



Rapport de projet :
Télécommunications - Étude
de chaînes de transmission
sur porteuse : modulateurs
DVB-S, DVB-S2

Emile Devos
Paul Croizet

*Département Sciences du Numérique - Première année
2022-2023*

Table des matières

1	Introduction	3
2	Implantation de la transmission avec transposition de fréquence	3
2.1	Travail réalisé	3
2.2	Tracée et explication des DSP tracé	4
2.3	TEB théorique et calculé	5
2.4	Tracé demandé	6
3	Implantation de chaîne passe-bas équivalente à la chaîne de transmission sur porteuse	7
3.1	Travail réalisé	7
3.2	Tracé de la DSP	7
3.3	Comparaison des TEB	8
3.4	Tracé demandé	9
4	Comparaison du modulateur DVB-S avec l'un des modulateurs proposés par le DVB-S2	10
4.1	Implantation du modulateur au norme DVB-S2	10
4.1.1	Travail réalisé	10
4.1.2	Tracé demandé	11
4.2	Comparaison des modulateurs	13
4.2.1	Comparaison en termes d'efficacité spectrale	13
4.2.2	Comparaison en termes d'efficacité en puissance	14
5	Conclusion	15
5.1	Conclusion du projet	15
5.2	Bilan de Émile	15
5.3	Bilan de Paul	15

Table des figures

1	Tracé de la DSP de I et Q	4
2	Tracé de la DSP de x	5
3	Schéma de comparaison des TEB calculé et théorique	6
4	Tracé des voies en phase et en quadrature	6
5	Tracé de la DSP de l'enveloppe complexe	8
6	Tracé de la comparaison des TEB de la chaîne de transmissions DVB-S implémenté avec et sans la chaîne passe bas	8
7	signaux en phase	9
8	constellation	10
9	constellation	11
10	constellation	12
11	constellation	12
12	Comparaison DSP	13

TABLE DES FIGURES

13	constellation	14
----	-------------------------	----

1 Introduction

Dans cette seconde partie, nous avons étudié plusieurs chaînes de transmission avec transposition de fréquence. Nous avons d'abord implémenté une transmission au format DVB-S en utilisant la transposition de fréquence. Nous avons ensuite réalisé la même chaîne en utilisant la chaîne passe-bas équivalente, ce qui nous aidera à comprendre son intérêt. Lors de la dernière partie, nous avons implémenté un modulateur conforme à la norme DVB-S2, que nous avons comparé avec le modulateur précédent.

2 Implantation de la transmission avec transposition de fréquence

2.1 Travail réalisé

La première chose que nous devons réaliser dans cette seconde partie du projet de Télécommunication était la mise en place d'une chaîne de transmission au format DVB-S avec un mapping QPSK. Pour cette partie, les valeurs suivantes ont été utilisées :

- La fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000\text{Hz}$ et la période d'échantillonnage $T_e = \frac{1}{F_e}$
- Le débit binaire $R_b = \frac{1}{T_b} = 3000$ bits par seconde ainsi que $T_b = \frac{1}{R_b}$
- Le facteur de sur-échantillonnage N_s , il correspond à $N_s = \frac{T_b}{T_e}$. Or dans notre cas, nous avons $T_s = T_b$, donc $N_s = \frac{T_b}{T_e}$.
- La période de sur-échantillonnage T_s
- Le roll off α qui vaut ici 0.35, qui est un paramètre pour notre filtre rcosdisgn.

Ensuite, nous avons implémenté notre chaîne de transmission avec les différents paramètres énoncés précédemment. Voici comment nous avons procédé :

1. Génération d'un échantillon binaire. La taille de notre échantillon binaire varie entre ces 3 valeurs : 100, 1 000 et 10 000.
2. Création du mapping adapté au modulateur, ici un mapping QPSK. Les symboles peuvent être : $a_k = 1 + j, 1 - j, -1 + j, -1 - j$.
3. Sur-échantillonnage du signal. Cette étape permet de dupliquer les informations pour une meilleure transmission.
4. La création de notre filtre du modulateur bande de base. Il s'agit ici d'un cosinus sur-élevé qui a pour *Roll of* $\alpha = 0.35$.
5. Le filtrage du signal, dans cette étape on met notre signal sur-échantillonné dans notre filtre précédemment créé.
6. Nous transposons ensuite le signal en le multipliant par $\exp(2j\pi f_p t)$, puis on prend ensuite sa partie réelle.
7. On ajoute du bruit pour simuler un canal AWGN.

