



Télécommunication - Compte-Rendu de TP
Étude de transmissions en bande de base

Yessine JMAL et Priscilia GONTHIER
Groupe M

Département Sciences du Numérique - Première année
2021-2022

Table des matières

1	Introduction	4
2	Étude de modulateurs bande de base	4
2.1	Introduction	4
2.2	Modulateurs à étudier et comparer	4
2.3	Étude réalisée	4
2.3.1	Modulateur 1	5
2.3.2	Modulateur 2	7
2.3.3	Modulateur 3	8
2.3.4	Comparaison des modulateurs implantés en termes d'efficacité spectrale . .	10
3	Étude des interférences entre symbole et du critère de Nyquist	11
3.1	Introduction	11
3.2	Étude sans canal de propagation	11
3.3	Étude avec canal de propagation sans bruit	14
4	Étude de l'impact du bruit, filtrage adapté, taux d'erreur binaire, efficacité en puissance	19
4.1	Introduction	19
4.2	Chaîne de référence	19
4.3	Première chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence	22
4.3.1	Implantation de la chaîne sans bruit	23
4.3.2	Implantation de la chaîne avec bruit	23
4.4	Deuxième chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence	27
4.5	Implantation de la chaîne sans bruit	27
4.6	Implantation de la chaîne avec bruit	28

Table des figures

1	Signal transmis après le modulateur 1.	5
2	Densité Spectrale de Puissance du signal transmis après le modulateur 1.	5
3	Densité Spectrale de Puissance du signal transmis après le modulateur 1 comparée avec la théorie.	6
4	Signal transmis après le modulateur 2.	7
5	Densité Spectrale de Puissance du signal transmis après le modulateur 2.	7
6	Densité Spectrale de Puissance du signal transmis après le modulateur 2 comparée avec la théorie.	8
7	Signal transmis après le modulateur 3.	8
8	Densité Spectrale de Puissance transmis après le modulateur 3.	9
9	Densité Spectrale de Puissance transmis après le modulateur 3 comparée avec la théorie.	9
10	Comparaison des Densités Spectrales de Puissance des différents modulateurs . . .	10
11	Signal de 10 bits en sortie du filtre de réception dans canal de propagation	11
12	Réponse globale de la chaîne de transmission sans canal de propagation	12
13	Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception sans canal de propagation . . .	13
14	Réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 8000$ Hz	14
15	Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 8000$ Hz	15
16	Représentation des filtres en fréquences avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 8000$ Hz	16

17	Réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 1000$ Hz	17
18	Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 1000$ Hz	18
19	Représentation des filtres en fréquences avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 1000$ Hz	19
20	Diagrammes de l'oeil pour différents Rapports Signal sur Bruit	20
21	Taux d'Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur	21
22	Taux d'Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur comparé avec le TEB théorique	22
23	Réponses impulsionnelles des filtres d'émission et de réception.	22
24	Produit de convolution entre $h(t)$ et $h_r(t)$	23
25	Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception pour une chaîne sans bruit . .	23
26	Diagrammes de l'oeil pour différents Rapports Signal sur Bruit	24
27	Taux d'Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur	25
28	Taux d'Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur comparé avec le TEB théorique	26
29	Taux d'Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur comparé avec le TEB de référence	27
30	Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception pour une chaîne sans bruit . .	28
31	Taux d'Erreur Symbole en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur	29
32	Taux d'Erreur Symbole en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur comparé avec le TES théorique	30
33	Taux d'Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur comparé avec le TEB théorique	31
34	Taux d'Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur comparé avec le TEB de référence	32

1 Introduction

L'objectif du travail présenté dans ce rapport était d'étudier la transmission en bande de base. La première partie consiste à mettre en place différents modulateurs en bande de base et comparer leurs performances. La deuxième partie sert à étudier les interférences entre les symboles et à respecter le critère de Nyquist. Cependant la dernière partie étudie l'influence du bruit sur la chaîne de transmission. Les codes fournis pour ce TP sont `Modulationbandebase.m` pour la séquence 1 portant sur la modulation en bande de base. Les codes de la séquence 2 portant sur les interférences de Nyquist sont dans `Interferences_Nyquist.m` et les codes de la séquences 3 portant sur le bruit sont dans `Bruit.m` avec une fonction de génération du bruit dans `genereBruit.m`.

2 Étude de modulateurs bande de base

2.1 Introduction

Ce premier travail va être dédié à l'étude des modulateurs bande de base et, en particulier, à l'identification des éléments ayant un impact sur l'efficacité spectrale obtenue pour la transmission.

2.2 Modulateurs à étudier et comparer

Les modulateurs suivants ont été étudiés et comparés en termes d'efficacité spectrale :

- Modulateur 1 :
 - Mapping : symboles binaires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : rectangulaire de durée $T_{s_1} = N_{s_1} T_e$ et de hauteur 1.
- Modulateur 2 :
 - Mapping : symboles 4-aires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : rectangulaire de durée $T_{s_2} = N_{s_2} T_e$ et de hauteur 1.
- Modulateur 3 :
 - Mapping : symboles binaires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : racine de cosinus surélevé.

2.3 Étude réalisée

Les modulateurs précédemment décrits ont été implantés sous Matlab avec une fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000$ Hz pour transmettre un même débit binaire $R_b = \frac{1}{T_b} = 3000$ bits par seconde. l'affichage du signal transmis est réalisé avec un nombre de bits = 1000 et l'affichage des DSP est réalisé avec un nombre de bits = 100000

2.3.1 Modulateur 1

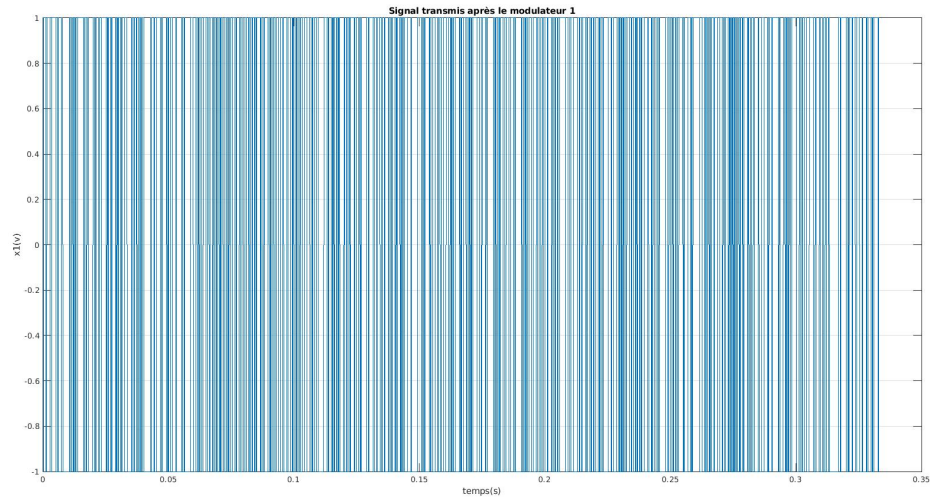


FIGURE 1 – Signal transmis après le modulateur 1.

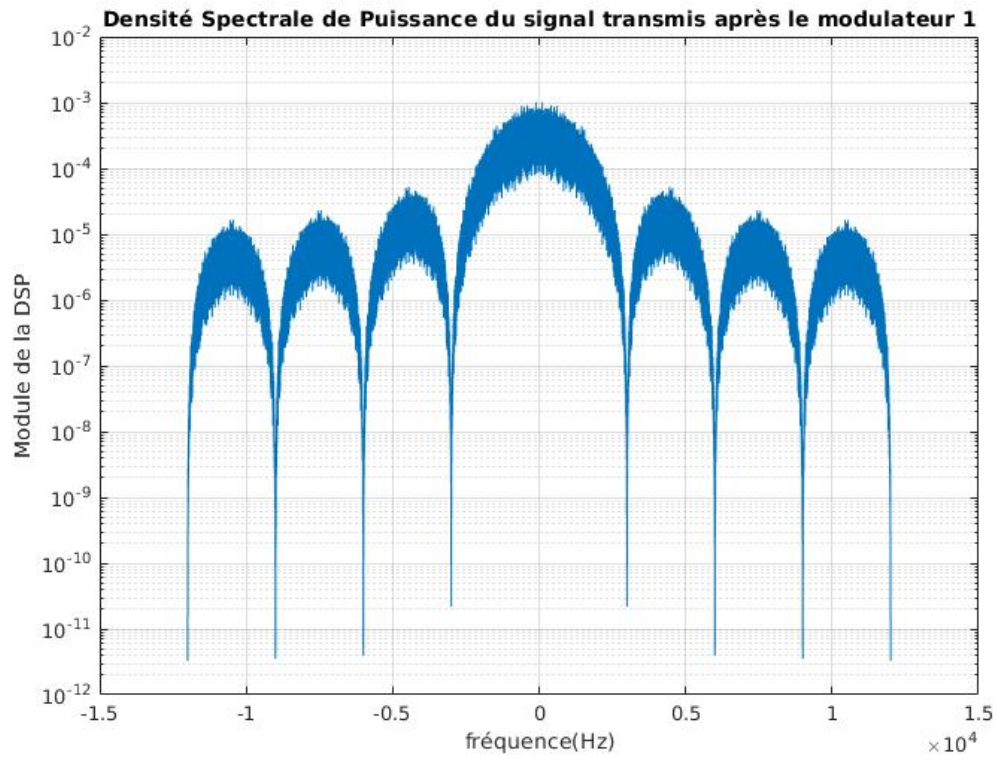


FIGURE 2 – Densité Spectrale de Puissance du signal transmis après le modulateur 1.

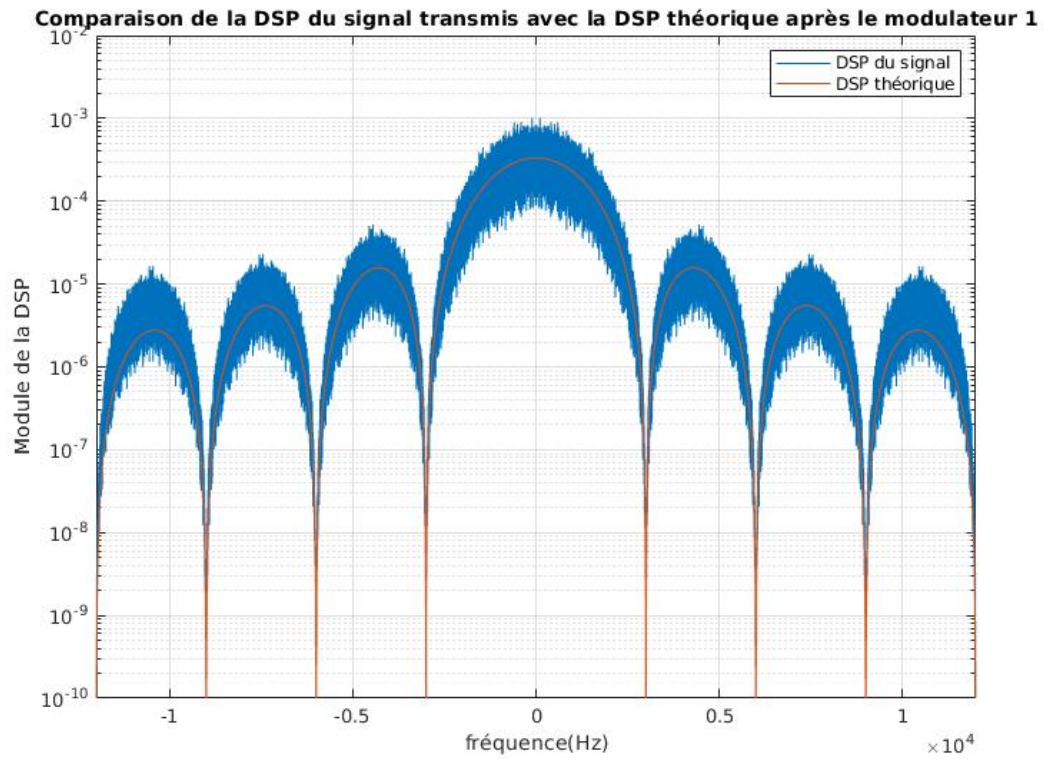


FIGURE 3 – Densité Spectrale de Puissance du signal transmis après le modulateur 1 comparée avec la théorie.

D'après la figure 3, on peut voir que la DSP du signal transmis après le modulateur 1 correspond bien à la DSP théorique.

