



Étude de chaines de transmission sur porteuse : modulateurs DVB-S, DVB-S2

Loïc BLANC, Guilhem MANGENOT

Département Sciences du Numérique - Première année
2022-2023

Table des matières

1	Introduction	4
2	Implantation de la transmission avec transposition de fréquence	4
2.1	Étude	4
2.2	Implantation	4
3	Implantation de chaine passe-bas équivalente à la chaine de transmission sur porteuse	8
3.1	Étude	8
3.2	Implantation	8
4	Comparaison du modulateur DVB-S avec un des modulateurs proposés par le DVB-S2	11
4.1	Étude	11
4.2	Implantation de la modulation DVB-S2	11
4.3	Comparaison des modulateurs DVB-S et DVS-S2	13

Table des figures

1	Génération de l'enveloppe convexe associée au signal	4
2	Signal x_I sur la voie en phase	5
3	Signal x_Q sur la voie en quadrature	5
4	Génération du signal transmis sur fréquence porteuse	5
5	Signal x transmis sur fréquence porteuse	5
6	DSP de x_I	6
7	DSP de x_Q	6
8	DSP de x	6
9	Réception du signal bruité et démodulation	7
10	TEB en fonction du rapport signal à bruit par bit	7
11	TEB simulé et TEB théorique	7
12	Signal x_I sur la voie en phase	8
13	Signal x_Q sur la voie en quadrature	8
14	DSP de x_e	8
15	Constellation pour $Eb/N_0=0$	9
16	Constellation pour $Eb/N_0=2$	9
17	Constellation pour $Eb/N_0=4$	9
18	Constellation pour $Eb/N_0=6$	9
19	Constellation pour $Eb/N_0=10$	10
20	Constellation pour $Eb/N_0=20$	10
21	Constellation en sortie du mapping	10
22	TEB en fonction du rapport signal à bruit par bit	10
23	TEB de la chaîne avec transposition de fréquence et de la chaîne passe-bas équivalente	11
24	Constellation pour $Eb/N_0=0$	11
25	Constellation pour $Eb/N_0=2$	11
26	Constellation pour $Eb/N_0=4$	12
27	Constellation pour $Eb/N_0=6$	12
28	Constellation pour $Eb/N_0=10$	12
29	Constellation pour $Eb/N_0=20$	12
30	Constellation en sortie du mapping	12
31	TEB en fonction du rapport signal à bruit par bit	13
32	TEB simulé et TEB théorique	13

1 Introduction

Le DVB-S est une norme ETSI pour la diffusion du flux numériques multimédias en utilisant un lien satellite. La première version du format DVB-S se base sur une modulation QPSK avec une mise en forme en racine de cosinus surélevé de roll off 0.35. Une deuxième version, DVB-S2, propose d'utiliser un modulateur 8-PSK et un roll off de 0.2.

L'objectif de ce travail est l'étude de chaines de transmission sur fréquence porteuse. Cela comprend l'étude des rôles des différents éléments, l'implantation et l'utilisation de la chaine passe-bas équivalente ainsi que la comparaison des chaines de transmission sur fréquence porteuse en utilisant les chaines passe-bas équivalentes associées.

Le code est divisé en trois fichiers correspondant aux trois parties de ce projet.

2 Implantation de la transmission avec transposition de fréquence

2.1 Étude

Dans un premier temps, nous implantons une transmission au format DVB-S. Celle ci utilise un mapping QPSK, un filtre de mise en forme en racine de cosinus surélevé de roll off $\alpha = 0.35$ et une transposition de fréquence. Le canal satellite pour une transmission fixe de type DVB est un canal de propagation AWGN.

On utilisera une fréquence d'échantillonnage $F_e = 24$ kHz pour transmettre 10 kbits à un débit $R_b = 3$ kbps et une fréquence porteuse $f_p = 2$ kHz.

2.2 Implantation

Les bits sont séparés entre indices pair et impairs pour générer les signaux respectivement en voie en phase et en quadrature.

Les deux ensembles de bits subissent le même traitement : un mapping binaire à moyenne nulle, un suréchantillonnage puis un filtrage de mise en forme. Le retard est géré ici, avec l'ajout de $L/2 \times N_s$ bits factices avant filtrage et leur suppression après filtrage.

