



Télécommunication - Compte-Rendu de Projet
**Impact d'un canal de propagation sélectif en
fréquence et méthodes d'égalisation**

Yessine JMAL et Priscilia GONTHIER
Groupe M

Département Sciences du Numérique - Première année
2021-2022

Table des matières

1	Introduction	3
2	Impact d'un canal de propagation multitrajets	3
2.1	Etude théorique	3
2.2	Implantation sous Matlab	8
3	Egalisation ZFE	10
4	Egalisation MMSE	12
5	Conclusion	13

Table des figures

1	Décomposition du signal bit par bit afin de déterminer le signal en réception . . .	3
2	Signal en sortie du filtre de réception pour l'envoi de 011001	4
3	Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception	5
4	signal reçu après émission de la suite binaire 011001	8
5	constellation	8
6	TEB en fonction du SNR	9
7	TEB en fonction du SNR sans et avec canal	9
8	Réponse en fréquence du canal de propagation, de l'égaliseur ZFE et le produit des deux	10
9	Réponse globale sans égalisation	10
10	Réponse globale avec égalisation	11
11	Constellation avec égalisation	11
12	TEB en fonction du rapport signal sur bruit avec et sans égalisation	12
13	Réponse globale de la chaine avec l'égaliseur MMSE	12
14	Constellation avec égalisation MMSE	13
15	Ra réponse en fréquence du canal de propagation, de l'égaliseur MMSE et le produit des deux	13

1 Introduction

L'objectif du travail présenté dans ce rapport était d'étudier la transmission sur fréquence porteuse. Nous avons tout d'abord implanté, en utilisant la modulation Qpsk, la chaîne sur fréquence porteuse, avant d'implanter la chaîne équivalente afin de les comparer. Puis nous avons comparé différents mappings en utilisant la chaîne équivalente.

2 Impact d'un canal de propagation multitrajets

2.1 Etude théorique

Question 1 :

On trouve :

$$y_e(t) = \alpha_0 x_e(t + \tau_0) + \alpha_1 x_e(t + \tau_1) \quad (1)$$

Question 2 :

$$\begin{aligned} y_e(t) &= \alpha_0 x_e(t - \tau_0) + \alpha_1 x_e(t - \tau_1) \\ &= \alpha_0 \delta(t - \tau_0) * x_e(t) + \alpha_1 \delta(t - \tau_1) * x_e(t) \\ y_e(t) &= (\alpha_0 \delta(t - \tau_0) + \alpha_1 \delta(t - \tau_1)) * x_e(t) \end{aligned}$$

Comme nous avons $y_e(t) = h_c(t) * x_e(t)$, on obtient par identification :

$$h_c(t) = \alpha_0 \delta(t - \tau_0) + \alpha_1 \delta(t - \tau_1) \quad (2)$$

Question 3 :

