

Service de Théorie des Circuits
et de Traitement du signal

EPREUVE PRATIQUE DE TRAITEMENT DU SIGNAL 4^{ème} ELEC

Décembre 2004
(durée : 2H , sans notes)

1. A l'aide de la commande Matlab `load('nom_du_fichier')` chargez le fichier "datas.mat" qui se trouve dans l'espace de travail (work). Ce fichier contient la variable "datas" qui correspond aux échantillons de 20 secondes d'enregistrement d'un ECG (électrocardiogramme). Malheureusement, ce signal a été perturbé par un bruit haute fréquence.

On vous demande de filtrer ce signal afin d'isoler le signal utile. Notons que l'aspect visuel étant important dans ce type de signal biomédical, on veillera à ce que la forme du signal soit préservée.

Concrètement, on vous demande de :

- a. spécifier la fréquence à laquelle le signal a été échantillonné ;
- b. afficher le spectre de ce signal et d'indiquer les commandes utilisées ;
- c. noter les caractéristiques de votre filtre ainsi que le raisonnement qui a mené et les commandes matlab utilisées ;
- d. filtrer le signal et de donner la valeur de l'amplitude de la composante fondamentale du signal filtré.

Solution :

Le filtrage ne pouvant pas affecter la forme du signal, le filtre doit être à phase linéaire. Or nous avons vu que les filtres non récursifs rencontrent cette exigence. Dès lors, nous allons utiliser un filtre de Parks Mac Clelland.

Chargeons le fichier :

```
>> load('datas.mat')
```

```
>> size(datas)
```

```
ans =
```

```
1    4000
```

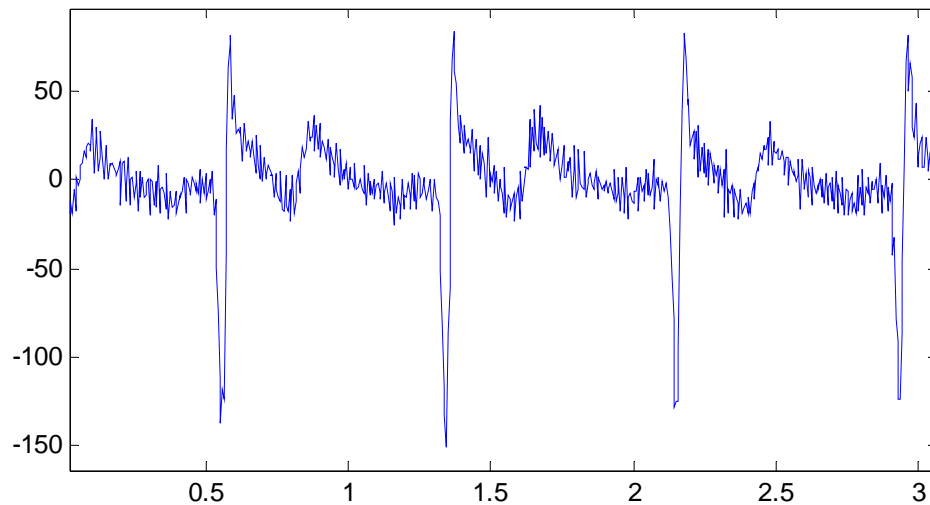
a. fréquence d'échantillonnage

Nous disposons de 20 secondes d'enregistrement. Nous voyons que le signal est constitué de 4000 échantillons. La fréquence d'échantillonnage est donc de 200Hz.