2.3.2 Modulateur 2

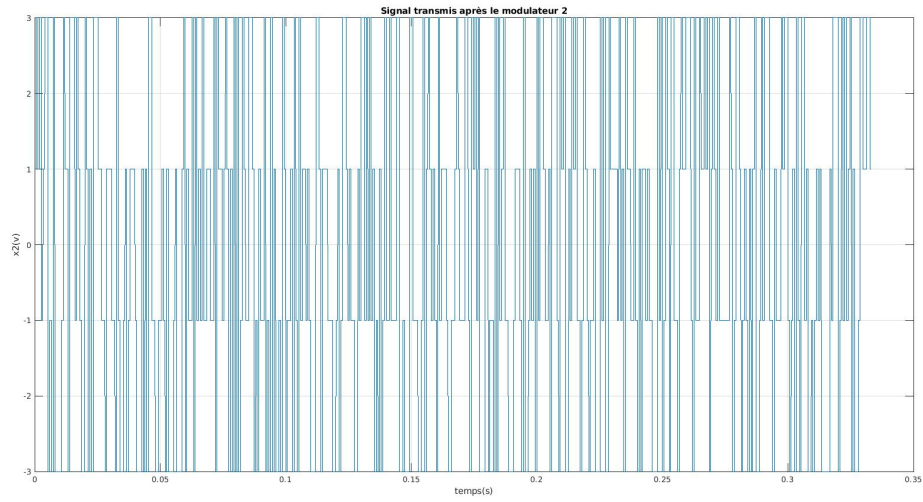


FIGURE 4 – Signal transmis après le modulateur 2.

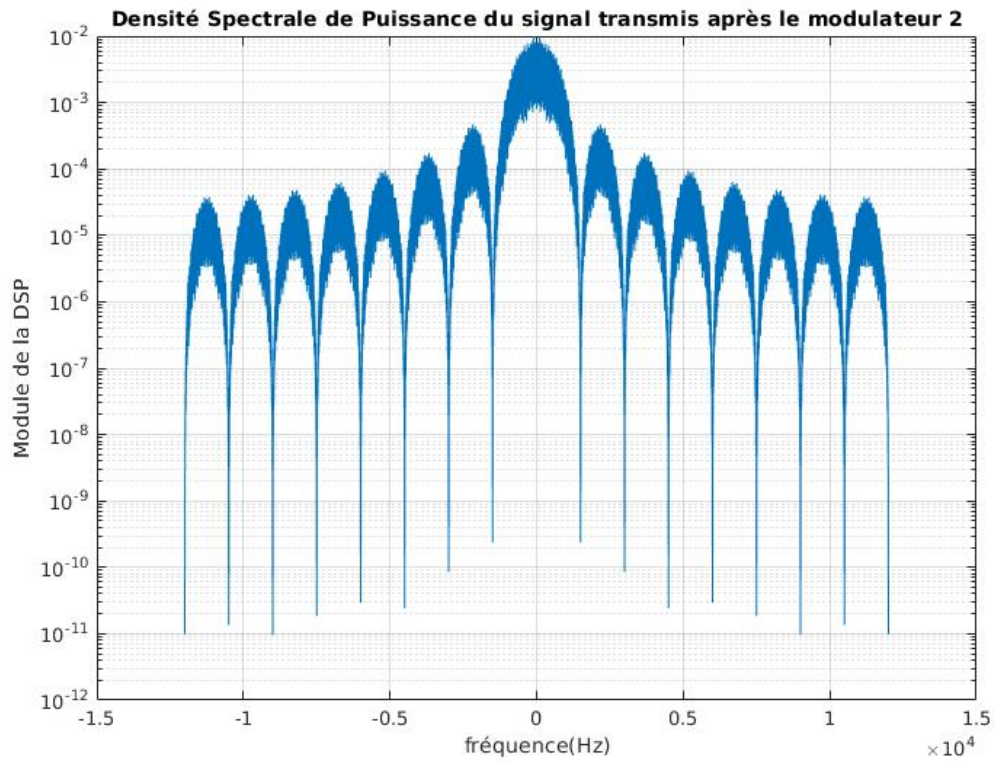


FIGURE 5 – Densité Spectrale de Puissance du signal transmis après le modulateur 2.

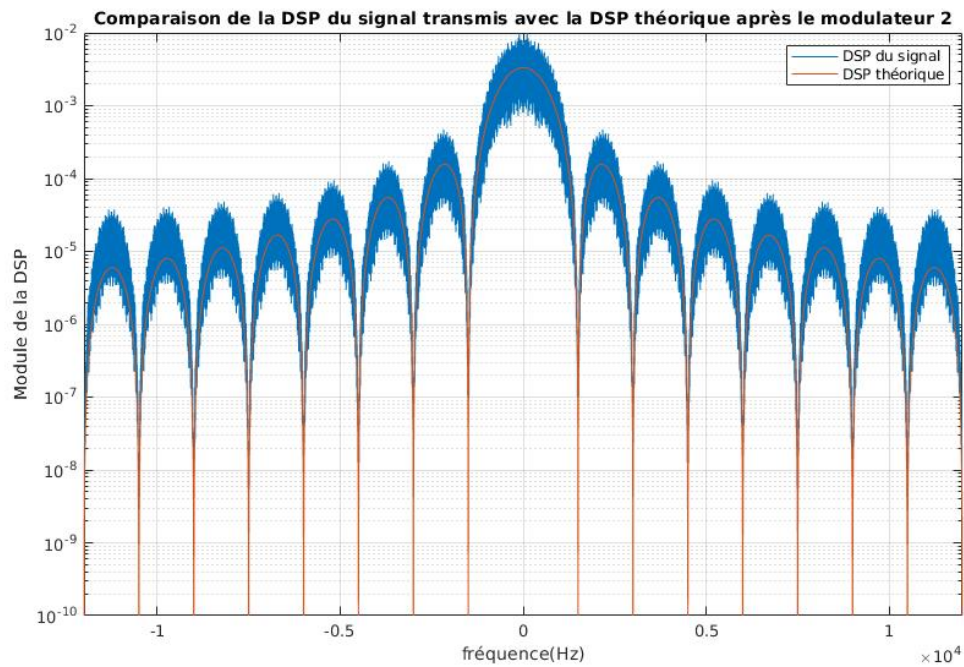


FIGURE 6 – Densité Spectrale de Puissance du signal transmis après le modulateur 2 comparée avec la théorie.

D'après la figure 6, on peut voir que la DSP du signal transmis après le modulateur 2 correspond bien à la DSP théorique.

2.3.3 Modulateur 3

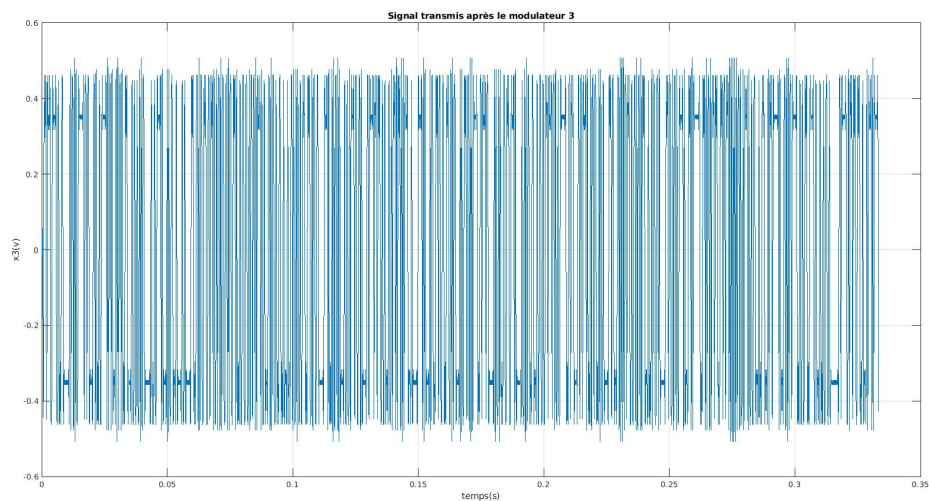


FIGURE 7 – Signal transmis après le modulateur 3.

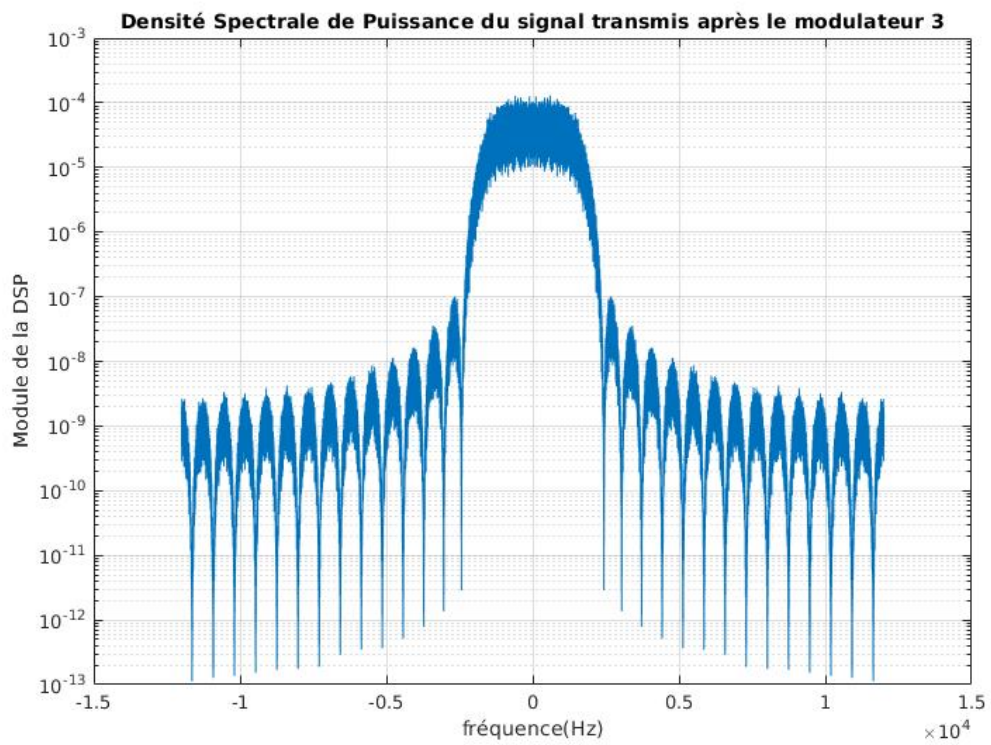


FIGURE 8 – Densité Spectrale de Puissance transmis après le modulateur 3.

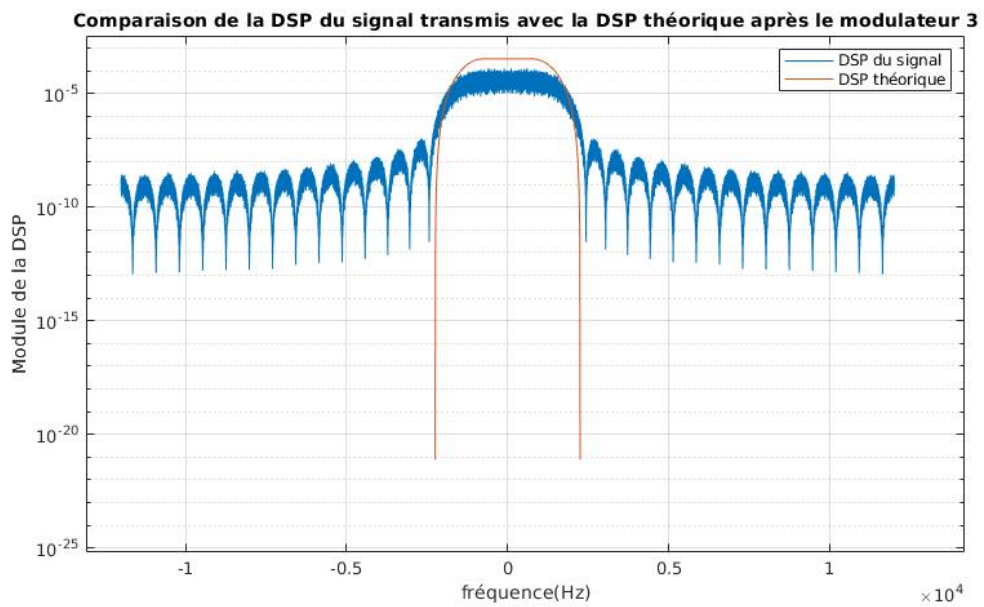


FIGURE 9 – Densité Spectrale de Puissance transmis après le modulateur 3 comparée avec la théorie.

