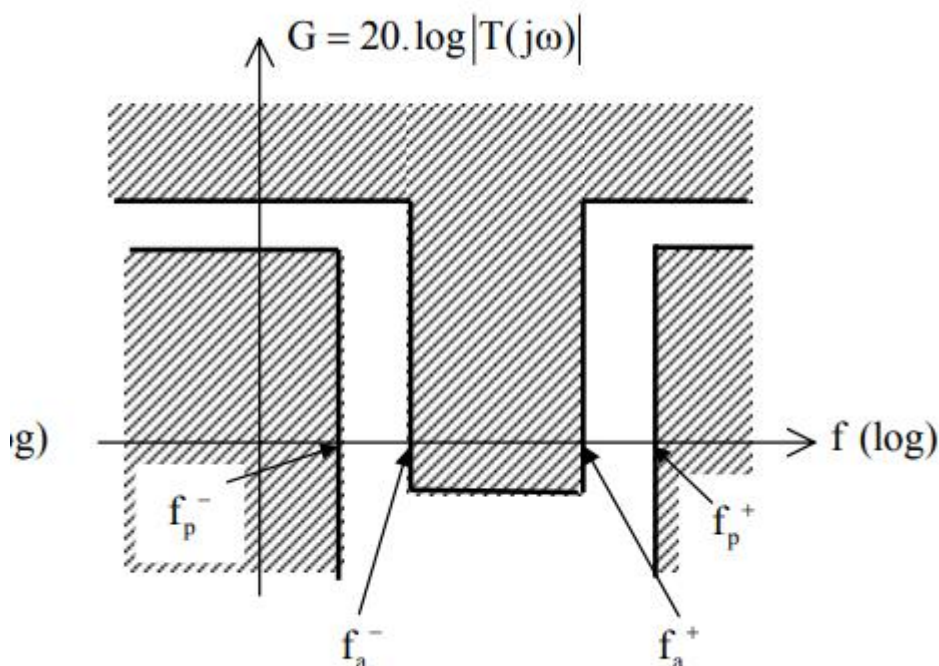
Conclusion :

Le filtre Chebyshev passe-bande offre une solution lorsque des caractéristiques spécifiques, telles qu'une sélectivité élevée avec des ondulations contrôlées dans la bande passante, sont nécessaires pour filtrer les signaux dans une plage de fréquences donnée.

Filtre Chebyshev coupe bande :

Le filtre Chebyshev coupe-bande conçu pour atténuer un certain intervalle de fréquences, tout en laissant passer les fréquences à l'extérieur de cet intervalle. Contrairement au filtre passe-bande qui

laisse passer une bande spécifique, le filtre coupe-bande fait exactement l'inverse, bloquant une bande de fréquences spécifiée.



Bande d'arrêt avec ondulation : Comme les autres filtres Chebyshev, le filtre coupe-bande Chebyshev présente des ondulations contrôlées dans la bande d'arrêt. Ces ondulations permettent d'atteindre une sélectivité en fréquence élevée, mais elles se traduisent par des variations d'amplitude dans la bande d'arrêt.

Ordre du filtre : L'ordre du filtre Chebyshev coupe-bande détermine la rapidité avec laquelle il atténue les fréquences à l'intérieur de la bande bloquée. Un ordre plus élevé permet généralement une atténuation plus rapide.

Fréquences de coupure : Le filtre Chebyshev coupe-bande est défini par deux fréquences de coupure, marquant le début et la fin de la bande bloquée. Les fréquences à l'intérieur de cette bande sont atténuées.

Ondulation maximale dans la bande d'arrêt : Comme pour les autres filtres Chebyshev, l'utilisateur spécifie généralement une ondulation maximale acceptable dans la bande d'arrêt en fonction des besoins de l'application.

Applications : Les filtres Chebyshev coupe-bande sont utilisés dans des domaines tels que la suppression de fréquences indésirables dans des systèmes de communication, la filtration sélective dans le traitement du signal, et d'autres applications nécessitant une atténuation ciblée de certaines fréquences.

Conclusion :

Le filtre Chebyshev coupe-bande offre une solution lorsque des caractéristiques spécifiques, telles qu'une atténuation élevée avec des ondulations contrôlées dans la bande d'arrêt, sont nécessaires pour bloquer sélectivement une plage de fréquences donnée.

Application LabVIEW :

Dans cette partie on va éliminer une bande de signal présenté dans la bande de fréquence entre 13-30Hz en utilisant les blocs LabVIEW afin de réaliser une opération de filtrage coupe-bande qui éliminer la bande de fréquence choisit.

La structure du filtre utiliser doit est RII pour pouvoir utiliser l'approximation.



Figure 35 Application

On utilise toujours le même signal utilisé dans la partie précédente.

Filtrage :

L'application du filtrage est réalisé par la fonction 'Filtre' via **Function>>Express>>Signal Analysis>>Filter**, qui offre une grande capacité au niveau de la conception des filtres.

La fonction nous offre la possibilité de définir la nature du filtre et d'initialiser les paramètres voulu.

Alors on a choisi un filtre passe bande d'ordre 9 a une fréquence de coupure minimale égale à 13Hz, et une fréquence de coupure maximale égale à 30Hz pour extraire les fréquences utiles.

