



Télécommunications - Transmission sur fréquence porteuse

Florent Puy, Ewen Le Bihan

Department Sciences du numérique - Première année
2022-2023

Contents

1	Transmission avec transposition de fréquence	3
1.1	Implémentation	3
1.2	Étude de la densité spectrale de puissance	4
1.3	Étude du taux d'erreur binaire	5
2	Chaine passe-pas équivalente à une chaine de transmission sur porteuse	5
2.1	Implémentation	5
2.2	Étude de la densité spectrale de puissance et des constellations	6
2.3	Étude du taux d'erreur binaire	8
3	Comparaison entre le modulateur DVS-S et DVB-S2	9
3.1	Implémentation du DVB-S2	9
3.2	Comparaison	10
4	Conclusion	11

1 Transmission avec transposition de fréquence

L'objectif de cette partie est d'implémenter une transmission DVB-S avec un mapping QPSK. Nous étudierons ensuite sa densité spectrale de puissance et enfin son taux d'erreur binaire en fonction de la puissance du bruit additif.

1.1 Implémentation

Pour implémenter cette chaîne de transmission Q-PSK, nous utiliserons un filtre de mise en forme en racine de cosinus surélevé avec un roll-off de 0,35 et une transposition en fréquence. On suréchantillonnera notre signal en faisant intervenir un facteur de suréchantillonnage N_s . Nous avons $F_e = 24kHz$ la fréquence d'échantillonnage, $R_b = 3kbits/s$ le débit binaire et $f_p = 2kHz$ la fréquence porteuse. On introduira un bruit additif Gaussien dans le canal de propagation implémenté grâce à la fonction *randn* de Matlab. Ce bruit aura la puissance suivante:

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

Avec P_x la puissance sur signal.

Les filtres utilisés sont adaptés et le signal est échantillonné aux instants optimaux. Nous suréchantillonnerons avec la fonction *kron* de Matlab.

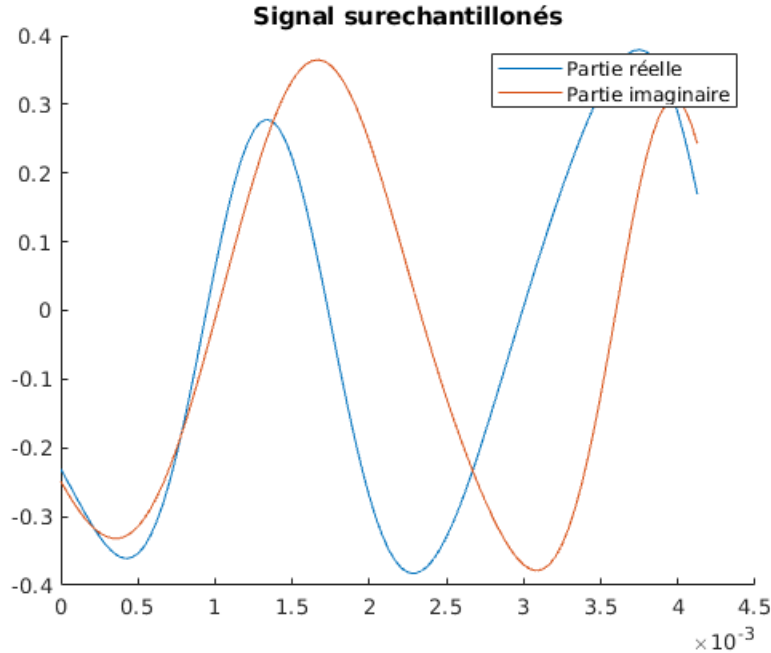


Figure 1: Tracé des signaux générés sur les voies en phase (bleu) et en quadrature (orange).