D'après la figure 9, on peut voir que la DSP du signal transmis après le modulateur 3 correspond bien à la DSP théorique.

2.3.4 Comparaison des modulateurs implantés en termes d'efficacité spectrale

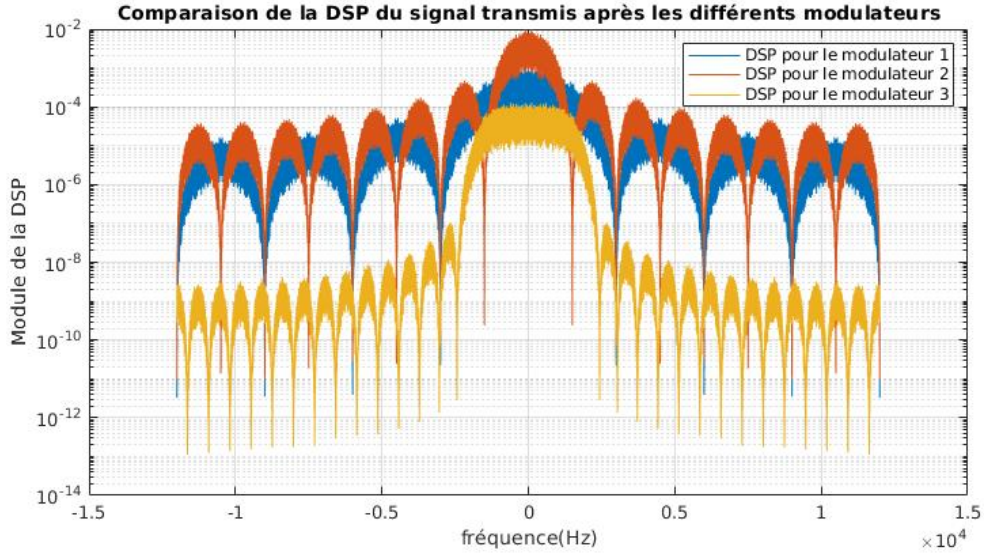


FIGURE 10 – Comparaison des Densités Spectrales de Puissance des différents modulateurs

Pour pouvoir comparer les 3 modulateurs on calcule l'efficacité spectrale de transmission pour chaque modulateur par la formule suivante :

$$\eta = \frac{R_b}{B} = \frac{R_s \times \log_2(M)}{k \times R_s} = \frac{\log_2(M)}{k}$$

Avec B : largeur de la bande

R_b : débit binaire

R_s : débit symbole

M : l'ordre de modulation

k : coefficient tel que $B = k \times R_s$

Pour le premier modulateur on a $B = 3000 \text{ Hz} = R_{s1}$ et $\log_2(M) = 1$ donc $k = 1$ donc l'efficacité spectrale de transmission $\eta_1 = \frac{1}{1} = 1$.

Pour le deuxième modulateur on a $B = 1500 \text{ Hz} = R_{s2}$ et $\log_2(M) = 2$ donc $k = 1$ donc l'efficacité spectrale de transmission $\eta_2 = \frac{2}{1} = 2$.

Pour le troisième modulateur on a $B = 2250 \text{ Hz} = 0,75 \times R_{s3}$ et $\log_2(M) = 1$ donc $k = 0,75$ donc l'efficacité spectrale de transmission $\eta_3 = \frac{1}{0,75} = 1,33$

C'est donc le deuxième modulateur, correspondant au mapping 4-aire à moyenne nulle, qui est le plus efficace spectralement. Ensuite, le troisième modulateur est plus efficace spectralement que le premier modulateur.

Les paramètres permettant d'augmenter l'efficacité spectrale de puissance sont l'ordre de modulation M et le coefficient k

En effet, à M fixé : le modulateur ayant un filtre de mise en forme bien localisé en fréquence (k plus petit et donc une largeur de bande plus petite) est le plus efficace.

Et à k fixé : le modulateur ayant un M plus grand est le modulateur le plus efficace spectralement.

3 Étude des interférences entre symbole et du critère de Nyquist

3.1 Introduction

Cette partie va être dédiée à l'étude des interférences entre symboles dans une chaîne de transmission et à l'intérêt d'y respecter le critère de Nyquist. La chaîne de transmission a été implantée avec une fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000$ Hz pour transmettre un débit binaire $R_b = \frac{1}{T_b} = 3000$ bits par seconde. On a considéré 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 et de hauteur 1.

3.2 Étude sans canal de propagation

En utilisant un nombre de bits = 10, on peut observer l'effet des deux filtres en traçant le signal en sortie du filtre de réception.

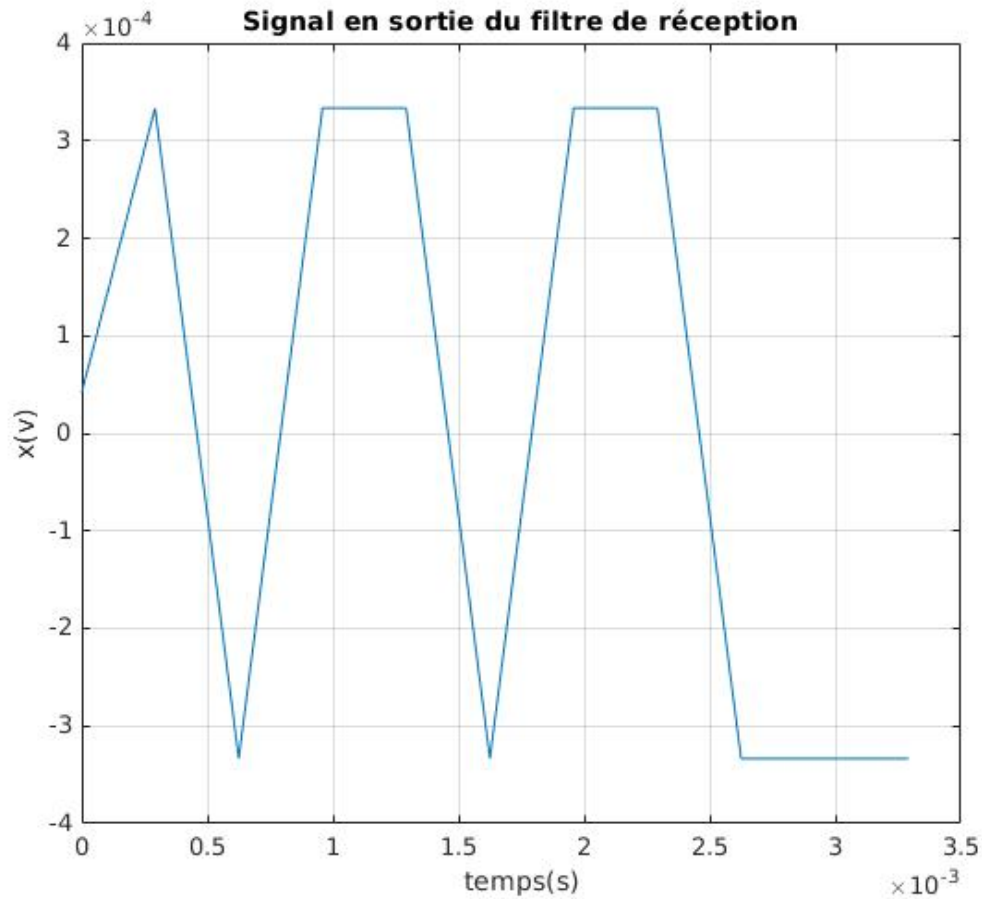


FIGURE 11 – Signal de 10 bits en sortie du filtre de réception dans canal de propagation

Pour ce modulateur $T_s = 3,33 \times 10^{-4}$
On obtient bien une figure entre $-T_s$ et T_s .
Pendant une période de longueur T_s :

- Si on transmet un bit = 0 puis un bit = 1 on obtient une droite croissante de $-T_s \times V$ à $T_s \times V$
- Si on transmet un bit = 1 puis un bit = 1 on obtient une droite constante = $T_s \times V$
- Si on transmet un bit = 0 puis un bit = 0 on obtient une droite constante = $-T_s \times V$
- Si on transmet un bit = 1 puis un bit = 0 on obtient une droite décroissante de $T_s \times V$ à $-T_s \times V$

Cela correspond bien à ce qui est attendu en théorie.

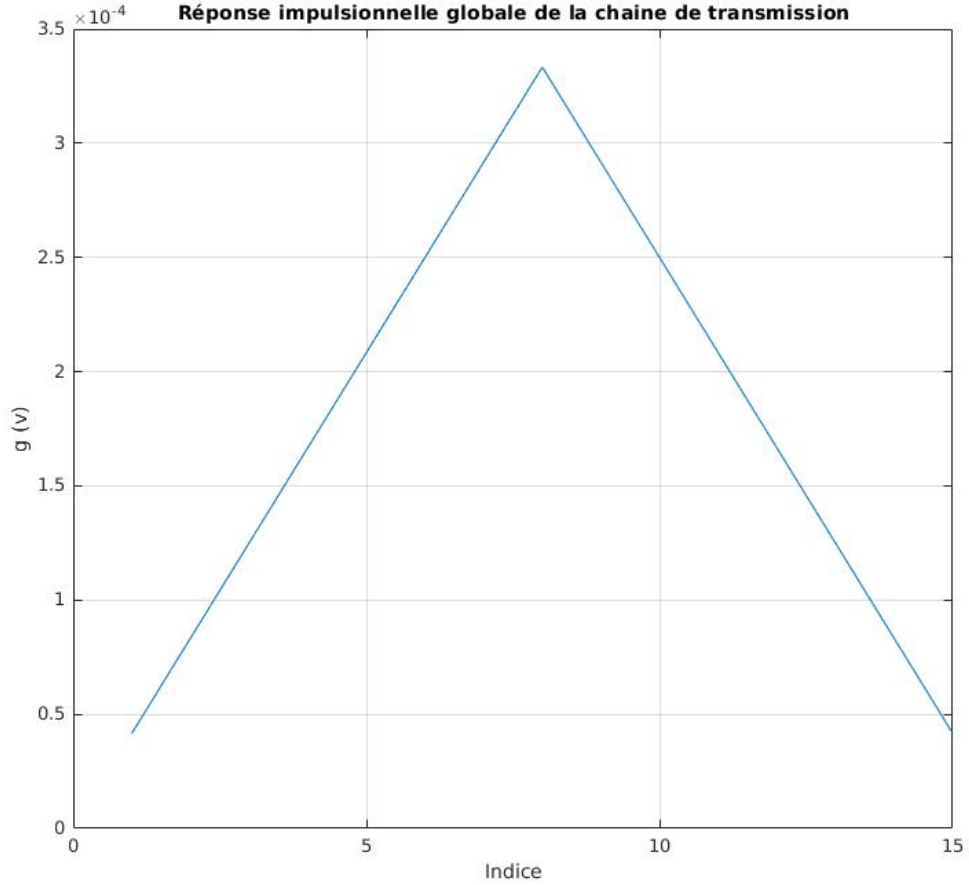


FIGURE 12 – Réponse globale de la chaîne de transmission sans canal de propagation

Le produit de convolution des deux réponses rectangulaires de durée T_s et de hauteur 1 est un triangle de durée $2T_s$ et de hauteur T_s .
Donc la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission $g(t) = h(t) \times h_r(t)$ correspond bien à la théorie.

