

Travaux pratiques

Etude du multiplexage en phase

Table des matières

1. Modulation des signaux	2
1.1. Les signaux initiaux	2
1.2. Les signaux modulés	3
1.3. Signal transmis	3
2. Calculs	4
2.1. Densité spectrale mutuelle	4
2.2. Fonction de corrélation mutuelle	4
3. Démodulation du signal	5
3.1. Modulation	5
3.2. Filtrage passe-bas	6
4. Erreurs de démodulation	7
4.1. Reconstruction différente de la porteuse à la réception du signal	7
4.1.1 Multiplication du signal $y(t)$ par $\cos[2.\pi.f_0.t-(\pi/4)]$	7
4.1.2 Multiplication du signal $y(t)$ par $\cos[2.\pi.f_0.t-(\pi/2)]$	7
4.2. Modification de la fréquence de la porteuse	8
4.3. Modification de la fréquence de modulation	9
4.4. Pas de quadrature de phase (déphasage différent de $\pi/2$)	10
4.5. Conclusion	10
5. Conclusion	11

1. Modulation des signaux

Nous avons déjà étudié la modulation d'amplitude qui consiste à moduler les signaux afin qu'ils se trouvent sur des supports fréquentiels disjoints. De cette façon, les deux signaux n'interagissent pas. Dans ce TP nous avons étudié le multiplexage en phase. Le principe est de déphaser les deux signaux afin qu'ils n'interagissent pas entre eux même s'ils se trouvent sur le même support fréquentiel et qu'on puisse les restituer.

1.1. Les signaux initiaux

Durant ce TP, nous avons travaillé sur les deux signaux initiaux $m_1(t)$ et $m_2(t)$ suivant :

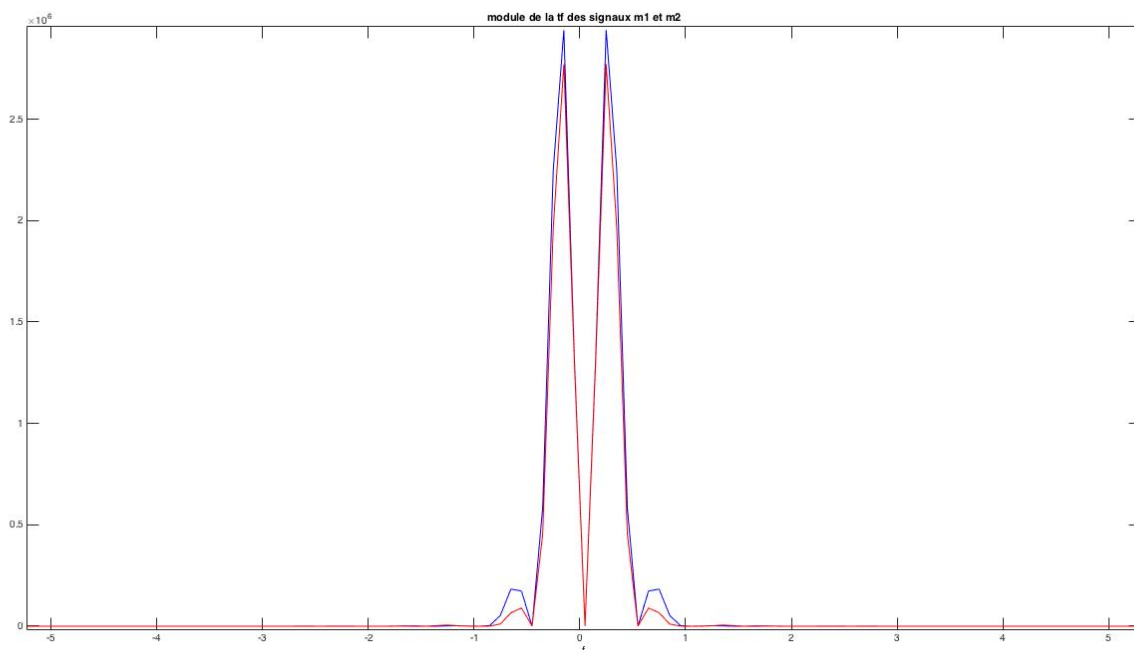
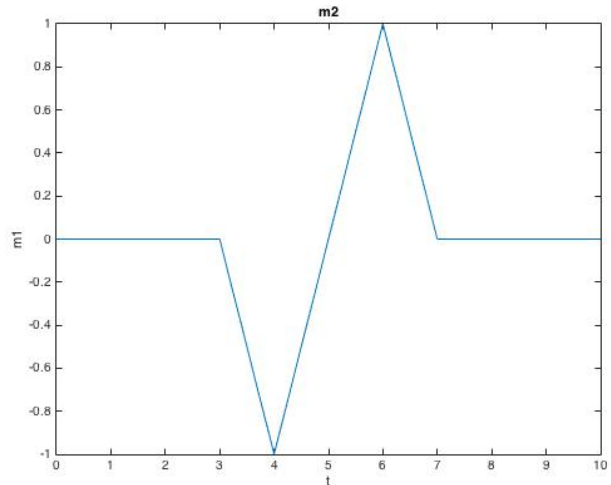
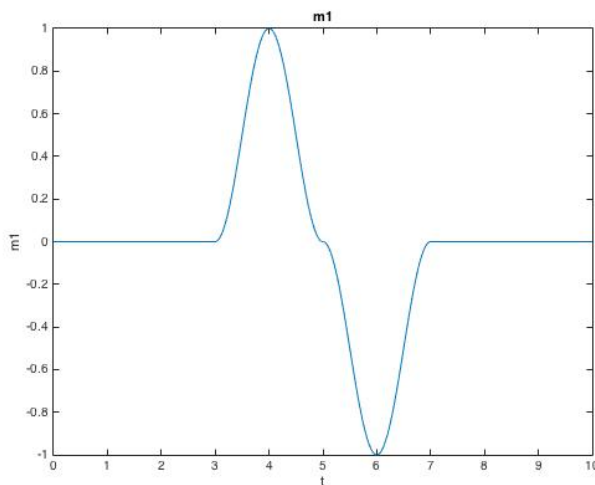
$F_e = 1000$; % fréquence d'échantillonnage

