



Télécommunications - TPs Etude de transmissions en bande de base

Clément Gouilloud
Thomas Trouve
Thierry Xu

Département Sciences du Numérique - Première année
2021-2022

Contents

1	Introduction	3
2	Définition de la chaîne passe-bas équivalente à une chaîne de transmission sur fréquence porteuse	3
2.1	La chaîne passe bas équivalente	3
3	Utilisation de la chaîne passe-bas équivalente pour le calcul et l'estimation du taux d'erreur binaire	3
3.1	chaîne de transmission QPSK sur fréquence porteuse	3
3.2	Implantation de la chaîne passe-bas équivalente	6
4	Comparaison de modulations sur fréquence porteuse	10
4.1	Transmissions à étudier	10
4.2	Implantation sous Matlab	10
4.2.1	Etude de chaque chaîne de transmission	10
4.2.2	Comparaison des chaînes de transmission	19

List of Figures

1	Tracé du signal généré sur la voie en phase	3
2	Tracé du signal généré sur la voie en quadrature	4
3	Tracé du signal transmis sur fréquence porteuse	4
4	Tracé de la densité spectrale de puissance du signal modulé sur fréquence porteuse	5
5	Tracé du taux d'erreur binaire du signal, théorique et du taux d'erreur signal des signaux en phase et en quadrature	6
6	Tracé du signal généré sur la voie en phase	6
7	Tracé du signal généré sur la voie en quadrature	7
8	Tracé de la densité spectrale de puissance du passe bas équivalent	7
9	Tracé du taux d'erreur binaire du signal, théorique et du taux d'erreur signal des signaux en phase et en quadrature	8
10	Tracé de la constellation en sortie du mapping	8
11	Tracé de la constellation pour différentes valeurs de E_b/N_0	9
12	Comparaison entre le TEB de la chaîne sur fréquence porteuse est de la chaîne passe bas équivalente	9
13	Tracé de la constellation en sortie du mapping	10
14	Tracés des constellations en sortie de l'échantillonneur pour différentes valeurs de E_b/N_0	11
15	Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne avec la modulation 4-ASK	12
16	Tracé de la constellation en sortie du mapping	12
17	Tracés des constellations en sortie de l'échantillonneur pour différentes valeurs de E_b/N_0	13
18	Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne avec la modulation QPSK	14
19	Tracé de la constellation en sortie du mapping	14
20	Tracés des constellations en sortie de l'échantillonneur pour différentes valeurs de E_b/N_0	15
21	Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne avec la modulation 8PSK	16
22	Tracé de la constellation en sortie du mapping	17
23	Tracés des constellations en sortie de l'échantillonneur pour différentes valeurs de E_b/N_0	18
24	Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne avec le modulateur 16-QAM	19
25	Tracé du TEB pour différents modulations	19
26	Tracé de la Densité spectrales de puissance pour différents modulations	20

1 Introduction

Les objectifs de ce travail sont les suivants :

- Etre capable d'implanter une chaine de transmission sur fréquence porteuse de type PSK ou QAM et d'explicitier le rôle des différents éléments la composant,
- Etre capable de déterminer puis d'implanter la chaine de transmission passe-bas équivalente à une chaine de transmission sur fréquence porteuse de type PSK ou QAM,
- Etre capable d'expliquer les observations réalisées, les résultats obtenus sur la chaine implantée (sur porteuse ou passe-bas équivalente) en vous appuyant sur l'étude théorique de cette même chaine,
- Etre capable de comparer, en termes d'efficacité spectrale et d'efficacité en puissance, plusieurs chaines de transmission sur fréquence porteuse en utilisant une implantation de type chaine passe-bas équivalente.

2 Définition de la chaine passe-bas équivalente à une chaine de transmission sur fréquence porteuse

2.1 La chaîne passe bas équivalente

Afin de réduire les temps de simulation et de réutiliser les calculs réalisés en bande de base, on définit une chaine passe-bas équivalente associée à la chaine de transmission sur fréquence porteuse à étudier.

3 Utilisation de la chaine passe-bas équivalente pour le calcul et l'estimation du taux d'erreur binaire

L'objectif de cette partie est de montrer que le taux d'erreur binaire obtenu pour une transmission est identique que l'on implante la chaine de transmission sur fréquence porteuse ou bien la chaine passe-bas équivalente. L'étude sera réalisée pour une transmission QPSK.

3.1 chaine de transmission QPSK sur fréquence porteuse

Q1)

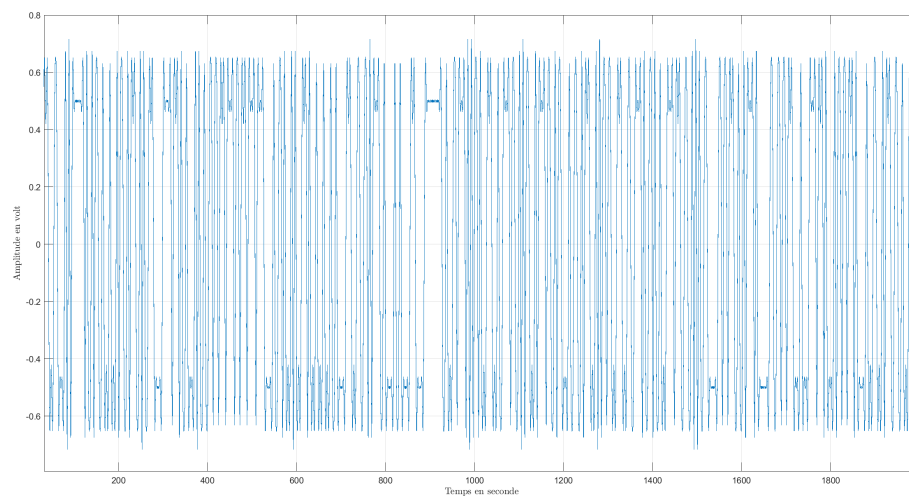


Figure 1: Tracé du signal généré sur la voie en phase

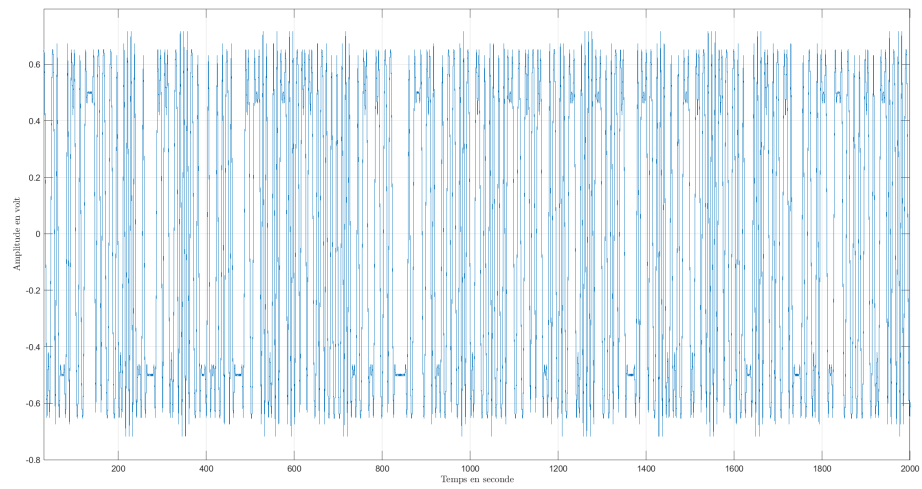


Figure 2: Tracé du signal généré sur la voie en quadrature

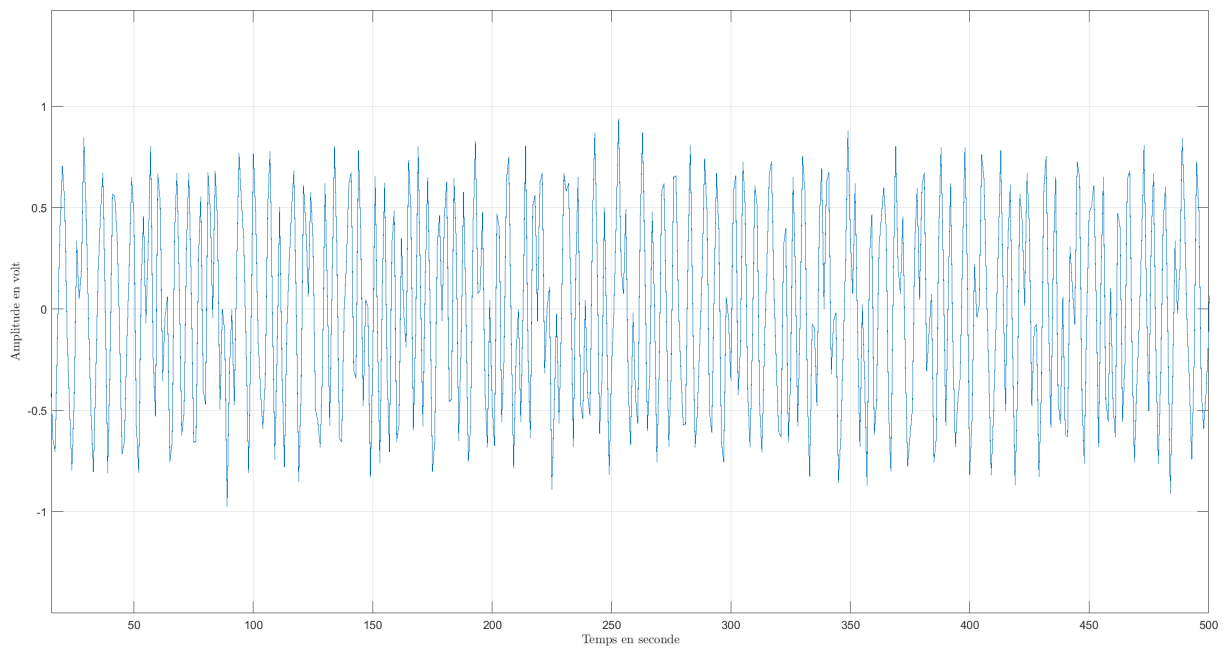


Figure 3: Tracé du signal transmis sur fréquence porteuse

Q2)