8. Ensuite, on retourne en bande de base pour retrouver les bits émis. Pour revenir en bande de base, on multiplie d'un côté le signal x par $\cos(2\pi F_p t)$ pour pouvoir récupérer $I = \sum_k a_k h(t - kT_s)$ et de l'autre côté par $\sin(2\pi F_p t)$ pour récupérer $Q = \sum_k b_k h(t - kT_s)$. Nous devons après filtrer le signal afin de ne garder que les composantes en phase et en quadrature et d'éliminer les autres termes qui n'étaient pas voulus. Dans notre cas, comme le filtre de réception est un filtre rcosdesign, il n'était pas nécessaire de faire cette étape, car un filtre passe bas allait être appliqué par la suite.
9. Nous calculons $Z = I - jQ$ avant d'appliquer le filtre de réception qui est également en rcosdesign pour respecter le filtrage adapté (pas de filtre canal donc $H = H_r$).
10. A l'aide du tracé du diagramme de l'oeil, nous choisissons comme instant d'échantillonnage $N_0 = 1$. Après l'échantillonnage, nous sommes alors en mesure de faire le demapping et donc, de retrouver les bits émis.

2.2 Tracée et explication des DSP tracé

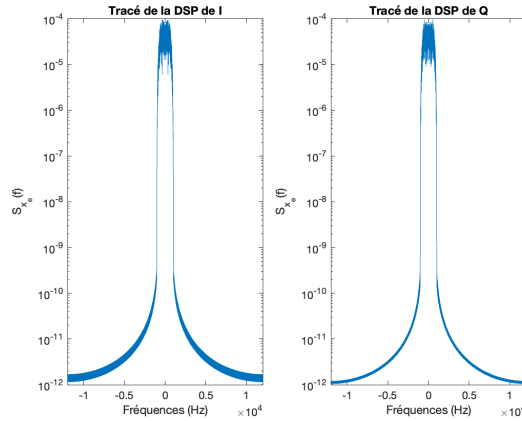


FIGURE 1 – tracé de la DSP de I (phase) et Q (quadrature)

Nous avons tracé la DSP du signal en phase et en quadrature. Sur ces graphes, on peut voir seulement un pic centré en 0. Il est à souligner que la théorie nous dit que nous devrions obtenir un signal avec deux pics atténués (en $2f_p$ et $-2f_p$).

Ici, on ne les voit pas ces pics car le filtre de réception est un cosinus surélevé, c'est à dire un filtre passe bas. Nous n'avons donc pas fait les filtrages passe bas après avoir multiplié par cosinus et par sinus et donc, après avoir calculé $y = I - jQ$ avant de le passer dans le filtre de réception, ou nous obtenons z en sortie. Le tracé ci-dessus montre donc la partie réelle de z et la partie imagi-

naire de z , qui correspondent respectivement au signal en phase et au signal en quadrature.

le graphe ci-dessous montre le tracé de la DSP de x (signal transposé en fréquence) :

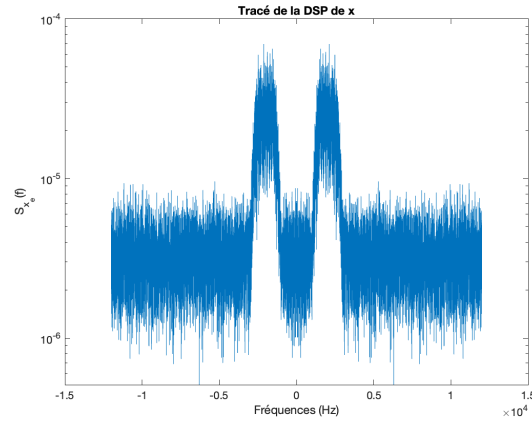


FIGURE 2 – tracé de la DSP de x

2.3 TEB théorique et calculé

D'après le cours, la valeur du TEB en fonction de $\frac{E_b}{N_0}$ est :

$$TEB = Q\left(\sqrt{4 * \frac{E_b}{N_0}} \times \sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\right) \quad (1)$$

