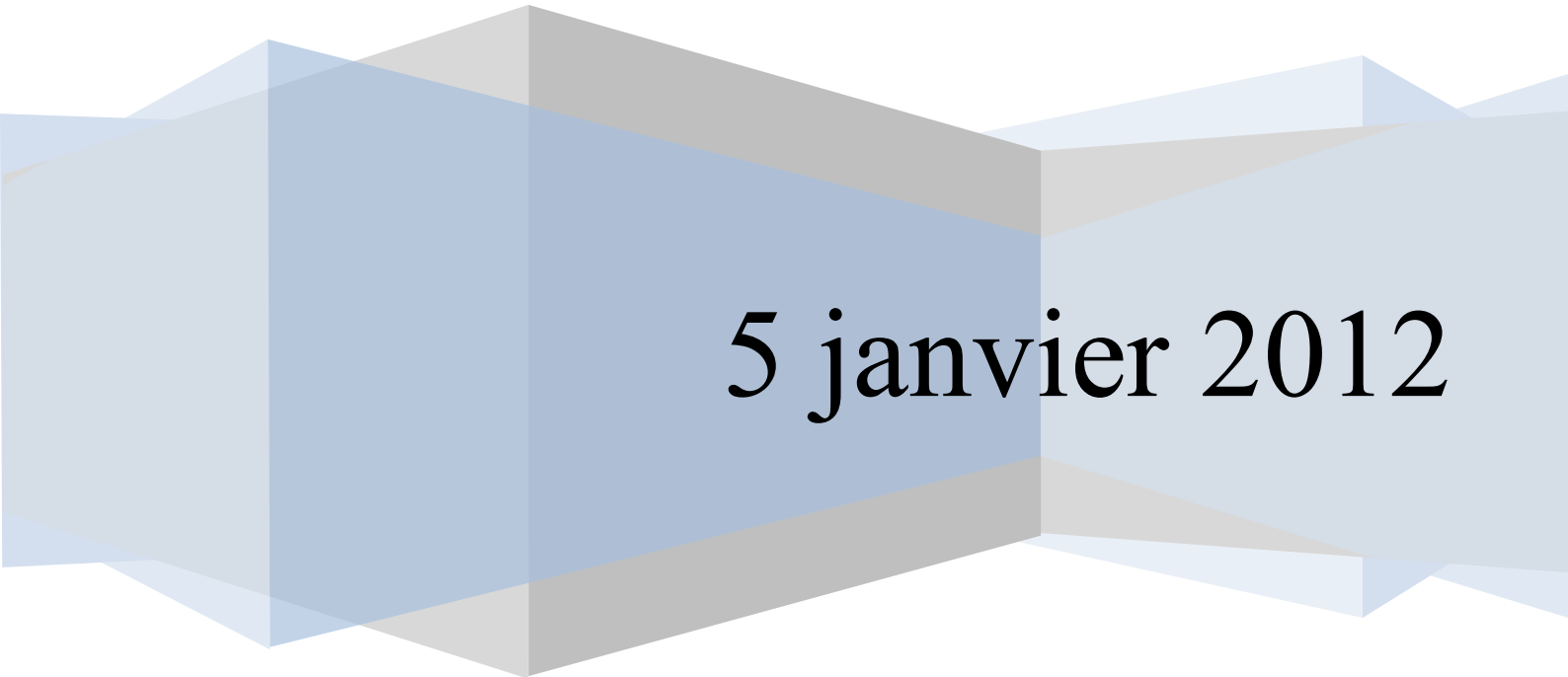


TP1 : Transmission en bande de base

Système numérique

ODIER Valentin – WAKIM Marie



5 janvier 2012

TP Transmission en bande de base

Il s'agit d'observer un signal codé en ligne ainsi que les conséquences sur le décodage du bruit additif et du filtrage du canal physique. L'objectif est de réaliser les exercices et d'**interpréter** les résultats. Vous devrez **toujours** vérifier que ces derniers sont bien pertinents avec la théorie étudiée en cours.

Si vous insérez un graphe dans votre rapport, c'est parce que l'interprétation que vous en ferez sera pertinente. Le graphe devra être correctement légendé. Les axes seront nommés, l'échelle choisie devra être pertinente, etc...

Vous pouvez insérez dans votre rapport les quelques lignes de code qui vous sembleront les plus pertinentes.

La fenêtre de commande de Matlab vous fournira beaucoup de données, qui sont pour certaines des résultats. Vous devrez choisir celles à insérer dans votre rapport.

Les mot "pertinent" et ses dérivés sont utilisés 4 fois dans cette introduction. A bon entendeur...

Les scripts matlab peuvent être récupérés: [fichiers](#)

Rappel: Par nature, Matlab **ne peut** traiter des signaux à temps continus. Ils sont tous représentés sous forme de vecteur.

Exemple : x_{0_NT} est le vecteur représentant le signal $x(t)$ entre le temps $t=0$ et le temps $t=NT$. Pour le représenter au mieux, nous pourrions exécuter:

```
>> plot(t_0_NT,x_0_NT) % t_0_NT est le vecteur
représentant l'échelle du temps entre 0 et NT
```

A une autre occasion, sur un signal défini entre le temps 0 et T (par exemple le formant $g(t)$):

```
>> plot(t_0_T,g_0_T) % t_0_T est le vecteur
représentant l'échelle du temps entre 0 et NT
```

Les questions marquées par * sont à valider en séance

1 Codage

Q1)

- a) Tel qu'il est écrit, quel type de codage le script effectue-t-il? Quels sont les paramètres du système (valence, débit brut, débit symbole, etc...)? Chacun de ces paramètres est à identifier aussi bien sur l'un des graphiques que dans le script Matlab.