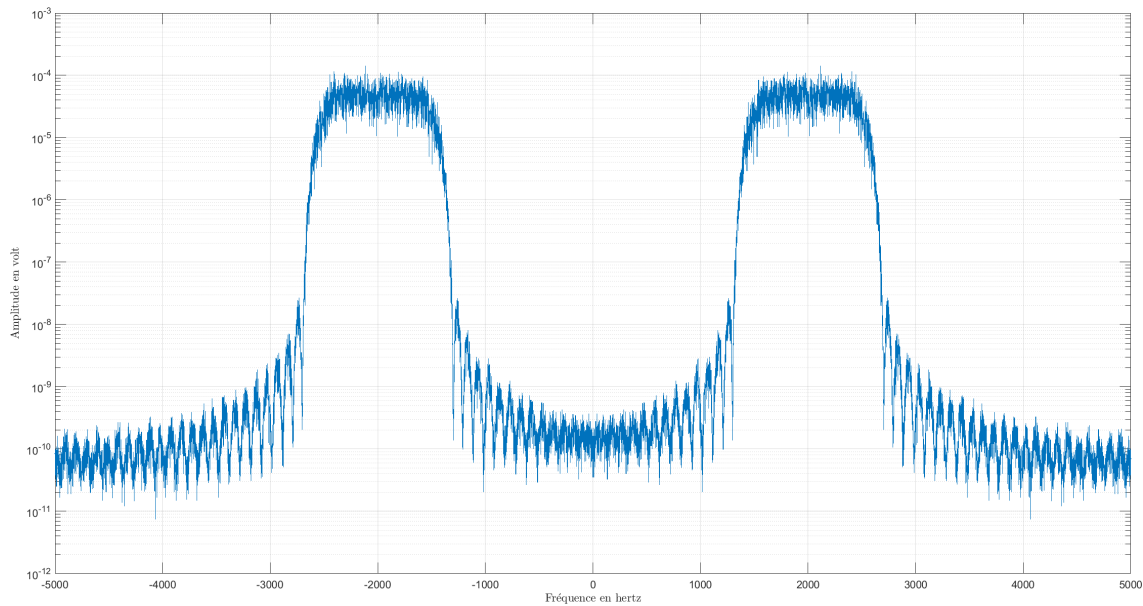


Figure 4: Tracé de la densité spectrale de puissance du signal modulé sur fréquence porteuse

On s'aperçoit sur la figure 4 qu'il y a 2 pics entre -5000 et 5000 Hz : - Un à 2000 Hz - Un à -2000Hz Cela correspond bien à nos attentes vu que la fréquence porteuse $F_p = 2000\text{Hz}$, et que la fréquence d'échantillonnage est de 10kHz. Vu que notre figure est centré en 0, on s'attendait bien au tracé de la Densité spectrale de puissance entre -5000 et 5000 Hz, avec un pic en F_p et en $-F_p$ (vu que la DSP est symétrique).

Q3) Le Taux d'erreur binaire obtenu est bien nul pour la chaine sans bruit(voir code).

Q4-Q5)

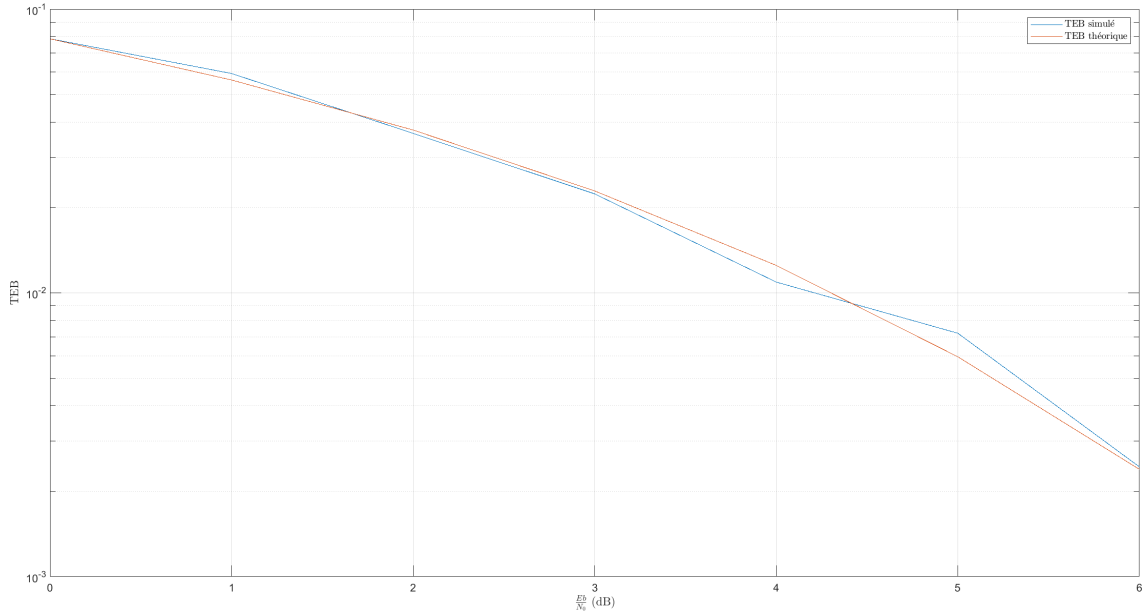


Figure 5: Tracé du taux d'erreur binaire du signal, théorique et du taux d'erreur signal des signaux en phase et en quadrature

On remarque que le tracé du TEB et du TEB Théorique se superpose parfaitement, ce qui permet de valider le bon fonctionnement de notre chaîne de transmission. De plus, le Taux d'erreur binaire diminue lorsque le rapport E_b/N_0 augmente.

3.2 Implantation de la chaîne passe-bas équivalente

On implantera, dans un deuxième temps, la chaîne de transmission passe-bas équivalente à la chaîne de transmission sur fréquence porteuse réalisée précédemment.

Q1)

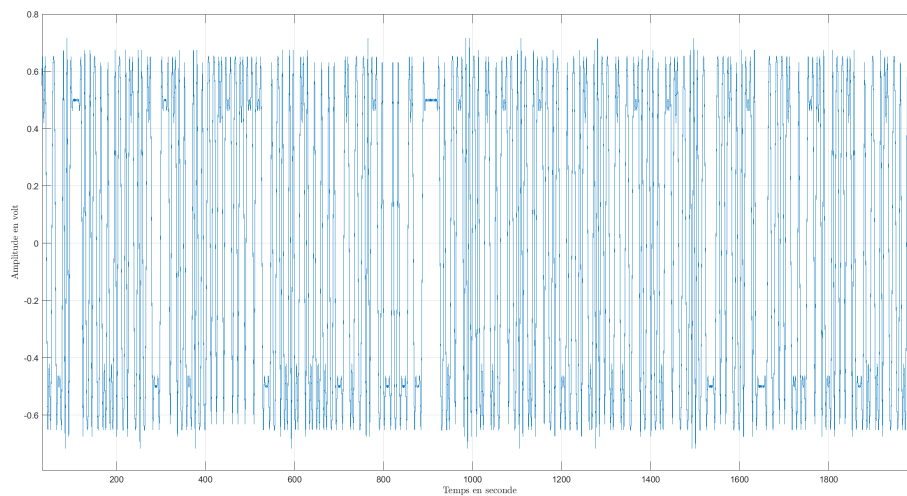


Figure 6: Tracé du signal généré sur la voie en phase

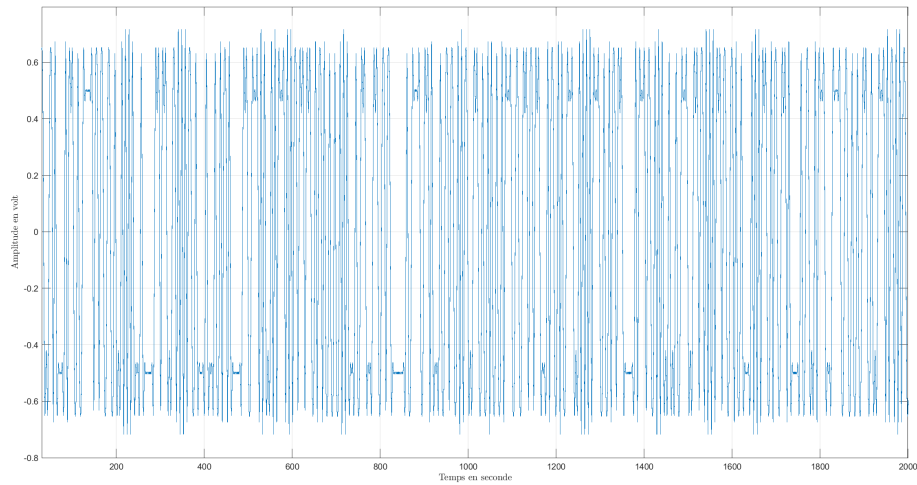


Figure 7: Tracé du signal généré sur la voie en quadrature

Q2)

