



Rapport TP1 Telecommunication Transmission Bande de Base

Nathan Foucher, Martin Guidez

Telecommunications
Département Sciences du Numérique - Première année
2021-2022

Table des matières

I	Rappel du sujet	4
II	Étude de la modulation bande de base (séquence 1 du cours)	4
1	introduction	4
2	Modulateur 1	4
3	Modulateur 2	6
4	Modulateur 3	7
5	efficacité spectrale	9
III	Étude des interférences et du critère de Nyquist (séquence 2 du cours)	9
6	Introduction	10
7	Étude sans canal de propagation	10
8	Étude avec canal de propagation sans bruit	12
9	Conclusion	15
IV	Étude de l'impact du bruit, filtrage adapté, taux d'erreur binaire, efficacité en puissance (Séquence 3)	15
10	Introduction	16
11	Chaîne de référence	16
12	1er chaîne à implanter	17
13	Implementation de la chaîne avec bruit	18
14	Étude de la deuxième chaîne	19
V	Conclusion	22

Table des figures

1	Signal x1	5
2	DSP de x1	5
3	DSP théorique de x1	6
4	Signal x2	6
5	DSP de x2	7
6	DSP théorique de x1	7
7	Signal x3	8

8	DSP de x3	8
9	DSP théorique de x1	9
10	DSP des trois signaux rouge x1, vert x2, bleu x3	9
11	$z(t)$	10
12	$g(t)$	11
13	Diagramme de l'oeil	11
14	Résultats Matlab	12
15	Réponse impulsionnelle pour une bande passante $BW = 8000\text{Hz}$	12
16	Diagramme de l'oeil pour une bande passante $BW = 8000\text{Hz}$	13
17	$ H(f)H_r(f) $ et $ H_c(f) $	13
18	Réponse impulsionnelle pour une bande passante $BW = 3000\text{Hz}$	14
19	Diagramme de l'oeil pour une bande passante $BW = 3000\text{Hz}$	14
20	$ H(f)H_r(f) $ et $ H_c(f) $	15
21	Résultats Matlab	15
22	Résultats Matlab	16
23	TEB chaine de référence vs TEB théorique	17
24	Diagramme de l'oeil 1er chaine	17
25	TEB vs TEB théorique	18
26	TEB vs TEB chaine de référence	18
27	DSP chaine de référence	19
28	DSP 1er chaine	19
29	Diagramme de l'oeil 2eme chaine	20
30	TES par rapport au TES théorique	20
31	TEB par rapport au TEB théorique	21
32	TEB par rapport au TEB chaine de référence	21
33	DSP 2eme chaine	22

Première partie

Rappel du sujet

L'objectif de ce projet est de faire une initiation à la transmission bande base et d'en étudier les différentes caractéristiques et influences d'autres paramètres. Dans une première partie nous nous concentrerons sur la modulation bande de base simple pour étudier les efficacités de différents modulateurs. Nous allons ensuite, dans une seconde partie, étudier l'influence d'un canal de propagation sur le signal. Enfin en 3ème partie nous verrons quelle est l'influence du bruit sur notre signal.

Deuxième partie

Étude de la modulation bande de base (séquence 1 du cours)

1 introduction

Dans cette partie nous allons comparer l'efficacité spectrale de ces différents modulateurs :

- Modulateur 1
 - Mapping : symboles binaires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : rectangulaire de durée $T_{s1} = N_{s1} * T_e$.
- Modulateur 2
 - Mapping : 4-aires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : rectangulaire de durée $T_{s2} = N_{s2} * T_e$.
- Modulateur 3
 - Mapping : symboles binaires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : Racine de cosinus surélevé.

On prendra $F_e = 24000Hz$ et $R_b = 3000bits$

2 Modulateur 1

En traçant le signal en sortie de chaîne (figure 1) on remarque bien que l'on a un mapping binaire mis en forme par un filtre rectangulaire.