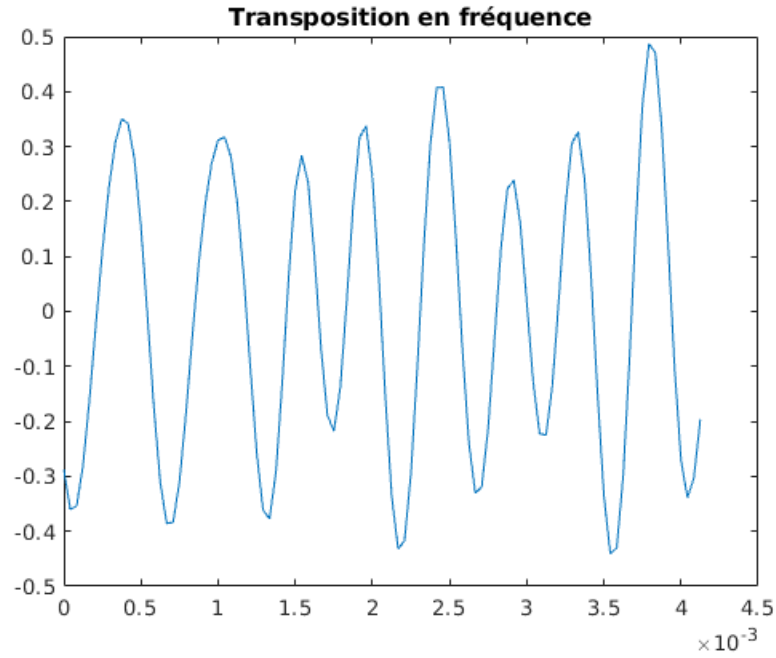


Figure 2: Tracé du signal transmit sur fréquence porteuse.

1.2 Étude de la densité spectrale de puissance

Interressons-nous maintenant à la densité spectrale de puissance de ce signal. Nous pouvons aisément la calculer et la mettre en forme grace aux fonctions *pwelch* et *fftshift* de Matlab. Voici le résultat obtenu pour le signal précédent:

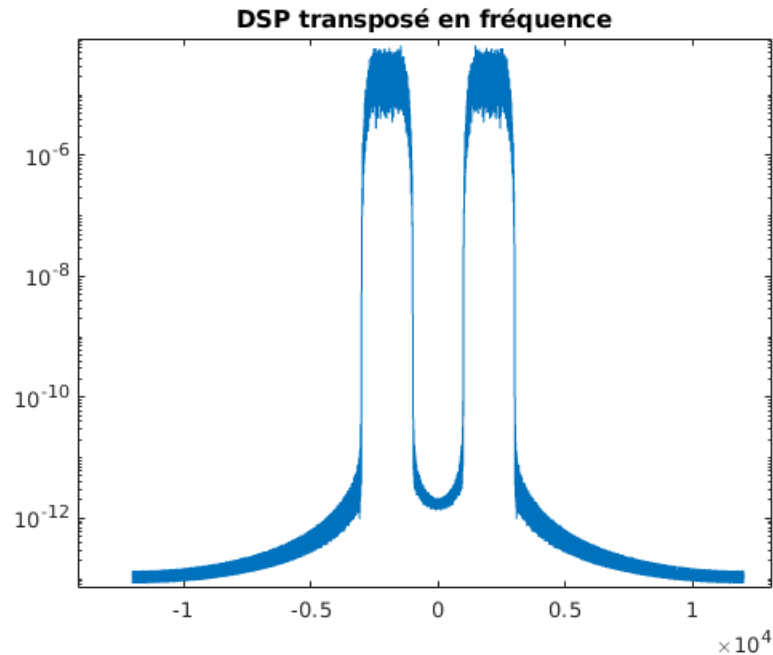


Figure 3: Tracé de la densité spectrale de puissance du signal transmit sur fréquence porteuse.

On observe deux pics en f_p et $-f_p$, ce qui confirme que le signal est bien transmit sur fréquence

porteuse et non sur bande de base, auquel cas nous aurions eu un unique pic en 0.

1.3 Étude du taux d'erreur binaire

Comparons maintenant le taux d'erreur binaire théorique de cette chaîne de transmission au taux d'erreur binaire expérimental que nous obtenons. Nous ferons varier $\frac{E_b}{N_0}$ de 0 à 6.