Il est possible de déterminer l'instant n_0 optimal permettant d'échantillonner aux instants sans interférences entre symboles $n_0 + mN_s$ à partir de la réponse impulsionnelle de la chaîne de transmission g . On choisit l'instant optimal n_0 tel que $g(n_0) \neq 0$ et $\forall k \in \mathbb{Z}, g(n_0 + k \times N_s) = 0$

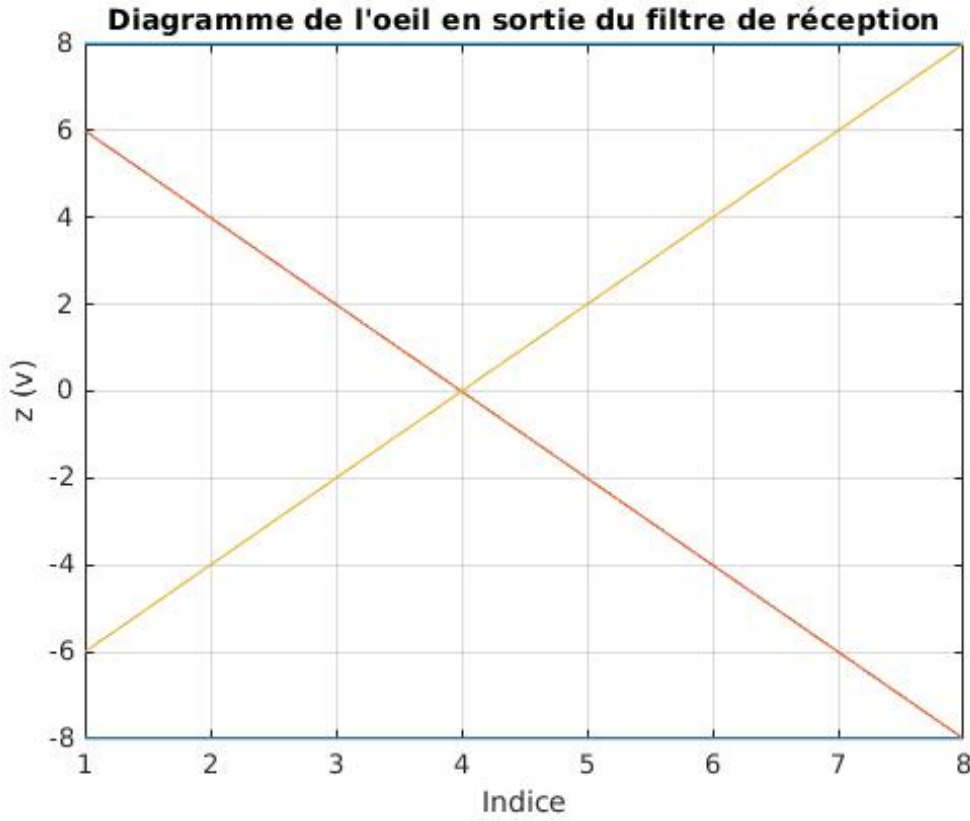


FIGURE 13 – Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception sans canal de propagation

On a obtenu les morceaux mentionnés ci dessus.
Donc le diagramme de l'oeil correspond bien à la théorie.
Puisqu'on a seulement 2 symboles on doit chercher un point où on peut avoir seulement 2 valeurs, s'il plusieurs points correspondent on prend celui qui a le plus grand écart de valeur, pour éviter les interférences.
Donc on choisit ici $n_0 = 8$.
Quand on échantillonne avec le n_0 optimal, le TEB est nul, ce qui est normal puisqu'il n'y a pas de canal de propagation.
Alors qu'en utilisant $n_0 = 3$ qui n'est pas l'instant optimal on aurait un TEB non nul.
Ceci est à cause du terme d'interférence dans cette formule.

$$z(t_0 + mT_s) = a_m \times g(t_0) + \sum_{k \neq m} a_k \times g(t_0 + (m - k)T_s) + w(t_0 + mT_s) \quad (1)$$

Avec :

$$\begin{aligned} a_m \times g(t_0) &: \text{Le terme utile} \\ \sum_{k \neq m} a_k \times g(t_0 + (m - k)T_s) &: \text{Le terme d'interférence entre symboles} \\ w(t_0 + mT_s) &: \text{Le terme de bruit} \end{aligned}$$

Dans notre cas le terme de bruit est nul puisqu'il n'y a pas de canal. Le terme d'interférence est nul si on échantillonne à l'instant optimal et non nul sinon.

3.3 Étude avec canal de propagation sans bruit

On ajoute à la chaîne précédente un canal de propagation à bande limitée BW mais qui n'introduit pas de bruit, en considérant un échantillonnage aux instants optimaux.

1. Pour $BW = 8000$ Hz :

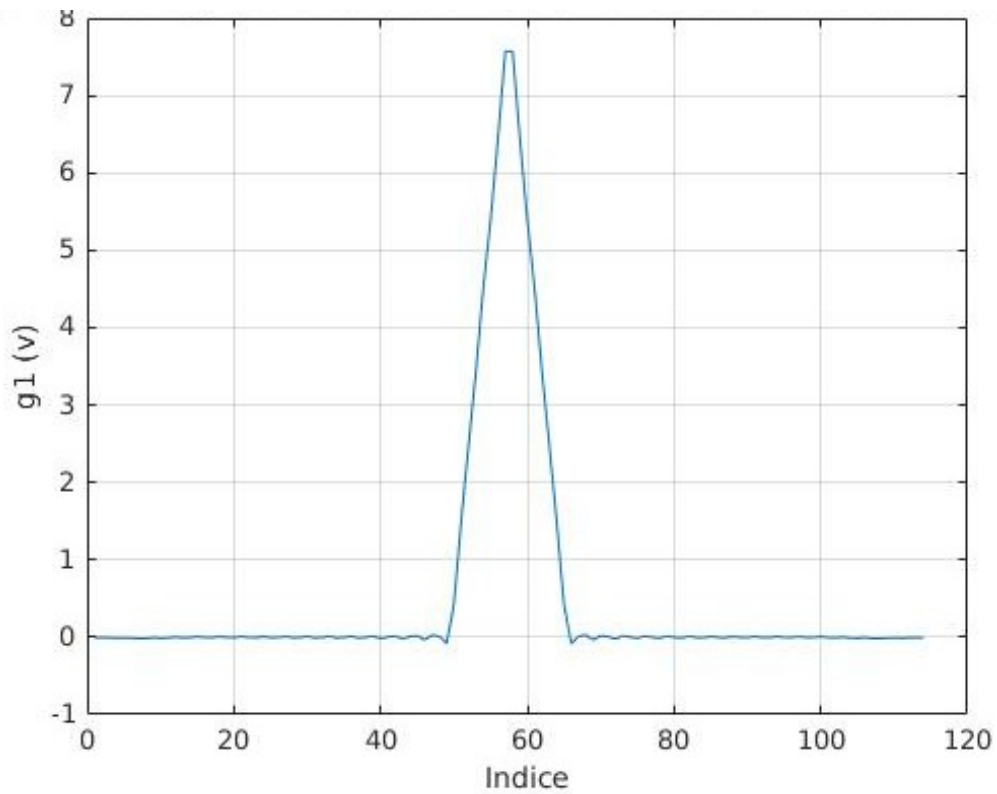


FIGURE 14 – Réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 8000$ Hz

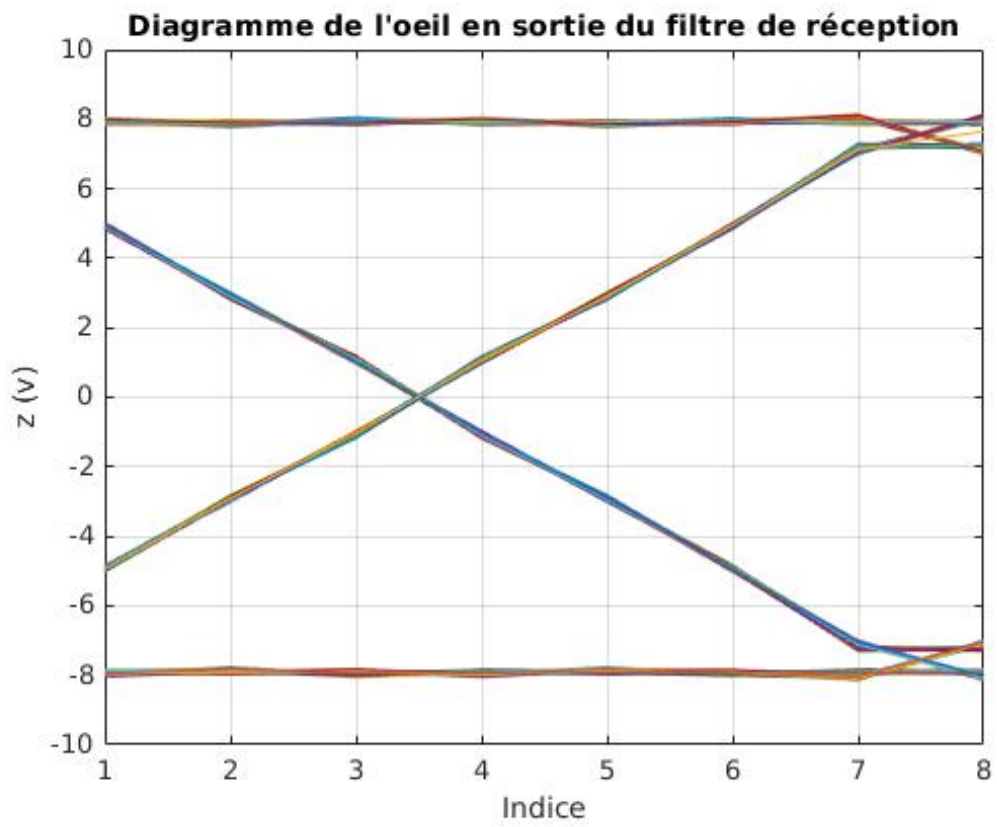


FIGURE 15 – Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 8000$ Hz

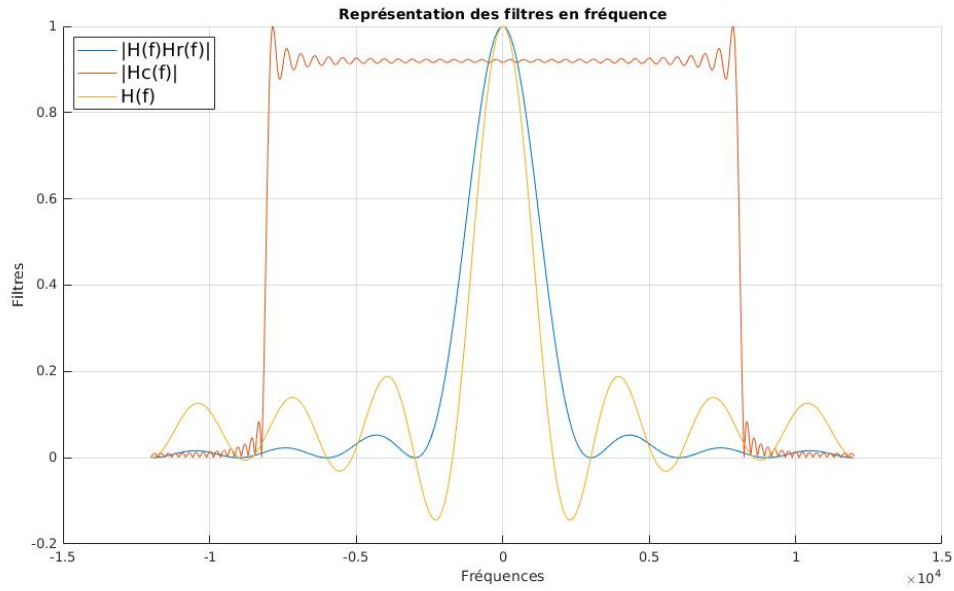


FIGURE 16 – Représentation des filtres en fréquences avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 8000$ Hz

Notre chaîne est encore sans bruit engendré par le canal mais avec un filtre de canal de largeur $BW = 8000$. Notre chaîne de transmission sans ce filtre respecte bien le critère de Nyquist. Donc pour continuer à respecter le critère de Nyquist dans ce cas, la bande passante du canal $BW > f_{max}$. Ce qui est le cas d'après la représentation des filtres en fréquence (figure 16). La réponse impulsionnelle globale est semblable à celle sans ajout du filtre de canal (un triangle), mais sa durée a été réduite. Le diagramme de l'œil montre qu'on peut échantillonner sans avoir trop d'interférence en $n_0 = 8$ d'où le terme d'interférence est bien nul et on obtient dans ce cas un TEB nul.