Il s'agit d'un signal NRZ :

```
case 'AIdentifier'
    % Symboles entre -(M-1)/2 et (M-1)/2
    a_1_N = b_1_N-(M-1)/2;
    a_1_M = b_1_M-(M-1)/2;

    g_0_T = V*ones(1,nT);
    R=1/T;
```

Car : la rapidité de modulation est égale à $(1/T)$. Et le formant vaut V sur nT .

```
% Débit brut (en bauds)
Ds = 8000;

% Temps symbole
T = 1/Ds;

%%% Constantes 'matlab'
%
% nbres de points par temps symbole
nT=100;
% fréquence d'échantillonnage sous jacente
% (celle-ci n'est pas à prendre en compte pour l'étude
fe = nT/T;

% Nombre de symboles à définir selon l'utilisation
%
% N = 10 pour une observation dans le domaine temporel
% N = 1000++ pour une observation dans le domaine freq
N = 1000;

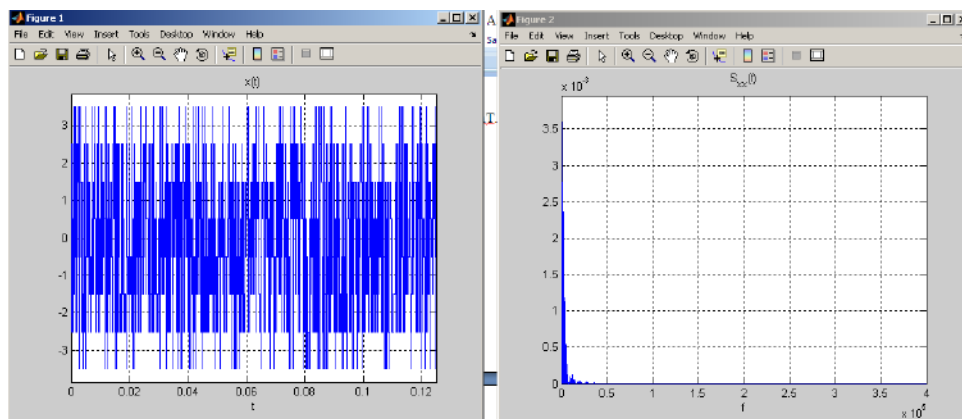
% Valence
% Nécessairement une puissance de 2
M = 8;
```

Débit brut : $D_s = 8000$ bauds.

Temps symbole : $T = 1/D_s = 1/8000 = 0,000125$

Valence : $M = 8$.

Tension du formant : $V = 1$.



Temps en abscisse et tension en ordonnée.

Puissance ordonnée Fréquence abscisse

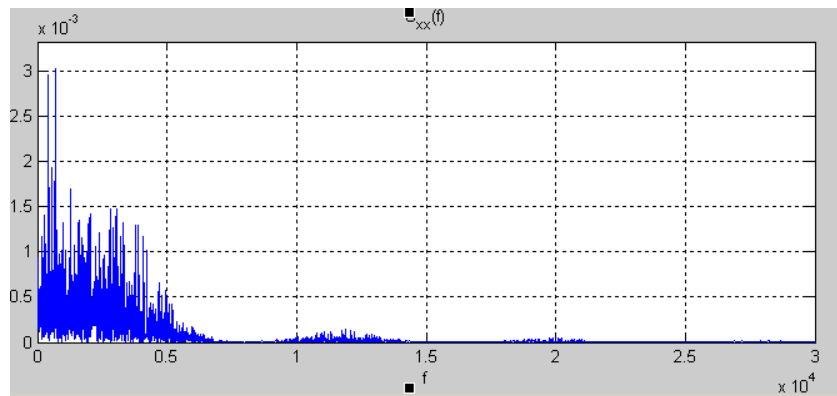
(de même pour les graphes suivants)

Le graphe de gauche correspond au signal codé. On constate que $x(t)$ est le signal codé, on peut discerner 8 niveaux.

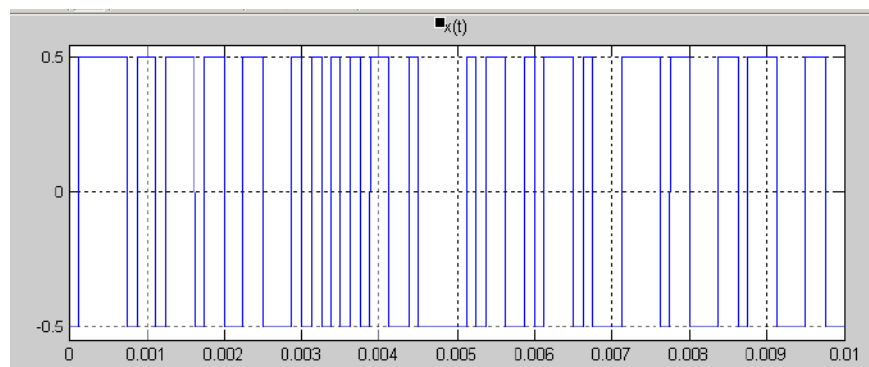
Le graphe de droite à la Densité Spectrale de Puissance : la répartition des puissances en fonction de la fréquence.

b) Faites varier la valence. Observations sur le signal dans le domaine temporel. Observations sur le spectre.

Avec $M=2$:



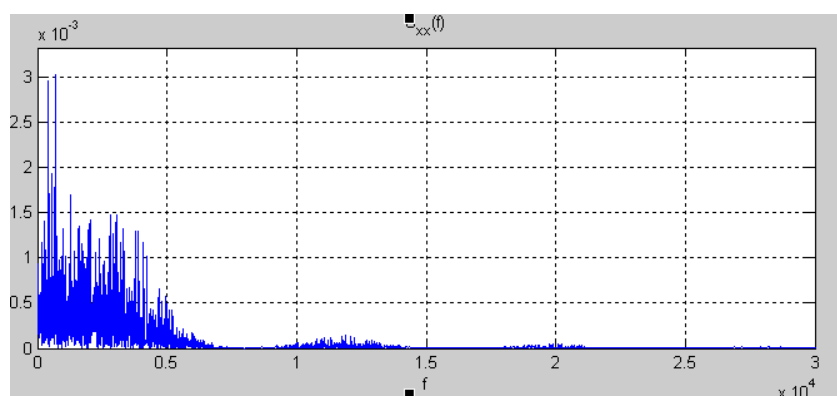
En zoomant $x(t)$, on limite l'axe des abscisses à 0.01 :



