

Programme
de la séance

Nous mettons en évidence deux phénomènes importants apparaissant lors de la transmission de données :

- **La limitation en fréquence d'un canal de transmission.**
Lors d'une transmission en bande de base, un canal idéal ne déforme naturellement pas les symboles émis. Pour un canal réel de bande passante finie, la réaction face aux symboles n'est plus instantanée, si bien que ceux-ci peuvent se superposer et être confondus au moment de la réception. Il s'agit de l'interférence inter-symbole que nous mettrons en évidence au moyen de diagrammes de l'œil.
- **L'immunité au bruit des transmissions par porteuse modulée.**
Un autre problème nuisible à la restitution est la présence de bruit sur le canal. La deuxième partie de cette étude vise à établir une comparaison des techniques de modulation PSK et QAM à partir de leurs constellations.

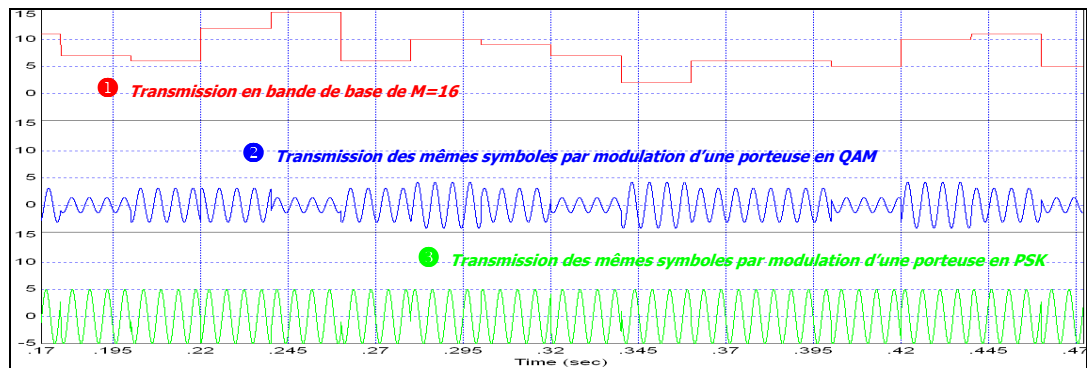


Figure 1 : Exemple de transmissions en bande de base et de transmission par modulation d'une porteuse

Modalités de
déroulement

*Les questions marquées d'un * sont à préparer avant la séance et la correction du compte-rendu tiendra compte de l'effort de rédaction réalisé par les élèves. Le barème des travaux à rédiger figure en marge.*

Les résultats numériques doivent être justifiés et les représentations graphiques commentées (titre, axes ...). Ce travail devra être déposé sur campus à la fin de la séance.

Tous les fragments de programmes nécessaires à la conduite de nos expériences sont tous disponibles sur campus ou sur <http://perso.efrei.fr/~achvar/L3>.

I. QUELQUES OPERATIONS ELEMENTAIRES SOUS MATLAB

GENERATION ET OBSERVATION D'UNE SEQUENCE

Q0. Saisir le code ci-contre dans l'éditeur de MATLAB et procéder à son exécution. Commenter les lignes 3 à 14.

- Quelles sont les indications apparaissant dans la fenêtre de commande de MATLAB ?
- Supprimer les « ; » des lignes 6 et 8 et noter une nouvelle fois les indications de la fenêtre de commande.
- Quelle est la nature de la séquence de symboles générés ?
- Conclure sur le rôle d'un « ; » dans un programme MATLAB.
- Repositionner les « ; » avant de passer à la suite.

```
1 - clc; clf; clear;
2
3 - p=3; M=2^p; L=1000; N=50;
4
5 - for i=1:L
6 -     x(i)=(1+(-1)^i)/2;
7 - end;
8 - Lx=length(x);
9
10 - figure(1);
11 - subplot(211); plot(x,'b*');
12 - title('Donner un titre à ce graphique');
13 - xlabel('itération'); ylabel('symbole');
14 - axis([0 L 0 M]); grid;
```

Frag1 : Génération et observation

Q1. Compléter ce programme comme indiqué ci-contre.

- Quelle est la fonction réalisée par **randint(L,1,M)** et quelle est la nature de la séquence de symboles générées ?
- Agrandir et relever les séquences apparaissant sur la fig1.
- Même expérience pour $p=2, 3$ et 4 . A quoi correspond M ?

```
16 - x=randint(L,1,M); Lx=length(x);
17 - subplot(212); plot(x,'r+');
18 - title('Donner un titre à ce graphique');
19 - xlabel('...'); ylabel('symboles');
20 - axis([0 L 0 M]); grid;
```

Frag2 : Génération et observation

SIMULATION D'UN SIGNAL A L'ENTREE DU CANAL

3 pts

Q2. Nous simulons l'entrée x_e d'un canal à partir de la séquence x (frag2) synthétisée plus haut comme cela est indiqué-ci contre.

