TÉLÉCOMMUNICATIONS
Devoir 2

Auteur :
LAANAIYA Mahmoud

Professeur encadrant : Belmekki Baha Eddine

Département Sciences du Numérique - Première année
2020-2021

Table des matières

Table des figures

1 Introduction

1.1 Objectif

Ce deuxième travail va être dédié à l'étude des interférences entre symboles dans une chaine de transmission et à l'intérêt d'y respecter le critère de Nyquist.Pour cela, nous allons devoir implanter deux chaines de transmission en bande de base sans bruit et les analyser en nous focalisant sur les interférences entre symboles : leur impact sur la transmission et l'influence du respect ou du non respect du critère de Nyquist.

1.2 Schéma général des chaines de transmission à étudier

Un modulateur bande de base est composé des éléments suivants :

1.2.1 Information binaire à transmettre

La génération de l'information binaire à transmettre (bits 0 et 1 équiprobables et indépendants) pourra être réalisée grace à la fonction randi de Matlab.

1.2.2 Mapping

Un mapping devra être réalisé afin de passer de l'information binaire aux symboles a_k. Le mapping est un des élements qui pourra différer selon les modulateurs à implanter.

1.2.3 Suréchantillonage

La suite d'impulsions de Dirac espacées de la durée symbole Ts et pondérées par les symboles a_k issus du mapping sera générée, en numérique, en insérant Ns-1 zéros entre deux symboles a_k, si Ns représente le nombre d'échantillons utilisés par symbole (ou facteur de sur echantillonnage : $Ts = NsTe$, Te étant la période d'échantillonnage). Ns est déterminé pour que le signal numérique généré respecte la condition d'échantillonnage de Shannon.

1.2.4 Filtrage de mise en forme

La réponse impulsionnelle,h(t), du filtre de mise en forme est un des élements qui pourra différer selon les modulateurs à étudier et implanter. Ne seront implantés que des filtres de type RIF (à réponse impulsionnelle finie). Une fois la réponse impulsionnelle numérique générée
($h = [h(0)h(1)...h(N-1)]$, si N représente l'ordre du filtre), le filtrage pourra être réalisé en utilisant la fonction filter de Matlab : $signalfiltre = filter(h, 1, signalafiltrer)$ Première chaine à étudier : on considèrera un filtre de mise en forme avec une réponse impulsionnelle rectangulaire de durée Ts.
Deuxième chaine à étudier : on considèrera un filtre de mise en forme avec une réponse impulsionnelleen racine de cosinus surélevé de roll off $\alpha = 0.5$.

1.2.5 Canal de propagation

Nous considèrerons, dans ce travail, que le canal de propagation n'introduit pas de bruit. Il pourra parcontre introduire un filtre, de réponse impulsionnelle hc, qui sera également, en numérique, représentée par un tableau de valeurs (ou coefficients). Nous étudierons l'influence du bruit dans la troisième partie du cours.

Remarque :

Pour plus de figures et détails veuillez cliquer ici : Code et Figures détaillés

1.2.6 Filtrage de récéption

La réponse impulsionnelle du filtre de réception sera, elle aussi, représentée par un tableau de valeurs (ou coefficients) : hr = [hr(0)hr(1)...hr(N-1)], si N représente l'ordre du filtre, en supposant que l'on considère un filtre de type RIF (à réponse impulsionnelle finie). Cette réponse impulsionnelle est un des élements qui va différer selon la chaine de transmission à implanter :
Première chaine à étudier : on considèrera un filtre de mise en forme avec une réponse impulsionnelle rectangulaire de durée Ts.
Deuxième chaine à étudier : on considèrera un filtre de mise en forme avec une réponse impulsionnelleen racine de cosinus surélevé de roll off $\alpha = 0.5$.La réponse impulsionnelle du filtre en racine de cosinus surélevé pourra être obtenue en utilisant la fonction rcosdesign.m de Matlab. Le filtrage pourra être réalisé en utilisant la fonction filter de matlab : signalfiltre = filter(hr,1,signalafiltrer).