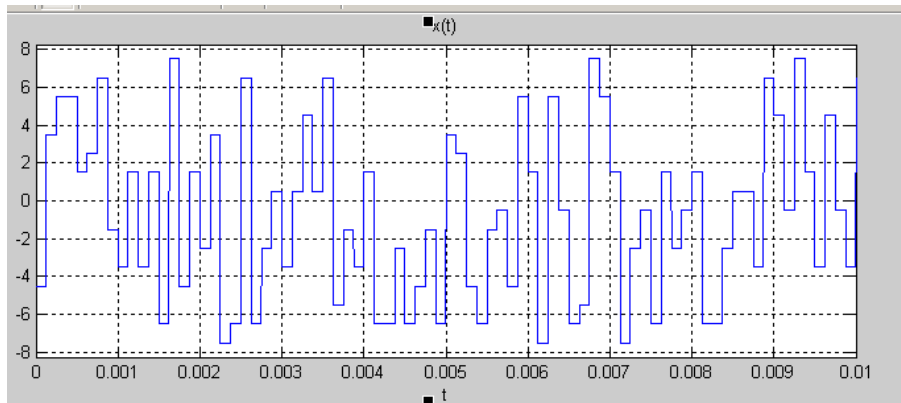
On peut lire les symboles mais étant donné que le graphique n'est pas assez précis, nous ne savons pas combien de 0 ou de 1 on peut avoir la suite. Cependant on distingue bien les changements d'états.

Par ailleurs, le spectre est quasiment nul à partir de 0.5Hz.

Avec $M=16$:

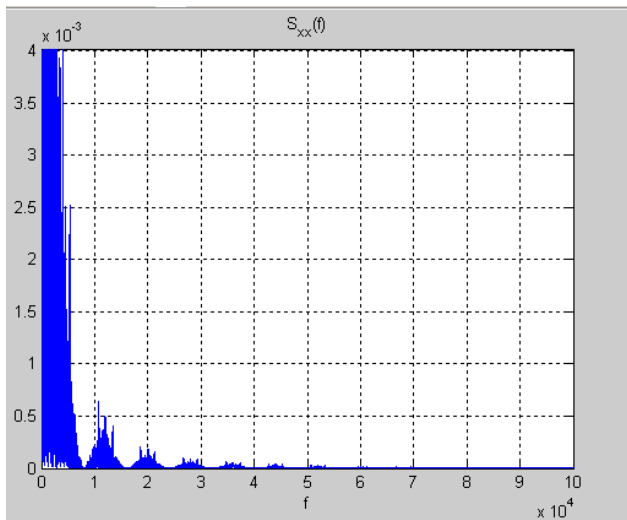


La DSP ne change pas avec la valence.



Nous voyons bien qu'il y a clairement 16 niveaux, correspondant à 16 symboles.

c) Comparer le spectre obtenu avec le spectre théorique étudié en cours.



En zoomant nous avons bien le spectre vu en cours, avec zéro pour $R = 1/T = 8000\text{Hz}$.

Q2*)

Modifiez l'expression du formant afin de créer un codage RZ, un codage Manchester (cf. poly). Comparez les spectres obtenus avec l'expression théorique. Relevez sur vos **observations** les avantages des différents codes vus en cours.

```

case 'RZ'
% Symboles
a_1_N = b_1_N;
a_1_M = b_1_M;

% formant
g_0_T = [V*ones(1,round(nT/2)) 0*ones(1,nT-round(nT/2))];
R=2/T;

case 'Manchester'
% Symboles
a_1_N = b_1_N-(M-1)/2 ; % Ligne à modifier!!
a_1_M = b_1_M-(M-1)/2 ; % Ligne à modifier!!

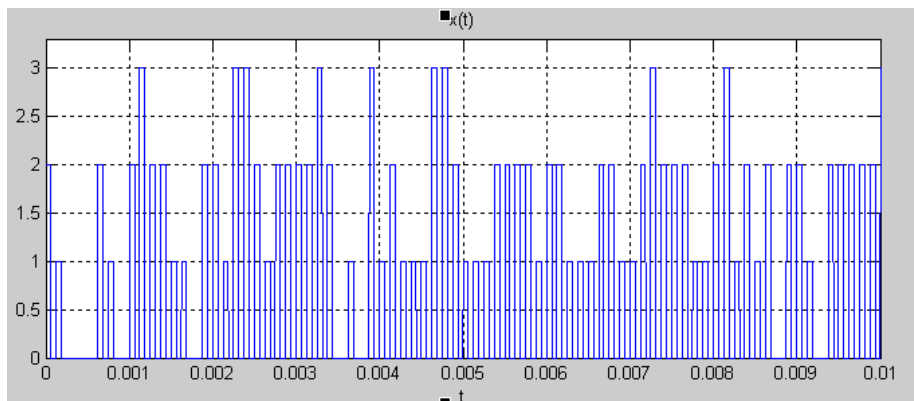
% formant
g_0_T = V*[1*ones(1,round(nT/2)) (-1)*ones(1,nT-round(nT/2))];
R=2/T;

```

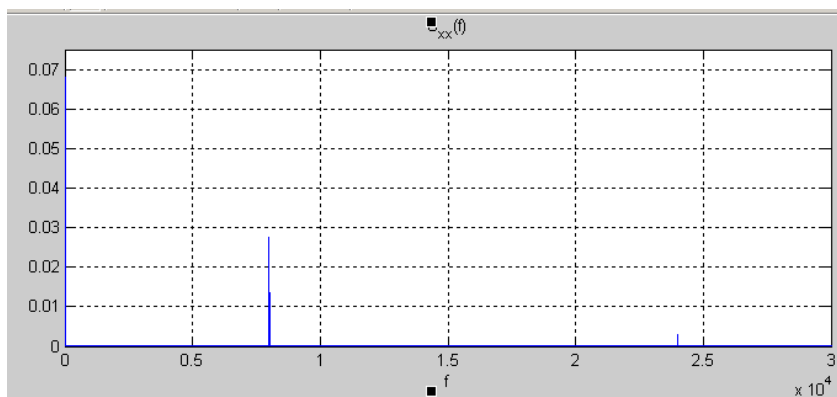
Modification.

