

	GEL611-1	GEL611-2	GEL661-2
1. Solution analogique			
(a) Calcul de β et Δf	/5		
(b) Calcul du RSB_i nécessaire pour $RSB_o = 30$ dB	/5		
(c) Calcul du RSB_i avec accentuation / désaccentuation	/3		
(d) Calcul de la DSP du bruit $\frac{N_0}{2}$	/3		
(e) Sélection de canal et multiplexage en fréquence	/2	/2	
(f) Schéma et résultats de simulation		/2	
(g) Résultats de simulation		/2	
2. Solution numérique			
(a) Calcul du RSB_i pour atteindre $P_B = 10^{-4}$ (pour BPSK, QPSK, 16-QAM)	/8		
(b) Calcul de la DSP du bruit $\frac{N_0}{2}$	/5		
(c) Calcul du nombre possible de conversations simultanées avec BPSK, QPSK, 16-QAM	/4		
(d) Solution pour contraindre la largeur de bande (choix des filtres et répartition)	/5		
(e) Solution de synchronisation	/3	/4	
(f) Sélection de canal et multiplexage en fréquence	/2	/2	
(g) Schéma et résultats de simulation		/8	
3. Bruit en bande passante			
(a) Démarche analytique			/20
4. Synthèse	/5		
Total	/50	/20	/20

Nom	Abdoul Rahim Boinzem Ouedraogo	Matricule	OUEJ5130
Nom	Anthony Royer	Matricule	ROYA2019
Commentaires du correcteur (s'il y a lieu)			

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté de génie
Département de génie électrique et génie informatique

RAPPORT APP 5

Communications avec porteuses et processus aléatoires
APP5

Présenté à
Sébastien Roy

Présenté par
Équipe numéro 10
Abdoul Rahim Boinzem Ouedraogo – OUEJ5130
Anthony Royer – ROYA2019

Sherbrooke - 19 juillet 2023

TABLE DES MATIÈRES

1.	Solution analogique	1
1.1	Calcul de β et Δf	1
1.2	Calcul du RSBi	1
1.3	Calcul du RSBi avec accentuation / désaccentuation	2
1.4	Calcul de la DSP du bruit	3
1.5	Sélection de canal et multiplexage en fréquence	4
1.6	Schéma	6
1.7	Résultats de simulation	6
2.	Solution numérique	7
2.1	Calcul du RSBi	7
2.2	Calcul de la DSP du bruit	8
2.3	Multiplexage temporel	9
2.4	Largeur de bande	9
2.5	Synchronisation	10
2.6	Sélection de canal et multiplexage en fréquence	11
2.7	Schéma et résultat de simulation	13
3.	Bruit en bande passante	15
3.1	Analyse du bruit en bande passante	15
4.	Synthèse	17
5.	Références	18

LISTE DES FIGURES

Figure 1 : Calculs de β et Δf	1
Figure 2 : Calculs du RSBi	1
Figure 3 : Calculs RSBi avec Accentuation/Désaccentuation	2
Figure 4 : Calculs de la DSP du bruit	3
Figure 5 Sortie zmanalogique	5
Figure 6 Sortie znanalogique	5
Figure 7 : Schéma sans sélection de canal (1/2)	6
Figure 8 : Schéma sans sélection de canal (2/2)	6
Figure 9 : Calcul RSBo	6
Figure 10 : Résultats de Simulation	6
Figure 11 : Graphique des valeurs de $Q(X)$	7
Figure 12 : Calculs RSBi (BPSK & QPSK)	7
Figure 13 : Calculs RSBi (QAM-16)	8
Figure 14 : Calculs DSP (QAM-16)	8
Figure 15 : Calculs Multiplexage Temporel	9
Figure 16 : Calculs largeur de bande	9
Figure 17 : Scope Synchronisation (Barker et Détection)	10
Figure 18 : Schéma Simulink Synchronisation	10
Figure 19 Sortie zmnumerique	12
Figure 20 Sortie znnumerique	12
Figure 21 : Calculs Théoriques QPSK (1)	13
Figure 22 : Calculs Théoriques QPSK (2)	13
Figure 23 : Schéma pour QPSK	13
Figure 24 : Résultat de simulation QPSK	14
Figure 25 : Démonstration (1/2)	15
Figure 26 : Démonstration (2/2)	16

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1 : Tableau de comparaison

17

1. SOLUTION ANALOGIQUE

1.1 CALCUL DE B ET Δf

Piste Analogique

1.A) Calcul β & Δf pour $B_T = 30 \text{ kHz}$
 - Ligne tel de qualité $\rightarrow f_m = 3,4 \text{ kHz}$

Cosson

$$B_{\text{inf}} = 2(\beta+1)f_m$$

$$30000 \text{ Hz} = 2 \cdot (\beta+1) \cdot 3400 \text{ Hz}$$

$$\frac{30000 \text{ Hz}}{2 \cdot 3400 \text{ Hz}} - 1 = \beta$$

$$\boxed{\beta = \frac{58}{17} \approx 3,411764706}$$

Indice de modulation

$$\beta = \frac{\Delta f}{f_m}$$

$$\frac{58}{17} = \frac{\Delta f}{3400 \text{ Hz}}$$

$$\Delta f = \frac{58 \cdot 3400 \text{ Hz}}{17} = 11600$$

$$\boxed{\Delta f = 11600}$$

Figure 1 : Calculs de β et Δf

1.2 CALCUL DU RSBI

1.B) Calcul du RSBI (pour avoir en sortie $RSB_o = 30 \text{ dB}$)

Selon APP4

$\rightarrow P_m = 10,5397 \text{ mW}$ (pour $S_{\text{anale}} = 6$)

$$\frac{RSB_o^{(MF)}}{RSB_i^{(MF)}} = 6 \cdot \beta^2 (\beta+1) P_m$$

$$RSB_i^{(MF)} = \frac{RSB_o^{(MF)}}{6 \cdot \beta^2 (\beta+1) P_m}$$

$$RSB_i^{(MF)} = \frac{10^3}{6 \cdot \left(\frac{58}{17}\right)^2 \cdot \left(\frac{58}{17} + 1\right) \cdot 10,5397 \cdot 10^{-3}}$$

$$RSB_i^{(MF)} \approx 307,9285903 \approx 24,8845002408$$

$$\boxed{RSB_i^{(MF)} \approx 24,89 \text{ dB}}$$

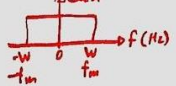
Figure 2 : Calculs du RSBI

1.3 CALCUL DU RSBI AVEC ACCENTUATION / DÉSACCENTUATION

1.C) Calcul du RSBI avec accentuation/désaccentuation

Chapitre 6 $\rightarrow P_{N, \text{output}} = \frac{2 \cdot N_0 \cdot W^3}{3 \cdot A_c^2}$ (avant accentuation/désaccentuation) (eq. 6.39)

$P_{N, \text{sortie}} = \frac{2 \cdot N_0 \cdot f_m^3}{3 \cdot A_c^2}$



Après mon filtre accentuation, je ne suis pas passé dans le canal, la puissance de bruit reste la même.
Je regarde donc juste pour mon désaccentuation.

