



Rapport du TP1 de télécommunications : Étude de transmissions en bande de base

Tom Bonetto
Mickaël Song

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	4
2.3.2	Modulateur 2	6
2.3.3	Modulateur 3	7
2.3.4	Comparaison des modulateurs implantés en termes d'efficacité spectrale . .	9
3	Étude des interférences entre symbole et du critère de Nyquist	9
3.1	Introduction	9
3.2	Étude sans canal de propagation	9
3.3	Étude avec canal de propagation sans bruit	12
4	Étude de l'impact du bruit, filtrage adapté, taux d'erreur binaire, efficacité en puissance	14
4.1	Introduction	14
4.2	Chaîne de référence	15
4.3	Première chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence	18
4.3.1	Implantation de la chaîne sans bruit	19
4.3.2	Implantation de la chaîne avec bruit	19
4.4	Deuxième chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence	24
4.5	Implantation de la chaîne sans bruit	24
4.6	Implantation de la chaîne avec bruit	24
5	Annexes éventuelles	27

Table des figures

1	Signal transmis avec une échelle temporelle en secondes pour le 1er modulateur. . .	4
2	DSP du signal transmis avec une échelle fréquentielle en Hz pour le 1er modulateur.	5
3	Comparaison du tracé obtenu pour la DSP simulée avec celui de la DSP théorique du signal généré pour le 1er modulateur.	5
4	Signal transmis avec une échelle temporelle en secondes pour le 2ieme modulateur.	6
5	DSP du signal transmis avec une échelle fréquentielle en Hz pour le 2ieme modulateur.	6
6	Comparaison du tracé obtenu pour la DSP simulée avec celui de la DSP théorique du signal généré pour le 2ieme modulateur.	7
7	Signal transmis avec une échelle temporelle en secondes pour le 3ieme modulateur.	7
8	DSP du signal transmis avec une échelle fréquentielle en Hz pour le 3ieme modulateur.	8
9	Comparaison du tracé obtenu pour la DSP simulée avec celui de la DSP théorique du signal généré pour le 3ieme modulateur.	8
10	Comparaison des DSP des signaux générés par les différents modulateurs étudiés .	9
11	Tracé du signal en sortie du filtre de réception.	10
12	Tracé de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission g	10
13	Tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception	11
14	Tracé de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission	12
15	Tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception	12
16	Tracé de la réponse en fréquence de $ H(f)H_r(f) $ et $ H_c(f) $	13
17	Tracé de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission	13
18	Tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception	14

19	Tracé de la réponse en fréquence de $ H(f)H_r(f) $ et $ H_c(f) $	14
20	Tracé du diagramme de l'oeil pour $E_b/N_0 = 0dB$	15
21	Tracé du diagramme de l'oeil pour $E_b/N_0 = 5dB$	15
22	Tracé du diagramme de l'oeil pour $E_b/N_0 = 8dB$	16
23	Tracé du taux d'erreur binaire obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur	17
24	Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne étudiée	17
25	Réponses impulsionnelles des filtres d'émission et de réception.	18
26	Produit de convolution entre $h(t)$ et $h_r(t)$	18
27	Tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception	19
28	Tracé du diagramme de l'oeil pour $E_b/N_0 = 5dB$	20
29	Tracé du diagramme de l'oeil pour $E_b/N_0 = 12dB$	20
30	Tracé du diagramme de l'oeil pour $E_b/N_0 = 20dB$	21
31	Tracé du taux d'erreur binaire obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur	21
32	Tracé du TEB de la chaîne 1 et du TEB théorique	22
33	Tracé du TEB de la chaîne 1 et TEB de la chaîne de référence	22
34	Tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception sur la durée T_s	24
35	Tracé du taux d'erreur symbole obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur	25
36	Tracé du TES simulé et du TES théorique de la chaîne étudiée	26
37	Tracé du TEB obtenu par simulation pour la chaîne de transmission étudiée et du TEB de la chaîne de référence	27

1 Introduction

L'objectif du travail présenté dans ce rapport était d'étudier les paramètres qui impactent l'efficacité spectrale et l'efficacité en puissance du signal en bande de base. Pour identifier ces paramètres, nous avons mis en place plusieurs chaînes de transmission avec des modulateurs et des démodulateurs différents et nous avons également l'impact sur le taux d'erreur binaire du canal de propagation.

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.

2.3.1 Modulateur 1

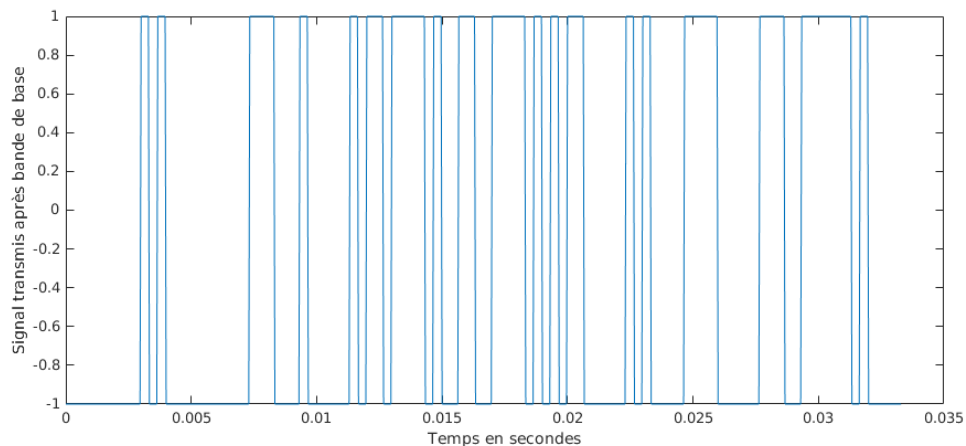


FIGURE 1 – Signal transmis avec une échelle temporelle en secondes pour le 1er modulateur.

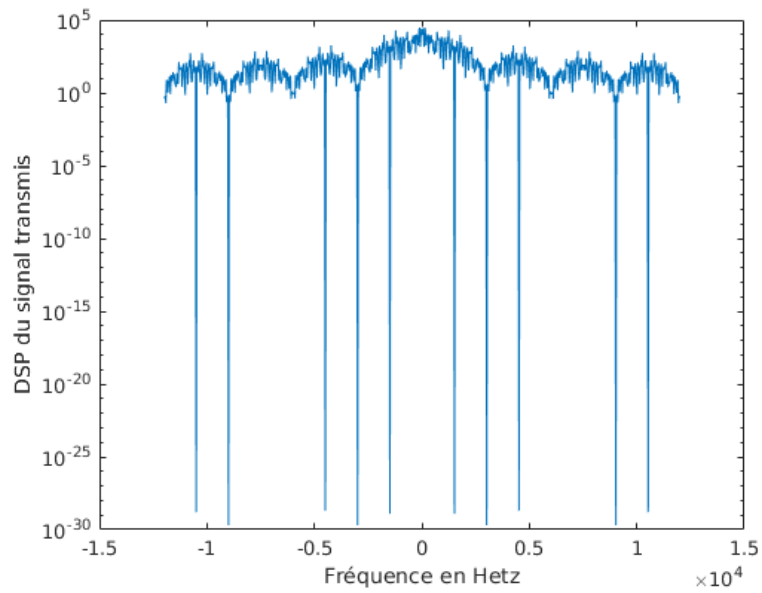


FIGURE 2 – DSP du signal transmis avec une échelle fréquentielle en Hz pour le 1er modulateur.

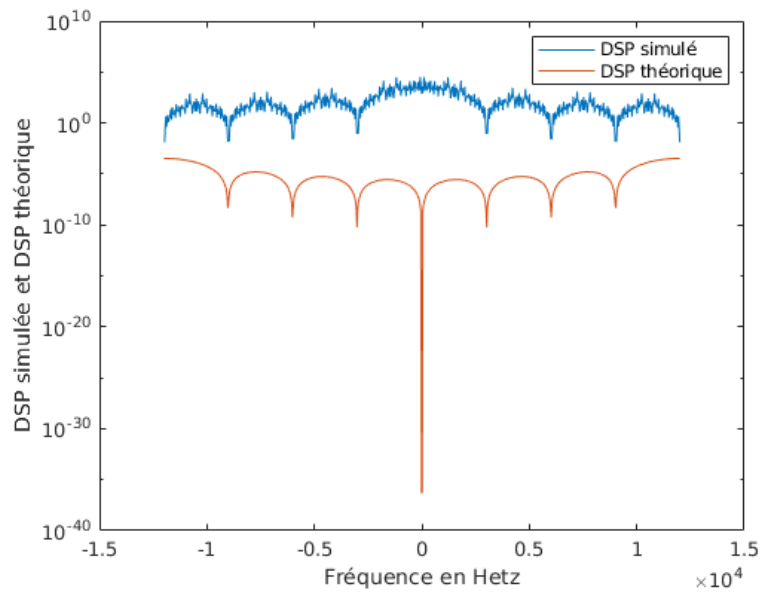


FIGURE 3 – Comparaison du tracé obtenu pour la DSP simulée avec celui de la DSP théorique du signal généré pour le 1er modulateur.