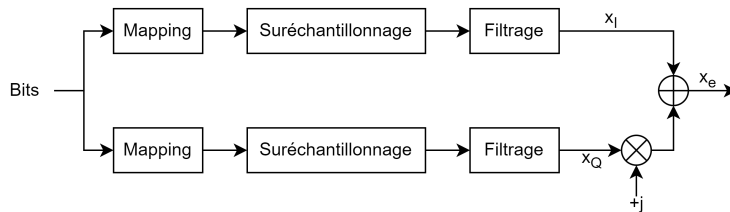


FIGURE 1 – Génération de l'enveloppe convexe associée au signal

On a globalement bien un mapping QPSK :

bits	a_k	b_k	d_k
00	-1	-1	-1-j
01	-1	+1	-1+j
11	+1	-1	+1-j
10	+1	+1	+1+j

Les figures 2 et 3 permettent de visualiser les signaux x_I et de x_Q générés (tronqué pour 50 bits, pour plus de lisibilité).

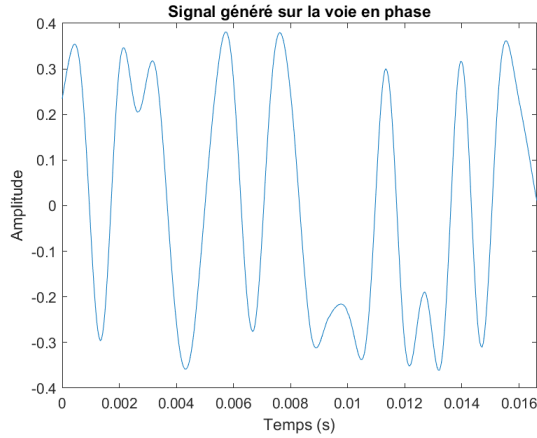


FIGURE 2 – Signal x_I sur la voie en phase

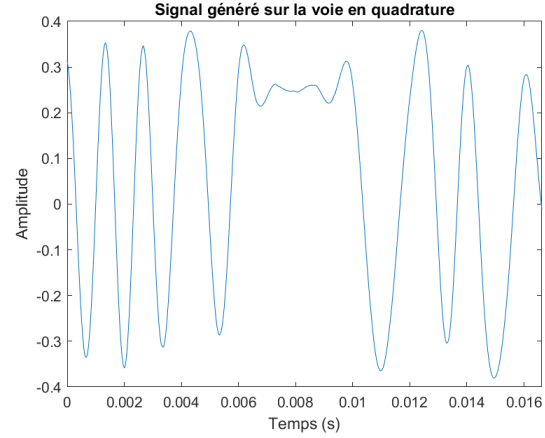


FIGURE 3 – Signal x_Q sur la voie en quadrature

On génère ensuite l'enveloppe convexe associée au signal $x = x_I + j \times x_Q$. On effectue ensuite la transposition de fréquence sur la porteuse f_p pour obtenir le signal x .

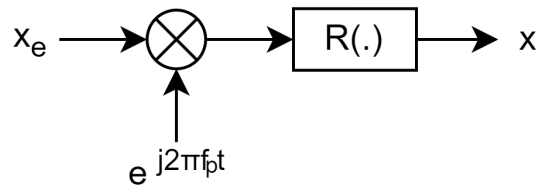


FIGURE 4 – Génération du signal transmis sur fréquence porteuse

On obtient le signal transmis représenté sur la figure 5.

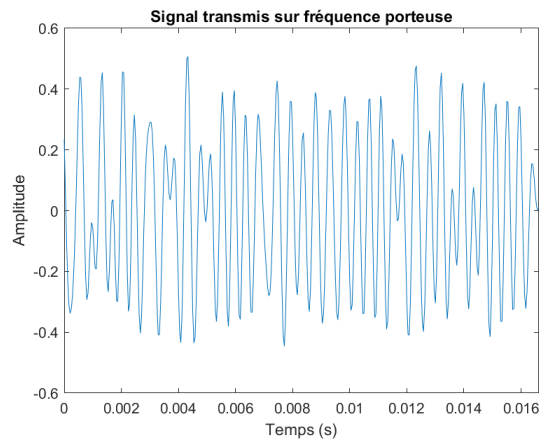


FIGURE 5 – Signal x transmis sur fréquence porteuse

On estime la densité spectrale de puissance (DSP) de ces 3 signaux avec un périodogramme de Welch (figures 6, 7, 8).