Simulink $\rightarrow f_0 = 460 \text{ Hz}$

$H_{dc}(f) = \frac{1}{H_{pc}(f)}$ $H_{pc}(f) = 1 + j \frac{f}{f_0}$

$H_{dc}(f) = \frac{1}{1 + j \frac{f}{f_0}} \xrightarrow{\cdot \frac{f_0}{f_0}} H_{dc}(f) = \frac{f_0}{f_0 + j \cdot f_m}$

$|H_{dc}(f)| = \frac{|f_0|}{|f_0 + j \cdot f_m|} = \frac{f_0}{\sqrt{f_0^2 + f_m^2}} \rightarrow |H_{dc}(f)|^2 = \frac{f_0^2}{f_0^2 + f_m^2}$

$P_{N, \text{sortie}} = \frac{N_0}{A_c^2} \int_{-W}^W f^2 \cdot |H_{dc}(f)|^2 df$

$I = \frac{(W/f_0)^3}{3 \left[(W/f_0) - \tan^{-1}(W/f_0) \right]}$ (eq. 6.52) $W = f_m \rightarrow \frac{f_m}{f_0} = \frac{3400 \text{ Hz}}{460 \text{ Hz}} = \frac{170}{23} \approx 7.391304348$

$RSB_{i2} = \frac{1}{I} \cdot RSB_i$

$RSB_{i2} = \frac{3 \left[\frac{170}{23} - \tan^{-1} \left(\frac{170}{23} \right) \right]}{\left(\frac{170}{23} \right)^3} \cdot \frac{10^3 \cdot 10^6}{26 \cdot \left(\frac{58}{17} \right)^2 \cdot \left(\frac{58}{17} + 1 \right) \cdot 10,5397 \cdot 10^{-3}}$

$RSB_{i2} = \frac{\left[\frac{170}{23} - \tan^{-1} \left(\frac{170}{23} \right) \right] \cdot 10^6}{\left(\frac{170}{23} \right)^3 \cdot \left(\frac{58}{17} \right)^2 \cdot \left(\frac{58}{17} + 1 \right) \cdot 10,5397} \approx 13,62350098 \approx 11,34288707 \text{ dB}$

Figure 3 : Calculs RSBI avec Accentuation/Désaccentuation

1.4 CALCUL DE LA DSP DU BRUIT

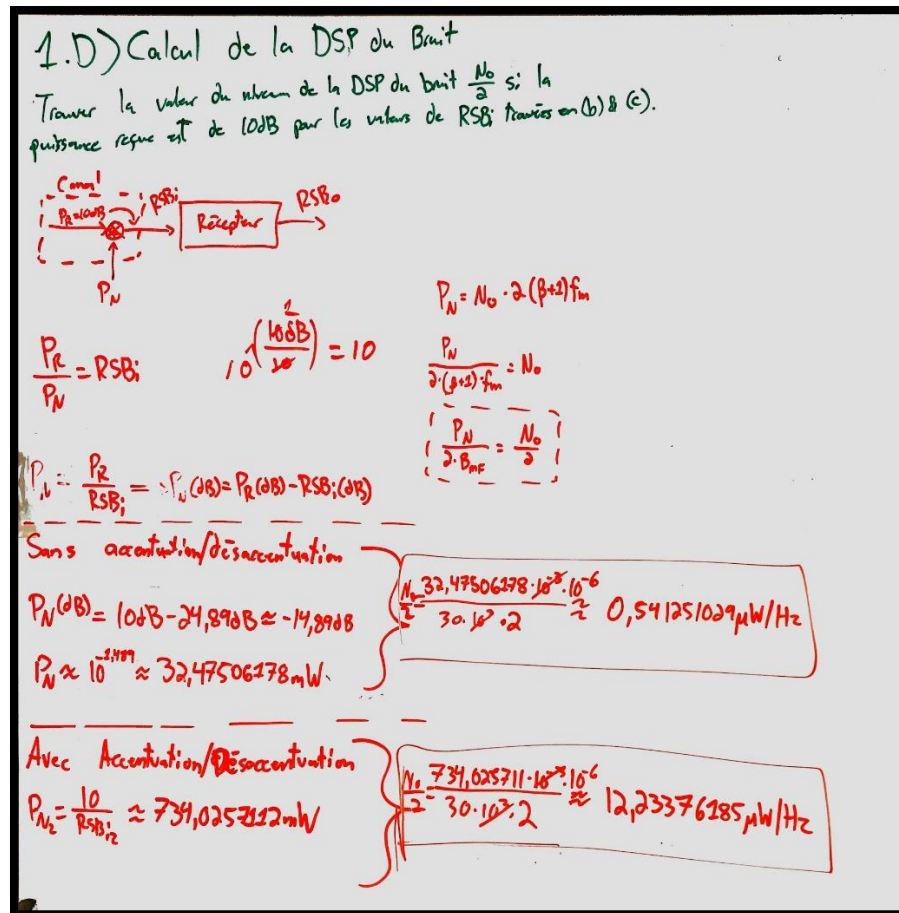
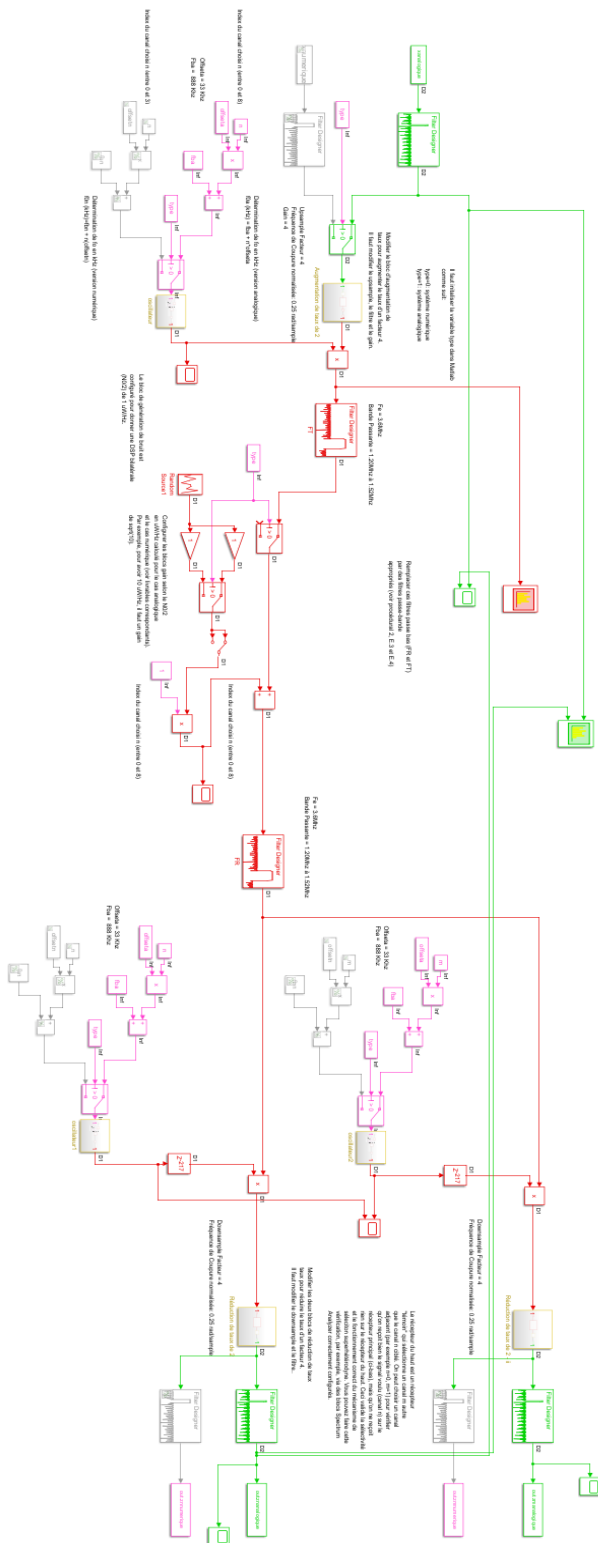


Figure 4 : Calculs de la DSP du bruit

1.5 SÉLECTION DE CANAL ET MULTIPLEXAGE EN FRÉQUENCE



Les annotations se trouvent sur le schéma sous les blocs à modifier. Les schéma Simulink ont été soumis pour faciliter la lecture un code Matlab montrant les calculs aussi. Le fonctionnement est validé par le fait que la sortie *zmanalogique* est à 0 (Validation de la sélectivité) et la *znanalogique* est non nul (Validation de la conservation de la porteuse).

