

# Compte rendu TP de modulation analogique

Mohammed Amine Kaabachi

Professeur : Dr. Rym Besrour

15/05/2016

## 1 Présentation et cadre de travail

En télécommunications, le signal transportant une information doit passer par un moyen de transmission entre un émetteur et un récepteur. Le signal est rarement adapté à la transmission en bande de base.

Ainsi, si nous pensons aux transmissions en espace libre, on s'aperçoit rapidement au problème des dimensions des antennes à utiliser à l'émission et la réception. Les dimensions des antennes doivent être de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde  $\lambda$  associée à l'onde électromagnétique émise ( $f = 1kHz, \lambda = c/f = 300km$ ). On comprend ainsi rapidement qu'il faut translater le signal à transmettre vers de plus hautes fréquences.

La translation vers les hautes fréquences est réalisée en appliquons les techniques de modulation. Le signal à transmettre est utilisé pour moduler une porteuse de fréquence plus adaptée au canal que celles dans la bande de base du signal modulant. En effet, le signal modulant influe soit sur l'amplitude de la porteuse, soit sur sa fréquence ou sa phase.

Dans ce TP, nous voulons simuler quelques techniques de modulation pour les comparer. L'environnement de simulation est MATLAB, nous n'allons pas utiliser la Communications System Toolbox de MATLAB mais plutôt implémenter nos propres fonctions basées sur les modèles mathématiques étudiés dans le cours de transmissions à l'ENSI. Ceci facilitera la migration vers d'autres plateformes de simulation comme Octave, Python ou R.

## 2 Modulation d'amplitude AM

### 2.1 Modulation d'amplitude à porteuse supprimée

#### 2.1.1 Modélisation

L'idée de cette modulation est d'utiliser un multiplieur de tension comme indiqué dans la figure 1, il prend une porteuse de la forme :

$$p(t) = A_p \cos(2\pi f_p t) \quad (1)$$

et le signal modulant de la forme :

$$m(t) = A_m \cos(2\pi f_m t) \quad (2)$$

La sortie du multiplieur est le signal modulé suivant :

$$s(t) = \frac{A_p A_m}{2} (\cos(2\pi(f_p + f_m)t) + \cos(2\pi(f_p - f_m)t)) \quad (3)$$