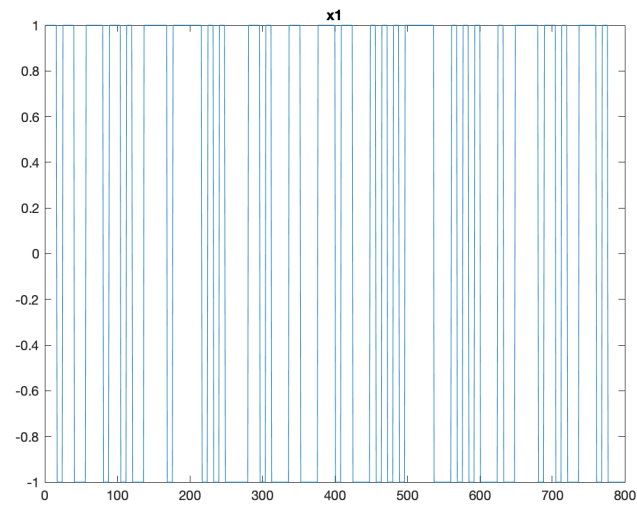


FIGURE 1 – Signal x1

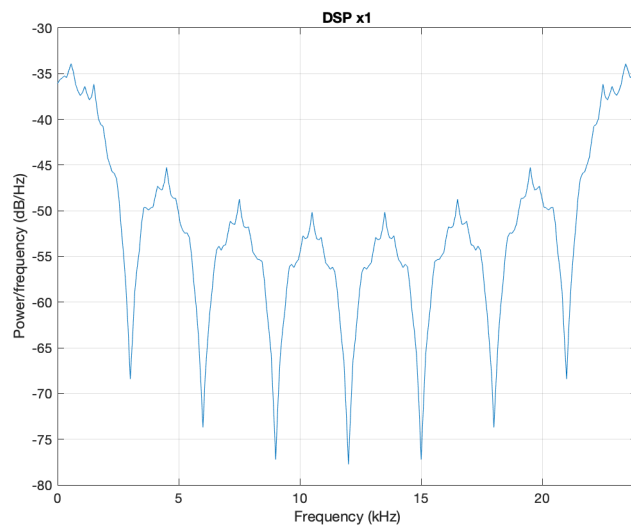


FIGURE 2 – DSP de x1

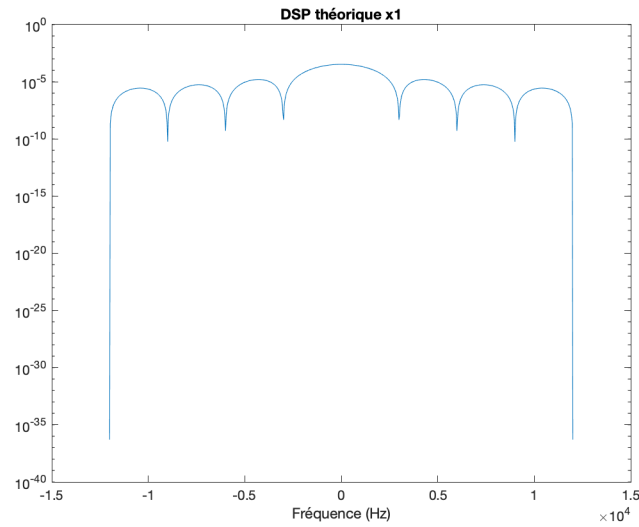


FIGURE 3 – DSP théorique de x1

La DSP théorique du signal (figure 3) est de même forme que la DSP expérimentale comme l'on s'y attend (il y'a néanmoins un problème sur les axes des fréquences).

3 Modulateur 2

En traçant le signal en sortie de chaine (figure 4) on remarque bien que l'on a un mapping binaire mis en forme par un filtre rectangulaire.

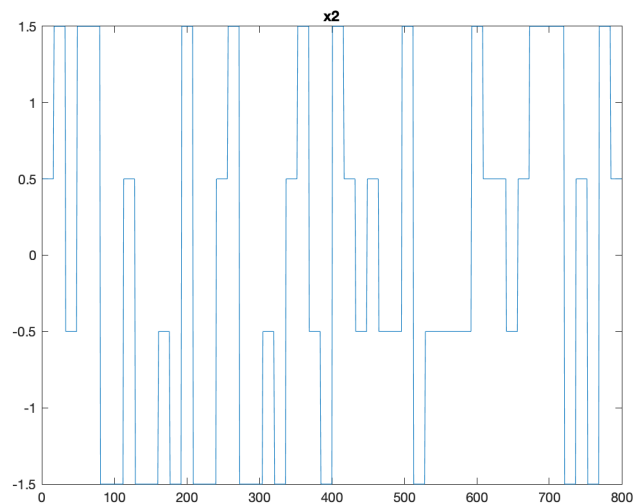


FIGURE 4 – Signal x2

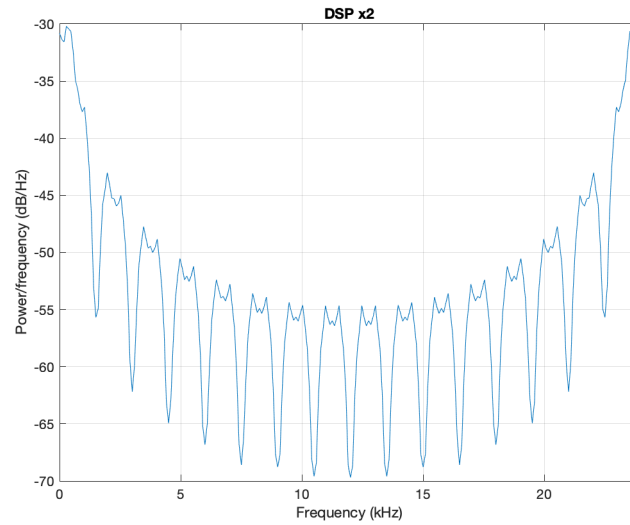


FIGURE 5 – DSP de x2

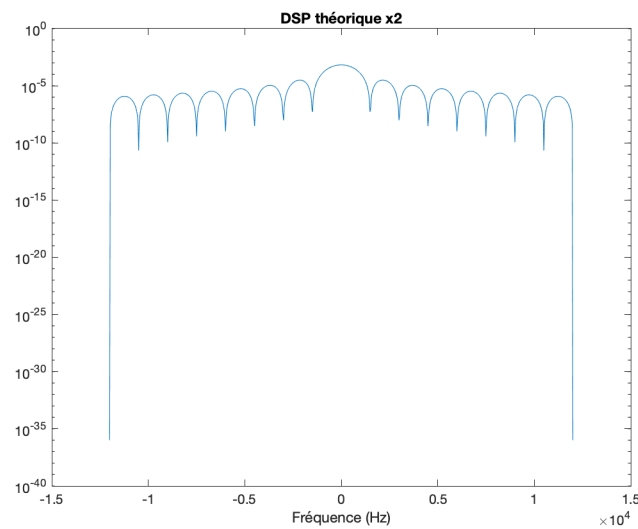


FIGURE 6 – DSP théorique de x1

La DSP théorique du signal (figure 6) est de même forme que la DSP expérimentale comme l'on s'y attend.

4 Modulateur 3

En traçant le signal en sortie de chaîne (figure 7) on remarque bien que l'on a un mapping 4-aire mis en forme par une racine de cosinus surélevé.