Etude pour M=4

Signal RZ :



Nous avons 4 niveaux. Et une occupation spectrale supérieure au NRZ :

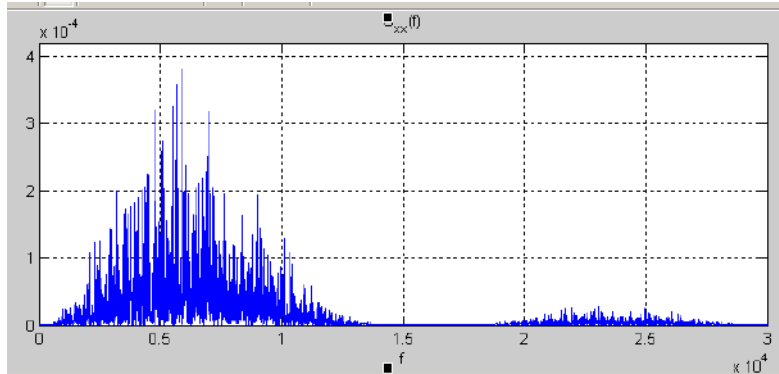


Le signal RZ est :

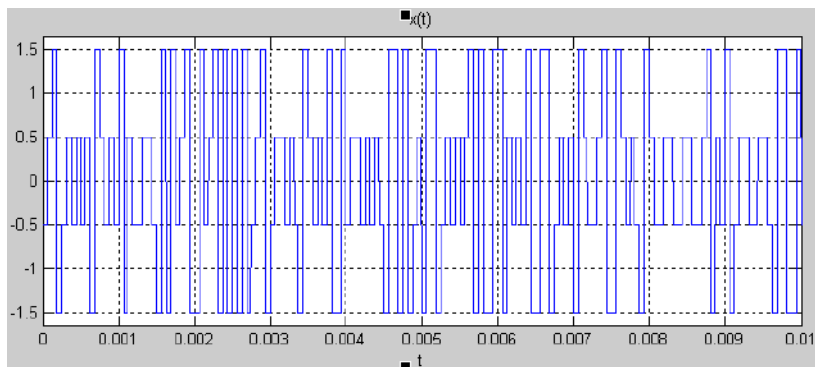
- autoporteur de l'horloge : visible sur le graphe par les raies.
- occupation spectrale double par rapport au NRZ : $R=1/(T/2)=T/2$.
- Il n'y a pas de différence entre une absence de communication et la transmission d'une suite de zéro.

- Et il y a une raie en zéro car la moyenne est différente de zéro (caractéristique de RZ, ni avantage, ni désavantage).

Signal Manchester :



Le spectre obtenu est double à celui de NRZ.



Le signal Manchester :

- L'occupation spectrale est double par rapport au NRZ.
- Récupération du signal de l'horloge à court terme.

2 Bruit additif

Exécuter `codage_enligne.m` pour créer un signal NRZ. Exécutez le script `codage_bruit.m`.

Q1)

Quel est le rôle de la fonction `randn`? Qu'est-ce que E_b/N_0 (représenté par la variable `EbsurN0`)? Que se passe-t-il sur la puissance du bruit lorsque ce dernier augmente. Rappelez l'expression de la probabilité d'erreurs dans le cas d'un bruit blanc gaussien additif pour une transmission de symboles de valence M .

`Randn` : fonction qui génère une matrice $n \times n$.

E_b est l'énergie moyenne par bit.

N_0 est la DSP du bruit.

E_b/N_0 s'agit donc de l'énergie par bit par rapport à la répartition spectrale du bruit.

Quand le bruit augmente, la probabilité d'erreur augmente, donc notre signal a moins de chance d'être transmis correctement.

$$P_e = \frac{M-1}{M * \log_2(M)} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3 \log_2(M) E_{mb}}{(M^2-1) 2 N_0}} \right)$$

Q2)

Que représentent les vecteurs gr_0_T , r_0_NT . Que vaut $t0$? Que représente $rech_0_NT$?

gr_0_T est la fonction de transfert du filtre adapté.

r_0_NT est la sortie du filtre adapté.

```

82 - t0=T;
83 - tech_0_NT=t0+[0:N-1]*T;
84 - nech_0_NnT=round(tech_0_NT*fe);
85 -
86 - rech_0_NT=r_0_NT(nech_0_NnT);
87 -
t0 = T.
```

$rech_0_NT$: est la sortie du filtre échantillonné, c'est un nuage de points qui correspond à la sortie du filtre. On l'utilise car sans échantillonnage, on ne peut pas exploiter le résultat.

Q3)

Que représentent les paramètres E_b , E_s , N_0 . Quel est le lien entre E_b , M et E_s ? Que sont T_{errs} , n_{errs} , T_{eb} , P_{eb} ?

E_b est l'énergie moyenne par bit.

N_0 est la DSP du bruit.

$E_s/N_0 = E_b/N_0 * \log_2(M)$.

E_s est l'énergie moyenne par symbole.

T_{es} (pas T_{errs}) : est le taux d'erreur par symbole.

n_{errs} : est le nombre d'erreur symbole.

T_{eb} : est le taux d'erreur observé.

P_{eb} : est la probabilité d'erreur théorique.

Q4)

Observez/Commentez le signal codé bruité pour une valence $M=4$. Faites varier le quotient E_b/N_0 .

Nous avons ajouté des commandes plots pour afficher le résultat :

```

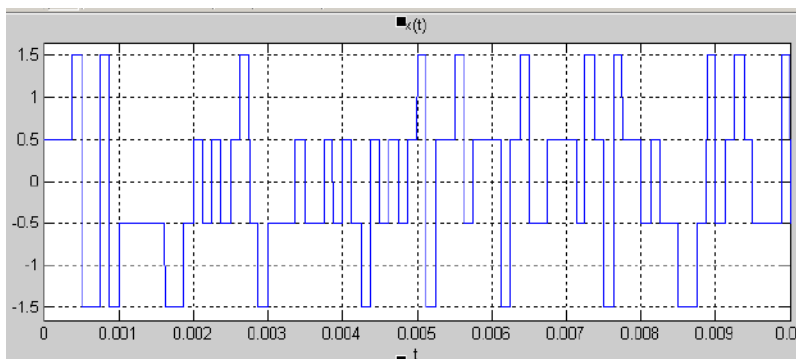
135 - figure
136 - plot(t_0_NT,x_0_NT)
137 - title('x(t)')
138 - axis([0 N*T min(x_0_NT)*1.1 max(x_0_NT)*1.1])
139 - grid on
140 - xlabel('t')
141
142
143 - figure
144 - plot(t_0_NT,y_0_NT)
145 - title('y(t)')
146 - axis([0 N*T min(y_0_NT)*1.1 max(y_0_NT)*1.1])
147 - grid on
148 - xlabel('t')
149
150
151 - figure
152 - plot(t_0_NT,r_0_NT)
153 - title('r(t)')
154 - axis([0 N*T min(r_0_NT)*1.1 max(r_0_NT)*1.1])
155 - grid on
156 - xlabel('t')

