



Rapport Projet

Introduction à l'égalisation : Impact d'un canal de propagation sélectif en fréquence et méthodes d'égalisation

Nihal BELMAKHFI et Héroïse LAFARGUE

Département Sciences du Numérique - Première année
Télécommunications
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	6
2.2.1	Chaîne de transmission sans canal	6
2.2.2	Chaîne de transmission avec filtrage adapté, sans bruit	6
2.2.3	Chaîne de transmission avec filtrage adapté et bruit	7
2.3	Egalisation ZFE	8
2.3.1	Implantation de la chaîne avec égalisation sans bruit	8
2.3.2	Implantation de la chaîne avec égalisation avec bruit	10
3	Conclusion	11

Table des figures

1	Canal multi-trajet	3
2	Signal en sortie du filtre de réception, sans bruit, pour la séquence binaire 011001	4
3	Diagramme de l'oeil	4
4	Signal en sortie du filtre de réception pour la séquence binaire 011001	6
5	Diagramme de l'oeil	6
6	Constellation en réception	7
7	Comparaison des TEB	8
8	Réponses en fréquence	9
9	Comparaison des TEB	9
10	Constellations	10
11	Comparaison des TEB	10

1 Introduction

L'objectif de ce projet est de tester une méthode pour assurer la sélectivité en fréquence du canal, par exemple lors de transmissions à trajets multiples : transmissions WiFi, TNT, transmissions avec les mobiles, communications acoustiques sous marine.

Dans un tel contexte, une solution possible pour supprimer les interférences introduites par le canal de propagation, est de placer un filtre supplémentaire au niveau du récepteur appelé égaliseur. C'est l'objet du projet.

2 Impact d'un canal de propagation multitrajets

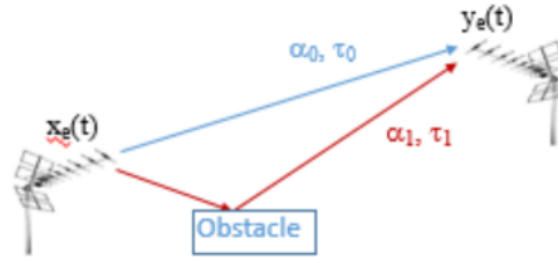


FIGURE 1 – Canal multi-trajet

2.1 Etude théorique

1. On a

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

Avec α_0 le coefficient d'atténuation sur la ligne de vue directe, α_1 le coefficient d'atténuation sur le trajet réfléchi, τ_0 le retard sur la ligne de vue directe, τ_1 le retard sur le trajet réfléchi.

2. Alors, la réponse impulsionnelle $h_c(t)$ du canal passe-bas équivalent s'écrit :

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

car $y_e(t) = x_e(t) * h_c(t)$.

3. Sur la figure 2, nous traçons le signal en sortie du filtre de réception, sans bruit, pour la séquence binaire 011001. Avec $\tau_0 = 0$ et $\tau_1 = \tau_0 + T_s$, $\alpha_0 = 1$ et $\alpha_1 = 0,5$.

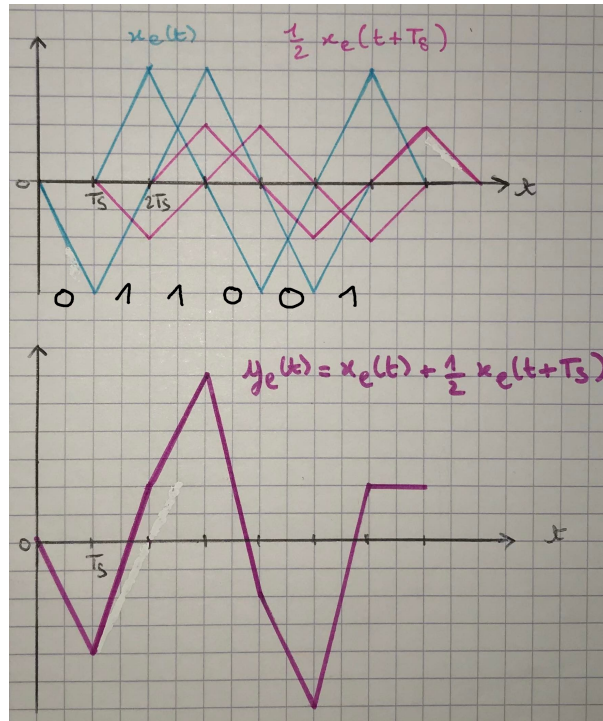


FIGURE 2 – Signal en sortie du filtre de réception, sans bruit, pour la séquence binaire 011001