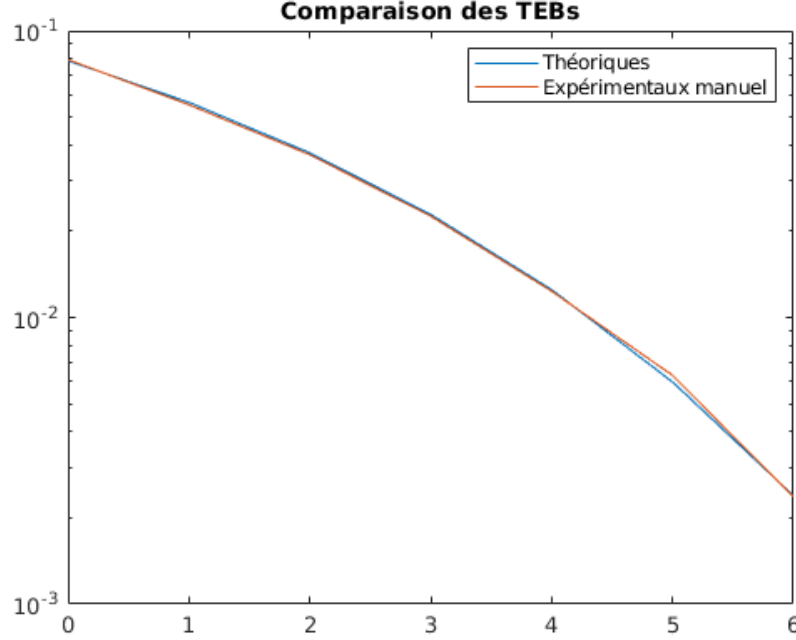


Figure 4: Tracé du taux d'erreur binaire théorique (en bleu) et expérimental (en orange).

On remarque que les deux tracés sont très proches, ce qui confirme la validité de notre chaîne de transmission.

2 Chaîne passe-pas équivalente à une chaîne de transmission sur porteuse

Dans cette partie, nous implémenterons une chaîne de transmission faisant intervenir un canal passe-bas théoriquement équivalent au canal de propagation de la chaîne de transmission précédente. Nous nous pencherons tout d'abord sur l'implémentation d'une telle chaîne de transmission, ensuite sur sa densité spectrale de puissance puis sur son taux d'erreur binaire.

2.1 Implémentation

Pour implémenter cette chaîne de transmission à canal passe-bas équivalent, nous introduirons un bruit complexe additif dans le canal passe-bas. Il sera divisé en une partie réelle n_I et une partie imaginaire n_Q . La puissance de ce bruit est la suivante:

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

Avec P_x la puissance sur signal.

Voici le signal obtenu avec cette chaîne de transmission :