1.2.7 Echantillonage

Le signal filtré devra être échantillonné à n0+mNs pour revenir au rythme symbole, n0 représentant le numéro de l'échantillon à prélever dans la période Ts composée de Ns échantillons en numérique (t0 = n0Te et Ts = NsTe). Nous aurons à choisir et à faire varier n0. L'instant d'échantillonnage optimal n0 pourra être déterminé grâce au tracé de la réponse impulsionnelle g(t) de toute la chaine, ou encore grâce à un diagramme de l'oeil tracé sans bruit en sortie du filtre de réception.

1.2.8 Décision

Un détecteur à seuil, avec seuil à zéro, devra être utilisé pour prendre les décisions. Cela pourra être réalisé, après échantillonnage à n0+mNs, en utilisant la fonction sign.m de Matlab qui retournera -1 si l'échantillon prélevé est négatif et +1 s'il est positif. La justification théorique de la décision utilisant un détecteur à seuil, ainsi que le choix du/des seuil(s) optimal(aux), seront abordés dans les vidéos de la partie suivante du cours.

1.2.9 Demapping

Un demapping devra être réalisé en vue de comparer les bits aux bits émis dans l'objectif de calculer le taux d'erreur binaire de la transmission implantée. On pourra revenir au niveau binaire, à partir des décisions prises sur les symboles, de la manière suivante :(symboles+1)/2 (applicable si le bit 0 a été remplacé par -1 et le bit 1 par +1 au moment du mapping, à adapter sinon).

2 Etude sans canal de propagation : bloc modulateur/démodulateur

2.1 Modulateur

La partie modulateur est presque la même que celle faite au devoir 1. On passe alors à la partie démodulateur... Mais sans canal de propagation !

Remarque :

Pour la deuxième chaine on traite le retard causé par le filtre en cosinus : rcosdesign(0.5,8,Ns) par $signalfiltre_{cos} = filter(h_{cos}, 1, [Kronrzeros(1, Ns * 8)])$

2.2 Démodulateur

2.2.1 Filtre de récéption

Puisqu'il n' y a pas de canal de propagation, on passe directement au filtre de récéption. Grâce à la fonction fliplr.m de Matlab, on obtient deux filtres de récéption pour les deux chaines. Puis on filtre avec ces filtres le signal qu'on a eu à la sortie du modulateur.

2.2.2 Echantillonage

D'après la fonction g on choisit nôtre n0 pour le filtre rectangulaire puis pour celui en cosinus.

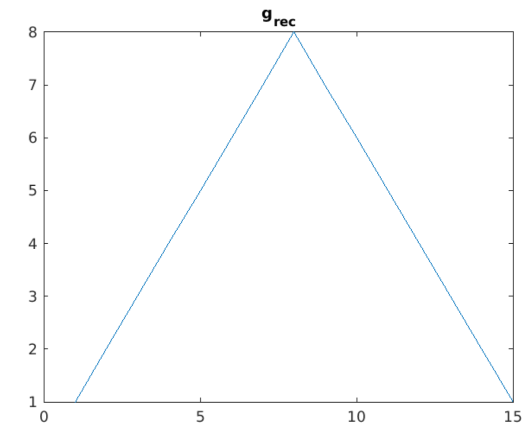

FIGURE 1 – La fonction g de la première chaine

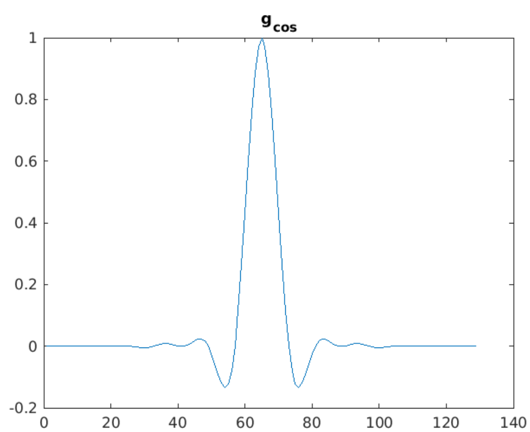

FIGURE 2 – La fonction g de la deuxième chaine

D'après les figures ci-dessus, on déduit que le n0 optimal pour la première chaine est $n_0 = N_s$
Pour la deuxième chaine, vu le retard ... $n_0 = 8N_s + 1$