Regardons l'évolution temporelle de ce signal :

```
>> figure;plot([0:3999]/200,datas)
```

évolution temporelle du signal ECG bruité



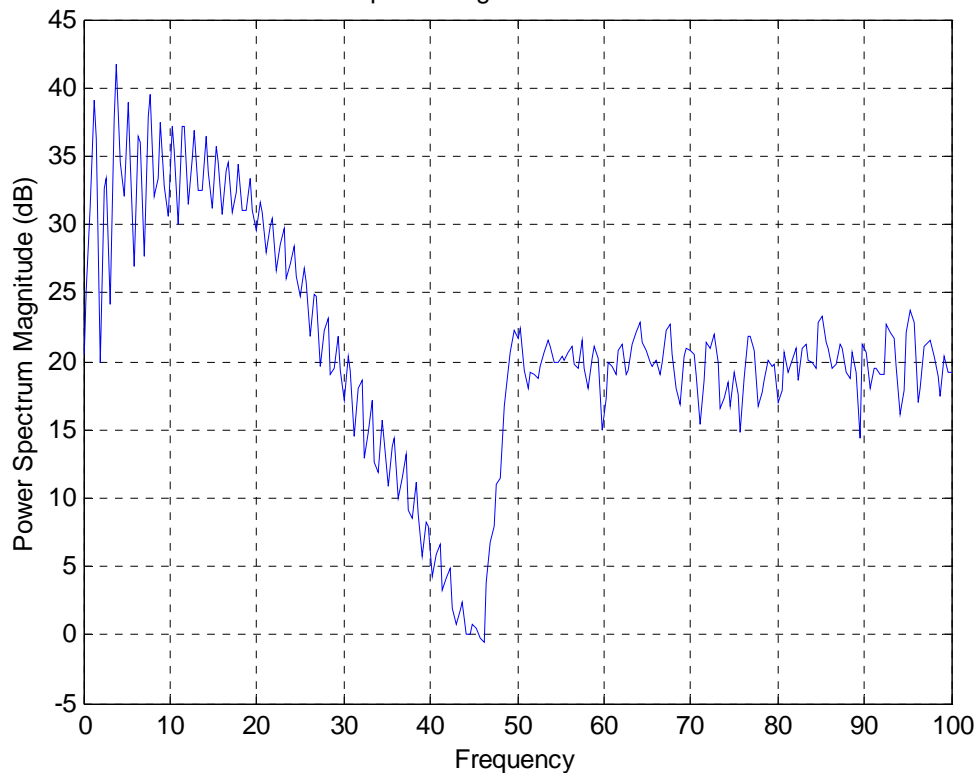
b. Affichons le spectre de ce signal

Comme il s'agit d'un signal bruité, le signal n'est plus déterministe et doit donc être analysé comme un signal aléatoire :

```
>> PSD(datas,512,200)
```

```
>>title('psd du signal ECG bruité')
```

psd du signal ECG bruité



Nous constatons que l'information utile se trouve en basse fréquence, nous pouvons donc filtrer passe-bas afin de garder les fréquences de 0 à 40Hz.

Filtre :

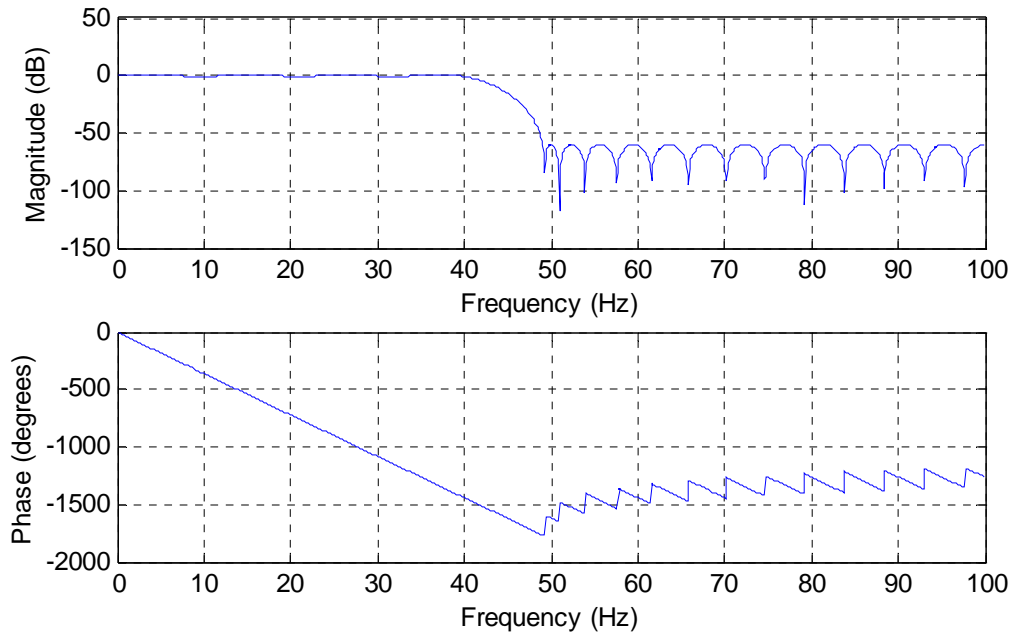
```
>> [N,Fo,Ao,W] = REMEZORD([40 49],[1 0],[0.1 1/1000],200)
```

```
N = 40
```

```
>> B = REMEZ(N,Fo,Ao,W);
```