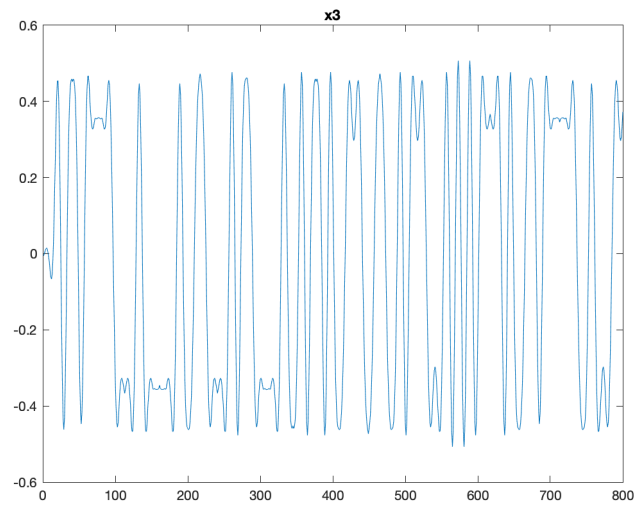


FIGURE 7 – Signal x_3

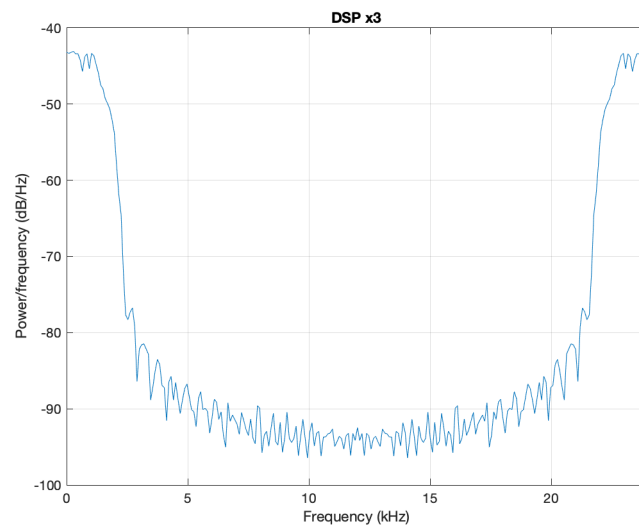


FIGURE 8 – DSP de x_3

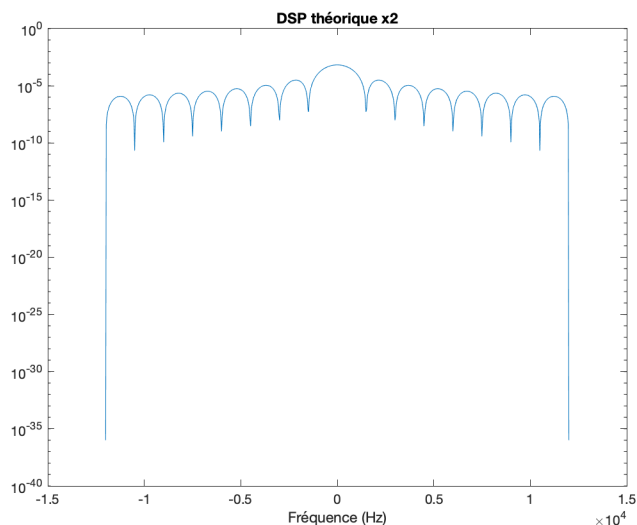


FIGURE 9 – DSP théorique de x1

La DSP théorique du signal (figure 9) est encore une fois de même forme que celle expérimentale.

5 efficacité spectrale

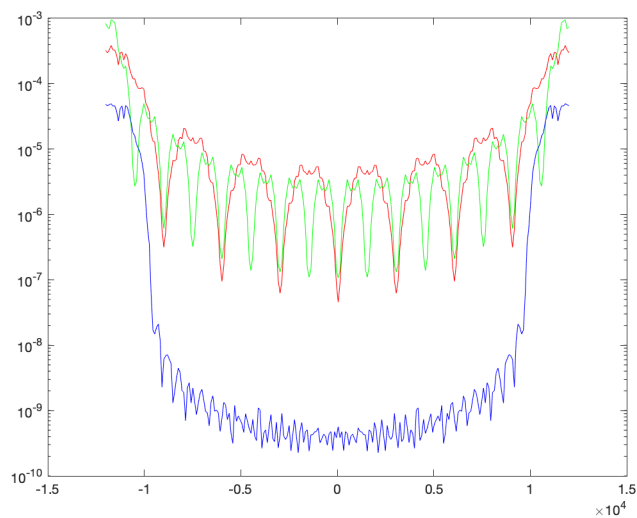


FIGURE 10 – DSP des trois signaux rouge x1, vert x2, bleu x3

D'après le tracé ci dessus (figure 10) on remarque bien que, comme on s'y attendait, le filtre de mise en forme en racine de cosinus surélevé est bien moins efficace que les deux autres filtres rectangulaires. En effet on perd beaucoup de puissance sur un spectre très large de fréquences. Ensuite on remarquera que les pics de puissance les plus fins sont sur le signal modulé 2. Ainsi le mapping 4-aires avec un filtre de mise en forme rectangulaire semble être le plus efficace spectralement.

Troisième partie

Étude des interférences et du critère de Nyquist (séquence 2 du cours)

6 Introduction

Nous allons voir dans cette partie le phénomène d'interférences entre symboles et démontrer l'intérêt de respecter le critère de Nyquist. La chaîne de transmission implantée aura une fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000\text{Hz}$ et transmettra un débit binaire $R_b = 1/T_s = 3000\text{bitsparseconde}$.

On considérera un mapping binaire à moyenne nulle, un filtre de mise en forme et un filtre de réception de même réponse impulsionnelle rectangulaire de durée T_s .

7 Étude sans canal de propagation

Soit $z(t)$ le signal en sortie du filtre de réception, on obtient le tracé suivant (figure 11).

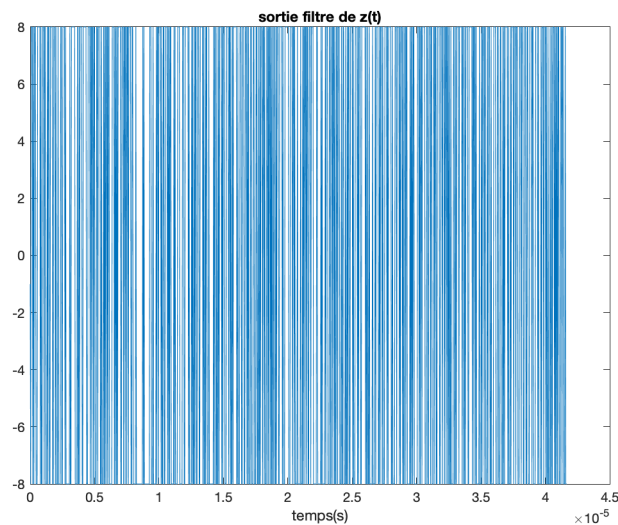


FIGURE 11 – $z(t)$

Ce tracé semble bien correspondre à ce qui est attendu en théorie. En effet on retrouve bien le mapping binaire d'origine. Il suffira ensuite d'implémenter un bloc d'échantillonnage pour retrouver l'information originale. Pour implémenter cet échantillonnage il va falloir trouver l'instant optimal n_0 . Pour cela on peut utiliser la réponse impulsionnelle de la chaîne (figure 12).