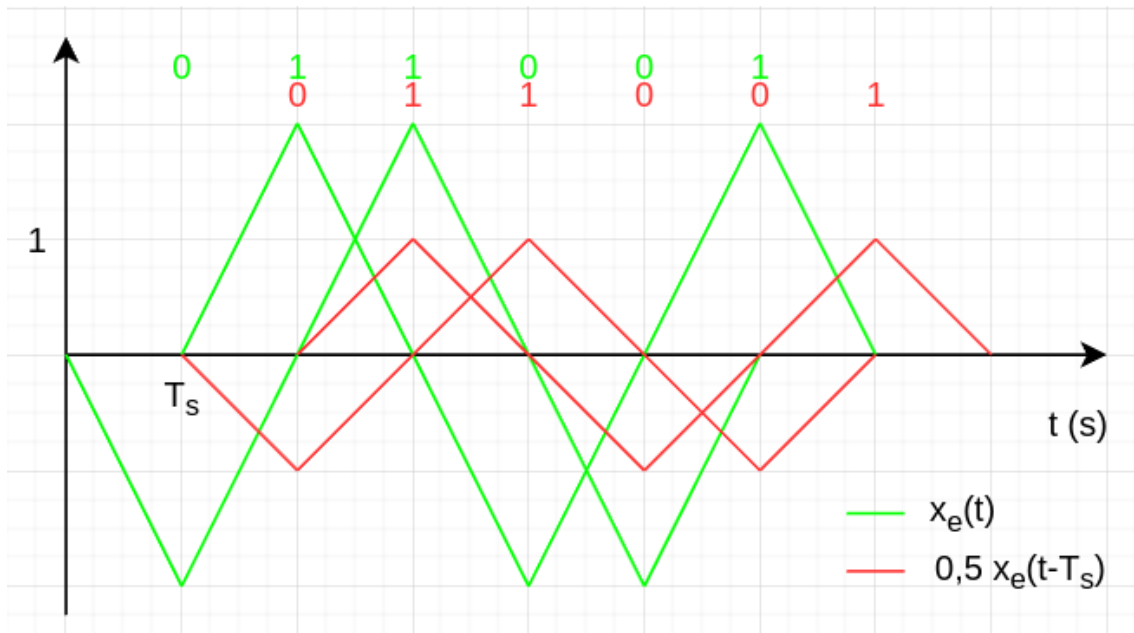


FIGURE 1 – Décomposition du signal bit par bit afin de déterminer le signal en réception

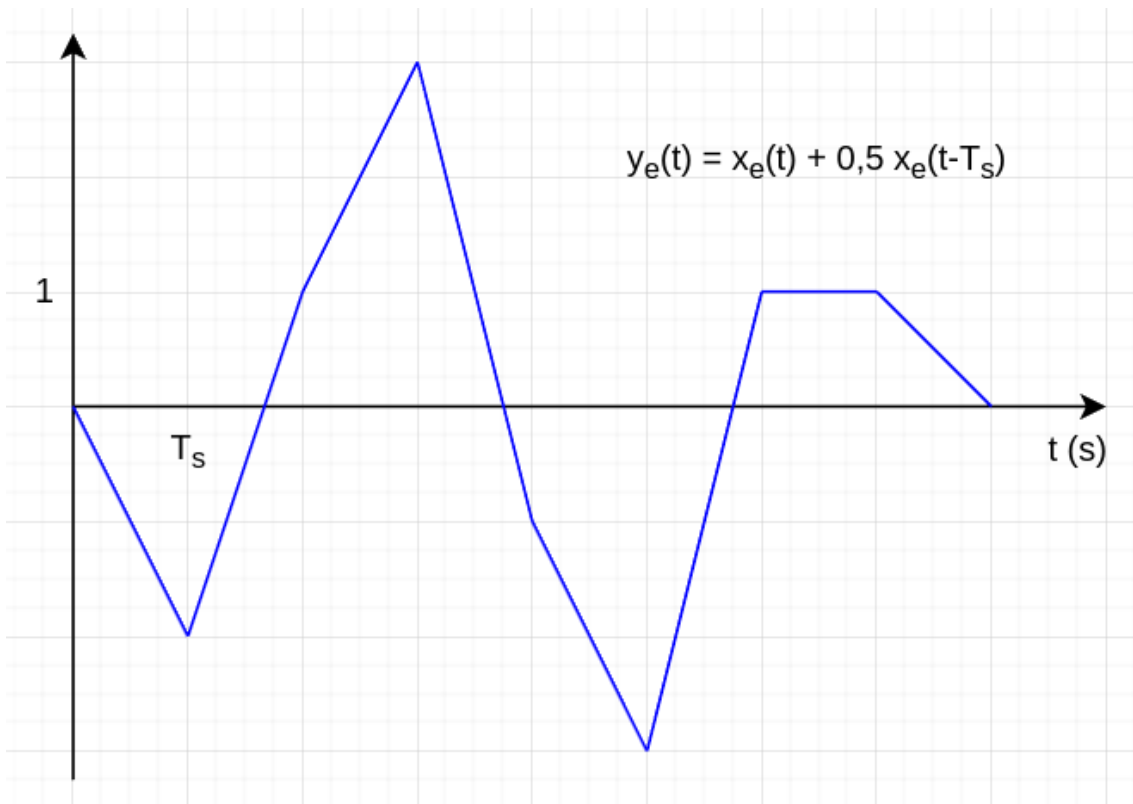


FIGURE 2 – Signal en sortie du filtre de réception pour l'envoi de 011001

Question 4 :