2. Pour $BW = 1000$ Hz :

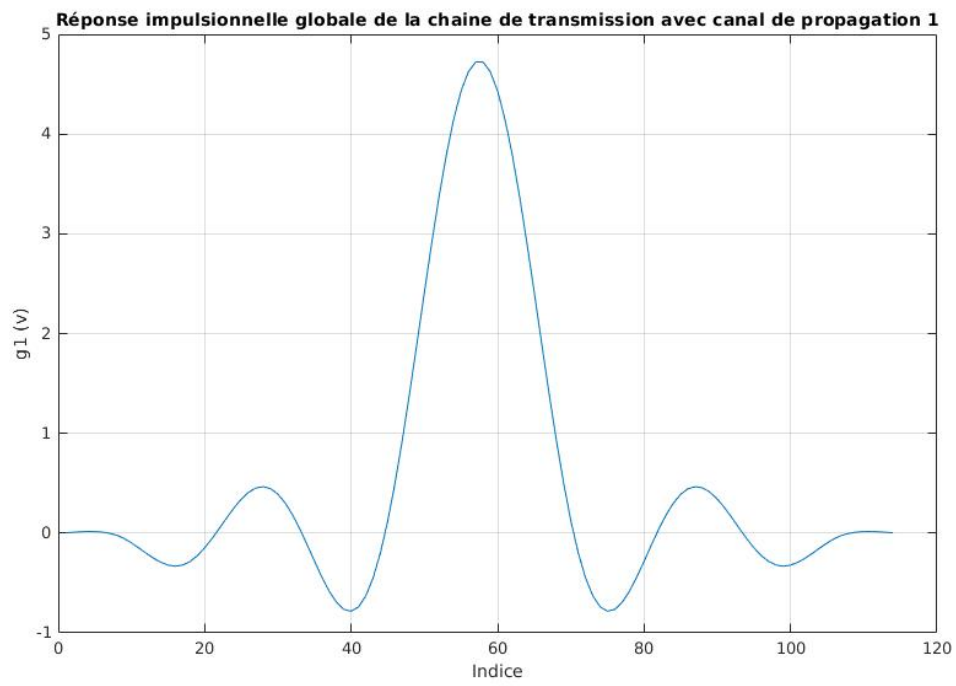


FIGURE 17 – Réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 1000$ Hz

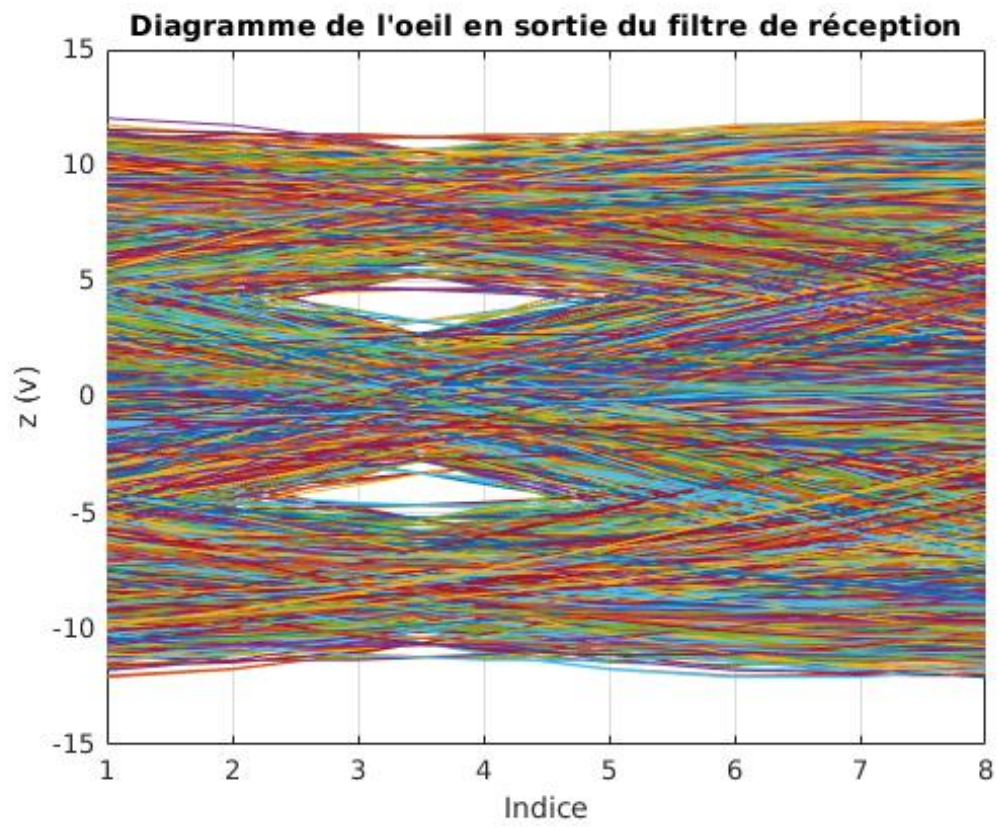


FIGURE 18 – Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 1000$ Hz

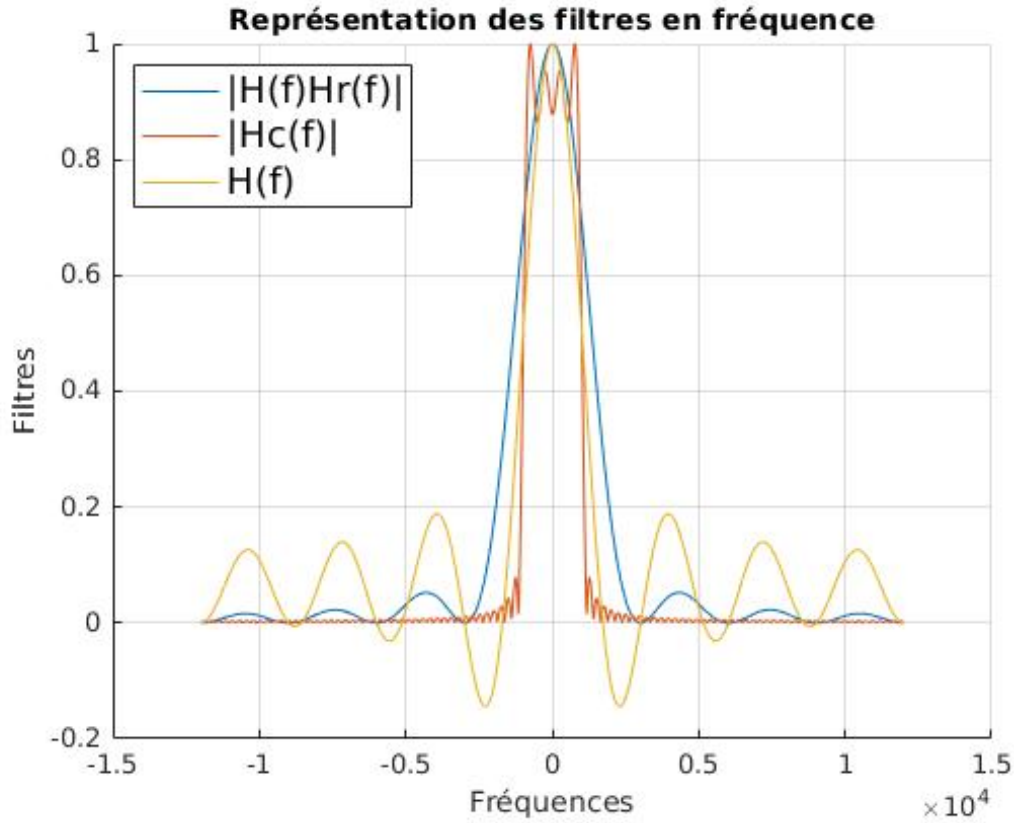


FIGURE 19 – Représentation des filtres en fréquences avec ajout du canal de propagation sans bruit à bande limitée $BW = 1000$ Hz

Dans ce cas on ne respecte pas le critère de Nyquist ce qui est visible sur le diagramme de l'oeil. Le filtre de canal ne permet pas avec $BW = 1000$ de respecter le critère de Nyquist. (la réponse impulsionnelle globale est différente de celle obtenue sans filtre de canal). Et On voit bien sur la représentation des filtres en fréquence que $BW < f_{max}$. Ce qui engendre une interférence entre les symboles et par la suite le terme d'interference est non nul dans la formule numéro 1, et le TEB est par la suite est donc non nul.

4 Étude de l'impact du bruit, filtrage adapté, taux d'erreur binaire, efficacité en puissance

4.1 Introduction

Cette dernière partie est dédiée à l'étude du bruit dans la chaîne de transmission numérique : impact du bruit introduit par le canal sur la transmission, influence du filtrage adapté, calcul et estimation du taux d'erreur binaire (TEB). Pour cela, nous avons implanté sous Matlab différentes chaînes de transmission afin de les analyser et de les comparer en nous focalisant, cette fois, sur leur efficacité en puissance.

4.2 Chaîne de référence

Fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000$ Hz, débit binaire $R_b = 3000$ bits par seconde, mapping binaire à moyenne nulle, réponses impulsionnelles des filtres de mise en forme et de réception, h et

h_r , rectangulaires de durée T_s et de hauteur 1, échantillonnage aux instants $n_0 + mN_s$ optimaux, détecteur à seuil, avec seuil en 0, pour prendre les décisions sur les symboles et demapping adapté au mapping réalisé.

1. Tracé du diagramme de l'oeil pour différentes valeurs de E_b/N_0 .

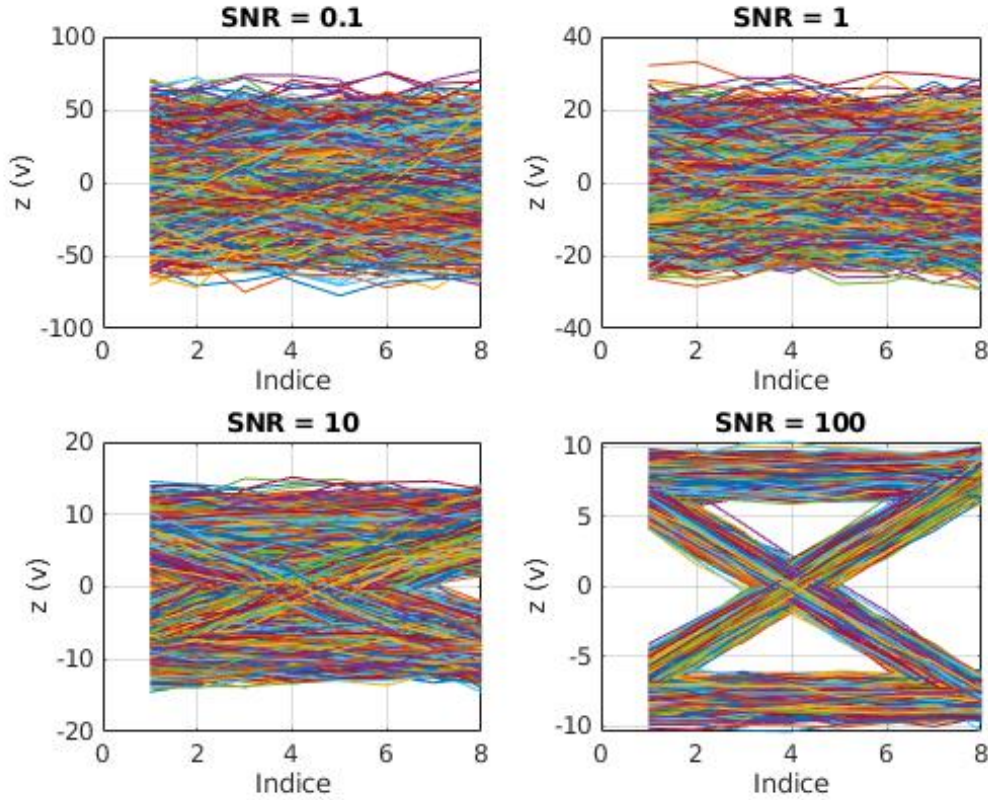


FIGURE 20 – Diagrammes de l'oeil pour différents Rapports Signal sur Bruit

Plus le SNR (Rapport Signal sur Bruit E_b/N_0) est petit, plus le diagramme de l'oeil est bruité et on ne peut plus à partir de ce diagramme déterminer l'instant optimal d'échantillonnage.

2. Tracé du taux d'erreur binaire obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur (E_b/N_0) en décibels pour des valeurs allant de 0 à 8 dB.