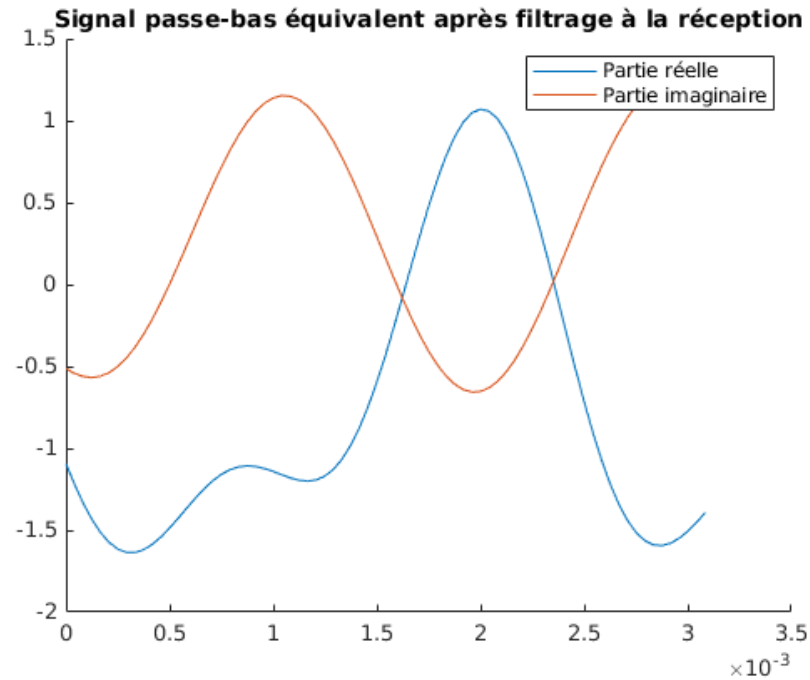


Figure 5: Tracé du signal transmit avec la chaîne passe-bas équivalente.

2.2 Étude de la densité spectrale de puissance et des constellations

Interressons-nous maintenant à la densité spectrale de puissance de ce signal. Comme, précédemment, utilisons la fonction *pwelch* de Matlab pour la calculer.

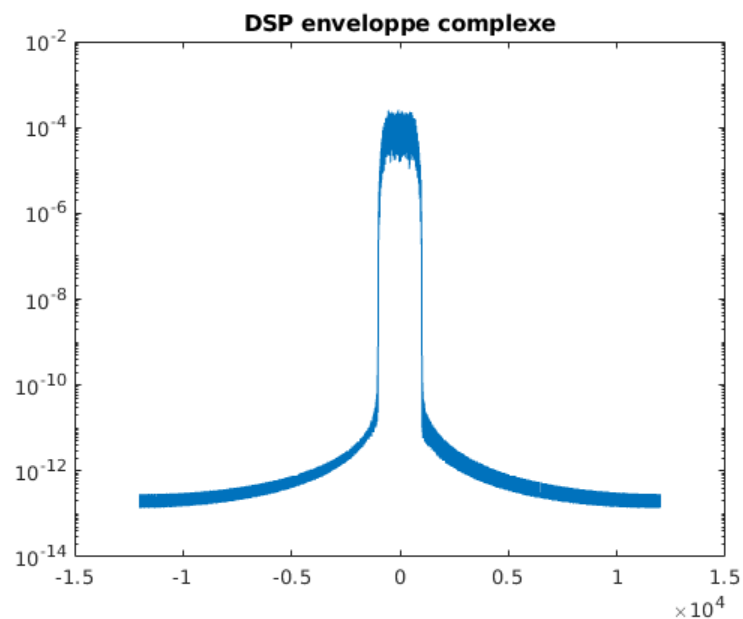


Figure 6: Tracé de la densité spectrale de puissance du signal transmit avec la chaîne passe-bas équivalente.

La densité spectrale de puissance de ce signal est centrée autour de 0 à l'inverse de celle du signal transmit sur fréquence porteuse qui est centrée autour des fréquences f_p et $-f_p$. Il s'agit donc d'une transmission en bande de base, ce qui est en accord avec le résultat théorique.

Penchons-nous maintenant sur les constellations obtenues en sortie de mapping et d'échantillonneur. Pour cela, nous utiliserons la fonction *scatterplot* de Matlab. Voici les résultats obtenus en sortie de mapping:

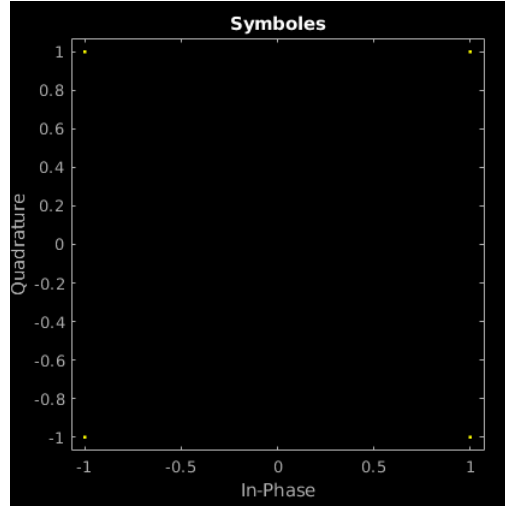


Figure 7: Tracé des symboles en sortie de mapping.