```

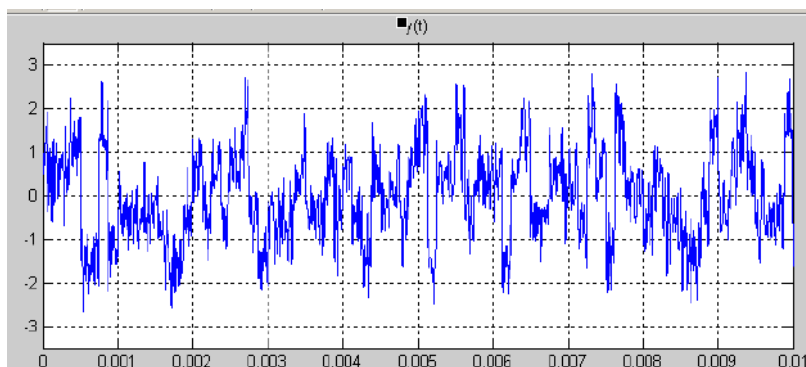
Pour $M=4$:

$E_b/N_0 = 10$

On affiche notre signal, le signal bruité.

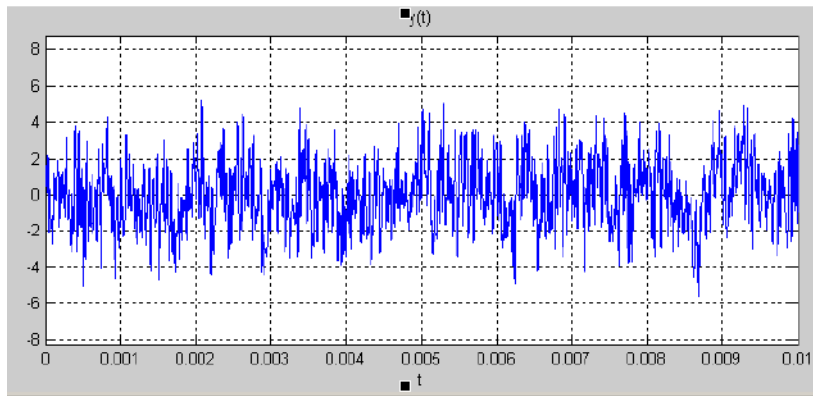


Tension en fonction du temps.



De même.

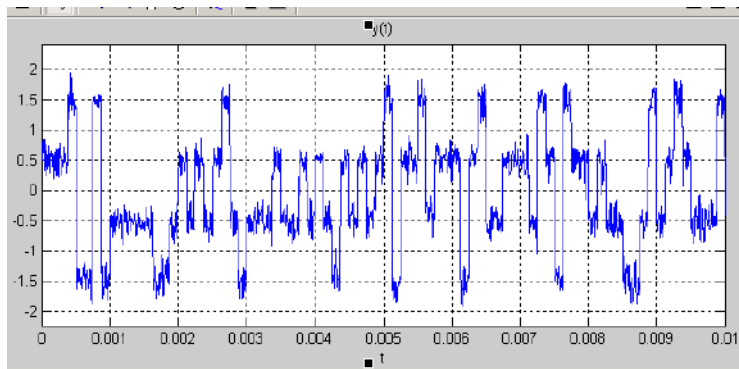
$E_b/N_0 = 1$



De même.

Nous constatons que le signal est plus bruité que pour $E_b/N_0 = 10$.

$E_b/N_0 = 100$:



De même.

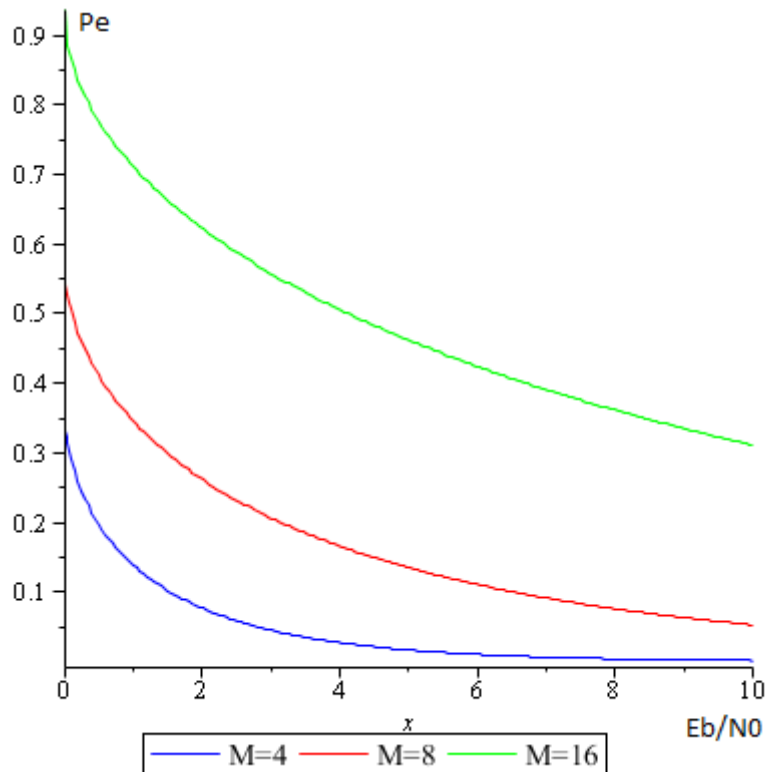
Le signal est moins bruité.