2.3.2 Modulateur 2

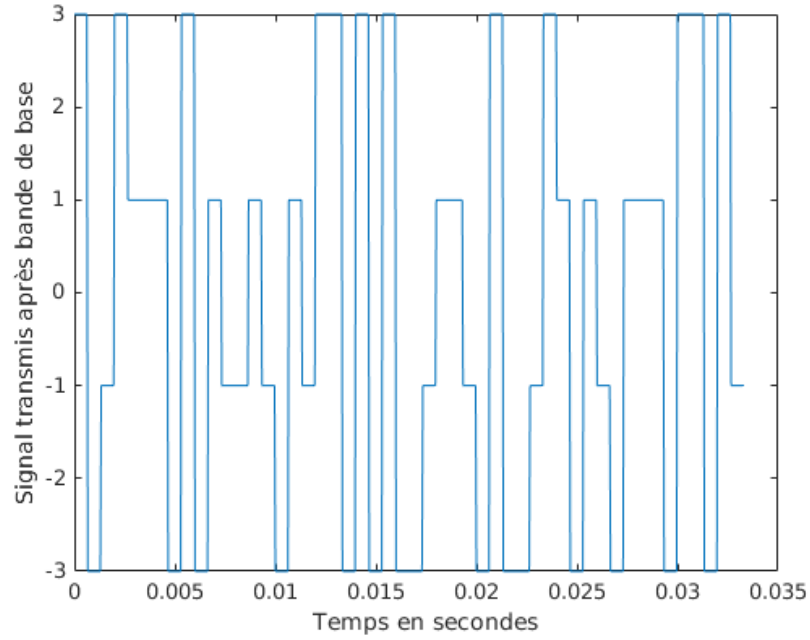


FIGURE 4 – Signal transmis avec une échelle temporelle en secondes pour le 2ieme modulateur.

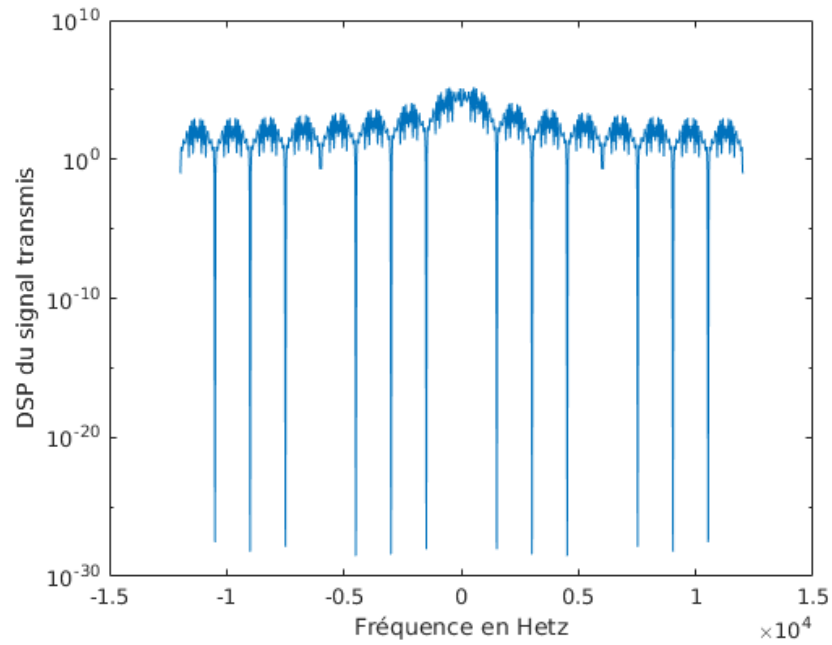


FIGURE 5 – DSP du signal transmis avec une échelle fréquentielle en Hz pour le 2ieme modulateur.

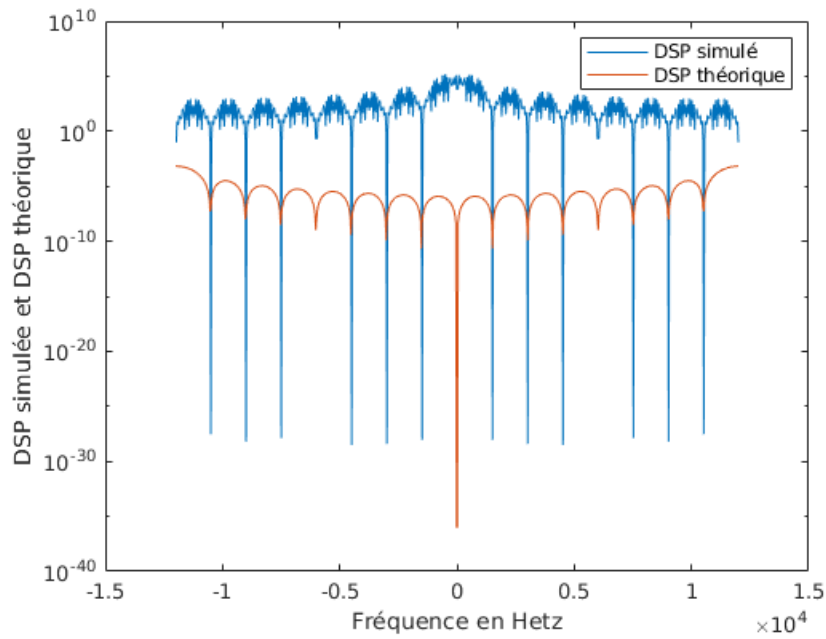


FIGURE 6 – Comparaison du tracé obtenu pour la DSP simulée avec celui de la DSP théorique du signal généré pour le 2ieme modulateur.

2.3.3 Modulateur 3

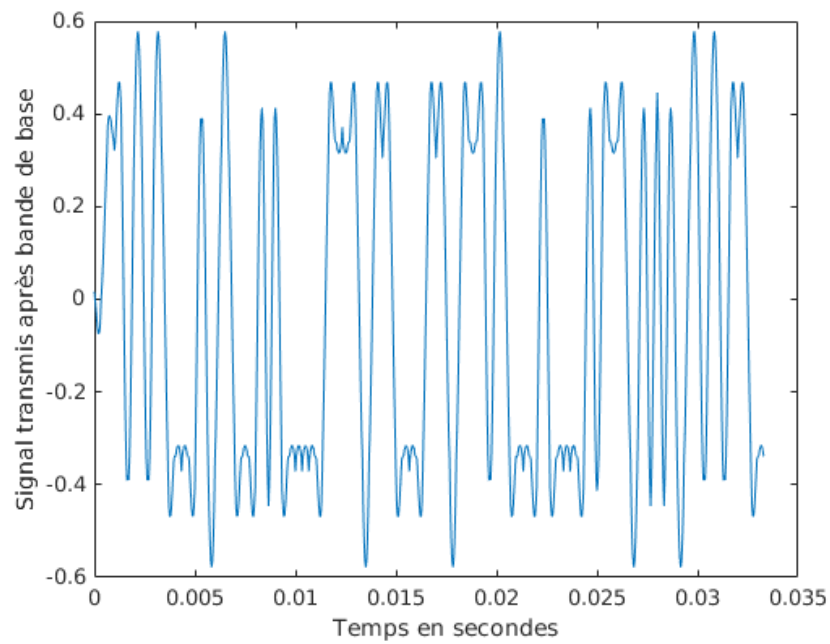


FIGURE 7 – Signal transmis avec une échelle temporelle en secondes pour le 3ieme modulateur.