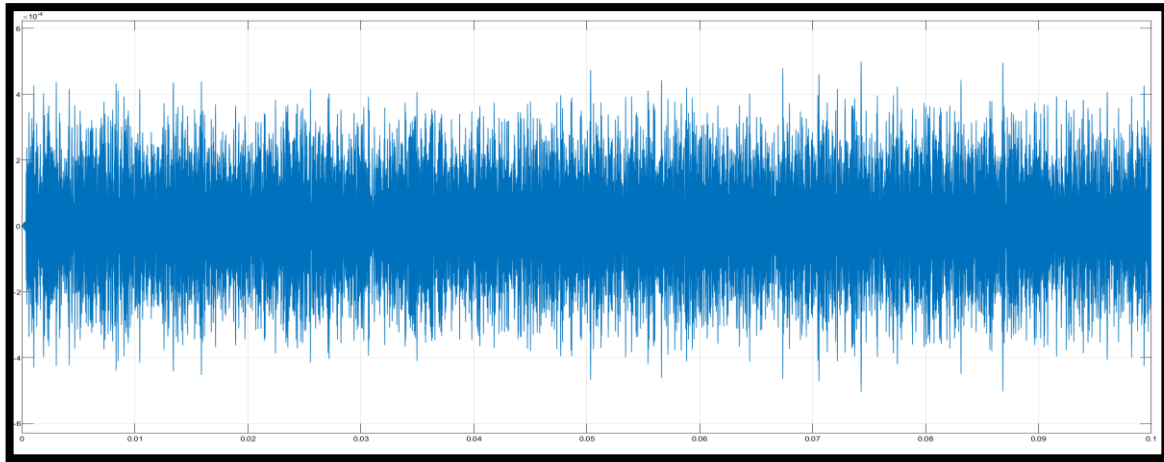


Figure 5 Sortie zmanalogique

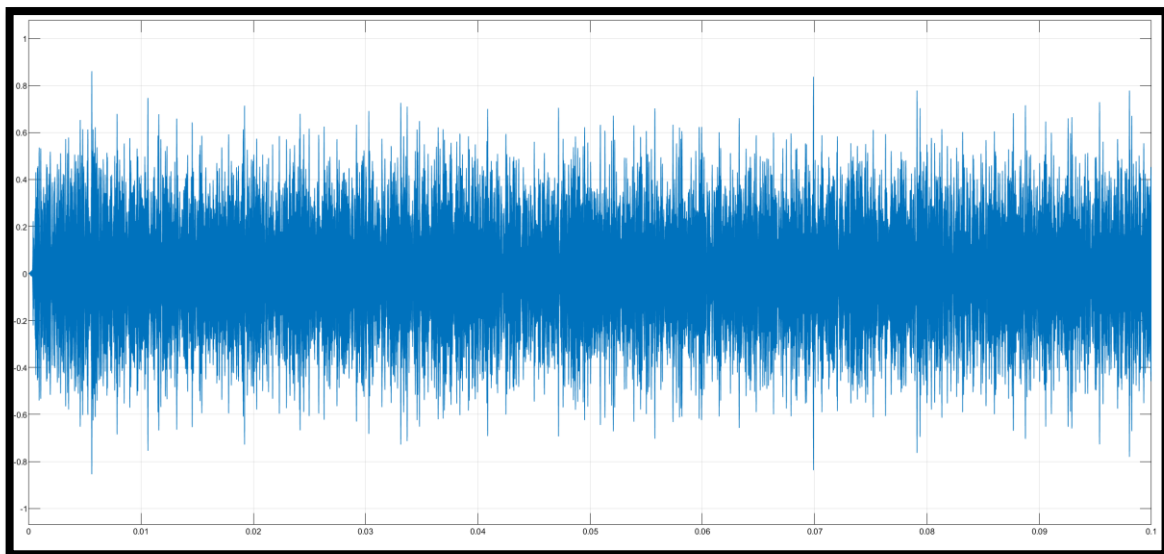


Figure 6 Sortie znanalogique

1.6 SCHÉMA

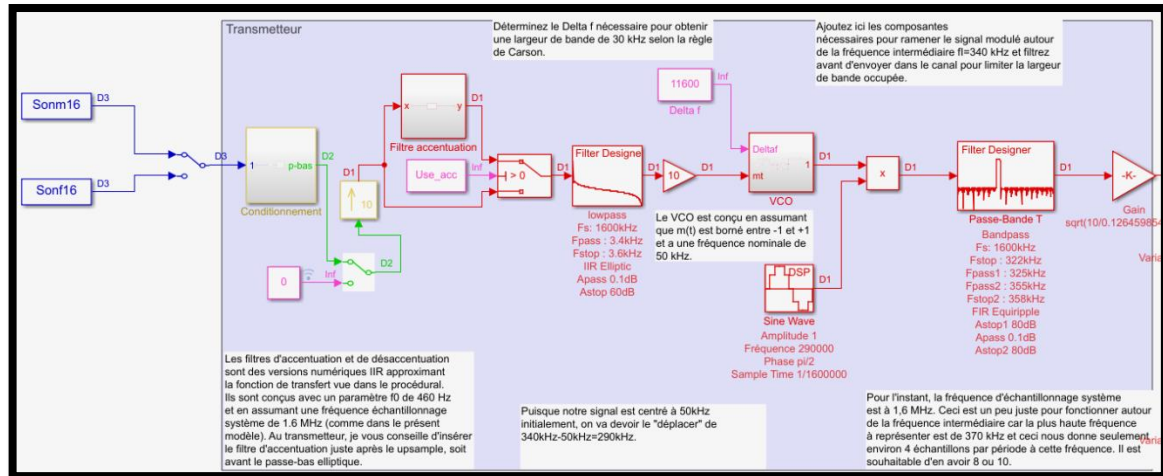


Figure 7 : Schéma sans sélection de canal (1/2)

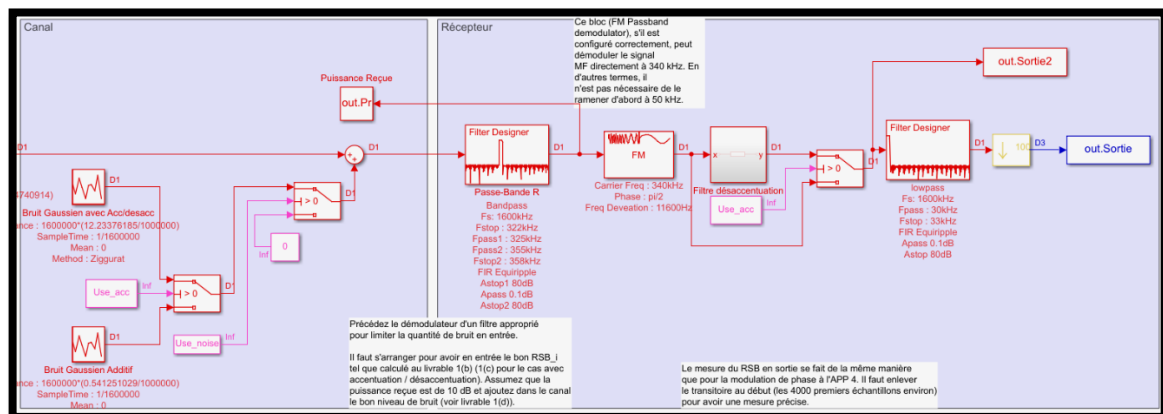


Figure 8 : Schéma sans sélection de canal (2/2)

