Ville
Arnaud

Projet : Modulation de Fréquence
Compte-Rendu

I/ Cahier des charges et bureau d'études

1) Le signal modulé est de la forme $xm(t)=A\cos(2\pi.fp.t+\Delta f/fm \, . \, \sin(wm.t))$.
Or ici on a $xm(t)=\cos(2\pi.Fm.t+k.am/v0 \, . \, \sin(2\pi.v0.t))$.
Ainsi par identification on a $\mu m=\Delta f/fm=k.am/v0$.

2) Par définition : $\nu m(t)=fp+k.sm(t)$ avec fp la fréquence de la porteuse et k la sensibilité du modulateur.
On a ici $fp=Fm$.
Ainsi : $\nu m(t)=Fm+k.am.\sin(2\pi.v0.t)$

3) La bande passante B se divise en M parties égales pour transmettre chaque signal modulé. Ainsi, soit Bu la largueur de la bande nécessaire à la transmission d'un signal modulé en fréquence, on a : $Bu=B/M$,
De plus on a $Bu=2(\mu m+1)*v0$ d'où $\mu_{max}=Bu/(2*v0) -1 = B/(2.M.v0) -1$

4) On déduit de la question précédente : $k_{max}= \mu_{max}.v0/a_m = (B/2.M.v0 -1).v0/a_m = (B/2.M - v0)/a_m$

5) L'avantage ici de la modulation de fréquence par rapport à une modulation d'amplitude est que le signal modulé ne sera pas modifié par le bruit de forte amplitude car on va seulement effectuer une variation de fréquence. Le signal modulé sera donc insensible au bruit.

6) D'après le théorème de Shannon-Nyquist, la fréquence d'échantillonnage doit être supérieure ou égale à deux fois la borne supérieure de la bande passante du signal.
Ainsi, en prenant Fe=B, on évite le repli spectral.
Dans ce cas la, $k_{max}=(Fe/M -v0)/am$

II/ Mise en œuvre

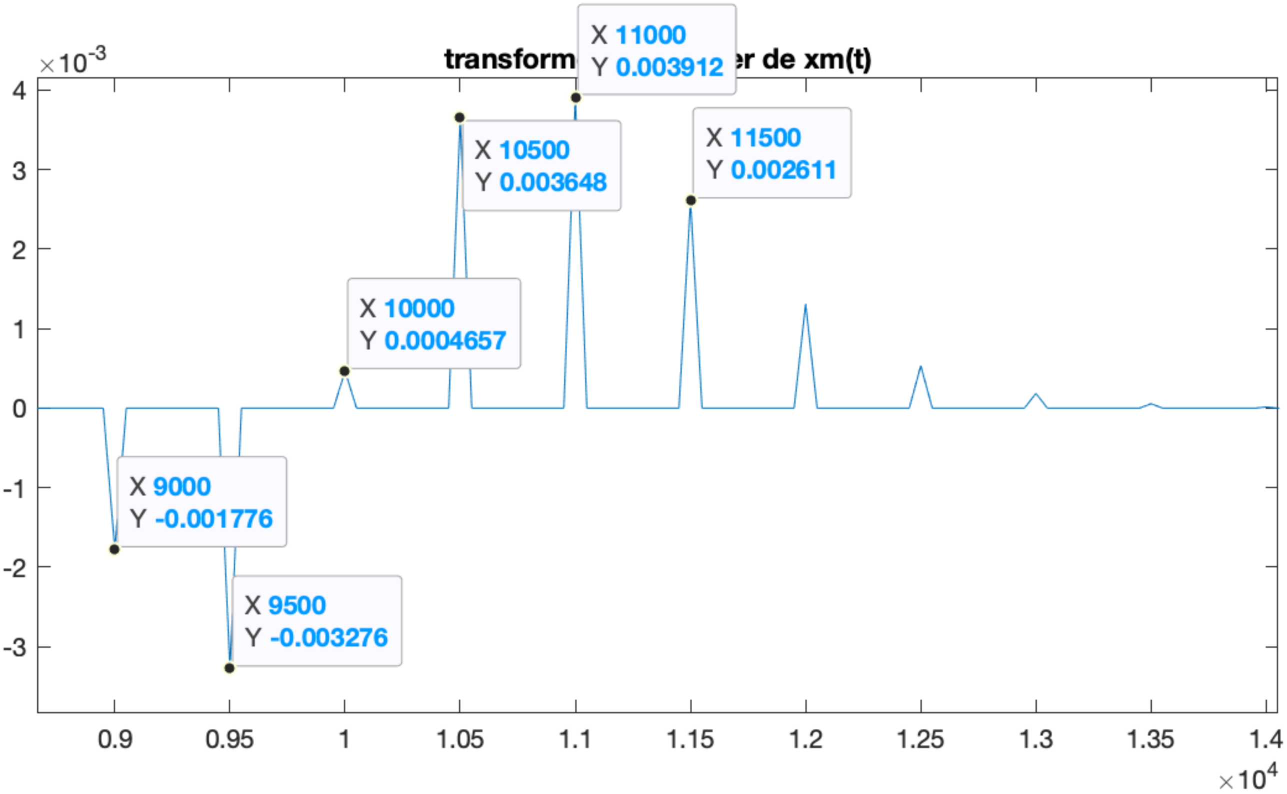
7) On a 4 fréquences différentes de porteuses pour une bande passante de 48 kHz. Pour respecter le critère de Shannon on utilise que B/2, soit 24 kHz.
Ainsi, en prenant F1=3 kHz, F2=9 kHz, F3=15 kHz et F4= 21 kHz, la bande passante utile est partagée équitablement entre les porteuses. On a donc Bu=6 kHz.
De plus : $k_{max}= (24000/2*4*500 – 1).500/1 = 2500$ Hz/V (on prend am=1 V)
$\mu_{max}=6000/(2*500)-1=5$