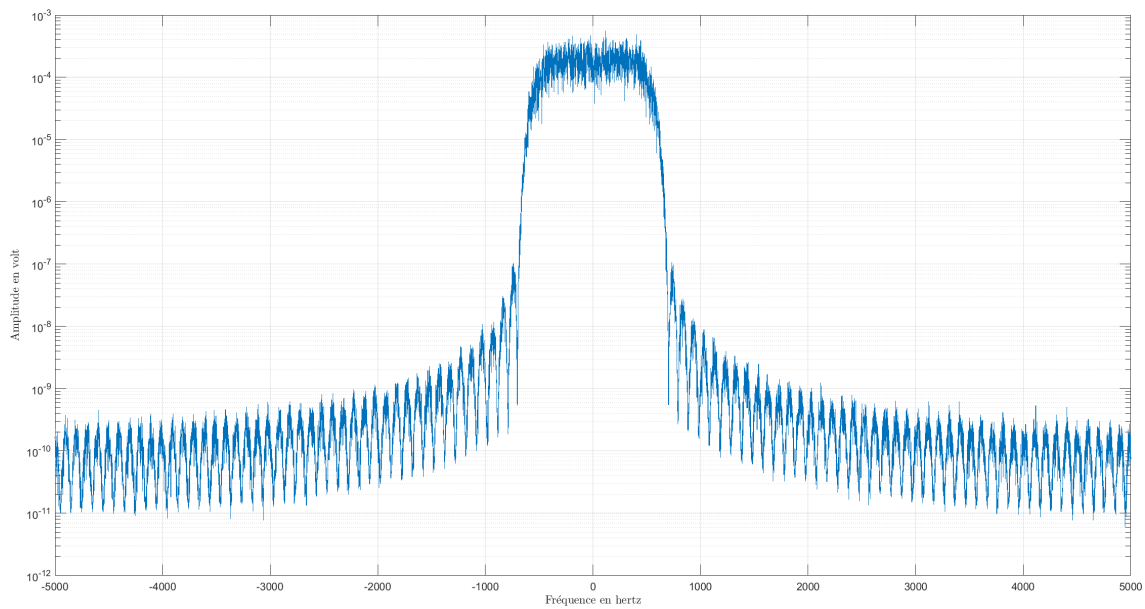


Figure 8: Tracé de la densité spectrale de puissance du passe bas équivalent

La densité spectrale de puissance est cette fois ci centré en 0. Le tracé observé correspond bien à ce qui est attendu en théorie car on est doit être centré en 0 comme on utilise un passe bas équivalent et on ne fait pas de transposition sur fréquence porteuse. La DSP est à nouveau tracée entre -5000 et 5000 Hz car la fréquence d'échantillonnage est de $F_e = 10\text{kHz}$.

Q3) Le Taux d'erreur binaire obtenu est bien nul pour la chaine sans bruit(voir code).

Q4)

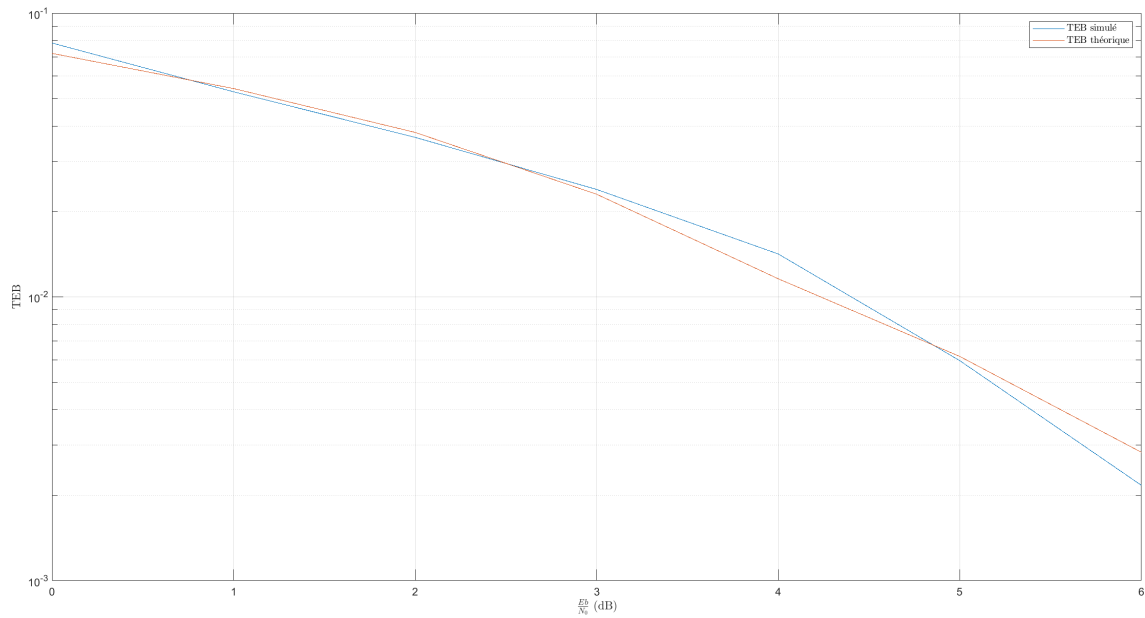


Figure 9: Tracé du taux d'erreur binaire du signal, théorique et du taux d'erreur signal des signaux en phase et en quadrature

On remarque que le tracé du TEB et du TEB Théorique se superpose parfaitement, ce qui permet de valider le bon fonctionnement de notre chaîne de transmission. De plus, le Taux d'erreur binaire diminue lorsque le rapport E_b/N_0 augmente.

Q5)

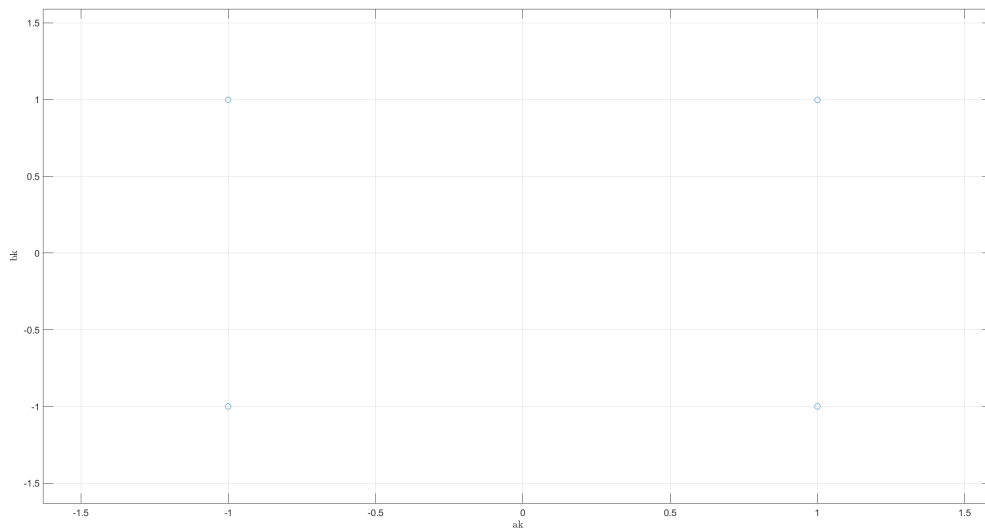


Figure 10: Tracé de la constellation en sortie du mapping

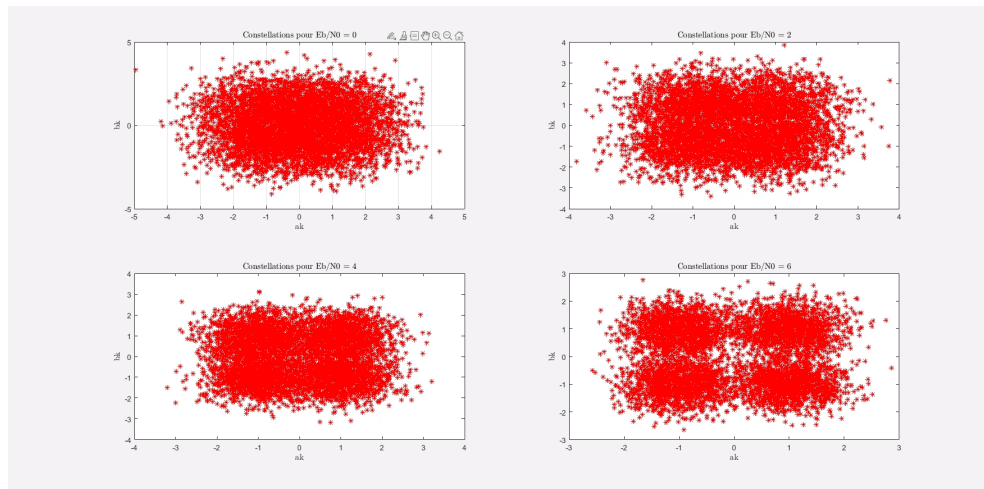


Figure 11: Tracé de la constellation pour différentes valeurs de E_b/N_0

On remarque que la constellation sans bruit a que 4 point ($1+i$, $1-i$, $-1+i$, $-1-i$). Si E_b/N_0 dB augmente, moins le bruit est puissant par rapport au signal, et plus la masse de point au centre se divise en 4 groupes distincts, qui se rapprochent des 4 points sans bruits.