Ci-dessous, on voit les diagrammes de l'oeil de chauque chaine :

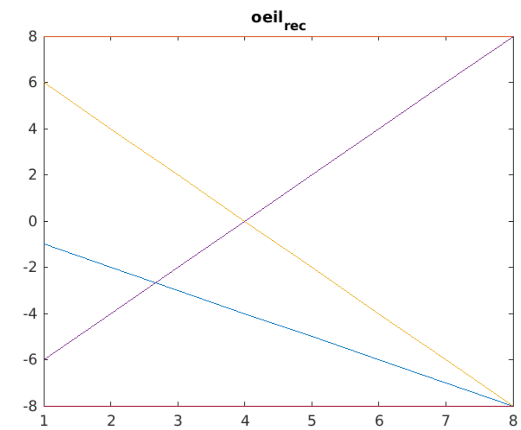

FIGURE 3 – Diagramme de l'oeil de la première chaine

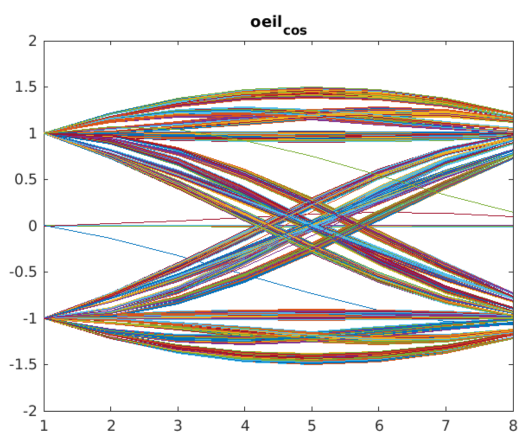

FIGURE 4 – Diagramme de l'oeil de la deuxième chaine

2.2.3 Decision

Les valeurs du signal échantilloné sont sur un domaine discret où plutot fini. Donc on va attribuer à chaque valeur positive +1, et à chaque valeur négative -1.

2.2.4 Demapping

Le démapping s'éffectue avec la formule vue au début sur les deux décisions. Maintenant, il nous reste qu'à comparer les bits émis dans le modulateur puis obtenus dans le démodulateur. L'erreur que j'ai trouvé est nulle pour les deux chaines. Tout est Bon !

3 Etude avec canal de propagation sans bruit

Nous allons maintenant considérer un canal de propagation à bande limitée BW mais qui n'introduit pas de bruit. Pour cela, pour chaque chaine à étudier, nous devons reprendre la chaine de transmission implantée précédemment, avec un échantillonnage aux instants optimaux, et ajouter un filtre passe-bas représentant le canal de propagation.La réponse impulsionnelle d'un filtre passe-bas peut être obtenue de la manière suivante : hc= (2*fc/Fe)*sinc(2*fc*[-(N-1)*Te/2 :Te :(N-1)*Te/2])où fc représente la fréquence de coupure (BW ici) et N l'ordre du filtre.

3.1 BW = 4000 Hz

On calcule $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$, On les trace, puis on les compare.

Remarque :

Le critère de Nyquist est vérifiée car on a bien $BW > \frac{1+\alpha}{2}Rs = 2250Hz$