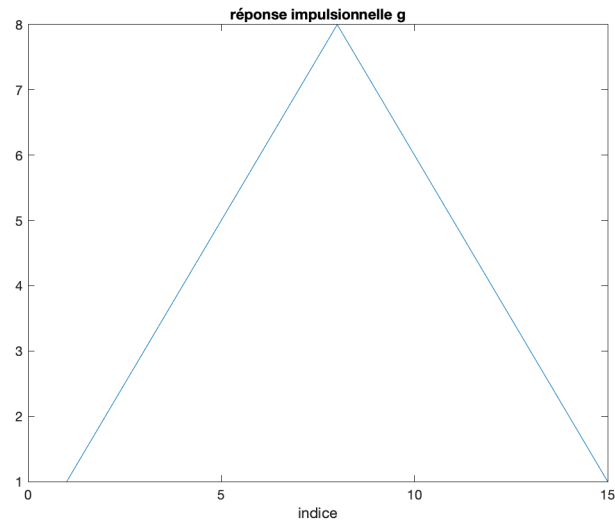


FIGURE 12 – $g(t)$

D'après le critère de Nyquist l'instant optimal n_0 est donné par :

$$n_0 \in N \text{ tq : } \begin{cases} g(n_0) > 0 \\ g(n_0 + m * Ts) = 0 \quad \forall m \in N^* \end{cases}$$

On trouve graphiquement que $n_0 = 8$. On retrouve aussi ce résultat sur le diagramme de l'oeil (figure 13). En effet pour ce choix d'instant optimal on voit bien que seuls deux points sont visibles. Dans le cas d'un mapping binaire cela signifie qu'il n'y a pas d'interférence entre symboles.

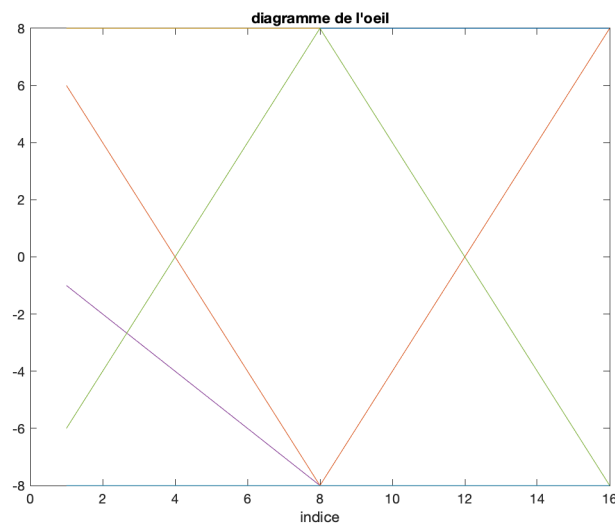


FIGURE 13 – Diagramme de l'oeil

On test enfin d'échantillonner le signal obtenu avec deux valeurs de n_0 . Le taux d'erreur binaire calculé donne les résultats suivants (figure 14) :

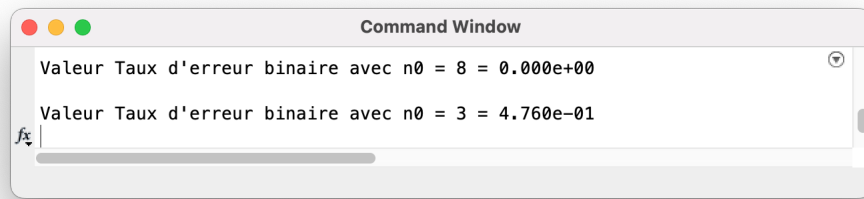


FIGURE 14 – Résultats Matlab

Le TEB est ainsi nul pour $n_0 = 8$ et de presque 50% pour $n_0 = 3$. En regardant le diagramme de l'oeil (figure 13) on remarque que pour ce choix d'instant d'échantillonnage il y'a plus de deux points visibles. Il y'a donc des interférences entre symboles créant des erreurs.

8 Étude avec cannal de propagation sans bruit

On implémente maintenant un cannal de propagation à bande limité(BW) simulé par un filtre passe-bas. On le fait d'abord pour $BW = 8000Hz$.

La réponse impulsionnelle de la chaine de transmission est donnée figure 15.

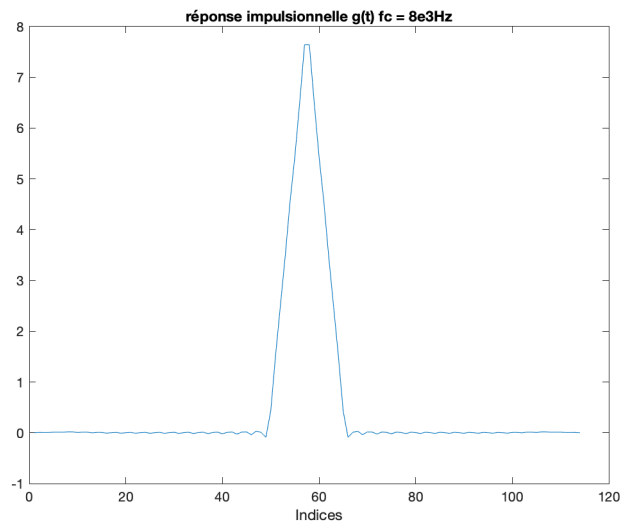


FIGURE 15 – Réponse impulsionnelle pour une bande passante $BW = 8000Hz$

Le diagramme de l'oeil est donnée figure 16.

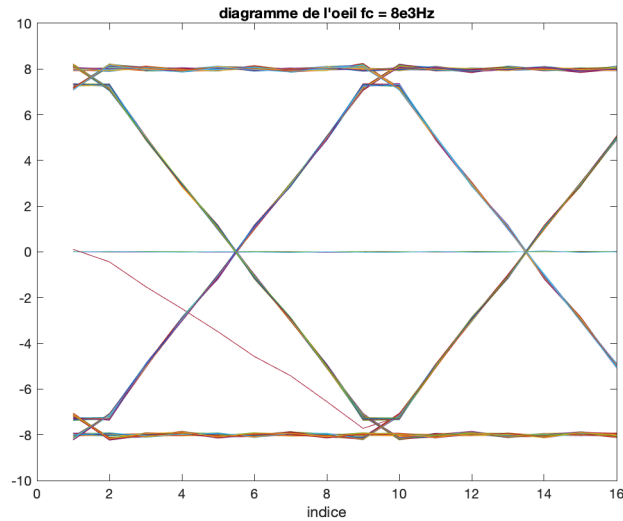


FIGURE 16 – Diagramme de l'oeil pour une bande passante $BW = 8000\text{Hz}$

On remarque que le signal est un peu altéré mais il semble toujours utilisable.