On voit sur la figure ci-dessous que les deux tracés se superposent convenablement, ce qui montre le bon fonctionnement de notre chaîne de transmission.

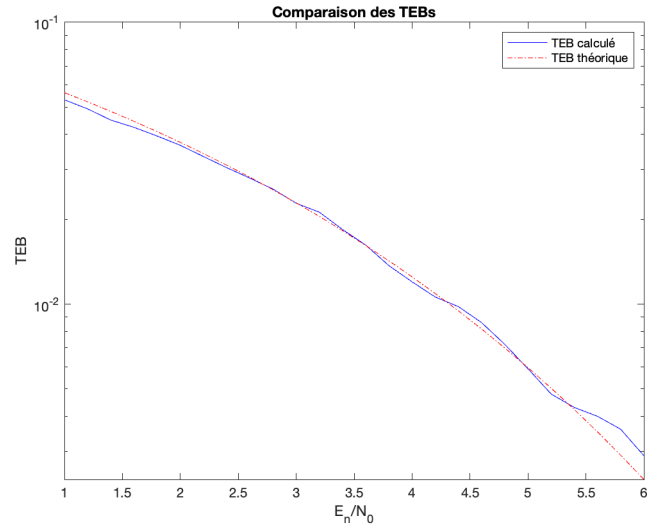


FIGURE 3 – Cette figure a été obtenue pour un échantillon de 10000

2.4 Tracé demandé

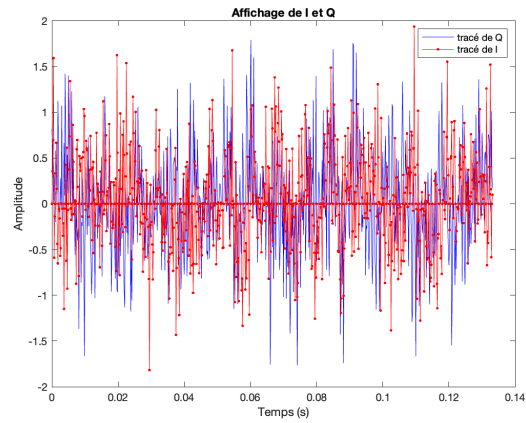


FIGURE 4 – Tracé des voix en phase et en quadrature, figure obtenue pour un échantillon de 100.

On voit que quand Q est grand, I est petit et inversement. Ce qui est cohérent car I et Q sont déphasé de $\frac{\pi}{2}$.

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

3.1 Travail réalisé

Dans cette partie, notre objectif était d'implémenter à l'aide de la chaîne passe bas équivalente la même chaîne de transmission que celle de la partie précédente. Les étapes de la création de cette chaîne de transmission sont en certains point identiques et les constantes sont les mêmes que la partie précédente. Cependant la différence est que nous n'avons pas transposé notre signal, et que nous travaillons directement avec l'enveloppe complexe. Ainsi, les étapes réalisées sont les suivantes :