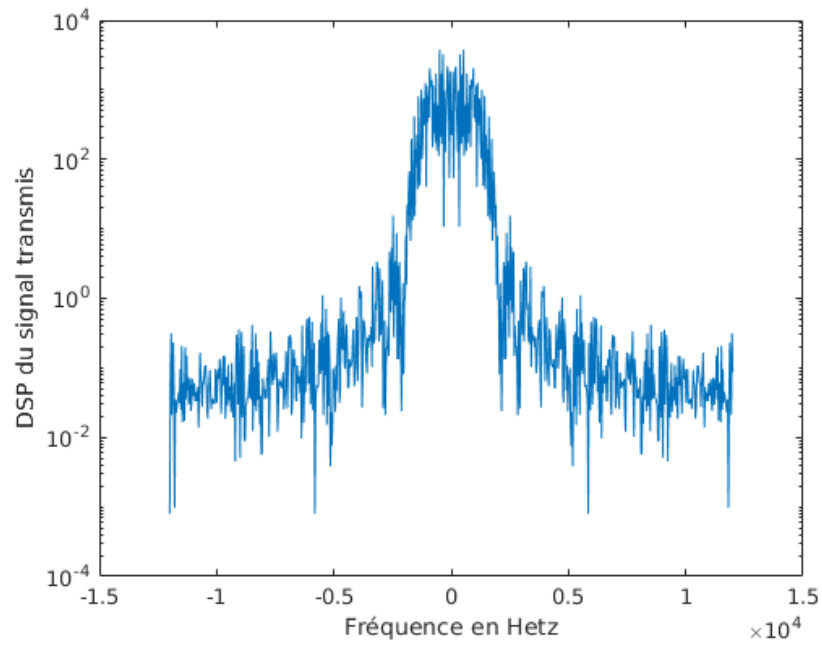


FIGURE 8 – DSP du signal transmis avec une échelle fréquentielle en Hz pour le 3ieme modulateur.

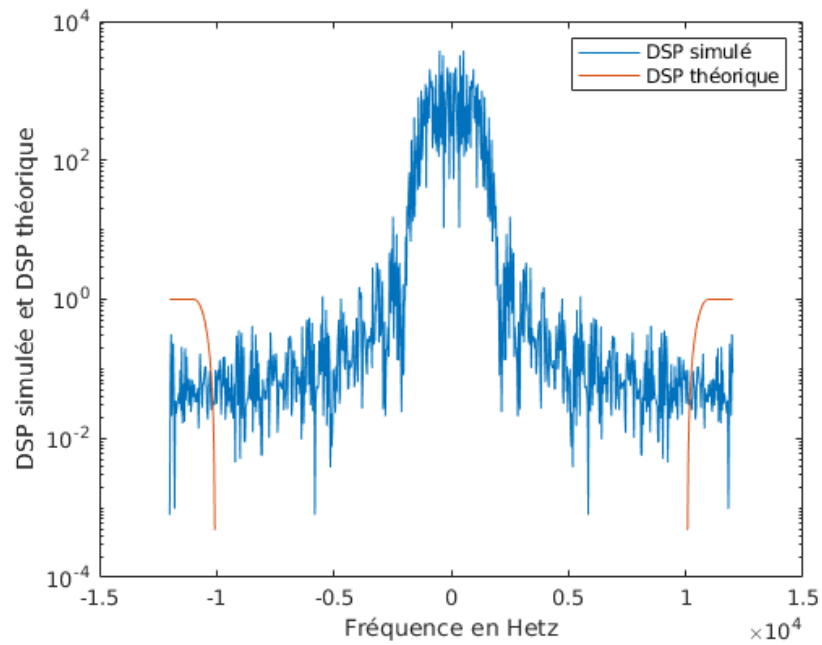


FIGURE 9 – Comparaison du tracé obtenu pour la DSP simulée avec celui de la DSP théorique du signal généré pour le 3ieme modulateur.

Remarque : toutes les courbes de DSP ont été centrés (avec fftshift).

2.3.4 Comparaison des modulateurs implantés en termes d'efficacité spectrale

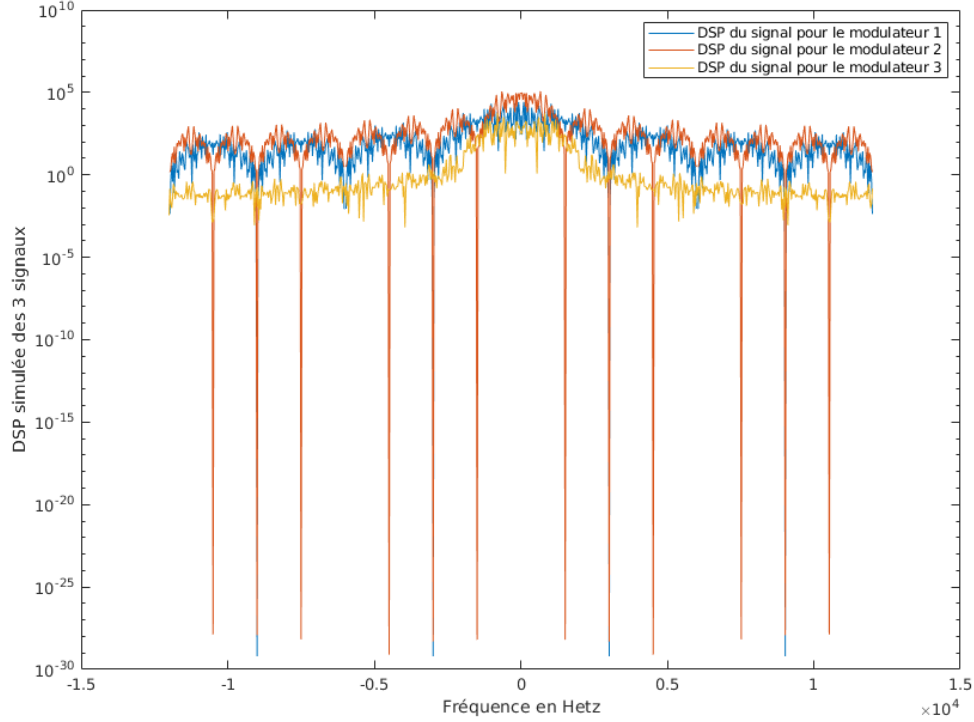


FIGURE 10 – Comparaison des DSP des signaux générés par les différents modulateurs étudiés

Ordre d'efficacité (par ordre croissant) : DSP du signal généré par le modulateur 1, DSP du signal généré par le modulateur 2, DSP du signal généré par le modulateur 3.

La bande de transmission B est plus petite pour le DSP du modulateur 3 (la puissance est plus centrée en 0 que les deux autres DSP) donc comme $\eta = Rb/B$ alors $\eta_{DSP3} > \eta_{DSP2} > \eta_{DSP1}$.

Afin d'augmenter l'efficacité spectrale de la transmission, on peut augmenter le débit binaire R_b en augmentant le nombre de symboles M .

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

— Donnez le tracé le signal en sortie du filtre de réception.

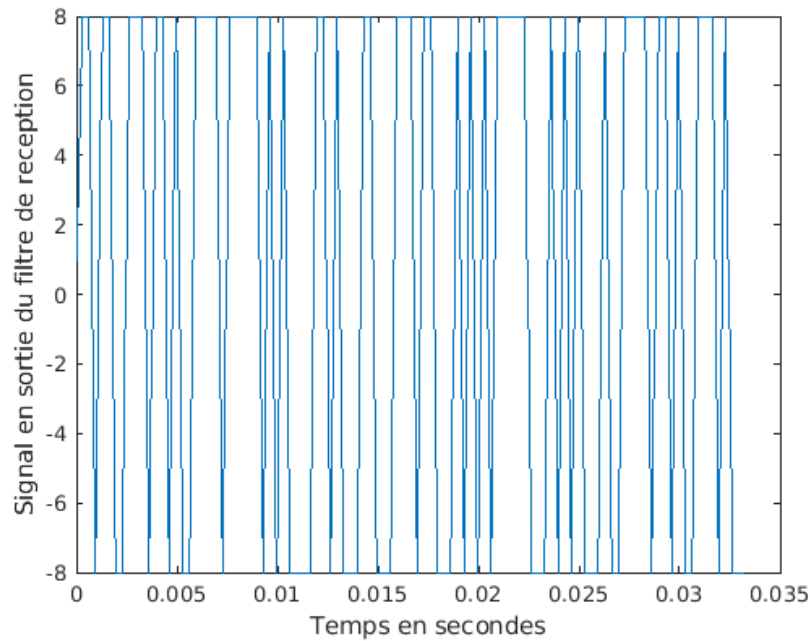


FIGURE 11 – Tracé du signal en sortie du filtre de réception.

- Donnez le tracé de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission, g , en expliquant en quoi elle est conforme à ce qui est attendu en théorie (voir cours et TDs).

D'après le cours, le produit de convolution de deux signaux rectangulaire est triangulaire, ce qui est cohérent avec le tracé qu'on obtient.