1.7 RÉSULTATS DE SIMULATION

$$RSBo_SA = Pso / (Psbo - Pso) ;$$

Figure 9 : Calcul RSBo

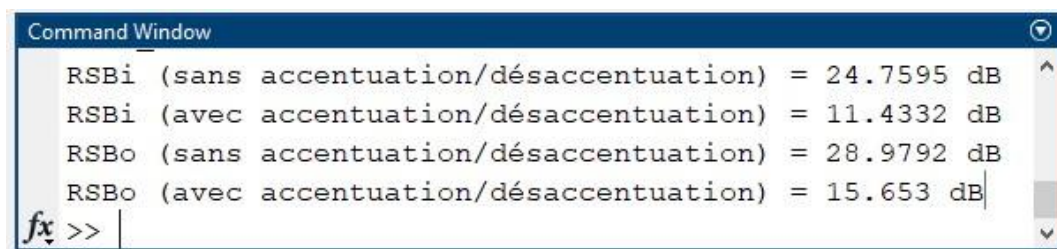


Figure 10 : Résultats de Simulation

2. SOLUTION NUMÉRIQUE

2.1 CALCUL DU RSBi

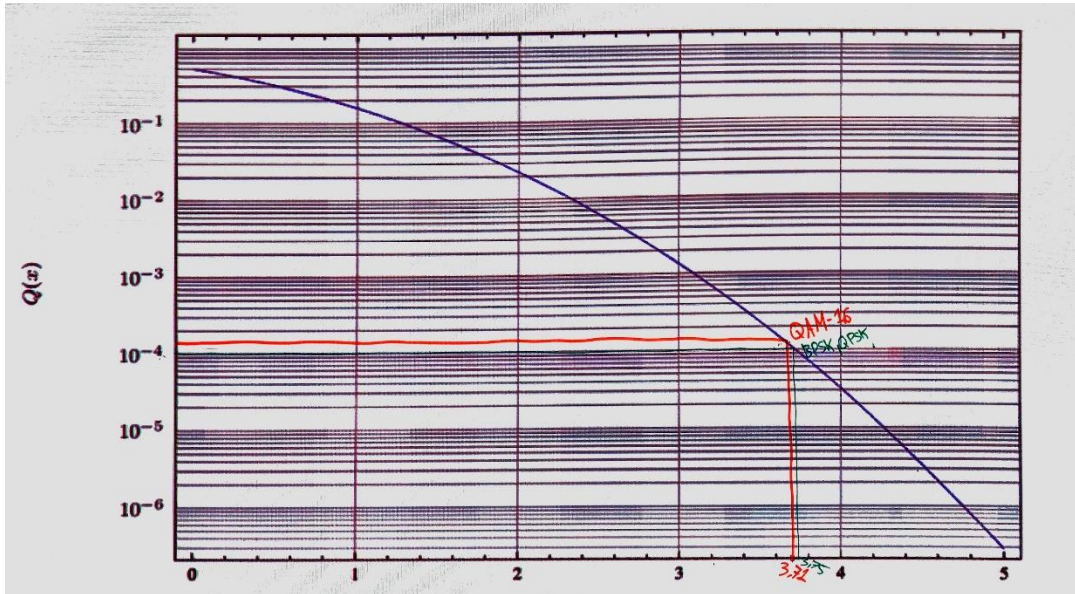


Figure 11 : Graphique des valeurs de $Q(x)$

BPSK	QPSK
$P_B = 10^{-4}$	$RSB_i \approx \frac{2 \cdot 375^2 \cdot 85}{8 \cdot 95}$
$P_B = Q\left(\sqrt{\frac{2E_p}{N_0}}\right)$	$RSB_i \approx 12,45117187$
$10^{-4} = Q\left(\sqrt{\frac{2E_p}{N_0}}\right)$	$RSB_i \approx 10,952402808$
$\sqrt{\frac{2E_p}{N_0}} \approx 3,75$	
$\frac{2E_p}{N_0} \approx 3,75^2$	
$E_p \approx \frac{N_0}{2} \cdot 3,75^2$	
$RSB_i \approx \frac{E_p \cdot R_s}{N_0 \cdot B_T}$	
$RSB_i \approx \frac{N_0 \cdot 375^2 \cdot 85 \cdot 10^3}{16 \cdot 95 \cdot 10^3}$	
$RSB_i \approx \frac{375^2 \cdot 85}{8 \cdot 95} \approx 6,291118401$	
$RSB_i \approx 7,987278602 \text{ dB}$	

Figure 12 : Calculs RSBi (BPSK & QPSK)

QAM-16

$P_B = 10^{-4}$ $M=4$ Niveaux

$P_E(M) = \frac{2(M-1)}{M} Q \sqrt{\frac{2E_P}{N_0}}$

$P_E(M) = \log_2(M) \cdot P_B$

$P_E(M) = \log_2(4) \cdot 10^{-4}$

$P_E(M) = \frac{1}{5000} = 0,0002 = 2 \cdot 10^{-4}$

$\frac{1}{5000} = \frac{2(4-1)}{4} \cdot Q \left(\sqrt{\frac{2E_P}{N_0}} \right)$

$\frac{1}{5000} \cdot \frac{4}{2 \cdot 3} = Q \left(\sqrt{\frac{2E_P}{N_0}} \right)$

$\frac{4}{30000} = \frac{1}{7500} = Q \left(\sqrt{\frac{2E_P}{N_0}} \right) \approx 1,37 \cdot 10^{-4}$

$\sqrt{\frac{2E_P}{N_0}} \approx 3,71 \rightarrow 13,7641 = \frac{2E_P}{N_0}$

$E_P = \frac{13,7641 \cdot N_0}{2} \Rightarrow E_s = \frac{E_P(M^2-1)}{3} = \frac{E_P}{3} \cdot 15 = 5 \cdot E_P$

$\frac{E_s}{N_0} = \frac{5 \cdot 13,7641}{2} \Rightarrow R_s = 85Kb/s$

$RSB_i = \frac{2 \cdot R_s \cdot E_s}{\frac{N_0}{2} \cdot 2 \cdot 95K} = \frac{2 \cdot 85K \cdot 5 \cdot \frac{13,7641}{2}}{\frac{N_0}{2} \cdot 2 \cdot 95K} = \frac{85}{95} \cdot 5 \cdot 13,7641$

$\frac{17}{19} \cdot 5 \cdot 13,7641$

$RSB_i \approx 62,5703684$

$RSB_i \approx 17,89413440B$

Figure 13 : Calculs RSBi (QAM-16)

2.2 CALCUL DE LA DSP DU BRUIT

DSP QAM-16

$P_S = 100B$

$P_B = 10^{-4}$

$RSB_i = \frac{P_S}{P_N}$

$P_N = \frac{N_0}{2} \cdot B_T \cdot 2$

$RSB_i = \frac{P_S}{P_N} = \frac{10}{\frac{N_0}{2} \cdot 95K \cdot 2} = 17,890B$

$\frac{N_0}{2} = \frac{100B}{17,890B} \cdot \frac{1}{95K \cdot 2} \approx$

$\frac{N_0}{2} = -7,890B \cdot \frac{1}{190K}$

$\frac{N_0}{2} = 10^{(-0,789)} \cdot \frac{1}{190K}$

$\frac{N_0}{2} \approx 0,855551976 \mu W/Hz$

Figure 14 : Calculs DSP (QAM-16)