Q6)

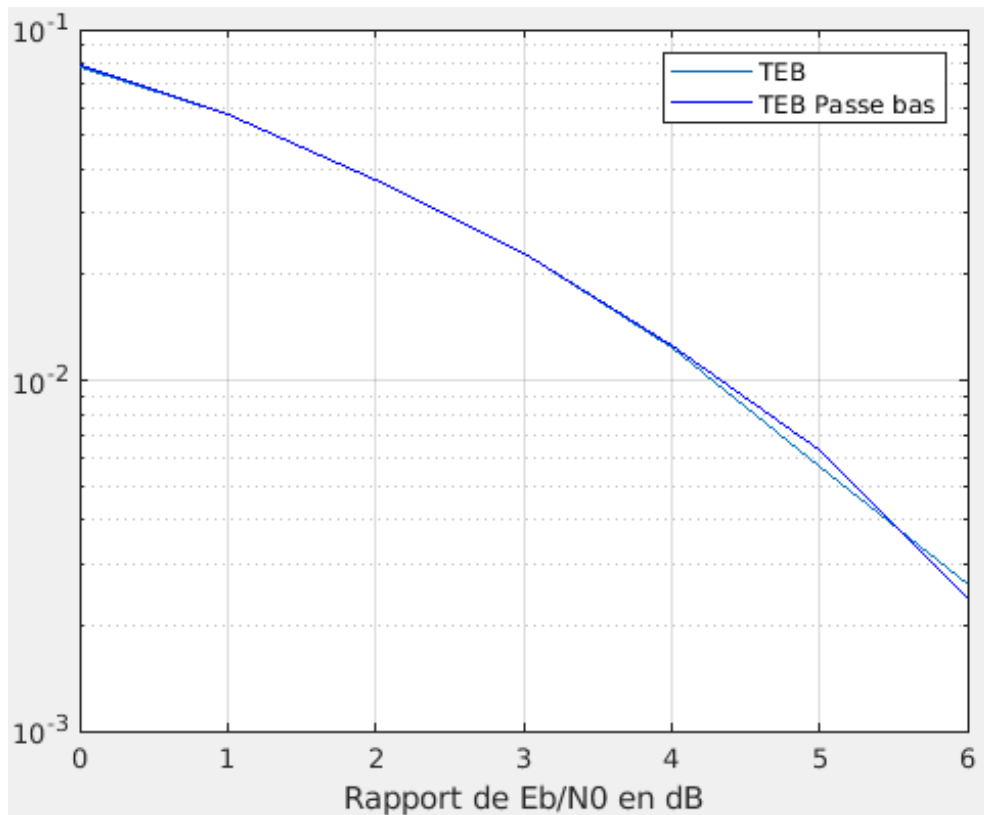


Figure 12: Comparaison entre le TEB de la chaîne sur fréquence porteuse et de la chaîne passe bas équivalente

On voit bien grâce à la figure 12 que le TEB de la chaîne sur fréquence porteuse est de la chaîne passe bas équivalente se superposent parfaitement.

4 Comparaison de modulations sur fréquence porteuse

4.1 Transmissions à étudier

On considèrera les quatre chaînes de transmission définies dans le tableau suivant ("SRRCF" signifie "SquareRoot Raised Cosine Filter" ou filtre en racine de cosinus surélevé en français) :

Modulation:	4-ASK	QPSK	8-PSK	16-QAM
Filtre d'émission:	SRRCF, $\alpha = 0,5$	SRRCF, $\alpha = 0,5$	SRRCF, $\alpha = 0,5$	SRRCF, $\alpha = 0,5$
Filtre de réception:	SRRCF, $\alpha = 0,5$	SRRCF, $\alpha = 0,5$	SRRCF, $\alpha = 0,5$	SRRCF, $\alpha = 0,5$
Débit binaire:	48 kbps	48 kbps	48 kbps	48 kbps
TEB:	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}	10^{-2}

4.2 Implantation sous Matlab

4.2.1 Etude de chaque chaîne de transmission

4-ASK

Q1) Le Taux d'erreur binaire obtenu est bien nul pour la chaîne avec la modulation 4-ASK sans bruit(voir code).

Q2)

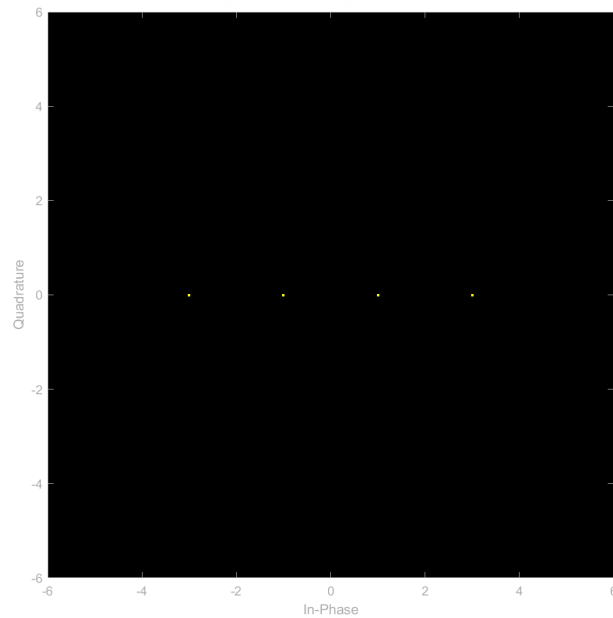
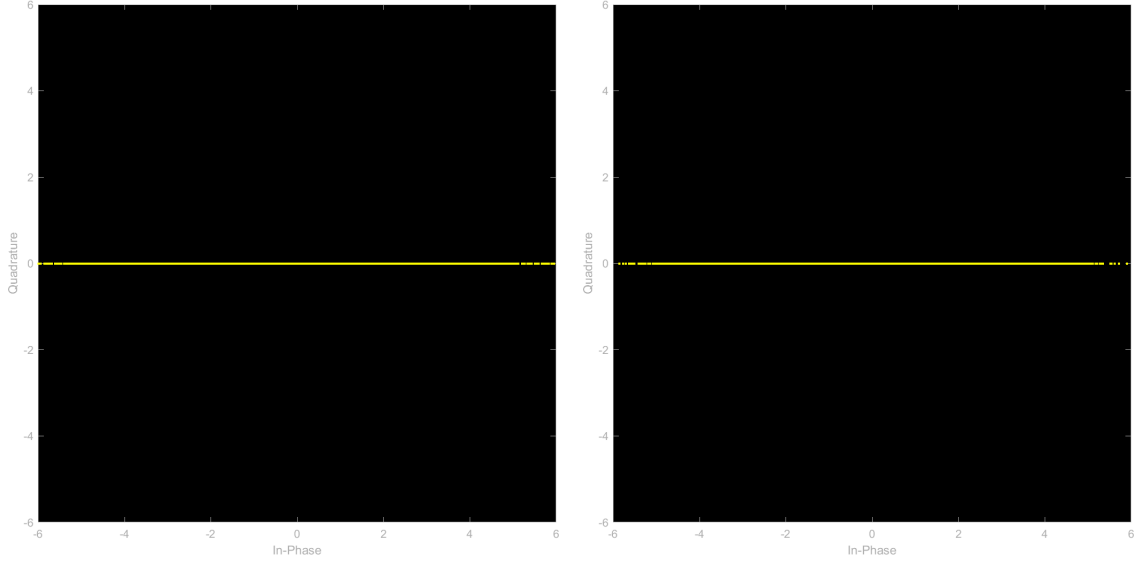
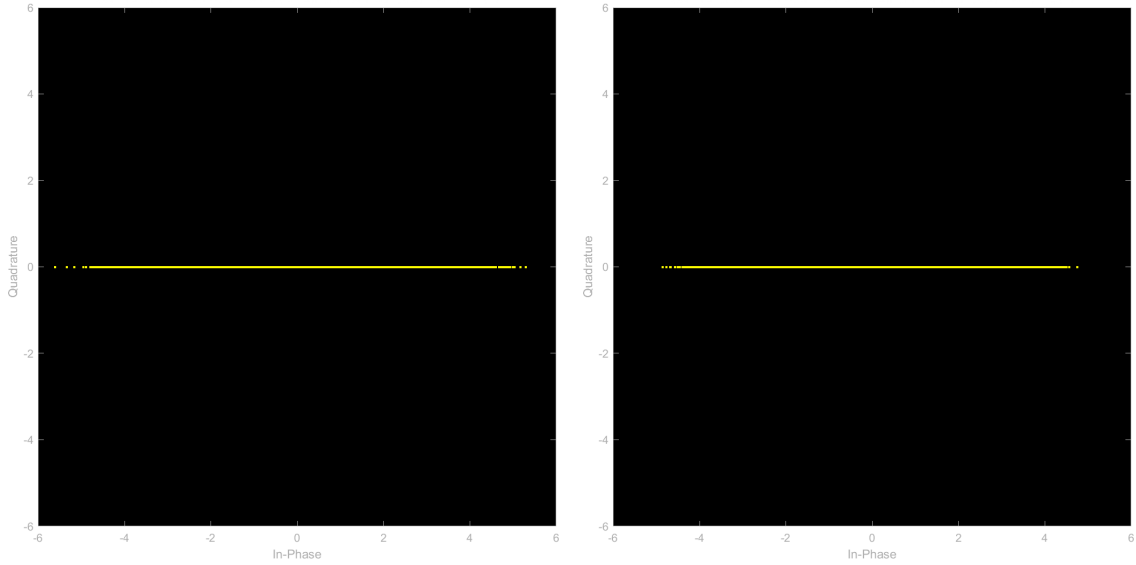