On trace enfin $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$ sur le même graphique avec $H(f)$ la réponse en fréquence du filtre de mise en forme, $H_r(f)$ la réponse en fréquence du filtre de réception et $H_c(f)$ la réponse en fréquence du filtre canal (figure 17).

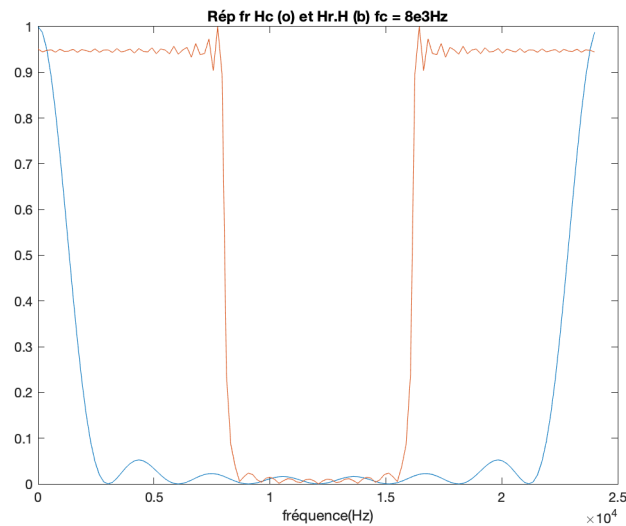


FIGURE 17 – $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

On fait de même pour un cannal avec une bande passante de 1000Hz (figure 18, 19 et 20)

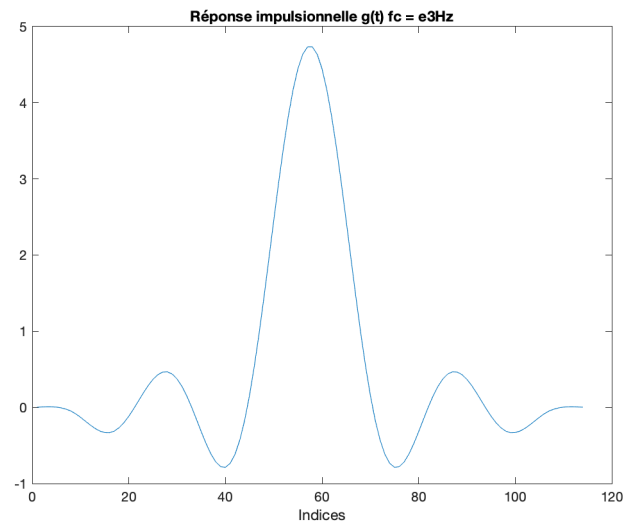


FIGURE 18 – Réponse impulsionnelle pour une bande passante $BW = 3000\text{Hz}$

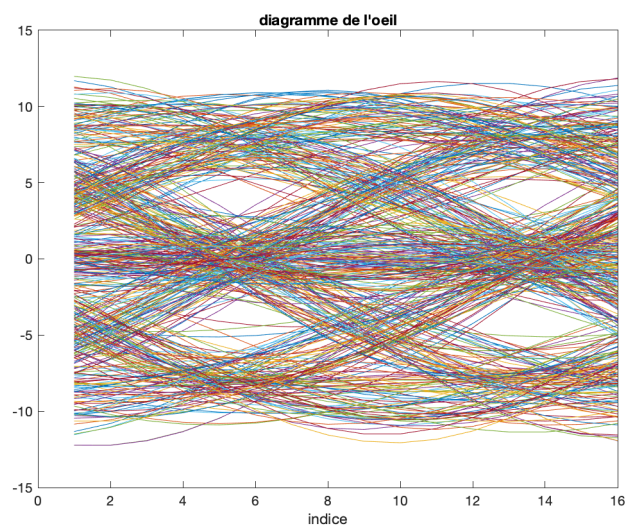
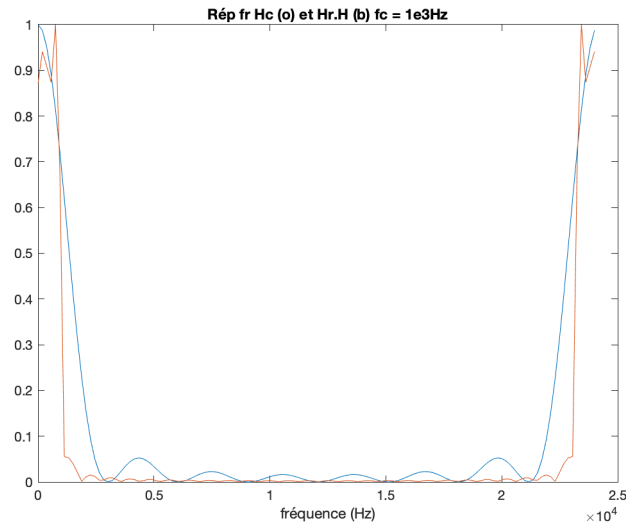


FIGURE 19 – Diagramme de l'oeil pour une bande passante $BW = 3000\text{Hz}$

Le signal est ici fortement altéré.


FIGURE 20 – $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

On obtient alors ces deux TEB différents (figure 21) :

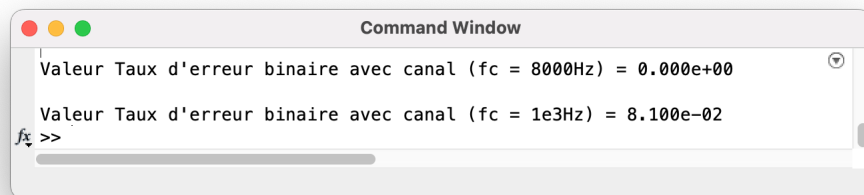


FIGURE 21 – Résultats Matlab

Le TEB de la transmission avec une bande passante de 8000Hz est bien nul contrairement à celui avec une bande passante de 1000Hz . Cela est dû au fait que dans le deuxième cas il est plus difficile d'obtenir n_0 respectant le critère de Nyquist (voir figure 18). Cela est confirmé sur le diagramme de l'oeil (figure 19) où il y'a de fortes interférences entre symboles. Cela peut s'expliquer par le fait que pour $BW = 1000\text{Hz}$ la bande passante est trop petite pour transmettre toutes les informations du signal (résultat censé être visible sur les figures 20 et 17 mais ces schémas semblent avoir un problème).