$m_1 = [\text{zeros}(3000,1); \text{hanning}(2000); -\text{hanning}(2000); \text{zeros}(3000,1)]$;

$m_2 = [\text{zeros}(3000,1); -\text{triang}(2000); \text{triang}(2000); \text{zeros}(3000,1)]$;

$t = 0:1/F_e:(\text{numel}(m_1)-1)/F_e$;

$f = (-F_e/2:F_e/(\text{numel}(m_1)-1):F_e/2)$;

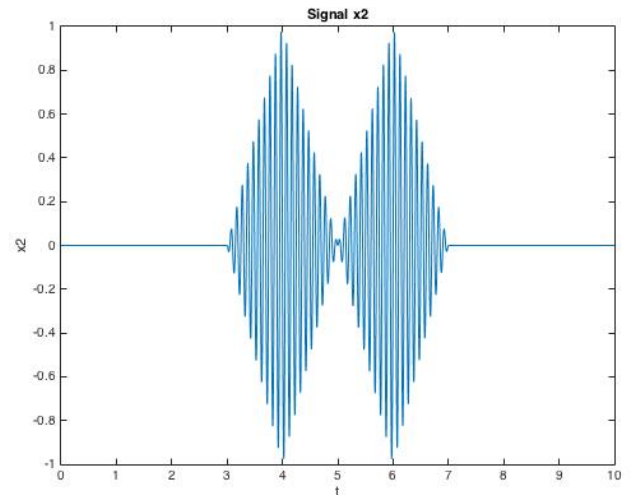
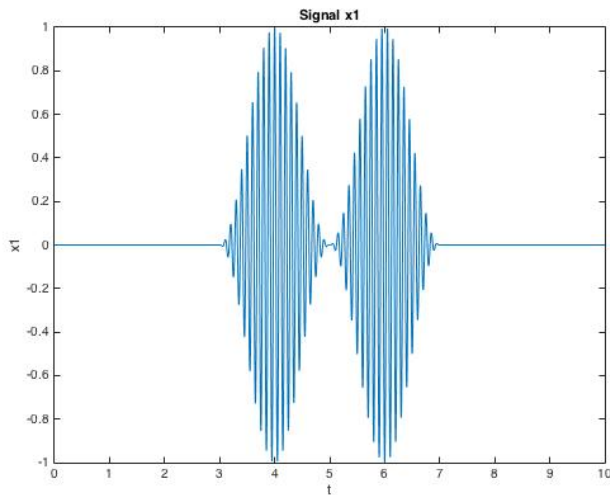


On constate que les deux signaux ont bien la même fréquence.

1.2. Les signaux modulés

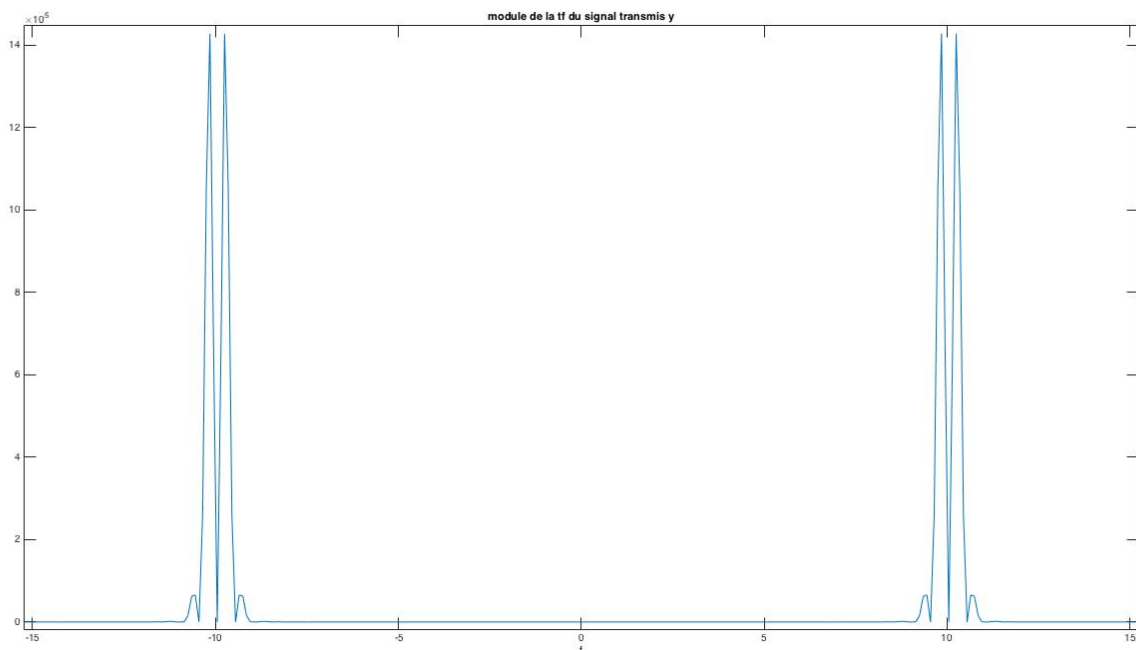
On module maintenant les signaux $m_1(t)$ et $m_2(t)$ par deux signaux en quadrature de phase avec une fréquence $f_0 > f_{\max}$ de $m_1(t)$ et $m_2(t)$.

```
f0=10;  
x1=m1'.*cos(2*pi*f0*t); %transposé de m1  
x2=m2'.*sin(2*pi*f0*t); %transposé de m2
```



1.3. Signal transmis

Le signal transmis est donc le signal $y(t)=x_1(t)+x_2(t)$.