On observe que les DSPs des signaux sur les voies (figures 6 et 7) sont centrées en 0 avec une bande passante d'environ 2 kHz. Cela correspond à ce qu'on attend d'une modulation QPSK avec les valeurs de débit binaire R_b et de roll-off α fournies :

$$B_x = \frac{1 + \alpha}{\log_2(M)} \times R_b = \frac{1 + 0.35}{\log_2(4)} \times 3000 = 2025 \text{ kHz}$$

La DSP du signal transmis sur fréquence porteuse (figure 8) comporte deux pics de même largeur et correspondant aux pics des DSPs de x_I et x_Q . On note que ces pics sont centrés en $\pm f_p$, ce qui correspond à la théorie.

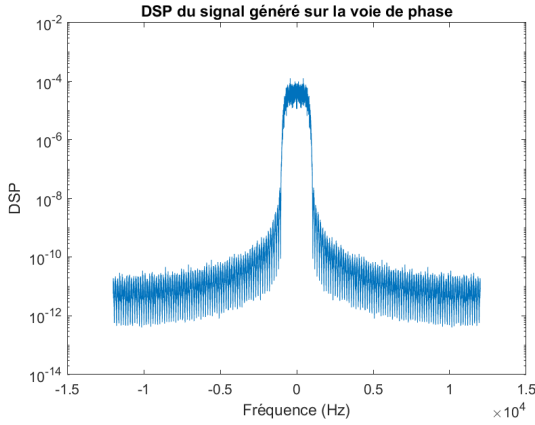


FIGURE 6 – DSP de x_I

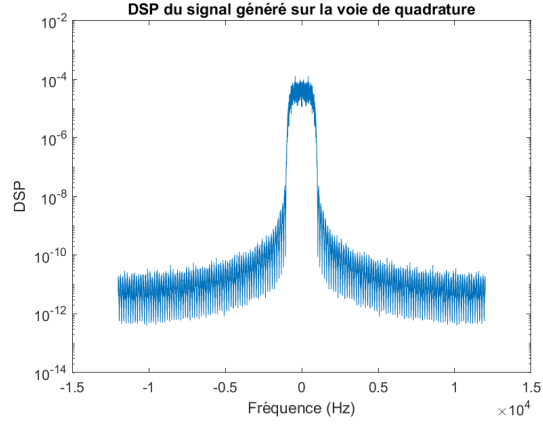


FIGURE 7 – DSP de x_Q

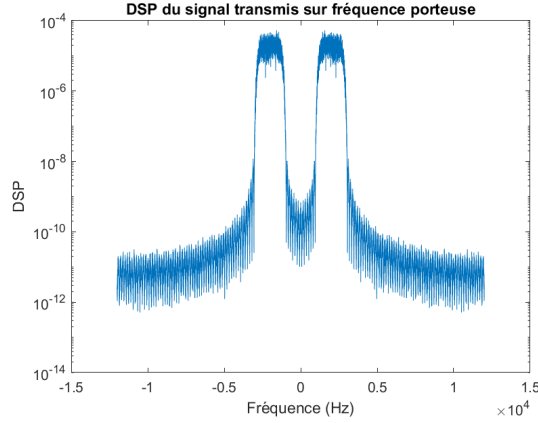


FIGURE 8 – DSP de x

Le signal transite ensuite par un canal de propagation à bruit additif et gaussien (AWGN). Dans cette simulation, le bruit est introduit sur la bande F_e avec une puissance σ_n^2 telle que

$$\sigma_n^2 = \frac{P_x N_s}{2 \log_2(M) \frac{E_b}{N_0}} \quad (1)$$

avec P_x la puissance du signal, $N_s = F_e / R_b$ le facteur de suréchantillonnage, M l'ordre de la modulation (ici 4) et E_b / N_0 le rapport signal à bruit par bit souhaité à l'entrée du récepteur.

La réception se fait avec un filtrage adapté et un échantillonnage aux instants optimaux. Les bits d'indices pairs et impairs sont démodulés séparément avec un seuil de décision adapté (seuil à 0) pour reconstruire les bits envoyés.