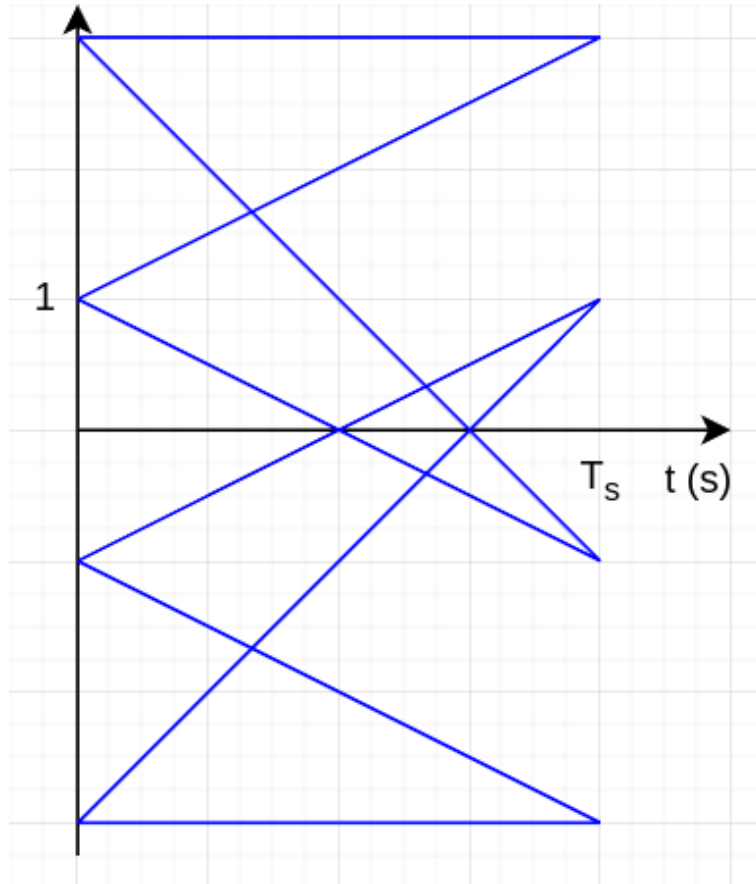


FIGURE 3 – Diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception

On ne peut pas respecter le critère de Nyquist.

Question 5 :

Nous avons $z(t + mT_s) \in \{-\frac{3}{2}T_s, -\frac{1}{2}T_s, \frac{1}{2}T_s, \frac{3}{2}T_s\}$
On définit donc un seuil égal à 0.

$$\begin{aligned}
TEB &= P[\widehat{a_m} = 1|a_m = -1]P[a_m = -1] + P[\widehat{a_m} = -1|a_m = 1]P[a_m = 1] \\
&= \frac{1}{2}P[\widehat{a_m} = 1|z_m = -\frac{1}{2}T_s] \times P[z_m = -\frac{1}{2}T_s|a_m = -1] \\
&\quad + \frac{1}{2}P[\widehat{a_m} = 1|z_m = -\frac{3}{2}T_s] \times P[z_m = -\frac{3}{2}T_s|a_m = -1] \\
&\quad + \frac{1}{2}P[\widehat{a_m} = -1|z_m = \frac{1}{2}T_s] \times P[z_m = \frac{1}{2}T_s|a_m = 1] \\
&\quad + \frac{1}{2}P[\widehat{a_m} = -1|z_m = \frac{3}{2}T_s] \times P[z_m = \frac{3}{2}T_s|a_m = 1] \\
&= \frac{1}{2} \left[Q\left(\frac{\frac{T_s}{2} - (-\frac{T_s}{2})}{2\sigma_w}\right) + Q\left(\frac{\frac{3T_s}{2} - (-\frac{3T_s}{2})}{2\sigma_w}\right) \right] \\
&= \frac{1}{2} \left[Q\left(\frac{T_s}{2\sigma_w}\right) + Q\left(\frac{3T_s}{2\sigma_w}\right) \right]
\end{aligned}$$