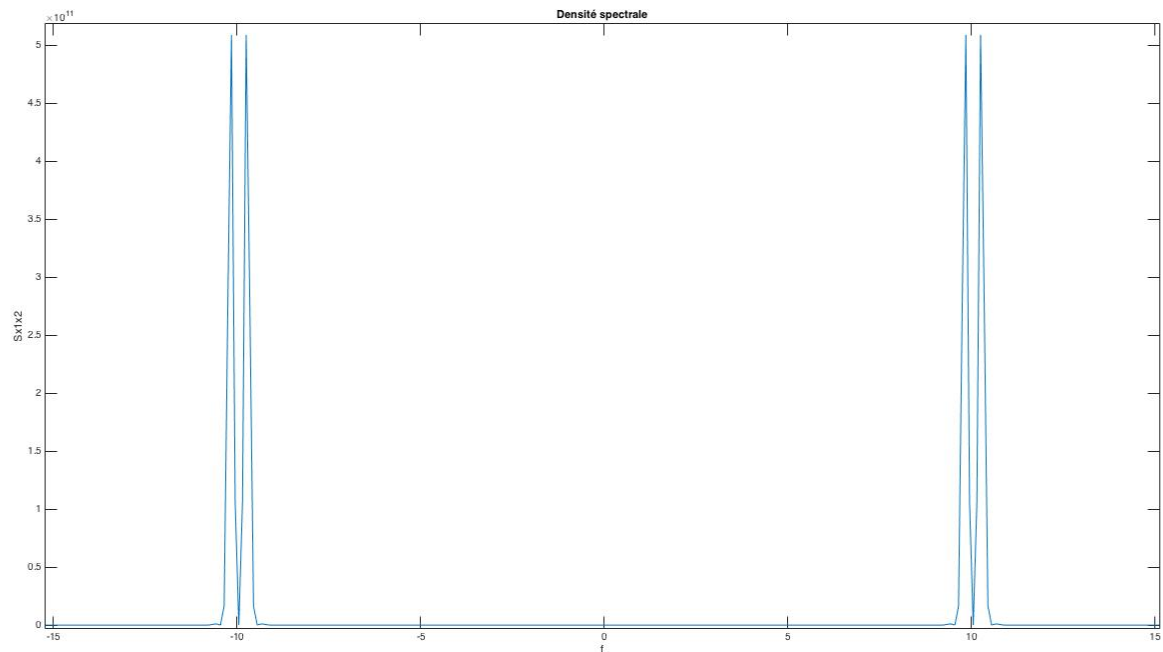
Les deux signaux étant à support fréquentiel non disjoint, la représentation fréquentielle ne nous permet plus de distinguer les deux différents signaux. Il faut donc démoduler ce signal afin de récupérer les signaux $m_1(t)$ et $m_2(t)$.