Examinons la fonction de transfert du filtre :

```
>> figure;freqz(B,1)
```

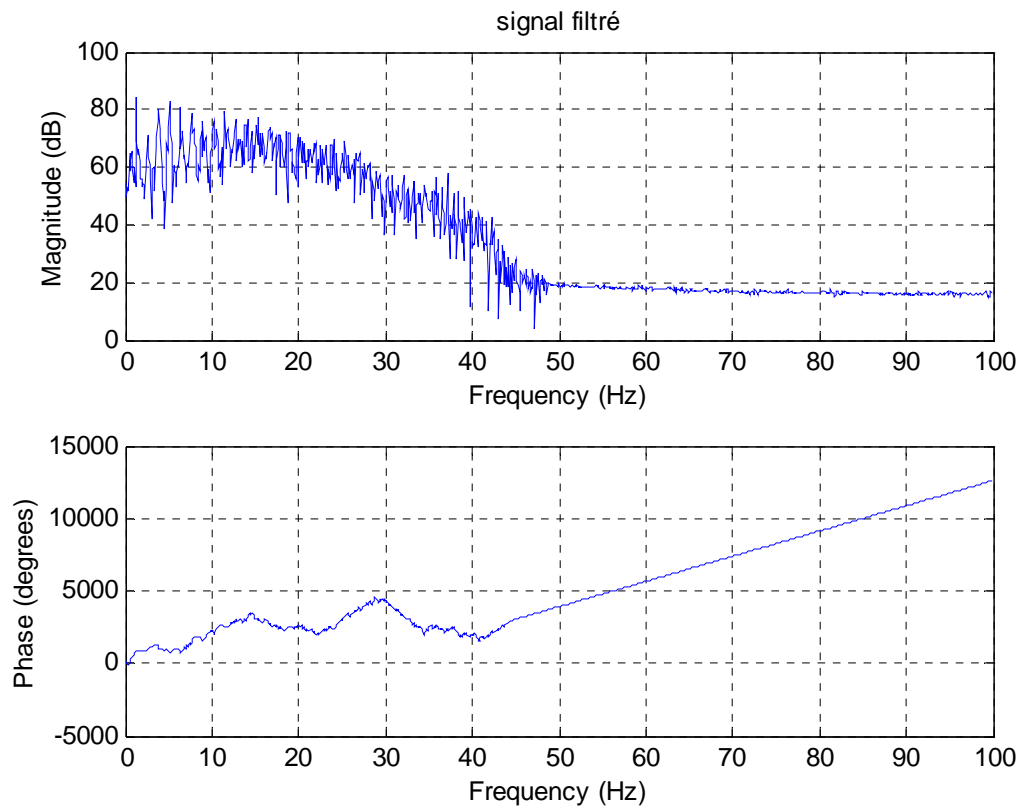


Notre filtre remplit bien sa fonction.

d. Il nous reste à filtrer le signal initial :