1. Génération d'un échantillon binaire. La taille de notre échantillon binaire varie entre ces 3 valeurs : 100, 1 000 et 10 000.
2. Création du mapping adapté au modulateur, ici un mapping QPSK, les symboles peuvent être : $a_k = 1 + j, 1 - j, -1 + j, -1 - j$.
3. Sur-échantillonnage du signal, cette étape permet de dupliquer les informations pour une meilleure transmission.
4. La création de notre filtre du modulateur bande de base. Il s'agit ici d'un cosinus sur-élevé qui a pour *Roll of* $\alpha = 0.35$.
5. Le filtrage du signal. Dans cette étape, on met notre signal sur-échantillonné dans notre filtre précédemment créé, on obtient alors l'enveloppe complexe associée à $x(t)$
6. On ajoute ensuite du bruit sur la partie en phase et en quadrature du signal, c'est-à-dire ici sur la partie réelle de x_e et sur la partie imaginaire de x_e .
7. Nous filtrons ensuite le signal complexe avec le filtre de réception, identique au filtre d'émission.
8. Enfin, nous procédons à l'échantillonnage puis à la décision et au demapping.

3.2 Tracé de la DSP

Nous avons tracé la DSP de l'enveloppe complexe. Sur cette DSP, on peut voir un pic, centrée en 0. La théorie nous donne la valeur de cette DSP en fonction de la DSP de x que nous avons tracée précédemment. Sa valeur est :

$$S_{x_e}(f) = 4 \times S_x^+(f + fp) \quad (2)$$

On constate bien ici que le tracé de la DSP de x_e n'a bien qu'un seul pic, bien centré en 0, contrairement à celui de la DSP de x . De plus, On peut voir que la DSP de x_e culmine à 10^{-4} , tandis que les pics de la DSP de x ne sont que entre 10^{-5} et 10^{-4} , ce qui correspond bien à ce que nous dit la formule reliant les deux expressions.

3 IMPLANTATION DE CHAÎNE PASSE-BAS ÉQUIVALENTE À LA CHAÎNE DE TRANSMISSION SUR PORTEUSE

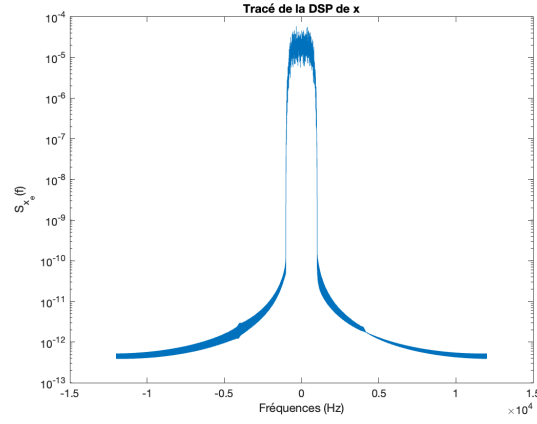


FIGURE 5 –]
tracé de la DSP de l'enveloppe complexe

3.3 Comparaison des TEB

Le but de cette partie était de comprendre les avantages de l'utilisation de la chaîne passe-bas équivalente. Pour cela, nous avons comparé les taux d'erreur binaire de cette chaîne de transmission avec et sans la chaîne passe-bas équivalente. Nous avons ainsi tracé ci-dessous les deux TEB en fonction de $\frac{E_b}{N_0}$ sur le même graphe.

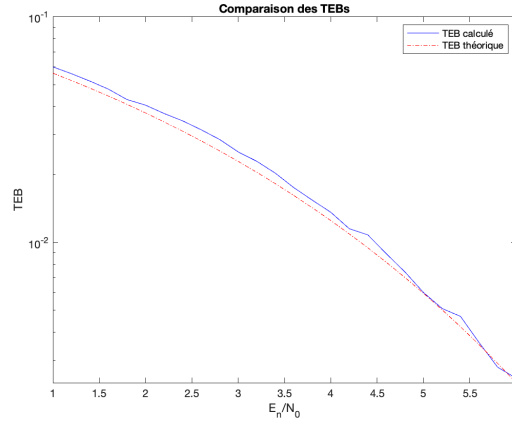


FIGURE 6 – Tracé de la comparaison des TEB de la chaîne de transmissions DVB-S implémenté avec et sans la chaîne passe bas

On peut constater que le TEB ne change pas. En effet, on peut voir sur la figure que les deux courbes se superposent.

