

COMPTE RENDU DE TP

COMMUNICATIONS NUMÉRIQUES : SIMULATION D'UNE CHAÎNE D'ÉMISSION QPSK

MODULE TS227

Louis GUÉNÉGO, Électronique 2A groupe D1
Benjamin CRESCENCE, Électronique 2A groupe D1

ENSEIRB-MATMECA, Decembre 2020

3 Simulation d'une modulation QPSK en bande de base

3.2 Simulation du cas QPSK sans bruit

3.2.1 Écriture du script principal

Pour calculer le taux d'erreur binaire, nous utilisons la formule : $TEB\% = \frac{N_{erreur}}{N_{total}} \times 100$, où N_{erreur} est le nombre de bits erroné et N_{total} est le nombre total de bits transmit. Comme nous n'avons ajouté aucun bruit dans notre chaîne de transmission, nous n'avons aucune erreur, ce qui donne un TEB de 0%.

3.2.2 Affichage des résultats

1. On a en figure 1 l'allure temporelle de la partie réelles des signaux $s_l(t)$ et $r_l(t)$. On peut voir qu'un front descendant qui se faisait en 1 fois T_e au niveau de $s_l(t)$ se fait en 10 T_e au niveau de $r_l(t)$. On a donc un décalage de $\frac{T_s}{2T_e} \times T_e$ secondes entre les deux signaux, qui est due à la causalité et au nombre d'échantillons des filtres, et plus généralement à la causalité du système.

On note quand même qu'on pourrait si on le voulait travailler avec un système non causal, car nous ne sommes pas en temps réel dans notre simulation, mais les résultats qu'on obtiendrait ne serai pas ceux d'un vraie chaîne de transmission qui est forcément causal.

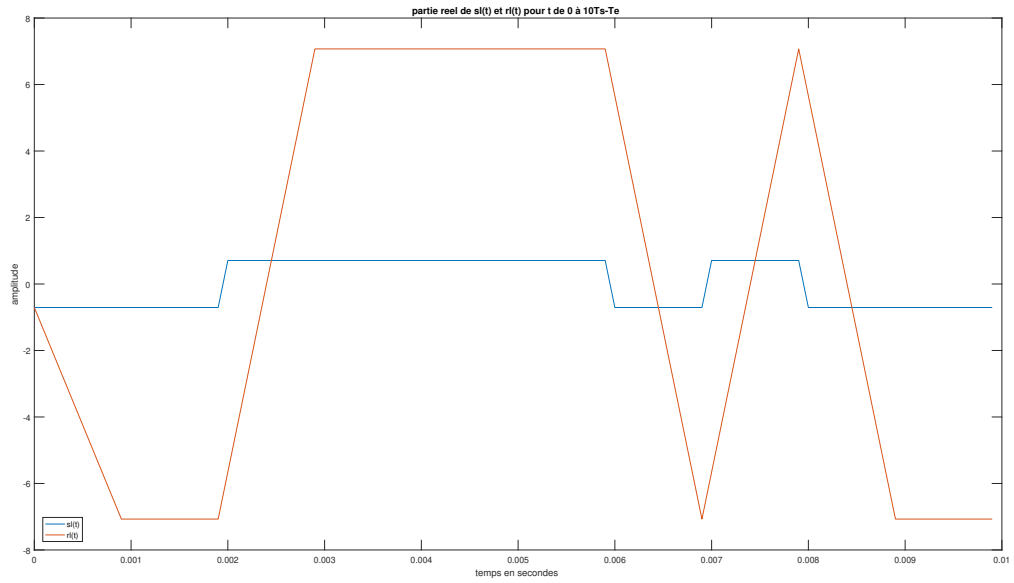


FIGURE 1 – Allure temporelle de la partie réelle des signaux $s_l(t)$ et $r_l(t)$

2. Nous pouvons voir sur la figure 2 le périodogramme de Welch effectué sur le signal $s_l(t)$ ainsi que sa DSP théorique. Pour trouver sa DSP théorique, nous avons pris la transformée de Fourier au carré d'un signal porte de largeur T_s . On remarque que les deux méthodes ne se contredisent pas. En revanche la méthode du périodogramme de Welch ne détecte pas très bien les 0 à x fois T_s . Aussi, on remarque que plus on va vers les hautes fréquences (positives et négatives) plus on a une différence qui apparaît entre les deux méthodes.