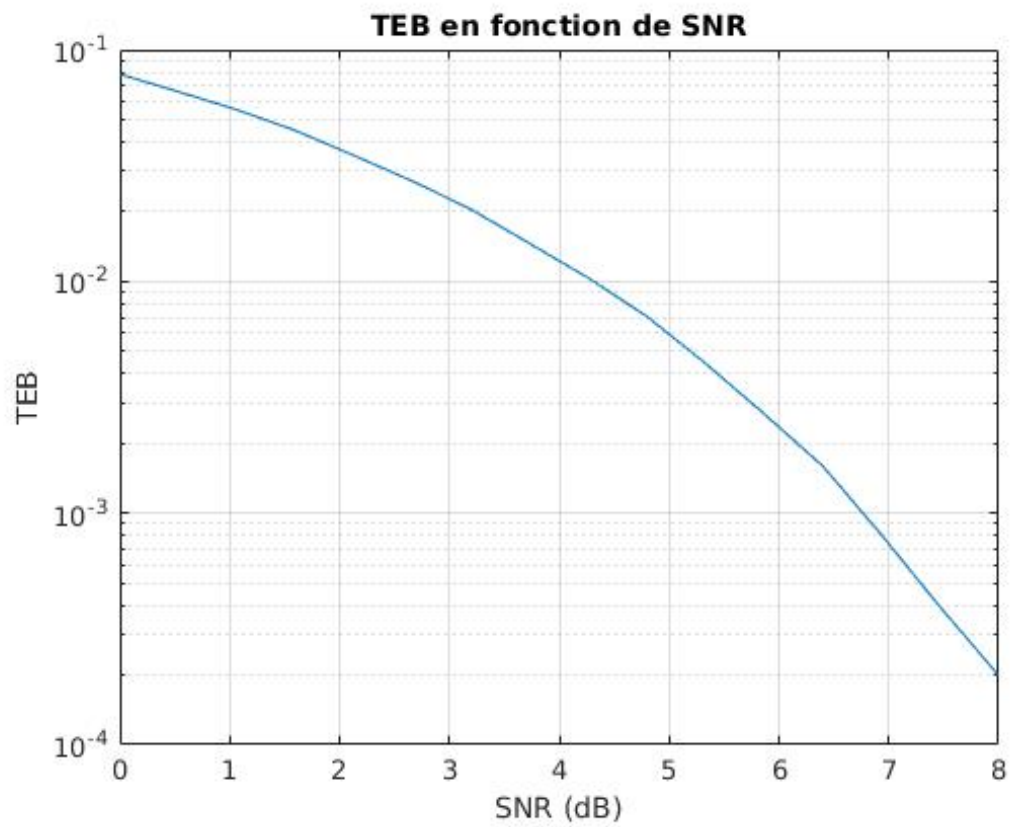


FIGURE 21 – Taux d'Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur

3. Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne étudiée.

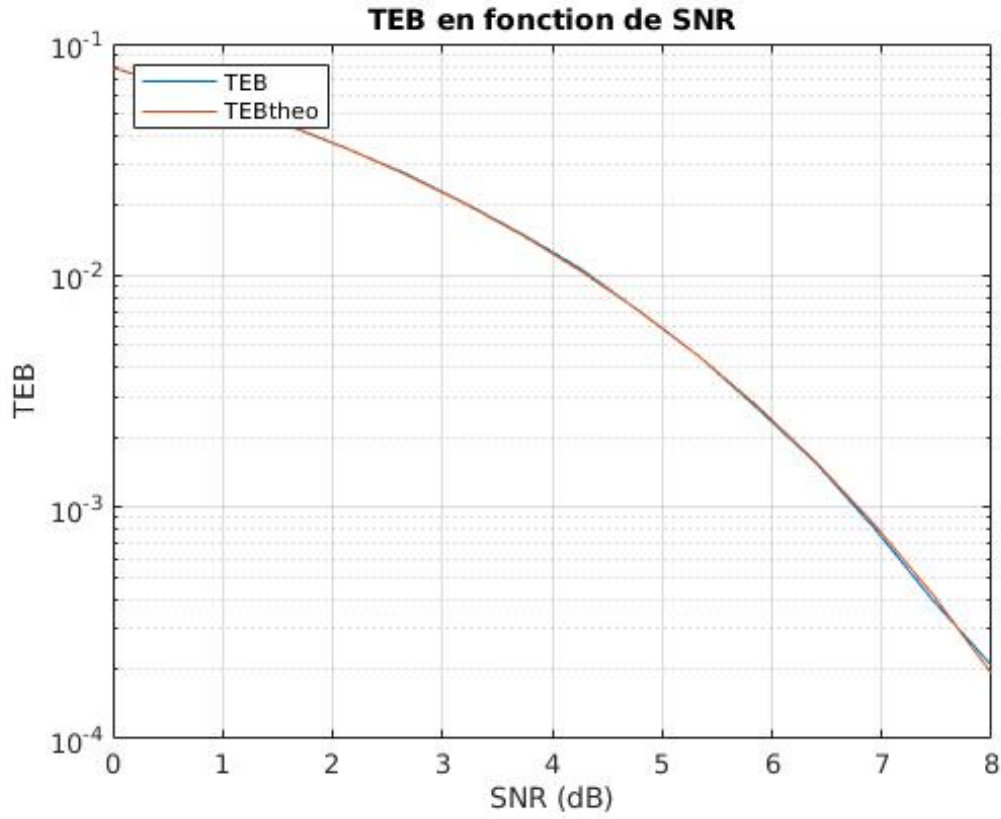


FIGURE 22 – Taux d’Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l’entrée du récepteur comparé avec le TEB théorique

4.3 Première chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence

Fréquence d’échantillonnage $F_e = 24000$ Hz, débit binaire $R_b = 3000$ bits par seconde, mapping binaire à moyenne nulle, réponses impulsionnelles des filtres de mise en forme et de réception, h et h_r , données par la figure 23.

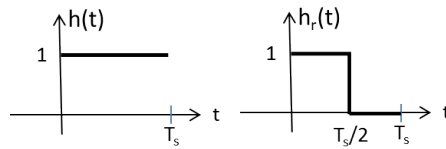


FIGURE 23 – Réponses impulsionnelles des filtres d’émission et de réception.

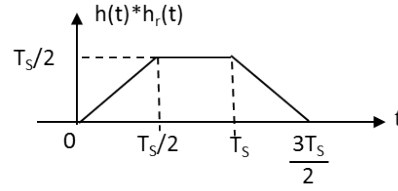


FIGURE 24 – Produit de convolution entre $h(t)$ et $h_r(t)$.

4.3.1 Implantation de la chaine sans bruit

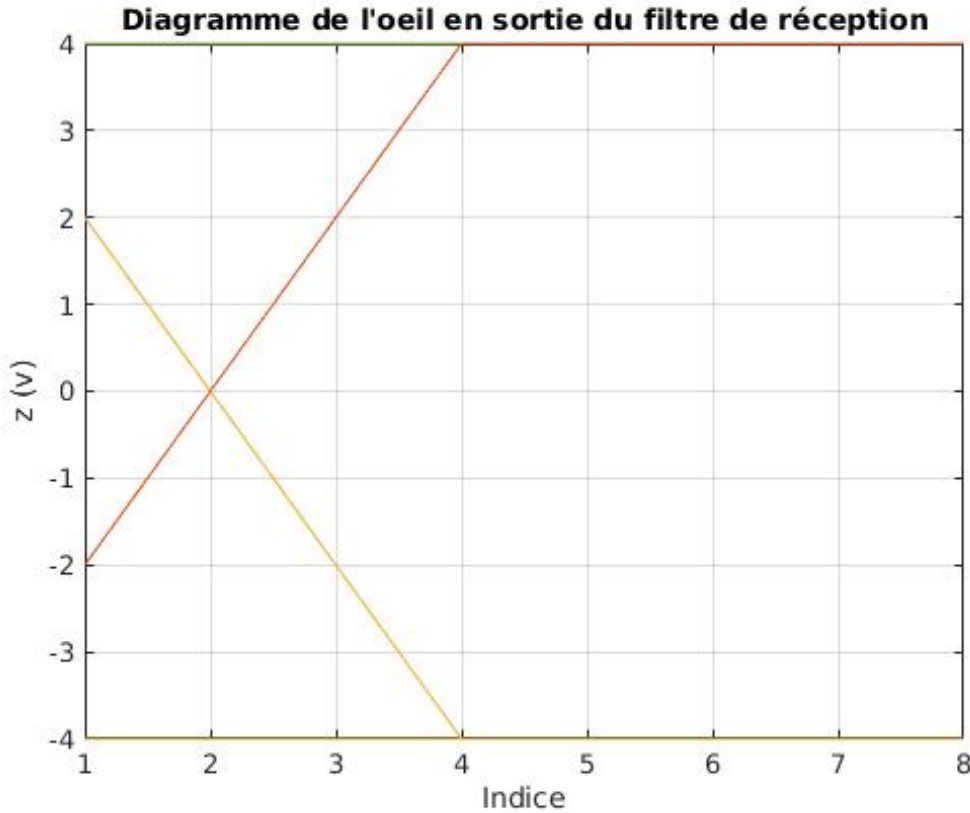


FIGURE 25 – Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception pour une chaine sans bruit

Pour n_0 on peut choisir n'importe quelle valeur dans 4,5,6,7,8 ce qui correspond à des valeurs entre $N_S/2$ et N_S parce qu'on n'a pas d'interférence de symboles en ces points sachant qu'on a $M = 2$ symboles et en ces points on a seulement deux valeurs possibles. Ceci est conforme à la théorie puisqu'en théorie on a trouvé que les instants optimaux sont t_0 appartenant à $[\frac{T_s}{2}, T_s]$ et on a obtenu la même allure. En échantillonnant à un instant optimal on obtient un TEB nul.

4.3.2 Implantation de la chaine avec bruit

1. Tracé du diagramme de l'oeil pour différentes valeurs de E_b/N_0 et identifiez sur ce diagramme de l'oeil quel est l'impact du bruit.

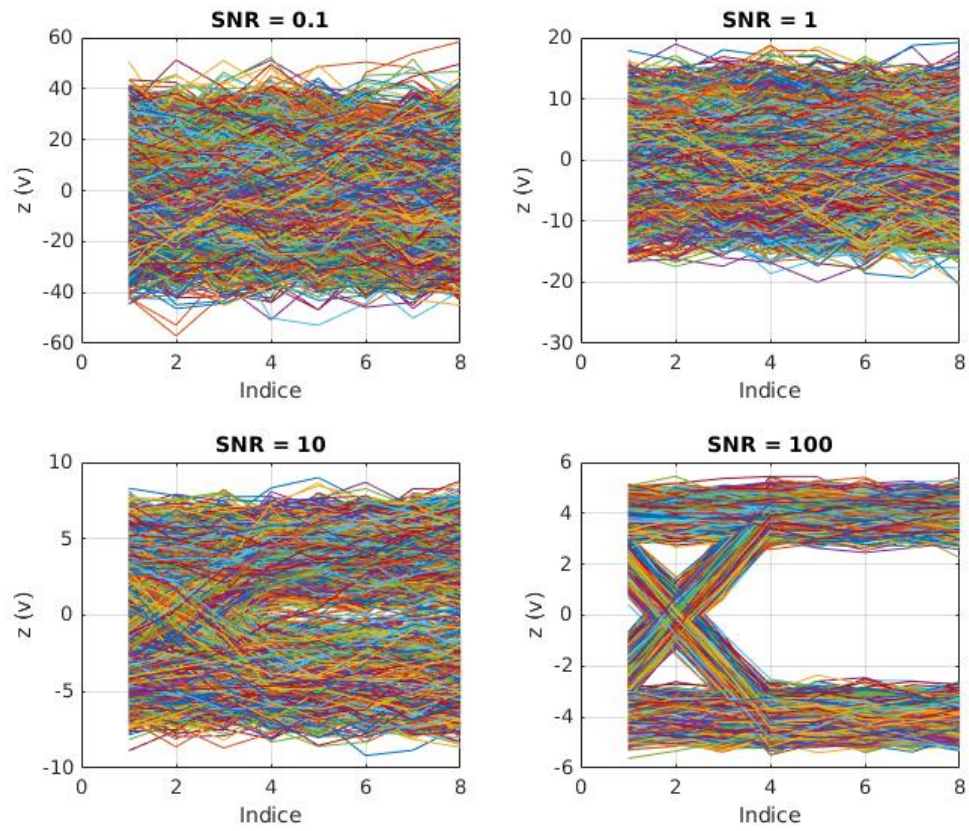


FIGURE 26 – Diagrammes de l'oeil pour différents Rapports Signal sur Bruit

2. Tracé du taux d'erreur binaire obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur (E_b/N_0) en décibels pour des valeurs allant de 0 à 8 dB.