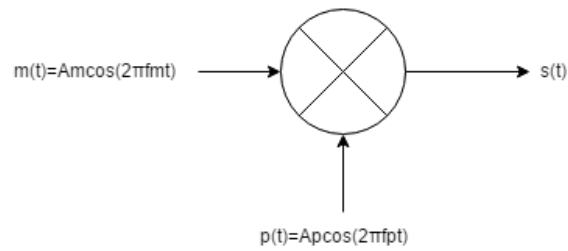


Figure 1: Schéma du modulateur AM-P

### 2.1.2 Simulation

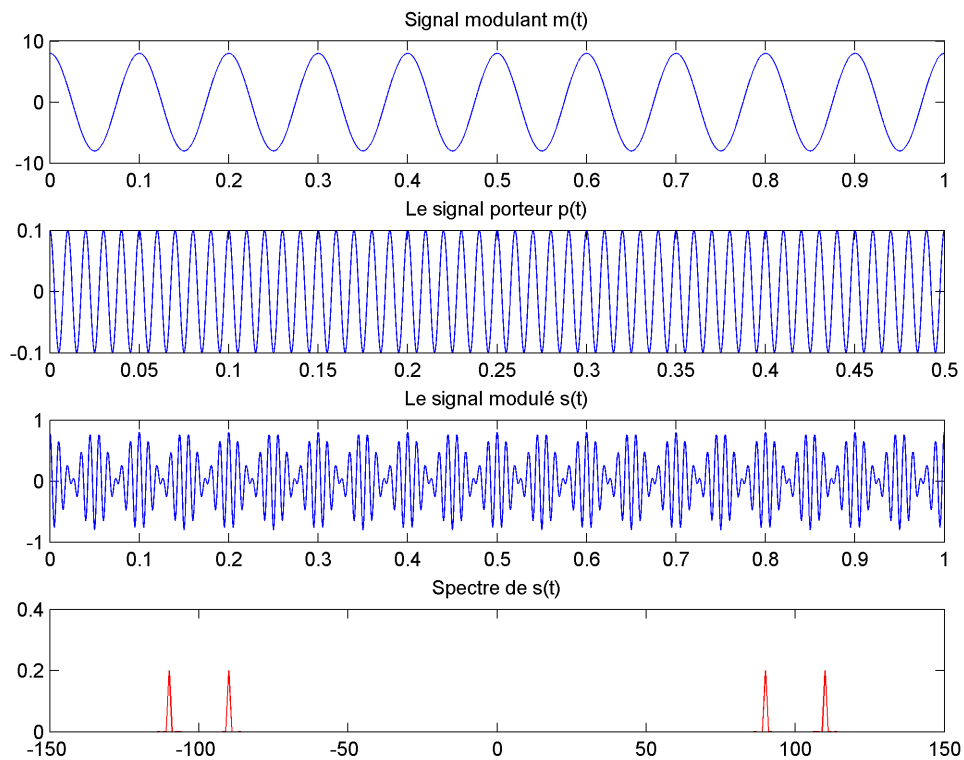


Figure 2: Modulation d'amplitude à porteuse supprimée

Ces figures sont générées à l'aide du code suivant :

```

1 % specifications temporelles
2 Fs = 20000;
3 dt = 1/Fs;
4 BorneSup = 1;
5 t = (0:dt:BorneSup-dt)';
6 N = size(t,1);
7
8 % specifications frequencielles
9 dF = Fs/N;
10 f = -Fs/2:dF:Fs/2-dF;
11
12 % signal modulant
13 Fm = 10;

```

```

14 Am = 8;
15 m = Am*cos(2*pi*Fm*t);
16
17 % porteuse
18 Fp = 100;
19 Ap = 0.1;
20 p = Ap*cos(2*pi*Fp*t)
21
22 % signal module
23 s = m.*p;
24
25 % spectre de s(t)
26 H = fftshift(fft(s));
27
28 % representation graphique
29 figure;
30 subplot(4,1,1);
31 plot(t,m);
32 title('Signal modulant m(t)');
33 subplot(4,1,2);
34 plot(t,p);
35 xlim([-0 0.5])
36 title('Le signal porteur p(t)');
37 subplot(4,1,3);
38 plot(t,s);
39 title('Le signal module s(t)');
40 subplot(4,1,4);
41 plot(f,abs(H)/N,'r');
42 xlim([-150 150])
43 title('Spectre de s(t)');

```

## 2.2 Modulation d'amplitude à double bande latérale

### 2.2.1 Modélisation

On peut également transmettre la raie correspondant à la porteuse. Pour avoir modulation AM à double bande latérale, il suffit d'utiliser un additionneur en aval du multiplieur de l'AM-P. A l'autre borne de l'additionneur on ajoute la porteuse  $p(t)$  comme schématisé dans la figure 3. A la sortie on obtient le signal suivant:

$$s(t) = A_p(1 + km(t))\cos(2\pi f_p t) \quad (4)$$

On pose  $m = ka$  le taux de modulation. On peut démoduler par détection d'enveloppe le signal facilement si on a  $m \leq 1$ . Dans le cas contraire, on a surmodulation et la détection d'enveloppe sera moins intuitive.

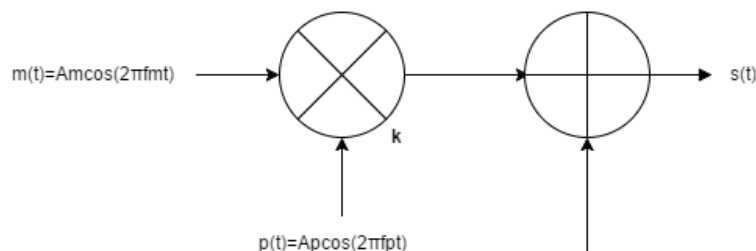


Figure 3: Schéma du modulateur AM

### 2.2.2 Simulation

On considère les signaux suivants :

