



Titre du rapport

Nom des auteurs

Département Sciences du Numérique - Première année
2019-2020

Table des matières

1	Introduction	3
2	Étude de modulateurs bande de base	3
2.1	Introduction	3
2.2	Modulateurs à étudier et comparer	3
2.3	Étude réalisée	3
2.3.1	Modulateur 1	3
2.3.2	Modulateur 2	3
2.3.3	Modulateur 3	3
2.3.4	Comparaison des modulateurs implantés en termes d'efficacité spectrale . .	4
3	Étude des interférences entre symbole et du critère de Nyquist	4
3.1	Introduction	4
3.2	Étude sans canal de propagation	4
3.3	Étude avec canal de propagation sans bruit	4
4	Étude de l'impact du bruit, filtrage adapté, taux d'erreur binaire, efficacité en puissance	5
4.1	Introduction	5
4.2	Chaîne de référence	5
4.3	Première chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence	5
4.3.1	Implantation de la chaîne sans bruit	6
4.3.2	Implantation de la chaîne avec bruit	6
4.4	Deuxième chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence	6
4.5	Implantation de la chaîne sans bruit	6
4.6	Implantation de la chaîne avec bruit	6
5	Conclusion	7
6	Références	7
7	Annexes éventuelles	7

Table des figures

1	Réponses impulsionnelles des filtres d'émission et de réception.	5
2	Produit de convolution entre $h(t)$ et $h_r(t)$	5

1 Introduction

L'objectif du travail présenté dans ce rapport était de

2 Étude de modulateurs bande de base

2.1 Introduction

Ce premier travail va être dédié à l'étude des modulateurs bande de base et, en particulier, à l'identification des éléments ayant un impact sur l'efficacité spectrale obtenue pour la transmission.

2.2 Modulateurs à étudier et comparer

Les modulateurs suivants ont été étudiés et comparés en termes d'efficacité spectrale :

- Modulateur 1 :
 - Mapping : symboles binaires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : rectangulaire de durée $T_{s_1} = N_{s_1}T_e$ et de hauteur 1.
- Modulateur 2 :
 - Mapping : symboles 4-aires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : rectangulaire de durée $T_{s_2} = N_{s_2}T_e$ et de hauteur 1.
- Modulateur 3 :
 - Mapping : symboles binaires à moyenne nulle.
 - Filtre de mise en forme : racine de cosinus surélevé.

2.3 Étude réalisée

Les modulateurs précédemment décrits ont été implantés sous Matlab avec une fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000$ Hz pour transmettre un même débit binaire $R_b = \frac{1}{T_b} = 3000$ bits par seconde.

2.3.1 Modulateur 1

Ici mettre le tracé du signal transmis avec une échelle temporelle en secondes, le tracé de la densité spectrale de puissance (DSP) du signal transmis avec une échelle fréquentielle en Hz, la comparaison du tracé obtenu pour la DSP simulée avec celui de la DSP théorique du signal généré (superposition sur une même figure).

2.3.2 Modulateur 2

Ici mettre le tracé du signal transmis avec une échelle temporelle en secondes, le tracé de la densité spectrale de puissance (DSP) du signal transmis avec une échelle fréquentielle en Hz, la comparaison du tracé obtenu pour la DSP simulée avec celui de la DSP théorique du signal généré (superposition sur une même figure).

2.3.3 Modulateur 3

Ici mettre le tracé du signal transmis avec une échelle temporelle en secondes, le tracé de la densité spectrale de puissance (DSP) du signal transmis avec une échelle fréquentielle en Hz, la comparaison du tracé obtenu pour la DSP simulée avec celui de la DSP théorique du signal généré (superposition sur une même figure).

2.3.4 Comparaison des modulateurs implantés en termes d'efficacité spectrale

Mettre ici les tracés, sur une même figure, des DSP des signaux générés par les différents modulateurs étudiés. Les classer par ordre d'efficacité spectrale croissante en expliquant votre classement. Identifier les éléments, les paramètres permettant, quand on implante un modulateur numérique en bande de base, d'augmenter l'efficacité spectrale de la transmission.

3 Étude des interférences entre symbole et du critère de Nyquist

3.1 Introduction

Cette partie va être dédiée à l'étude des interférences entre symboles dans une chaîne de transmission et à l'intérêt d'y respecter le critère de Nyquist. La chaîne de transmission a été implantée avec une fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000$ Hz pour transmettre un débit binaire $R_b = \frac{1}{T_b} = 3000$ bits par seconde. On a considéré un mapping binaire à moyenne nulle, un filtre de mise en forme et un filtre de réception de même réponse impulsionnelle rectangulaire de durée T_s et de hauteur 1.