Première chaine

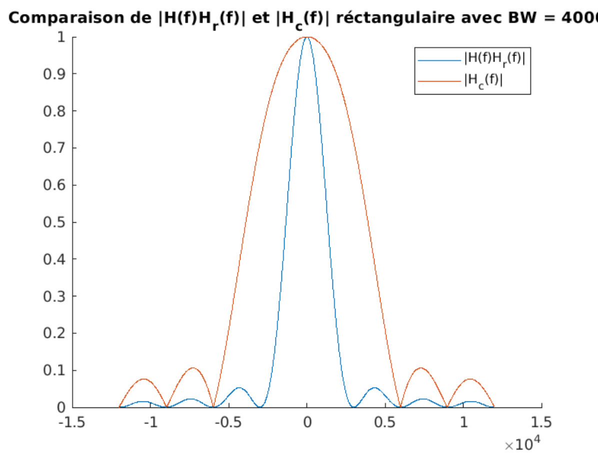

FIGURE 5 – $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

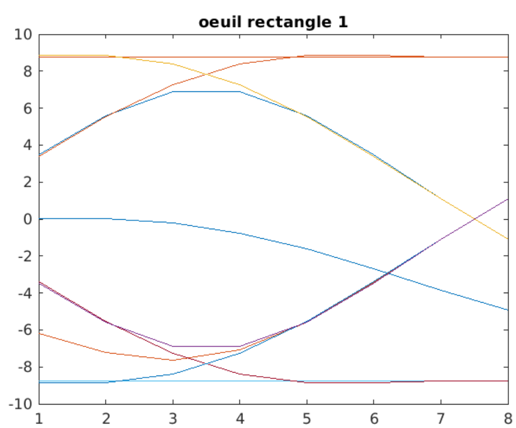

FIGURE 6 – Diagramme de l'oeil rectangulaire

Deuxième chaine

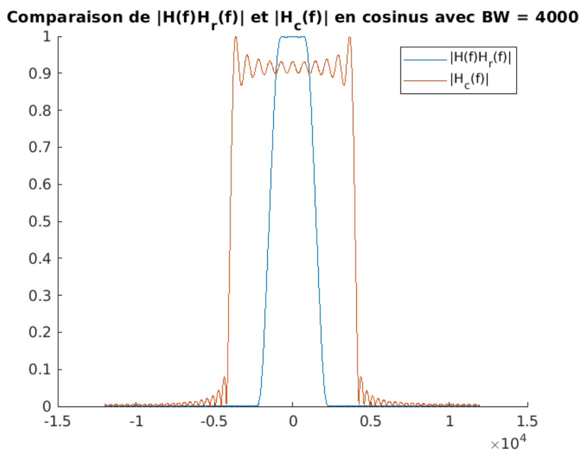

FIGURE 7 – $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

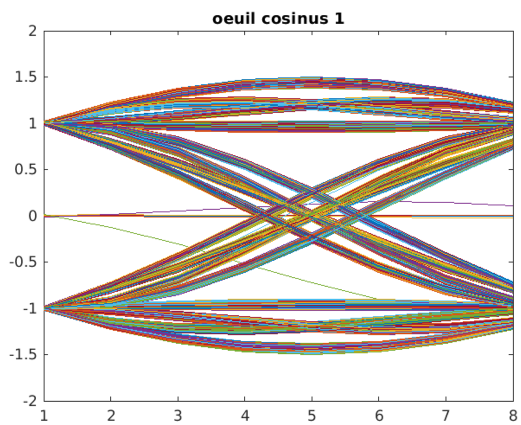

FIGURE 8 – Diagramme de l'oeil en cosinus

3.2 BW = 1000 Hz

De même on calcule les mêmes expressions, puis on les tracent sur le même graphe...

3.2.1 Remarque :

Le critère de Nyquist n'est pas vérifié ici du fait que $BW < \frac{1+\alpha}{2}Rs = 2250$