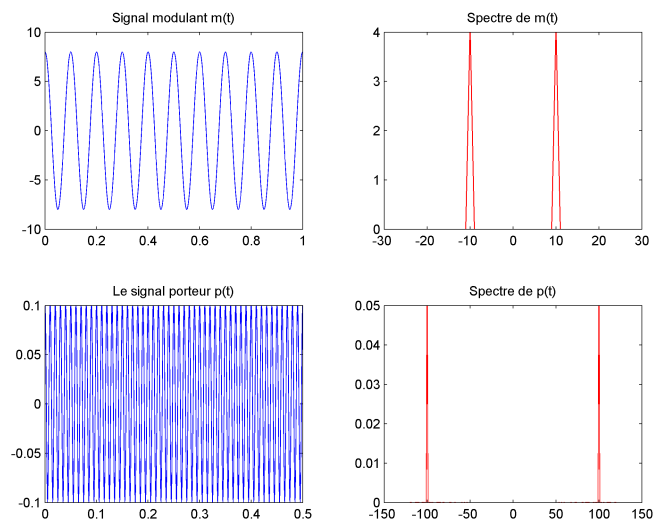


Figure 4: Modulation d'amplitude AMDB

On distingue deux cas :

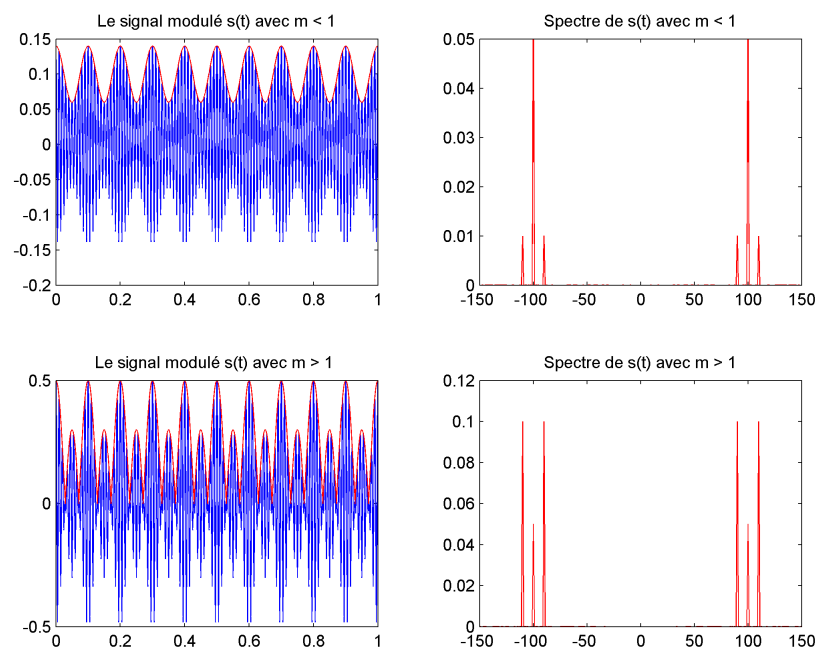


Figure 5: Le cas de sur modulation.