- Quelle est la taille du tableau x_e ? (vérifier à l'aide de la fonction **length** dans la fenêtre de commande de MATLAB).
- Quelle est la fonction réalisée par **floor(i/N)** ?

```
22 - %Simulation d'un signal avec N pts/sym.
23 - N=50; xe=zeros(1,N*L);
24 - for i=1:N*L
25 -     if (i<N*L)
26 -         xe(i)=x(1+floor(i/N));
27 -     end;
28 - end;
```

Frag3 : Simulation d'un signal d'entrée

I. TRANSMISSION EN BANDE DE BASE

LIMITATIONS EN FREQUENCES

Q3. Nous pouvons simuler les limitations en fréquence du canal par un filtrage quelconque. Ce que nous choisissons ici est un filtre de type Butterworth, d'ordre n (: 1,2,3...) et de coupure wn (compris entre 0 et 1).

- Simuler la sortie du canal pour une **entrée binaire aléatoire** sur la durée $N(\text{pts/sym}) \times L(\text{sym})$.
- Agrandir ces chronogrammes sur une durée judicieusement choisie.
- Noter **qualitativement** l'influence de l'ordre et de la fréquence de coupure du filtre sur la transmission.

```
30 - %Filtre de Butterworth.
31 - %Ordre n. Fréquence de coupure wn
32 - n=4; wn=0.05;
33 - [b,a] = butter(n,wn,'low');
34 - y = filter(b,a,xe);
35
36 - figure(2);
37 - subplot(211); plot(xe);
38 - title('Donner un titre à ce graphique');
39 - xlabel('temps'); ylabel('Valeurs de xe');
40 - axis([0 N*L 0 M]); grid;
41 - subplot(212); plot(y);
42 - title('Donner un titre à ce graphique');
43 - xlabel('temps'); ylabel('Valeurs de y');
44 - axis([0 N*L 0 M]); grid;
```

Frag 4 : Filtrage : lignes 32, 33 et 34

CONFUSION INTERSYMBOLE

Une autre manière d'apprécier la largeur de bande d'un canal repose sur l'observation d'un diagramme de l'œil. Ce diagramme peut être obtenu au moyen d'un oscilloscope dont la base de temps serait réglée de manière à se déclencher sur une durée de l'ordre de la durée d'un symbole [1][2]. Cette opération rend la « non » distinction des symboles très visuelle en autorisant leur superposition.

3 pts

Q4. L'observation de ce diagramme est facilement réalisable sous MATLAB grâce à la commande **eyediagram**.

- Relever le diagramme de l'œil de la sortie du canal.
- Justifier les arguments de cette fonction en se reportant à documentation disponible sous Help.
- Relever le diagramme de l'œil pour un filtrage d'ordre 3, 2 et 1. Commentaires.

```
46 - q=2;
47 - eyediagram(y,q*N); grid;
48 - title('Donner un titre à ce graphique');
```

Frag 5 : Synthaxe de eyediagram

3 pts

Q5. Nous souhaitons ici simuler un oscilloscope siège de confusions intersymboles au moyen du petit programme ci-contre.

- Commenter la ligne 53. Que signifie q ? Simulations à $n=4$.
- Quelles sont les dimensions de la matrice **oeil** ?
- Simulations pour $p=2,3$.

```
50 - T=L/q;
51 - for t=1:T
52 -     for i=1:q*N
53 -         oeil(i,t)=y(1+N*(t-1));
54 -     end
55 - end
56 - figure(4); plot(oeil); grid;
57 - title('Observation à l-échelle de la durée de q symb. ');
58 - xlabel('t'); ylabel('sortie du canal');
```

Frag6 : Simulation d'un oscillo

Q6. Faire varier T de 1 à L/q avec une boucle **for** et placer une commande « pause » juste avant la fin de cette boucle. Commenter l'exécution du programme devant un enseignant. **Validation de Q5.**

- Simulations pour $p=3, n=4, wn=0.05, q=2$. Puis pour $wn=0.5$. Commentaires.

II. TRANSMISSION PAR MODULATION D'UNE PORTEUSE

RAPPEL THEORIQUE 2 pts

Q7.* Rappelier brièvement le principe des deux techniques de modulation PSK et QAM. Comment peut-on représenter dans le plan complexe une porteuse modulée par un message M-aire en PSK et en QAM ?

MODULATION PAR SAUT DE PHASE 3 pts

Q8. Une porteuse modulée en PSK peut être facilement modélisée par la fonction « pskmod » de COMMUNICATIONS TOOLBOX de MATLAB comme cela est représenté ci-contre.