Figure 13: Tracé de la constellation en sortie du mapping



(a) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 0 (b) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 2



(c) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 4 (d) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 6

Figure 14: Tracés des constellations en sortie de l'échantillonneur pour différentes valeurs de E_b/N_0

Lorsque on augmente le rapport signal sur bruit E_b/N_0 (ce qui signifie que le bruit devient moins important par rapport au signal et donc que le signal bruité se rapproche de plus en plus du signal sans bruit), on s'aperçoit que le tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur se rapproche de plus en plus du tracé de la constellation en sortie du mapping.

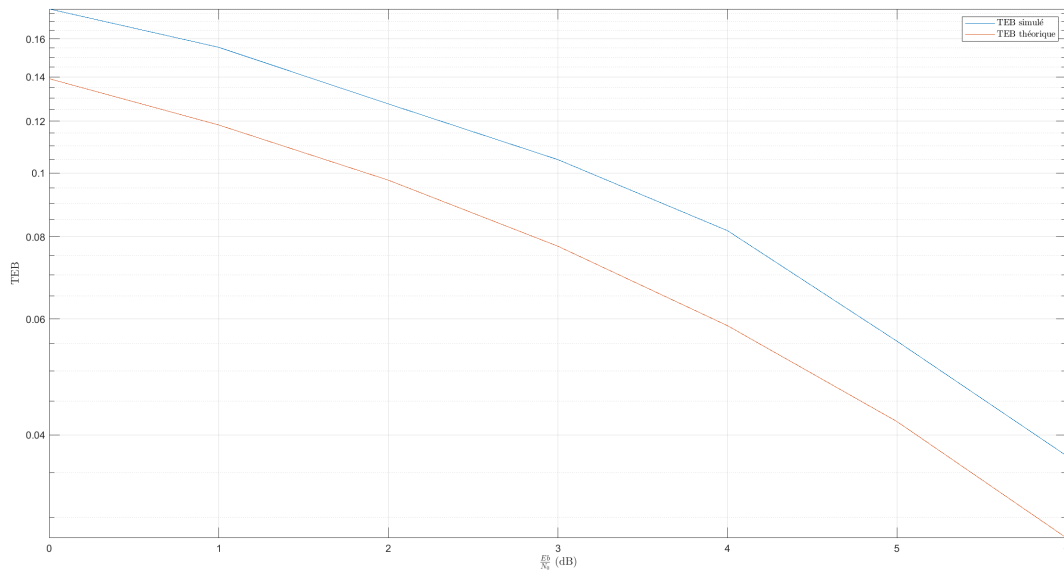


Figure 15: Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne avec la modulation 4-ASK

Ce tracé ne nous permet pas de valider le bon fonctionnement de notre chaîne de transmission.

QPSK

Q1) Le Taux d'erreur binaire obtenu est bien nul pour la chaîne avec la modulation QPSK sans bruit (voir code).

Q2)

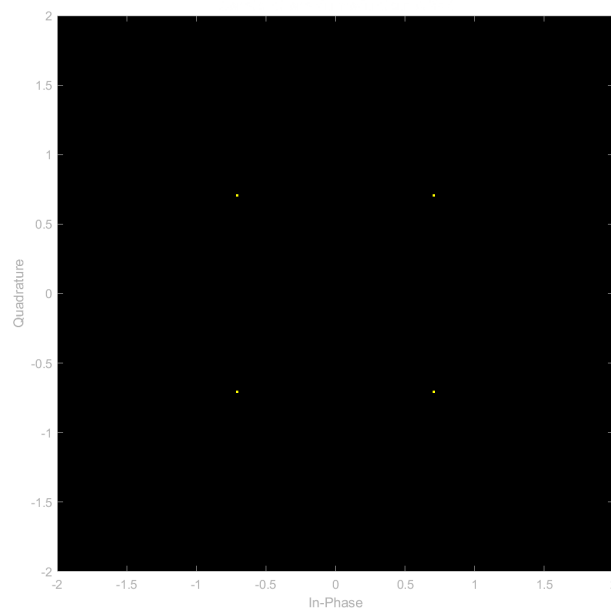
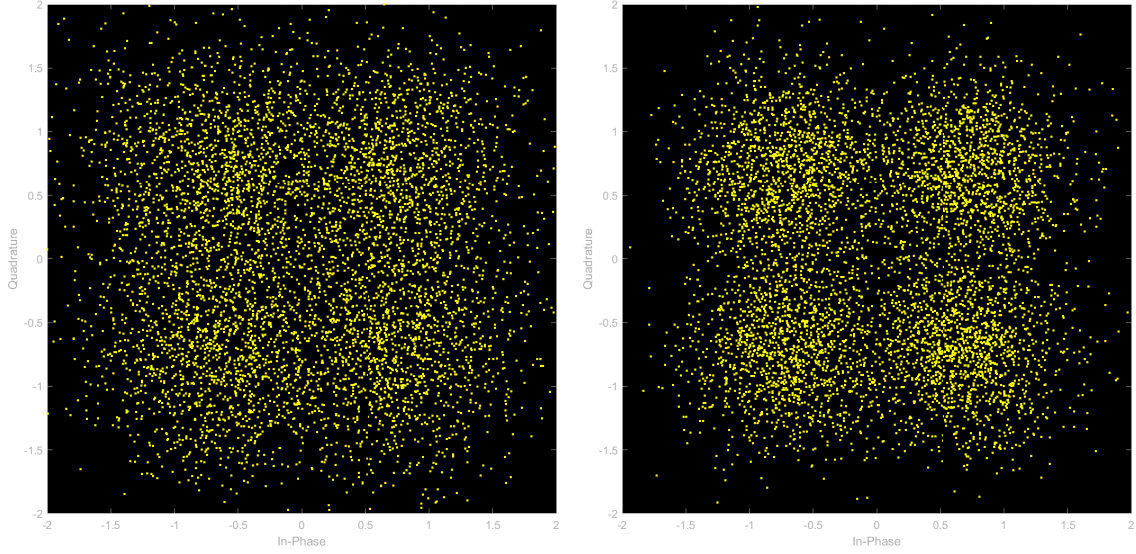
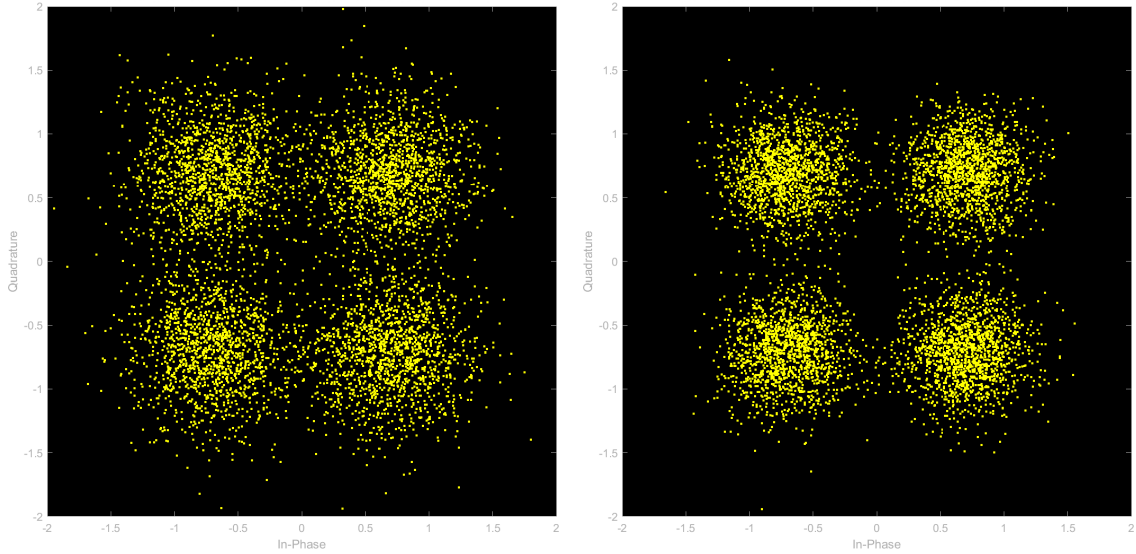


Figure 16: Tracé de la constellation en sortie du mapping



(a) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 0

(b) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 2



(c) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 4

(d) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 6

Figure 17: Tracés des constellations en sortie de l'échantillonneur pour différentes valeurs de E_b/N_0

Lorsque on augmente le rapport signal sur bruit E_b/N_0 (ce qui signifie que le bruit devient moins important par rapport au signal et donc que le signal bruité se rapproche de plus en plus du signal sans bruit), on s'aperçoit que le tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur se rapproche de plus en plus du tracé de la constellation en sortie du mapping.