On a donc

$$TEB = \frac{1}{2} \left[Q\left(\frac{T_s}{2\sigma_w}\right) + Q\left(\frac{3T_s}{2\sigma_w}\right) \right] \quad (3)$$

Question 6 :

$$\begin{aligned}
\sigma_w^2 &= \int_{\mathbb{R}} S_w(f) df \\
&= \int_{\mathbb{R}} S_n(f) |H_r(f)|^2 df \quad (\text{Wiener-Lee}) \\
&= N_0 \int_{\mathbb{R}} |H_r(f)|^2 df \\
&= N_0 \int_{\mathbb{R}} |h_r(t)|^2 dt \quad (\text{Parseval}) \\
\sigma_w^2 &= N_0 T_s
\end{aligned}$$

Nous obtenons donc une puissance du bruit en sortie de du filtre de réception de

$$\sigma_w^2 = N_0 T_s \quad (4)$$

Question 7 :

On a la réponse impulsionnelle avant le récepteur de

$$\begin{aligned}
h_e(t) &= h(t) * h_c(t) \\
&= \alpha_0 \Pi_{T_s}(t - \tau_0) + \alpha_1 \Pi_{T_s}(t - \tau_1) \\
h_e(t) &= \Pi_{T_s}(t) + 0,5 \Pi_{T_s}(t - T_s)
\end{aligned}$$

On a la puissance du signal $P_x = \int_{\text{mathbb{R}}} S_x(f) df$ avec $S_x(f) = \frac{\sigma_a^2}{T_s} |H_e(f)|^2$ (Car ici les symboles sont indépendants à moyenne nulle et on a $\sigma_a^2 = 1$).

On peut donc calculer l'énergie

$$\begin{aligned}
E_s &= P_x T_s \\
&= T_s \int_{\mathbb{R}} S_x(f) df \\
&= T_s \int_{\mathbb{R}} \frac{1}{T_s} |H_e(f)|^2 df \\
&= T_s \int_{\mathbb{R}} \frac{1}{T_s} |h_e(t)|^2 dt \text{ (Parseval)} \\
&= \int_{\mathbb{R}} |h_e(t)|^2 dt \\
&= \frac{T_s}{2} \\
E_s &= E_b
\end{aligned}$$

Nous obtenons donc une énergie des symboles à l'entrée du récepteur de

$$E_s = E_b = \frac{T_s}{2} \quad (5)$$

Question 8 :

On a d'après l'équation 5 $\frac{E_b}{N_0} = \frac{T_s}{2N_0}$, donc en remplaçant dans l'équation 3 on obtient

$$\begin{aligned}
TEB &= \frac{1}{2} \left[Q \left(\frac{T_s}{2\sigma_w} \right) + Q \left(\frac{3T_s}{2\sigma_w} \right) \right] \\
&= \frac{1}{2} \left[Q \left(\frac{T_s}{2\sqrt{N_0 T_s}} \right) + Q \left(\frac{3T_s}{2\sqrt{N_0 T_s}} \right) \right] \\
&= \frac{1}{2} \left[Q \left(\sqrt{\frac{T_s}{4N_0}} \right) + Q \left(3\sqrt{\frac{T_s}{4N_0}} \right) \right] \\
TEB &= \frac{1}{2} \left[Q \left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}} \right) + Q \left(3\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}} \right) \right]
\end{aligned}$$

Donc la formule du TEB est

$$TEB = \frac{1}{2} \left[Q \left(\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}} \right) + Q \left(3\sqrt{\frac{E_b}{2N_0}} \right) \right] \quad (6)$$

2.2 Implantation sous Matlab

Question 3a :