8)

```
function [xm,t,Xm,f]=script(fm,am,v0,B,M,T)
    Bu=B/(2*M);
    k=2500;
    dt=1/B;
    t=0:dt:T-dt;
    t2=0:dt:T-2*dt;
    xm=cos(2*pi*fm*t + (k*am/v0)*sin(2*pi*v0*t));
    xma=hilbert(xm); %signal analytique associé a xm
    phi=unwrap(angle(xma)); %phase de xma
    vm=1/(2*pi) * diff(phi)/dt; %fréquence instantanée estimée
    vmth=fm+k*am*cos(2*pi*v0*t); %fréquence instantanée théorique
    [Xm,f]=TransFourier(xm,t);
    Xm=real(Xm);
    subplot(2,2,1)
    plot(t,xm)
    title('signal xm(t)')
    subplot(2,2,2)
    plot(t2,vm,t,vmth,'--')
    legend('fréquence instantanée estimée','fréquence instantanée théorique')
    subplot(2,2,3)
    plot(f,Xm)
    title('partie réelle de la transformée de Fourier de xm(t)')
    subplot(2,2,4)
    plot(f,Xm)
    xlim([-Bu Bu])
    title('zoom sur la bande passante utile de Xm(f)')
end
```

9)
On choisit $X_2(f)$ arbitrairement.
Pour μ=5 :

n	0	1	2	3	4	5
Jn(μ) (=besselj(n, μ))	-0,1776	-0,3276	0,0466	0,3648	0,3912	0,2611
Amplitude du pic numéro n de $X_2(f)$	-0,001776	-0,003276	0,004657	-0,003648	-0,0003912	0,002611