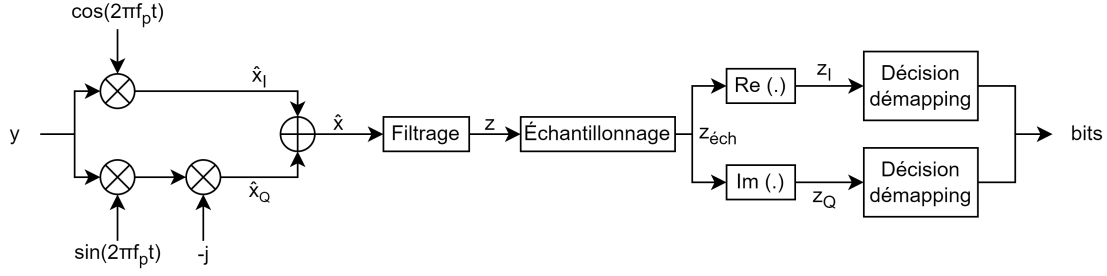


FIGURE 9 – Réception du signal bruité et démodulation

On peut évaluer le taux d'erreur binaire (TEB) en comparant les bits émis et les bits reçus. On le mesure pour des valeurs de E_b / N_0 variant de 0 à 6 dB.

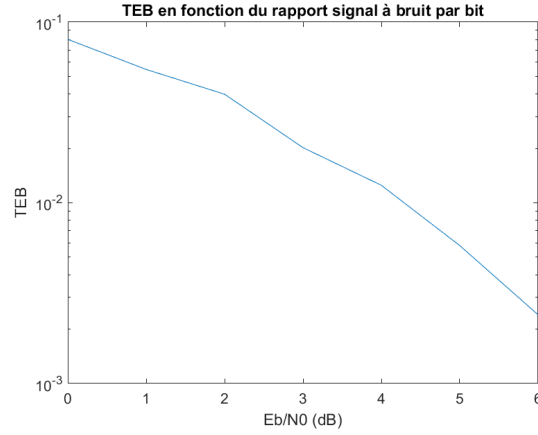


FIGURE 10 – TEB en fonction du rapport signal à bruit par bit

On peut le comparer au TEB théorique de la chaîne étudiée, obtenu par la formule suivante. La comparaison permet de valider le bon fonctionnement de la chaîne de transmission.

$$TEB = 2 \times Q(\sqrt{2 \log_2(M) 10^{E_b/(10N_0)}} \times \sin(\pi/M)) / \log_2(M) \quad (2)$$

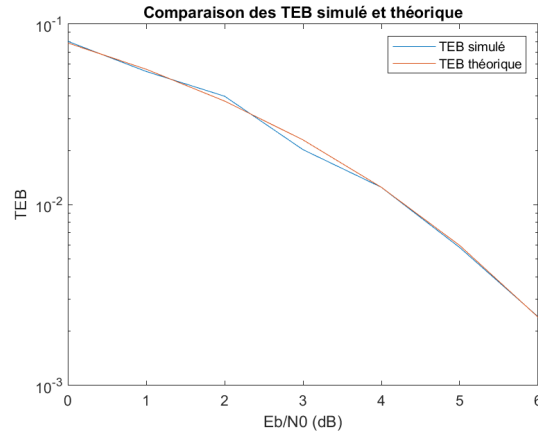


FIGURE 11 – TEB simulé et TEB théorique

3 Implantation de chaine passe-bas équivalente à la chaine de transmission sur porteuse

3.1 Étude

On implémente maintenant la chaine de transmission passe-bas équivalente à la chaine de transmission sur fréquence porteuse réalisée précédemment. On utilise la même fréquence d'échantillonnage $F_e = 24$ kHz pour transmettre 10 kbits à un débit $R_b = 3$ kbps.

3.2 Implantation

La génération de l'enveloppe convexe associée au signal transmis sur fréquence porteuse est la même que pour la chaine précédente.

