



# Rapport : Travaux Pratiques de Télécommunications

## Etude de transmission en bande de base

Peyremorte Romain  
Rossi Pierre

Département Sciences du Numérique - Première année  
2021-2022

# Table des matières

<b>1</b>	<b>Introduction</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Étude de modulateurs bande de base</b>	<b>4</b>
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 . . . . .	6
2.3.3	Modulateur 3 . . . . .	8
2.3.4	Comparaison des modulateurs implantés en termes d'efficacité spectrale . . . . .	9
<b>3</b>	<b>Étude des interférences entre symbole et du critère de Nyquist</b>	<b>11</b>
3.1	Introduction . . . . .	11
3.2	Étude sans canal de propagation . . . . .	11
3.3	Étude avec canal de propagation sans bruit . . . . .	14
<b>4</b>	<b>Étude de l'impact du bruit, filtrage adapté, taux d'erreur binaire, efficacité en puissance</b>	<b>15</b>
4.1	Introduction . . . . .	15
4.2	Chaîne de référence . . . . .	15
4.3	Première chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence . . . . .	17
4.3.1	Implantation de la chaîne sans bruit . . . . .	17
4.3.2	Implantation de la chaîne avec bruit . . . . .	18
4.4	Deuxième chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence . . . . .	20
4.5	Implantation de la chaîne sans bruit . . . . .	20
4.6	Implantation de la chaîne avec bruit . . . . .	21
<b>5</b>	<b>Conclusion</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Références</b>	<b>23</b>

## Table des figures

1	Signal transmis, en échelle temporelle . . . . .	5
2	DSP du démodulateur 1, en échelle fréquentielle . . . . .	5
3	Comparaison entre la DSP pratique et théorique . . . . .	6
4	Signal transmis, en échelle temporelle . . . . .	6
5	DSP du démodulateur 2, en échelle fréquentielle . . . . .	7
6	Comparaison entre la DSP pratique et théorique . . . . .	7
7	Signal transmis, en échelle temporelle . . . . .	8
8	DSP du modulateur 3, en échelle fréquentielle . . . . .	8
9	Comparaison entre la DSP pratique et théorique . . . . .	9
10	Superposition des signaux sortant des modulateurs . . . . .	9
11	Superposition des DSP des modulateurs . . . . .	10
12	Signal sortant du filtre de réception . . . . .	11
13	Réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission . . . . .	12
14	Diagramme de l'Oeil en sortie du filtre de réception . . . . .	13
15	Résultats pour $BW = 8000\text{Hz}$ . . . . .	14
16	Résultats pour $BW = 1000\text{Hz}$ . . . . .	15
17	Diagrammes de l'oeil pour différentes valeurs de $E_b/N_0$ . . . . .	16
18	Superposition du TEB théorique et du TEB simulé, en fonction de $E_b/N_0$ . . . . .	16
19	Réponses impulsionnelles des filtres d'émission et de réception. . . . .	17
20	Produit de convolution entre $h(t)$ et $h_r(t)$ . . . . .	17
21	Diagramme de l'oeil en sortie de filtre de réception . . . . .	17
22	Réponse impulsionnelle globale de la 1ère chaîne étudiée sans bruit . . . . .	18
23	Diagrammes de l'oeil en sortie de filtre de réception pour différentes valeur de $E_b/N_0$ . . . . .	18
24	Superposition du TEB théorique et du TEB simulé, en fonction de $E_b/N_0$ . . . . .	19
25	Superposition du TEB de la chaîne étudiée et du TEB de la chaîne de référence, en fonction de $E_b/N_0$ . . . . .	19
26	Superposition de la DSP de la chaîne étudiée et de la chaîne de référence . . . . .	20
27	Diagramme de l'oeil en sortie de filtre de réception . . . . .	20
28	Superposition du TES de la chaîne étudiée et du TES théorique . . . . .	21
29	Superposition du TEB de la chaîne étudiée et du TEB théorique . . . . .	22
30	Superposition du TEB de la chaîne étudiée et du TEB de la chaîne de référence . . . . .	22
31	Superposition de la DSP de la 2ème chaîne étudiée et de la DSP de la chaîne de référence . . . . .	23

# 1 Introduction

L'objectif du travail présenté dans ce rapport était de comprendre le fonctionnement d'une chaîne de transmission en bande de base. Pour cela, nous avons donc simulé des chaînes de transmission composées d'un modulateur bande de base, d'un canal de propagation et d'un démodulateur bande de base.

Nous avons donc d'abord créé et comparé trois modulateurs en bande de base, en modifiant leur mapping ou leur filtre de mise en forme. Le but était de déterminer les paramètres permettant d'augmenter l'efficacité spectrale de la transmission.

Nous avons ensuite étudié les interférences entre symboles et donc l'intérêt de respecter le critère de Nyquist. Cette étude s'est d'abord portée sur une chaîne de transmission sans canal de propagation, puis sur une chaîne de transmission avec un canal de propagation sans bruit.

Enfin, nous avons étudié l'impact du bruit et du filtrage adapté sur le taux d'erreur binaire (TEB) et donc l'efficacité en puissance. Pour cela, nous avons d'abord créé une chaîne de référence, puis nous avons comparé deux chaînes de transmission différentes. Chacune de ces chaînes a été étudiée avec et sans bruit.

Pour l'ensemble des études, les messages transmis sont des bits choisis aléatoirement.

## 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 (-1 pour 0 et 1 pour 1).
  - 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 (-1 pour 00, -3 pour 10, 1 pour 01 et 3 pour 11).
  - 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 (-1 pour 0 et 1 pour 1).
  - 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