4. Nous avons représenté le diagramme de l'œil sans bruit en sortie du filtre de réception sur la figure 3.

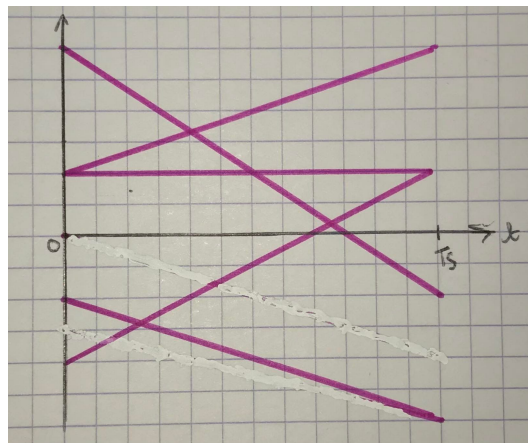


FIGURE 3 – Diagramme de l'œil

D'après le diagramme de l'œil, on peut respecter le critère de Nyquist pour $t_0 = T_s$ dans cette chaîne de transmission.

5. En supposant que le critère de Nyquist et le filtrage adapté sont respectés et que l'on échantillonne aux instants optimaux avec un seuil de décision nul, alors on a

$$TEB = \frac{Q(\frac{D_{min}}{2\sigma_\omega})}{\log_2(2)} = Q(\frac{T_s}{2\sigma_\omega})$$

6. La puissance du bruit en sortie du filtre de réception est donnée par :

$$\sigma_\omega^2 = \int_{\mathbf{R}} S_\omega(f) df = \int_{\mathbf{R}} S_n(f) |H_r(f)|^2 df = N_0 \int_{\mathbf{R}} |H_r(f)|^2 df = N_0 \int_{\mathbf{R}} |h_r(t)|^2 dt = N_0 T_s$$

avec la formule de Parseval.

7. L'énergie des symboles à l'entrée du récepteur est donnée par :

$$E_s = P_x T_s = T_s \int_{\mathbf{R}} S_x(f) df = T_s \int_{\mathbf{R}} \frac{1}{T_s} |H(f)|^2 df = \int_{\mathbf{R}} |h(t)|^2 dt = T_s (= E_b)$$

avec la formule de Parseval.

8. Nous en déduisons le taux d'erreur binaire pour la chaîne étudiée :

$$TEB = Q(\frac{T_s}{2\sigma_\omega}) = Q(\frac{T_s}{2\sqrt{N_0 T_s}}) = Q(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{T_s}{N_0}}) = Q(\frac{1}{2} \sqrt{\frac{E_b}{N_0}})$$

2.2 Implantation sous Matlab

2.2.1 Chaîne de transmission sans canal

Nous implantons la chaîne de transmission sans canal et nous obtenons comme attendu un TEB nul.

2.2.2 Chaîne de transmission avec filtrage adapté, sans bruit

Ensuite nous implantons la partie filtrage adapté dans le canal de propagation, toujours sans bruit.

a) Sur la figure 4, nous traçons le signal en sortie du filtre de réception pour la séquence binaire 011001. Et sur la figure 5, nous représentons le diagramme de l'oeil associé.

Pour vérifier la théorie pour 011001, on décommente dans le script ligne 9 "bits = [0,1,1,0,1];".

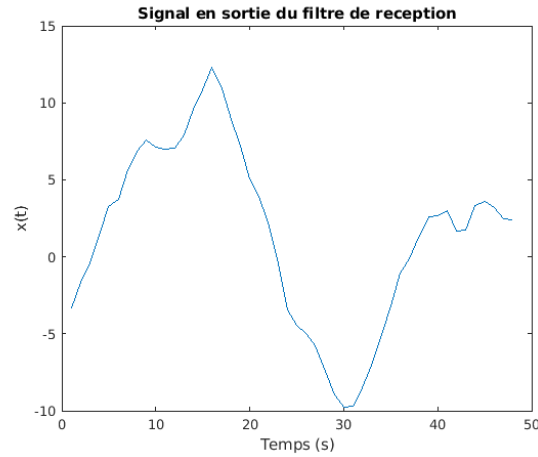


FIGURE 4 – Signal en sortie du filtre de réception pour la séquence binaire 011001