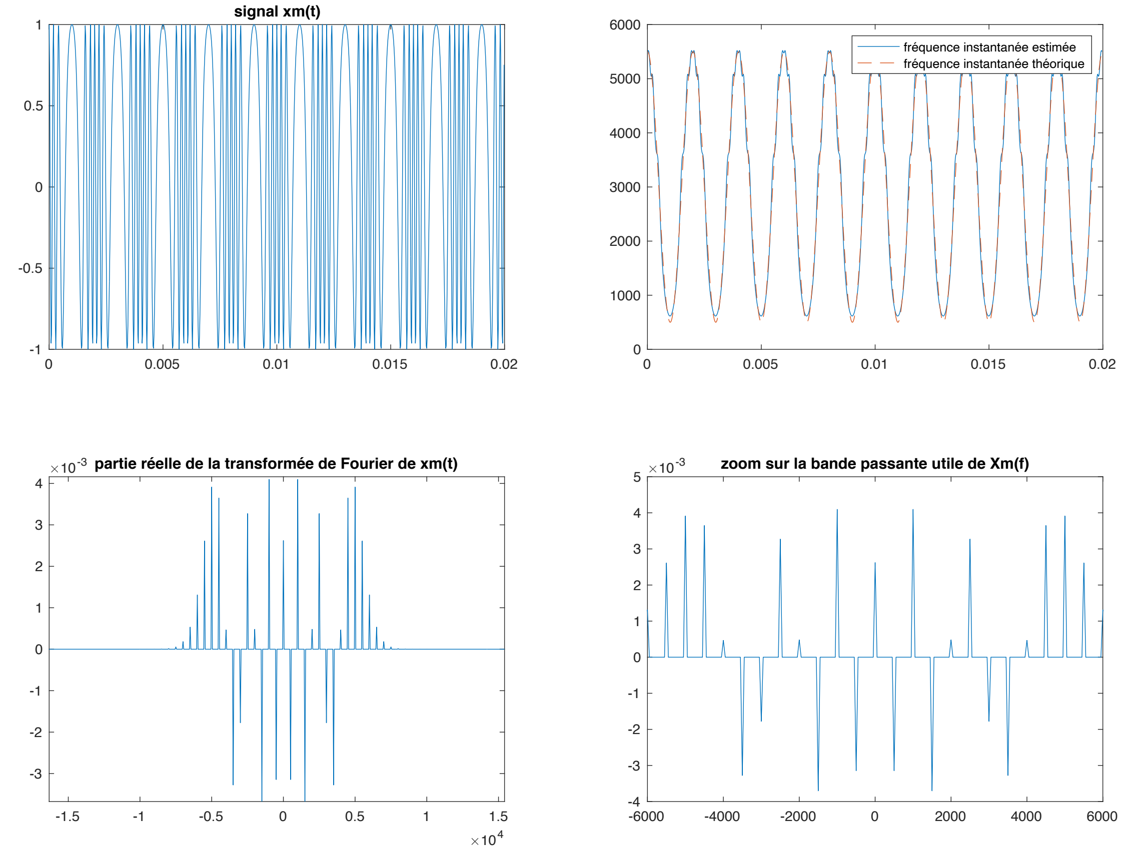


Transformée de Fourier du signal $x_2(t)$

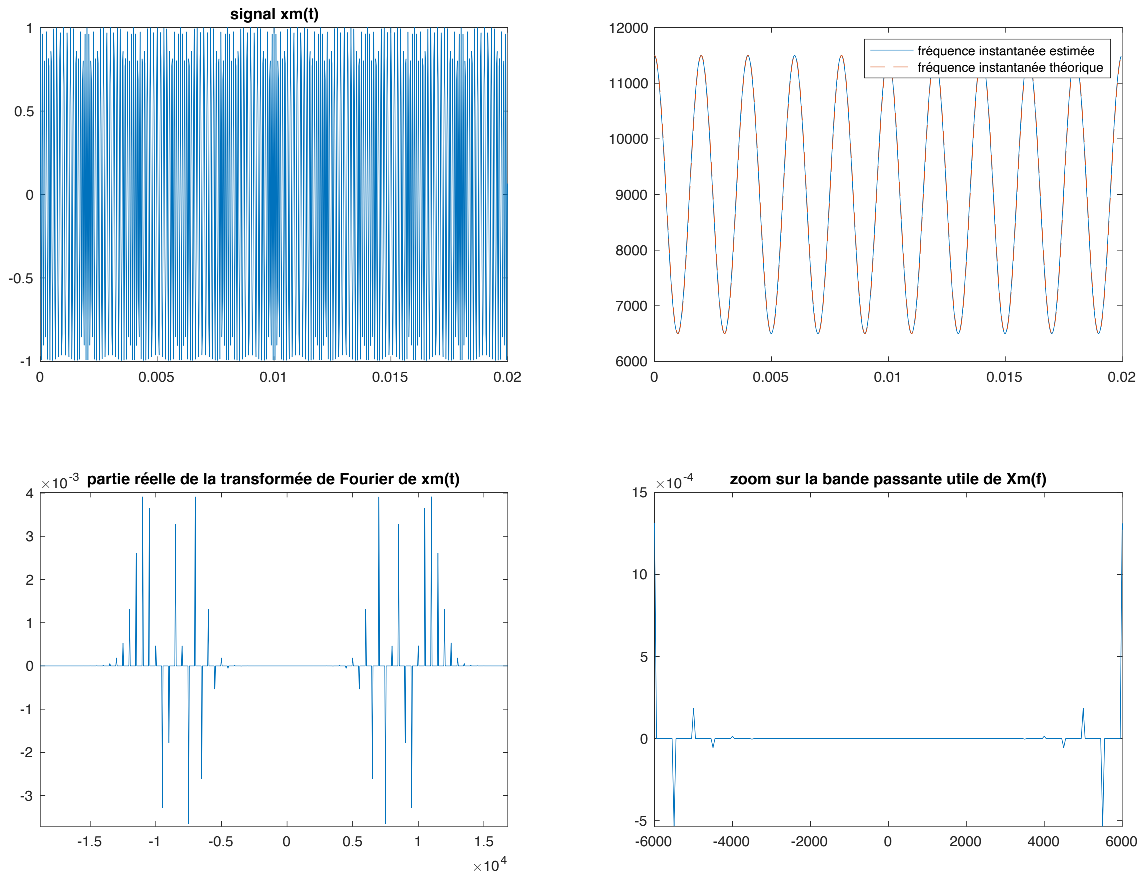
On remarque un facteur 10^{-2} entre les résultats théoriques vus en cours calculés avec la fonction de Bessel de 1ère espèce et les résultats obtenus avec $X_2(f)$, ce qui peut s'expliquer par le fait que les fonctions de Bessel utilisent la transformée de Fourier normalisées par la puissance moyenne du signal alors que la commande TransFourier normalise par l'énergie du signal.

10) On choisit T=0,02s.