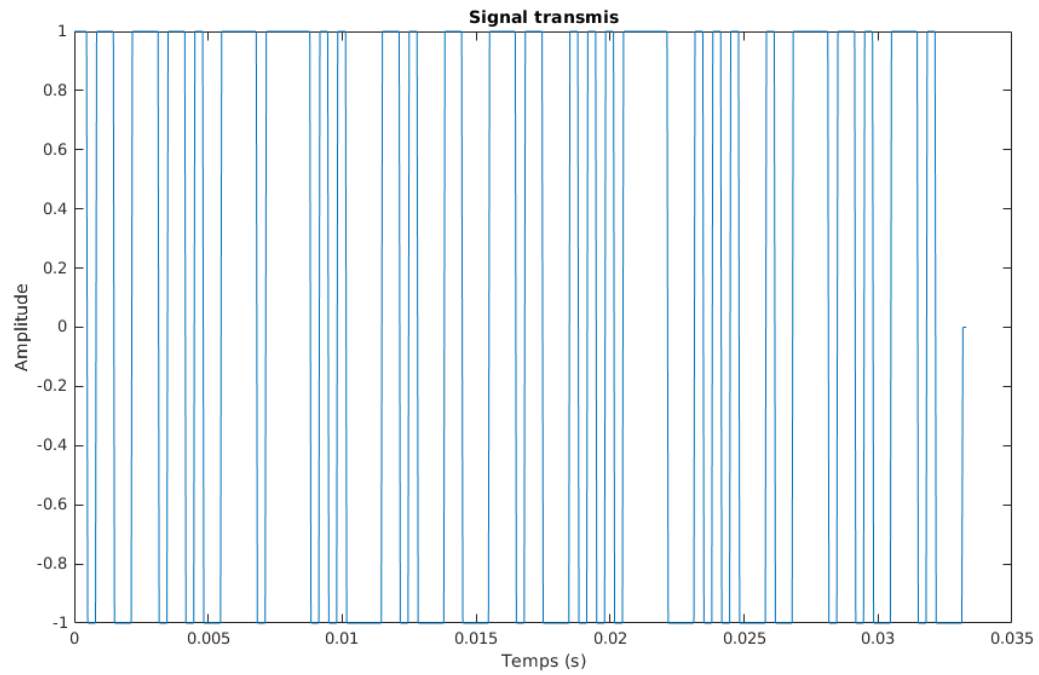


FIGURE 1 – Signal transmis, en échelle temporelle

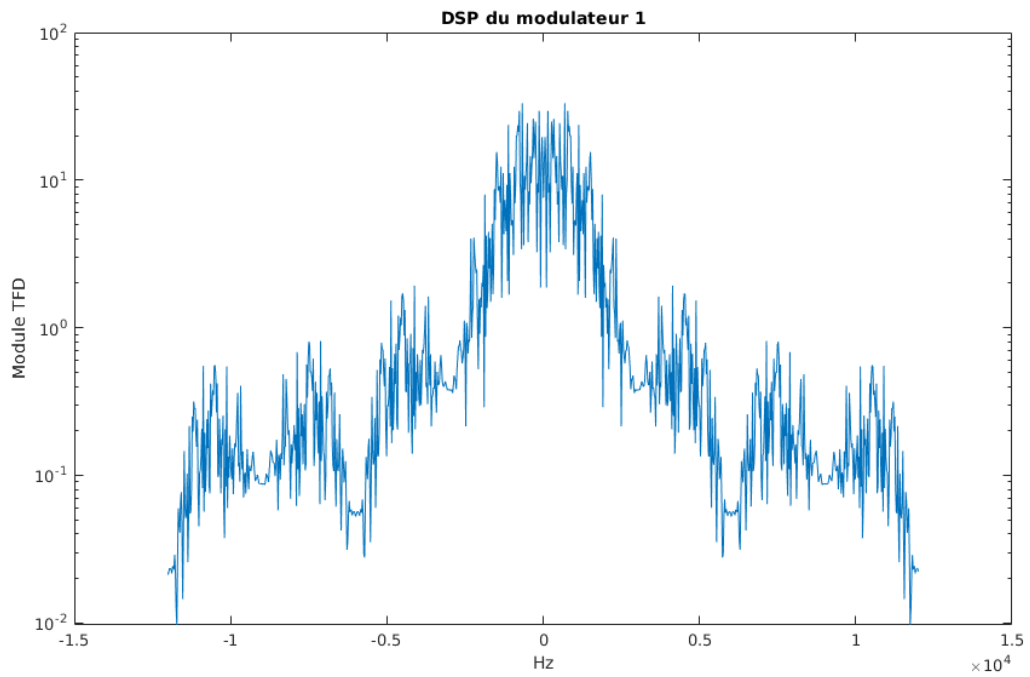


FIGURE 2 – DSP du démodulateur 1, en échelle fréquentielle

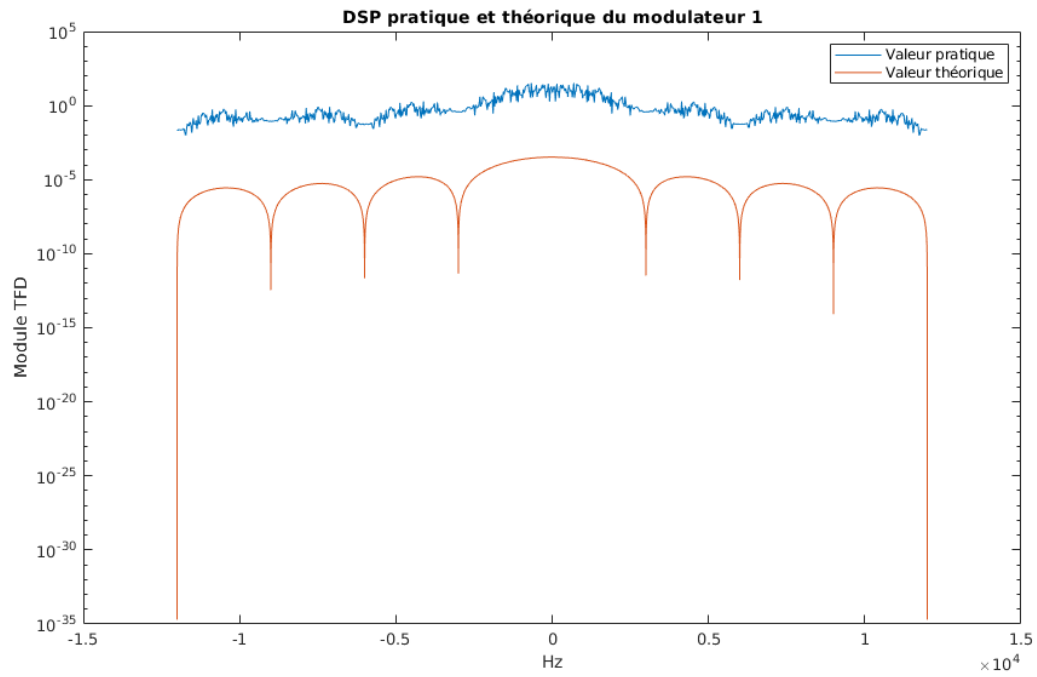


FIGURE 3 – Comparaison entre la DSP pratique et théorique

### 2.3.2 Modulateur 2

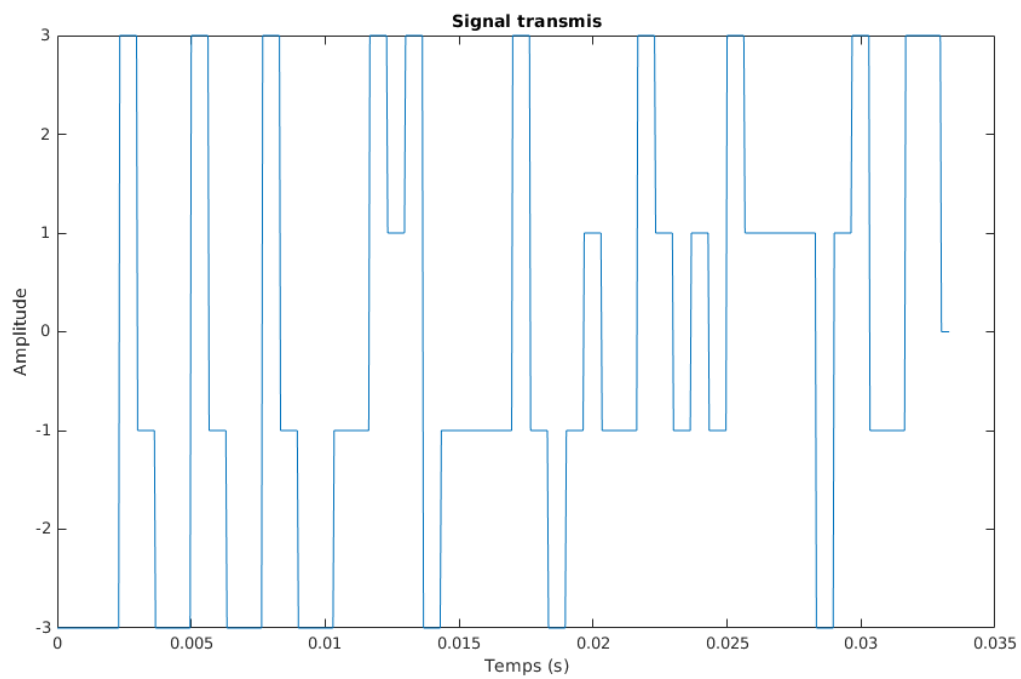


FIGURE 4 – Signal transmis, en échelle temporelle

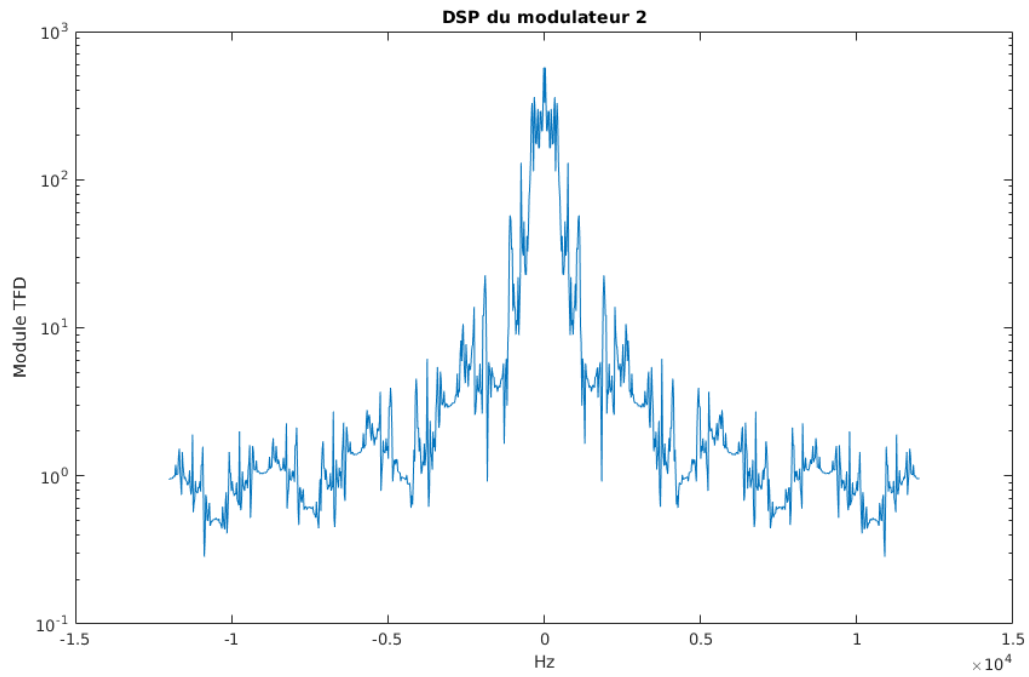


FIGURE 5 – DSP du démodulateur 2, en échelle fréquentielle

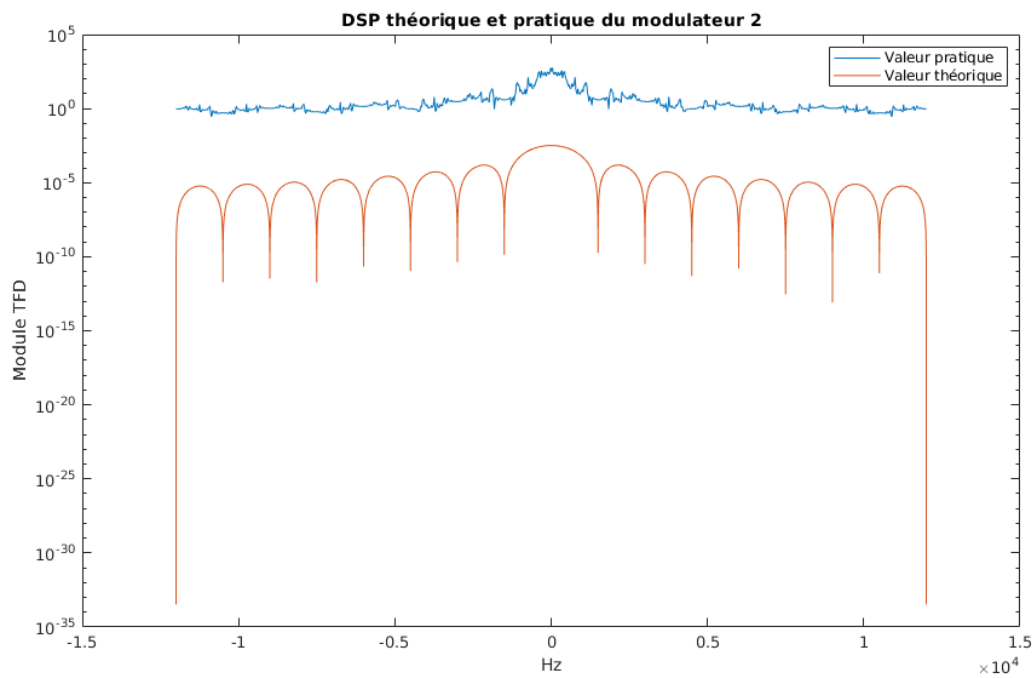


FIGURE 6 – Comparaison entre la DSP pratique et théorique

### 2.3.3 Modulateur 3

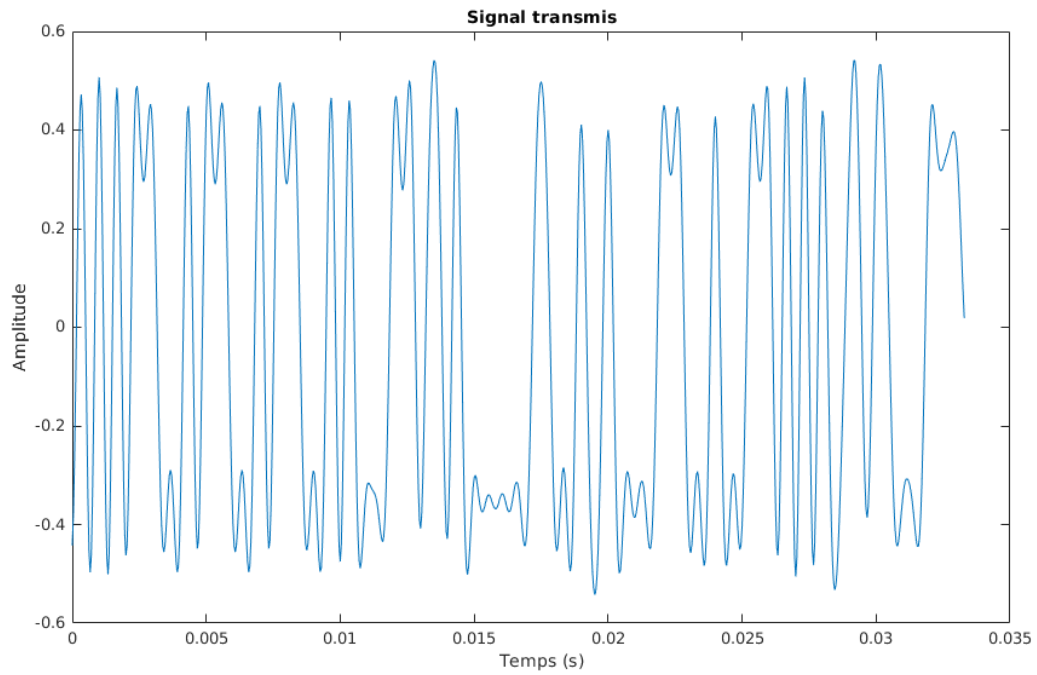


FIGURE 7 – Signal transmis, en échelle temporelle

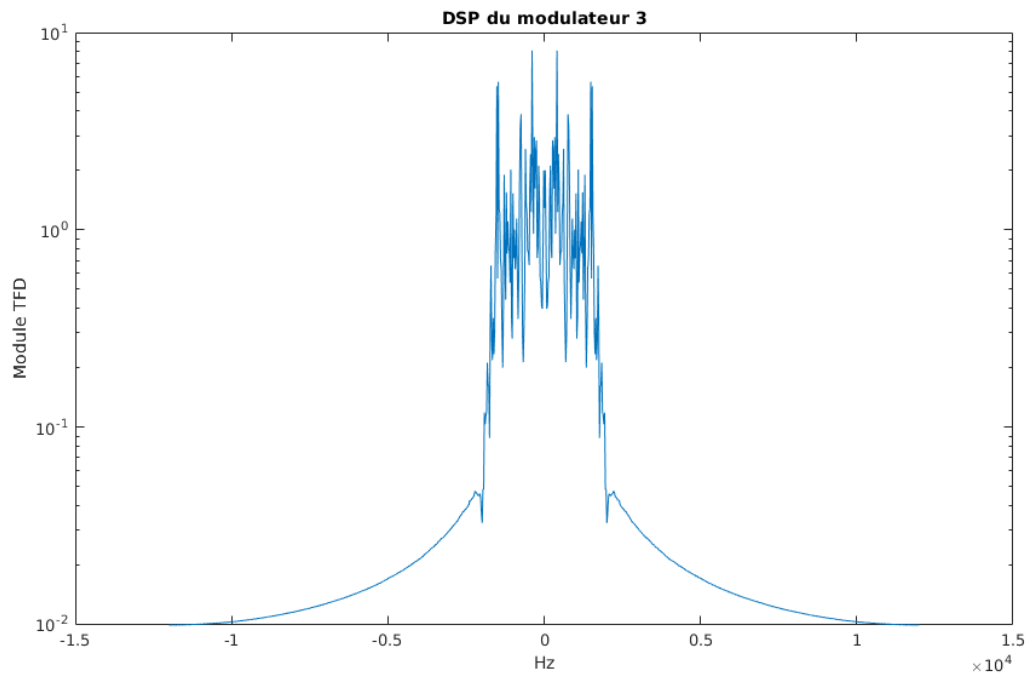


FIGURE 8 – DSP du modulateur 3, en échelle fréquentielle



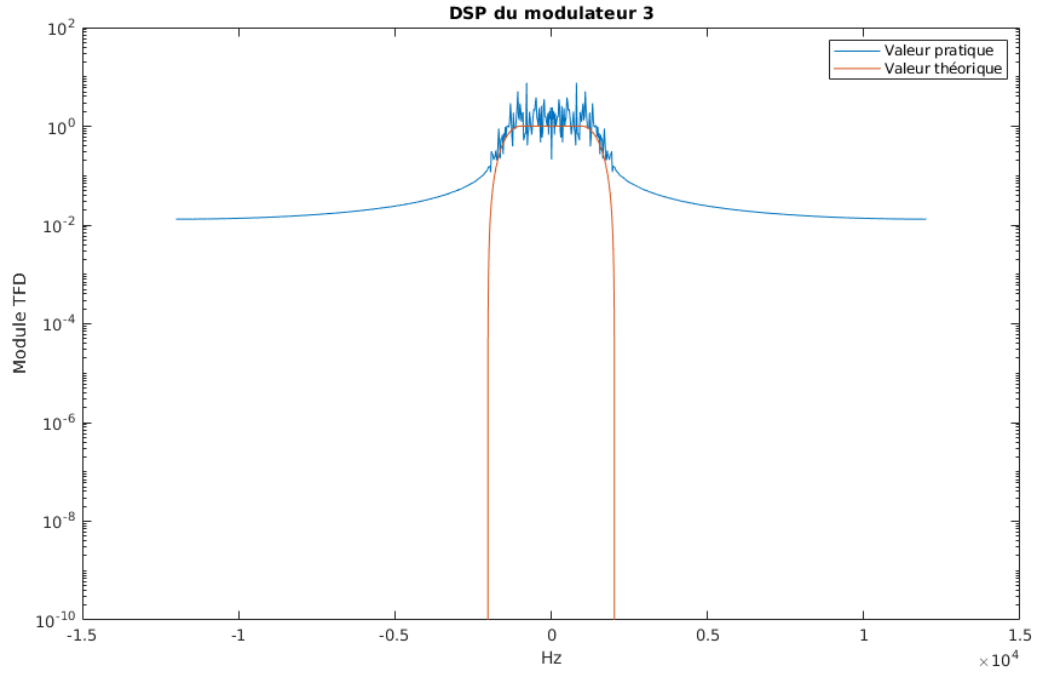


FIGURE 9 – Comparaison entre la DSP pratique et théorique

#### 2.3.4 Comparaison des modulateurs implantés en termes d'efficacité spectrale

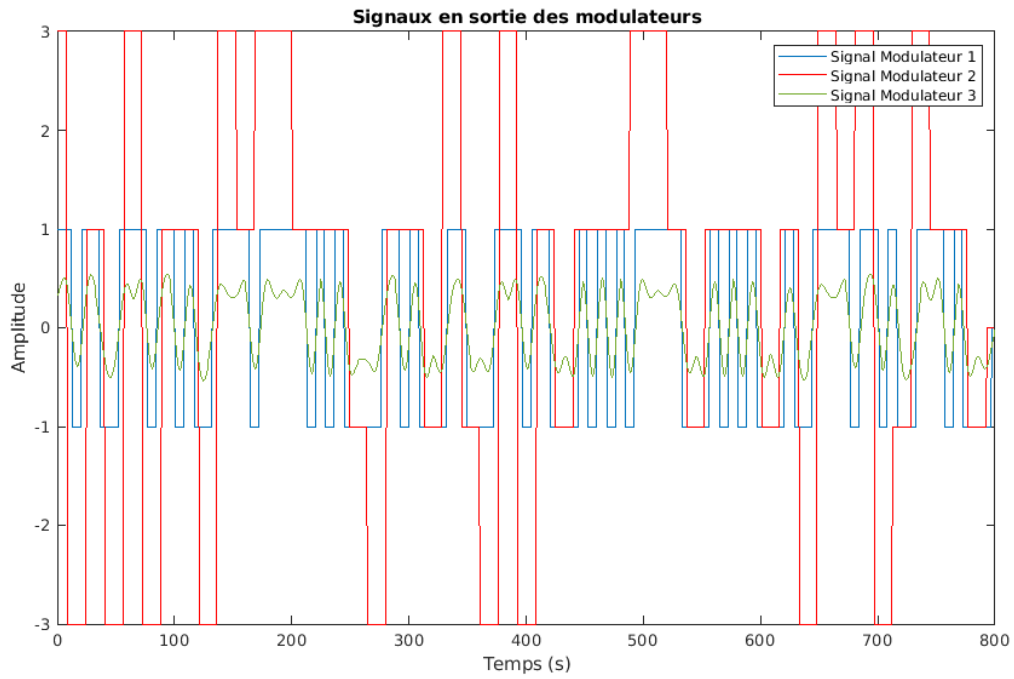


FIGURE 10 – Superposition des signaux sortant des modulateurs

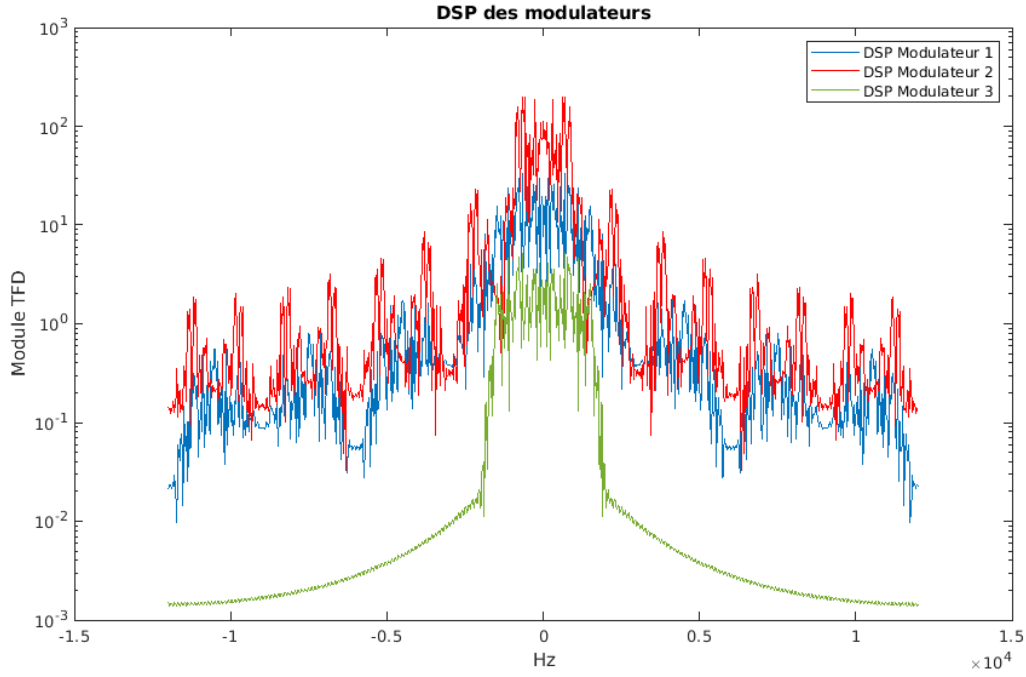


FIGURE 11 – Superposition des DSP des modulateurs