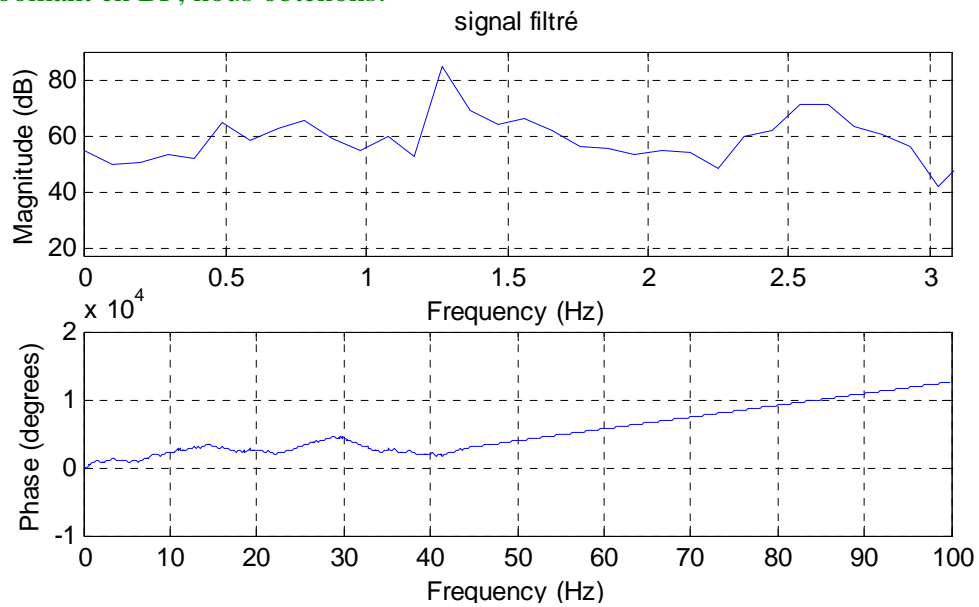
```
>> dataf=filter(B,1,datas);
```

```
>> figure;freqz(dataf,1,1024,200) % ici, nous pouvons utiliser freqz car nous avons éliminé le bruit
```



et déterminer la composante principale :

En zoomant en BF, nous obtenons:



Nous voyons une composante fondamentale à 1,27Hz dont l'amplitude vaut AdB=84,5 dB.

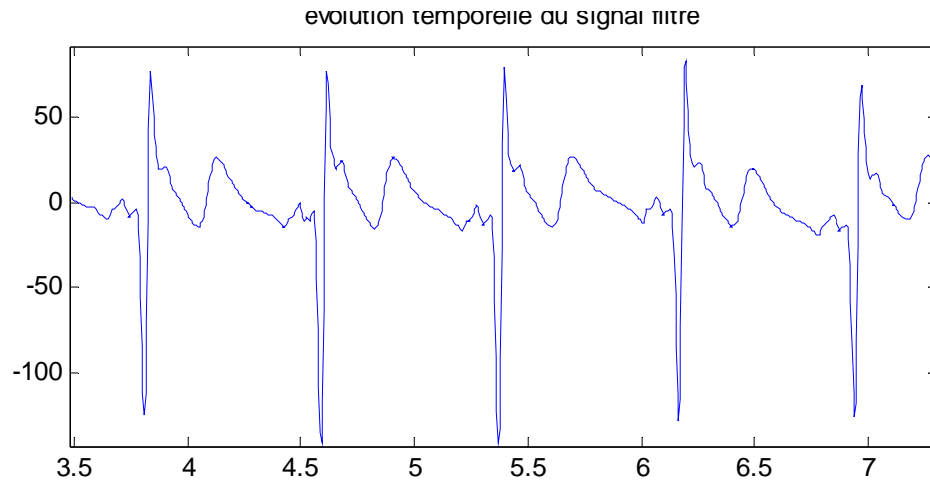
La valeur en dB correspond à $20 \cdot \log_{10}(N \cdot A/2)$

$$\Rightarrow A = [10^{(AdB/20)}] \cdot 2/N = 2 \cdot 10^{(84.5/20)} / 4000 = 8.3940$$

La fréquence du fondamental vaut 1,27Hz. Cela correspond à une période de 0.8 s.