2. Calculs

2.1. Densité spectrale mutuelle

%----- Q2: Densité spectrale -----

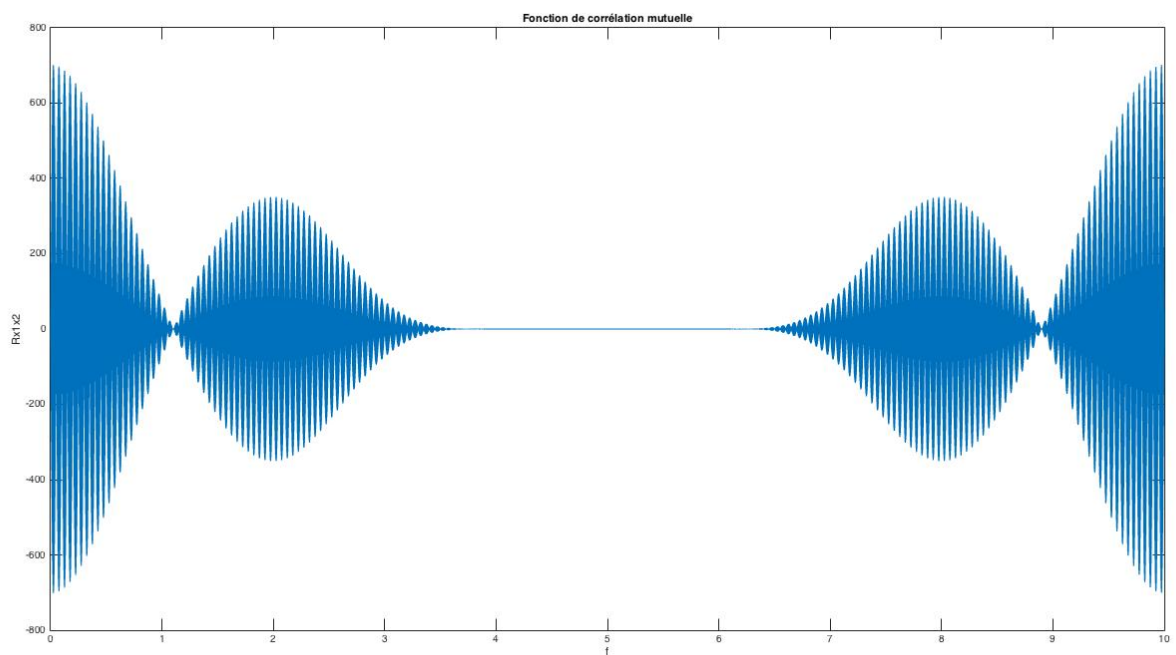
```
Sx=TFx1.*conj(TFx2);
```



2.2. Fonction de corrélation mutuelle

%----- Q3: Fonction intercorrélation -----

```
Rx=ifft(Sx);
```



3. Démodulation du signal

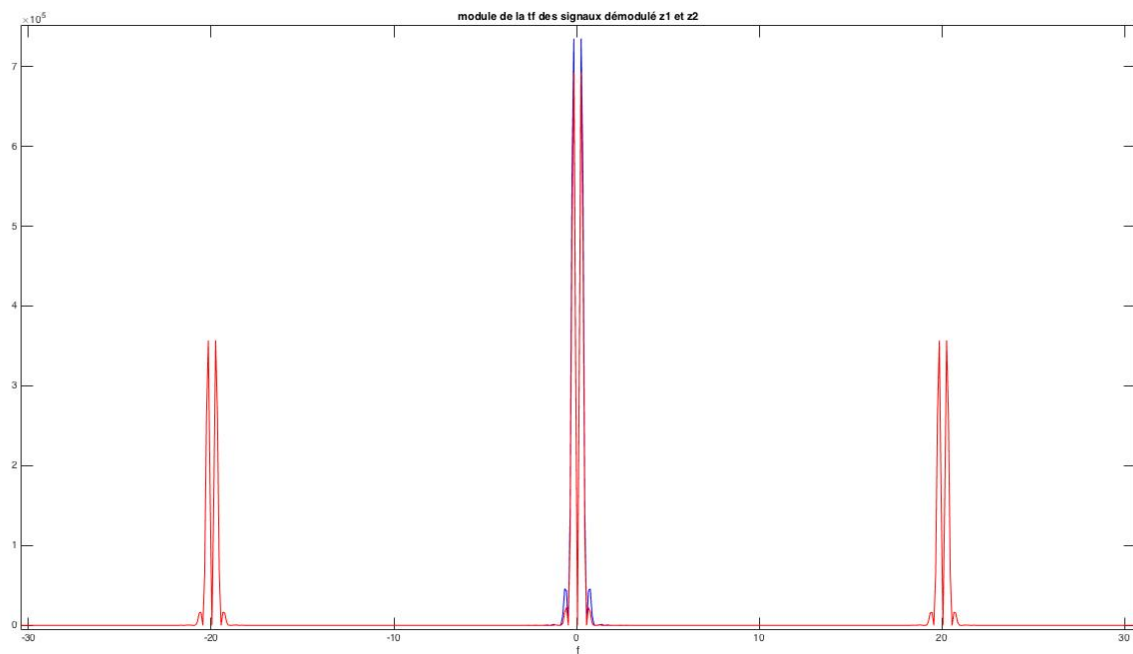
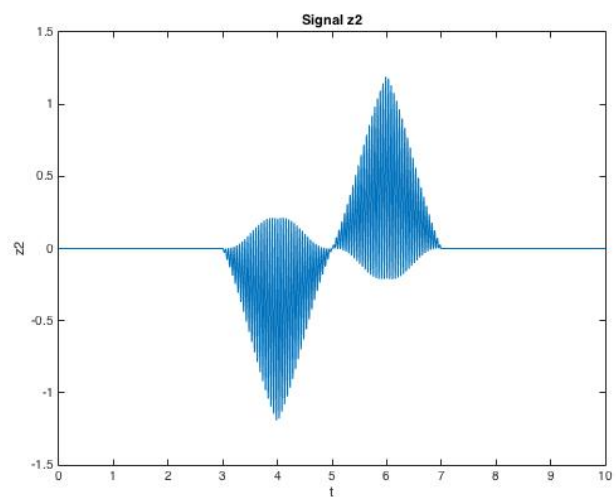
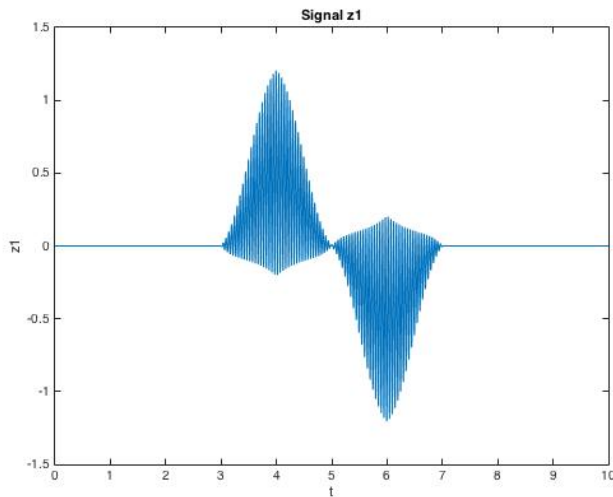
3.1. Modulation

Pour démoduler le signal $m_1(t)$, il faut moduler $y(t)$ par $\cos(2\pi f_0 t)$. De même, que $m_1(t)$ avait été modulé par $\cos(2\pi f_0 t)$. De la même manière, pour démoduler le signal $m_2(t)$, il faut moduler $y(t)$ par $\sin(2\pi f_0 t)$.

```
fd0=10;
```

```
z1=y.*cos(2*pi*fd0*t); % module par cos(2*pi*fd0*t)
```

```
z2=y.*sin(2*pi*fd0*t); % module par sin(2*pi*fd0*t)
```