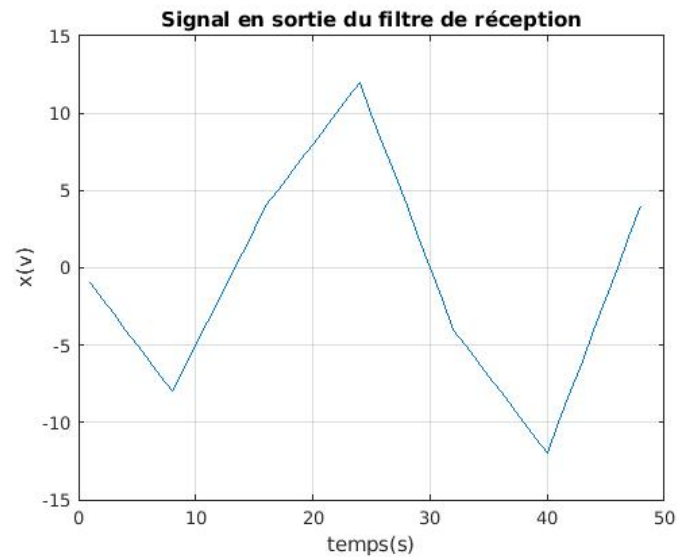


FIGURE 4 – signal reçu après émission de la suite binaire 011001

Question 3b :constellation

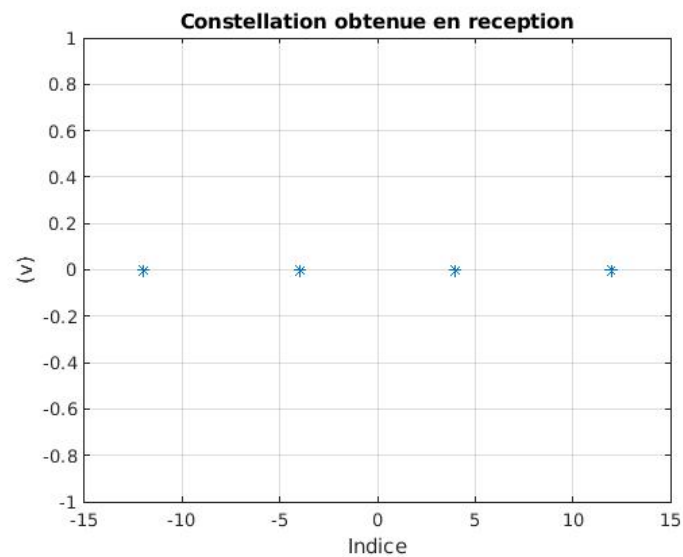


FIGURE 5 – constellation

La constellation obtenue est conforme à l'étude théorique. On obtient bien 4 valeurs possibles suite à la présence du canal.

Question 3c :TEB

Le TEB ici est bien nul malgré la présence du canal puisqu'on a choisi un seuil=0 permettant de différencier les bits 0 des bits 1.

Question 4a :

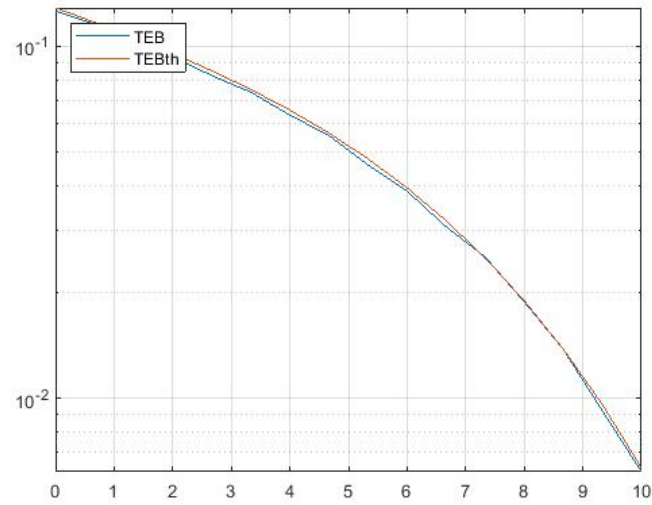


FIGURE 6 – TEB en fonction du SNR

La courbe se superpose avec la courbe théorique.