3.2 Étude sans canal de propagation

- Donnez le tracé le signal en sortie du filtre de réception et expliquez en quoi il est conforme à ce qui est attendu en théorie (voir cours et TDs).
- Donnez le tracé de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission, g , en expliquant en quoi elle est conforme à ce qui est attendu en théorie (voir cours et TDs).
- Expliquez comment il est possible de déterminer, en utilisant g , l'instant n_0 optimal permettant d'échantillonner aux instants sans interférences entre symboles $n_0 + mN_s$.
- Donnez le tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception et expliquez en quoi il est conforme à ce qui est attendu en théorie (voir cours et TDs). Expliquez comment il est possible de déterminer, à partir de ce diagramme de l'oeil, l'instant n_0 optimal permettant d'échantillonner aux instants sans interférences entre symboles $n_0 + mN_s$.
- Expliquez les résultats obtenus pour les TEBs mesurés quand vous échantillonnez avec le n_0 optimal et avec $n_0 = 3$.

3.3 Étude avec canal de propagation sans bruit

On ajoute à la chaîne précédente un canal de propagation à bande limitée BW mais qui n'introduit pas de bruit, en considérant un échantillonnage aux instants optimaux.

1. Pour $BW = 8000$ Hz :
Donnez le tracé de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission et le tracé du diagramme de l'oeil à la sortie du filtre de réception. Donnez le tracé, sur la même figure, de $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$, où $H(f)$ est la réponse en fréquence du filtre de mise en forme, $H_r(f)$ la réponse en fréquence du filtre de réception et $H_c(f)$ la réponse en fréquence du filtre canal. Donnez le TEB déterminé en présence de ce canal et expliquez le résultat obtenu en vous appuyant sur les trois tracés précédents et la théorie vue en cours/TD.
2. Pour $BW = 1000$ Hz :
Donnez le tracé de la réponse impulsionnelle globale de la chaîne de transmission et le tracé du diagramme de l'oeil à la sortie du filtre de réception. Donnez le tracé, sur la même figure, de $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$, où $H(f)$ est la réponse en fréquence du filtre de mise en forme, $H_r(f)$ la réponse en fréquence du filtre de réception et $H_c(f)$ la réponse en fréquence du filtre canal. Donnez le TEB déterminé en présence de ce canal et expliquez le résultat obtenu en vous appuyant sur les trois tracés précédents et la théorie vue en cours/TD.

4 Étude de l'impact du bruit, filtrage adapté, taux d'erreur binaire, efficacité en puissance

4.1 Introduction

Cette dernière partie est dédiée à l'étude du bruit dans la chaîne de transmission numérique : impact du bruit introduit par le canal sur la transmission, influence du filtrage adapté, calcul et estimation du taux d'erreur binaire (TEB). Pour cela, nous avons implanté sous Matlab différentes chaînes de transmission afin de les analyser et de les comparer en nous focalisant, cette fois, sur leur efficacité en puissance.

4.2 Chaîne de référence

Fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000$ Hz, débit binaire $R_b = 3000$ bits par seconde, mapping binaire à moyenne nulle, réponses impulsionnelles des filtres de mise en forme et de réception, h et h_r , rectangulaires de durée T_s et de hauteur 1, échantillonnage aux instants $n_0 + mN_s$ optimaux, détecteur à seuil, avec seuil en 0, pour prendre les décisions sur les symboles et demapping adapté au mapping réalisé.

1. Donnez le tracé du diagramme de l'oeil pour différentes valeurs de E_b/N_0 et identifiez sur ce diagramme de l'oeil quel est l'impact du bruit.
2. Donnez le tracé du taux d'erreur binaire obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur (E_b/N_0) en décibels pour des valeurs allant de 0 à 8 dB.
3. Donnez le tracé, sur une même figure, du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne étudiée.

4.3 Première chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence

Fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000$ Hz, débit binaire $R_b = 3000$ bits par seconde, mapping binaire à moyenne nulle, réponses impulsionnelles des filtres de mise en forme et de réception, h et h_r , données par la figure 1.

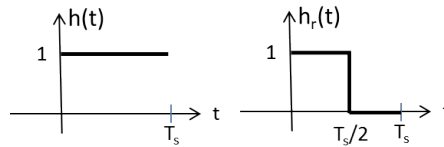


FIGURE 1 – Réponses impulsionnelles des filtres d'émission et de réception.