Sur le graphe représentant les DSP des différents modulateurs, on voit que le modulateur le moins efficace est le modulateur 1. Donc celui avec un mapping à symboles binaires à moyenne nulle et un filtre de mise en forme rectangulaire. En effet, le débit binaire est fixé et égal pour les trois modulateurs et sa bande de transmission est plus importante que celle des deux autres. Ensuite vient le modulateur 2 dont la bande de transmission est moins importante que celle du modulateur 1, mais plus importante que celle du modulateur 3. Ici, la seule différence avec le modulateur 1 est le mapping qui est fait à partir de symboles 4-aires à moyenne nulle. Enfin, le modulateur 3 a la meilleure efficacité spectrale. Sa seule différence avec le modulateur 1 est le filtre de mise en forme qui est un filtre de racine de cosinus surélevé.

Suite à cette étude, nous pouvons observer que le fait d'augmenter le nombre de bits par symbole lors du mapping permet d'augmenter l'efficacité spectrale. Cette dernière est aussi affectée par le choix du filtre de mise en forme (un filtre en racine de cosinus surélevé est plus efficace spectralement qu'un filtre rectangulaire).

### 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

- Observation du signal reçu

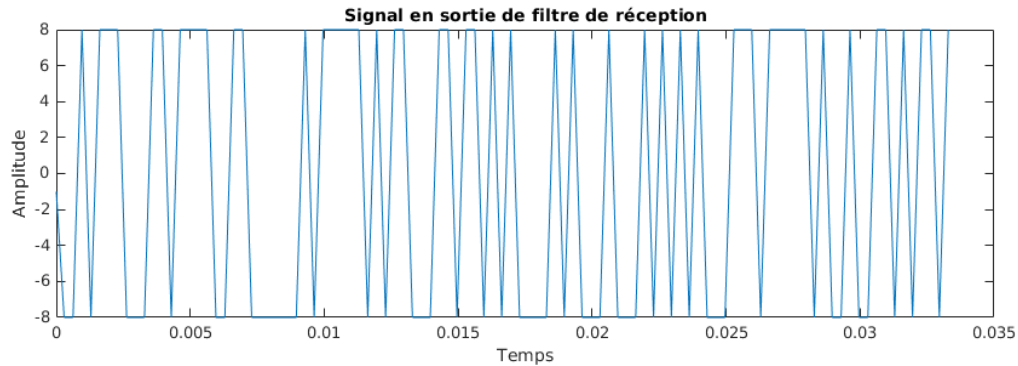


FIGURE 12 – Signal sortant du filtre de réception