Question 4b :

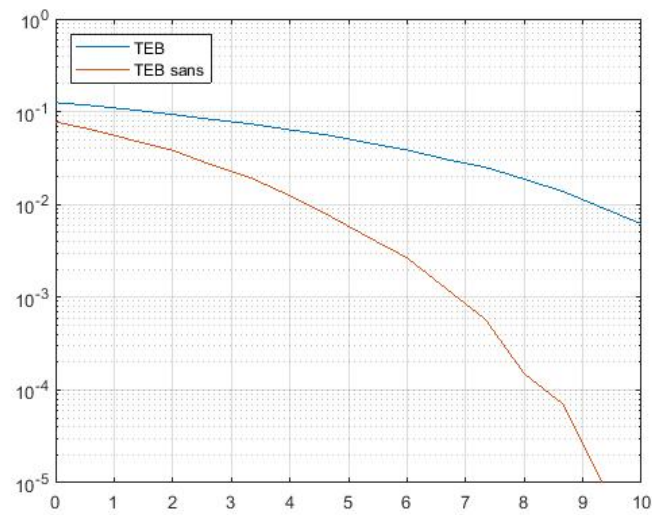


FIGURE 7 – TEB en fonction du SNR sans et avec canal

La courbe montre que la chaîne sans canal est plus performante que la chaîne avec le canal.

3 Egalisation ZFE

Question 3.2.2 :

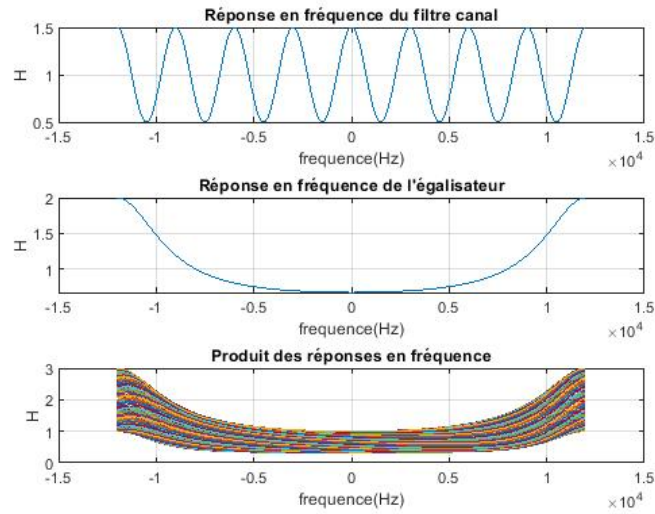


FIGURE 8 – Réponse en fréquence du canal de propagation, de l'égaliseur ZFE et le produit des deux

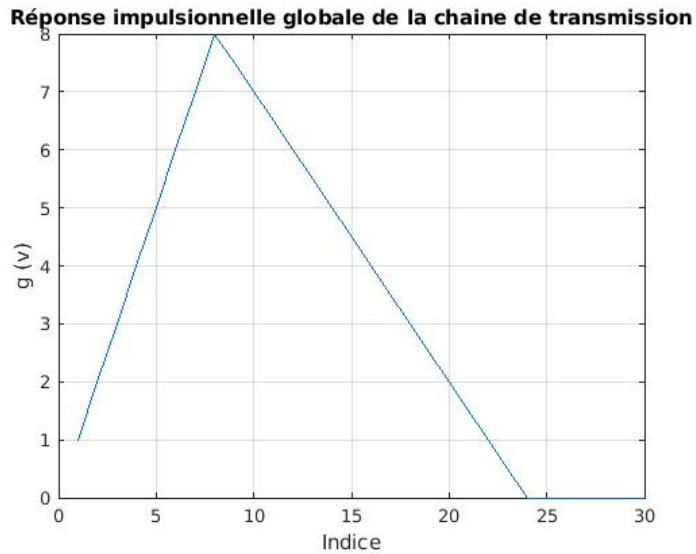


FIGURE 9 – Réponse globale sans égalisation

L'égaliseur élimine les 2 valeurs ajoutées à cause du canal.