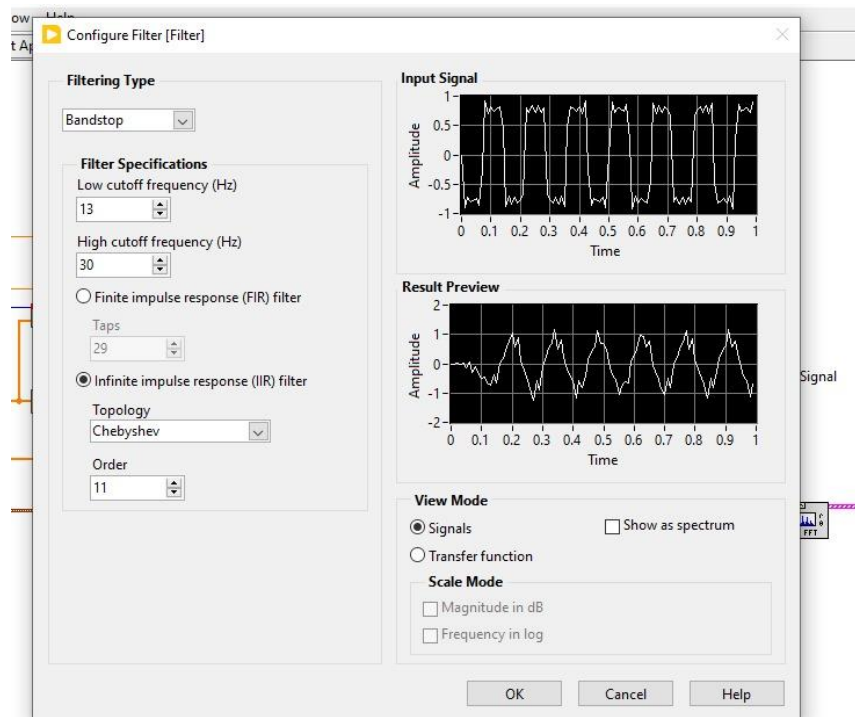


Figure 36 Configuration coupe-bande

Affichage et validation des résultats :

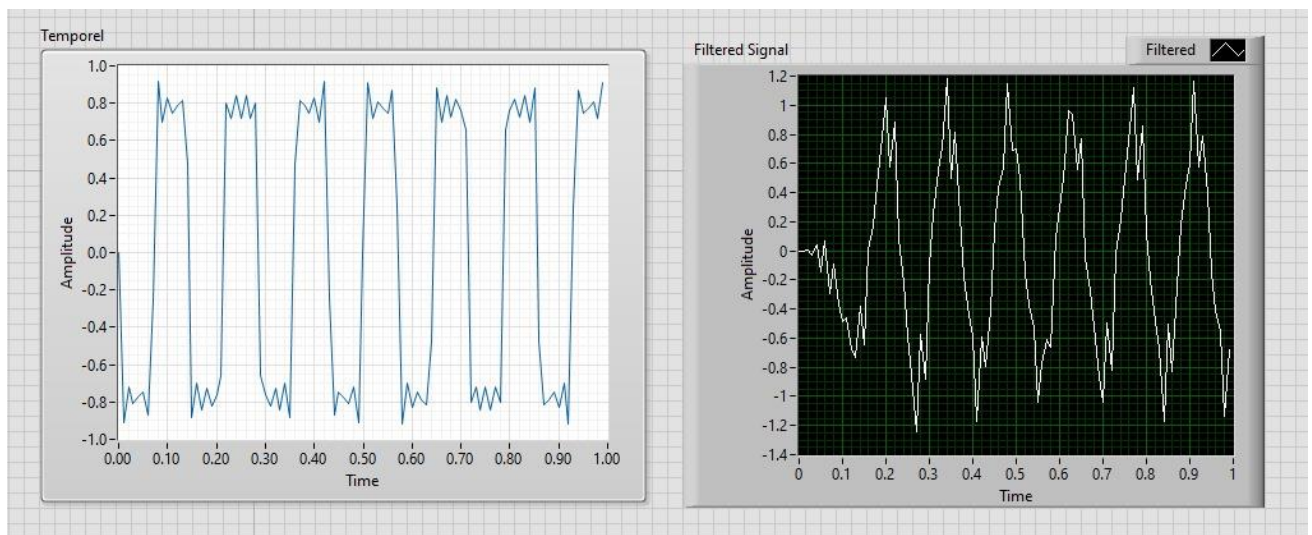


Figure 37 Réponse temporel

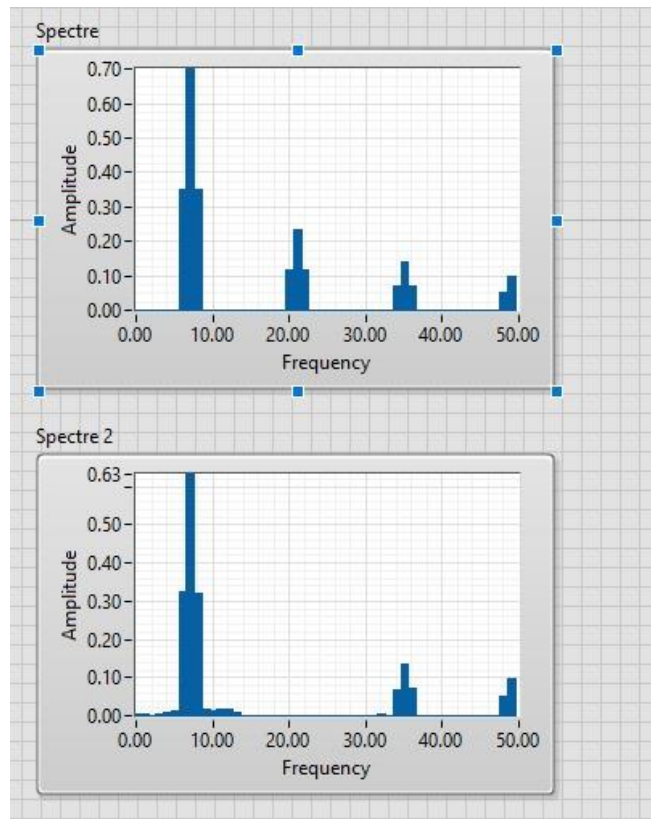


Figure 38 Réponse fréquentiel

Analyse des résultats :