La simulation est faite à l'aide du code suivant :

```
1 % specifications temporelles:
```

```

2 Fs = 20000;
3 dt = 1/Fs;
4 BorneSup = 1;
5 t = (0:dt:BorneSup-dt)';
6 N = size(t,1);
7 % specifications frequencielles:
8 dF = Fs/N;
9 f = -Fs/2:dF:Fs/2-dF;
10 % signal modulant
11 Fm = 10;
12 Am = 8;
13 m = Am*cos(2*pi*Fm*t);
14 % porteuse
15 Fp = 100;
16 Ap = 0.1;
17 p = Ap*cos(2*pi*Fp*t);
18 % signal module
19 k=1/20;
20 kk=1/2;
21
22 y=Ap*(abs(1+k*m));
23 yy=Ap*(abs(1+kk*m));
24 s=x.*(1+k*m);
25 ss=x.*(1+kk*m);
26
27 % spectre de m(t)
28 Hm = fftshift(fft(m));
29 % spectre de p(t)
30 Hp = fftshift(fft(p));
31 % spectre de s(t)
32 Hs = fftshift(fft(s));
33 Hss = fftshift(fft(ss));
34
35 % representation graphique
36 figure;
37
38 %{
39 subplot(2,2,1);
40 plot(t,m);
41 title('Signal modulant m(t)');
42 subplot(2,2,2);
43 plot(f,abs(Hm)/N,'r');
44 xlim([-30 30])
45 title('Spectre de m(t)');
46 subplot(2,2,3);
47 plot(t,p);
48 xlim([-0 0.5])
49 title('Le signal porteur p(t)');
50 subplot(2,2,4);
51 plot(f,abs(Hp)/N,'r');
52 xlim([-150 150])
53 title('Spectre de p(t)');
54 %}
55
56 subplot(2,2,1)
57 plot(t,s,'b',t,y,'r');
58 title('Le signal module s(t) avec m < 1');
59 subplot(2,2,2);
60 plot(f,abs(Hs)/N,'r');
61 xlim([-150 150])
62 title('Spectre de s(t) avec m < 1');
63
64 subplot(2,2,3)
65 plot(t,ss,'b',t,yy,'r');
66 title('Le signal module s(t) avec m > 1');
67 subplot(2,2,4);
68 plot(f,abs(Hss)/N,'r');
69 xlim([-150 150])
70 title('Spectre de s(t) avec m > 1');
71

```

## 2.3 Modulation à bande latérale unique BLU

### 2.3.1 Modélisation

En constatant qu'une modulation d'amplitude avec ou sans porteuse transporte, dans chaque bande latérale, deux fois le même message, on peut avoir l'idée de ne transporter qu'une seule des deux bandes latérales. On est dans ce cas en présence d'une modulation dite à bande latérale unique (BLU). Ceci peut être obtenu en réalisant le montage schématisé sur la Figure 6 .

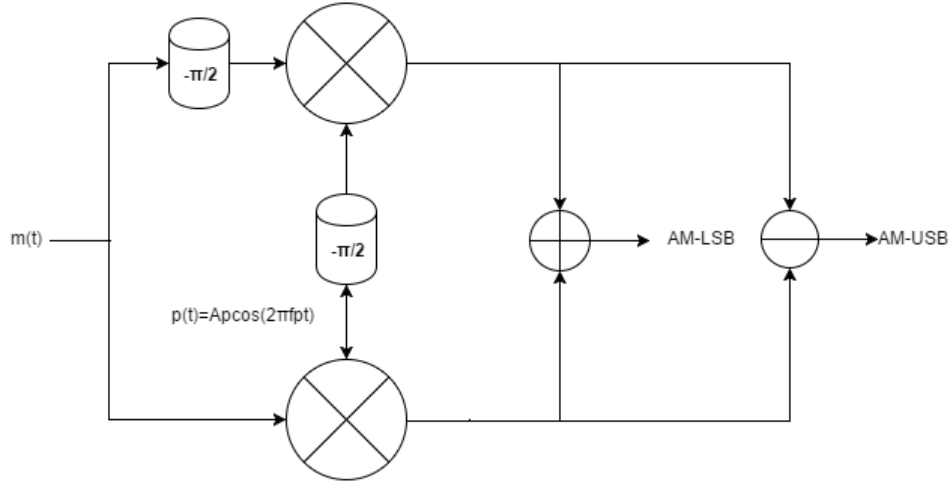


Figure 6: Schéma du modulateur AM-BLU

A la sortie du premier multiplieur , on a le signal  $s_1$  suivant :

$$s_1(t) = \frac{A_p A_m}{2} (\cos(2\pi(f_p + f_m)t) + \cos(2\pi(f_p - f_m)t)) \quad (5)$$

A la sortie du second multiplieur, on a le signal  $s_2$  suivant :

$$s_2(t) = \frac{A_p A_m}{2} (\cos(2\pi(f_p - f_m)t) - \cos(2\pi(f_p + f_m)t)) \quad (6)$$