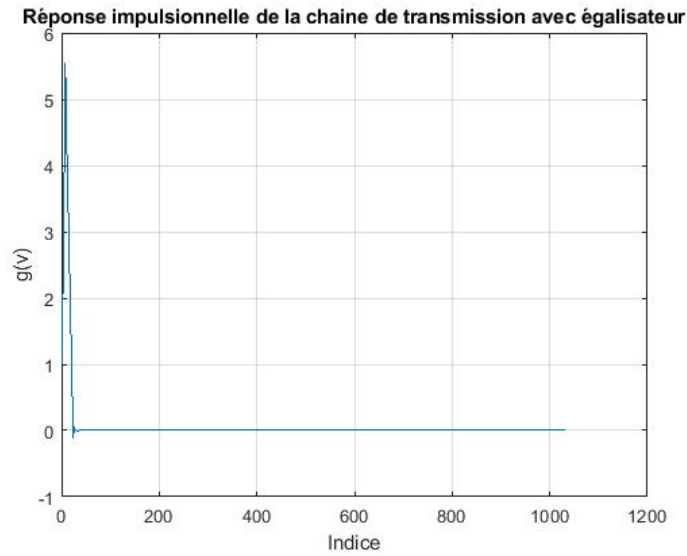


FIGURE 10 – Réponse globale avec égalisation

On s'aperçoit qu'avec l'égaliseur l'effet du canal a diminué.

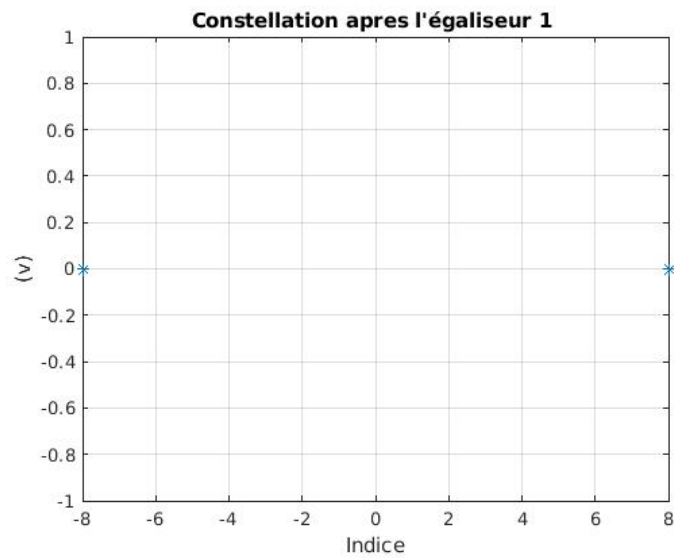


FIGURE 11 – Constellation avec égalisation

Le nombre de valeurs possibles est réduit à deux ce qui permet de respecter le critère de Nyquist.

Question 3.2.2.b :ajout du bruit

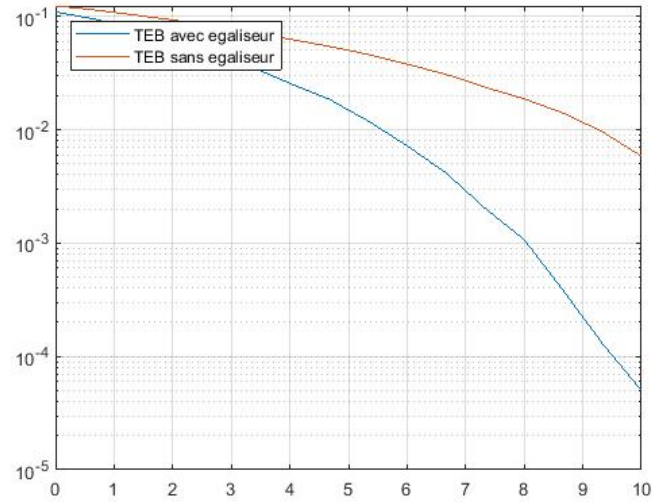


FIGURE 12 – TEB en fonction du rapport signal sur bruit avec et sans égalisation

Les résultats montrent que la chaîne avec égalisation est plus performante que la chaîne sans égalisation.

4 Egalisation MMSE

Pour cette partie, nous avons eu des difficultés pour implanter l'égaliseur, et nous n'avons pas pu expliquer les résultats obtenus.