Le signal obtenu en sortie de filtre de réception est bien conforme à ce qu'on devrait attendre en théorie, c'est à dire un enchainement de valeurs positives et négatives de même valeurs absolues (8 dans ce cas).

- Observation de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission

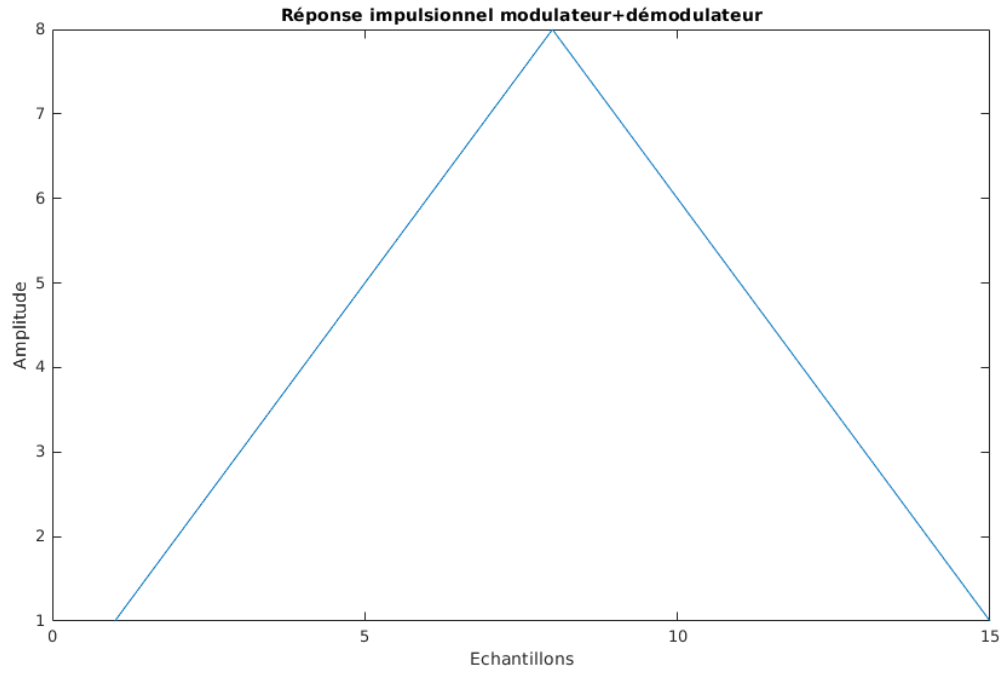


FIGURE 13 – Réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission

Le tracé de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission est conforme à ce qui était attendu en théorie. En effet, les filtres présents dans la chaîne sont deux filtres rectangulaires, donc la réponse impulsionnelle de leur convolution est triangulaire de durée  $2T_s$ . De plus, l'amplitude correspond à l'amplitude du signal reçu, ici 8.

Pour déterminer l'instant optimal  $n_0$  en utilisant  $g$ , on doit trouver un abscisse  $n_0$  tel que  $g(n_0)$  différent de 0 et quelque soit  $m$  dans  $N$ , on a  $g(n_0 + mN_s) = 0$ , avec  $N_s$  le nombre d'échantillons par symbole. Ici, le seul abscisse possible est :  $n_0 = 8$ .

- Observation du diagramme de l'oeil

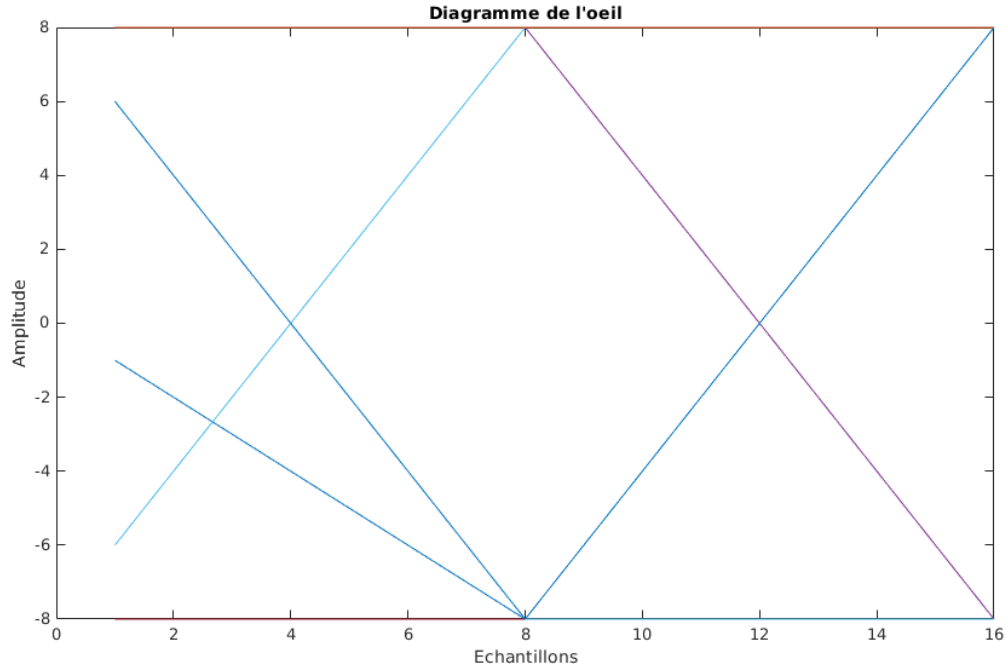


FIGURE 14 – Diagramme de l'Oeil en sortie du filtre de réception

Le diagramme de l'oeil obtenu est conforme aux attentes théoriques car on retrouve en partie la réponse impulsionnelle globale (normale et inversée).