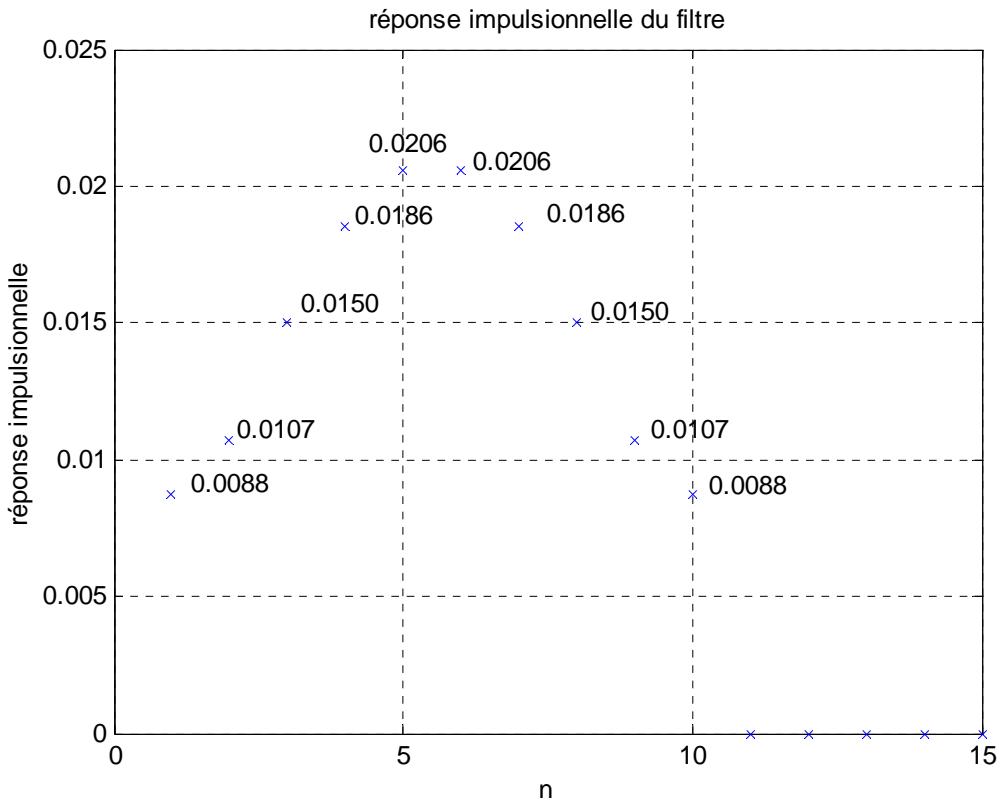
Sur l'évolution temporelle du signal, nous vérifions que la période du signal (durée entre deux maxima successifs par exemple) est bien égale à 0.8 s.

```
>> figure; plot([0:3999]/200, dataf)
```



Nous retrouvons bien l'allure typique du rythme cardiaque. Le bruit haute fréquence a disparu.

2. La figure ci-dessous représente l'affichage de la réponse impulsionnelle d'un filtre.



Questions :

1. Donnez l'expression de la fonction de transfert du filtre ?

La réponse impulsionnelle est finie. Dès lors, le filtre est un filtre non récursif dont les coefficients sont donnés par la réponse impulsionnelle.