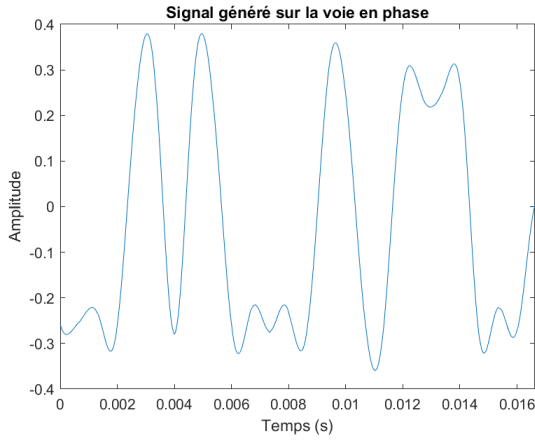


FIGURE 12 – Signal x_I sur la voie en phase

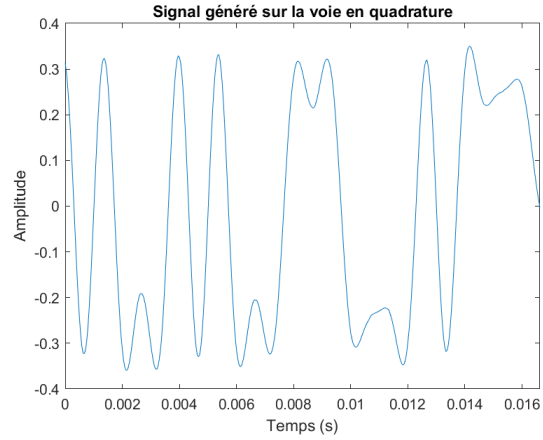


FIGURE 13 – Signal x_Q sur la voie en quadrature

On peut estimer la DSP de l'enveloppe convexe générée. On obtient une DSP avec un seul pic centrée en 0 (contre les 2 pics centrés en $\pm f_p$ de la chaine avec transposition de fréquence) et de largeur d'environ 2 kHz.

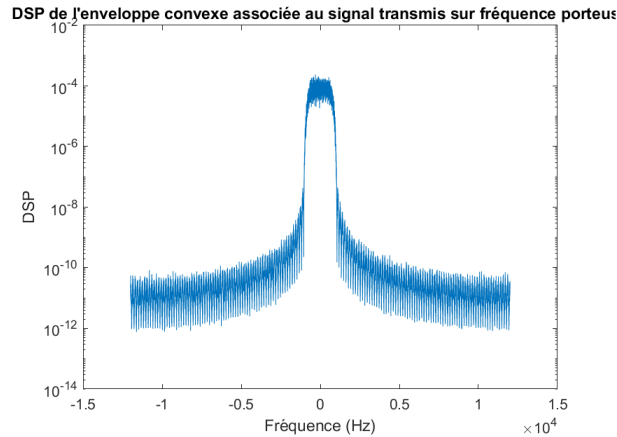


FIGURE 14 – DSP de x_e

Le bruit introduit par le canal de propagation est un bruit complexe $n_e = n_I + j n_Q$. Il s'ajoute

sur la bande F_c avec une même puissance σ_n^2 sur chaque voie, telle que

$$\sigma_n^2 = \frac{P_{xe} N_s}{2 \log_2(M) \frac{E_b}{N_0}} \quad (3)$$

Après le canal, le signal est filtré de façon adaptée, puis échantillonné et démappé de la même façon que pour la chaîne précédente.

On peut tracer les constellations en sortie de l'échantillonneur pour différentes valeurs de E_b / N_0 (figures 15 à 20) et les comparer à la constellation obtenue en sortie du mapping (figure 21).

On voit que l'écart type de la distribution des points sur la constellation varie inversement avec le rapport E_b / N_0 . Pour E_b / N_0 très grand, on retrouve le tracé obtenu en sortie du mapping.