Pour déterminer l'instant  $n_0$  optimal permettant d'échantillonner aux instants  $n_0 + mN_s$  sans interférences entre symboles, il faut prendre l'abscisse du centre de l'oeil : l'abscisse de telle sorte que la différence des valeurs en ordonnée est maximale. Ici, on obtient de même  $n_0 = 8$ .

Lorsqu'on lance la simulation, on obtient comme résultats pour le TEB :

- Pour  $n_0 = 8$  :  $TEB = 0.00$
- Pour  $n_0 = 3$  :  $TEB = 0.50$

Lorsque  $n_0$  est optimal (8), on évite les interférences entre symboles et comme il n'y a pas de canal dans ce cas, le signal reçu est identique au signal émis, car celui-ci n'a reçu aucune altération. Alors que pour  $n_0 = 3$ , le signal subit des interférences entre symboles lors de l'échantillonnage. Il y a donc des erreurs aléatoires lors de la détection des seuils ce qui conduit à un TEB égal à 0,5, ce qui est le pire taux d'erreur possible.

### 3.3 Étude avec canal de propagation sans bruit

On ajoute à la chaine précédente un canal de propagation à bande limitée  $BW$  (filtrage passe-bas réalisé de fréquence de coupure  $BW$  Hz) mais qui n'introduit pas de bruit, en considérant un échantillonnage aux instants optimaux.

1. Pour  $BW = 8000$  Hz :

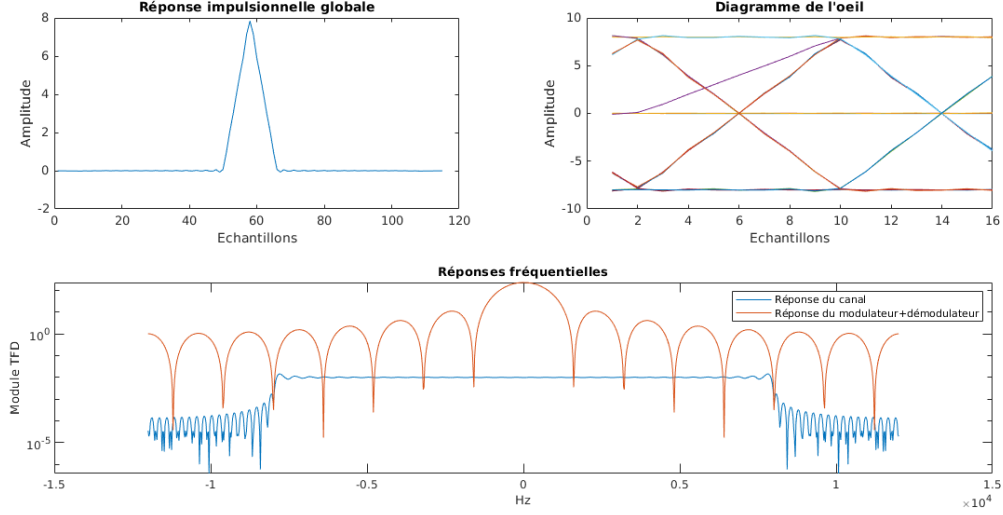


FIGURE 15 – Résultats pour  $BW = 8000$ Hz

En utilisant les méthodes vu plus-haut, on peut déterminer l'instant  $n_0 = 58$  optimal permettant d'échantillonner sans interférences entre symboles. Ce  $n_0$  correspond au retard engendré par les différents filtres :  $N_s$  par les filtres de modulations et de démodulation, ainsi que  $N$  pour le filtre de mise en forme, où  $N$  est l'ordre de filtrage du filtre passe-bas. Avec ce  $n_0$ , on obtient :  $TEB = 0.00$ . En effet, on évite les interférences entre symboles et le canal n'ajoute pas de bruit au signal. De plus, un canal à bande limitée  $BW = 8000$  Hz permet un filtrage passe-bas suffisamment large pour laisser passer la majorité de l'information contenue dans le signal. Cela peut se voir sur la troisième courbe de la figure 15 : l'information principale du signal est entre  $-2500$  et  $2500$  Hz et la porte de filtre comprend cette information (porte laissant passer le signal entre  $-8000$  et  $8000$  Hz). L'information est certes sans erreur avec  $n_0 = 58$ , mais n'est pas complètement idéale comme le montre le diagramme de l'oeil sur la figure 15 : on remarque une légère perturbation montrant les parties répétitives du signal ne sont pas parfaites égales comme on a pu avoir dans la partie sans canal. L'information est suffisante avec  $BW = 8000$  Hz.

2. Pour  $BW = 1000$  Hz :

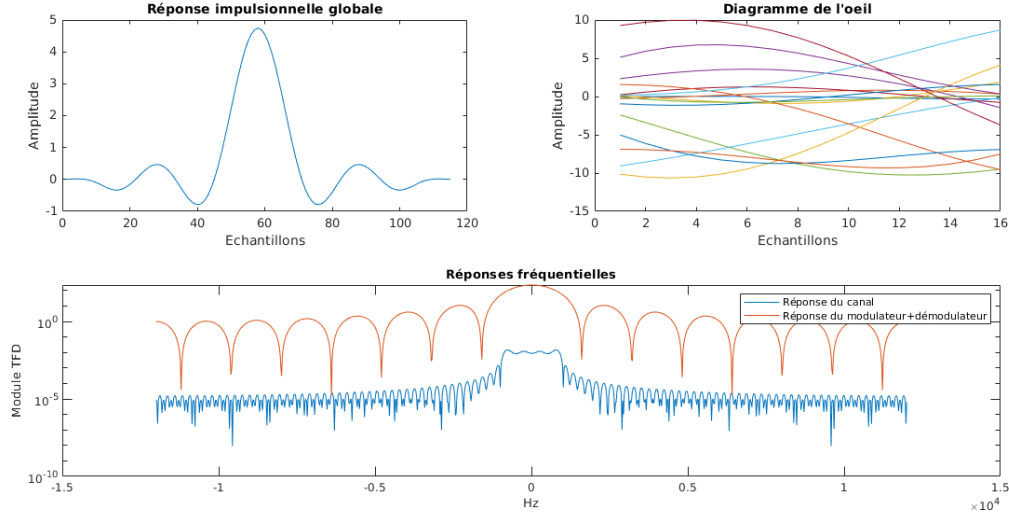


FIGURE 16 – Résultats pour  $BW = 1000$ Hz

En utilisant les méthodes vu plus-haut, on peut déterminer l'instant  $n_0 = 58$  optimal permettant d'échantillonner sans interférences entre symboles. La méthode utilisant le diagramme de l'oeil n'est pas utilisable à cause d'une perte d'information. Cette perte d'information est due au fait qu'une bande de 1000 Hz ne permet pas de faire passer toute l'information contenue dans le signal. Cela peut se voir sur la troisième courbe de la figure 16 : la porte du filtre passe-bas ne permet pas à la majorité de l'information comprise entre  $-2500$  et  $2500$  Hz de passer le canal, d'où la perte. On obtient donc ici un  $TEB = 0.07$  malgré le choix de l'instant  $n_0$  optimal à cause de ce filtrage par le canal trop important.

## 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

Comme précédemment, nous avons une fréquence d'échantillonnage  $F_e = 24000$  Hz ainsi qu'un débit binaire  $R_b = 3000$  bits par seconde. Pour la chaîne de référence, nous appliquerons un mapping binaire à moyenne nulle avec des réponses impulsionnelles des filtres de mise en forme et de réception pour  $h$  et  $h_r$  qui seront rectangulaires de durée  $T_s$  et de hauteur 1. L'échantillonnage sera aux instants  $n_0 + mN_s$  optimaux, on utilisera un détecteur à seuil avec seuil en 0, pour prendre les décisions sur les symboles et demapping adapté au mapping réalisé.

## 1. Impact du bruit sur le diagramme de l'oeil.

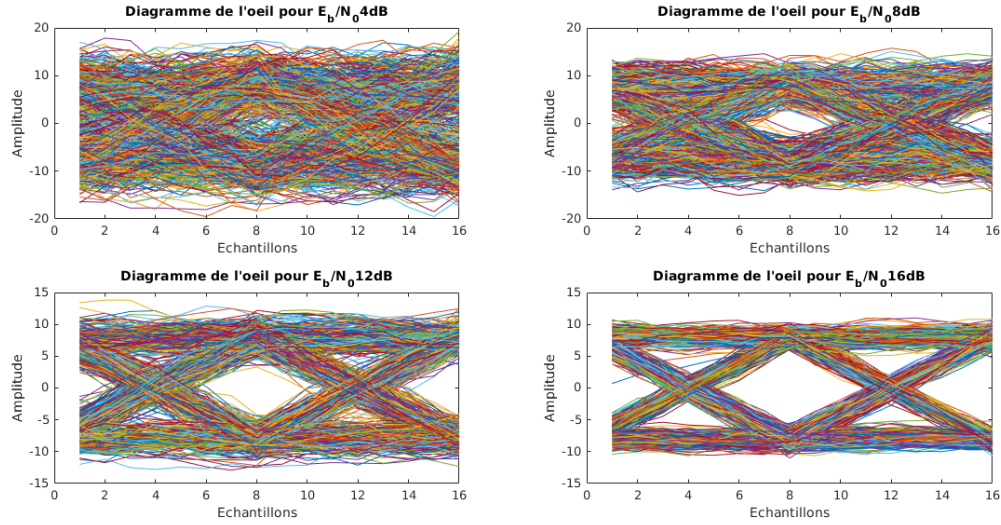


FIGURE 17 – Diagrammes de l'oeil pour différentes valeurs de  $E_b/N_0$

En observant les différents diagrammes de la figure 17, on remarque que plus le bruit est important, plus l'oeil est "fermé" : les symboles sont plus étalés au niveau de l'amplitude, et inversement, lorsque le bruit diminue, l'oeil "s'ouvre" étant ainsi plus facile à lire.