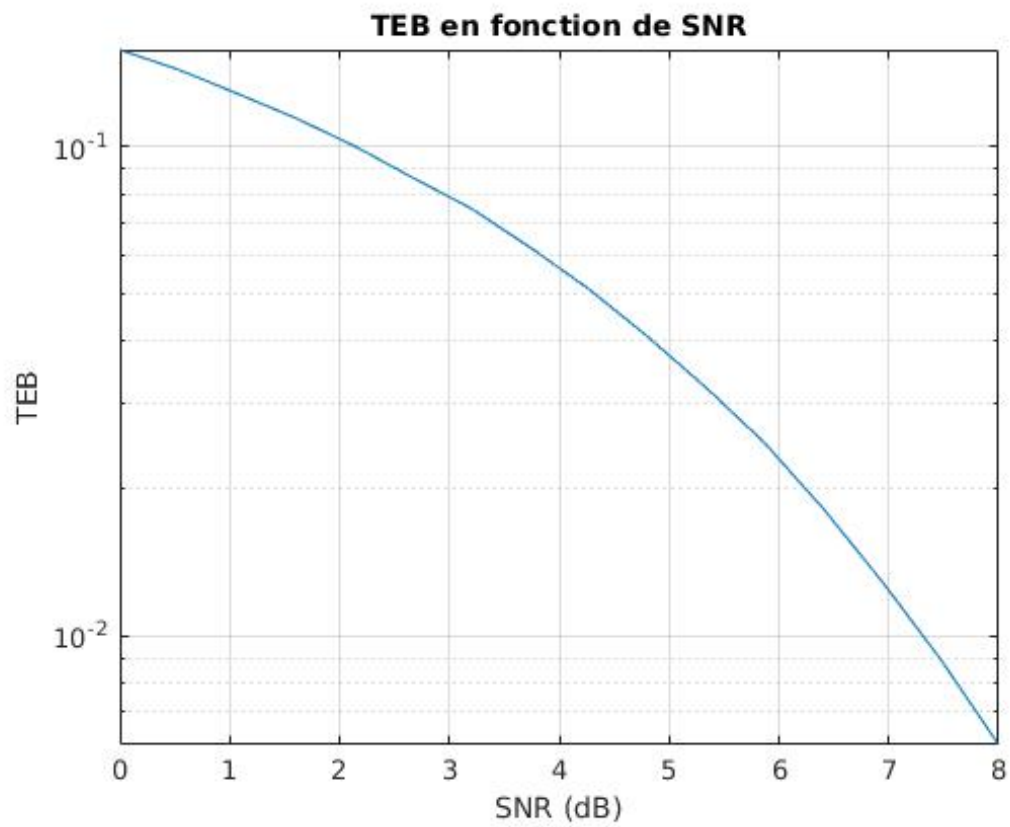


FIGURE 27 – Taux d'Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur

3. Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne étudiée.

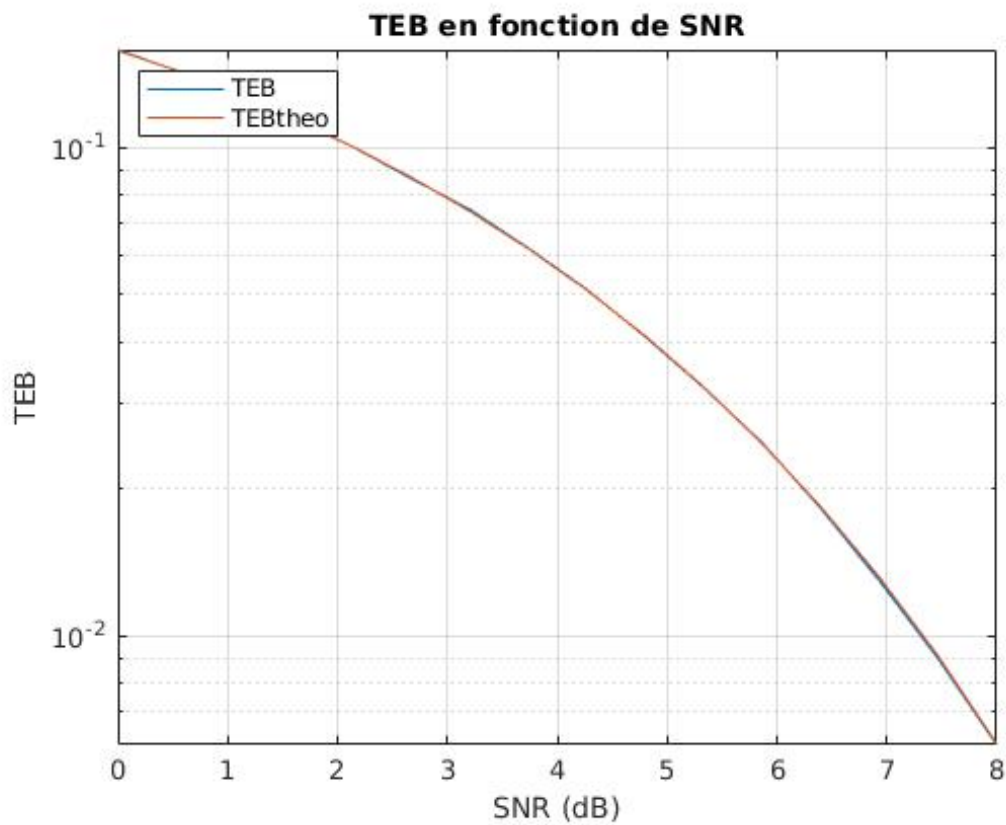


FIGURE 28 – Taux d’Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l’entrée du récepteur comparé avec le TEB théorique

4. Tracé du TEB obtenu par simulation pour la chaine de transmission étudiée et celui du TEB de la chaine de référence.

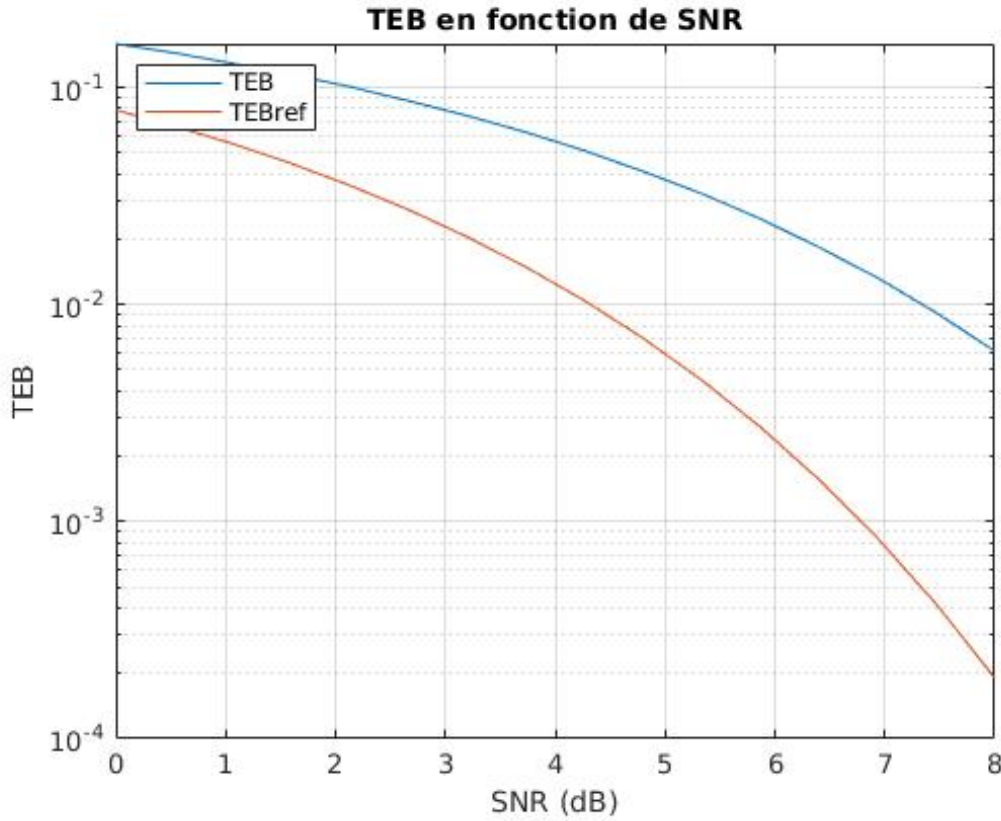


FIGURE 29 – Taux d’Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l’entrée du récepteur comparé avec le TEB de référence

On observe que la chaîne de référence a un TEB inférieur au TEB de la chaîne étudiée pour un même rapport signal sur bruit. Comme la chaîne de référence a le filtre de réception adapté au filtre de modulation, ce qui n’est pas le cas de la chaîne implantée, il est normal qu’elle soit plus efficace.

5. La chaîne de transmission et la chaîne de référence utilisent le même modulateur (le modulateur 1 : modulateur binaire), ils ont donc la même efficacité spectrale.

4.4 Deuxième chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence

Fréquence d’échantillonnage $F_e = 24000$ Hz, débit binaire $R_b = 3000$ bits par seconde, mapping 4-aire à moyenne nulle (symboles $a_k \in \{-3, -1, 1, 3\}$), réponses impulsionnelles des filtres de mise en forme et de réception, h et h_r , rectangulaires de hauteur 1 et de durée T_s .

4.5 Implantation de la chaîne sans bruit

Tracé du diagramme de l’oeil en sortie du filtre de réception sur la durée T_s (N_s échantillons).

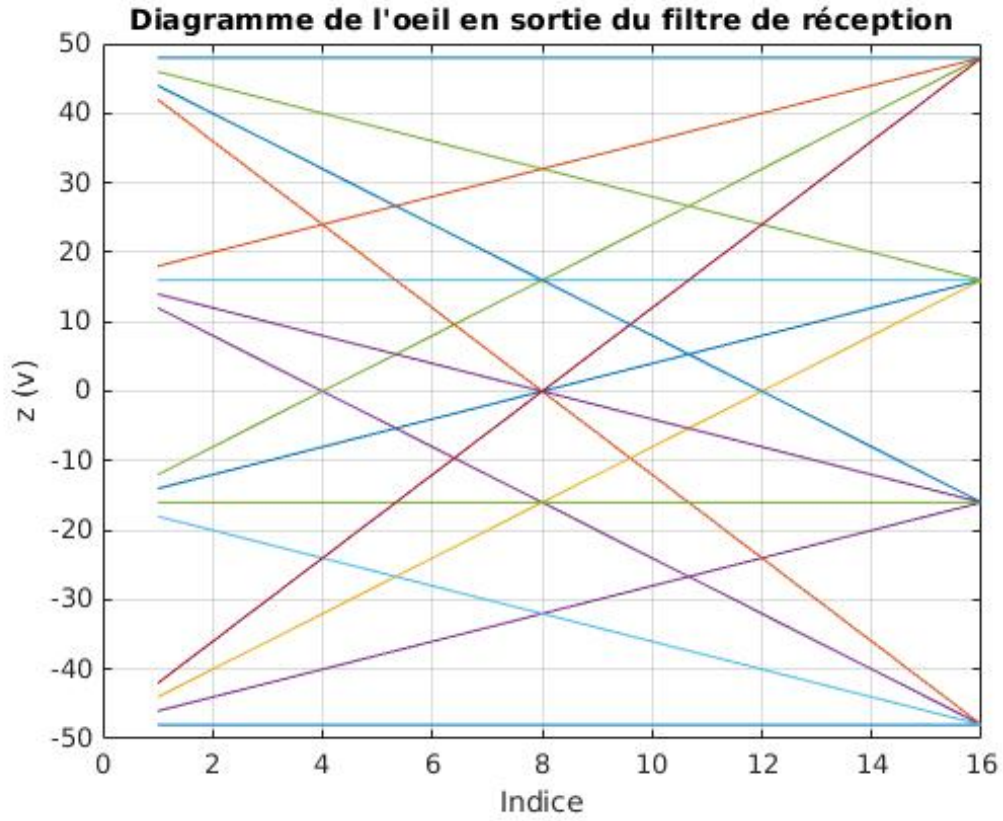


FIGURE 30 – Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception pour une chaîne sans bruit

Pour n_0 on choisit 16 car c'est là qu'il y a le moins de point et où ils sont le plus espacés. Cela correspond à une valeur de $2 \times N_s$. Ceci est conforme à la théorie puisqu'en théorie on a trouvé que l'instant optimal est $t_0 = 2 \times T_s$ et on a obtenu la même allure. En échantillonnant à un instant optimal on obtient un TEB nul.

4.6 Implantation de la chaîne avec bruit

1. Tracé du taux d'erreur symbole obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur (E_b/N_0) en décibels pour des valeurs allant de 0 à 8 dB.