3 IMPLANTATION DE CHAÎNE PASSE-BAS ÉQUIVALENTE À LA CHAÎNE DE TRANSMISSION SUR PORTEUSE

La question suivante vient alors : Quel est l'intérêt d'utiliser la chaîne passe-bas équivalente ?

L'idée est en fait que la fréquence maximale du signal dans le cas de la transposition en fréquence est $f_p + B_e$, où f_p est la fréquence porteuse et B_e est la largeur de la bande. Dans ce cas, le respect du critère de Shannon-Nyquist nécessite une fréquence d'échantillonnage de $F_e = 2(f_p + B_e)$; ce qui, dans le cas où la fréquence porteuse est grande, peut demander une fréquence d'échantillonnage irréalisable notamment pour le filtre passe-bas permettant de revenir en bande de base.

Cependant, en utilisant la chaîne passe-bas équivalente, la fréquence maximale n'est que de B_e , et donc $F_{max} = 2B_e$.

L'intérêt d'utiliser la chaîne passe-bas équivalente est donc de réduire la fréquence maximale, ce qui a pour conséquence de réduire également la fréquence d'échantillonnage.

3.4 Tracé demandé

Pour cette partie, il nous était également demandé de tracer les constellations obtenues pour différentes valeurs de E_b/N_0 ainsi que le tracé des signaux en phase.

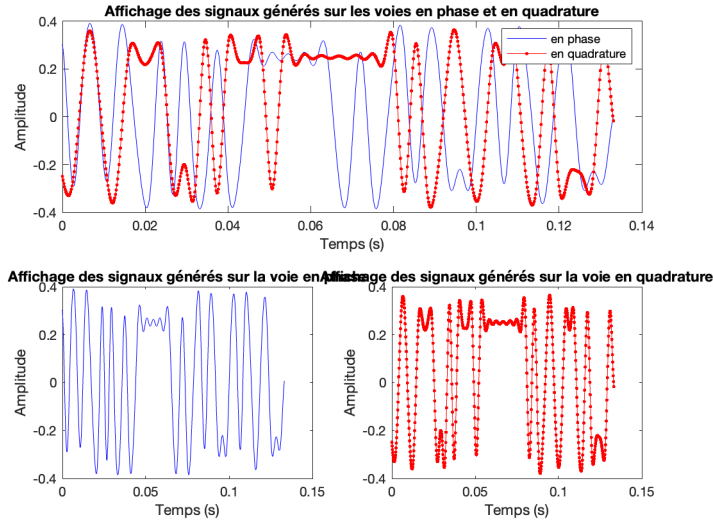


FIGURE 7 – Tracé des signaux en phase et en quadrature

On peut voir sur cette figure ci-dessus que si le signal en phase est élevé, celui en quadrature est faible et inversement.

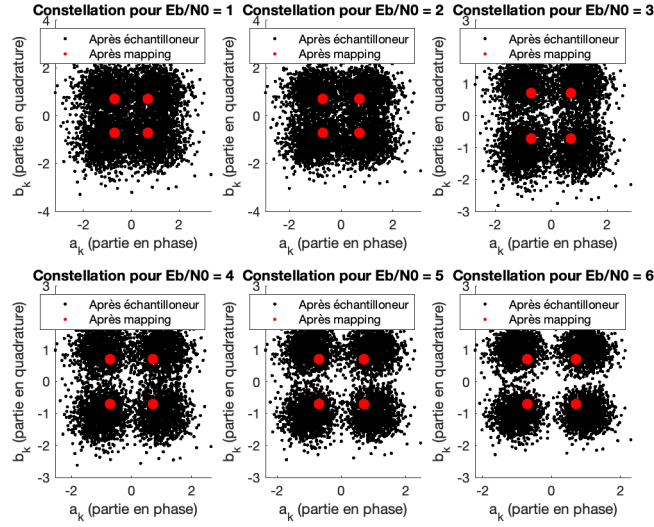


FIGURE 8 – Tracé de la constellation avec bruit

On peut voir sur la figure ci-dessus la constellation pour différentes valeurs de bruit. Les points rouge représente la constellation en sortie du mapping et les points noirs la constellation après échantillonnage. On constate que plus E_b/N_0 est faible (plus le bruit est fort), plus la dispersion de la constellation autour des points en sortie du mapping est importante. Ce qui paraît logique car le TEB est plus élevé si E_b/N_0 est faible.