## 2. Observation du TEB

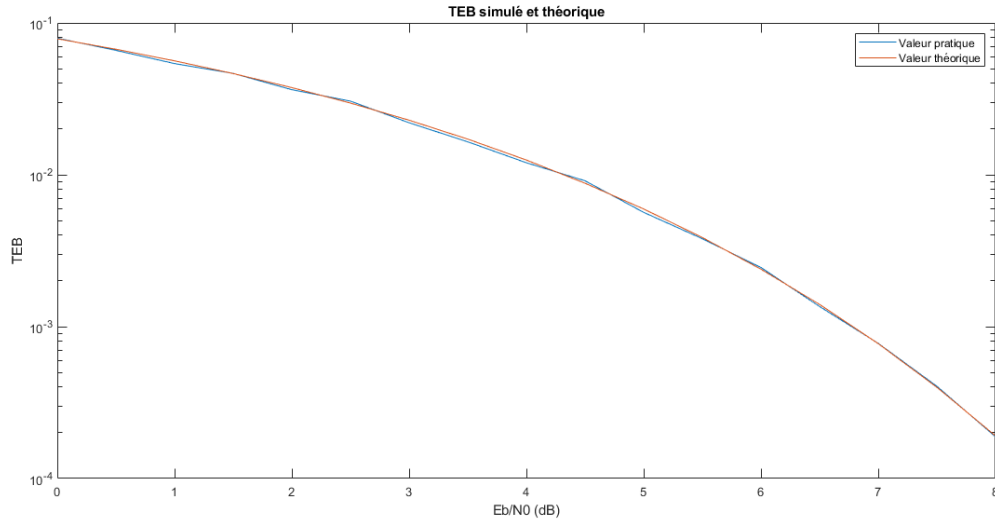


FIGURE 18 – Superposition du TEB théorique et du TEB simulé, en fonction de  $E_b/N_0$

Le taux d'erreur binaire obtenu en faisant varier le rapport  $\frac{E_b}{N_0}$  entre 0 et 8 dB est égal au taux d'erreur binaire théorique sur cette plage. Nous avons choisi d'avoir des messages de 10000 bits avec un nombre de bits faux de 1000 au minimum ce qui est suffisant pour considérer que la mesure du TEB obtenue dispose de la précision requise.



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

Dans cette première étude, nous utiliserons la même fréquence d'échantillonnage et le même débit binaire que précédemment, soit  $F_e = 24000$  Hz et  $R_b = 3000$  bits par seconde. Le mapping est le même que la chaîne de référence : binaire à moyenne nulle. La différence pour cette étude est au niveau des réponses impulsionnelles des filtres de mise en forme et de réception,  $h$  et  $h_r$  que l'on retrouve sur la figure 19.

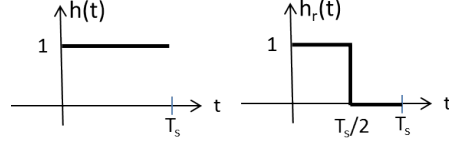


FIGURE 19 – Réponses impulsionnelles des filtres d'émission et de réception.

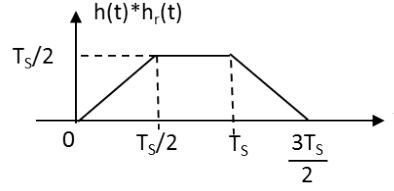


FIGURE 20 – Produit de convolution entre  $h(t)$  et  $h_r(t)$ .

On aura donc une réponse impulsionnelle différente ce qui modifiera la forme du diagramme de l'oeil.

#### 4.3.1 Implantation de la chaîne sans bruit

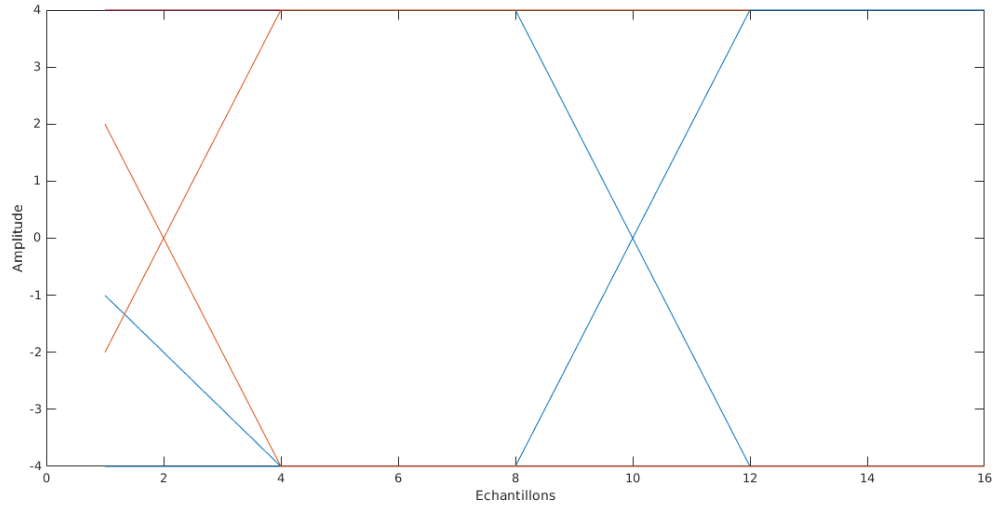


FIGURE 21 – Diagramme de l'oeil en sortie de filtre de réception

D'après ce diagramme de l'oeil, on a une distance minimale entre symboles en  $n_0 = 6$ . De plus, ce diagramme correspond bien à ce qu'on s'attend, car c'est bien la superposition des symboles possibles sur une période  $T_s$  du signal reçu. La réponse impulsionnelle globale de la chaîne est en effet :

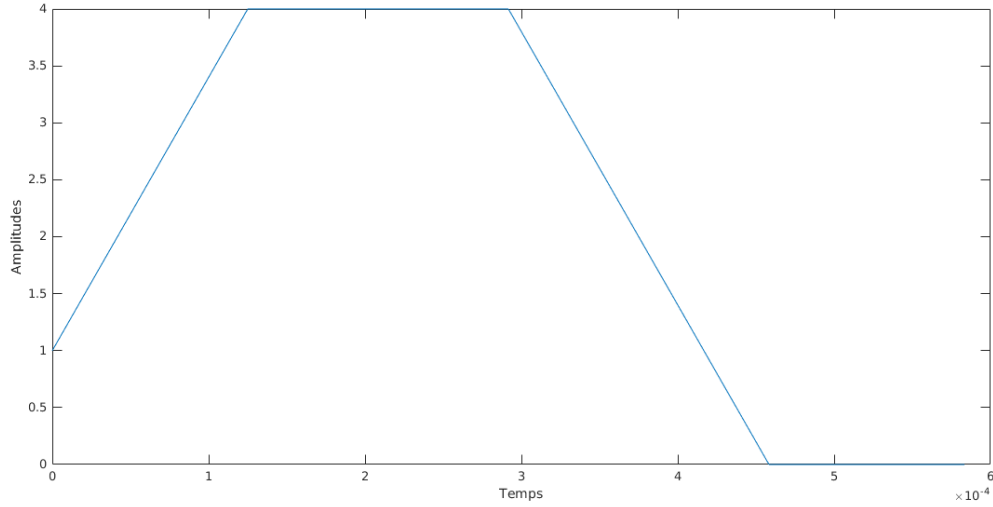


FIGURE 22 – Réponse impulsionnelle globale de la 1ère chaîne étudiée sans bruit

#### 4.3.2 Implantation de la chaîne avec bruit

##### 1. Impact du bruit sur le diagramme de l'oeil

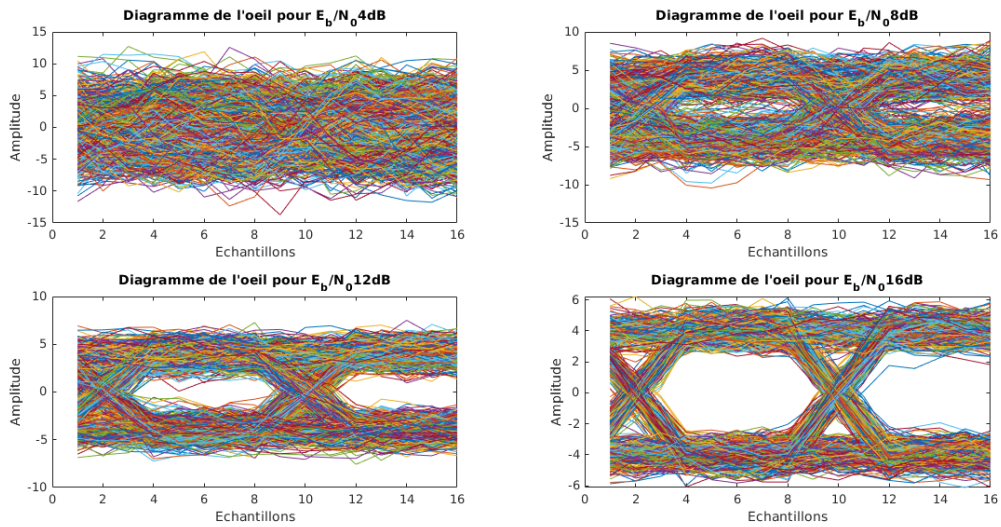


FIGURE 23 – Diagrammes de l'oeil en sortie de filtre de réception pour différentes valeurs de  $E_b/N_0$

En observant les différents diagrammes de la figure 23, comme pour la chaîne de référence on remarque que plus le bruit est important, plus l'oeil est "fermé", et inversement, lorsque le bruit diminue, l'oeil "s'ouvre" étant ainsi plus facile à lire.