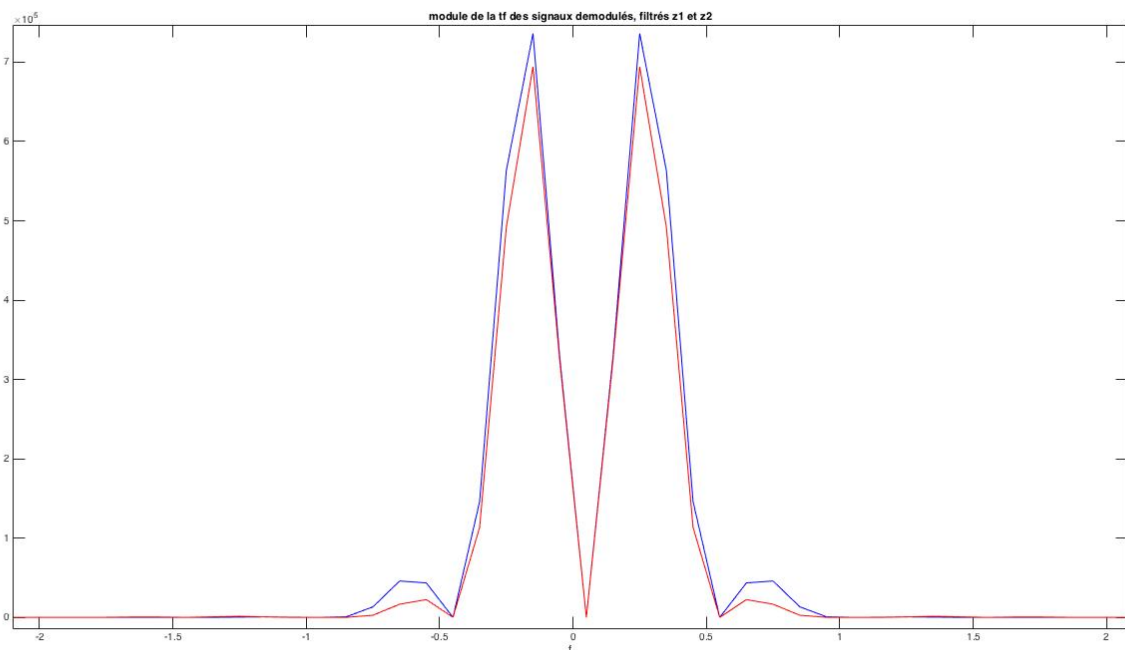
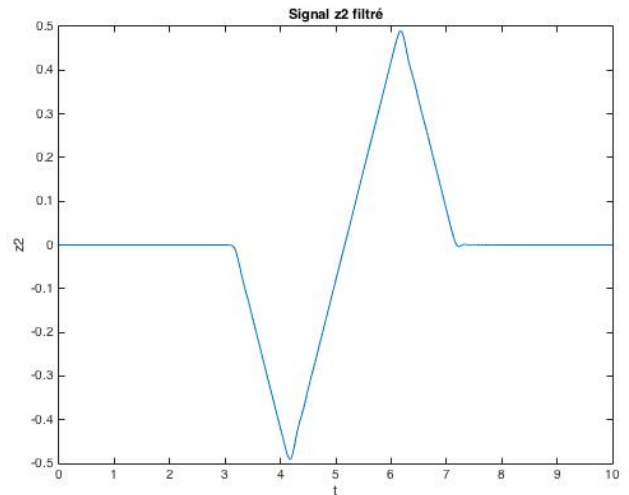
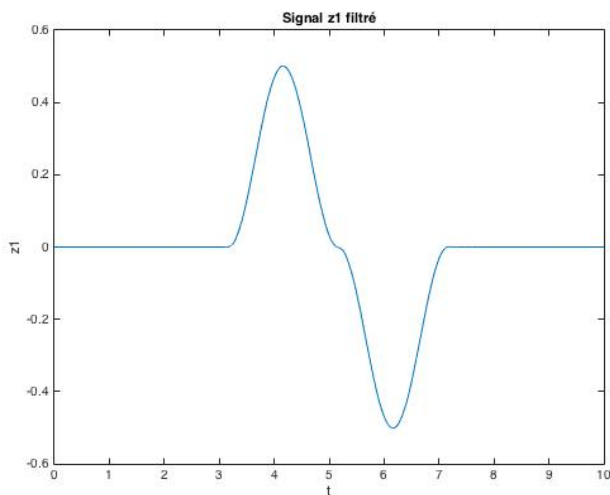
Les représentations fréquentielles de z_1 et z_2 occupent respectivement les bandes de fréquences comprises entre $+2f_0 - f_{\max}$ et $+2f_0 + f_{\max}$ et $-2f_0 - f_{\max}$ et $-2f_0 + f_{\max}$. Il est donc nécessaire de filtrer passe bas le signal z_1 ou z_2 afin de restituer respectivement $m_1(t)$ ou $m_2(t)$.

3.2. Filtrage passe-bas

Pour éliminer les bandes de fréquences non souhaitées, il suffit de filtrer passe bas le signal $z1$ ou $z2$ avec une fréquence de coupure égale à f_{\max} .

```
%----- FILTRAGE PASSE-BAS z1 -----  
[vB,vA] = butter(8,5/(Fe/2)); % fc=5, 4 correspond à l'ordre du filtre  
z1filtre = filter(vB,vA,z1); % filtrage passe bas avec  $f_{\max} < f_c$ 
```

```
%----- FILTRAGE PASSE-BAS z2 -----  
[vB,vA] = butter(8,5/(Fe/2)); % fc=5, 4 correspond à l'ordre du filtre  
z2filtre = filter(vB,vA,z2); % filtrage passe bas avec  $f_{\max} < f_c$ 
```



On retrouve donc bien les signaux $m1(t)$ et $m2(t)$ à la constante $\frac{1}{2}$ près.