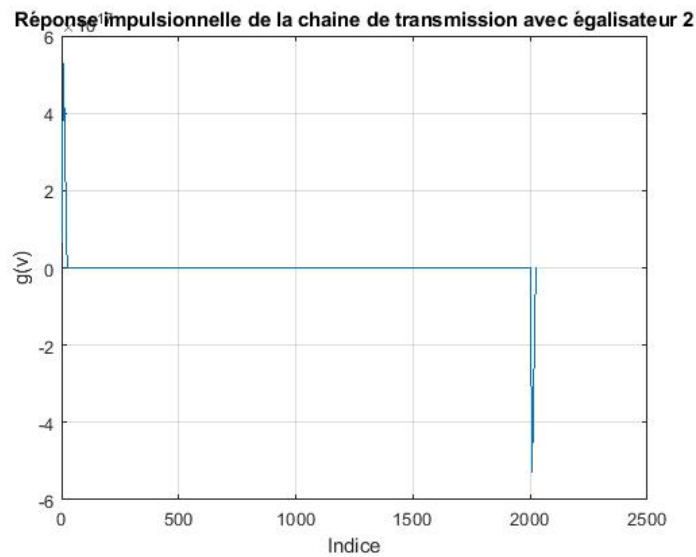


FIGURE 13 – Réponse globale de la chaîne avec l'égaliseur MMSE

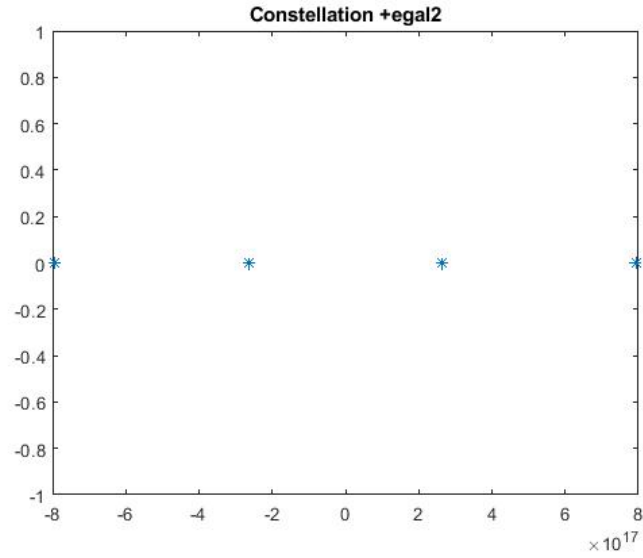


FIGURE 14 – Constellation avec égalisation MMSE

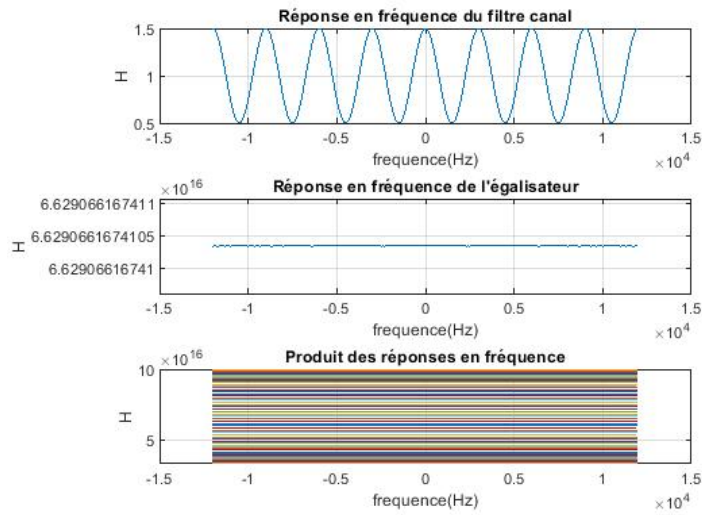


FIGURE 15 – Réponse en fréquence du canal de propagation, de l'égaliseur MMSE et le produit des deux

5 Conclusion

En étudiant l'effet du premier égaliseur, on a pu tirer l'importance de l'égalisation en présence d'un canal non sélectif en fréquence.