On retrouve bien les quatre symboles de la transmission Q-PSK. Regardons maintenant les constellations obtenues en sortie d'échantillonneur. La transmission étant désormais bruitée, nous afficherons des les résultats obtenus pour $\frac{E_b}{N_0}$ allant de 0 à 6.

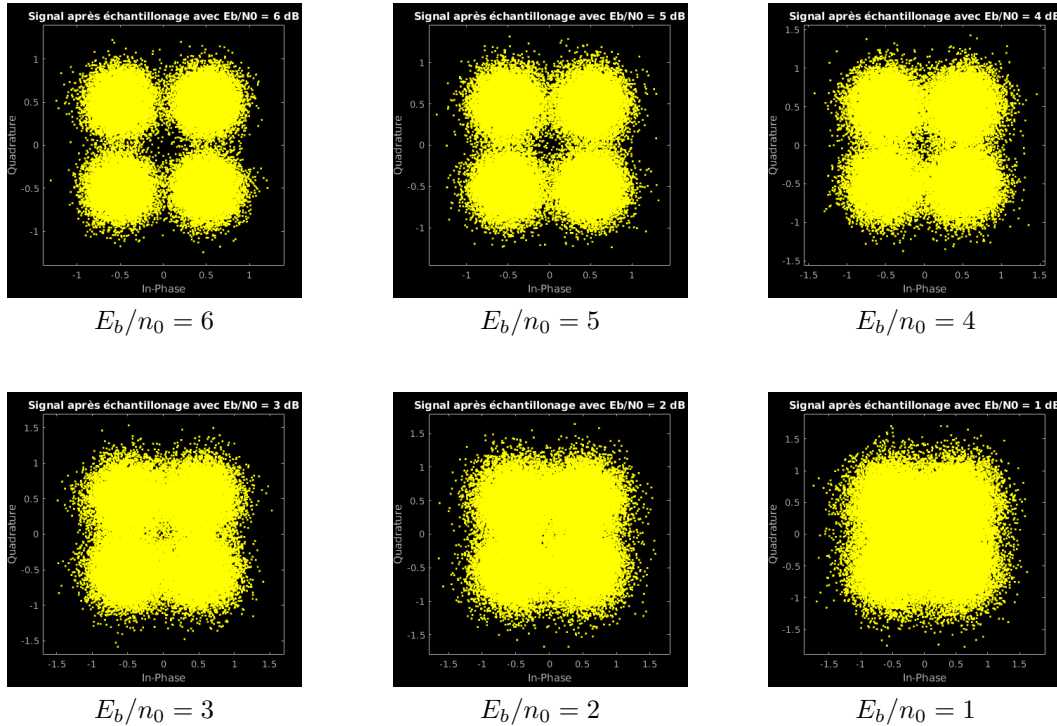


Figure 8 à 13: Constellations après échantillonnage du signal transmit en 8-PSK pour $\frac{E_b}{N_0} \in [1, 6]$.

2.3 Étude du taux d'erreur binaire

Pour finir, voici les taux d'erreur binaire de la transmission sur porteuse, du passe-bas équivalent et théorique superposés.