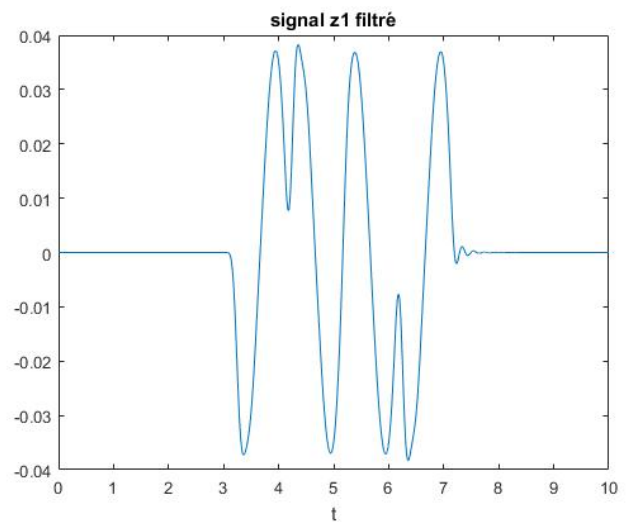
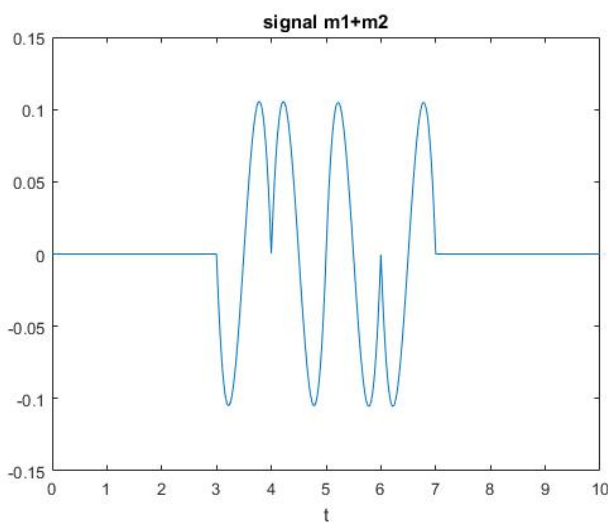
4. Erreurs de démodulation

Nous avons ensuite modifié différents paramètres entrant en compte lors du multiplexage en phase afin de comprendre l'importance de chacun.

4.1. Reconstruction différente de la porteuse à la réception du signal

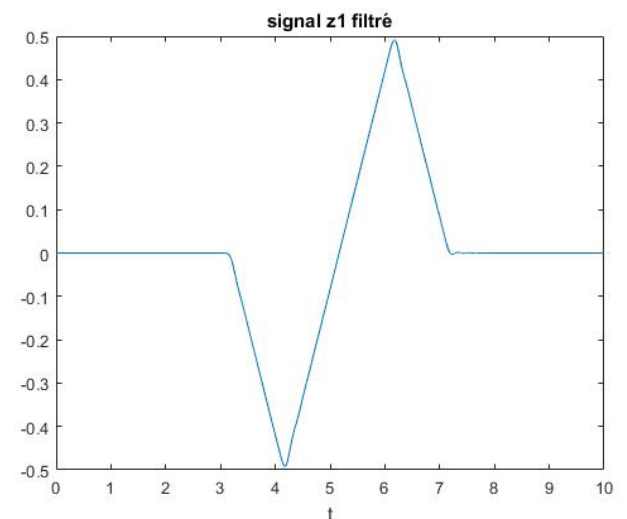
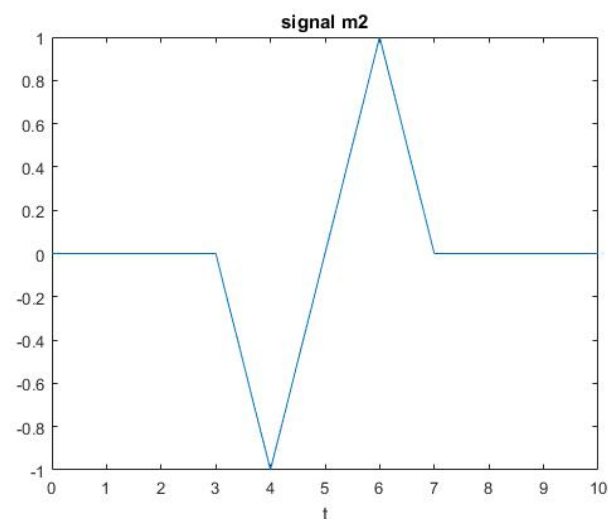
Nous nous sommes intéressés à la reconstruction de la porteuse à la réception du signal. En effet la porteuse n'est pas transmise et il faut la reconstruire pour pouvoir démoduler le signal. Jusqu'à présent nous avons recréé la porteuse à l'identique, le signal $y(t)$ était modulé par $\cos(2\pi.f_0.t)$ puisque nous avons modulé le signal $m_1(t)$ par $\cos(2\pi.f_0.t)$. Nous avons donc cherché à comprendre l'importance de recréer la porteuse à l'identique. Pour cela, nous avons fait quelques essais avec des porteuses ayant une phase différente.

4.1.1 Multiplication du signal $y(t)$ par $\cos[2\pi.f_0.t-(\pi/4)]$



Nous pouvons donc constater que lorsque $y(t)$ est multiplié par $\cos[2\pi.f_0.t-(\pi/4)]$ à la réception du signal, nous n'arrivons pas à obtenir le signal initial $m_1(t)$. En effet, le signal z_1 filtré correspond au signal $m(t)=m_1(t)+m_2(t)$ d'amplitude $1/2$.