## 2. Observation du TEB

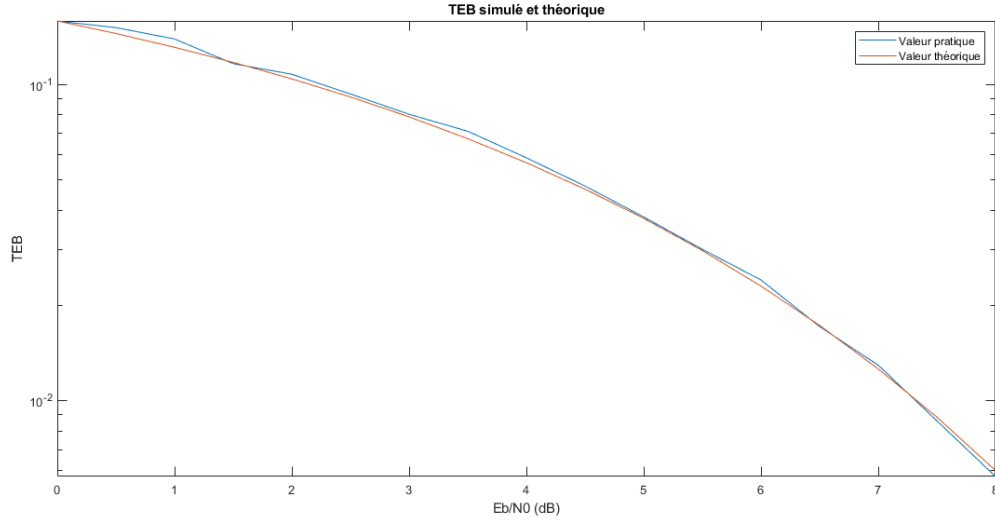


FIGURE 24 – Superposition du TEB théorique et du TEB simulé, en fonction de  $E_b/N_0$

Le TEB obtenu correspond au TEB théorique, ce qui valide notre chaîne de transmission.

## 3. Comparaison de l'efficacité de puissance avec la chaîne de référence

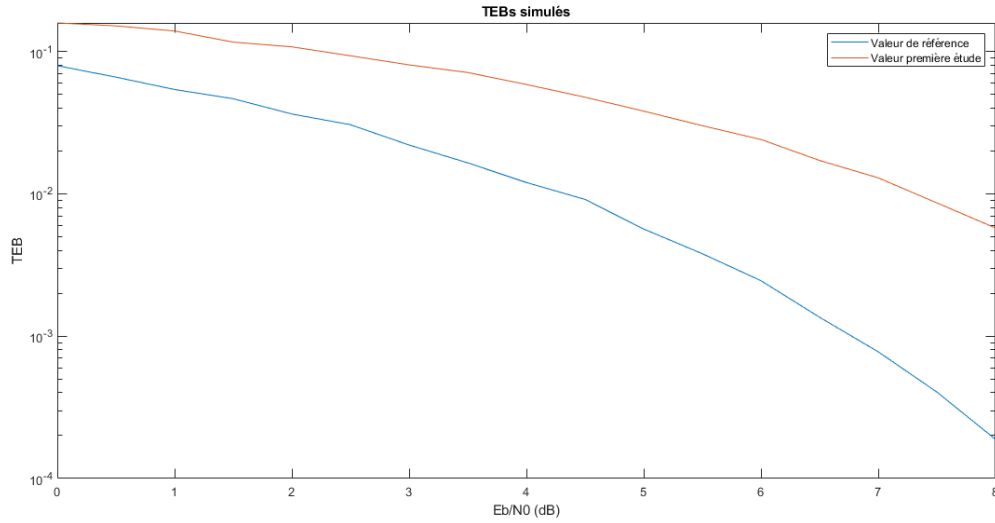


FIGURE 25 – Superposition du TEB de la chaîne étudiée et du TEB de la chaîne de référence, en fonction de  $E_b/N_0$

On remarque que le TEB est moins important pour la chaîne de transmission de référence pour un même rapport  $E_b/N_0$ . La chaîne de référence est donc plus efficace en puissance que la première chaîne étudiée. Cela est dû au fait que les filtres de mise en forme et de réception sont différents.

#### 4. Comparaison de l'efficacité spectrale avec la chaîne de référence

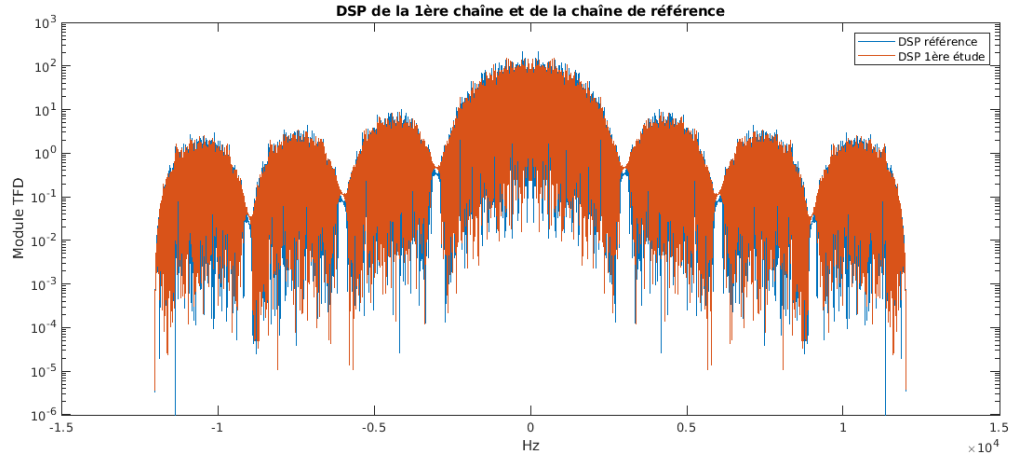


FIGURE 26 – Superposition de la DSP de la chaîne étudiée et de la chaîne de référence

Les modulateurs de la chaîne de référence et de la chaîne étudiée sont identiques, seul le filtre de réception change. Ils ont donc la même Densité Spectrale de Puissance, comme le montre la figure 26 et ont donc la même efficacité spectrale.

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

Dans cette deuxième étude, on garde la même fréquence d'échantillonnage et le même débit binaire :  $F_e = 24000$  Hz et  $R_b = 3000$  bits par seconde. Les réponses impulsions de mises en forme et de réception seront les mêmes que ceux de la chaîne de référence, c'est à dire,  $h$  et  $h_r$  rectangulaires de hauteur 1 et de durée  $T_s$ . La différence de cette étude est le mapping qui sera 4-aire à moyenne nulle (symboles  $a_k \in \{-3, -1, 1, 3\}$ ).

#### 4.5 Implantation de la chaîne sans bruit

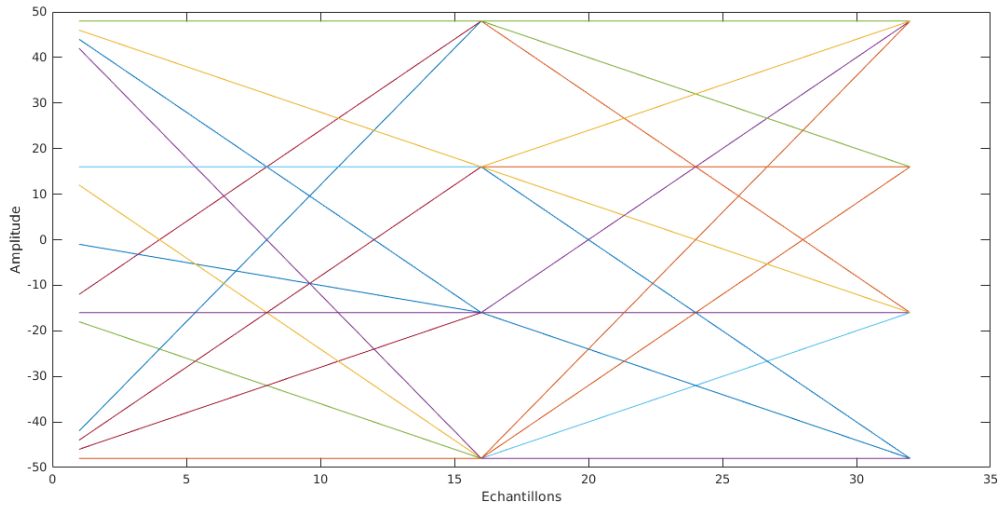


FIGURE 27 – Diagramme de l'oeil en sortie de filtre de réception

D'après ce diagramme de l'oeil, on a une distance maximale entre symboles en  $n_0 = 16 = N_s$ . De plus, on voit bien trois yeux ainsi que 4 points en  $n_0$  ce qui correspond au mapping 4-aire.