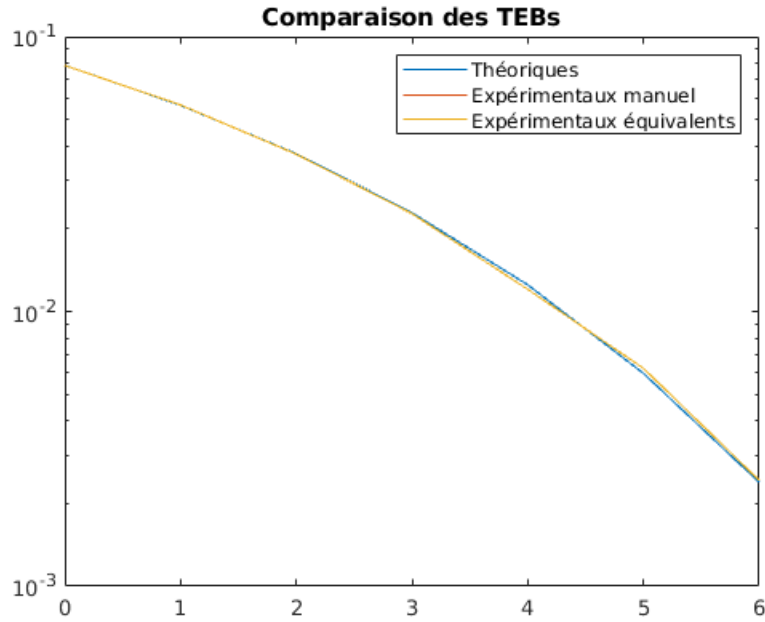


Figure 8: Tracé du taux d'erreur binaire théorique (en bleu), sur porteuse (en orange) et avec le passe-bas équivalent (en jaune).

On remarquera que le taux d'erreur binaire issu de la chaîne de transmission avec le canal passe-bas équivalent est très proche de celle sur fréquence porteuse. Ce résultat valide la conformité de notre simulation: cette chaîne de transmission est bien équivalente à une transmission sur porteuse.

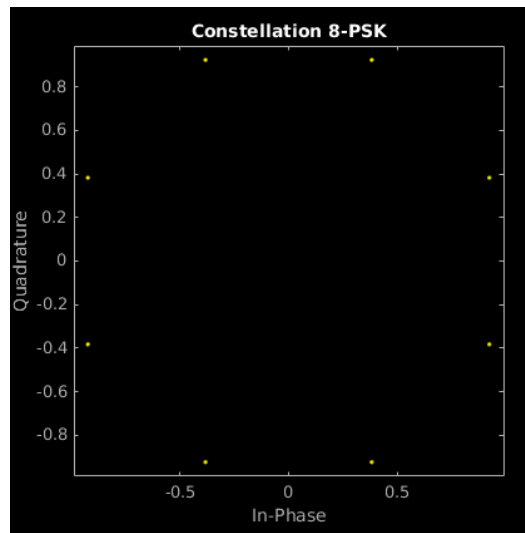
3 Comparaison entre le modulateur DVS-S et DVB-S2

Dans cette partie, nous allons implémenter un des modulateur du DVB-S2 et enfin, nous comparerons le modulateur DVB-S implémenté précédemment au modulateur DVB-S2.

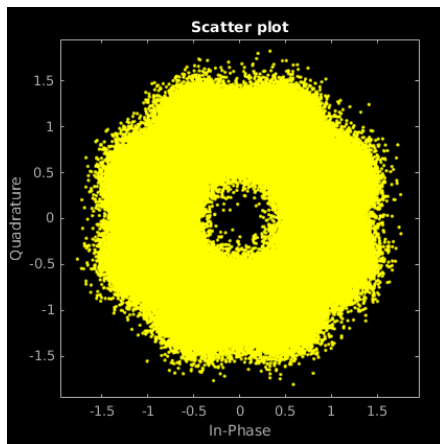
3.1 Implémentation du DVB-S2

Nous utiliserons cette fois ci un mapping 8-PSK avec un filtre de mise en forme en racine de cosinus surélevé avec un roll-off de 0,2. Nous utiliserons la fréquence d'échantillonnage $F_e = 6kHz$ et le débit binaire $R_b = 3kbps$.