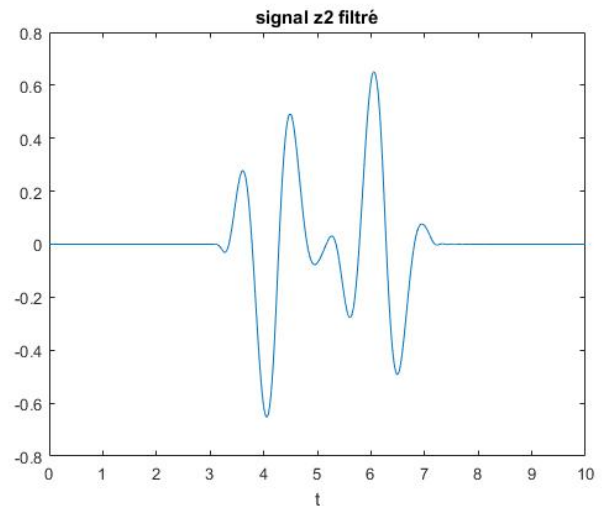
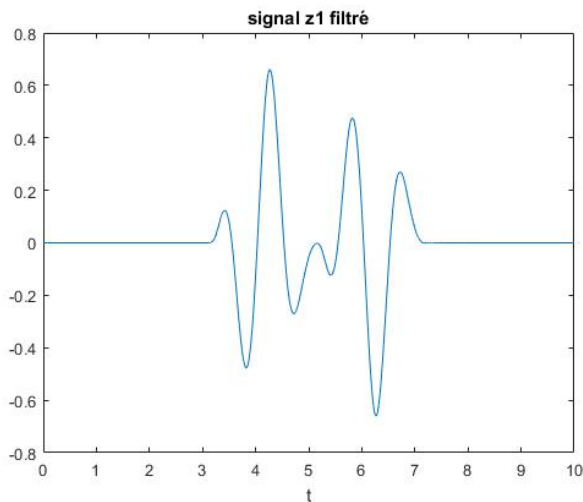
4.1.2 Multiplication du signal $y(t)$ par $\cos[2\pi.f_0.t-(\pi/2)]$



Nous constatons que lorsque $y(t)$ est multiplié par $\cos[2.\pi.f_0.t-(\pi/2)]$ à la réception du signal, nous récupérons le signal m_2 d'amplitude $1/2$. C'est tout à fait normal puisque $\cos[2.\pi.f_0.t-(\pi/2)]$ est égal à $\sin(2.\pi.f_0.t)$.

4.2. Modification de la fréquence de la porteuse

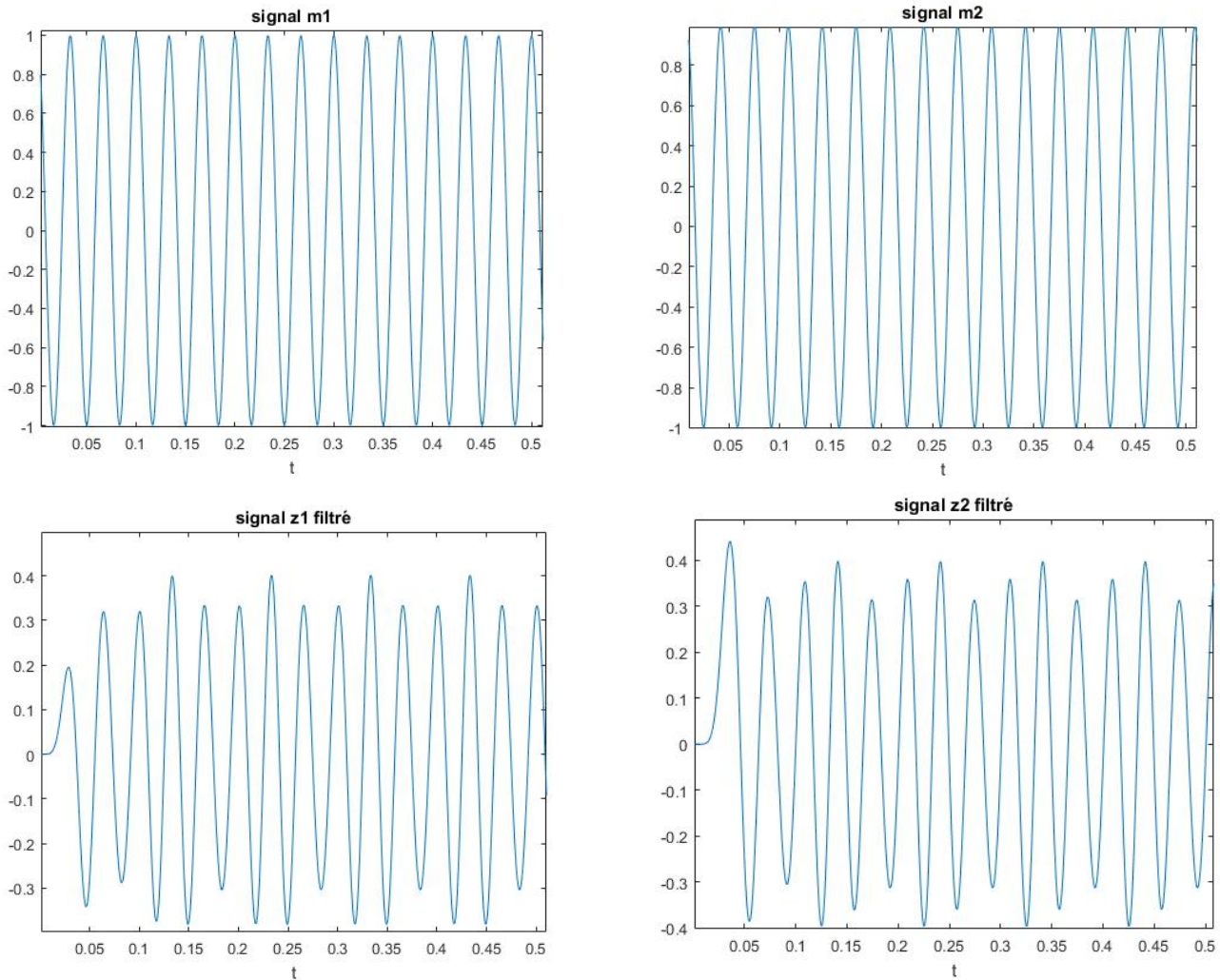
Intéressons-nous maintenant à l'intérêt de garder la même fréquence f_0 pour la modulation de la phase des signaux $m_1(t)$ et $m_2(t)$ et $y(t)$. Nous avons jusqu'à présent une fréquence $f_0=10\text{Hz}$, choisissons maintenant une fréquence différente pour la modulation à la réception. Par exemple $f=11\text{Hz}$, ce qui nous donne : $z_1(t)=y(t).\cos(2.\pi.f.t)$ et $z_2(t)=y(t).\sin(2.\pi.f.t)$.