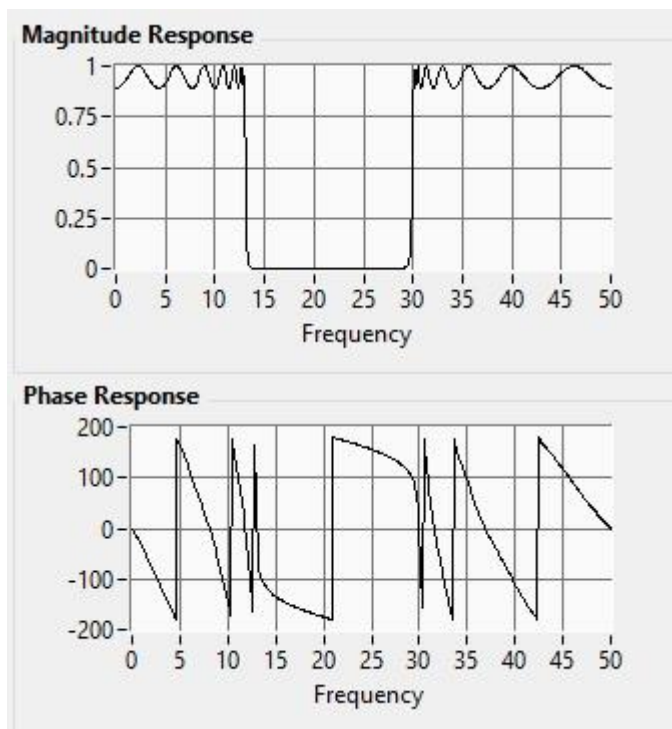


Figure 39 Analyse de fonction

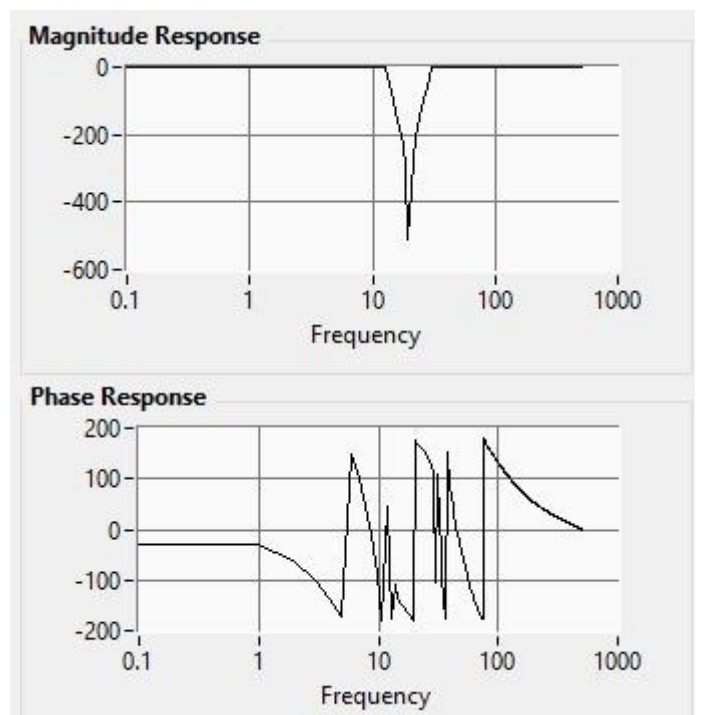


Figure 40 Diagramme de bode

Filtre Chebyshev SIMULINK:

Filtre passe bas approximation Chebyshev :

Cette réalisation représente une opération de filtrage, dont on a un signal sinusoïdal comme le signal utile et on ajoute un signal random comme bruit. Puis on trouve un bloc d'addition, ensuite le block Digital Filter Design. Ce dernier réalise le filtrage selon les paramètres choisis.

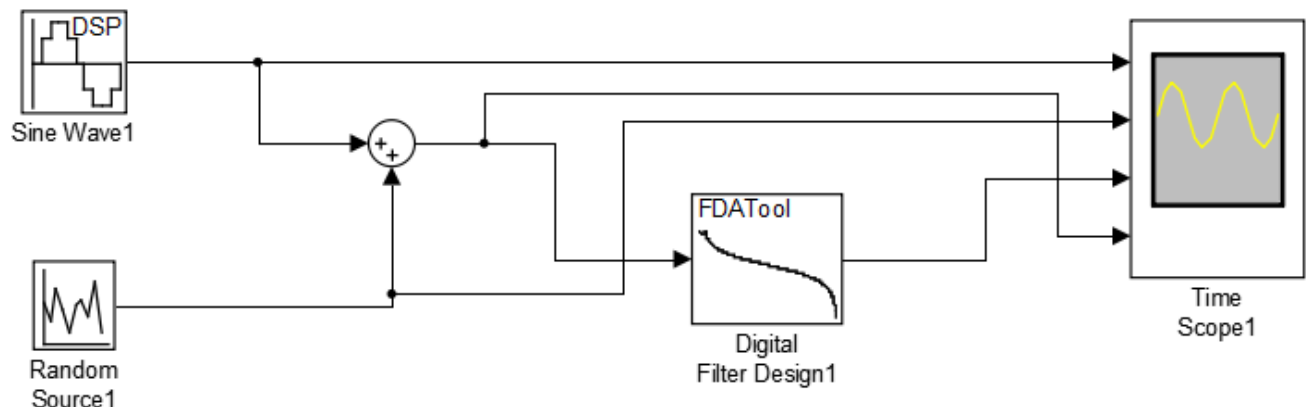


Figure 41 Schéma filtre Chebyshev passe-bas

Filtre passe bas approximation Chebyshev :