Nous constatons que plus le rapport E_b/N_0 est petit, plus le signal est bruité.

Q5*)

Commenter en les faisant varier l'influence de la valence et du quotient E_b/N_0 sur la probabilité d'erreurs. Sur un même graphique, tracer la probabilité d'erreurs en fonction de E_b/N_0 pour différentes valeurs. Choisissez judicieusement la plage de votre étude!

Nous savons déjà que plus la valence augmentera, plus notre probabilité d'erreur sera élevée.



E_b/N_0 s'agit donc de l'énergie par bit par rapport à la répartition spectrale du bruit.

P_e : probabilité d'erreur.

3 Interférence Entre Symboles

Le canal sera modélisé par un filtre passe-bas.

Exécuter `codage_enligne.m` pour créer un signal NRZ. Exécuter le script `codage_IES.m`.

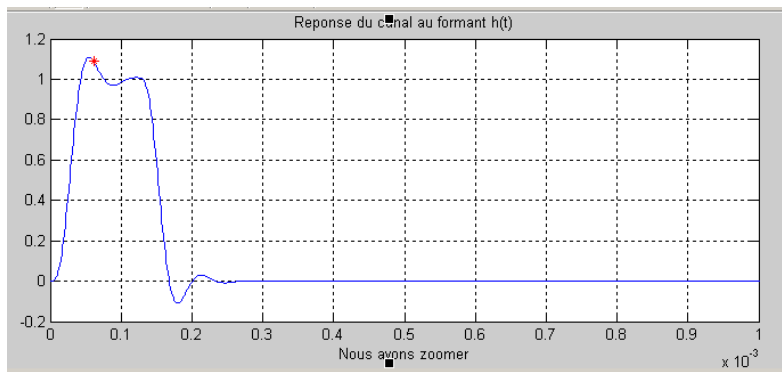
Le signal $h(t)$ est la réponse du canal au filtre.

Répondez aux questions suivantes en faisant varier la fréquence du coupure du canal.

Q1)

*Observer/Commenter $h(t)$. Proposer (et **changer dans le code!**) un meilleur instant d'échantillonnage.*

Par défaut nous avons ceci pour $h(t)$:

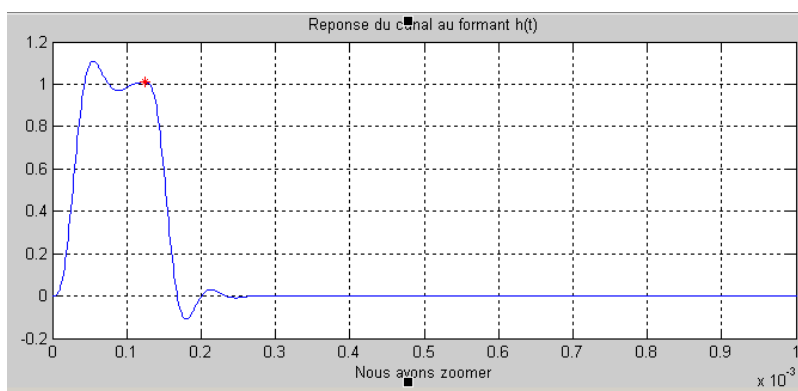


De même. (tension en fonction

du temps).

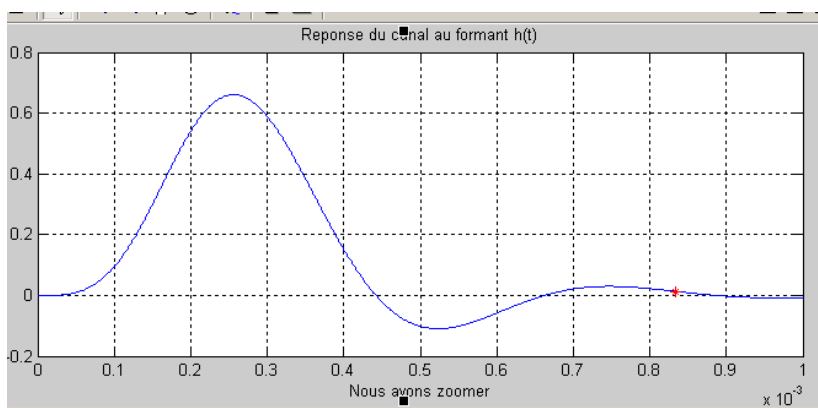
Ceci est normal pour un NRZ, nous voyons que $h(t)$ ressemble au formant d'un signal NRZ.

Pour $t_0=2t_p$:

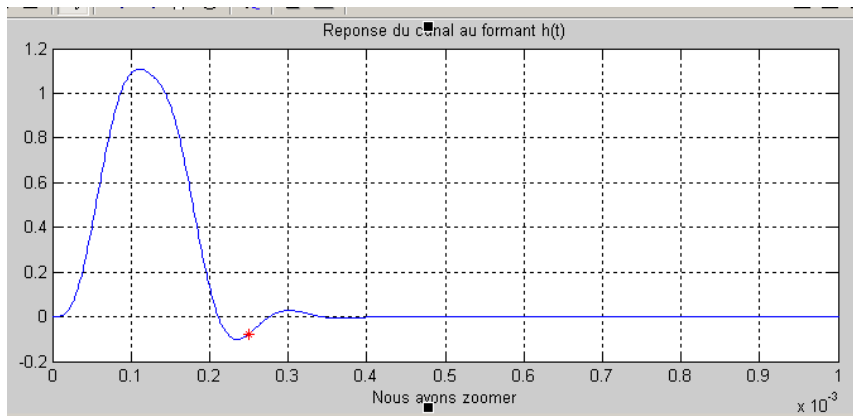


Ainsi nous échantillonons à un endroit stable.