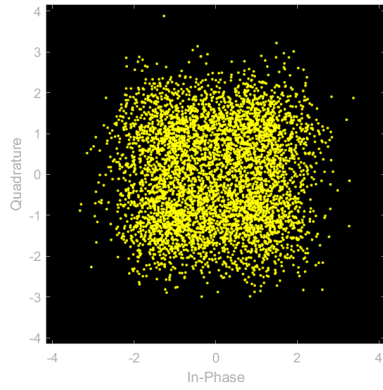


FIGURE 15 – Constellation pour $E_b/N_0=0$

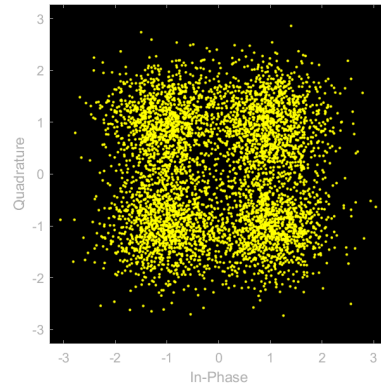


FIGURE 16 – Constellation pour $E_b/N_0=2$

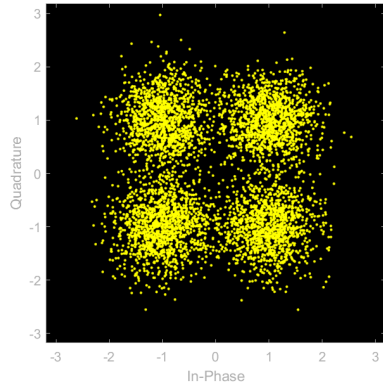


FIGURE 17 – Constellation pour $E_b/N_0=4$

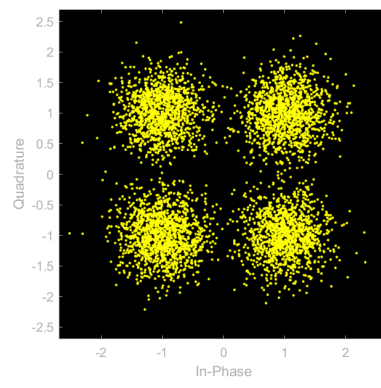


FIGURE 18 – Constellation pour $E_b/N_0=6$

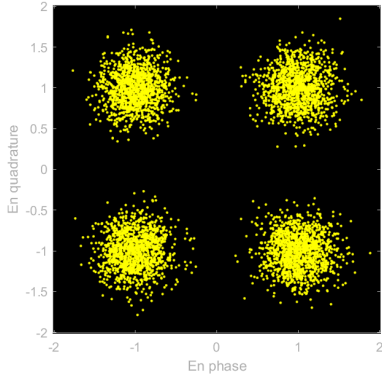


FIGURE 19 – Constellation pour $E_b/N_0=10$

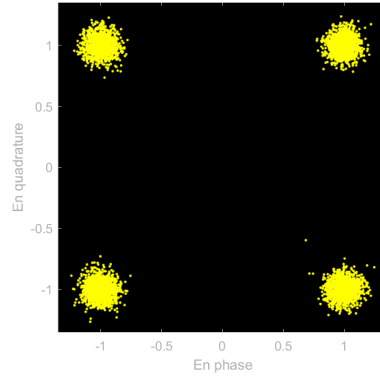


FIGURE 20 – Constellation pour $E_b/N_0=20$

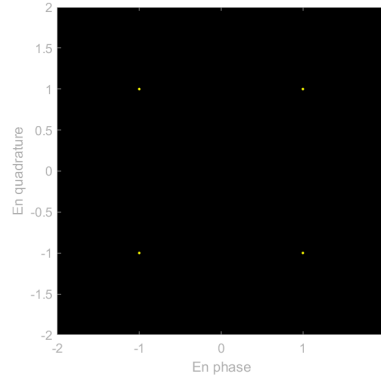


FIGURE 21 – Constellation en sortie du mapping

On peut évaluer le taux d'erreur binaire (TEB) de cette chaîne.

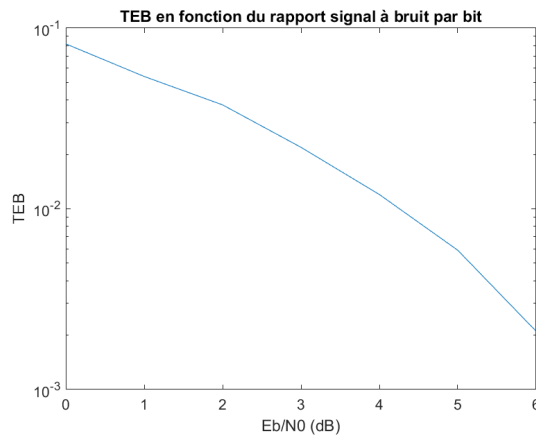


FIGURE 22 – TEB en fonction du rapport signal à bruit par bit

Ce tracé peut être comparé à celui réalisé précédemment pour la chaîne de transmission sur fréquence porteuse réalisée précédemment. On constate que le TEB est identique.

Si l'utilisation de la chaîne passe-bas équivalente ne donne pas une meilleure efficacité en puissance, elle est cependant plus simple à implémenter et nécessite des calculs moins importants. Cela la rend plus rapide comparée à la chaîne de transmission avec transposition de fréquence.