Si on fait la somme on obtient le signal AM-LSB :

$$s_{AM-LSB}(t) = A_p A_m \cos(2\pi(f_p + f_m)t) \quad (7)$$

Si on fait la somme on obtient le signal AM-LSB :

$$s_{AM-USB}(t) = A_p A_m \cos(2\pi(f_p - f_m)t) \quad (8)$$

### 2.3.2 Simulation

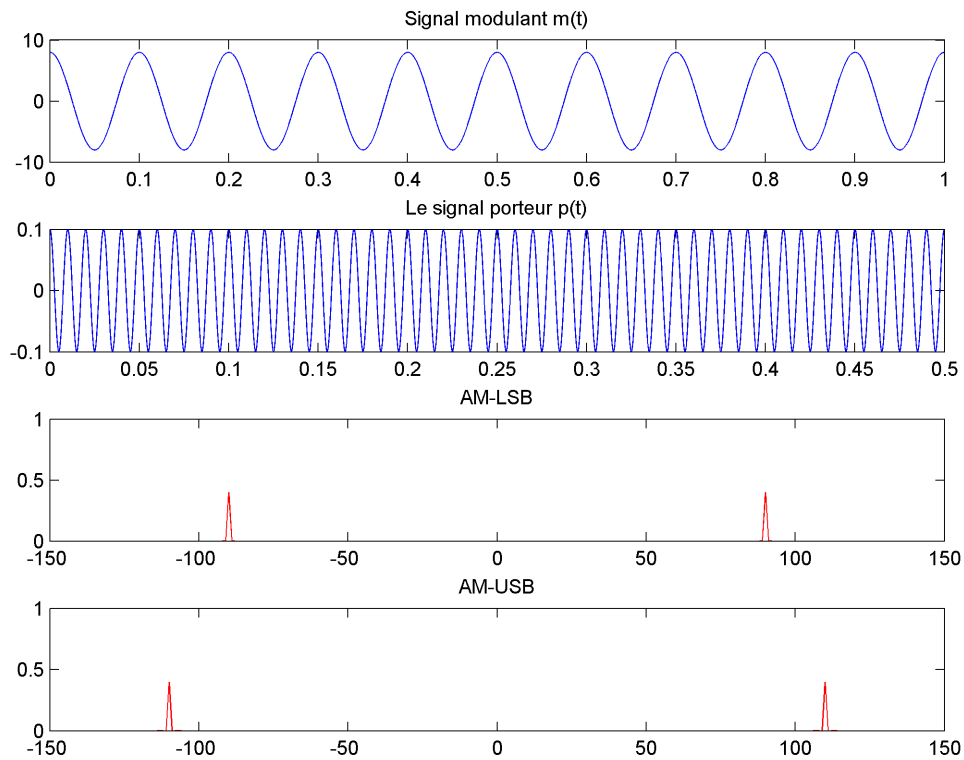


Figure 7: Modulation d'amplitude AM-BLU

Ces figures sont générées à l'aide du code suivant :

```

1 % specifications temporelles:
2 Fs = 20000;
3 dt = 1/Fs;
4 BorneSup = 1;
5 t = (0:dt:BorneSup-dt)';
6 N = size(t,1);
7 % specifications frequencielles:
8 dF = Fs/N;
9 f = -Fs/2:dF:Fs/2-dF;
10 % signal modulant
11 Fm = 10;
12 Am = 8;
13 m = Am*cos(2*pi*Fm*t);
14 mm = Am*sin(2*pi*Fm*t);
15 % porteuse
16 Fp = 100;
17 Ap = 0.1;
18 p = Ap*cos(2*pi*Fp*t);
19 pp = Ap*sin(2*pi*Fp*t);
20 % signal module
21 s1 = m.*p;
22 s2 = mm.*pp;
23 % spectre de s(t)
24 LSB = fftshift(fft(s1+s2));
25 USB = fftshift(fft(s1-s2));
26
27 % representation graphique

```

```

28 figure;
29 subplot(4,1,1);
30 plot(t,m);
31 title('Signal modulant m(t)');
32 subplot(4,1,2);
33 plot(t,p);
34 xlim([-0 0.5]);
35 title('Le signal porteur p(t)');
36 subplot(4,1,3);
37 plot(f,abs(LSB)/N,'r');
38 xlim([-150 150]);
39 title('AM-LSB');
40 subplot(4,1,4);
41 plot(f,abs(USB)/N,'r');
42 xlim([-150 150]);
43 title('AM-USB');

```

## 2.4 Modulation d'amplitude en quadrature

### 2.4.1 Modélisation

Une possibilité intéressante pour utiliser au mieux l'encombrement en fréquences consiste à moduler la même porteuse décalée de  $\frac{\pi}{2}$  par deux informations différentes. Ceci peut être obtenu en réalisant le montage schématisé sur la Figure 11. On a alors une modulation d'amplitude en quadrature, ou MAQ.