9 Conclusion

Ici nous avons pu démontrer l'utilité de choisir un instant optimal correct et voir l'influence d'un canal de propagation avec une bande passante trop petite.

Quatrième partie

Étude de l'impact du bruit, filtrage adapté,
taux d'erreur bi- naire, efficacité en
puissance (Séquence 3)

10 Introduction

Cette partie est dédiée à l'étude du bruit dans la chaîne de transmission numérique. Nous y verrons notamment son impact quand il est introduit par le canal sur la transmission, l'influence du filtrage adaptée, le calcul et estimation du taux d'erreur binaire (TEB).

11 Chaîne de référence

On va, dans un premier temps reprendre la chaîne de transmission implantée sans canal dans la section précédente, avec une fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000\text{Hz}$, pour transmettre un débit binaire $R_b = 3000\text{bitsparseconde}$: on utilise un mapping binaire à moyenne nulle et des filtres de mise en forme rectangulaires de durée T_s et de taille 1. On échantillonnera aux instants optimaux n_0 .

On peut voir figure 22 le diagramme de l'oeil de la chaîne de référence sans bruit. En ajoutant du bruit et en testant pour plusieurs valeurs de E_b/N_0 on remarque que pour un rapport faible le diagramme de l'oeil est fortement altéré. Plus on augmente le rapport plus on retrouve un diagramme de l'oeil ressemblant à celui sans bruit.



FIGURE 22 – Résultats Matlab

On choisit ainsi l'instant optimal $n_0 = 8$ pour la suite.

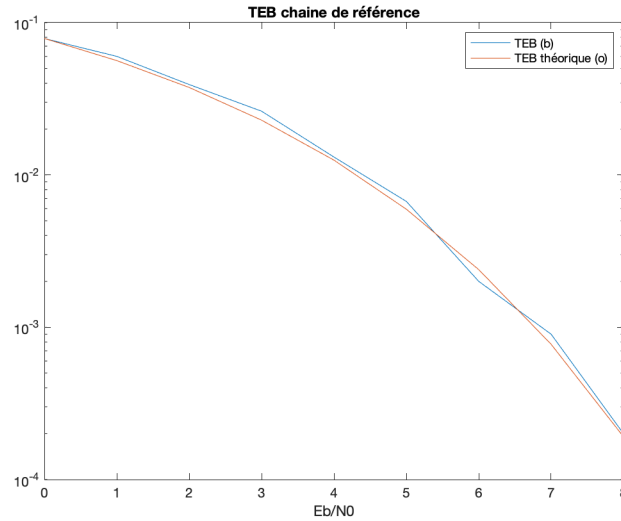


FIGURE 23 – TEB chaîne de référence vs TEB théorique

En testant pour différentes valeurs de $Eb/N0$ on trace la figure 23 représentant le TEB de la chaîne par rapport au rapport au TEB théorique (le meilleur TEB possible). On remarque que notre courbe expérimentale est presque confondue avec la courbe théorique comme l'on s'y attend. On valide alors notre modèle expérimental.

12 1er chaîne à implanter

On considérera maintenant un mapping binaire à moyenne nulle et les réponses impulsionnelles des filtres de mise en forme et de réception, $h(t)$ et $h_r(t)$, données par les figures dans le sujet. La fréquence d'échantillonnage sera de $24000Hz$, pour transmettre un débit binaire $Rb = 3000bitsparseconde$.

On donne le diagramme de l'oeil de cette chaîne figure 24. On en déduit $n0 = 8$ ainsi que le seuil $S = 0$.

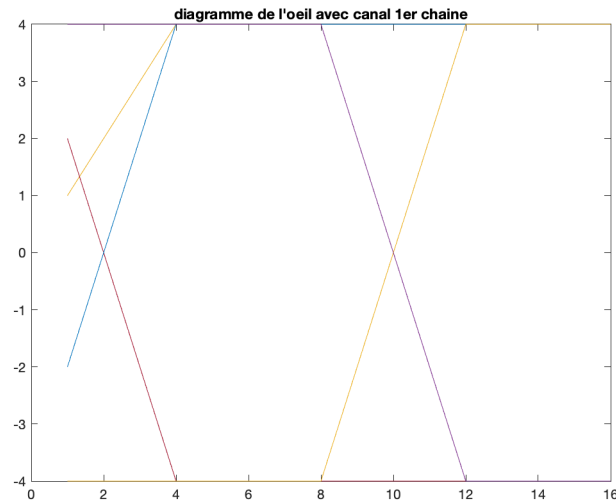


FIGURE 24 – Diagramme de l'oeil 1er chaîne

En échantillonnant le signal et en détectant les symboles en sortie on trouve bien que $TEB = 0$.

13 Implementation de la chaine avec bruit

On donne figure 25 et 26 le TEB de cette chaine comparé au TEB théorique et au TEB de la chaine de référence.

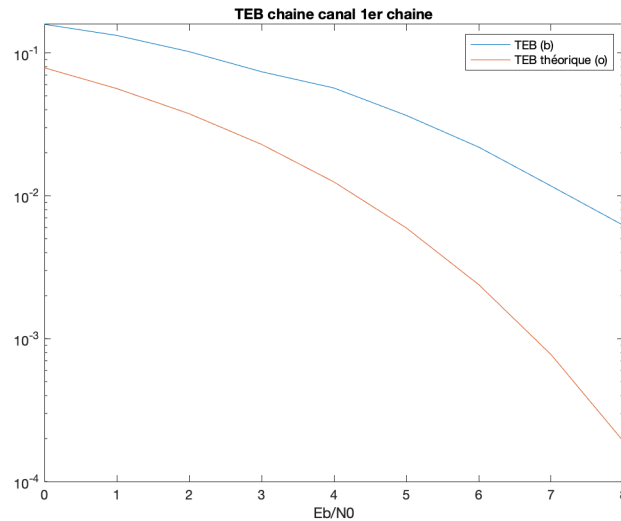


FIGURE 25 – TEB vs TEB théorique

Le TEB de la chaine étudié est proche du TEB théorique. On valide donc le modèle.