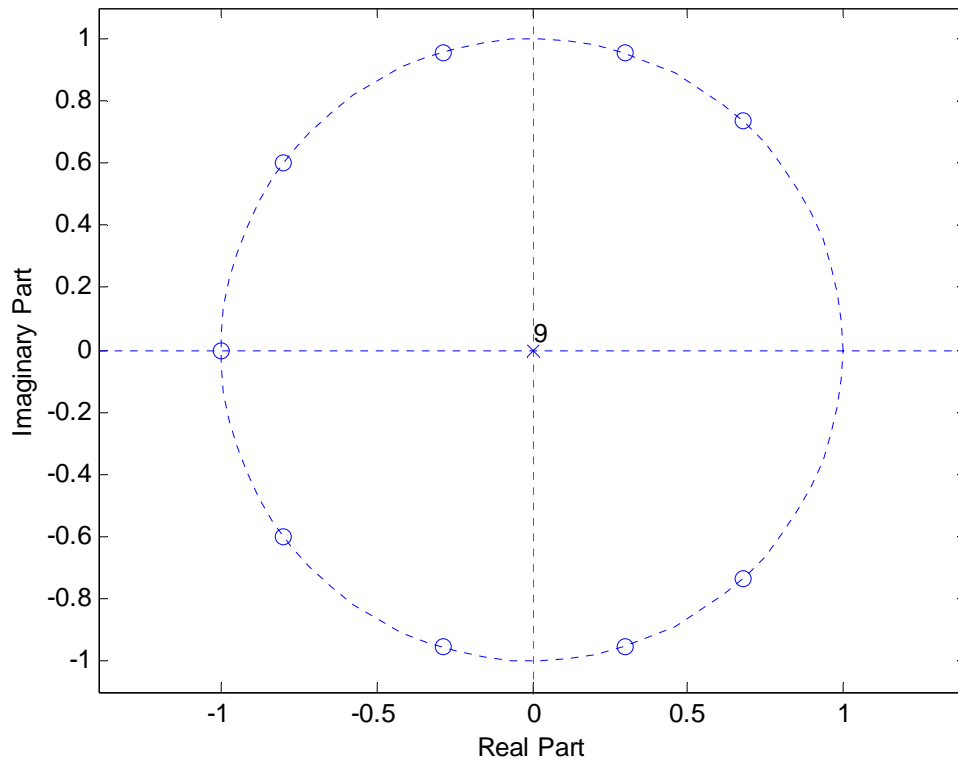
Nous avons donc :

$$H(z) = 0.088 + 0.0107z^{-1} + 0.0150z^{-2} + 0.0186z^{-3} + 0.0206z^{-4} + 0.0206z^{-5} + 0.0186z^{-6} + 0.0150z^{-7} + 0.0107z^{-8} + 0.088z^{-9}$$

2. A l'aide de la fonction Matlab permettant d'afficher les pôles et les zéros d'une fonction de transfert, prédisez, le plus précisément possible, l'allure de la fonction de transfert du filtre (en fréquences normalisées par rapport à $f_e/2$). Expliquez votre raisonnement et indiquez les lignes de commande Matlab utilisées.

`B = [0.0088 0.0107 0.0150 0.0186 0.0206 0.0206 0.0186 0.0150 0.0107 0.0088];`

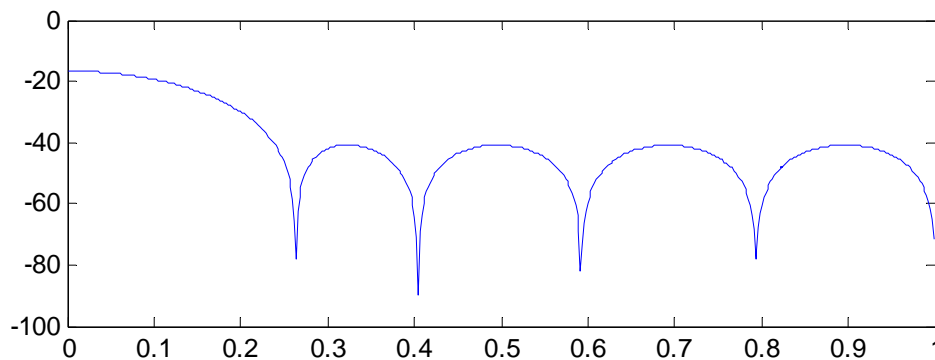
`zplane(B,1) % affiche les pôles et les zéros d'une fonction de transfert (ici, nous n'avons que des zéros)`