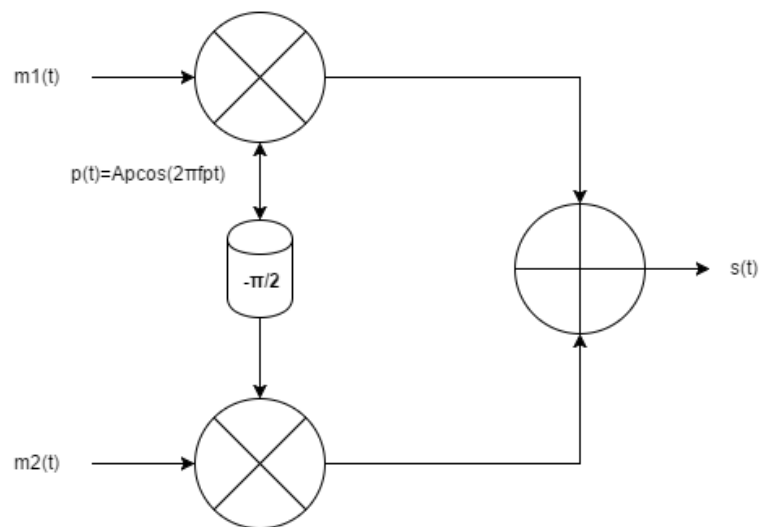


Figure 8: Schéma du modulateur MAQ



## 2.4.2 Simulation

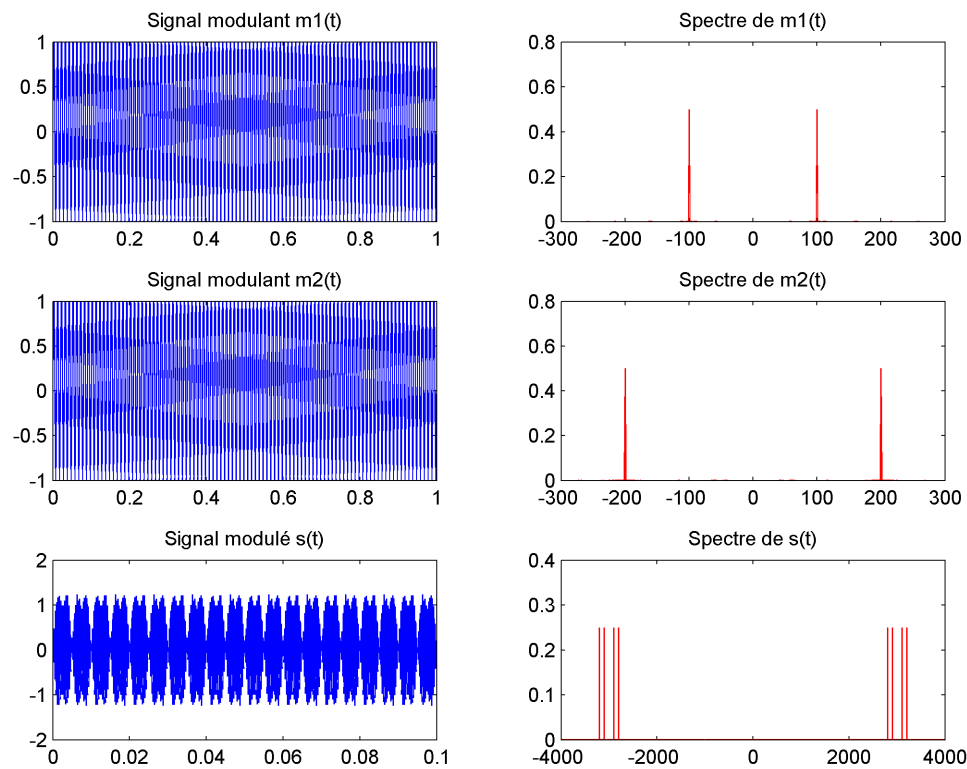


Figure 9: Modulation d'amplitude en quadrature

Ces figures sont générées à l'aide du code suivant :

```

1 %% specifications temporelles :
2 Fs = 20000;
3 dt = 1/Fs;
4 BorneSup = 1;
5 t = (0:dt:BorneSup-dt)';
6 N = size(t,1);
7 %% specifications frequencielles :
8 dF = Fs/N;
9 f = -Fs/2:dF:Fs/2-dF;
10 Fc = 3000;
11
12 f1 = 100;
13 m1 = sin(2*pi*f1*t);
14 f2 = 200;
15 m2 = sin(2*pi*f2*t);
16
17 Cs = sin(2*pi*Fc*t);
18 Cc = cos(2*pi*Fc*t);
19
20 %%Modulation
21 Hm1 = fftshift(fft(m1));
22 Hm2 = fftshift(fft(m2));
23 s = x1.*Cs + x2.*Cc;
24 Hs = fftshift(fft(s));
25
26 %% representation graphique
27 figure;

```

```

28
29 subplot(3,2,1);
30 plot(t,m1);
31 title('Signal modulant m1(t)');
32 subplot(3,2,2);
33 plot(f,abs(Hm1)/N,'r');
34 xlim([-300 300])
35 title('Spectre de m1(t)');
36 subplot(3,2,3);
37 plot(t,m1);
38 title('Signal modulant m2(t)');
39 subplot(3,2,4);
40 plot(f,abs(Hm2)/N,'r');
41 xlim([-300 300])
42 title('Spectre de m2(t)');
43 subplot(3,2,5);
44 plot(t,s);
45 xlim([0 0.1])
46 title('Signal module s(t)');
47 subplot(3,2,6);
48 plot(f,abs(Hs)/N,'r');
49 xlim([-4000 4000])
50 title('Spectre de s(t)');

```

## 3 Modulations Angulaires

### 3.1 Modulation de phase

### 3.2 Modélisation

Soit une porteuse :

$$p(t) = Ap \cos(\omega_p t + \phi(t)) \quad (9)$$

La phase instantanée de la porteuse est donnée par :

$$\Omega(t) = \omega_p t + \phi(t) \quad (10)$$

Soit un signal modulant :  $m(t)$

Moduler en phase le signal revient à effectuer l'opération suivante :

$$\phi(t) = K.m(t) \quad (11)$$

Le signal modulé s'écrit :