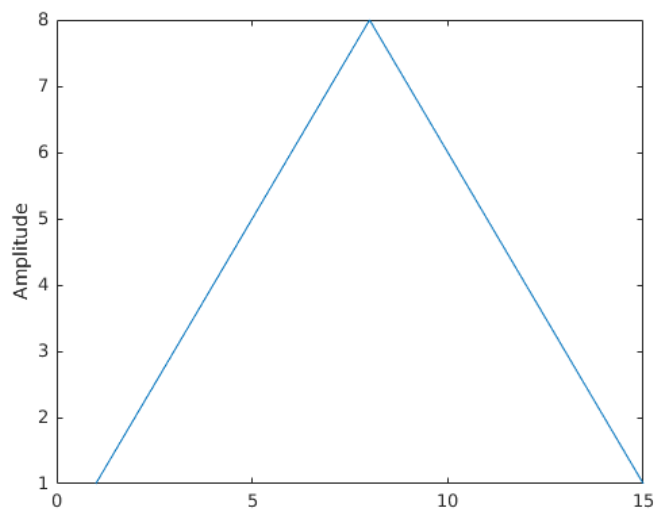


FIGURE 12 – Tracé de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission g .

- Expliquez comment il est possible de déterminer, en utilisant g , l'instant n_0 optimal per-

mettant d'échantillonner aux instants sans interférences entre symboles $n_0 + mN_s$.

On regarde sur la pointe, là où il y a la concentration la plus élevée de puissance, ici $n_0 = 8$.

- Donnez le tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception et expliquez en quoi il est conforme à ce qui est attendu en théorie (voir cours et TDs). Expliquez comment il est possible de déterminer, à partir de ce diagramme de l'oeil, l'instant n_0 optimal permettant d'échantillonner aux instants sans interférences entre symboles $n_0 + mN_s$.

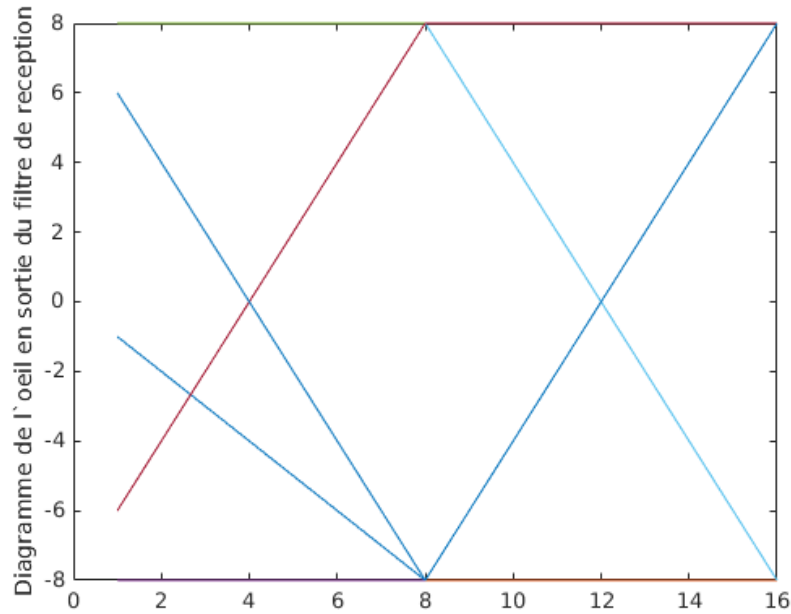


FIGURE 13 – Tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception

Le diagramme de l'oeil représente la superposition de tout les pics possible du signal sur une période symbole. Pour déterminer l'instant n_0 optimal permettant d'échantillonner aux instants sans interférences entre symboles, on regarde là où il n'y a que deux valeurs possible, c'est-à-dire là où les deux valeurs sont le plus écartés : il n'y aura pas de risque d'interférences. Ici $n_0 = 8$.

La question précédente donne une valeur approximative alors que le diagramme de l'oeil est plus précise mais donne le n_0 en modulo N_s

Par ailleurs, on met le seuil à 0, cela va permettre lorsqu'on ajoute du bruit, qu'il n'y ait peu de chance qu'on se trompe de valeur par symbole.

- Expliquez les résultats obtenus pour les TEBs mesurés quand vous échantillonnez avec le n_0 optimal et avec $n_0 = 3$.

Avec le n_0 optimal, on trouve que le TEB est nul alors que pour $n_0 = 3$, $TEB \approx 0.5$. Le taux d'erreur binaire est non nul, en effet pour $n_0 = 3$, il y a 4 valeurs possibles de puissance d'après le diagramme de l'oeil, ce qui va augmenter les chances d'interférences.

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 :

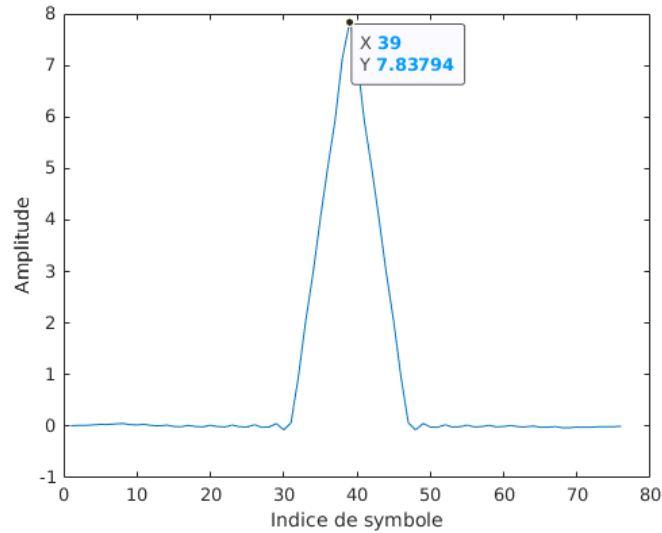


FIGURE 14 – Tracé de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission

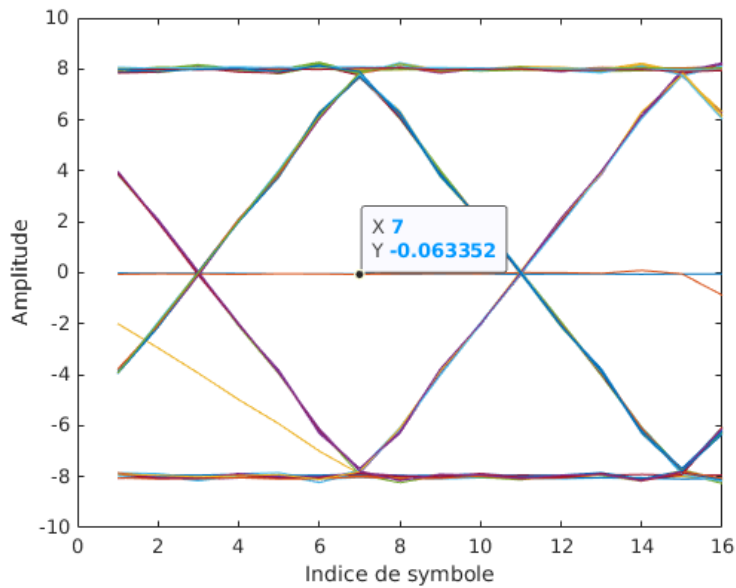


FIGURE 15 – Tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception

Le TEB en présence de ce canal est nul. En effet, on a pris pour calculer le TEB, l'instant n_0 optimal égal ici à 39 d'après la figure 14 et qui correspond bien à ce qu'on retrouve dans

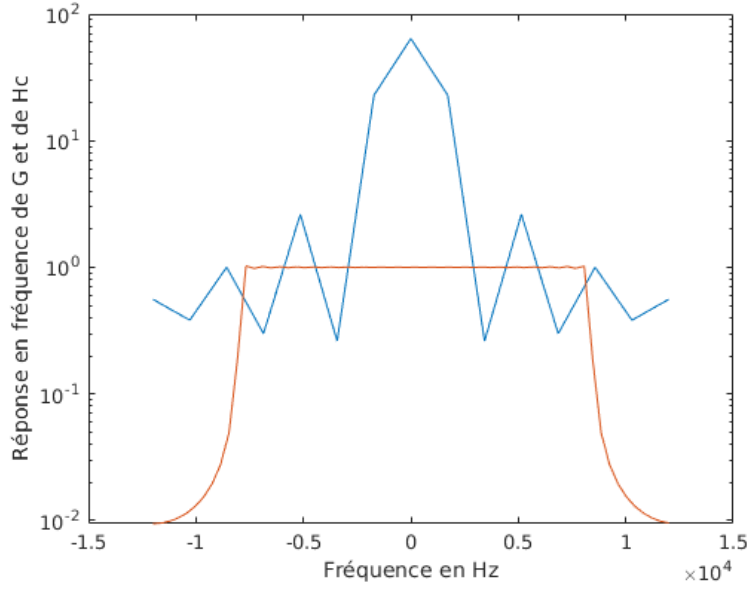


FIGURE 16 – Tracé de la réponse en fréquence de $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

le diagramme de l'oeil ($7 = 39 \text{ modulo } N_s=8$). Il n'y a pas de risque d'interférences. Le seuil est comme précédemment égal à 0.