Nous constatons donc que les signaux récupérés ne correspondent pas aux signaux émis. Cela s'explique par le fait que la modulation effectuée sur le signal reçu est différente de celle effectuée sur les signaux initiaux. Nous pouvons donc en conclure qu'il est important de garder la même fréquence pour reconstruire à l'identique la porteuse.

4.3. Modification de la fréquence de modulation

Nous nous sommes également intéressés à la corrélation entre la fréquence du signal et la fréquence de modulation. Nous avons donc choisi une fréquence de modulation ($f_0=35\text{Hz}$) légèrement supérieure à la fréquence des signaux $m_1(t)$ et $m_2(t)$ ($f=30\text{Hz}$).



Nous constatons des pics d'amplitudes différentes sur les signaux restitués, ce qui met en évidence une erreur dans le traitement des signaux. Nos différents essais nous permettent de conclure que la fréquence de modulation doit être largement supérieure à celle des signaux, auquel cas les signaux ne sont pas restitués à l'identique.

4.4. Pas de quadrature de phase (déphasage différent de $\pi/2$)

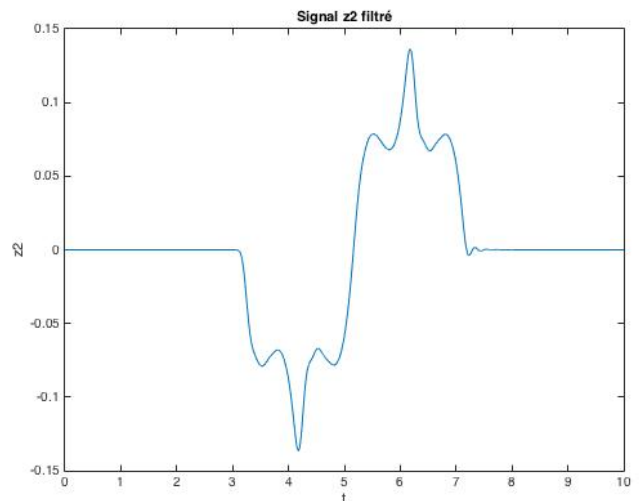
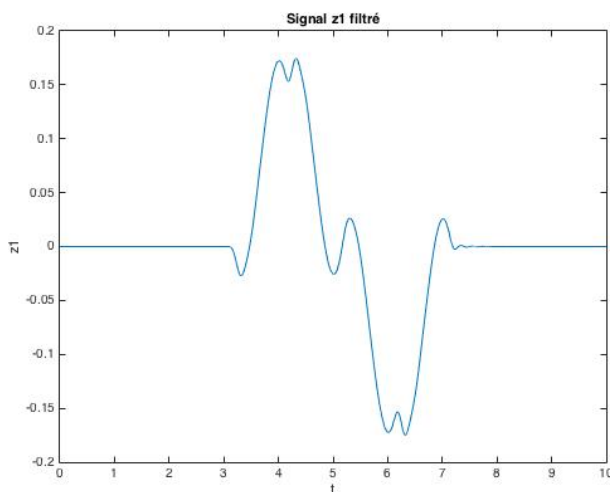
Pour que le multiplexage en phase puisse fonctionner, les deux signaux initiaux doivent être modulés par deux signaux en quadrature de phase (déphasé de $\pi/2$). En effet la modulation en quadrature de phase est nécessaire pour que les deux signaux n'interagissent pas dans le cas où les deux signaux ne sont pas à support fréquentiel disjoint. Cette condition impose donc de ne pouvoir transmettre au maximum que deux signaux différents sur une même bande de fréquence.

Par exemple, en modulant par deux signaux n'étant pas en quadrature de phase :

```
%----- MODULATION -----
f0=10;
x1=m1'.*cos(2*pi*f0*t); %transposé de m1
x2=m2'.*sin(2*pi*f0*t+(pi/4)); %transposé de m2
y=x1+x2;

%----- Q4: DEMODULATION -----
fd0=10;
z1=y.*cos(2*pi*fd0*t);
z2=y.*sin(2*pi*f0*t+(pi/4));
```

On obtient :



On constate donc que les signaux $m1(t)$ et $m2(t)$ ne sont pas restitués correctement.

4.5. Conclusion

Dans un premier temps, il est donc nécessaire de moduler les signaux initiaux par deux signaux en quadrature de phase. Nous devons également reconstruire la porteuse à l'identique à la réception pour démoduler correctement le signal $y(t)$ et récupérer les signaux initiaux $m1(t)$ et $m2(t)$. Que ce soit la fréquence ou la phase de la porteuse reconstruite, ces deux paramètres doivent être identiques à ceux choisis pour la porteuse du signal initial. De plus, il est nécessaire de choisir une fréquence de porteuse largement supérieure à la fréquence des signaux à transmettre.

5. Conclusion

Nous avons vu au cours de ce travail pratique qu'il est possible de transmettre simultanément sur un même canal deux signaux ayant la même bande de fréquence et restituer chacun de ces deux signaux. Cette technique a l'avantage d'optimiser la bande passante.

Pour ce faire, il faut multiplier la somme des deux signaux modulés (signal reçu) par la porteuse initiale et filtrer passe bas à une fréquence de coupure égale à la fréquence maximale des signaux initiaux.

Néanmoins la technique utilisée pour effectuer cette transmission requiert certaines précautions. Comme nous avons pu le voir dans la quatrième partie de ce rapport, les signaux initiaux doivent être modulés par deux signaux en quadrature de phase, la porteuse doit être reconstruite à l'identique et la fréquence de cette dernière doit être largement supérieure à celle du signal à transmettre.