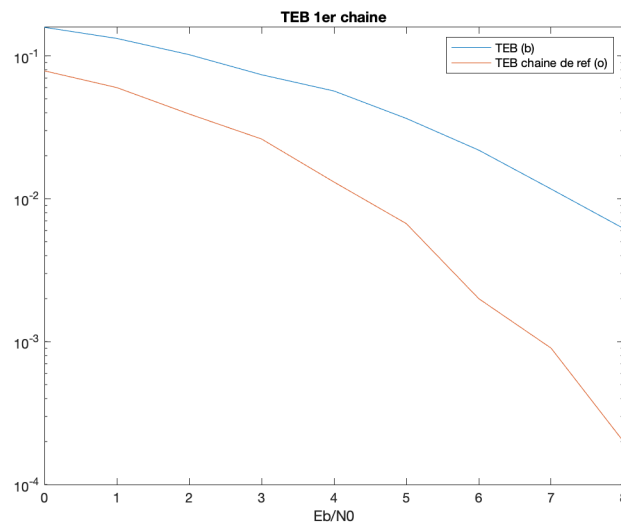


FIGURE 26 – TEB vs TEB chaine de référence

L'efficacité en puissance est égale au rapport signal à bruit par bits nécessaire en entrée du receptrer pour atteindre le TEB souhaité. À TEB fixé on sait que plus E_b/N_0 augmente plus l'efficacité en puissance diminue. On en déduit que cette chaine est moins efficace en terme de puissance car pour un même TEB le rapport E_b/N_0 de cette nouvelle chaine doit être plus important comparé à la chaine de référence.

Enfin nous pouvons voir figure 27 et figure 28 la DSP de la chaine de référence et la DSP de la chaine actuellement étudiée.

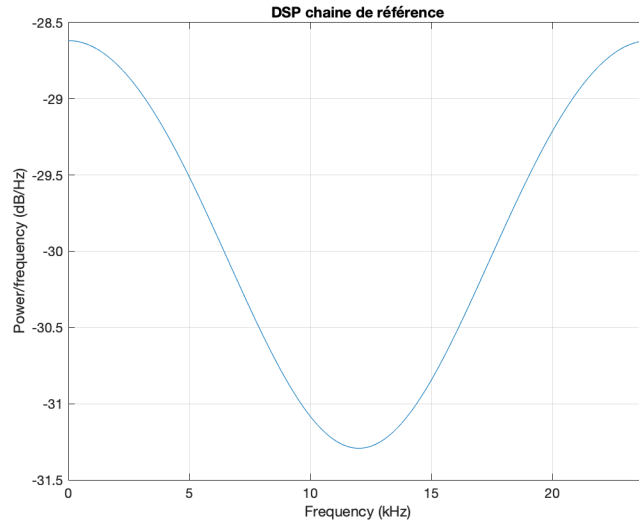


FIGURE 27 – DSP chaîne de référence

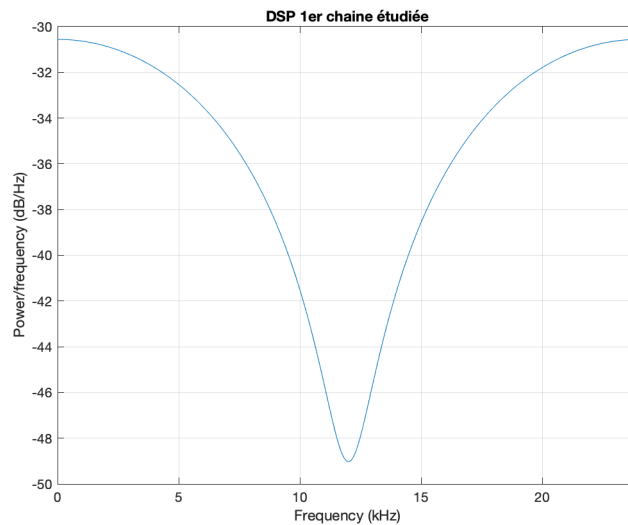


FIGURE 28 – DSP 1er chaîne

L'efficacité spectrale est représentée par la bande B nécessaire pour passer le débit R_b souhaité. On remarque que la 1er chaîne a un intervalle de fréquence, où la puissance est répartie, bien plus réduit que la chaîne de référence. On déduit donc que cette nouvelle chaîne est plus efficace spectralement.

14 Étude de la deuxième chaîne

On considère ici un mapping 4-aire à moyenne nulle et des réponses impulsionnelles des filtres de mise en forme et de réception, $h(t)$ et $h_r(t)$, rectangulaires de hauteur 1 et de durée T_s .

D'après le diagramme de l'oeil de cette deuxième chaîne (figure 29) on déduit facilement que l'instant optimal $n_0 = 16$. Ce résultat est vérifié par le fait que le TEB de cette chaîne de transmission sans bruit est nul. On en déduit aussi les seuils d'échantillonnage $S = 0, 17.5 \text{ et } -17.5$.

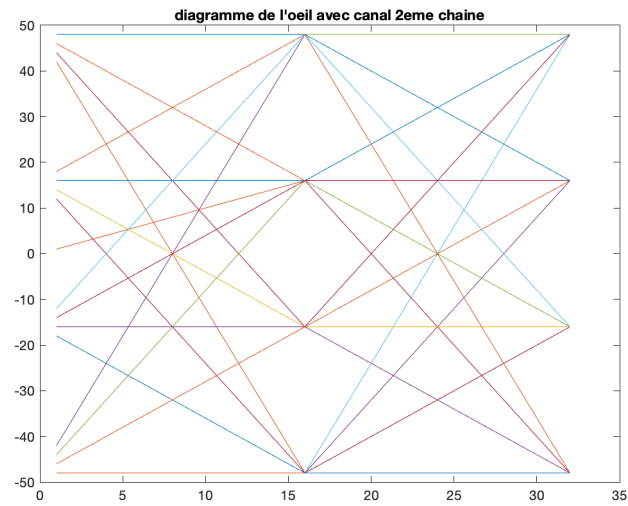


FIGURE 29 – Diagramme de l'oeil 2eme chaine

On ajoute comme précédemment du bruit à la chaîne et on trace le TES par rapport à la figure E_b/N_0 (30).