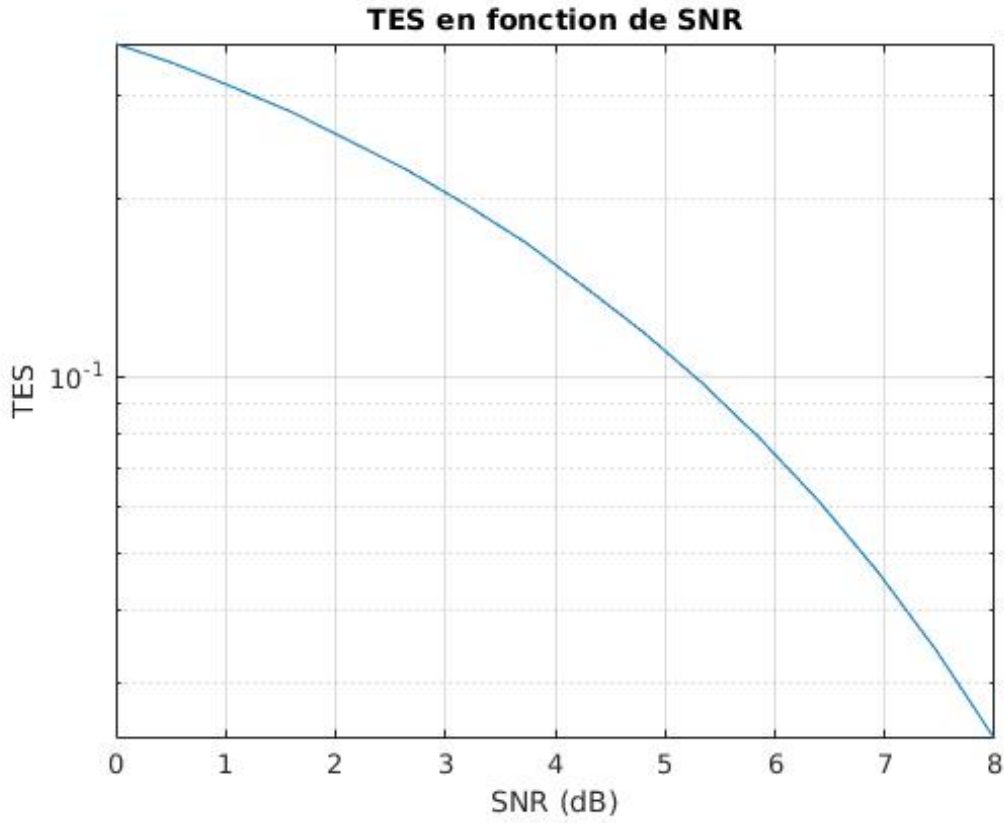


FIGURE 31 – Taux d’Erreur Symbole en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l’entrée du récepteur

2. Tracé du TES simulé et du TES théorique de la chaîne étudiée, avec un TES théorique de :

$$TES = \frac{3}{2} Q \left(\sqrt{\frac{4}{5} \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

pour une transmission de symboles 4-aires indépendants prenant leurs valeurs dans $\pm 1, \pm 3$, en utilisant une chaîne de transmission respectant le critère de Nyquist, le critère de filtrage adapté et utilisant les instants optimaux d’échantillonnage et seuils optimaux de décision.

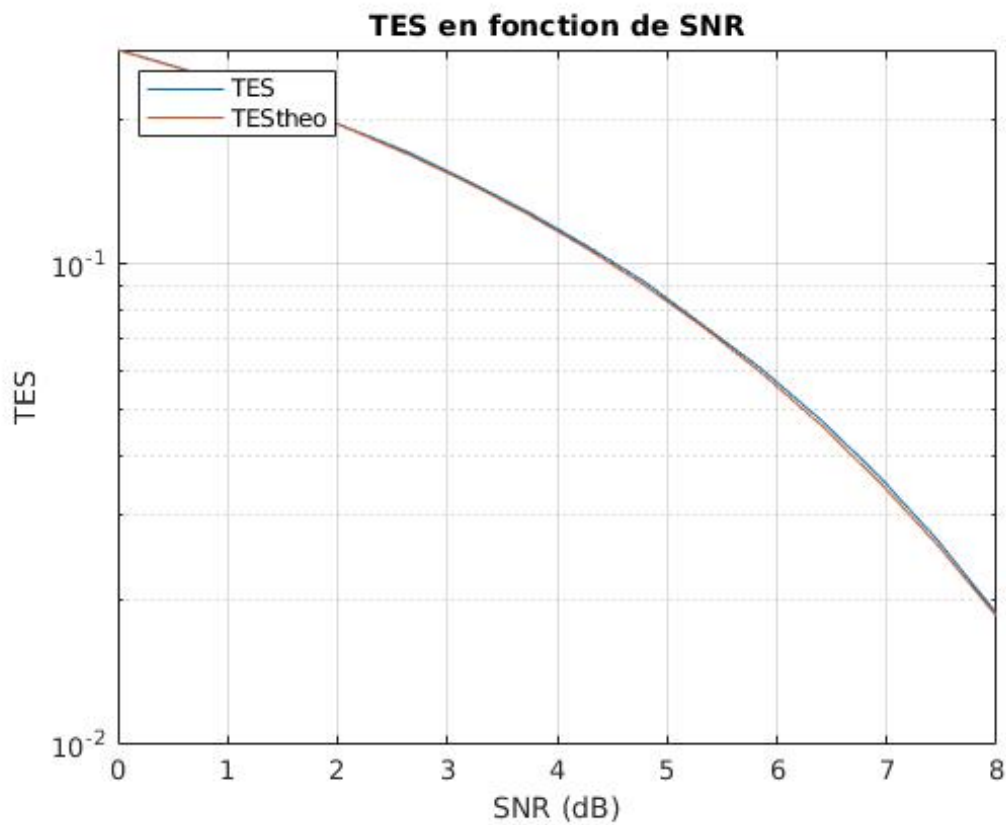


FIGURE 32 – Taux d'Erreur Symbole en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l'entrée du récepteur comparé avec le TES théorique

3. Tracé du TEB obtenu par simulation pour la chaîne de transmission étudiée et du TEB théorique suivant :

$$TEB = \frac{3}{4}Q\left(\sqrt{\frac{4}{5}\frac{E_b}{N_0}}\right)$$

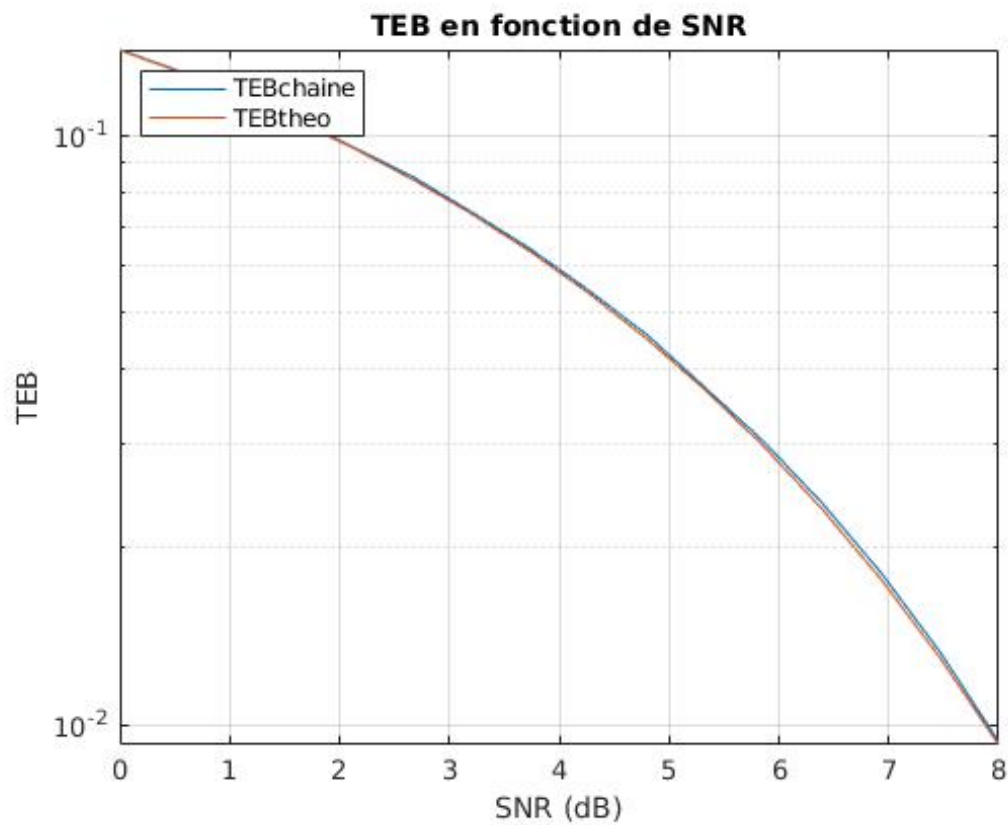


FIGURE 33 – Taux d’Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l’entrée du récepteur comparé avec le TEB théorique

4. Tracés du TEB obtenu par simulation pour la chaîne de transmission étudiée et du TEB de la chaîne de référence.

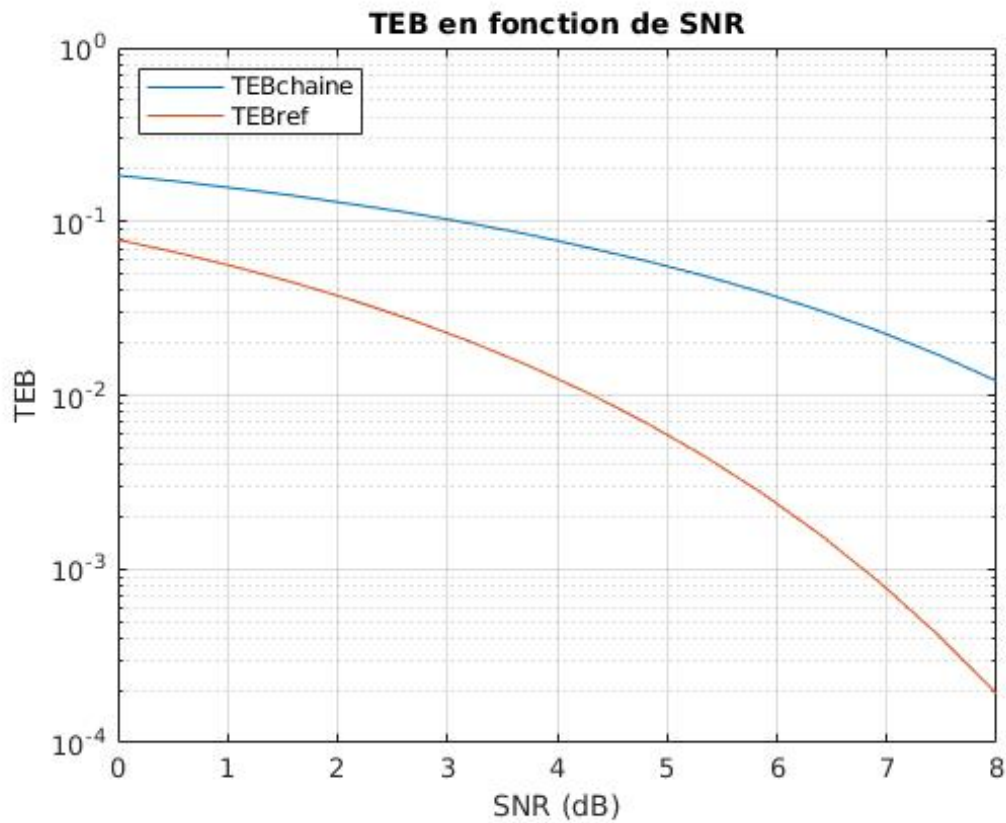


FIGURE 34 – Taux d’Erreur Binaire en fonction du Rapport Signal sur Bruit à l’entrée du récepteur comparé avec le TEB de référence

On observe que la chaîne de référence a un TEB inférieur au TEB de la chaîne étudiée pour un même rapport signal sur bruit. Comme la chaîne de référence a le filtre de réception adapté au filtre de modulation, ce qui n’est pas le cas de la chaîne implantée, il est normal qu’elle soit plus efficace.

5. La chaîne de transmission et la chaîne de référence utilisent le même modulateur (le modulateur 2 : modulateur 4-aire), ils ont donc la même efficacité spectrale.