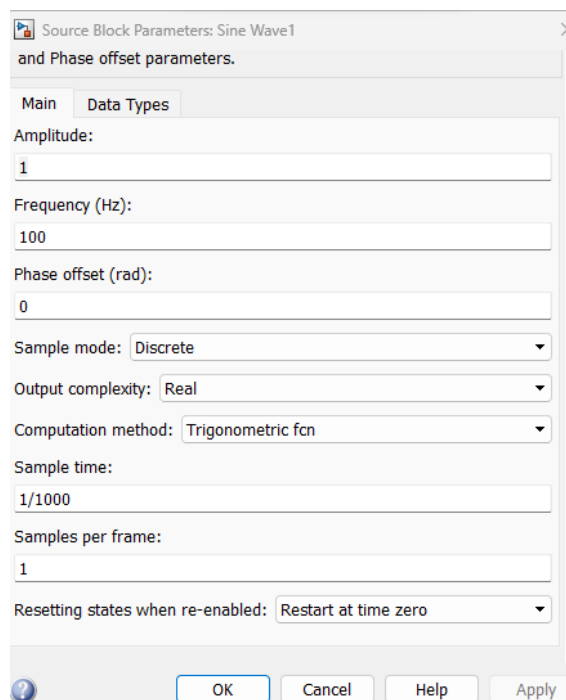


Figure 42 Block paramètre du signal utile sinusoïdale

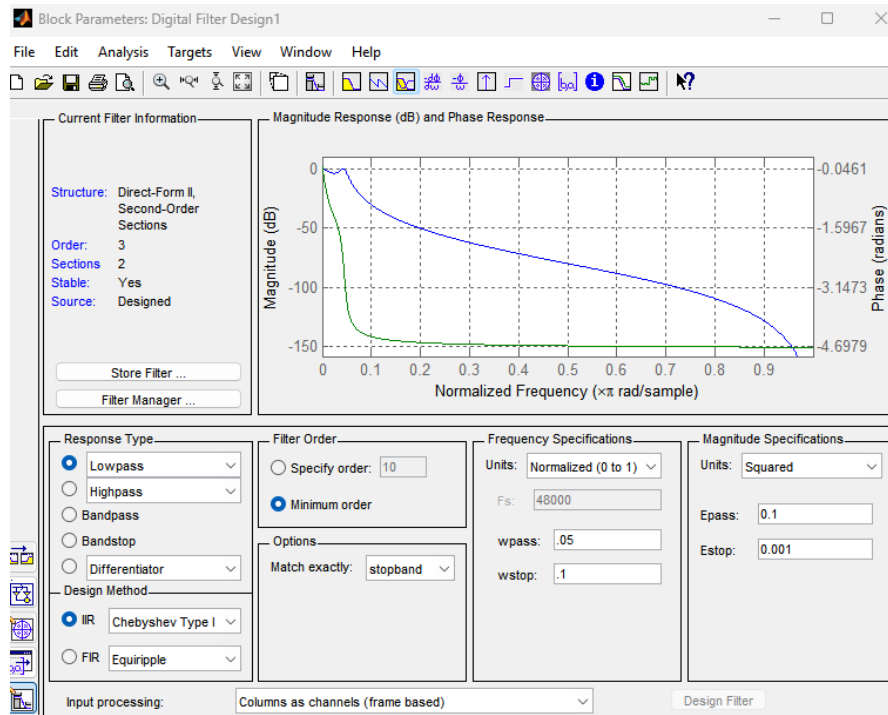


Figure 43 Filter design passe-bas

La réponse du filtre :

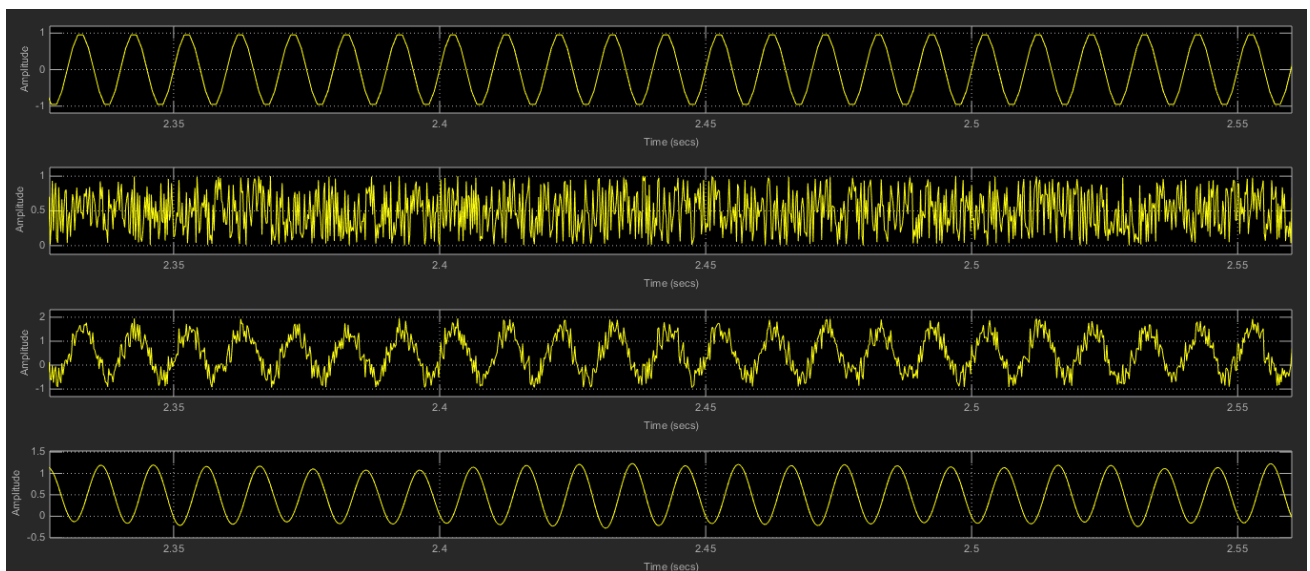


Figure 44 La réponse du filtre

Filtre passe haut approximation Chebyshev :

La réponse du filtre :