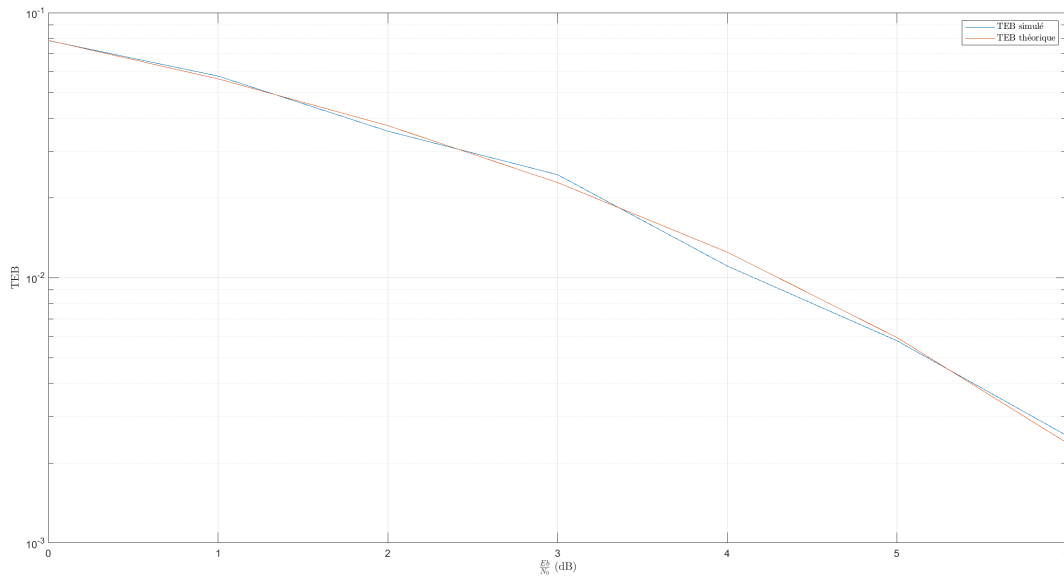


Figure 18: Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne avec la modulation QPSK

Les courbes du TEB simulé et du théorique se superposent parfaitement. Ce tracé nous permet donc de valider le bon fonctionnement de notre chaîne de transmission.

8-PSK

Q1) Le Taux d'erreur binaire obtenu est bien nul pour la chaîne avec la modulation 8-PSK sans bruit (voir code).

Q2)

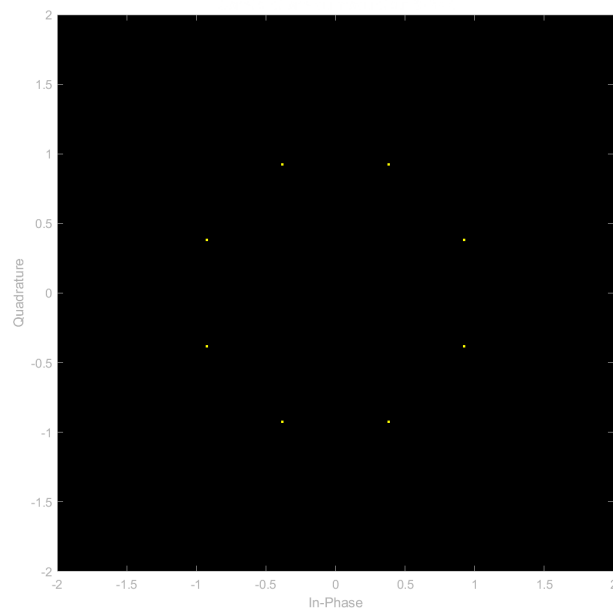


Figure 19: Tracé de la constellation en sortie du mapping

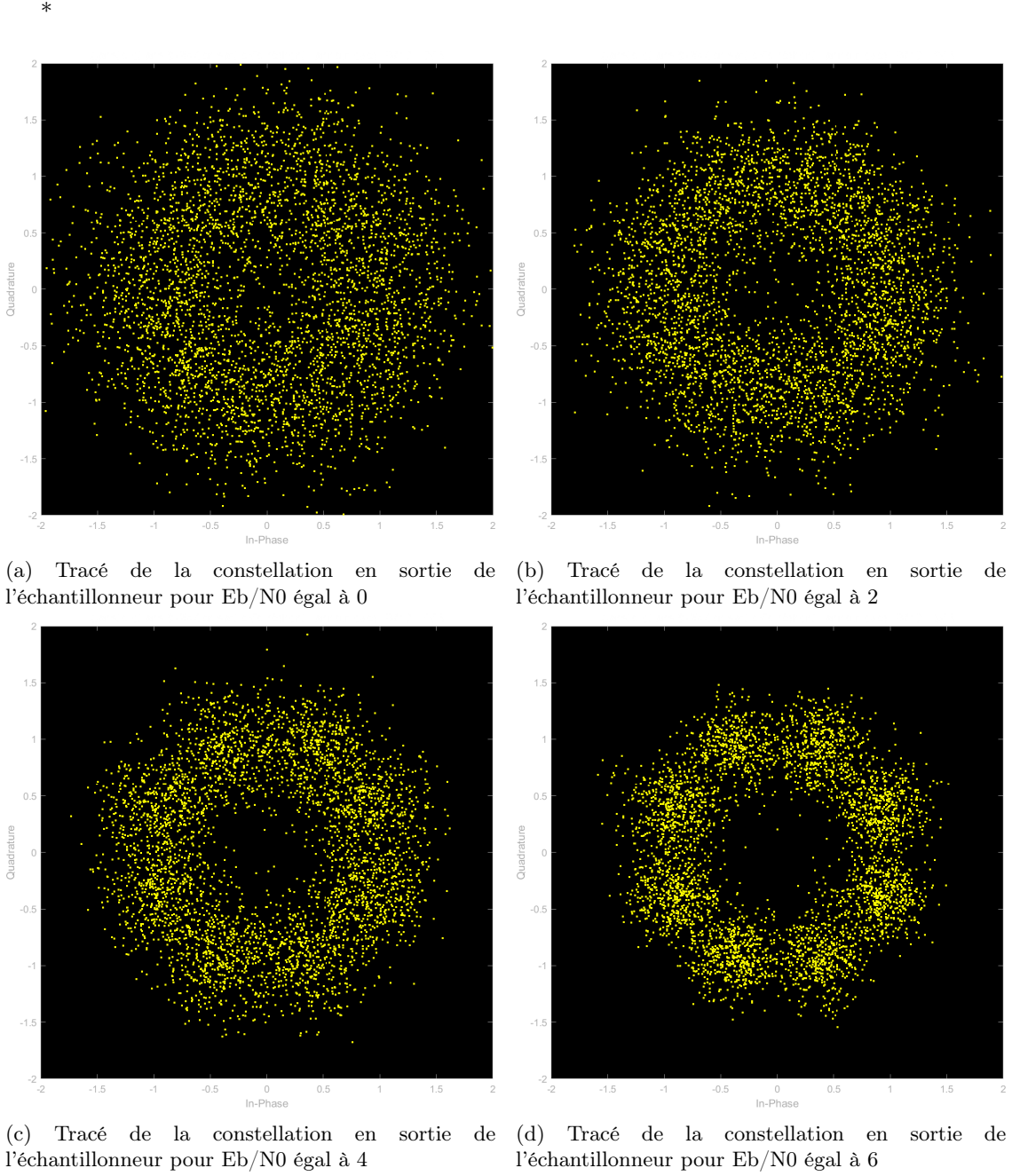


Figure 20: Tracés des constellations en sortie de l'échantillonneur pour différentes valeurs de E_b/N_0

Lorsque on augmente le rapport signal sur bruit E_b/N_0 (ce qui signifie que le bruit devient moins important par rapport au signal et donc que le signal bruité se rapproche de plus en plus du signal sans bruit), on s'aperçoit que le tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur se rapproche de plus en plus du tracé de la constellation en sortie du mapping.