2.3 MULTIPLEXAGE TEMPOREL

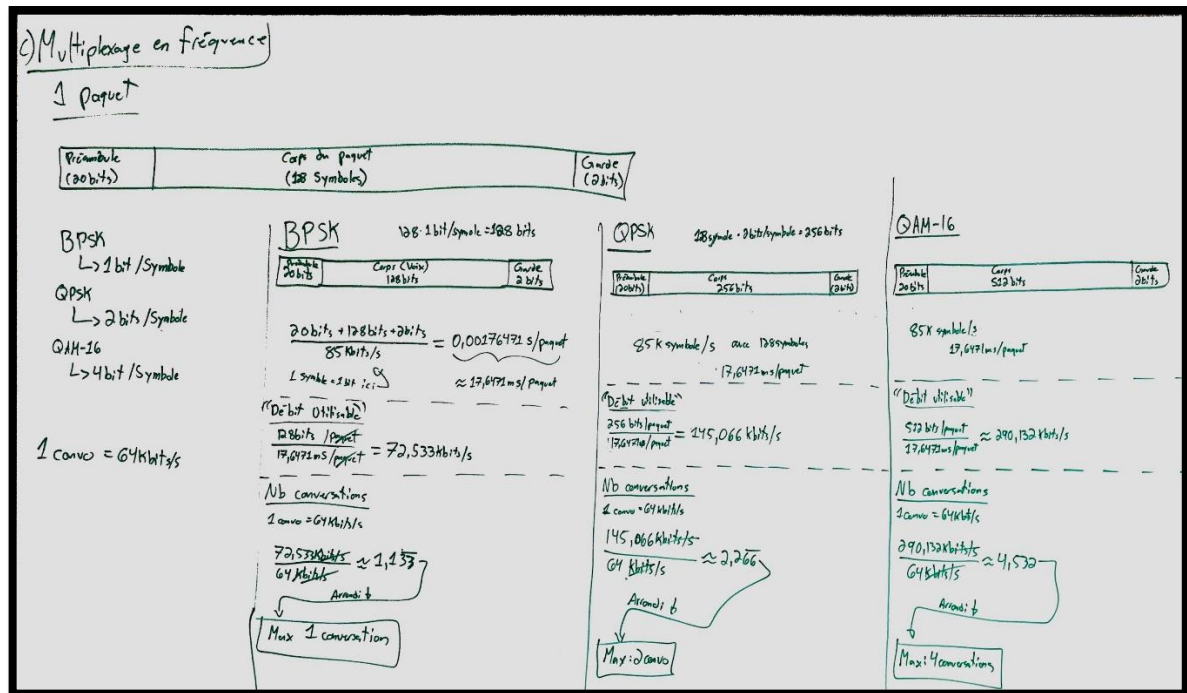


Figure 15 : Calculs Multiplexage Temporel

2.4 LARGEUR DE BANDE

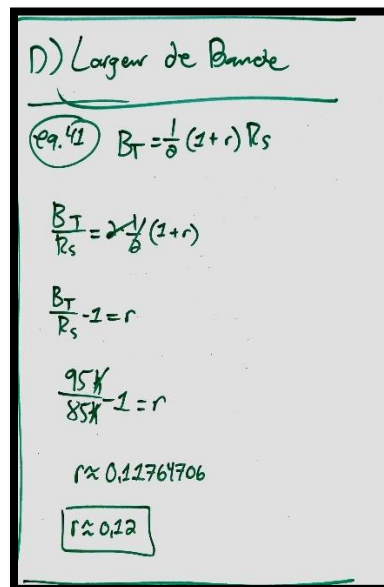


Figure 16 : Calculs largeur de bande

2.5 SYNCHRONISATION

Pour faire la synchronisation, la conception au point [G](#) à été effectuée au préalable et importée dans cette section. Ensuite, le script fût ajusté en fonction des valeurs utilisées dans le [G](#). Puis, après avoir ajusté les blocs downsample et délais en fonction de [G](#), un affichage du scope 5 pour voir la sortie du filtre de Baker est effectuée. Une valeur de 800 peut être observée et entrée dans le bloc correspondant. Après une autre exécution du Simulink, il est possible de valider le fonctionnement avec le graphique en haut à droite dans la figure ci-dessous.

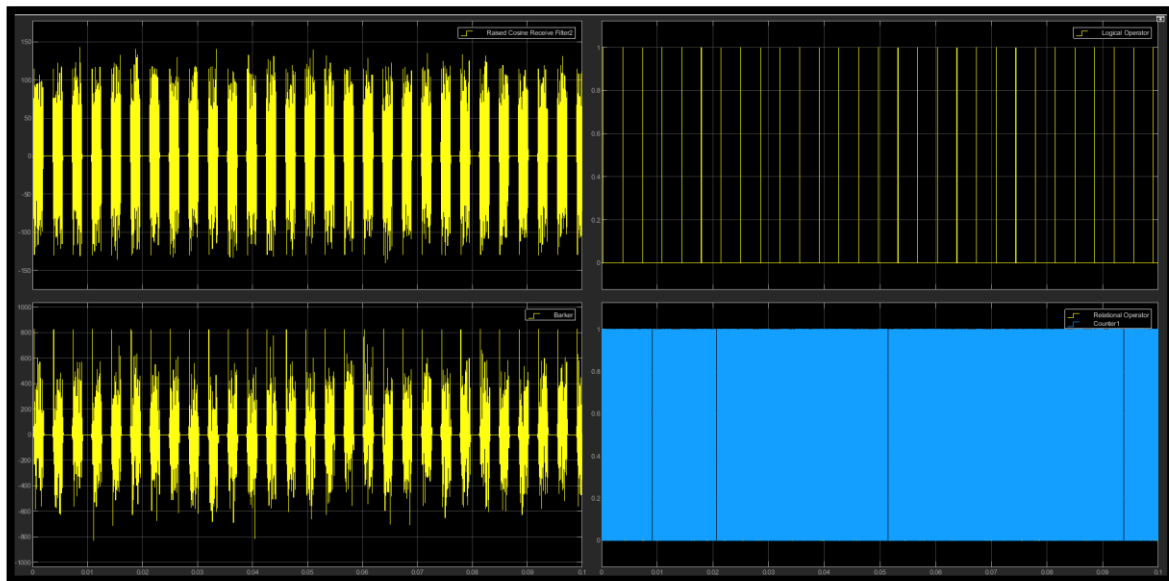


Figure 17 : Scope Synchronisation (Barker et Détection)