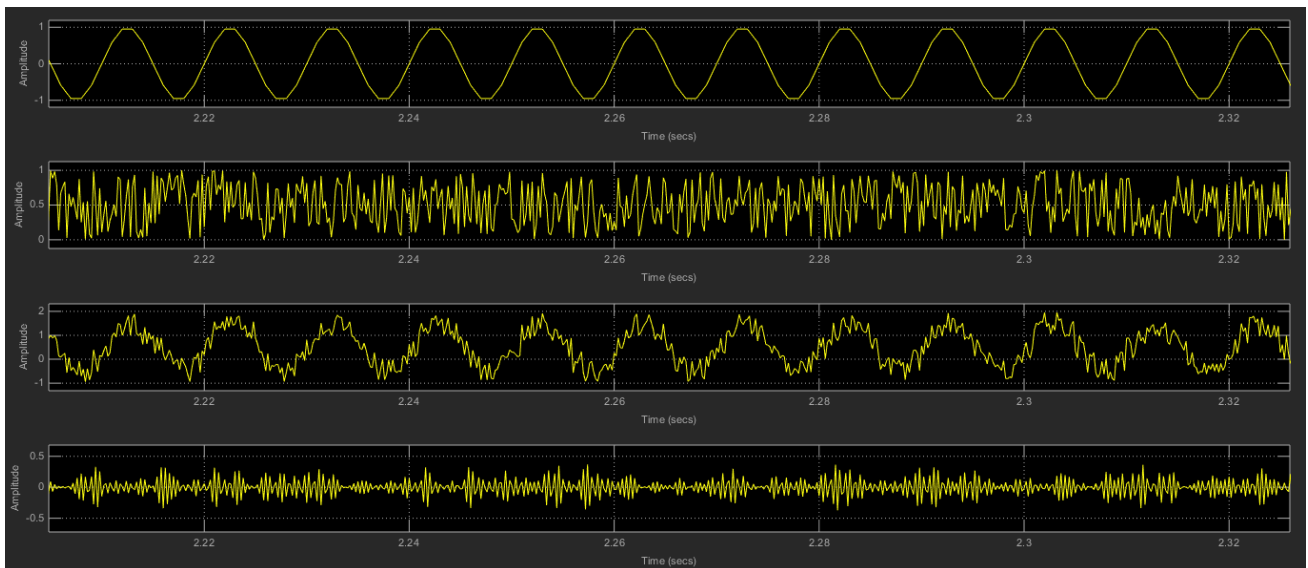


Figure 45 la réponse de Filtre passe haut approximation Chebyshev

Filtre passe bande approximation Chebyshev :

La réponse du filtre :

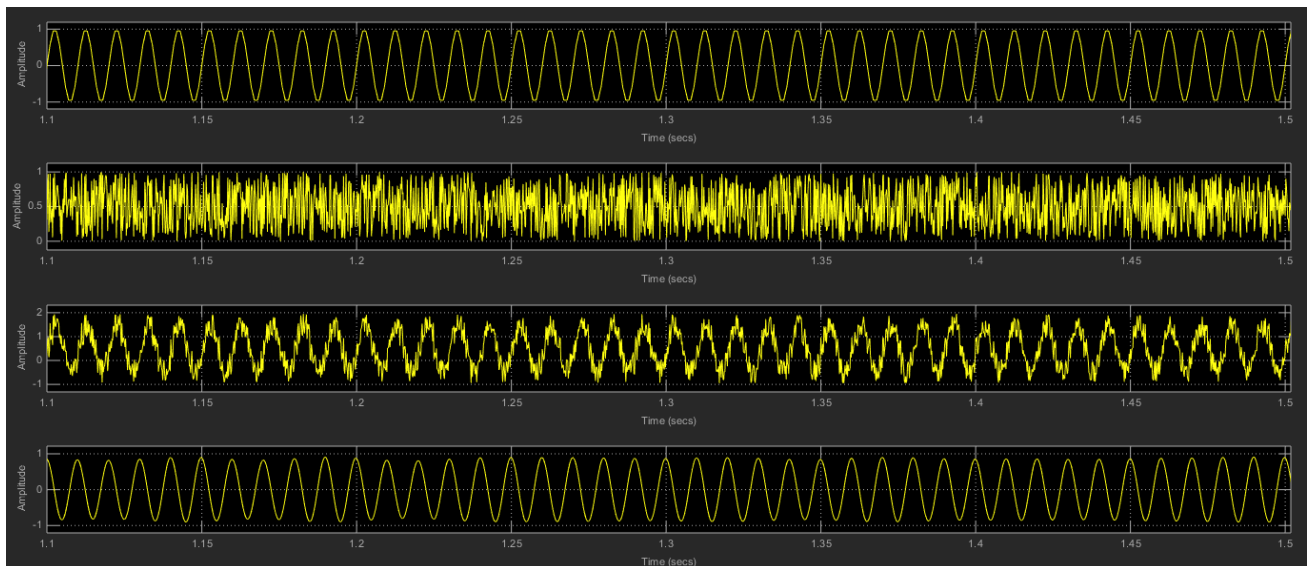


Figure 46 La réponse de Filtre passe bande approximation Chebyshev

Filtre coupe bande approximation Chebyshev :

La réponse du filtre :

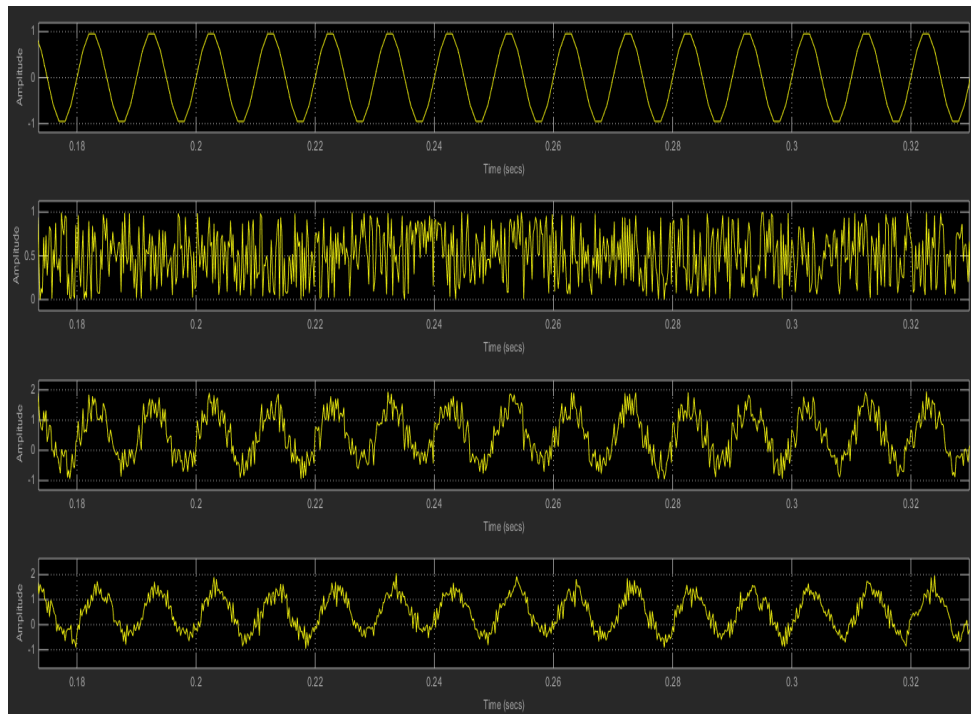


Figure 47 La réponse de Filtre coupe bande approximation Chebyshev

TEST MIL :