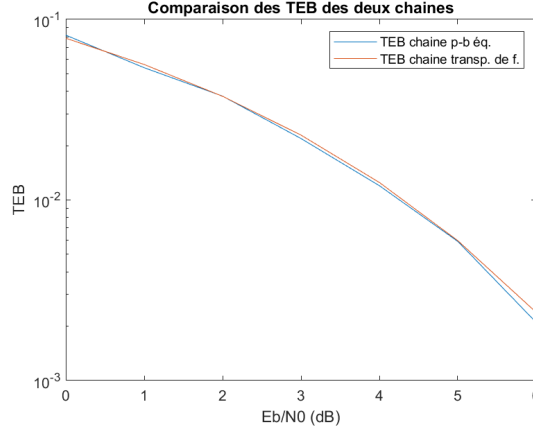


FIGURE 23 – TEB de la chaîne avec transposition de fréquence et de la chaîne passe-bas équivalente

4 Comparaison du modulateur DVB-S avec un des modulateurs proposés par le DVB-S2

4.1 Étude

Nous allons comparer le modulateur DVB-S implanté dans la première partie de ce projet (mapping QPSK, filtre de mise en forme en racine de cosinus surélevée de roll off $\alpha = 0.35$) à un des modulateurs proposés dans le DVB-S2. On utilisera un modulateur de mapping 8-PSK avec un filtre de mise en forme en racine de cosinus surélevé de roll off $\alpha = 0.20$.

On utilisera les chaînes passe-bas associées, avec une fréquence d'échantillonnage $F_e = 6$ kHz et un débit binaire $R_b = 3$ kbps.

4.2 Implantation de la modulation DVB-S2

De la même façon que pour la partie précédente, on peut tracer les constellations en sortie de l'échantillonneur pour différentes valeurs de E_b / N_0 (figures 24 à 29) et les comparer à la constellation obtenue en sortie du mapping (figure 30).

L'écart type de la distribution des points sur la constellation varie inversement avec le rapport E_b / N_0 .