2. Pour $BW = 1000 \text{ Hz}$:

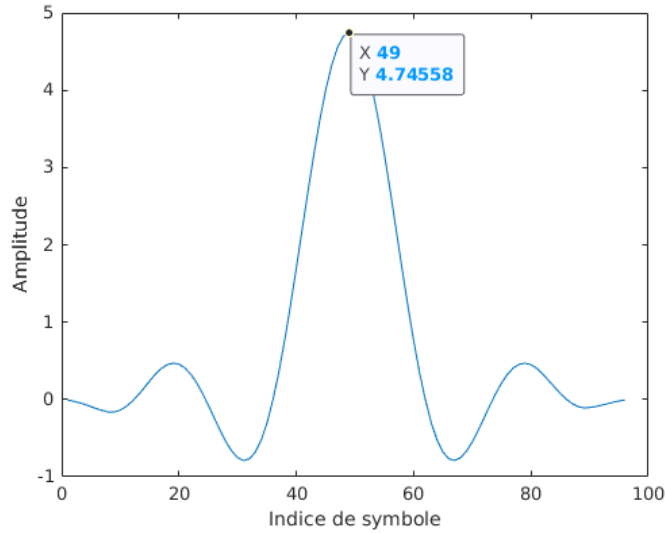


FIGURE 17 – Tracé de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission

Le TEB en présence de ce canal est non nul, $TEB \approx 0.10$. En effet, on a pris pour calculer le TEB, l'instant n_0 optimal égal ici à 49 d'après la figure 17. Cependant, il y a beaucoup trop de valeur possible dans le diagramme de l'oeil pour $n_0 = 1$ ($1 = 49 \text{ modulo } N_s$). Il y a donc risque d'interférences. Le seuil est comme précédemment égal à 0.

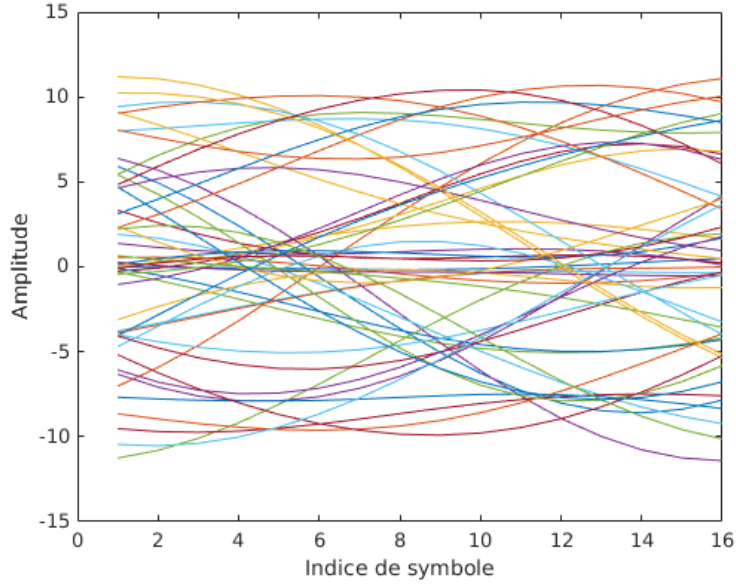


FIGURE 18 – Tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception

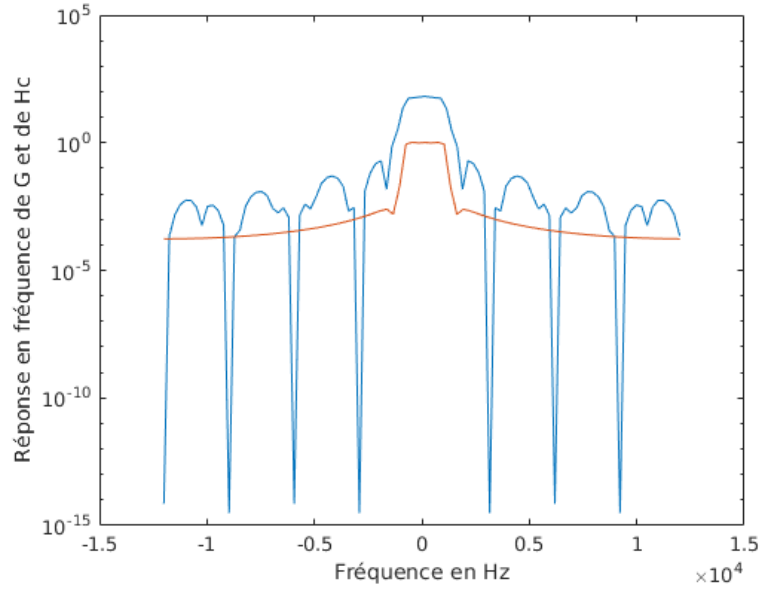


FIGURE 19 – Tracé de la réponse en fréquence de $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

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 chaines 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. Donnez le 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.

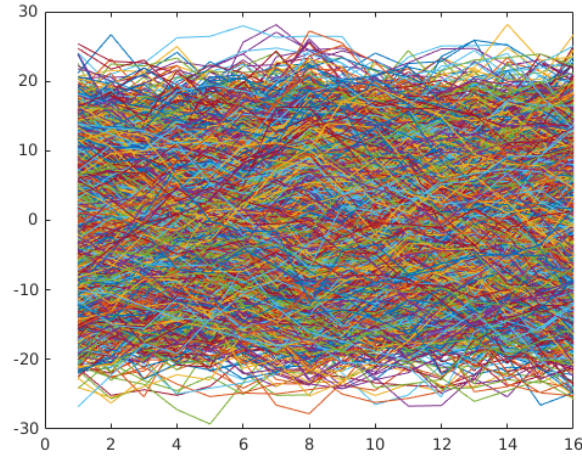


FIGURE 20 – Tracé du diagramme de l'oeil pour $E_b/N_0 = 0dB$

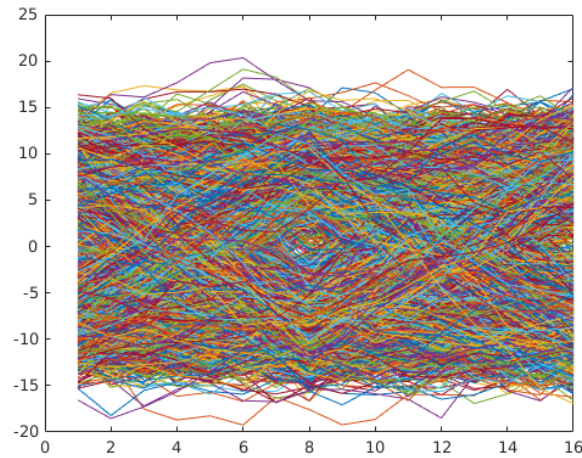


FIGURE 21 – Tracé du diagramme de l'oeil pour $E_b/N_0 = 5dB$

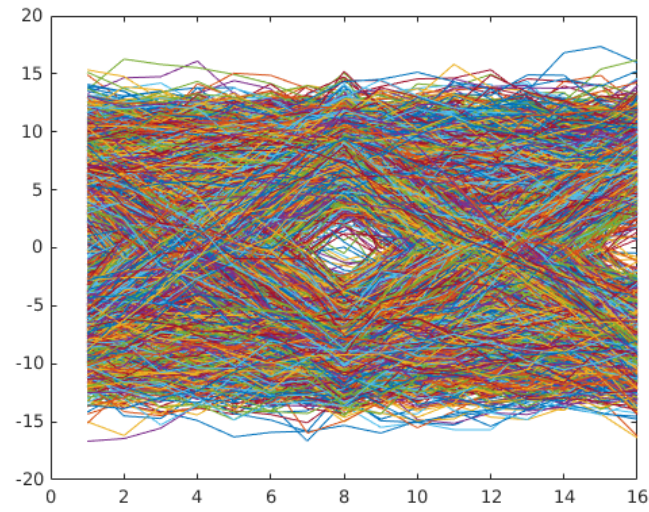


FIGURE 22 – Tracé du diagramme de l'oeil pour $E_b/N_0 = 8dB$

On remarque que plus le rapport énergie d'un bit / bruit est grande (c'est-à-dire moins il y a de bruit), moins il y a d'interférences.

- Donnez le 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.