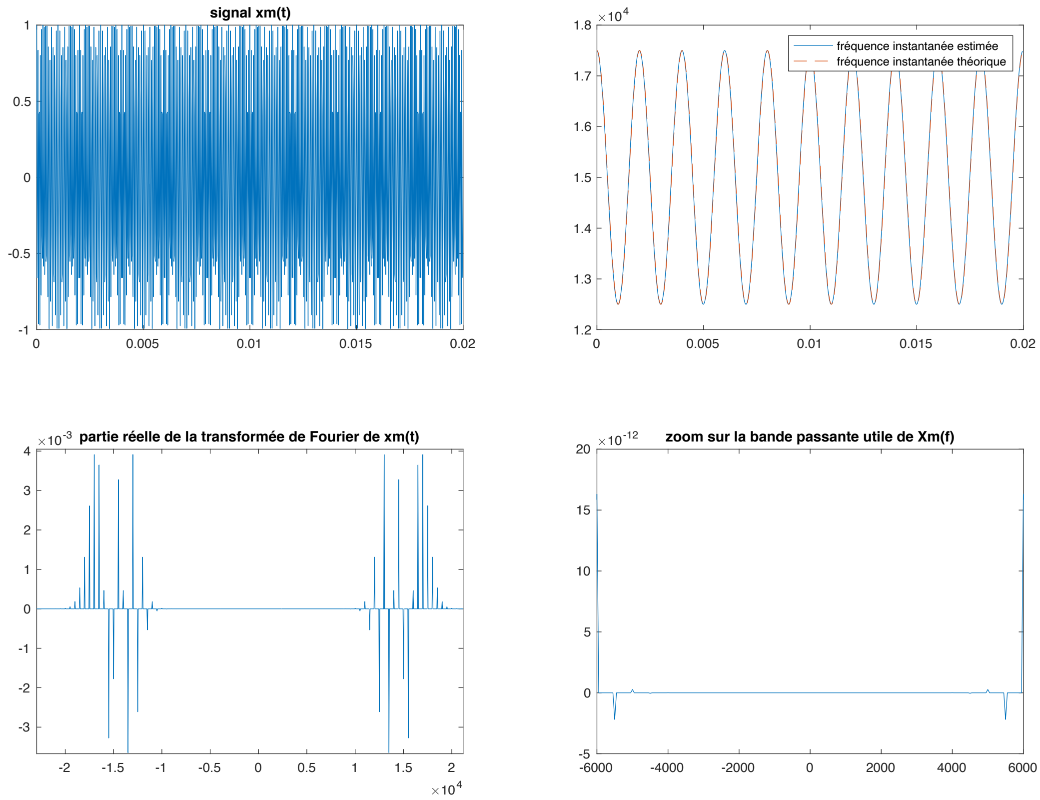
```
v0=500;
B=48000;
am=1;
M=4;
T=0.02;

[x1,t,X1,f]=script(3000,am,v0,B,M,T);
[x2,t,X2,f]=script(9000,am,v0,B,M,T);
[x3,t,X3,f]=script(15000,am,v0,B,M,T);
[x4,t,X4,f]=script(21000,am,v0,B,M,T);

figure(2)
x=x1+x2+x3+x4;
[X,f]=TransFourier(x,t);
plot(f,X)
title('Transformée de Fourier du mélange des xm(t)')
```