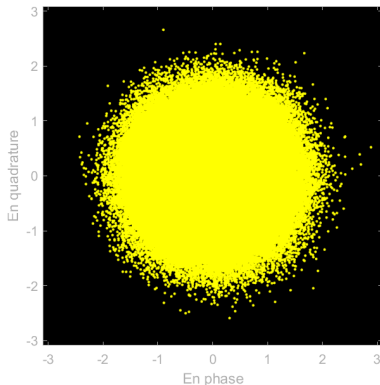


FIGURE 24 – Constellation pour $E_b/N_0=0$

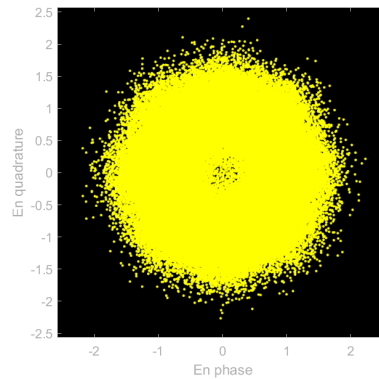


FIGURE 25 – Constellation pour $E_b/N_0=2$

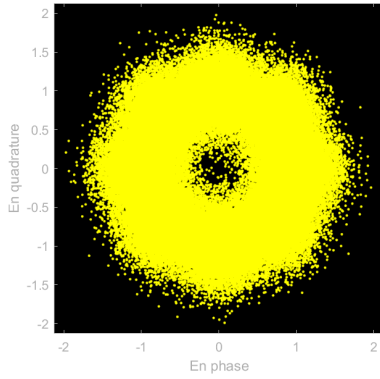


FIGURE 26 – Constellation pour $E_b/N_0=4$

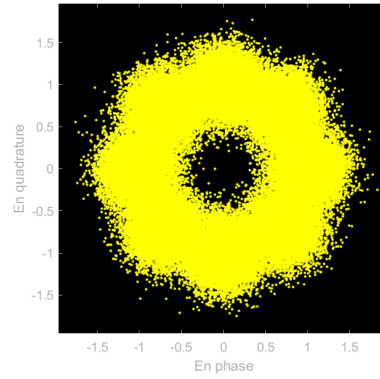


FIGURE 27 – Constellation pour $E_b/N_0=6$

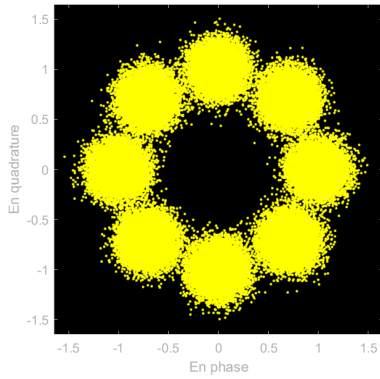


FIGURE 28 – Constellation pour $E_b/N_0=10$

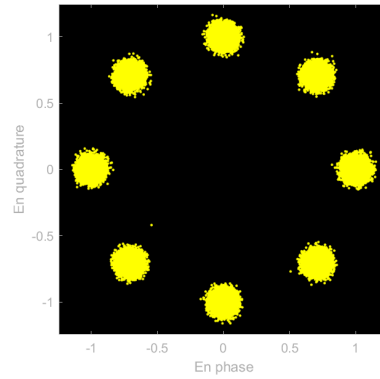


FIGURE 29 – Constellation pour $E_b/N_0=20$

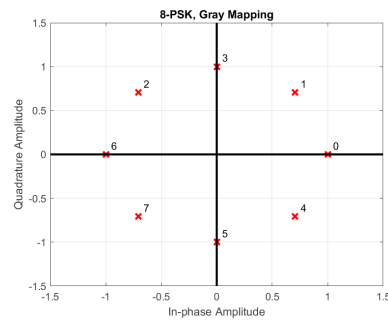


FIGURE 30 – Constellation en sortie du mapping

On peut évaluer le taux d'erreur binaire (TEB) de cette chaîne.

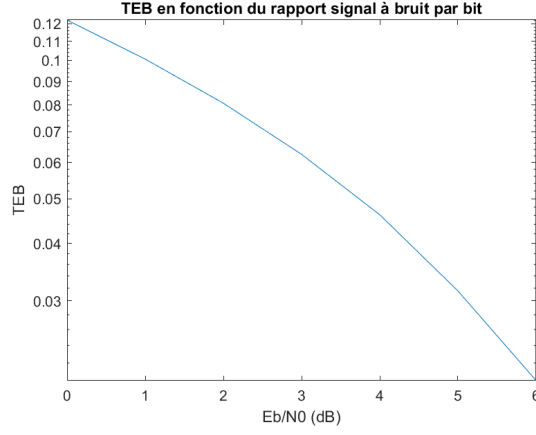


FIGURE 31 – TEB en fonction du rapport signal à bruit par bit

On peut le comparer au TEB théorique de la chaîne étudiée, obtenu par la formule suivante. La comparaison permet de valider le bon fonctionnement de la chaîne de transmission.

$$TEB = 2 \times Q(\sqrt{2 \log_2(M) 10^{E_b/(10N_0)}} \times \sin(\pi/M)) / \log_2(M) \quad (4)$$

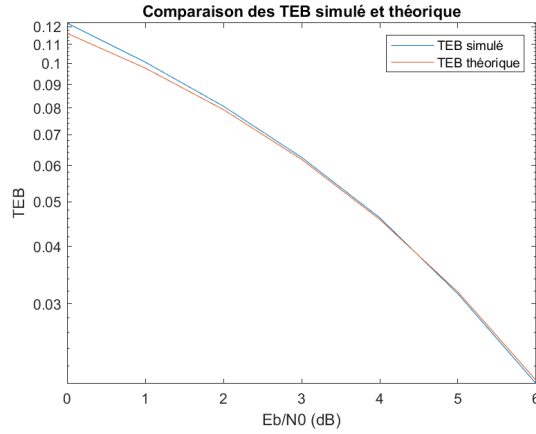


FIGURE 32 – TEB simulé et TEB théorique

4.3 Comparaison des modulateurs DVB-S et DVS-S2

En terme d'efficacité en puissance, la comparaison des TEB des deux chaînes (figures 22 et 31) montre que la chaîne DVB-S propose une efficacité supérieure à la chaîne DVB-S2.

Pour ce qui est de l'efficacité spectrale, en reprenant le calcul de la bande passante d'une modulation QPSK :

$$B_x = \frac{1 + \alpha}{\log_2(M)} \times R_b = \frac{1 + 0.20}{\log_2(8)} \times 3000 = 900 \text{ kHz}$$

DVB-S2 offre donc une meilleure efficacité spectrale.