Première chaine

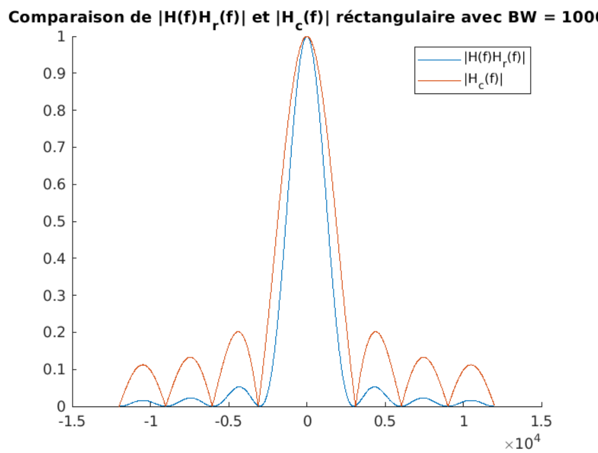

FIGURE 9 – $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

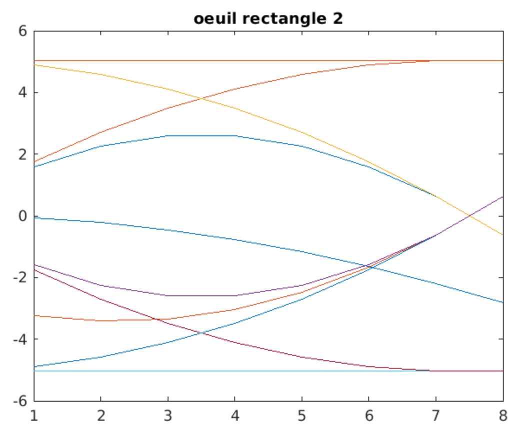

FIGURE 10 – Diagramme de l'oeil rectangulaire

Deuxième chaine

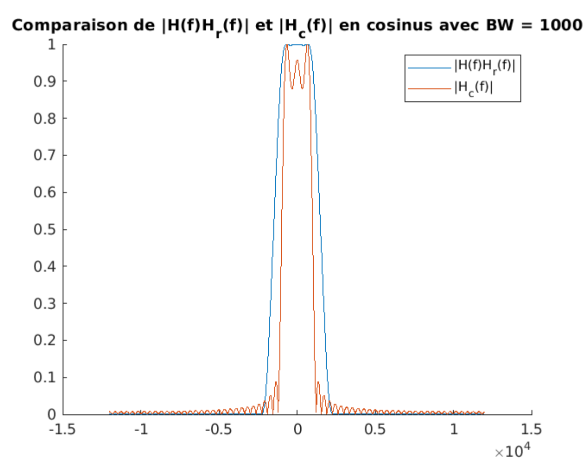

FIGURE 11 – $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

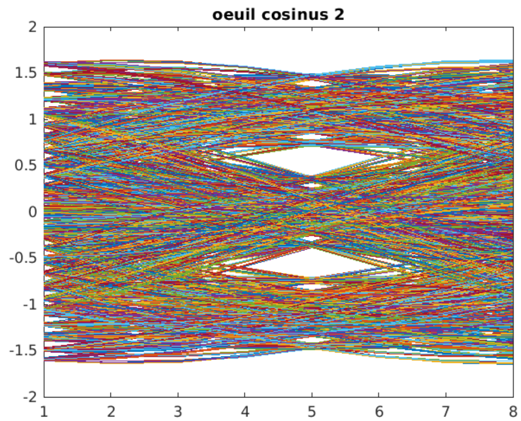

FIGURE 12 – Diagramme de l'oeil en cosinus

4 Réponse aux questions

4.1 Etude sans canal de propagation : bloc modulateur/démodulateur

4.1.1 Expliquez comment sont obtenus les instants optimaux d'échantillonnage (permettant d'échantillonner sans interférences entre symboles) :

À partir du tracé de g :

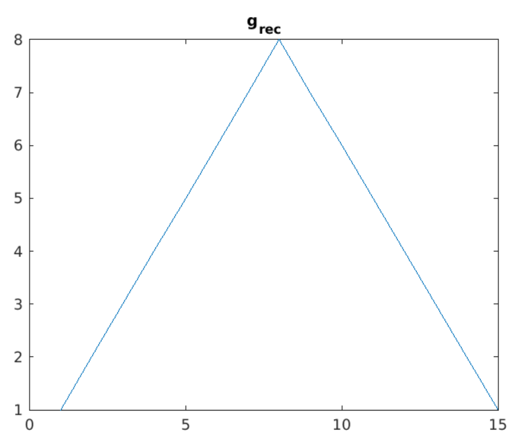

FIGURE 13 – La fonction g de la première chaine

Première chaine :

On sait que le critère de Nyquist est vérifié si :
pour $t_0 = T_s$, $g(t0) \neq 0$ et $\forall p$ dans IN $g(t + pt_0) = 0$ Donc le bon n_0 c'est $N_s = 8$.