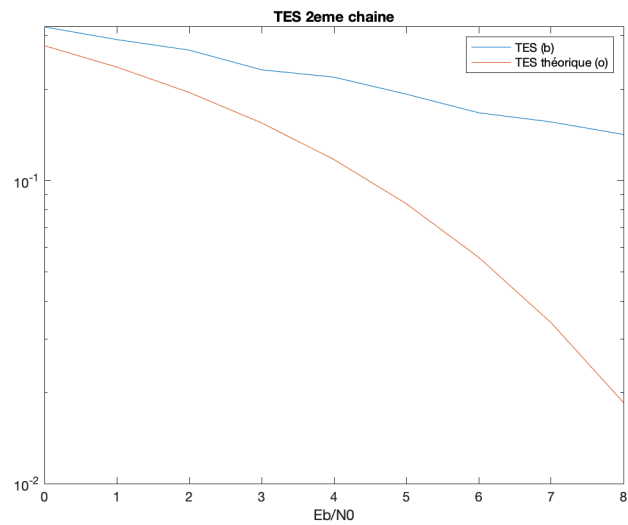


FIGURE 30 – TES par rapport au TES théorique

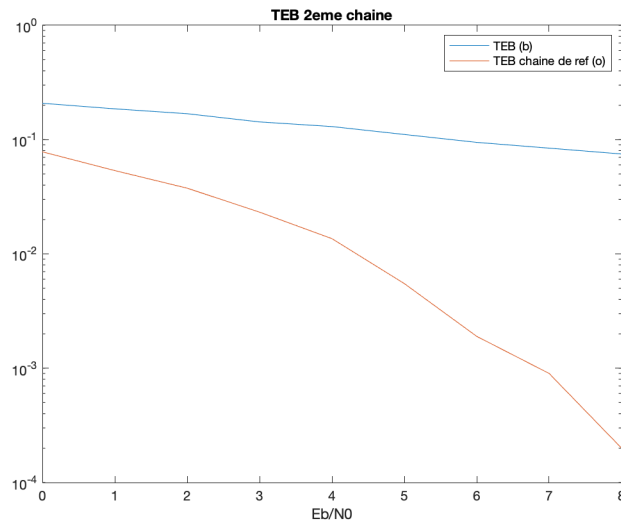


FIGURE 31 – TEB par rapport au TEB théorique

Il semble ici y avoir un problème, en effet le TES théorique ne semble pas correspondre au TES expérimental tout comme le TEB théorique (figure 31)...

On compare ensuite le TEB de la chaîne avec celui de la chaîne de référence (figure 32).

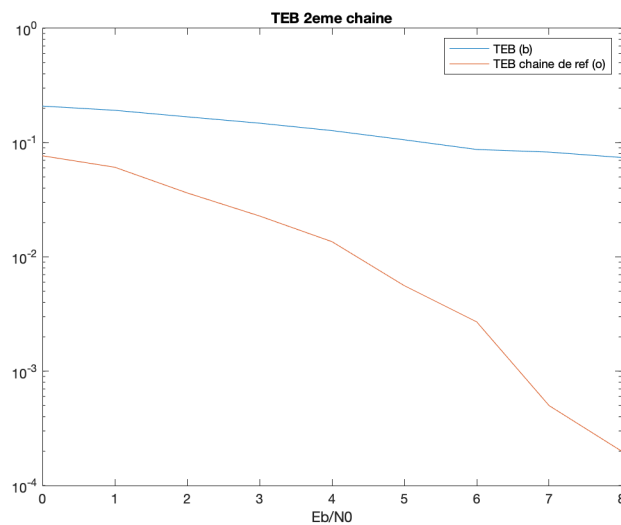


FIGURE 32 – TEB par rapport au TEB chaîne de référence

Ici le TEB de la deuxième chaîne est très éloigné de celui de la chaîne de référence. De plus on voit tout de suite que la 2ème chaîne n'attendra jamais l'efficacité au niveau du TEB de la chaîne de référence. Cette chaîne est ainsi moins efficace en puissance que la chaîne de référence.

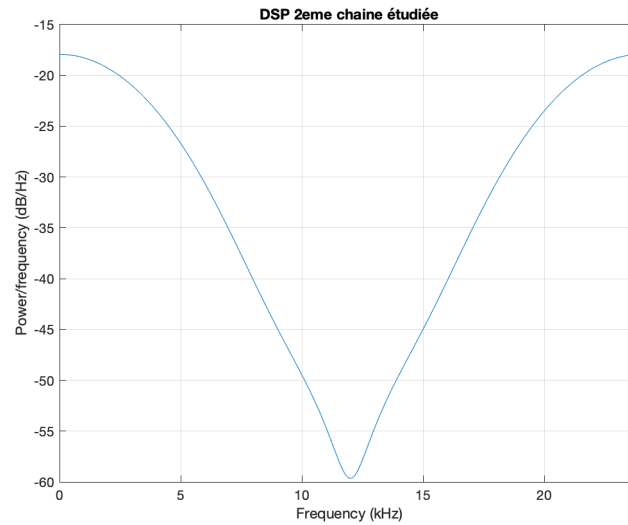


FIGURE 33 – DSP 2eme chaine

L'efficacité spectrale est représentée par la bande B nécessaire pour passer le débit R_b souhaité. On remarque que la 1er chaine (figure 27) à un intervalle de fréquence, où la puissance est répartie, bien plus réduit que la chaine de référence. On déduit donc que cette nouvelle chaine est plus efficace spectralement.

Cinquième partie

Conclusion

Ce TP nous aura permis de mieux comprendre les notions de transmission en bande de base, de justifier l'utilisation du critère de Nyquist et de voir l'influence de différents paramètres sur la qualité du signal. On en conclura que le but de la transmission des signaux est de trouver un compromis entre efficacité en terme de puissance et efficacité spectrale car l'amélioration d'un des paramètres détériore l'autre. Aussi il est important d'avoir une bande passante suffisamment importe pour ne pas risquer de détériorer les signaux.