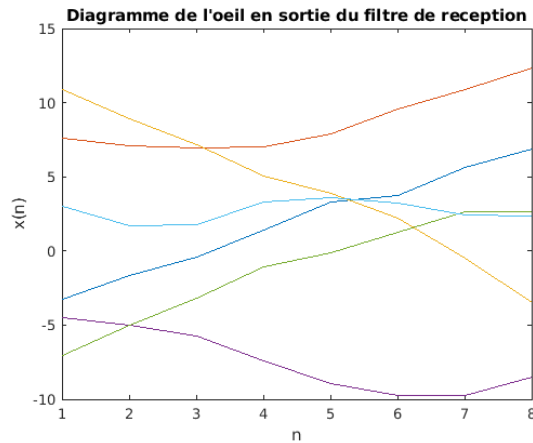


FIGURE 5 – Diagramme de l'oeil

Les résultats correspondaient bien à l'étude théorique.

b) Nous visualisons la constellation obtenue en réception sur la figure 6.

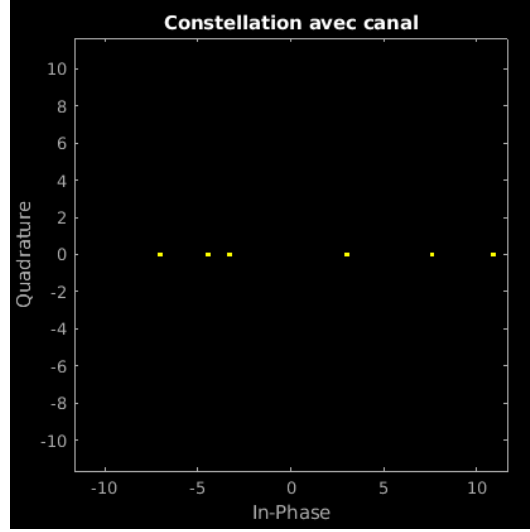


FIGURE 6 – Constellation en réception

Nous retrouvons bien que les valeurs de la constellation correspondent à celles du diagramme de l'oeil à l'instant optimal.

c) Nous obtenons un TEB nul. En effet, le coefficient α_1 associé au décalage τ n'est pas assez important par rapport à α_0 pour perturber le signal.

2.2.3 Chaîne de transmission avec filtrage adapté et bruit

Maintenant nous ajoutons à la chaîne précédente le bruit.

Sur la figure 11, dans le premier tracé, nous comparons le TEB simulé au TEB théorique de la chaîne étudiée.

Dans le second tracé, nous comparons le TEB de la chaîne de transmission implantée et le TEB obtenu pour la même chaîne de transmission sans filtrage canal (canal AWGN).

Le bon fonctionnement de la chaîne de transmission est validé par le premier tracé.

Le second tracé nous permet de conclure que la chaîne de transmission la plus efficace en puissance est celle avec le filtrage canal.

En effet, pour une valeur de TEB fixée, la transmission est meilleure car le rapport E_b/N_0 est plus petit.

Par exemple le $TEB = 10^{-2}$ est atteint à $E_b/N_0 \approx 6$ pour la chaîne de référence et à $E_b/N_0 \geq 10$ pour la chaîne de transmission étudiée.