Deuxième chaine : De même pour la deuxième chaine on obtient $n_0 = 8N_s + 1 = 65$

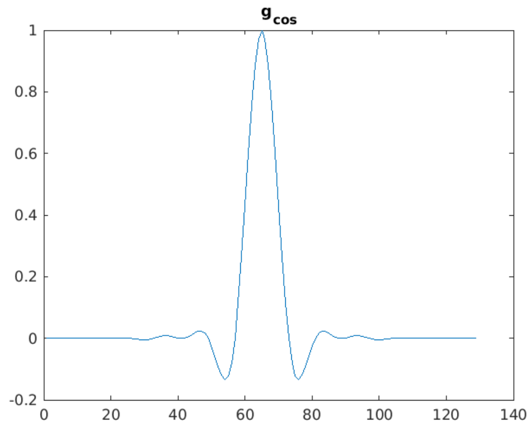

FIGURE 14 – La fonction g de la deuxième chaine

À partir du tracé du diagramme de l'oeil en sortie du filtre de réception :

Première chaine :

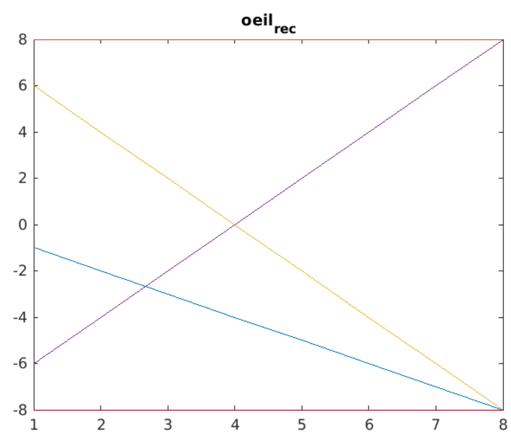

FIGURE 15 – Diagramme de l'oeil de la première chaine

Le sommet de ce diagramme a la valeur $8 = N_s$, donc le n_0 qu'on doit choisir est N_s

deuxième chaine :

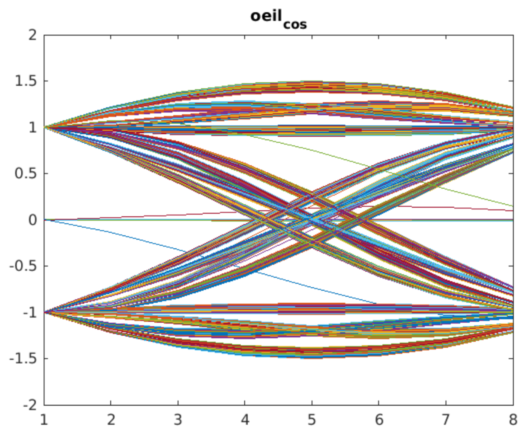

FIGURE 16 – Diagramme de l'oeil de la deuxième chaine

Le sommet de ce diagramme a la valeur 1 et on a un retard de $8N_s$ donc le n_0 qu'on doit choisir est $8N_s + 1$

4.1.2 Expliquez pourquoi le le taux d'erreur binaire de la transmission n'est plus nul lorqu'on échantillonne à n0+mNs, avec n0 = 3 :

Avec $n_0 = 3$, on ne vérifie plus le critère de Nyquist. En effet le t_0 associé à $n_0 = 3$ ne vérifie pas les deux équations de g de Nyquist.

4.2 Etude avec canal de propagation sans bruit

Le critère de Nyquist peut-il être vérifié sur cette chaine de transmission :
Pour BW = 4000 Hz ?
Pour BW= 1000 Hz ?

4.2.1 Expliquez votre réponse (oui ou non) en utilisant le tracé, sur la même figure, de |H(f)Hr(f)|et de|Hc(f)|, où H(f) est la réponse en fréquence du filtre de mise en forme, Hr(f) la réponse en fréquence du filtre de réception et Hc(f) la réponse en fréquence du filtre canal :

Il faut que le canal de propagation ne vienne pas déformer H(f)Hr(f) qui respecte le critère de Nyquist. Il faut alors que $\frac{1+\alpha}{2} Rs < BW$et donc que 2250Hz < BW.