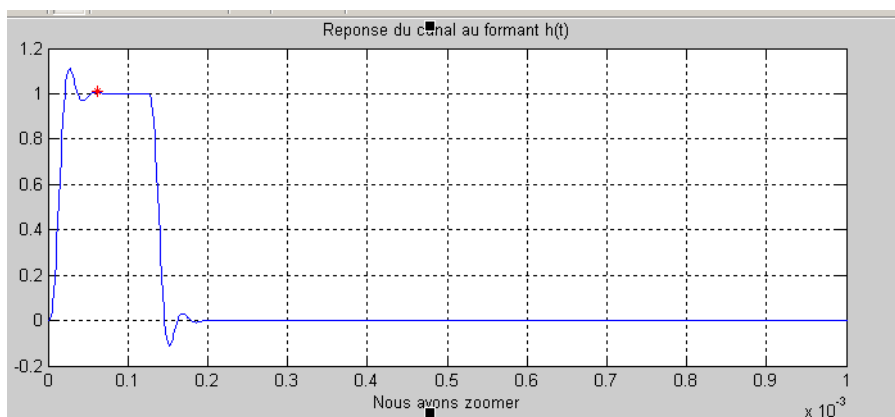
$f_c=0.3/T$



$f_c=1/T$



$f_c=4/T$

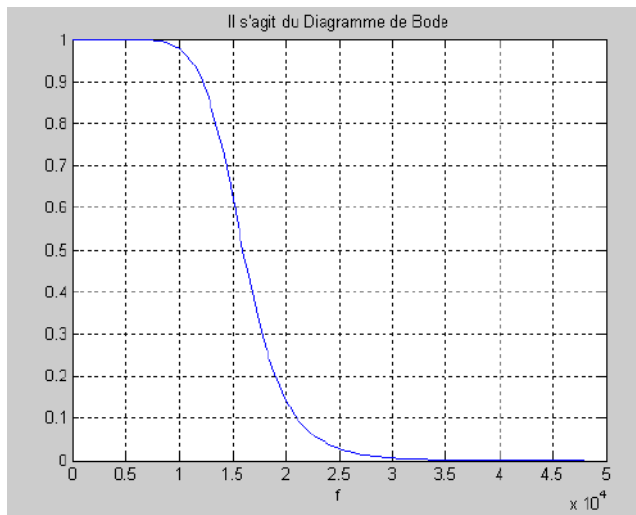


Nous constatons que pour $f_c=4/T$, le résultat est meilleur. C'est normal puisque le critère de Nyquist est respecté.

Q2)

Observer/commenter la fonction de transfert du filtre.

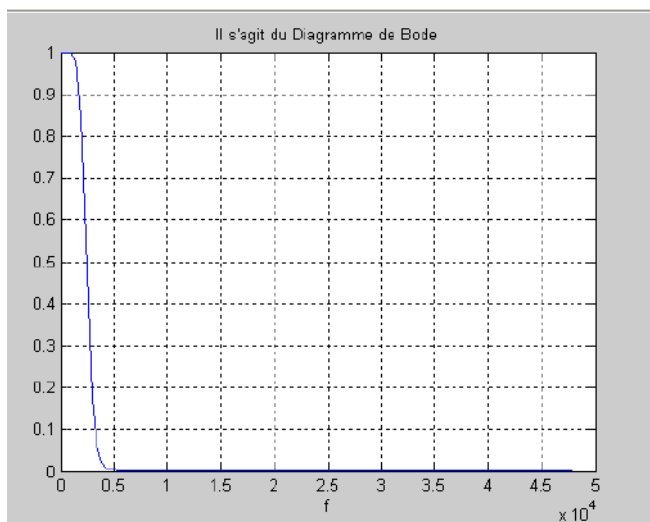
$f_c=2/T$



Tension en fonction de la fréquence.

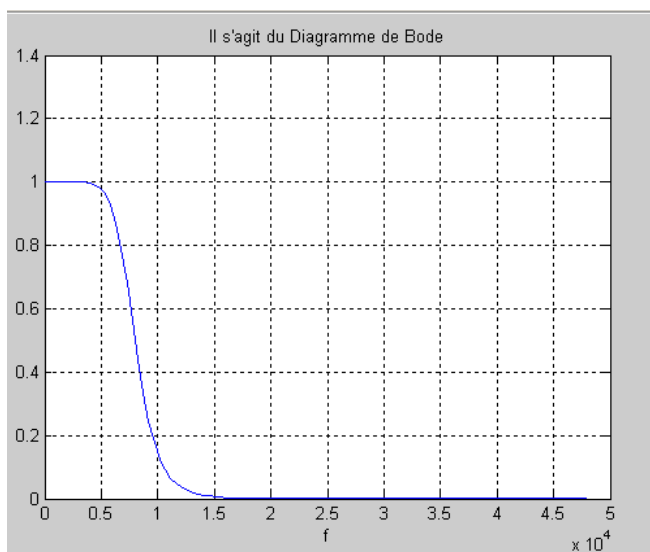
Nous observons bien le diagramme de Bode pour un filtre passe-bas. Sa fréquence de coupure est environ égale à : $2 \cdot 10^4$ Hz.

$$f_c = 0.3/T$$



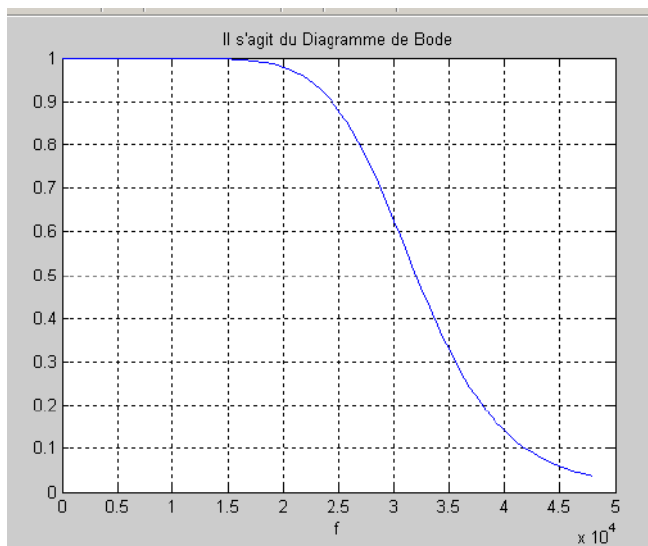
De même

$$f_c = 1/T$$



De même

$$f_c = 4/T$$



De même

Q3)

Que représente $r(t)$?