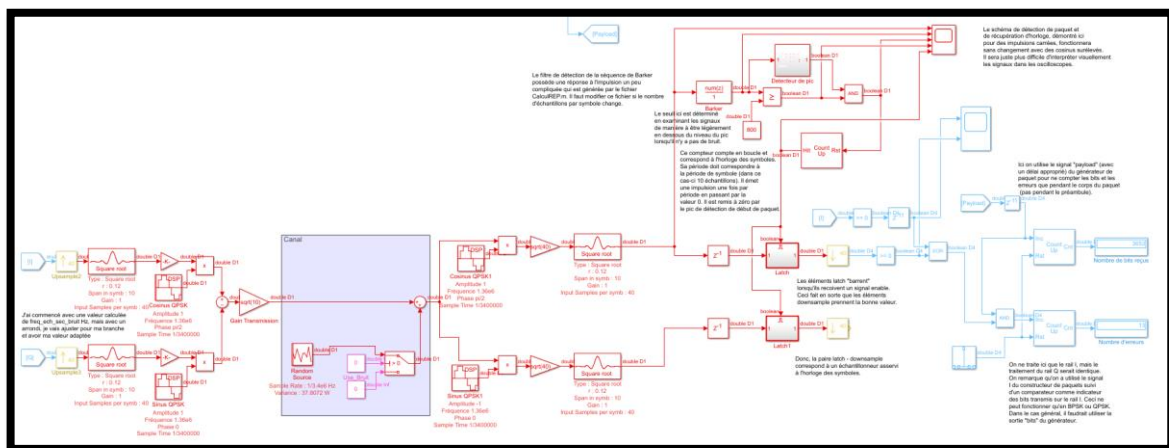
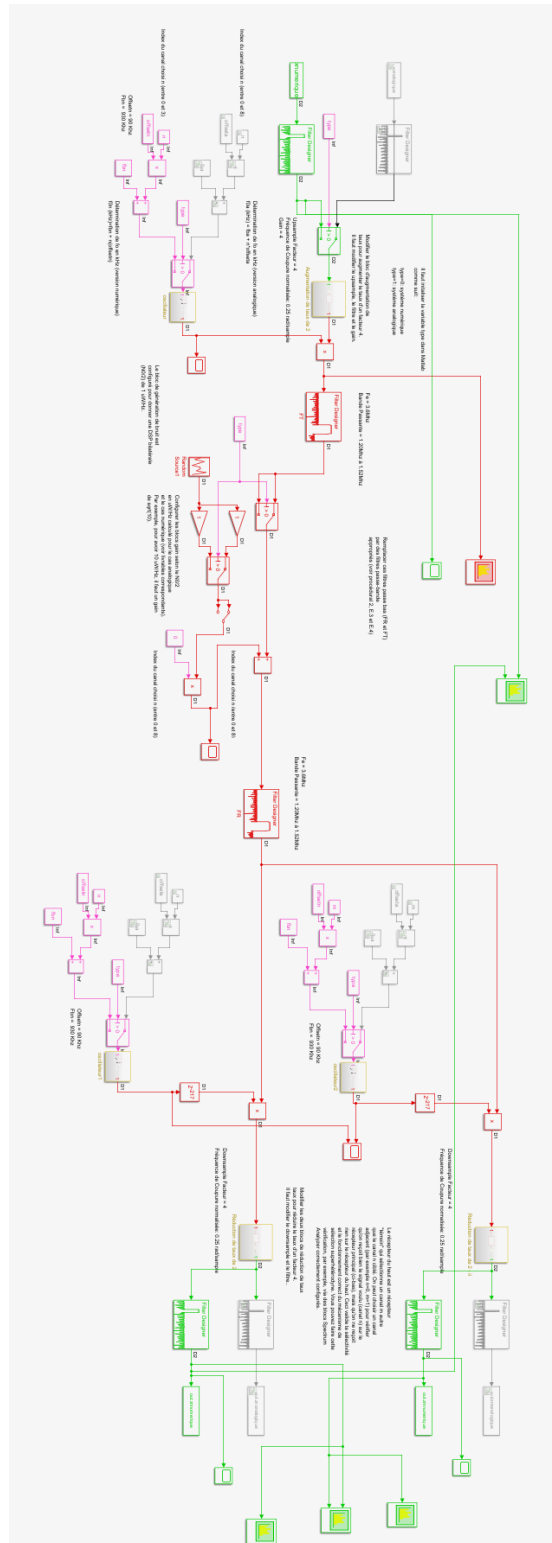


Figure 18 : Schéma Simulink Synchronisation

2.6 SÉLECTION DE CANAL ET MULTIPLEXAGE EN FRÉQUENCE



Ici la bande du signal a été réduite de 10kHz à cause des préambules. Les annotations se trouvent sur le schéma sous les blocs à modifier. Les schémas Simulink ont été soumis pour faciliter la lecture ainsi qu'un code Matlab montrant les calculs. Le fonctionnement est validé par le fait que la sortie *zmnumerique* est à 0 (Validation de la sélectivité) et la *znnumerique* est non nul (Validation de la conservation de la porteuse).