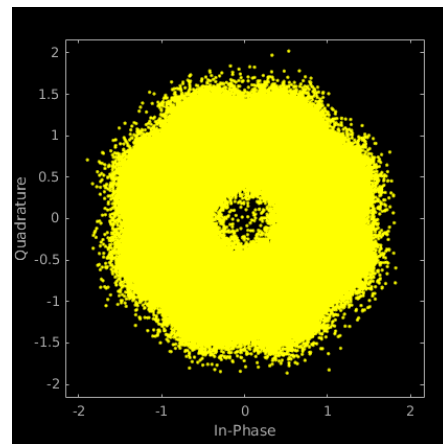
Voici la constellation de la transmission 8-PSK utilisée, tracée avec *scatterplot*:



En introduisant du bruit, voilà ce que deviennent ces constellations avec *scatterplot*:



$$E_b/N_0 = 5$$



$$E_b/N_0 = 3$$

Figure 16 et 17: Constellations après échantillonnage du signal transmis en 8-PSK pour $E_b/N_0 \in [3, 5]$.

On remarque l'impact du bruit sur les symboles reçus.

Enfin, voici un tracé des taux d'erreur binaires et expérimentaux obtenus avec cette chaîne de transmission:

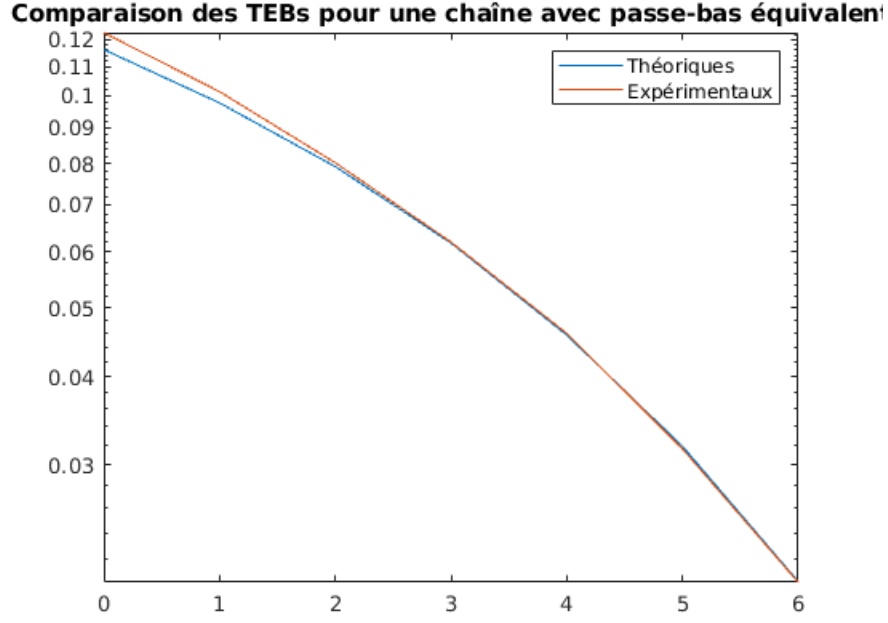


Figure 18: TEBs théoriques et expérimentaux de la transmission avec un mapping 8-PSK.

Le bruit théorique suivant la formule suivante:

$$TEB_{th} = 2(1 - \frac{1}{M})Q(\frac{\sqrt{2\frac{E_b}{N_0}}}{\sigma_a \log_2(M)})$$

Avec $M = 8$, le nombre de symboles et σ_a la puissance du bruit.

3.2 Comparaison

Tout d'abord, pour comparer nos deux chaînes de transmission en terme d'efficacité en puissance, comparons leurs taux d'erreur binaire.

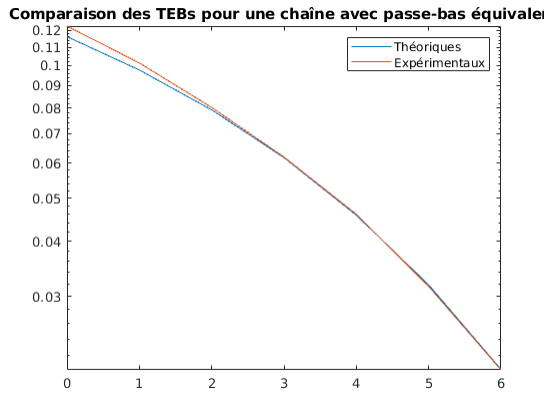


Figure 19: TEBs théoriques et expérimentaux de la transmission avec un mapping 8-PSK.