$r(t)$ est le signal codé et filtré. S'il n'y a pas trop de bruit, il ressemble au signal de départ.

Q4)

Qu'est-ce-qu'un diagramme de l'oeil?

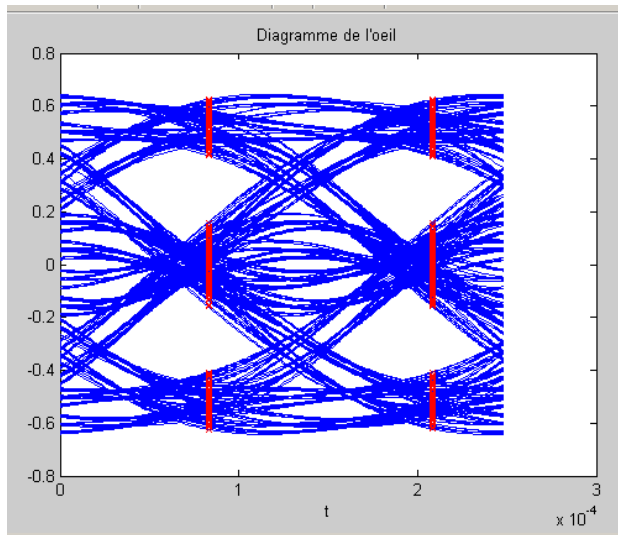
Le diagramme de l'œil permet de visualiser l'existence ou non de l'interférence entre symboles, son impact. Il faut qu'il soit ouvert :

- Horizontalement : marge d'erreur sur l'échantillonnage.
- Verticalement : pour différencier les deux symboles, on a une marge d'erreur lié au bruit additif.

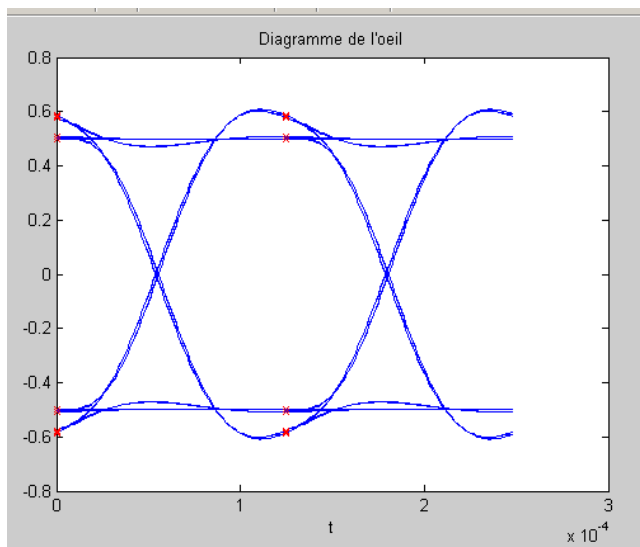
Q5)

Afin d'étudier le diagramme de l'oeil, il conviendra de choisir judicieusement la fenêtre d'observation. Commenter le diagramme de l'œil

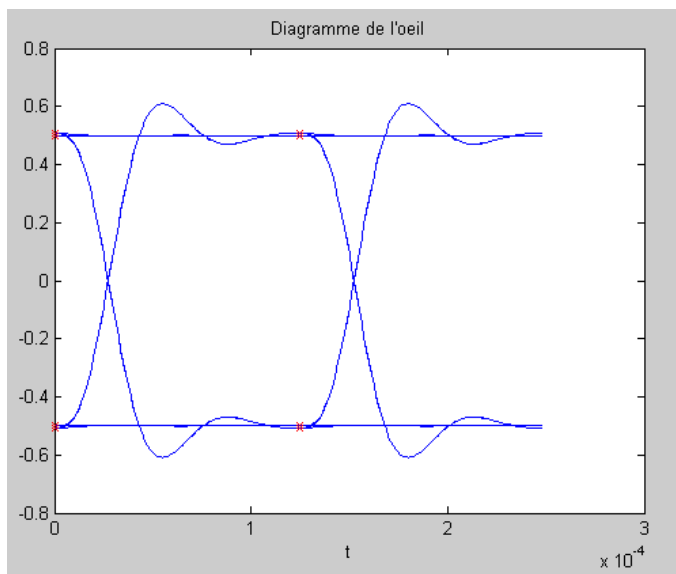
$$f_c = 0.3/T$$



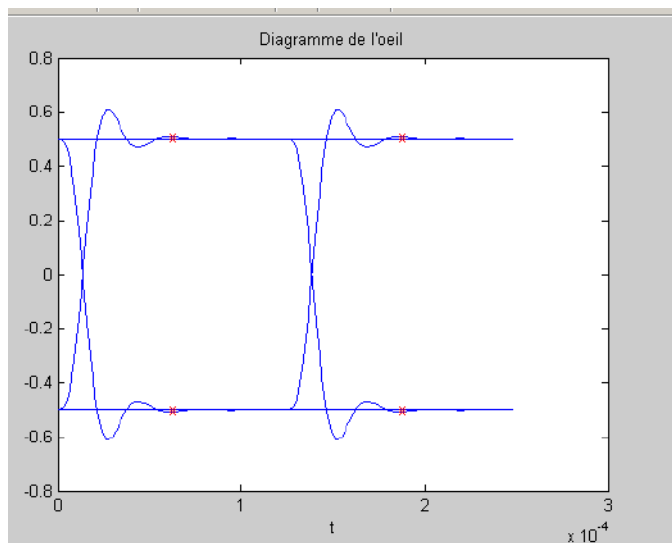
$$F_c = 1/T$$



$$F_c = 2/T$$



$$F_c = 4/T$$



De nouveau pour $f_c = 4/T$ le critère de Nyquist est respecté. Il est aussi respecté pour $f_c = 2/T$, pour $f_c = 1/T$ nous constatons que le diagramme de l'œil commence à montrer des interférences.

Chacune des questions 1, 2 et 5 devra être étudiée pour différentes fréquences de coupure judicieusement choisies (par exemple pour valider expérimentalement le critère de Nyquist, on peut prendre $f_c = 0.3/T$, $1/T$, $4/T$). Chacune des observations sera confrontée à la théorie...