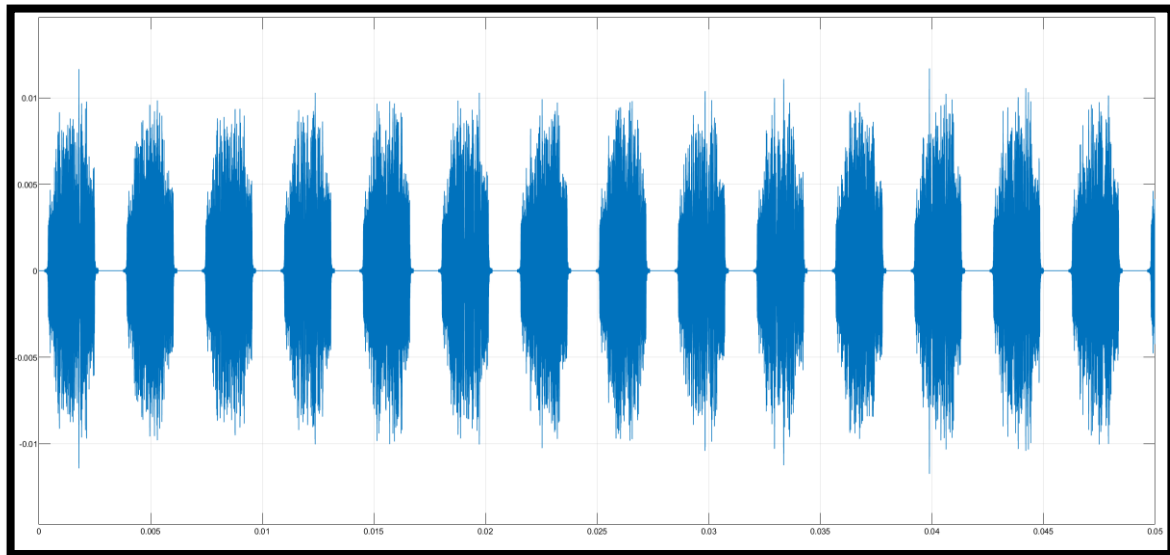


Figure 19 Sortie zmnumerique

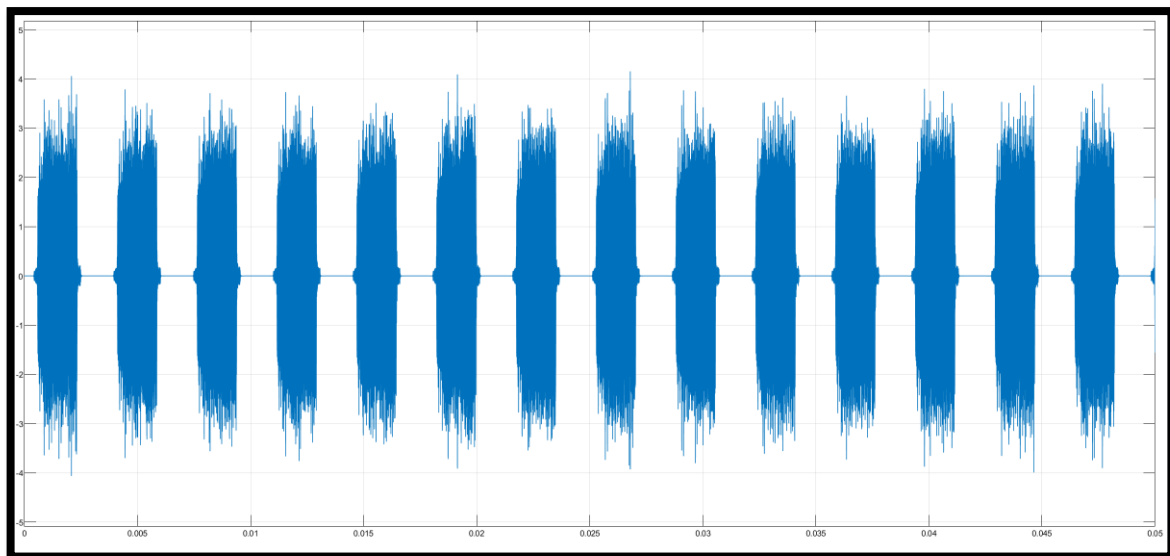


Figure 20 Sortie znnumerique

2.7 SCHÉMA ET RÉSULTAT DE SIMULATION

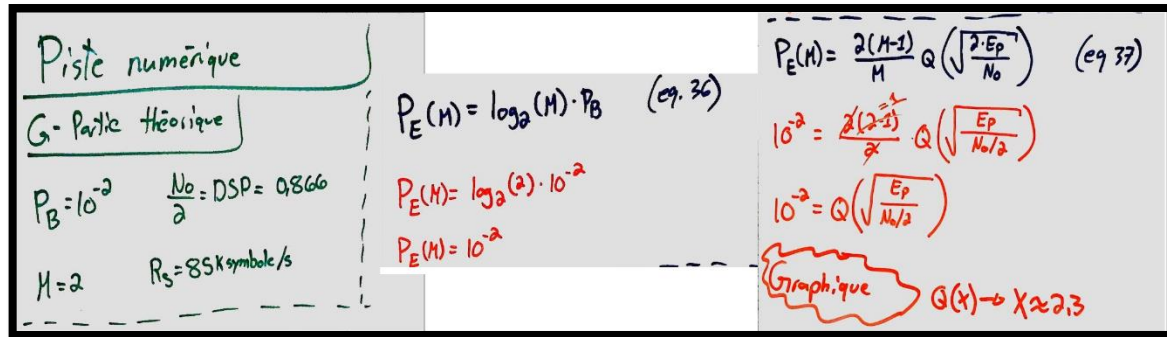


Figure 21 : Calculs Théoriques QPSK (1)

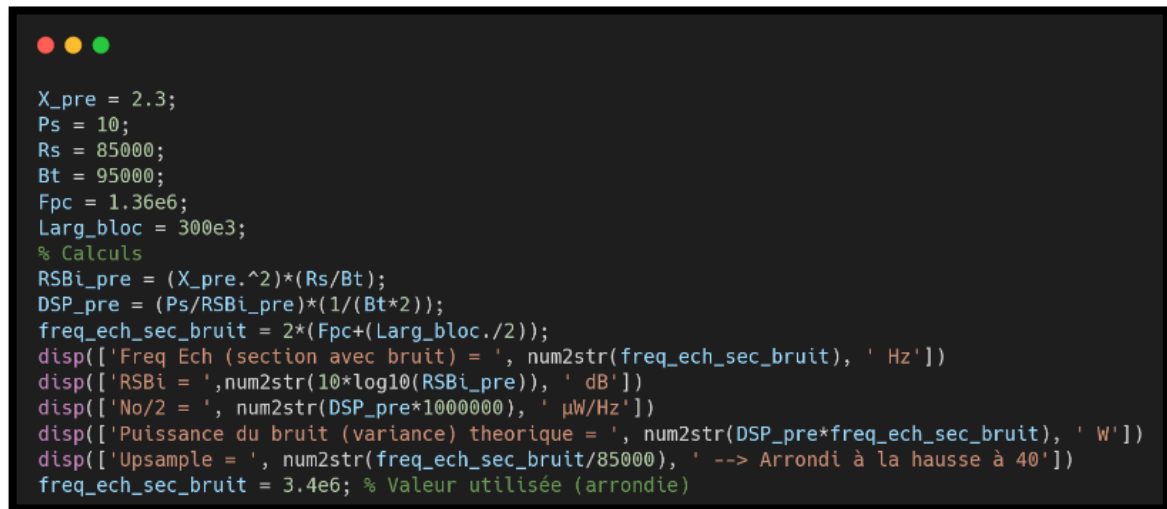


Figure 22 : Calculs Théoriques QPSK (2)

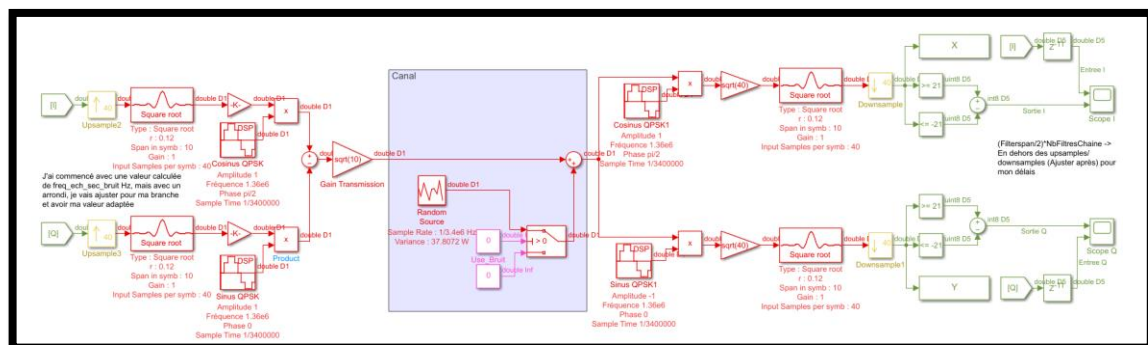


Figure 23 : Schéma pour QPSK

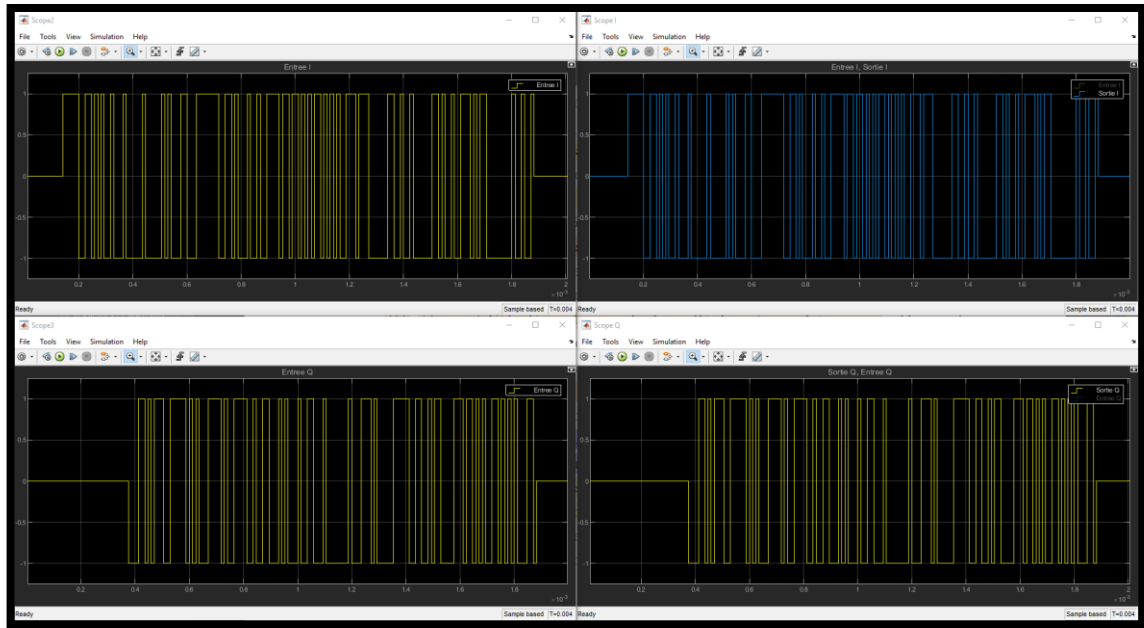


Figure 24 : Résultat de simulation QPSK

3. BRUIT EN BANDE PASSANTE

3.1 ANALYSE DU BRUIT EN BANDE PASSANTE

Problématique Section 3 - Bruit en bande-Passante

A] Analyse du bruit en bande Passante - Démonstration mathématique des propriétés stationnaires

Formulation du problème: on a : $N(t) = X(t) \cos(2\pi f_c t) - Y(t) \sin(2\pi f_c t)$
 On cherche à isoler les conditions devant s'appliquer à $X(t)$ & $Y(t)$ pour que $N(t)$ soit stationnaire au sens large, de moyenne nulle.