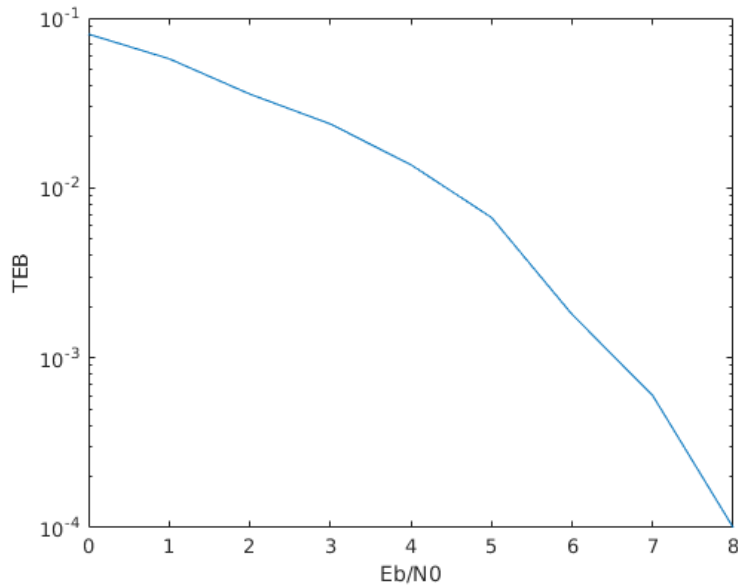


FIGURE 23 – Tracé du taux d'erreur binaire obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur

- Donnez le tracé, sur une même figure, du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne étudiée.

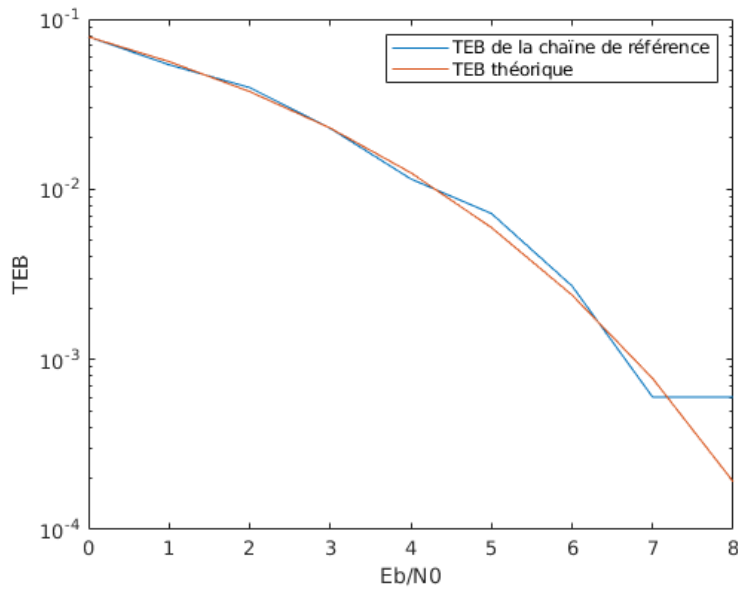


FIGURE 24 – Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne étudiée

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 25.

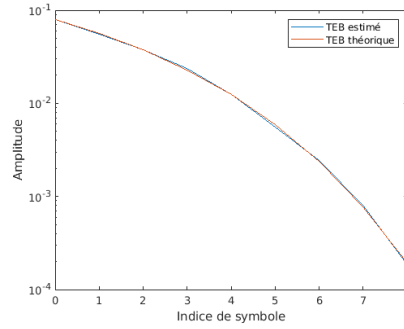


FIGURE 25 – Réponses impulsionnelles des filtres d'émission et de réception.

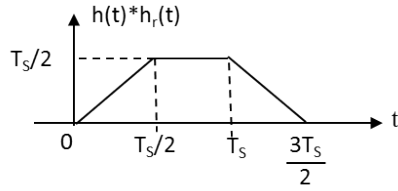


FIGURE 26 – Produit de convolution entre $h(t)$ et $h_r(t)$.

4.3.1 Implantation de la chaine sans bruit

Donnez le tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception sur la durée T_s (N_s échantillons) et en déduire les instants optimaux d'échantillonnage $n_0 + mN_s$ en expliquant votre choix pour n_0 . En vous référant au cours et/ou aux TDs expliquez en quoi ce diagramme de l'oeil est conforme à ce qui est attendu en théorie.

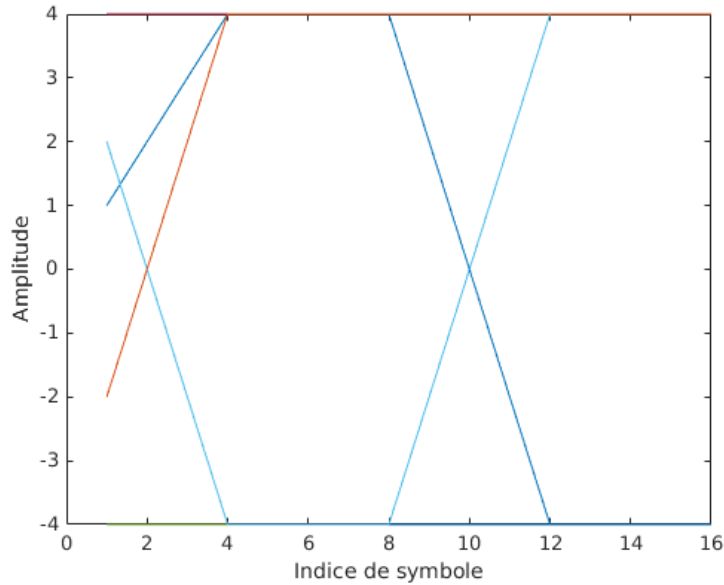


FIGURE 27 – Tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception

Le diagramme de l'oeil représente la superposition de tout les pics possible du signal sur une période symbole. Pour déterminer l'instant n_0 optimal permettant d'échantillonner aux instants sans interférences entre symboles, on regarde là où il n'y a le moins de valeurs possible, c'est-à-dire là où les deux valeurs sont le plus écartés : il n'y aura pas de risque d'interférences. Ici $n_0 = 6$. Par ailleurs, on met le seuil à 0, cela va permettre lorsqu'on ajoute du bruit, qu'il n'y ait peu de chance qu'on se trompe de valeur par symbole.

4.3.2 Implantation de la chaine avec bruit

1. Donnez le 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.

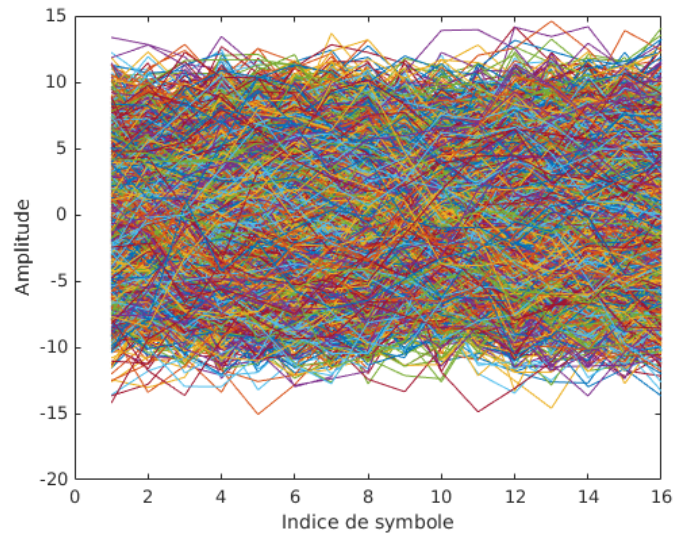


FIGURE 28 – Tracé du diagramme de l'oeil pour $E_b/N_0 = 5dB$

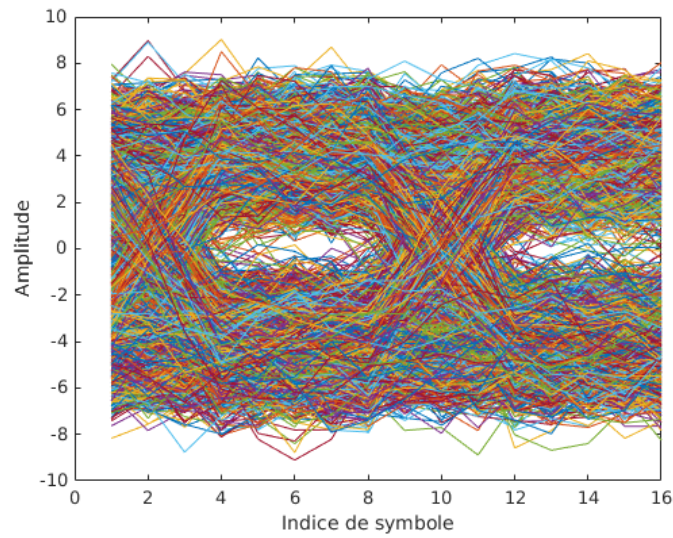


FIGURE 29 – Tracé du diagramme de l'oeil pour $E_b/N_0 = 12dB$

On remarque que plus le rapport énergie d'un bit / bruit est grande (c'est-à-dire moins il y a de bruit), moins il y a d'interférences.