$A = \text{angle}(\text{roots}(B))$; %angle nous donne l'argument de chaque zéro (en radians)
 A/π % permet d'obtenir la fréquence normalisée à partir de l'argument obtenu
ans =

```
+ 1.0000
+/_ 0.7939
+/_ 0.5923
+/_ 0.2633
+/_ 0.4041
```

Nous pouvons donc prévoir la fonction de transfert suivante :

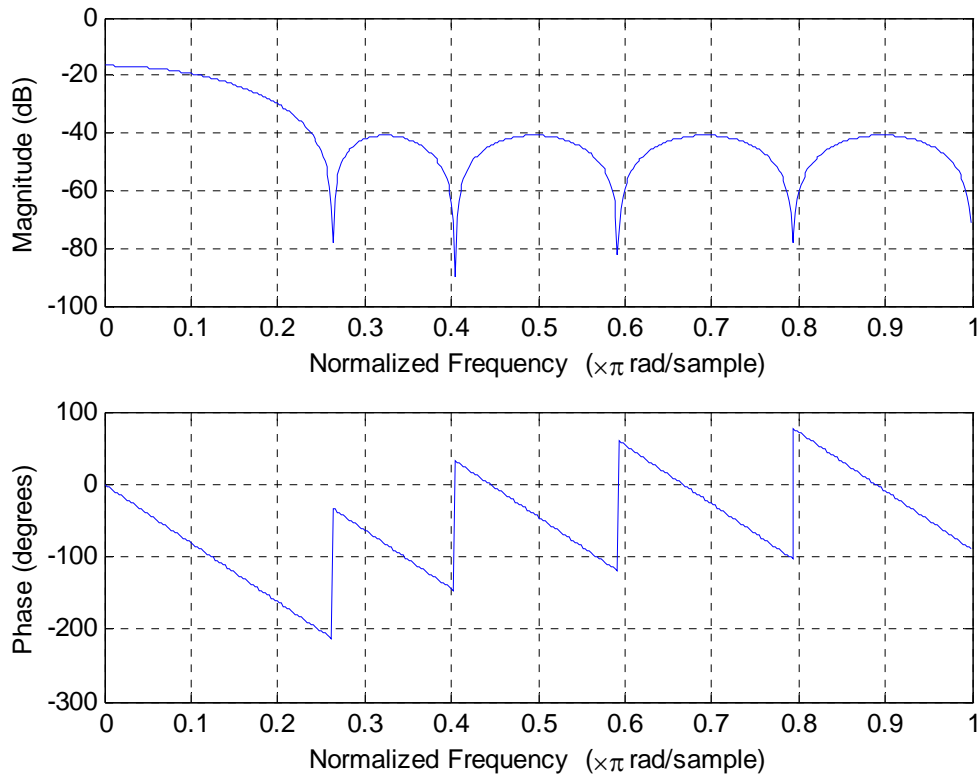


La phase sera linéaire.

3. Vérifiez que vos prédictions sont correctes (indiquez les lignes de commande Matlab utilisées).

Vérification :

`freqz(B,1)`



Nos prédictions sont bien vérifiées.

4. Donnez les caractéristiques de ce filtre (type, bande passante à 3dB, bande bloquante).

Solution :

Il s'agit d'un filtre passe bas.

La bande passante s'étend de $F=0$ à $F=0.1044$

La bande atténuée (fréquence de coupure) commence à 0.238 (fréquence normalisée par rapport à $f_e/2$).

5. Est-ce que ce filtre conviendrait pour analyser un signal ECG pollué par des hautes fréquences qui a été échantillonné à 1000Hz et dont la gamme de fréquences utiles s'étendrait jusque 50Hz.

Solution :

Oui, car :

- 50Hz correspond à une fréquence normalisée de 0.1 et est donc dans la bande passante du filtre.
- La fréquence de coupure vaut $0.238 \times 1000/2 = 119\text{Hz}$, les hautes fréquences seront donc fortement atténuées.