4 Comparaison du modulateur DVB-S avec l'un des modulateurs proposées par le DVB-S2

4.1 Implantation du modulateur au norme DVB-S2

4.1.1 Travail réalisé

Pour cette dernière partie, Nous avons réalisé une chaîne de transmission en norme DVB-S2. Certaines valeurs sont modifiées par rapport à la norme DVB-S. Voici les valeurs que nous utiliseront pour cette partie :

- La fréquence d'échantillonnage $F_e = 6\text{kHz}$ et la période d'échantillonnage $T_e = \frac{1}{F_e}$
- Le débit binaire $R_b = \frac{1}{T_b} = 3000$ bits par seconde ainsi que $T_b = \frac{1}{R_b}$
- Le facteur de sur-échantillonnage N_s , il correspond à $N_s = \frac{T_s}{T_e}$. Or dans notre cas, nous avons $T_s = T_b$, donc $N_s = \frac{T_b}{T_e}$.
- La période de sur-échantillonnage T_s qui sera aussi à déterminer pour chaque modulateur.

- Le roll off α qui vaut ici 0.2, qui est un paramètre pour notre filtre rcosdisgn.

Ensuite, nous avons implémenté notre chaîne de transmission avec les différents paramètres énoncés précédemment. Voici comment nous avons procédé :

1. Génération d'un échantillon binaire. La taille de notre échantillon binaire varie entre ces 3 valeurs : 100, 1 000 et 10 000.
2. Création du mapping adapté au modulateur, ici un mapping 8-PSK, les symboles sont générés à l'aide de la fonction pskmod
3. Sur-échantillonnage du signal, cette étape permet de dupliquer les informations pour une meilleure transmission.
4. La création de notre filtre du modulateur bande de base. Il s'agit ici d'un cosinus sur-élevé qui a pour *Roll of* $\lambda = 0.2$.
5. Le filtrage du signal, dans cette étape on met notre signal sur-échantillonné dans notre filtre précédemment créé, on obtient alors l'enveloppe complexe associé a $x(t)$
6. On ajoute ensuite du bruit sur la partie réelle et la partie complexe de x_e .
7. On filtre l'enveloppe complexe avec le filtre de réception
8. Enfin, nous procédons à l'échantillonnage puis à la décision et au demapping qui se fait à l'aide de la fonction pskdemod.

4.1.2 Tracé demandé

On peut voir sur ce graphe la DSP de l'enveloppe complexe de $x(t)$ noté $x_e(t)$

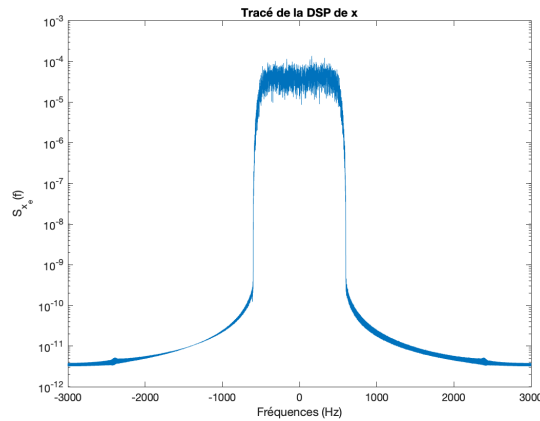


FIGURE 9 – Tracé de la constellation avec bruit

4 COMPARAISON DU MODULATEUR DVB-S AVEC L'UN DES MODULATEURS PROPOSÉES PAR LE DVB-S2

Sur cette seconde figure, on voit le tracé de la constellation pour différentes valeurs de $\frac{E_b}{N_0}$. La constellation en sortie du mapping est affichée en rouge, tandis que la constellation après l'échantillonnage et affichée en noir. On voit que les points noirs sont dispersés autour des points rouges, ce qui est dû à l'ajout du bruit.