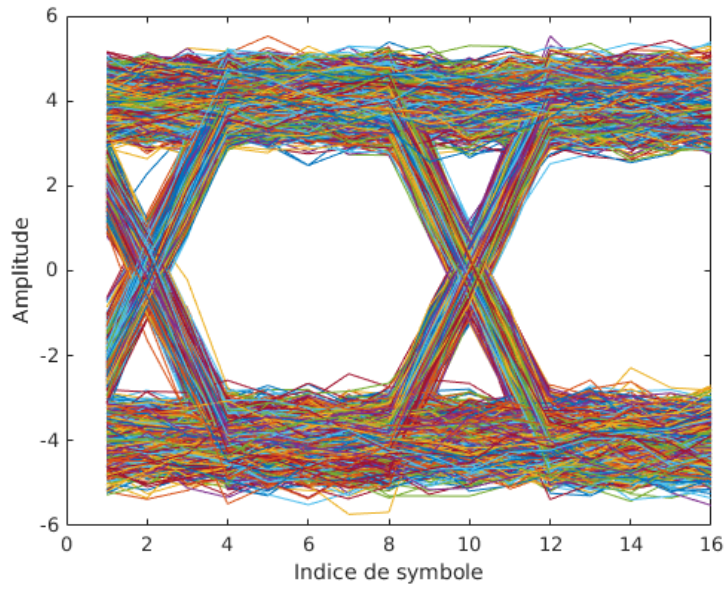


FIGURE 30 – Tracé du diagramme de l’oeil pour $E_b/N_0 = 20dB$

2. Donnez le 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.

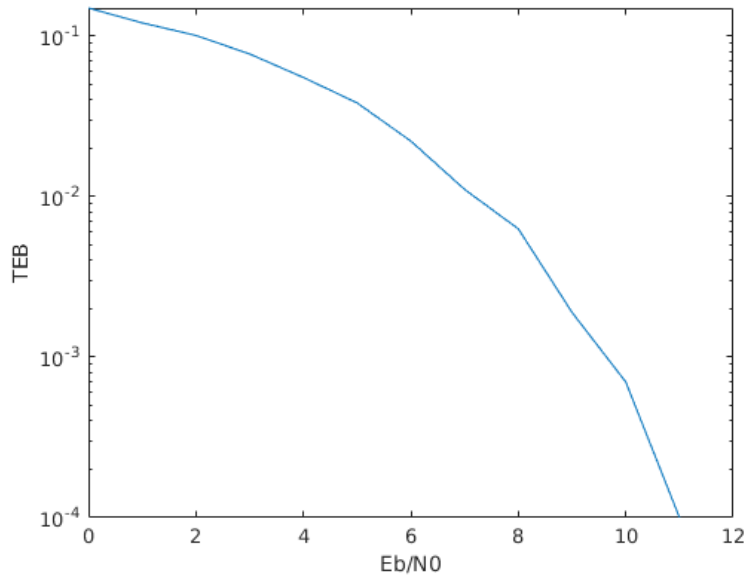


FIGURE 31 – Tracé du taux d’erreur binaire obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l’entrée du récepteur

3. Donnez le tracé, sur une même figure, du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne étudiée.

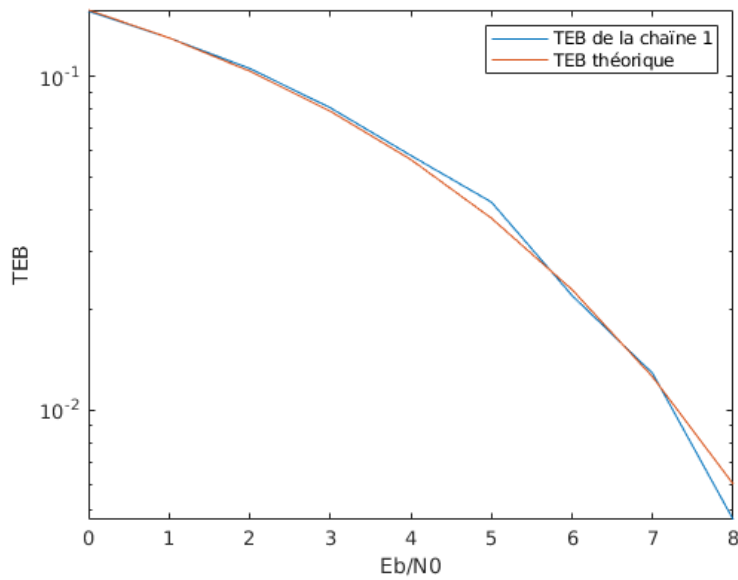


FIGURE 32 – Tracé du TEB de la chaîne 1 et du TEB théorique

4. Donnez le tracé, sur la même figure, du TEB obtenu par simulation pour la chaîne de transmission étudiée et celui du TEB de la chaîne de référence. Expliquez la similitude ou la différence obtenue (pourquoi y a-t-il ou n'y a-t-il pas une différence) et identifiez la chaîne éventuellement la plus efficace en puissance, en expliquant ce qui la rend éventuellement plus efficace.

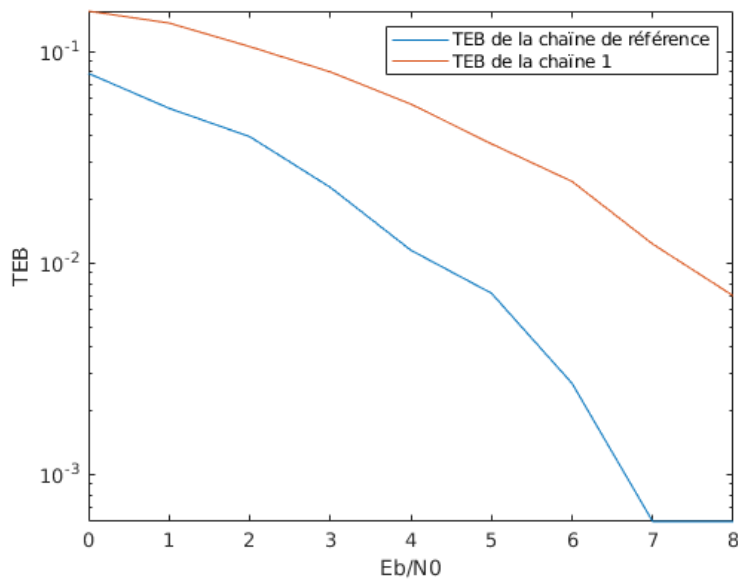


FIGURE 33 – Tracé du TEB de la chaîne 1 et TEB de la chaîne de référence

La chaîne de référence est plus efficace en puissance car sa courbe de TEB est en dessous de celle de la chaîne 1. Cela est cohérent car le filtrage pris pour la chaîne 1 n'est pas adapté.

5. Comparez cette chaîne de transmission avec la chaîne de référence en termes d'efficacité spectrale en expliquant ce qui la rend éventuellement plus efficace.

L'efficacité spectrale est inversement proportionnelle à l'efficacité en puissance. On en déduit que la première chaîne est plus efficace spectralement que la chaîne de référence. On peut aussi partir de la formule de l'efficacité spectrale : $\eta = \frac{\log_2(M)}{k}$, pour les deux chaînes on a $M = 2$. Or k pour la première chaîne est plus petit que pour la chaîne de référence ($\frac{3T_s}{2} < 2T_s$), l'efficacité spectrale étant inversement proportionnelle au coefficient k , on en déduit que la première chaîne est meilleure en terme d'efficacité spectrale que la chaîne de référence.

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

Donnez le tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception sur la durée T_s (N_s échantillons) et en déduire les instants optimaux d'échantillonnage $n_0 + mN_s$ en expliquant votre choix pour n_0 . En vous référant au cours et/ou aux TDs expliquez en quoi ce diagramme de l'oeil est conforme à ce qui est attendu en théorie.

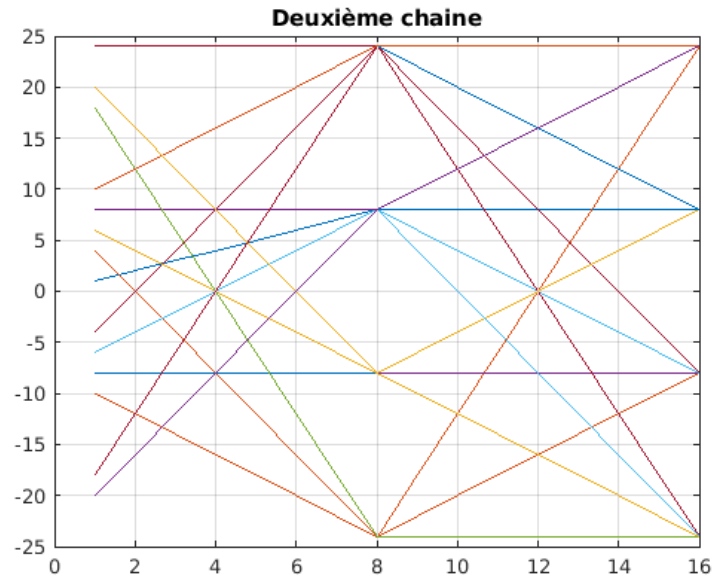


FIGURE 34 – Tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception sur la durée T_s

On peut déduire l'instant optimal d'échantillonnage là où il y a le plus petit nombre de valeurs possibles. Cet instant se situe à $n_0 = 8$ ou $n_0 = 16$. Cela est bien conforme avec la théorie (voir TD2).