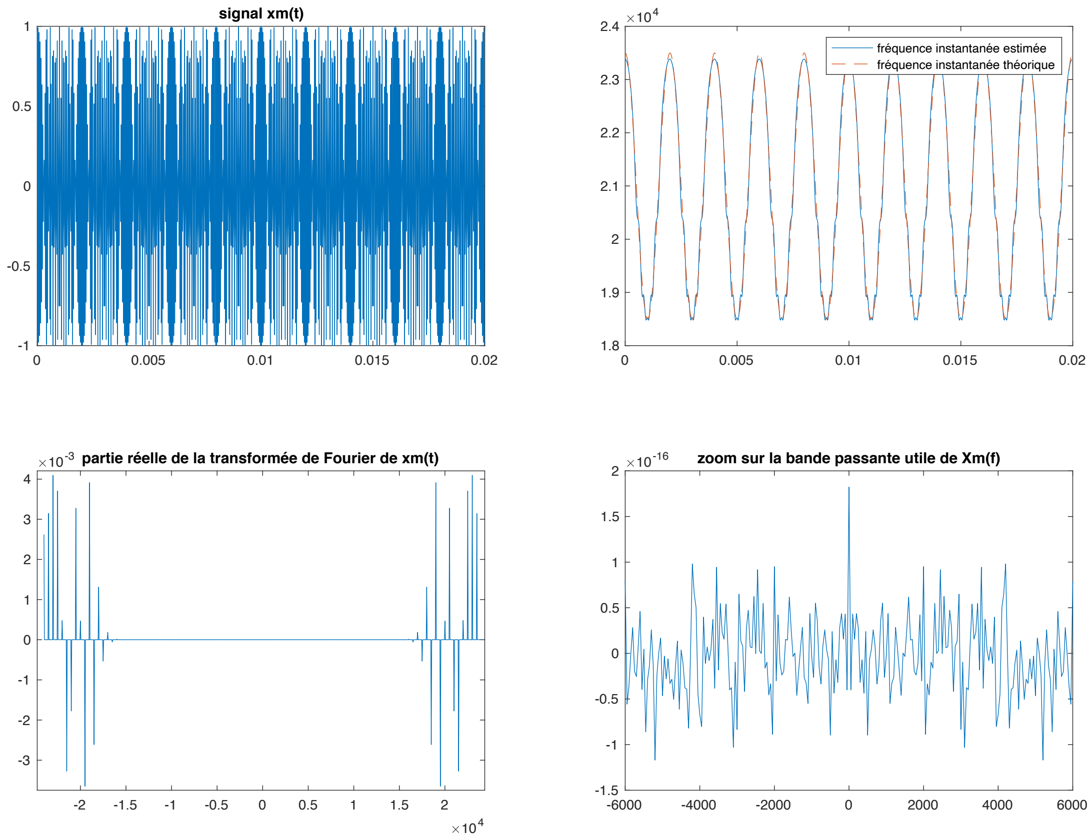
Signal $x_1(t)$



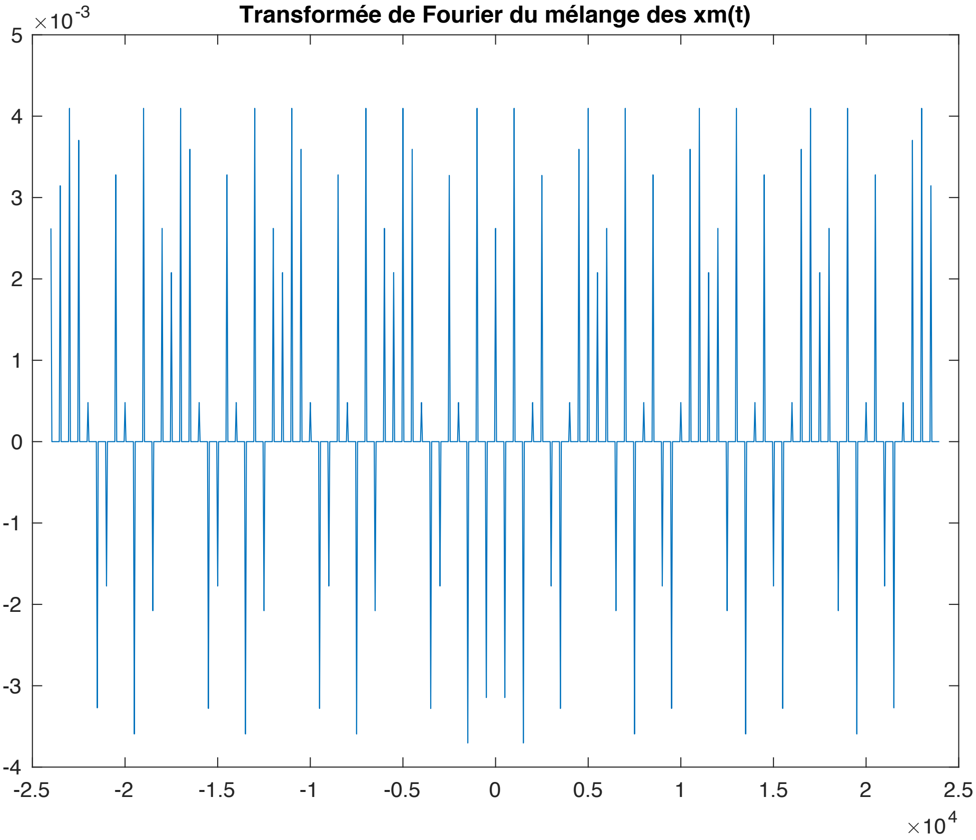
Signal $x_2(t)$



Signal $x_3(t)$



Signal $x_4(t)$



On remarque bien que le spectre de la transformée de Fourier du mélange des $x_m(t)$ est l'addition de chaque spectre des transformées de Fourier des $x_m(t)$.