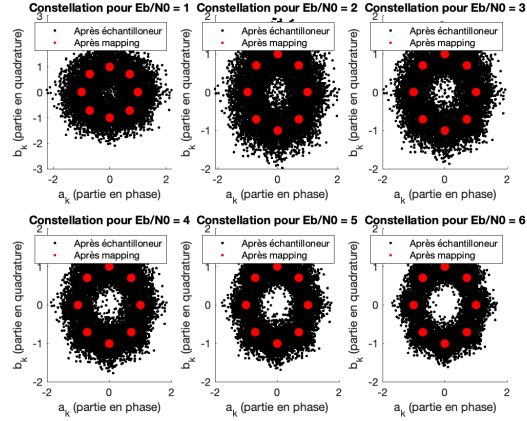


FIGURE 10 – Tracé de la DSP de x_e

Enfin, on peut voir sur cette dernière figure que le TEB calculé se superpose au TEB théorique, ce qui prouve que notre chaîne de transmission a été correctement implantée.

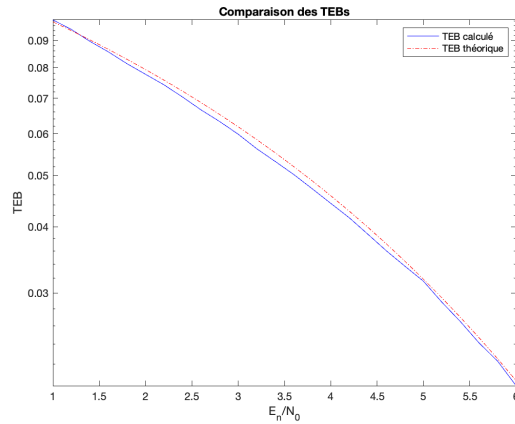


FIGURE 11 – Tracé de la constellation avec bruit

4.2 Comparaison des modulateurs

4.2.1 Comparaison en termes d'efficacité spectrale

Dans un premier temps, nous allons comparer les modulateurs DVB-S et DVBS-2 en terme d'efficacité spectrale. Pour cela, nous avons tracé la DSP des deux modulateurs ci-dessous :

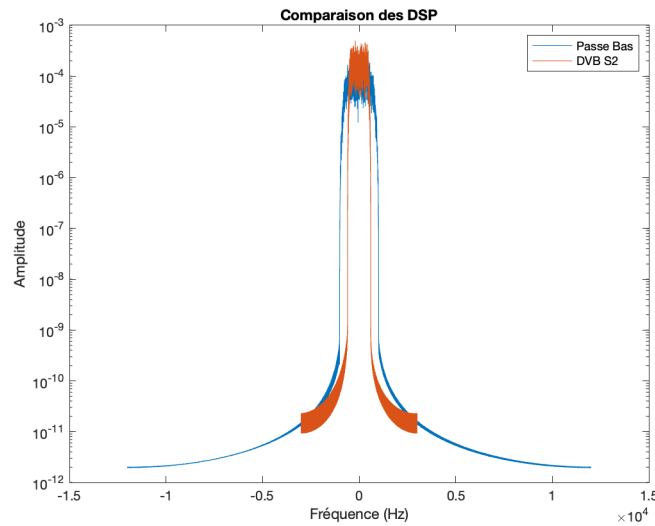


FIGURE 12 – Comparaison des DSP du modulateur au norme DVB-S et DVB-S2

Sur cette figure on peut donc voir les tracés des DSP superposés. Par définition, moins la bande utilisée est large, plus le modulateur est spectralement efficace. On voit alors que c'est le modulateur au norme DVB-S2 qui est le plus efficace.

4.2.2 Comparaison en termes d'efficacité en puissance

Nous devons également comparer les deux chaînes en termes d'efficacité en puissance. Pour faire cette comparaison, nous avons tracé les deux TEB obtenus pour ces chaînes sur un même graphique. Ici, on a tracé le TEB du modulateur DVB-S fait avec les deux méthodes.