Le Test MIL (Model-in-the-Loop) est une étape cruciale du processus de développement de systèmes embarqués, où le modèle du système est intégré dans un environnement de simulation. Cela permet de vérifier le comportement du système avant même que du code ne soit écrit.

Pour réaliser un Test MIL sur Simulink, suivez ces étapes générales :

Créez un Subsystem : Dans votre modèle Simulink, utilisez l'outil "Subsystem" pour créer un sous-système. Sélectionnez les blocs que vous souhaitez inclure dans ce sous-système et regroupez-les en les plaçant à l'intérieur du sous-système.

Créez une boucle : Pour créer une boucle dans votre modèle, vous pouvez utiliser un bloc de type "Loop" ou "For" en fonction de vos besoins. Placez ce bloc autour du sous-système que vous avez créé précédemment pour définir la structure de la boucle.

Configurez les paramètres de la boucle : Définissez les paramètres de la boucle, tels que le nombre d'itérations ou les conditions d'arrêt, selon les exigences de votre test MIL.

Connectez les entrées et les sorties : Assurez-vous que les entrées et les sorties de votre sous-système sont correctement connectées aux autres parties de votre modèle à l'extérieur de la boucle.

Configurez les paramètres de simulation : Configurez les paramètres de simulation dans Simulink en fonction des besoins de votre test MIL, comme expliqué dans les étapes précédentes.

Exécutez la simulation : Lancez la simulation pour exécuter le test MIL avec la boucle que vous avez créée. Vérifiez que le comportement du système correspond à ce qui est attendu.

Analysez les résultats : Analysez les résultats de la simulation pour évaluer la performance du système et identifier les éventuels problèmes ou erreurs.

TEST SIL :

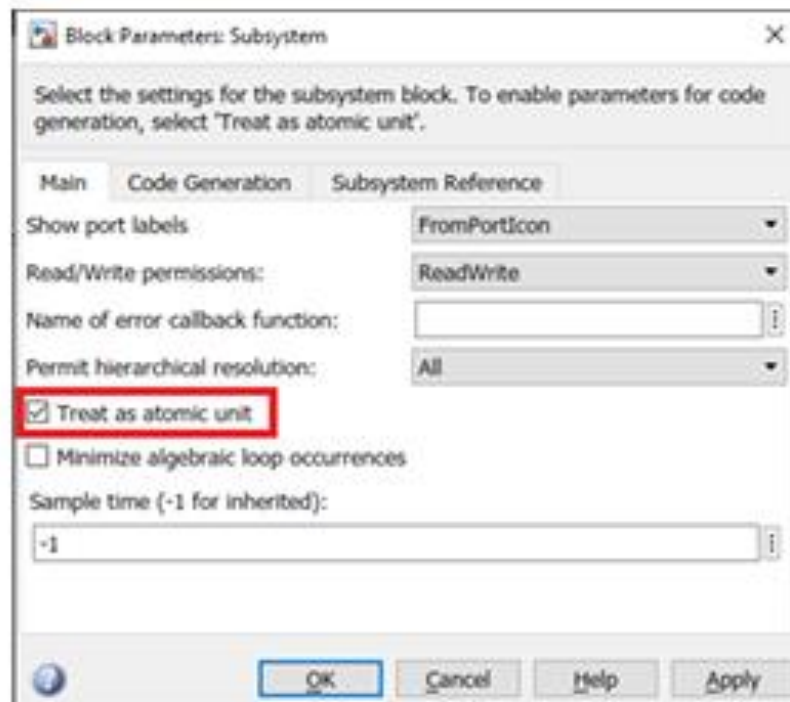
Le Test SIL (Software-in-the-Loop) est une étape du processus de développement de logiciels embarqués où le code source du logiciel est intégré dans un modèle de simulation. Voici comment vous pouvez réaliser un Test SIL sur Simulink :

1-Create Atomic Subsystem:

Select all the block needed -> Right click -> Create Subsystem from the Selection