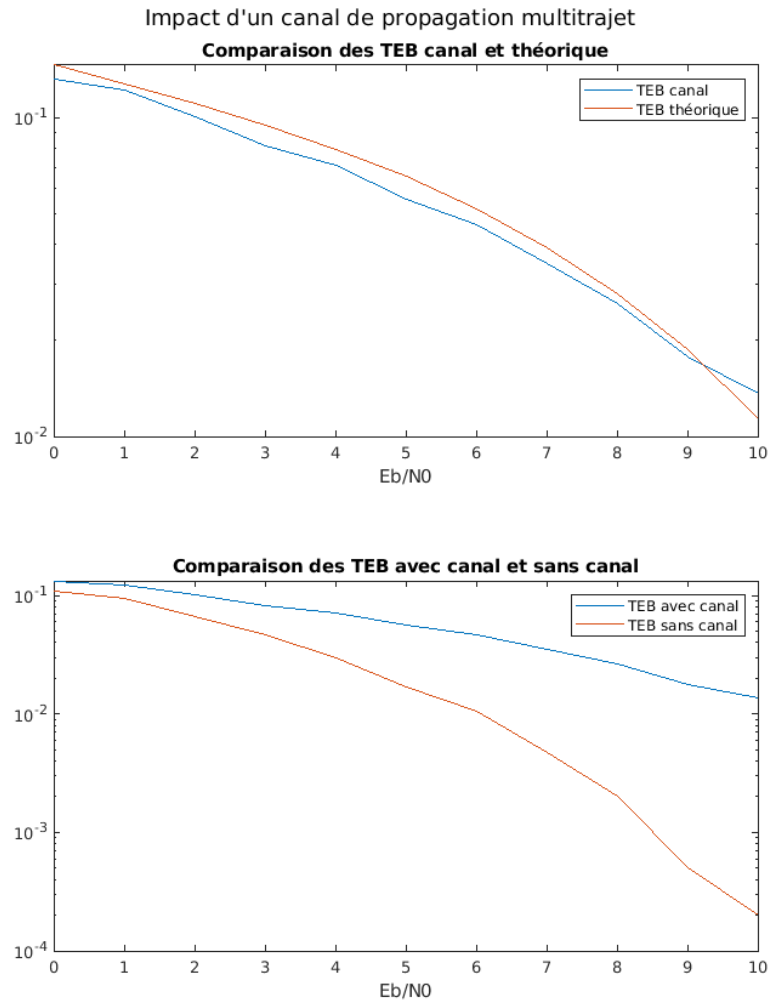


FIGURE 7 – Comparaison des TEB

2.3 Egalisation ZFE

2.3.1 Implantation de la chaîne avec égalisation sans bruit

Sur la figure 8, nous avons représenté le réponse en fréquence du canal de propagation, la réponse en fréquence de l'égaliseur et le produit des deux.

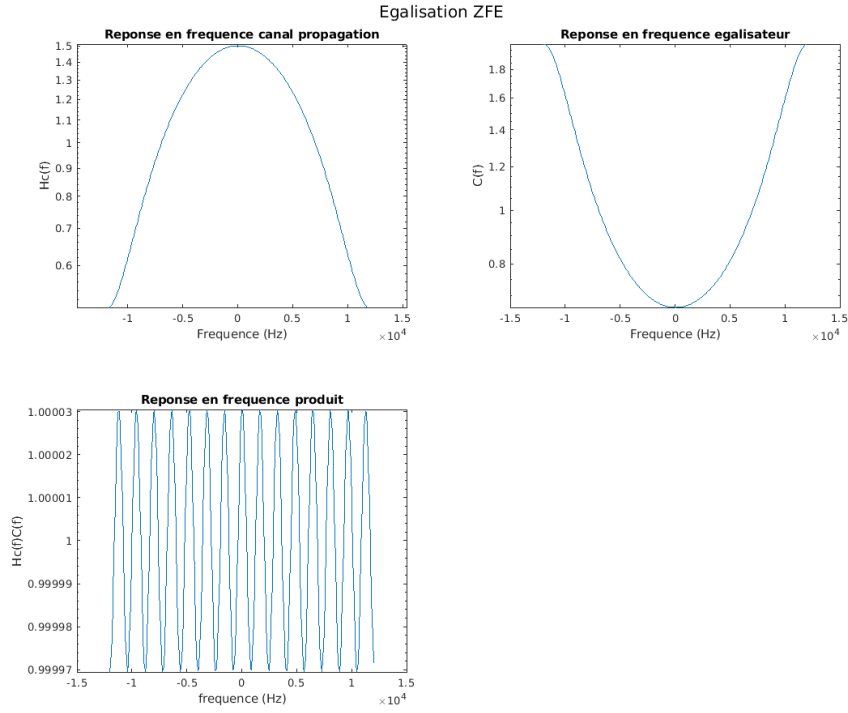


FIGURE 8 – Réponses en fréquence

Sur la figure 9, nous avons tracé la réponse impulsionnelle de la chaîne de transmission échantillonnée à N_s avec et sans égalisation.

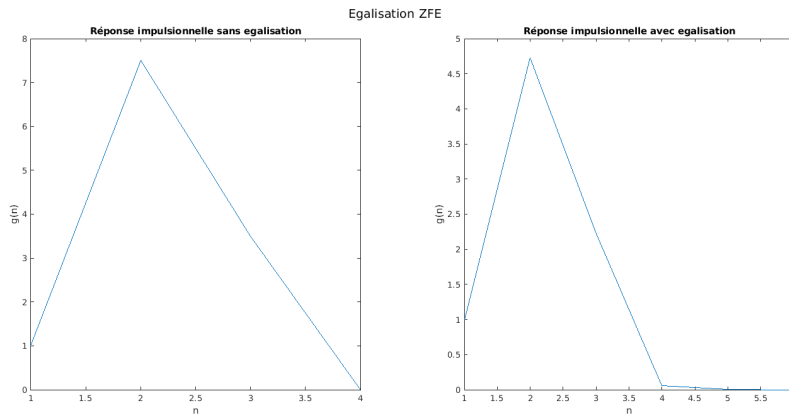


FIGURE 9 – Comparaison des TEB

Ensuite, nous avons généré une information binaire à transmettre à la chaîne avec égalisation et nous obtenons les constellations suivantes, avant et après égalisation sur la figure 10.