4.6 Implantation de la chaîne avec bruit

1. Donnez le 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.

En utilisant les bons instants d'échantillonnage et un détecteur de seuil à $-2N_s$, 0 et $2N_s$, on obtient un TEB nul.

2. Donnez le tracé, sur une même figure, du TES simulé et du TES théorique de la chaîne étudiée donné ci-dessous :

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

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. Ce tracé doit permettre de valider le bon fonctionnement de votre chaîne de transmission.

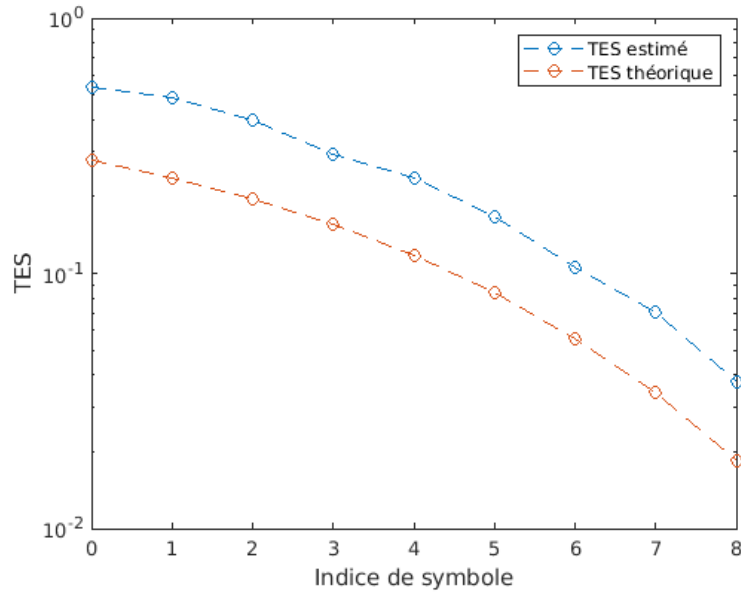


FIGURE 35 – Tracé du taux d'erreur symbole obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur

Le TES simulé ne colle pas à la théorie, il y a un problème de calcul du TES ou d'implantation de la chaîne.

3. Donnez le tracé, sur la même figure, du TEB obtenu par simulation pour la chaîne de transmission étudiée et du TEB suivant :

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

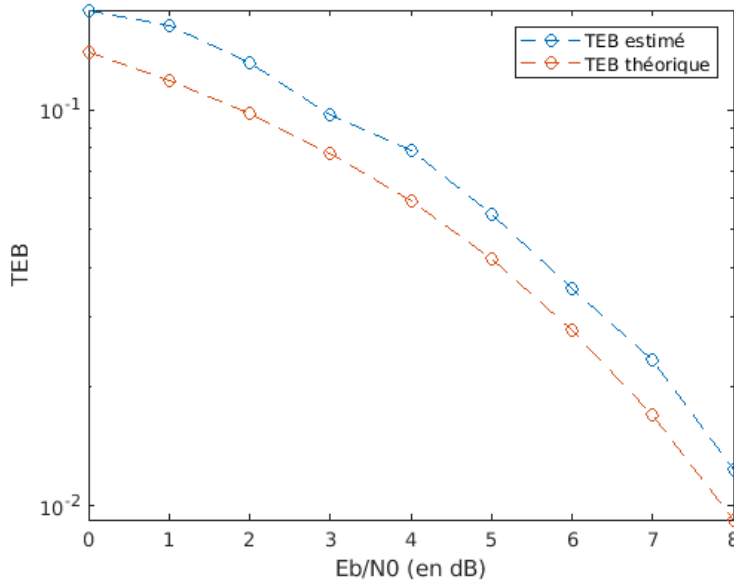


FIGURE 36 – Tracé du TES simulé et du TES théorique de la chaîne étudiée

Expliquez d'où vient l'éventuelle différence observée. Comparez votre chaîne étudiée à la chaîne associée au TEB donné précédemment et identifiez celle qui est éventuellement plus efficace en puissance en expliquant pourquoi et ce qui la rend éventuellement plus efficace.

On remarque que le rapport signal à bruit nécessaire pour obtenir un même TEB est plus grand pour la deuxième chaîne que pour le TEB donné, on en déduit que la chaîne dont le TEB est donné est plus efficace en puissance que la deuxième chaîne. Ceci semble logique puisque le TEB donné est égale au TES théorique donné avant, divisé par 2. Or $TEB \approx \frac{TES}{\log_2(M)}$ est vrai uniquement pour un mapping de gray, ce qui n'est pas le cas ici. En réalité notre deuxième chaîne possèdent un TEB plus grand que $\frac{TES}{2}$ ($M=4$) et est donc moins efficace en puissance.

4. Donnez les tracés, sur la même figure, du TEB obtenu par simulation pour la chaîne de transmission étudiée et du TEB de la chaîne de référence. Expliquez la similitude ou la différence obtenue (pourquoi y a t-il ou n'y a t-il pas une différence) et identifiez la chaîne éventuellement la plus efficace en puissance, en expliquant ce qui la rend éventuellement plus efficace.

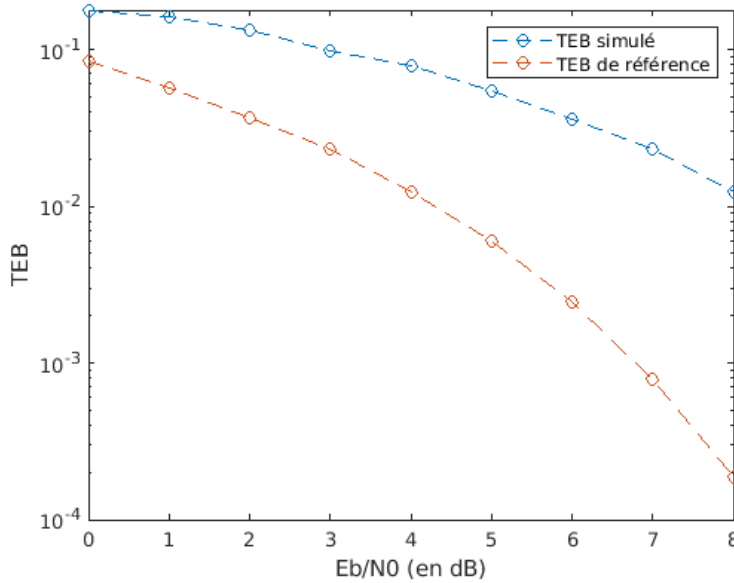


FIGURE 37 – Tracé du TEB obtenu par simulation pour la chaîne de transmission étudiée et du TEB de la chaîne de référence

Le rapport signal à bruit pour un même TEB est plus important pour la deuxième chaîne que pour la chaîne de référence, la deuxième chaîne est donc moins efficace en puissance. Ceci est principalement dû à la distance minimale entre symbole qui est plus grande pour la chaîne de référence que pour la deuxième chaîne, il y donc moins de chance de se tromper pour la chaîne de référence pour un même rapport signal à bruit. Autrement dit il faut plus de puissance pour la deuxième chaîne pour pouvoir obtenir la même précision sur la décision de symbole que la chaîne de référence.

5. Comparez cette chaîne de transmission avec la chaîne de référence en termes d'efficacité spectrale en expliquant ce qui la rend éventuellement plus efficace.

L'efficacité spectrale est inversement proportionnelle à l'efficacité en puissance. On en déduit que la deuxième chaîne est plus en terme d'efficacité spectrale que la chaîne de référence. On peut aussi partir de la formule de l'efficacité spectrale : $\eta = \frac{\log_2(M)}{k}$, pour les deux chaînes on a un coefficient k égal. Or M pour la deuxième chaîne est plus grand que pour la chaîne de référence ($M = 4 > M = 2$), l'efficacité spectrale étant proportionnelle à M , on en déduit que la deuxième chaîne est meilleure en terme d'efficacité spectrale que la chaîne de référence.

5 Annexes éventuelles

Cours TDs de télécommunications.