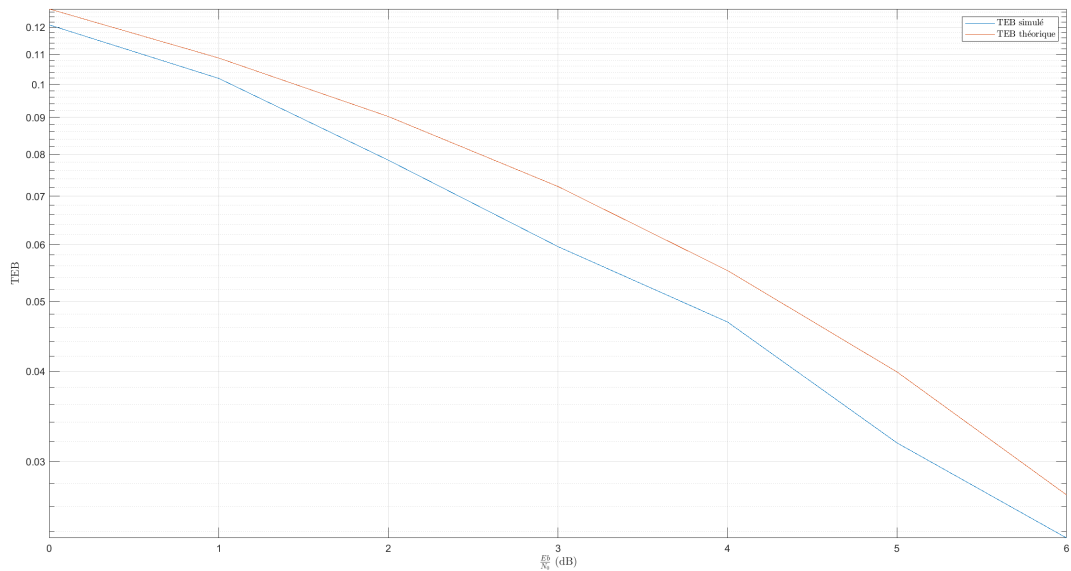


Figure 21: Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne avec la modulation 8PSK

Les courbes du TEB simulé et du théorique se superposent pratiquement. Ce tracé nous permet donc de valider partiellement le bon fonctionnement de notre chaîne de transmission.

16 QAM

Q1) Le Taux d'erreur binaire obtenu est bien nul pour la chaîne avec la modulation 16-QAM sans bruit (voir code).

Q2)

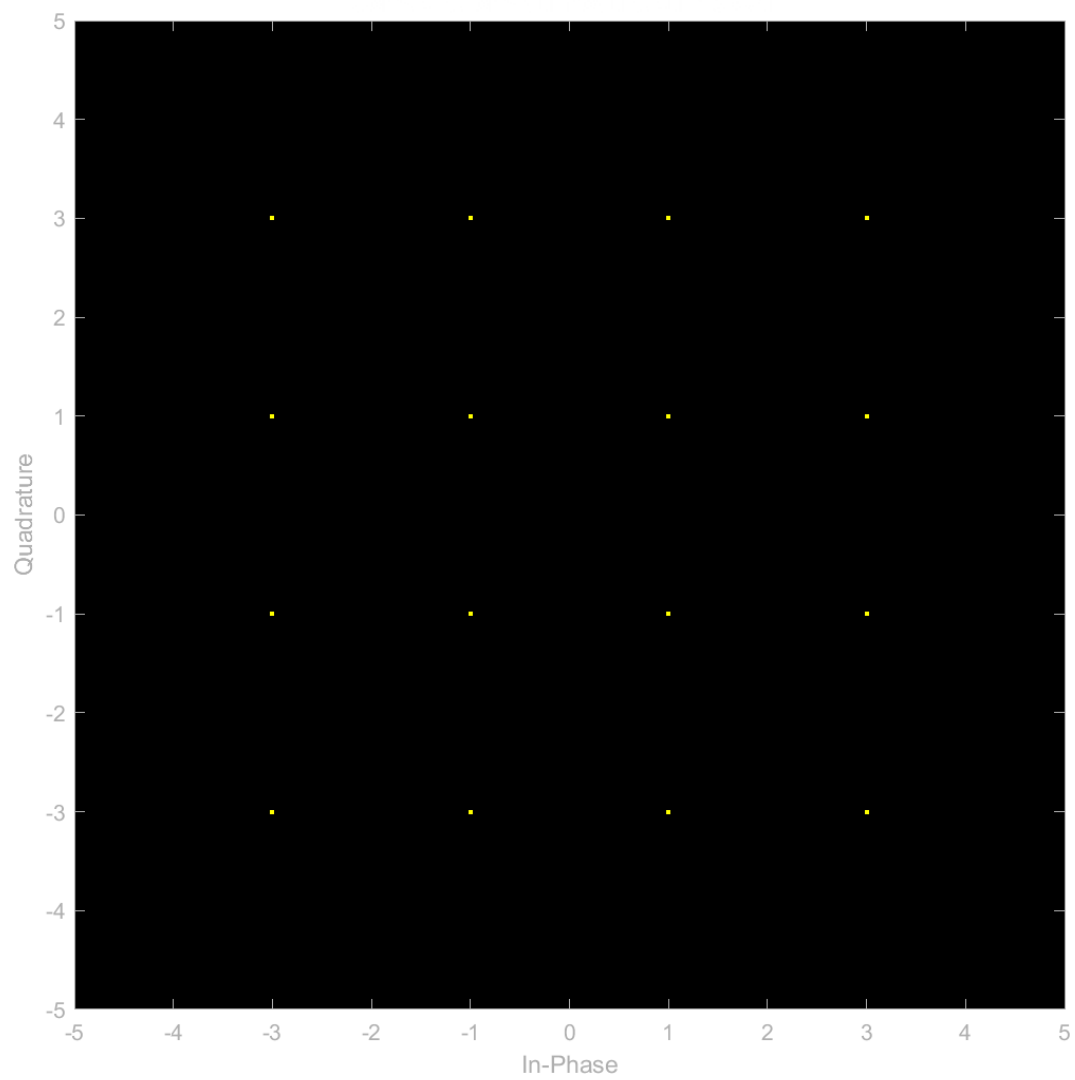
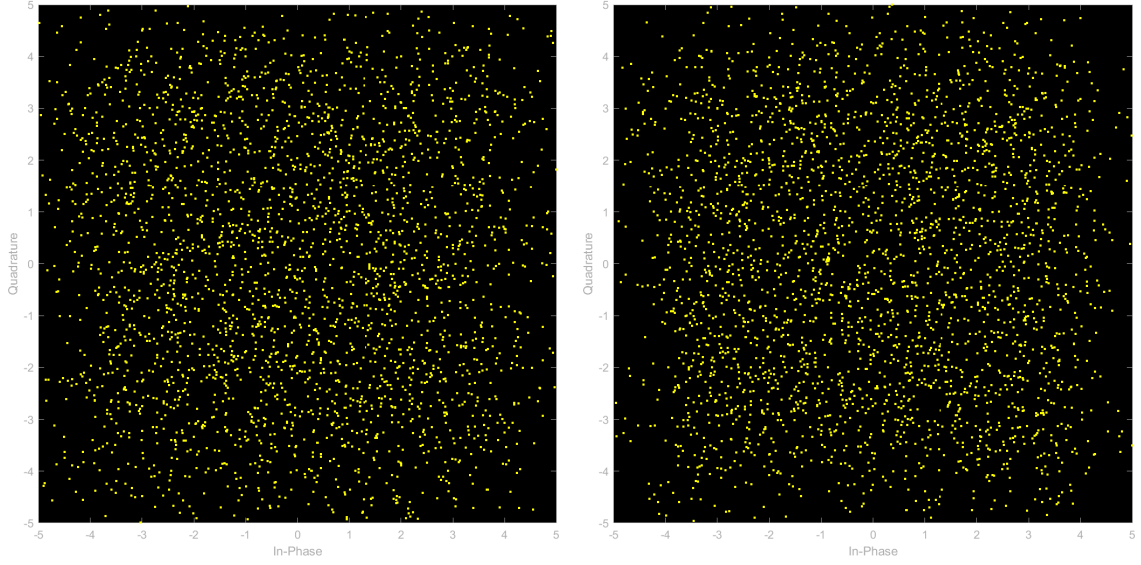
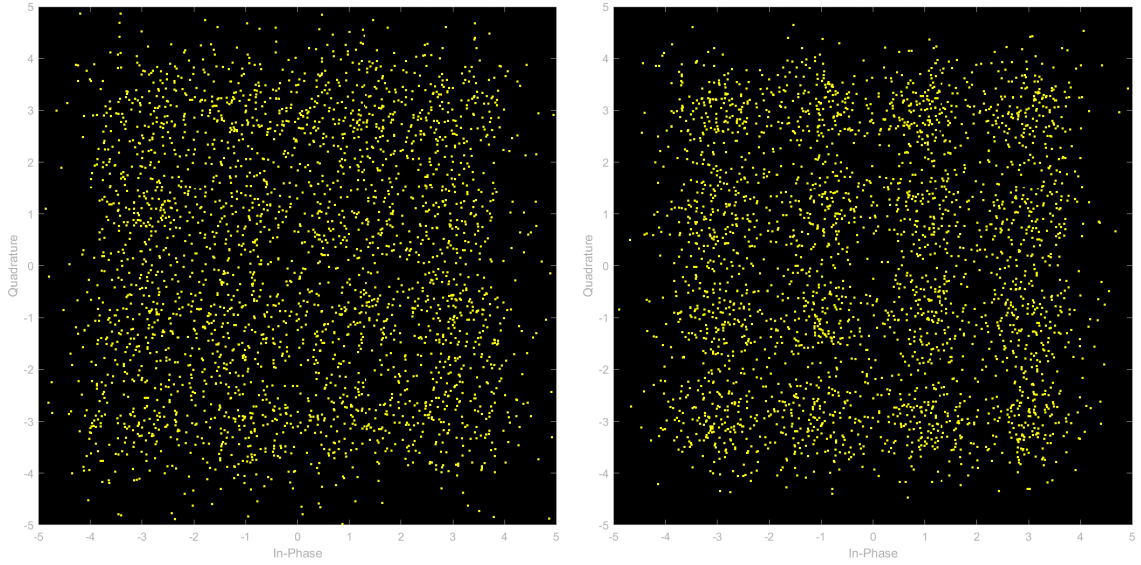