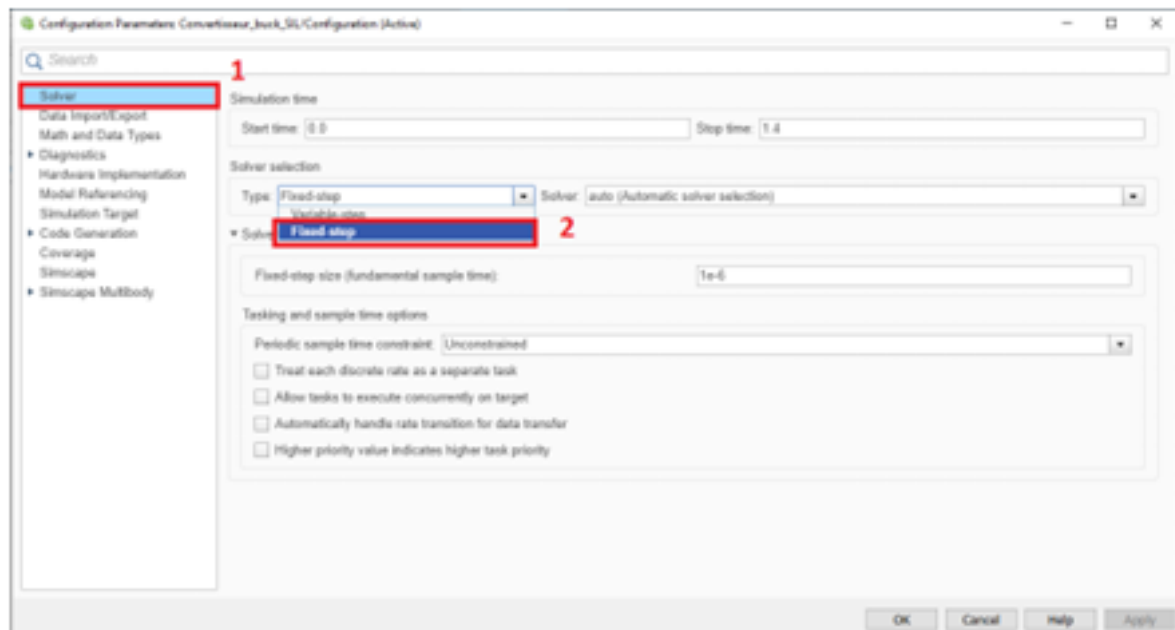


Right click on Subsystem -> Block parameters -> check the "Treat as Atomic Unit"



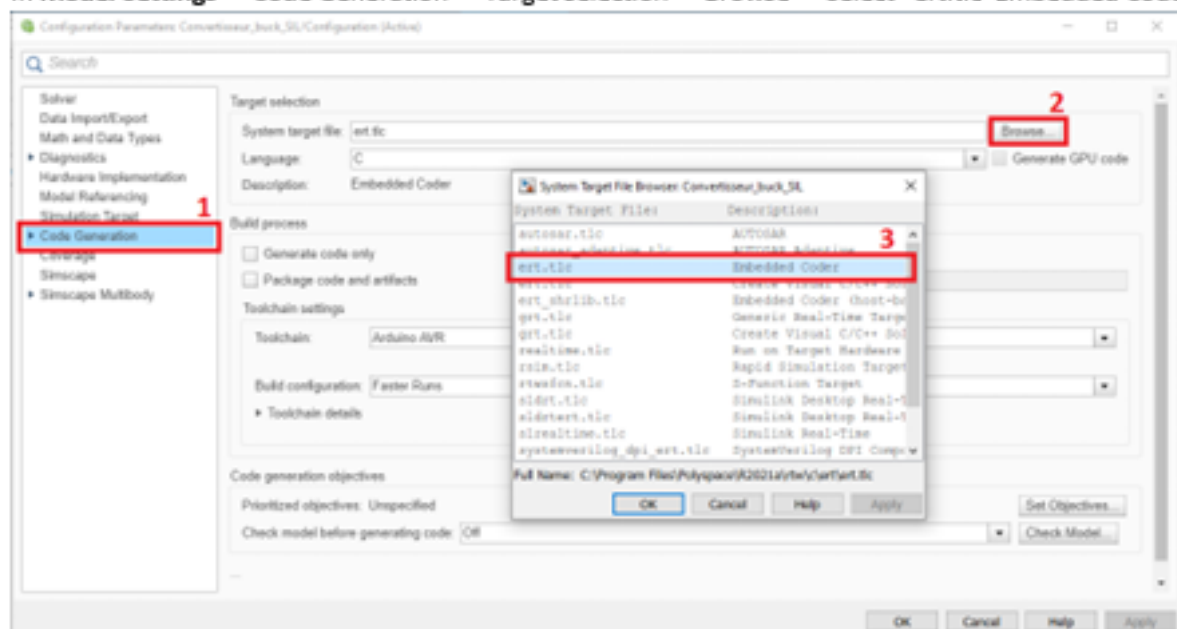
2-Configure the Solver:

In Model Settings -> Solver -> Solver Selection -> select "Fixed-Step"



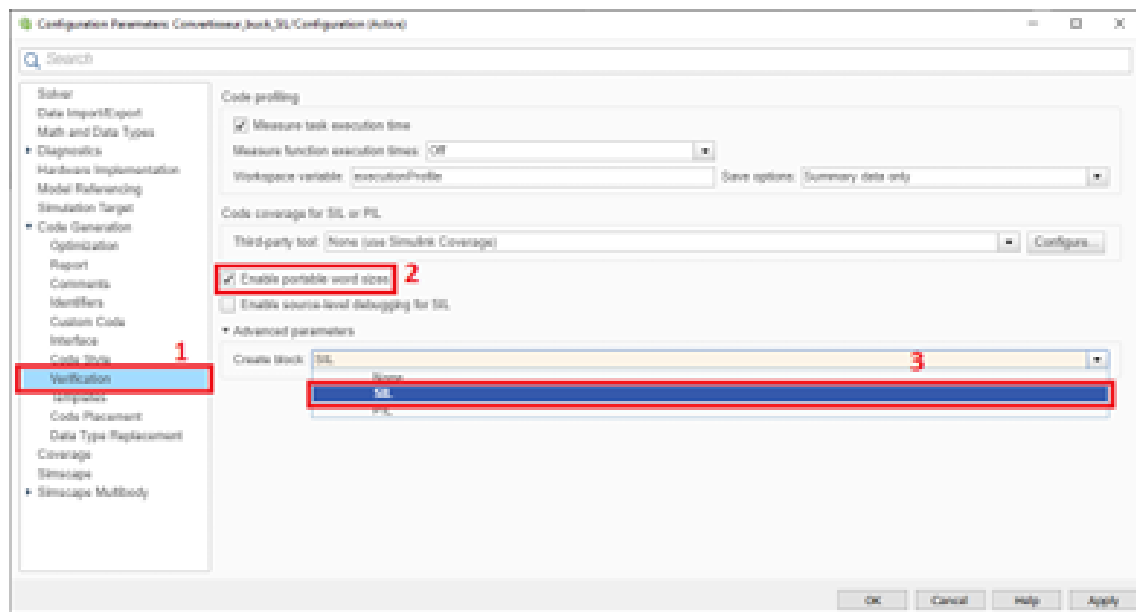
3-Configure the Code generation parameters:

In Model Settings -> Code Generation -> Target selection -> Browse -> Select "ert.tlc Embedded Coder"



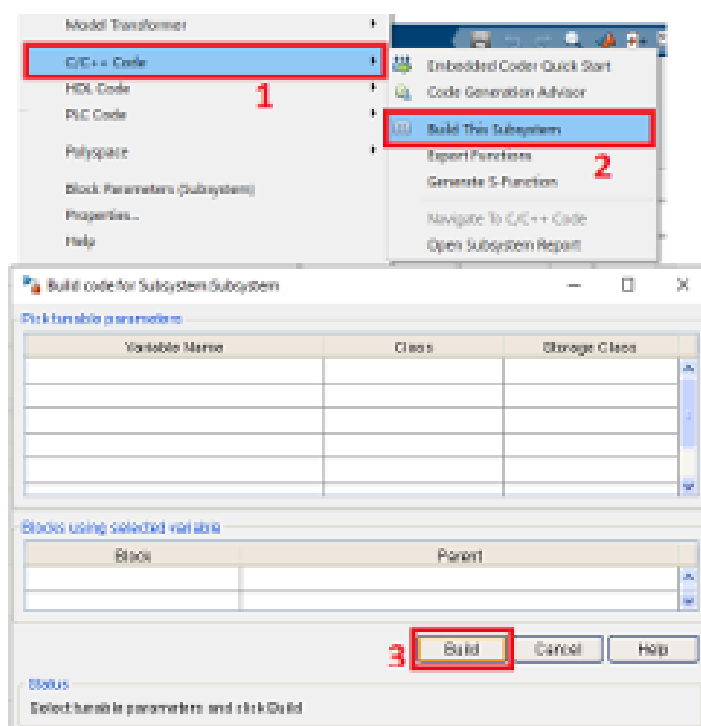
4-Verification parameters

In Model Settings -> Code Generation -> Verification -> check "Enable Portable word sizes" -> Advanced parameters -> Create block -> Select "SIL"



5-Build the Subsystem

Right click on the Subsystem -> C/C++ Code -> Build this Subsystem -> Build



TEST MIL du filtre:

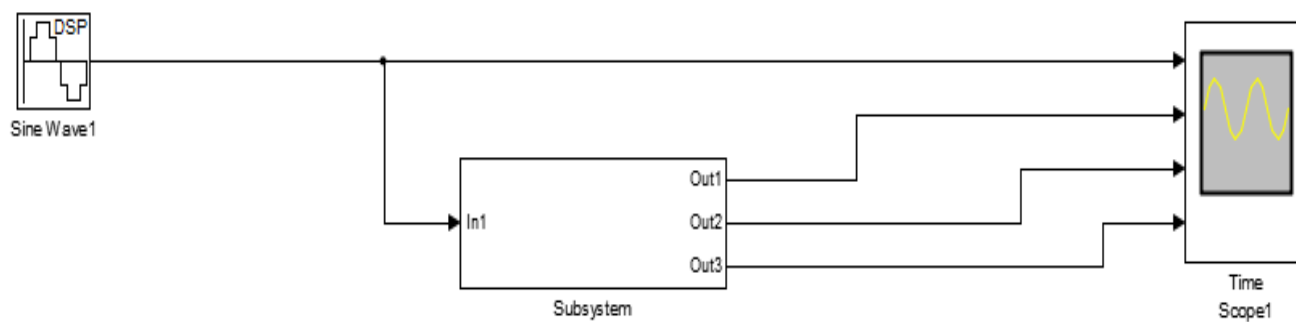


Figure 48 Le test MIL

La réponse du test :

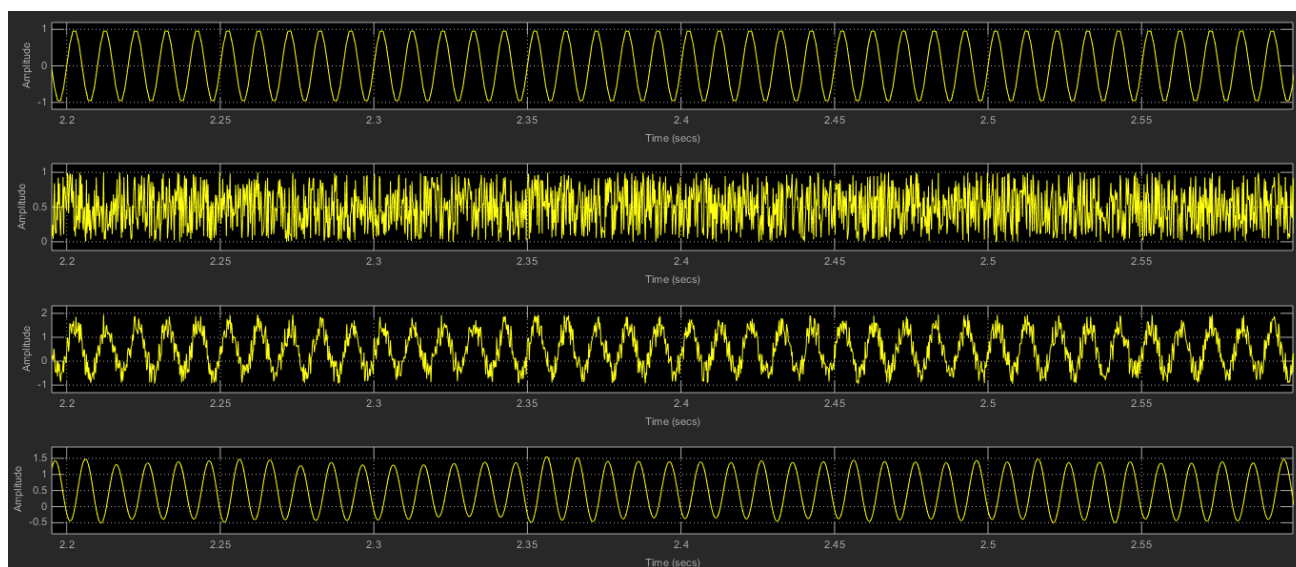


Figure 49 La réponse du test MIL