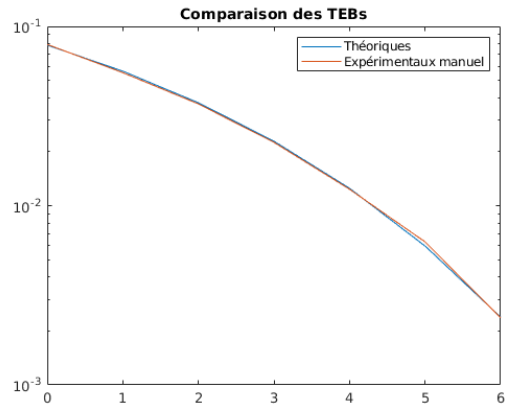


Figure 20: TEBs théoriques et expérimentaux de la transmission avec un mapping 4-PSK.

On remarque par lecture graphique que le taux d'erreur binaire de la chaîne avec un mapping 8-PSK est bien plus élevé que celui avec un mapping 4-PSK. Nous pouvons quantifier cela par le calcul des intégrales entre 0 et 6 de ces fonctions.

On a

$$\int_0^6 TEB_{4PSK} \approx 0,32 > \int_0^6 TEB_{8PSK} \approx 0,17$$

Cette différence est directement liée au nombre de symboles. Plus il y en a, plus les distances entre deux symboles vont être faibles et donc plus la décision sera difficile lorsqu'il y aura du bruit.

En termes d'efficacité spectrale, le 8-PSK offre une meilleure efficacité que le 4-PSK. Cela est dû au fait que le 8-PSK peut transmettre plus de bits par symbole. En utilisant un mapping 8-PSK, on peut transmettre 3 bits par symbole contre deux pour un mapping 4-PSK. Cela signifie qu'un signal 8-PSK peut transmettre plus d'informations par unité de temps, d'où une meilleure efficacité spectrale.

Voici les tracés des densités spectrales de puissance des deux signaux:

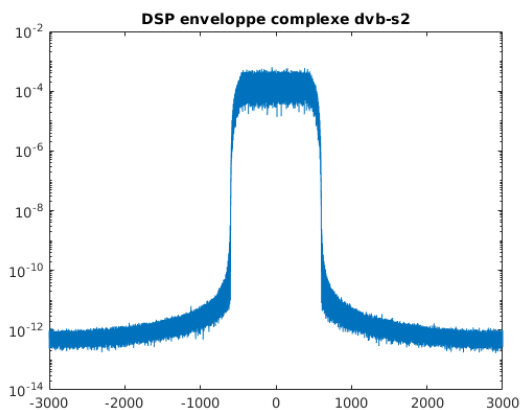


Figure 21: DSP du signal transmis avec un mapping 8-PSK.

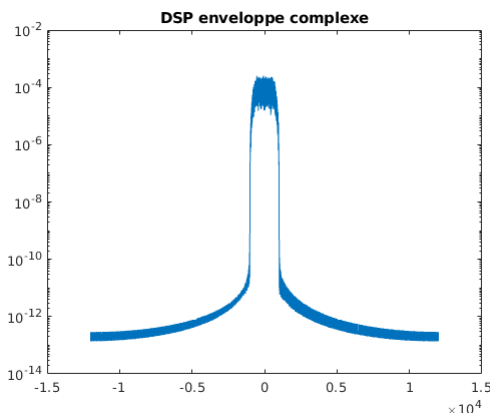


Figure 22: DSP du signal transmis avec un mapping 4-PSK.

4 Conclusion

Pour conclure, ce TP/projet nous a permis à nous deux de bien mieux comprendre les signaux sur fréquence porteuse. Nous pouvons désormais adopter un regard critique au niveau de ces signaux et de leur chaînes de transmission en sachant par exemple que le nombre de symboles fait diminuer l'efficacité en puissance et augmenter l'efficacité spectrale.