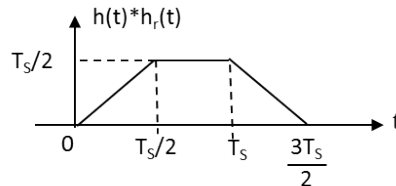


FIGURE 2 – Produit de convolution entre $h(t)$ et $h_r(t)$.

4.3.1 Implantation de la chaîne sans bruit

Donnez le tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception sur la durée T_s (N_s échantillons) et en déduire les instants optimaux d'échantillonnage $n_0 + mN_s$ en expliquant votre choix pour n_0 . En vous référant au cours et/ou aux TDs expliquez en quoi ce diagramme de l'oeil est conforme à ce qui est attendu en théorie.

4.3.2 Implantation de la chaîne avec bruit

1. Donnez le tracé du diagramme de l'oeil pour différentes valeurs de E_b/N_0 et identifiez sur ce diagramme de l'oeil quel est l'impact du bruit.
2. Donnez le tracé du taux d'erreur binaire obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur (E_b/N_0) en décibels pour des valeurs allant de 0 à 8 dB.
3. Donnez le tracé, sur une même figure, du TEB simulé et du TEB théorique de la chaîne étudiée.
4. Donnez le tracé, sur la même figure, du TEB obtenu par simulation pour la chaîne de transmission étudiée et celui du TEB de la chaîne de référence. Expliquez la similitude ou la différence obtenue (pourquoi y a-t-il ou n'y a-t-il pas une différence) et identifiez la chaîne éventuellement la plus efficace en puissance, en expliquant ce qui la rend éventuellement plus efficace.
5. Comparez cette chaîne de transmission avec la chaîne de référence en termes d'efficacité spectrale en expliquant ce qui la rend éventuellement plus efficace.

4.4 Deuxième chaîne à étudier, implanter et comparer à la chaîne de référence

Fréquence d'échantillonnage $F_e = 24000$ Hz, débit binaire $R_b = 3000$ bits par seconde, mapping 4-aire à moyenne nulle (symboles $a_k \in \{-3, -1, 1, 3\}$), réponses impulsionnelles des filtres de mise en forme et de réception, h et h_r , rectangulaires de hauteur 1 et de durée T_s .

4.5 Implantation de la chaîne sans bruit

Donnez le tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception sur la durée T_s (N_s échantillons) et en déduire les instants optimaux d'échantillonnage $n_0 + mN_s$ en expliquant votre choix pour n_0 . En vous référant au cours et/ou aux TDs expliquez en quoi ce diagramme de l'oeil est conforme à ce qui est attendu en théorie.

4.6 Implantation de la chaîne avec bruit

1. Donnez le tracé du taux d'erreur symbole obtenu en fonction du rapport signal à bruit par bit à l'entrée du récepteur (E_b/N_0) en décibels pour des valeurs allant de 0 à 8 dB.
2. Donnez le tracé, sur une même figure, du TES simulé et du TES théorique de la chaîne étudiée donné ci-dessous :

$$TES = \frac{3}{2}Q \left(\sqrt{\frac{4}{5} \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

pour une transmission de symboles 4-aires indépendants prenant leurs valeurs dans $\pm 1, \pm 3$, en utilisant une chaîne de transmission respectant le critère de Nyquist, le critère de filtrage adapté et utilisant les instants optimaux d'échantillonnage et seuils optimaux de décision. Ce tracé doit permettre de valider le bon fonctionnement de votre chaîne de transmission.

3. Donnez le tracé, sur la même figure, du TEB obtenu par simulation pour la chaîne de transmission étudiée et du TEB suivant :

$$TEB = \frac{3}{4}Q \left(\sqrt{\frac{4}{5} \frac{E_b}{N_0}} \right)$$

Expliquez d'où vient l'éventuelle différence observée. Comparez votre chaîne étudiée à la chaîne associée au TEB donné précédemment et identifiez celle qui est éventuellement plus efficace en puissance en expliquant pourquoi et ce qui la rend éventuellement plus efficace.

4. Donnez les tracés, sur la même figure, du TEB obtenu par simulation pour la chaîne de transmission étudiée et du TEB de la chaîne de référence. Expliquez la similitude ou la différence obtenue (pourquoi y a-t-il ou n'y a-t-il pas une différence) et identifiez la chaîne éventuellement la plus efficace en puissance, en expliquant ce qui la rend éventuellement plus efficace.
5. Comparez cette chaîne de transmission avec la chaîne de référence en termes d'efficacité spectrale en expliquant ce qui la rend éventuellement plus efficace.

5 Conclusion

A compléter

6 Références

A compléter

7 Annexes éventuelles