Pour BW = 4000 Hz

D'après le raisonnement précédant, le critère de Nyquist doit être vérifié. En terme de figures, on voit bien la différence, d'où l'expression qu'on a évoquée au début : "[...] le canal de propagation ne vienne pas déformer H(f)Hr(f)"

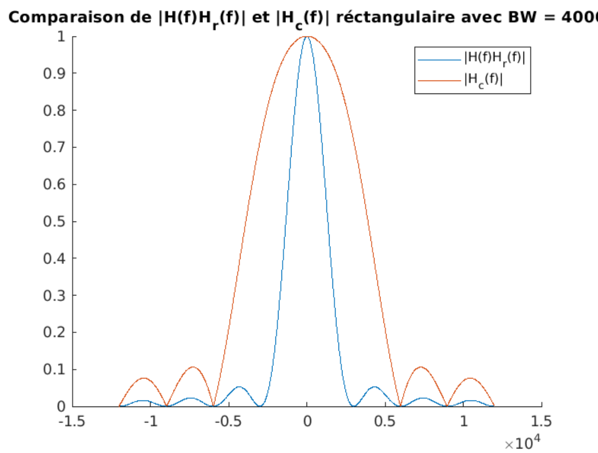

FIGURE 17 – $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

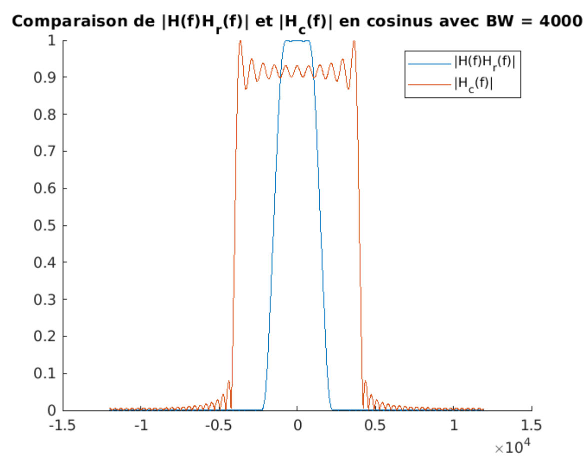

FIGURE 18 – $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

Pour BW = 1000 Hz

D'après le raisonnement précédant, le critère de Nyquist ne doit pas être vérifié. Les figures montrent le contraire de l'expression qu'on a évoquée au début : "[...] le canal de propagation ne vienne pas déformer H(f)Hr(f)"

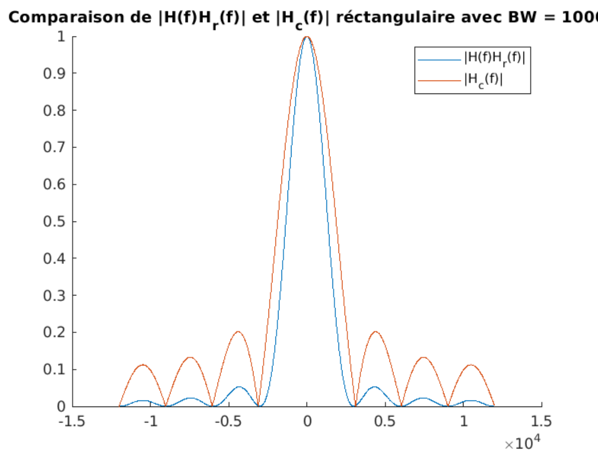

FIGURE 19 – $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

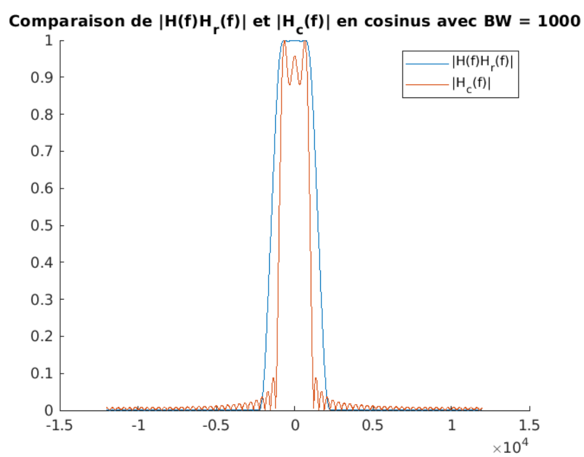

FIGURE 20 – $|H(f)H_r(f)|$ et $|H_c(f)|$

4.2.2 Expliquez votre réponse (oui ou non) en utilisant le tracé le diagramme de l'oeil à la sortie du filtre de réception :