$$E\{N(t)\} = E\{X(t) \cos(2\pi f_c t) - Y(t) \sin(2\pi f_c t)\} = 0 = E\{X(t) \cos(2\pi f_c t)\} - E\{Y(t) \sin(2\pi f_c t)\}$$

$$E\{N(t)\} = E\{X(t)\} \cos(2\pi f_c t) - E\{Y(t)\} \sin(2\pi f_c t) = 0$$

Donc $E\{X(t)\} = 0$ $E\{Y(t)\} = 0$

Il faut que la fonction d'autocorrélation soit invariante dans le temps. ~~Cette-ci s'écrit~~

On cherche à prouver la stationnarité de notre processus $N(t)$

→ On sait que $R_{NN}(\tau) = E\{N(t_1)N(t_1+\tau)\}$

$$R_{NN}(\tau) = [E\{X(t)\} \cos(2\pi f_c t) - E\{Y(t)\} \sin(2\pi f_c t)] \times [E\{X(t+\tau)\} \cos(2\pi f_c(t+\tau)) - E\{Y(t+\tau)\} \sin(2\pi f_c(t+\tau))]$$

$$= \cancel{E\{X(t)X(t+\tau)\} \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c(t+\tau))} - \cancel{E\{X(t)Y(t+\tau)\} \cos(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_c(t+\tau))} - [\text{suite}]$$

$R_{NN}(\tau) = E\{X(t)X(t+\tau)\} \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c(t+\tau)) - E\{X(t)Y(t+\tau)\} \cos(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_c(t+\tau)) - [\text{suite}]$

[suite]: $E\{Y(t)X(t+\tau)\} \sin(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c(t+\tau)) + E\{Y(t)Y(t+\tau)\} \sin(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_c(t+\tau))$

Sachant les équations... (ceux avec $R_{XX}(\tau) = E\{X(t)X(t+\tau)\}$)

$$R_{NN}(\tau) = R_{XX}(\tau) \cos(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c(t+\tau)) - R_{XY}(\tau) \cos(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_c(t+\tau)) - R_{YX}(\tau) \sin(2\pi f_c t) \cos(2\pi f_c(t+\tau)) + R_{YY}(\tau) \sin(2\pi f_c t) \sin(2\pi f_c(t+\tau))$$

Avec les Identités trigonométriques (62 à 65)

Figure 25 : Démonstration (1/2)

$$2\pi f_c = \Delta$$

$$1^{\text{er}} \text{ terme: } R_{xx}(t) \cdot \cos(2\pi f_c t) \cdot \cos(2\pi f_c (t+\tau)) = R_{xx}(\tau) \left[\cos(\underbrace{2\pi f_c t - 2\pi f_c (t+\tau)}_{-\Delta\tau}) + \cos(\underbrace{2\pi f_c t + 2\pi f_c (t+\tau)}_{\Delta(2t+\tau)}) \right] \cdot \frac{1}{2}$$

$$2^{\text{e}} \text{ terme: } R_{xy}(\tau) \cdot \cos(\Delta t) \cdot \sin(\Delta(t+\tau)) = R_{xy}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \left[\sin(\Delta t + \Delta(t+\tau)) - \sin(\Delta t - \Delta(t+\tau)) \right]$$

$$= R_{xy}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \left[\sin(2\Delta t + \Delta\tau) - \sin(\Delta\tau) \right] = R_{xy}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \left[\sin(2\Delta t + \Delta\tau) + \sin(\Delta\tau) \right]$$

$$3^{\text{e}} \text{ terme: } R_{yx}(\tau) \cdot \sin(\Delta t) \cdot \cos(\Delta(t+\tau)) = R_{yx}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \left[\sin(\Delta t + \Delta(t+\tau)) + \sin(\Delta t - \Delta(t+\tau)) \right]$$

$$= R_{yx}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \left[\sin(2\Delta t + \Delta\tau) + \sin(-\Delta\tau) \right] = R_{yx}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \left[\sin(2\Delta t + \Delta\tau) - \sin(\Delta\tau) \right]$$

$$4^{\text{e}} \text{ terme: } R_{yy}(\tau) \cdot \sin(\Delta t) \cdot \sin(\Delta(t+\tau)) = R_{yy}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \left[\cos(\Delta t - \Delta(t+\tau)) - \cos(\Delta t + \Delta(t+\tau)) \right]$$

$$= R_{yy}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \left[\cos(-\Delta\tau) - \cos(2\Delta t + \Delta\tau) \right] = R_{yy}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \left[\cos(\Delta\tau) - \cos(2\Delta t + \Delta\tau) \right]$$

Puisque nous savons que t est invariable dans le temps

$$R_{NN}(\tau) = R_{xx}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \cdot \cos(2\Delta t + \Delta\tau) - R_{yx}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \cdot \sin(2\Delta t + \Delta\tau) - R_{xy}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \cdot \sin(2\Delta t + \Delta\tau) + R_{yy}(\tau) \cdot \frac{1}{2} \cdot \cos(2\Delta t + \Delta\tau)$$

$$R_{NN}(\tau) = \frac{1}{2} \cdot \cos(2\Delta t + \Delta\tau) [R_{xx}(\tau) - R_{yy}(\tau)] - \frac{1}{2} \cdot \sin(2\Delta t + \Delta\tau) [R_{yx}(\tau) + R_{xy}(\tau)]$$

Donc

$$0 = \frac{1}{2} \cdot \cos(2\Delta t + \Delta\tau) [R_{xx}(\tau) - R_{yy}(\tau)] \Rightarrow R_{xx}(\tau) = R_{yy}(\tau)$$

$$0 = -\frac{1}{2} \cdot \sin(2\Delta t + \Delta\tau) [R_{yx}(\tau) + R_{xy}(\tau)] \Rightarrow R_{xy}(\tau) = -R_{yx}(\tau)$$

Figure 26 : Démonstration (2/2)

4. SYNTHÈSE

En résumé nous pouvons comparer la méthode de communication analogique (avec accentuation/désaccentuation) à la méthode de communication numérique, plus précisément la méthode 16-QAM parce que c'est la méthode qui a présenté la plus prometteuse parmi les différents types de modulation numérique. Elle surpasse les autres méthodes de modulation numérique dans toutes les caractéristiques suivantes : RSBi, nbres de conversations simultanées en bande. Dans le cas de l'analogique, l'accentuation et désaccentuation permet de réduire l'effet de bruit aux hautes fréquences.

D'après nos calculs et test de simulations, voici une comparaison de la conception analogique et numérique :

Tableau 1 : Tableau de comparaison

Caractéristique comparée	Meilleur Conception
RSBi	Conception numérique 16-QAM
Bruit	Conception numérique 16-QAM
Erreur de données	Conception analogique
Nbres de Conversations	Conception numérique 16-QAM

On peut donc en déduire que la communication analogique FM est plus simple et requiert une accentuation et désaccentuation pour réduire le bruit aux hautes fréquences tout en préservant la qualité du signal. Cependant l'exploitation de la bande n'est pas optimale en ce sens que le multiplexage est seulement fréquentiel.

La communication numérique cependant permet un multiplexage fréquentiel et temporel afin de réaliser plusieurs conversations simultanément. Cependant la conception d'un système numérique implique une probabilité d'erreur au niveau de la reconnaissance des bits et symboles.

Vu que la conception du système est à des fins de communication téléphonique, il serait judicieux d'utiliser la communication numérique pour pouvoir supporter beaucoup de conversation et aller en très haute fréquence.

5. RÉFÉRENCES

[1] S. H. & M. Moher, Communication Systems, 5e éd., Wiley.