- Exécuter ce programme, relever ses sorties.
- Quelles sont les **nombre complexes** (modules et phases) générées par « pskmod » ? Vérification pour d'autres valeurs de p.
- Quelle est la fonction réalisée par scatterplot ?

```
1 - clc; clf
2
3 - p=3; M=2^p; x=[0:M-1];
4 - xm=pskmod(x,M); scatterplot(xm); grid;
5 - Lx=length(x); Lxm=length(xm);
6 - x
7 - Lx
8 - xm
9 - Lxm
```

Frag 7:
Les outils de COMMUNICATIONS TOOLBOX

MODULATION ET DEMODULATION

Q9. Nous générons une séquence de L symboles d'un message M-aire comme en Q1 (prendre M=8). Le signal modulant xe est simulé de la même manière à raison de N points par symbole (cf. Q2). Enfin, le signal PSK est modélisé par y comme cela est représenté dans le programme ci-contre.

- Quel est le contenu du vecteur z ?
- Exécuter Frag8. Commenter ses sorties.

```
17 - y=pskmod(xe,M); scatterplot(y); grid;
18 - title('Donner un titre à ce graphique');
19 - xlabel('Axe réel'); ylabel('Axe .....');
20
21 - z=pskdemod(y,M);
22 - figure(3); plot(xe,z,'r'); grid;
23 - title('Restitution sans bruit');
24 - xlabel('Signal d-origine');
25 - ylabel('Signal restitué');
```

Frag8: Modulation et démodulation

IMMUNITE AU BRUIT EN PSK

Q10. Pour un rapport signal sur bruit (RSB) donné, la fonction awgn (add white gaussian noise) permet de simuler confortablement un canal bruyant comme cela est représenté à la ligne 27 du programme ci-contre.

- Quel est le contenu du vecteur zn ?
- Exécuter et commenter les sorties de ce programme.

```
27 - RSB=15; yn=awgn(y,RSB);
28 - scatterplot(yn);
29 - title('Donner un titre à ce graphique');
30 - xlabel('Axe ...'); ylabel('Axe ...'); grid;
31
32 - zn=pskdemod(yn,M);
33 - figure(5); plot(xe,zn,'r');
34 - title('Donner un titre');
35 - xlabel('...'); ylabel('...'); grid;
```

Frag9: Démodulation en présence de bruit

Q11. Nous calculons le taux de non reconnaissance des symboles au moyen de la fonction symerr (symbol error)

- Exécuter cette fonction (exemple ci-dessus) dans la fenêtre de commande de MATLAB.
- A quoi correspondent les variables N et R ?

```
Shortcuts [?] How to Add [?] What's New
>> [N,R]=symerr([1 2 3 4],[1 2 3 5])
```

3 pts

Q12. Afin de quantifier le taux de non reconnaissance des symboles en fonction du RSB, nous intégrons la fonction symerr dans la boucle for du programme ci-contre.

- Quelle est la matrice qui consigne les différents taux d'erreurs ? Dans quelles lignes ou dans quelles colonnes ?
- Exécuter ce programme et relever la valeur de taux dans la fenêtre de commande.
- Intégrer les lignes 2 à 20 du programme ci-contre dans une boucle en faisant varier p de 1 à 4.
- Relever et commenter soigneusement la représentation graphique obtenue en figure 6.
- Justifier la sensibilité au bruit en fonction de M.

```
1 - clc; clf; clear;
2
3 - p=3; L=1000; N=50;
4 - M=2^p; x=randint(L,1,M);
5 - taux=zeros(20,4);
6
7 - xe=zeros(1,N*L); %Simulation d'un signal
8 - for i=1:N*L %avec N pts/sym.
9 - if (i<N*L)
10 - xe(i)=x(1+floor(i/N));
11 - end;
12 - end;
13 - y=pskmod(xe,M);
14 - for RSB=1:20
15 - yn=awgn(y,RSB);
16 - zn=pskdemod(yn,M);
17 - [number,ratio]=symerr(xe,zn);
18 - taux(RSB,p)=ratio;
19 - end
20
21 - figure(6); plot(taux); grid;
22 - title('Donner un titre à cette figure');
23 - xlabel('RSB'); ylabel('.....');
```

Frag10: Mesure du taux d'erreurs

MODULATION D'AMPLITUDE EN QUADRATURE 3 pts

Q13. Reprendre point par point les travaux de Q8 à Q12. Pour cela, il suffit seulement de remplacer les fonctions pskmod par qammod (et pskdemod par qamdemod).

- Comparer la sensibilité au bruit des deux techniques de modulation. **Validation de Q12 et Q12.**

POUR EN SAVOIR PLUS

- [1] Le diagramme de l'oeil : http://pagesperso-orange.fr/jf.fourcadier/haut_debit/oeil/oeil.htm
- [2] Le diagramme de l'oeil : http://rainet.enic.fr/unit/fondementstelecoms/s6/p06_telecom_s6.htm
- [3] Interference Intersymbole et diagramme de l'oeil <http://www.complextoreal.com/chapters/isi.pdf>
- [4] Modulation numériques : <http://uuu.enseirb.fr/~dondon/transnum/modnumQPSK/MODNUMERIQUESQPSK.htm>