On peut observer les interférences dans le deuxième cas où BW = 1000Hz, contrairement au premier cas où BW = 4000Hz.
D'où le critère de Nyquist est vérifié lorsque la fréquence de coupure est égale à 4000Hz, et non vérifié lorsque la fréquence de coupure est égale à 1000Hz.

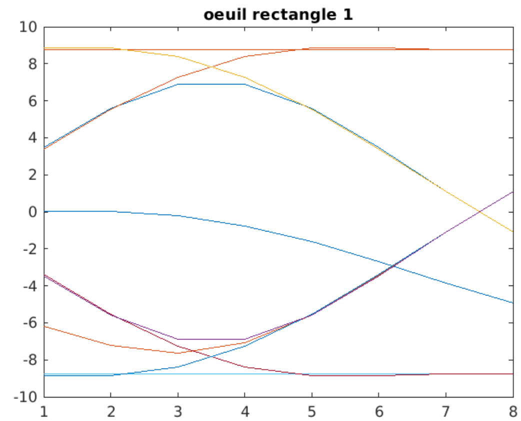

FIGURE 21 – Diagramme de l'oeil rectangulaire sans interférences

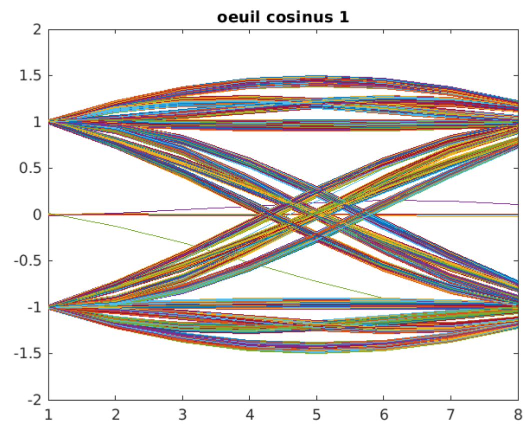

FIGURE 22 – Diagramme de l'oeil en cosinus sans interférences

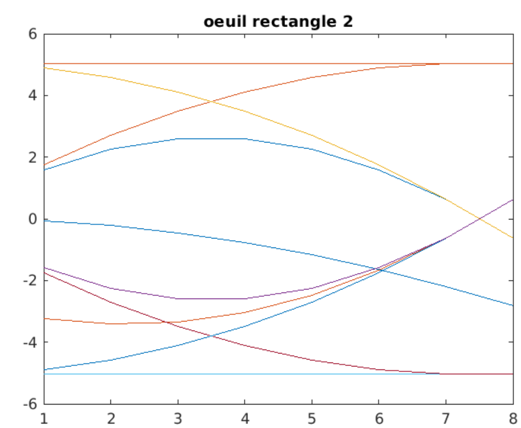

FIGURE 23 – Diagramme de l'oeil rectangulaire avec interférences

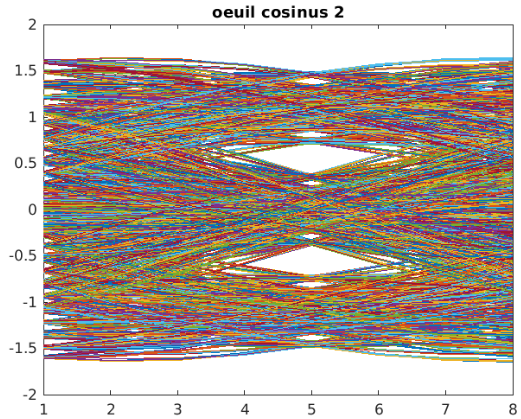

FIGURE 24 – Diagramme de l'oeil en cosinus avec interférences

5 Références

Slides du cours, Nathalie Thomas