$$s(t) = Ap \cos(\omega_p t + Km(t)) \quad (12)$$

### 3.2.1 Simulation

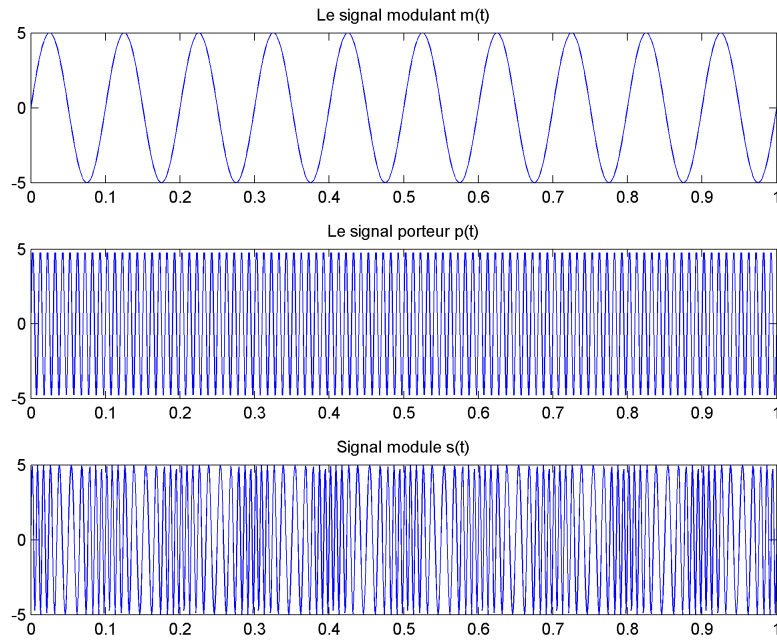


Figure 10: Modulation de phase

Ces figures sont générées à l'aide du code suivant :

```
1 t = 0:0.001:1;
2 Am = 5;
3 Ac = 5;
4 fm = 10;
5 fc = 100;
6 k = 4;
7 m = Am*sin(2*pi*fm*t);
8 subplot(3,1,1);
9 plot(t,m);
10 title('Le signal modulant m(t)');
11 p = Ac*sin(2*pi*fc*t);
12 subplot(3,1,2);
13 plot(t,p);
14 title('Le signal porteur p(t)');
15 s = Ac*sin(2*pi*fc*t+k.*sin(2*pi*fm*t));
16 subplot(3,1,3);
17 plot(t,s);
18 title('Signal module s(t)');
```

## 3.3 Modulation de fréquence

### 3.4 Modélisation

La modulation d'une porteuse sinusoïdale par un signal sinusoïdal de fréquence moindre peut s'écrire ainsi :

$$s(t) = A \cos(2\pi f_p t + \beta \sin(2\pi f_m t)) = A \sum_{n=-\infty}^{+\infty} J_n(\beta) \cos(2\pi(f_p + n f_m)t). \quad (13)$$

### 3.4.1 Simulation

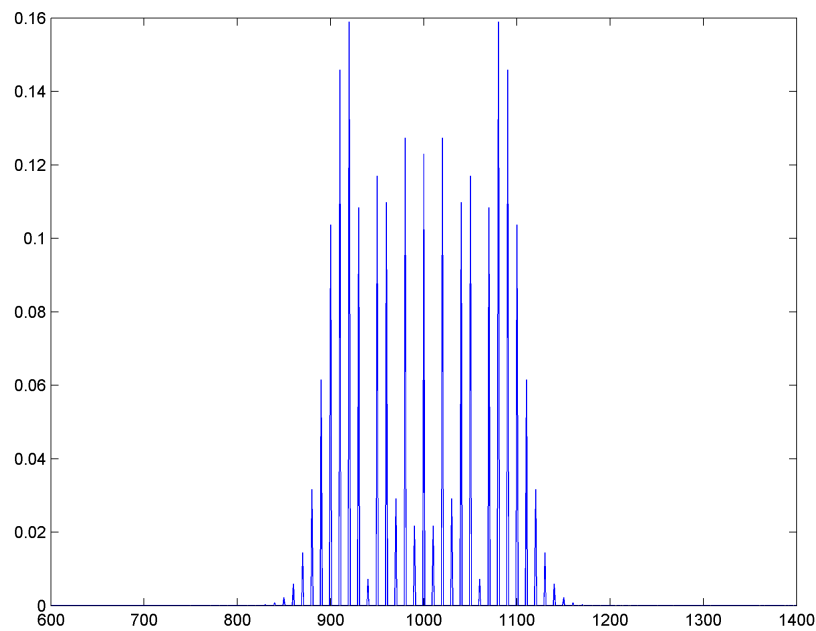


Figure 11: Coupe spectrale de  $s(t)$

Ces figures sont générées à l'aide du code suivant :

```
1 Fc=1000;
2 Fm=10;
3 Fs = 20000;
4 dt = 1/Fs;
5 BorneSup = 1;
6 t = (0:dt:BorneSup-dt)';
7 N = size(t,1);
8 B = 10;
9 y=0;
10
11 for n=-30:30
12     y=y+besselj(n, B).*cos(2*pi*(Fc-n*Fm).*t);
13 end
14
15 N = size(t,1);
16 dF = Fs/N;
17 f = -Fs/2:dF:Fs/2-dF;
18 H = fftshift(fft(y));
19 plot(f,abs(H)/N);
20 xlim([600 1400]);
```