Figure 22: Tracé de la constellation en sortie du mapping



(a) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 0

(b) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 2



(c) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 4

(d) Tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur pour E_b/N_0 égal à 6

Figure 23: Tracés des constellations en sortie de l'échantillonneur pour différentes valeurs de E_b/N_0

Lorsque on augmente le rapport signal sur bruit E_b/N_0 (ce qui signifie que le bruit devient moins important par rapport au signal et donc que le signal bruité se rapproche de plus en plus du signal sans bruit), on s'aperçoit que le tracé de la constellation en sortie de l'échantillonneur se rapproche de plus en plus du tracé de la constellation en sortie du mapping.

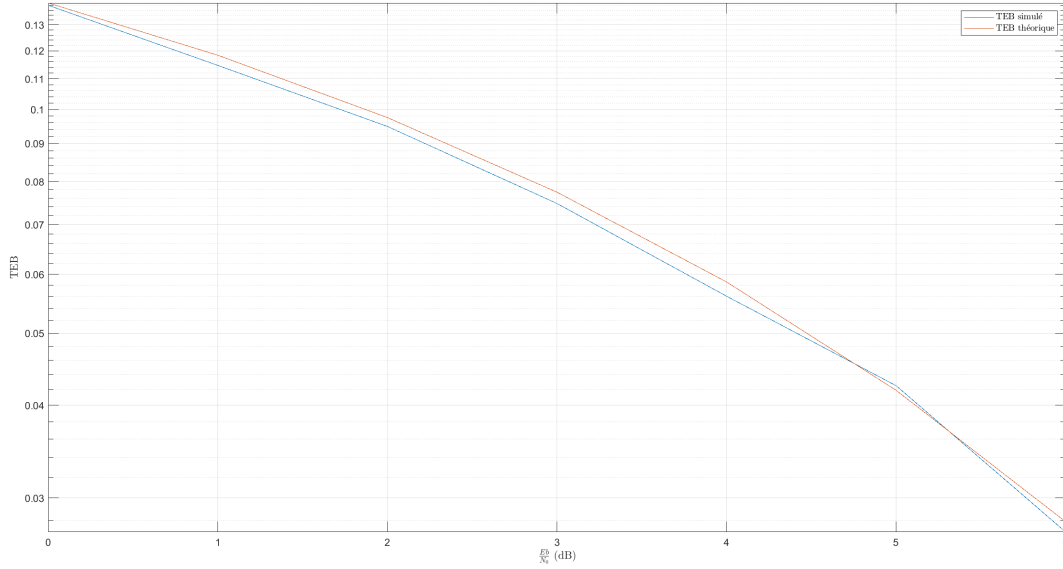


Figure 24: Tracé du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne avec le modulateur 16-QAM

Les courbes du TEB simulé et du théorique se superposent parfaitement. Ce tracé nous permet donc de valider le bon fonctionnement de notre chaîne de transmission.

4.2.2 Comparaison des chaînes de transmission

Q1)

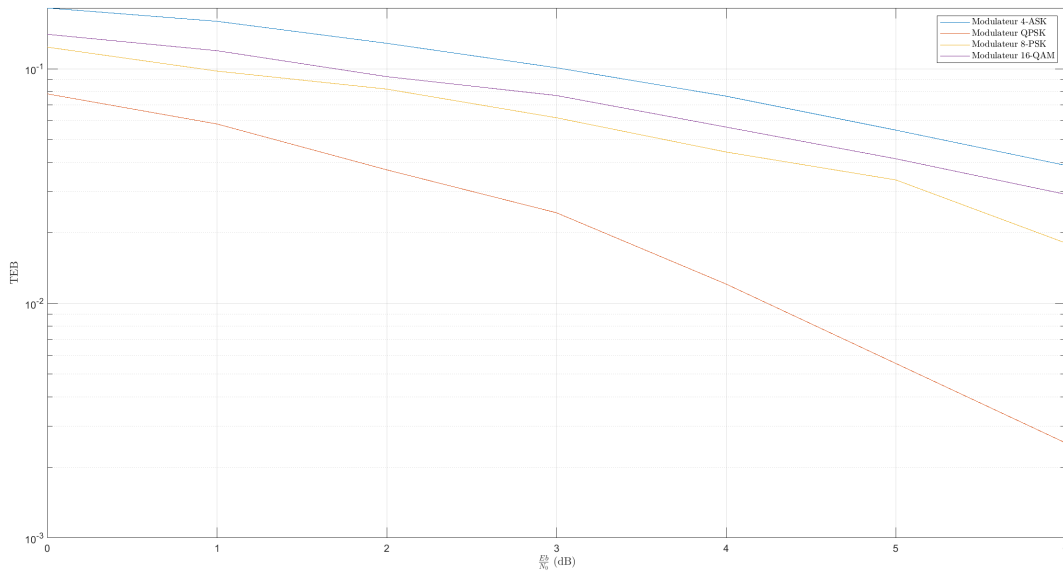


Figure 25: Tracé du TEB pour différents modulations

L'efficacité en puissance est le SNR par bit nécessaire à l'entrée du récepteur pour atteindre le TEB souhaité. Ainsi, sur la figure 26, pour une même valeur de TEB, la chaîne où il faut un SNR plus grand que pour les autres alors cette chaîne sera moins efficace en puissance que les autres. Si on classe donc les chaînes par ordre décroissant en terme d'efficacité de puissance, on a

:chaine avec modulation QPSK, chaine avec modulation 8-QSK, chaine avec modulation 16-QAM puis chaine avec modulation 4-ASK.

Q2)

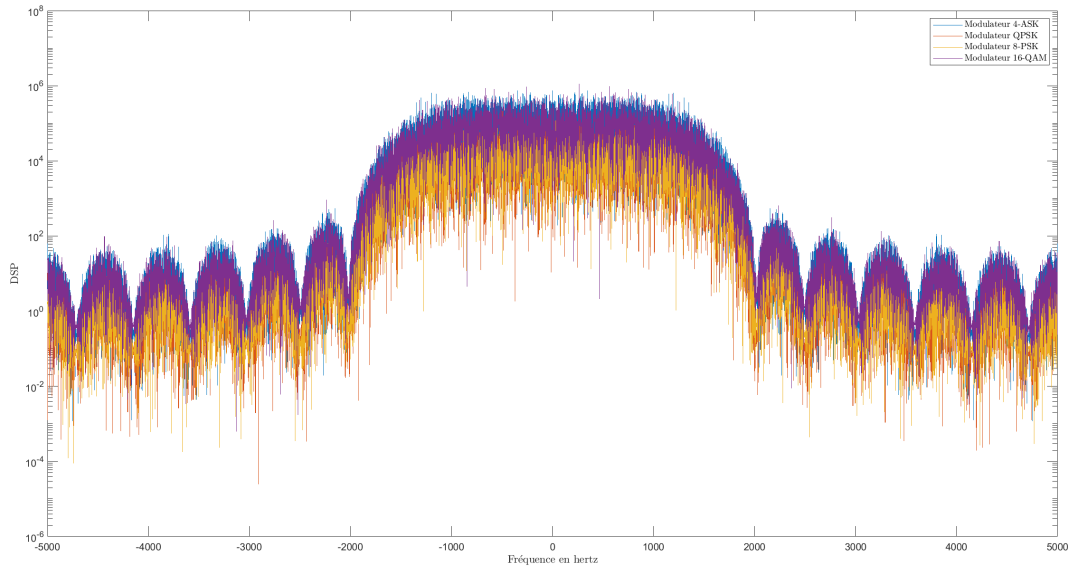


Figure 26: Tracé de la Densité spectrales de puissance pour différents modulations

La formule de l'efficacité spectrale est la suivante:

$$\eta = \frac{R_b}{B} = \frac{\log_2(M)}{k}$$

Ici, k est fixé car on a le même filtre pour toutes les modulations, ainsi comme le logarithme est une fonction croissante alors plus l'ordre M augmente plus l'efficacité spectrale augmente. Si on classe donc les chaînes par ordre décroissant en terme d'efficacité spectrale, on a : chaîne avec modulation 16-QAM, chaîne avec modulation 8-QSK puis chaîne avec modulation QPSK et chaîne avec modulation 4-ASK.