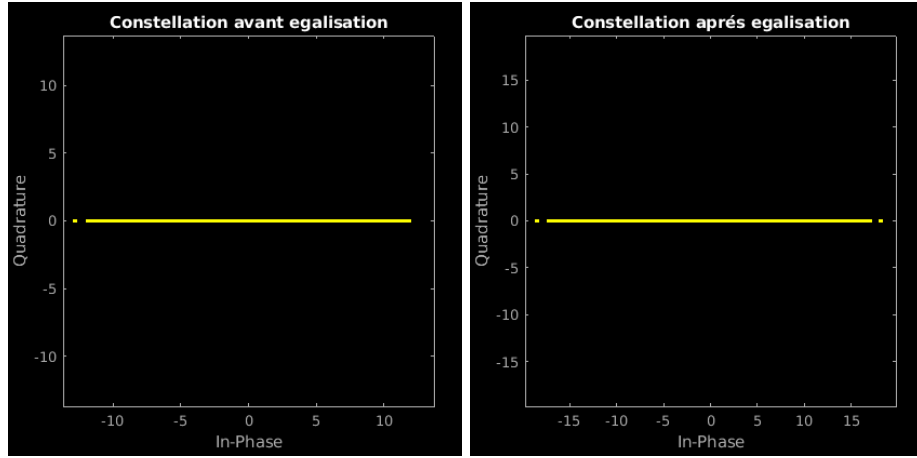


FIGURE 10 – Constellations

2.3.2 Implantation de la chaîne avec égalisation avec bruit

Nous ajoutons le bruit à la chaîne avec égalisation.

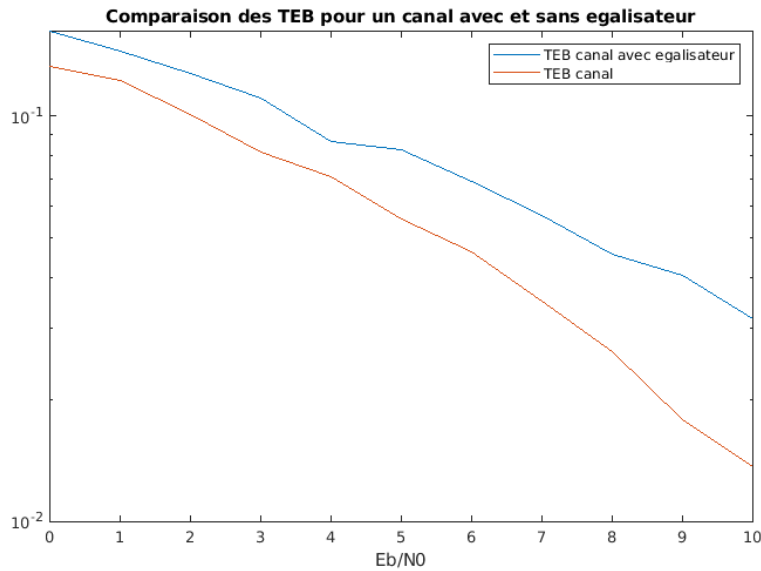


FIGURE 11 – Comparaison des TEB

Nous remarquons que les courbes des TEB sont proches mais la chaîne sans égalisation est un peu plus efficace en puissance que celle avec égalisation. Pour une valeur de TEB fixée, la transmission est meilleure sans égalisation car le rapport E_b/N_0 est plus petit.

L'égaliseur ZFE ne se préoccupe que de l'interférence, il ne prend pas en compte le bruit et donc par exemple ici, on voit qu'il l'amplifie sur certaines fréquences. Dans le cas avec le bruit, le canal sans égalisation est plus pertinent.

3 Conclusion

Pour conclure ce projet, nous avons appris que pour un canal de propagation multitrajet, le filtrage adapté réalisé par le canal de propagation permet d'améliorer l'efficacité en puissance et donc la sélection en fréquence. Nous avons aussi vu une méthode d'égalisation (ZFE, pas eu le temps de faire MMSE).