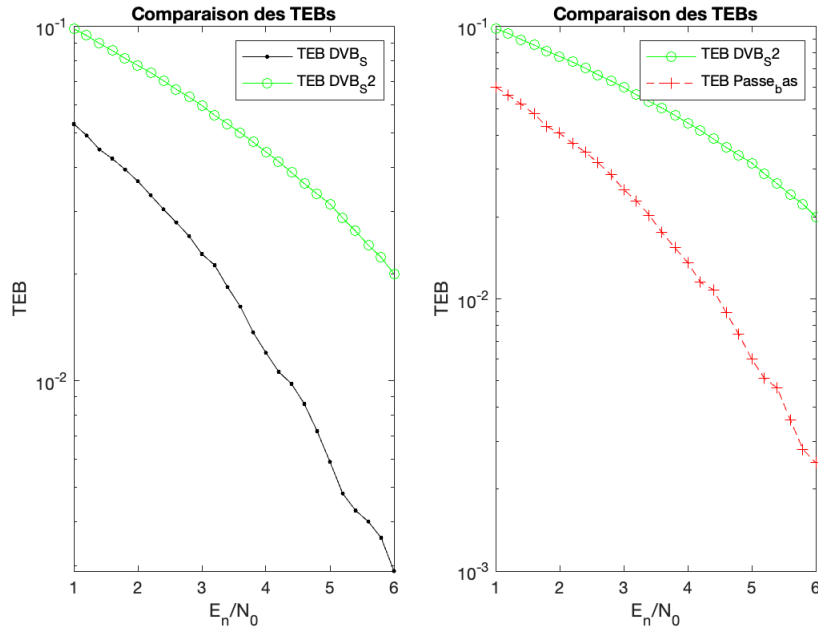


FIGURE 13 – Tracé des TEB pour le modulateur DVBS-S2 et DVB-S

Pour savoir laquelle est la plus efficace en puissance, il faut se fixer une valeur de TEB et regarder quelle chaîne atteint cette valeur pour un $\frac{E_b}{N_0}$ correspondant le plus faible. Ici, on voit que le TEB de la chaîne DVB-S est plus efficace en puissance, car la courbe de son TEB est sous celle du modulateur DVB-S2

5 Conclusion

5.1 Conclusion du projet

Durant cette seconde partie, nous avons implémenter des chaînes de transmission sur porteuse.

Nous avons d'abord implanté une chaîne au norme DVB-S avec transposition de fréquence. Nous avons ensuite implanté la même chaîne de transmission en utilisant la chaîne passe bas équivalente. Ceci nous à permis de comprendre son intérêt et de nous familiariser avec les calculs théoriques permettant de montrer que ces deux implantations sont équivalentes.

À la fin, nous avons implanté une chaîne de transmission au norme DVB-S2 que nous avons comparé avec la première chaîne étudiée en termes d'efficacité en puissance et d'efficacité spectrale. Ceci nous a donc permis de comprendre quels facteurs jouent pour optimiser ces deux efficacités.

5.2 Bilan de Émile

Ce second TP de télécommunication m'a permis d'approfondir cette matière en appliquant un exemple concret de chaîne de transmission avec transposition de fréquence. J'ai pu m'entraîner, autant sur le calcul théorique que sur l'analyse pratique des résultats que nous avons obtenus.

Il était également intéressant de faire ces programmes sur Matlab, afin de s'exercer sur ce logiciel.

5.3 Bilan de Paul

Ce second projet m'a permis de comprendre en profondeur le concept de chaîne de transmission sur fréquence porteuse. J'ai pu notamment approfondir ce que j'avais vu en cours en appliquant directement les différentes notions pendant le projet. De plus, j'ai bien aimé implanter les différents modules et les chaînes, car c'est une matière très concrète où l'on voit concrètement qu'est que chaque modules apportent à la chaîne de transmission. .