## 4.6 Implantation de la chaîne avec bruit

### 1. Comparaison du TES simulé et du TES théorique

Pour commencer l'étude avec bruit, on commence par comparer les symboles envoyées et reçues dans la transmissions vu qu'il y a plus de possibilité dans cette étude. On nous donne la formule théorique du Taux d'Erreur Symbole suivante pour la chaîne étudiée :

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

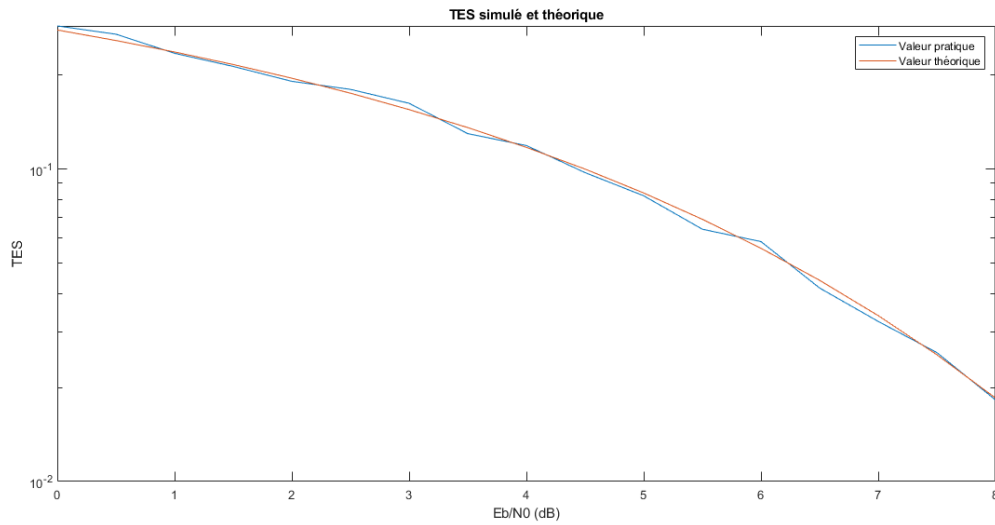


FIGURE 28 – Superposition du TES de la chaîne étudiée et du TES théorique

On remarque donc sur la figure 28 que le TES trouvé est équivalent au TES théorique donné ce qui indique un respect du critère de Nyquist ainsi qu'un filtrage adapté dans notre chaîne de transmission. Ainsi, on peut valider le bon fonctionnement de notre chaîne de transmission et s'attendre à obtenir un TEB pratique équivalent au TEB théorique

2. Comparaison du TEB obtenu par simulation pour la chaîne de transmission étudiée et du TEB théorique

On nous donne la formule du TEB théorique suivante :

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

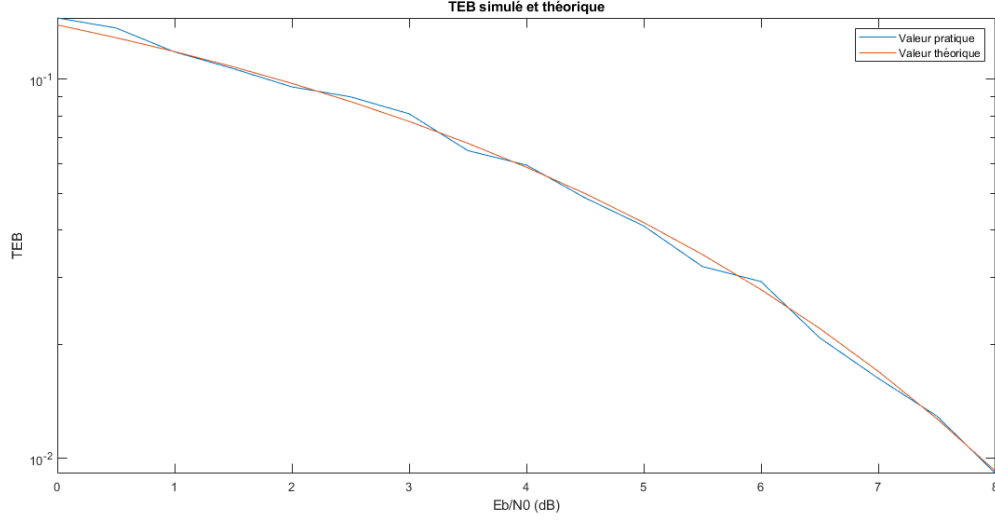


FIGURE 29 – Superposition du TEB de la chaîne étudiée et du TEB théorique

On remarque sur la figure 29 que le TEB obtenu par simulation est le même que le TEB théorique donné ci-dessus. Le résultat était prévisible après les observations sur le TES : si le symbole est juste, alors, à condition que le démappage est bon, les bons bits en seront traduits.

3. Comparaison de l'efficacité en puissance avec la chaîne de référence

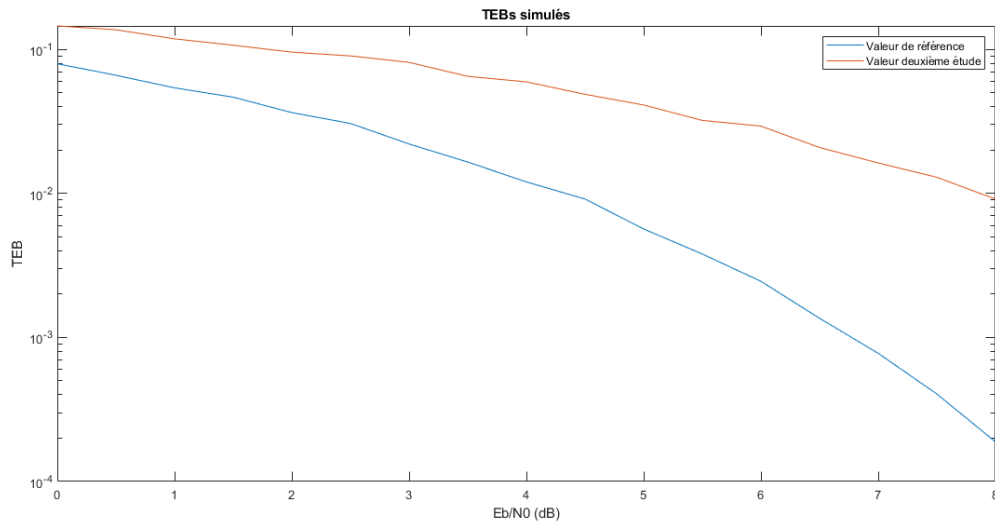


FIGURE 30 – Superposition du TEB de la chaîne étudiée et du TEB de la chaîne de référence

Sur la figure 30, on observe que la chaîne de référence a un TEB plus faible que la deuxième chaîne étudiée pour une même valeur de bruit  $\frac{E_b}{N_0}$ . La chaîne de référence est donc plus efficace en puissance que la deuxième chaîne étudiée. Cela est dû au fait que la deuxième chaîne étudiée possède un mapping 4-aire et donc augmente le nombre de bits qui risque d'être faux par symbole faux.

#### 4. Comparaison de l'efficacité spectrale avec la chaîne de référence

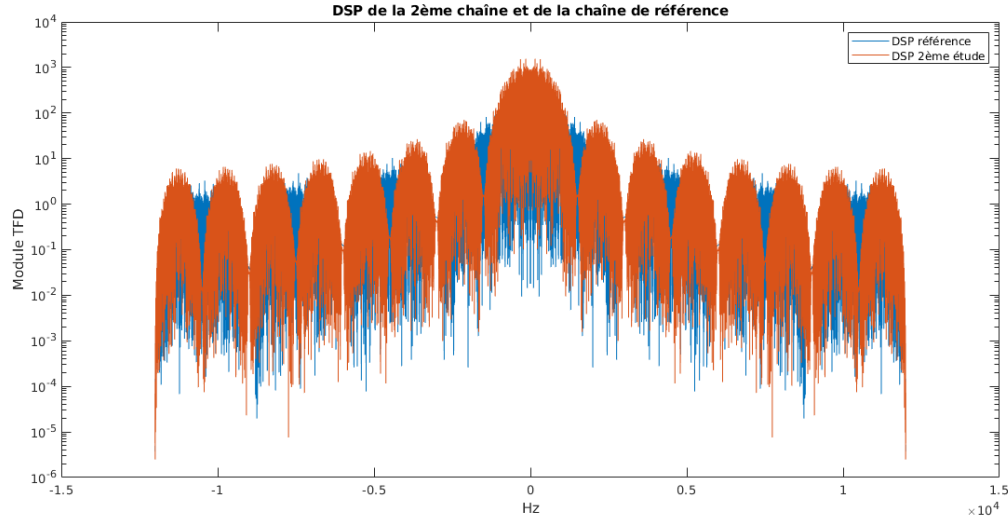


FIGURE 31 – Superposition de la DSP de la 2ème chaîne étudiée et de la DSP de la chaîne de référence

Sur la figure 31 on voit que la bande de transmission de la deuxième chaîne étudiée est moins importante que celle de la chaîne de référence. La deuxième chaîne étudiée est donc plus efficace spectralement. Cela vient du fait que celle-ci possède un mapping 4-aire, contre un mapping binaire pour la chaîne de référence car la mapping 4-aire permet d'occuper moins de fréquence en diminuant la fréquence des symboles.

## 5 Conclusion

Pour conclure, nous avons créé différentes chaînes de transmission afin de déterminer les différents paramètres influant sur l'efficacité spectrale et l'efficacité en puissance et de trouver les combinaisons les plus efficaces. Nous avons pu observer en partie l'influence d'un canal de propagation. Nous avons aussi vu que plus une chaîne est efficace spectralement, moins elle est efficace en puissance, il est donc nécessaire de trouver un compromis en fonction du contexte d'utilisation. Ce Travail Pratique fut intéressant car il nous a permis d'appliquer concrètement les méthodes et formules vues en cours et ainsi mieux visualiser une chaîne de transmission et ses signaux.

## 6 Références

- Diapo de cours : Introduction
- Diapo de cours : Modulation bande de base Calcul de la densité spectrale de puissance (DSP) d'un signal de communication numérique
- Diapo de cours : le canal de propagation
- Diapo de cours : Les interférences entre symboles et le critère de Nyquist

- Passage au critère de Nyquist en fréquentiel (calcul)
- Diapos de cours : Impact du bruit, filtrage adapté, calcul de TEB
- Compléments sur le filtrage adapté/règle de décision