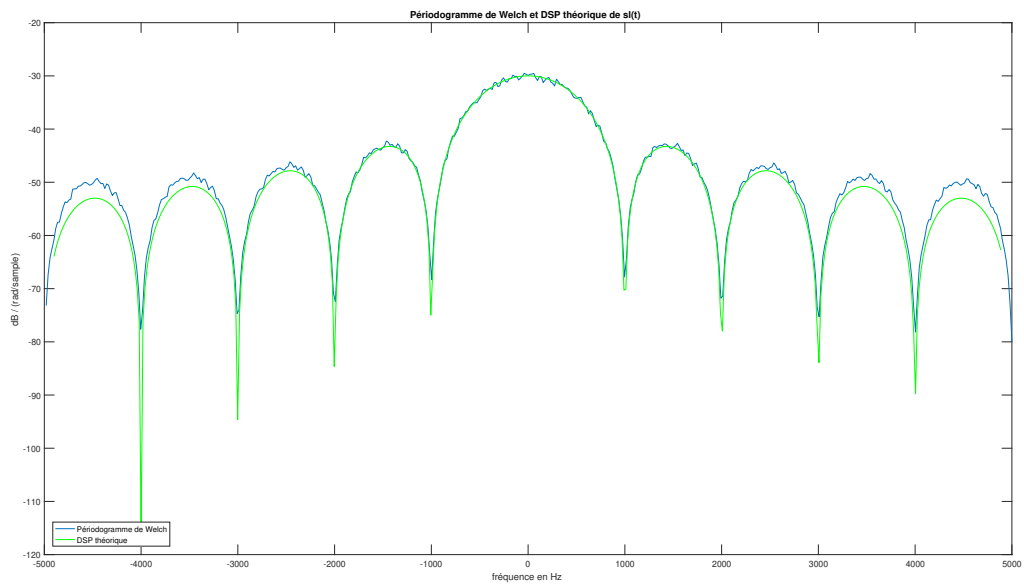


FIGURE 2 – Périodogramme de Welch de $s_l(t)$ avec la DSP théorique $\Gamma_{s_l}(f)$

3.3 Simulation d'une QPSK en bande de base en présence de bruit

3.3.2 Affichage des résultats

1. On a simulé l'évolution du TEB en fonction du rapport $\frac{E_b}{N_0}$ en dB. On trouve alors le résultat de la figure 3. On a alors des résultats très proches de la théorie, ce qui est plutôt normal car on utilise une 2-PAM comme modulation dans le canal.

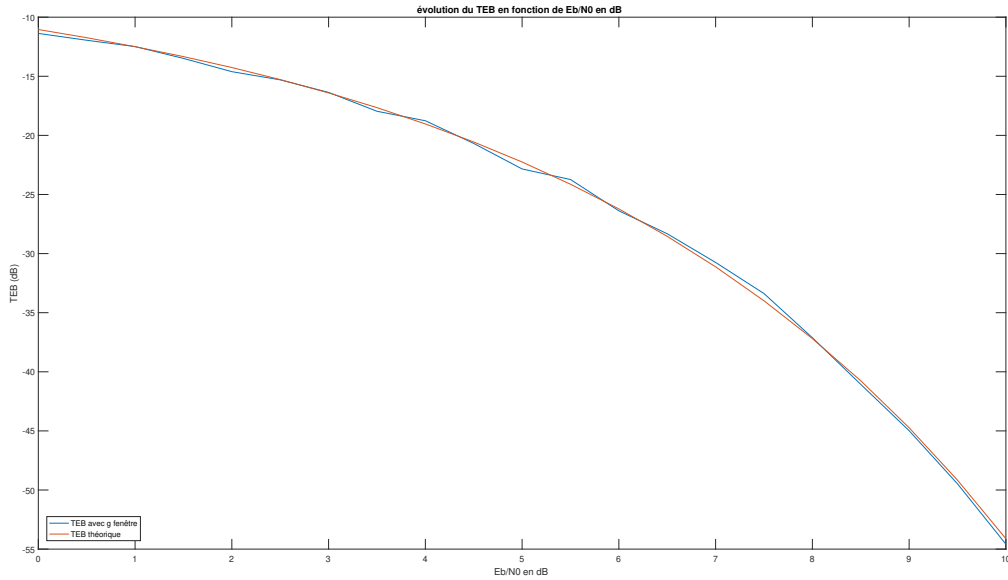


FIGURE 3 – L'évolution du TEB en fonction du rapport $\frac{E_b}{N_0}$ en dB théorique et simulé

2.

3.3.3 Rapport

Latence : Sur la figure 4, on a tracé l'allure temporelle de $s_l(t)$ et $r_l(t)$ pour la même séquence binaire, avec un filtre de canal fenêtre et en cosinus surélevé. On remarque que r_l prend 7ms de latence en plus avec le filtre en cosinus surélevé par rapport au filtre fenêtre.

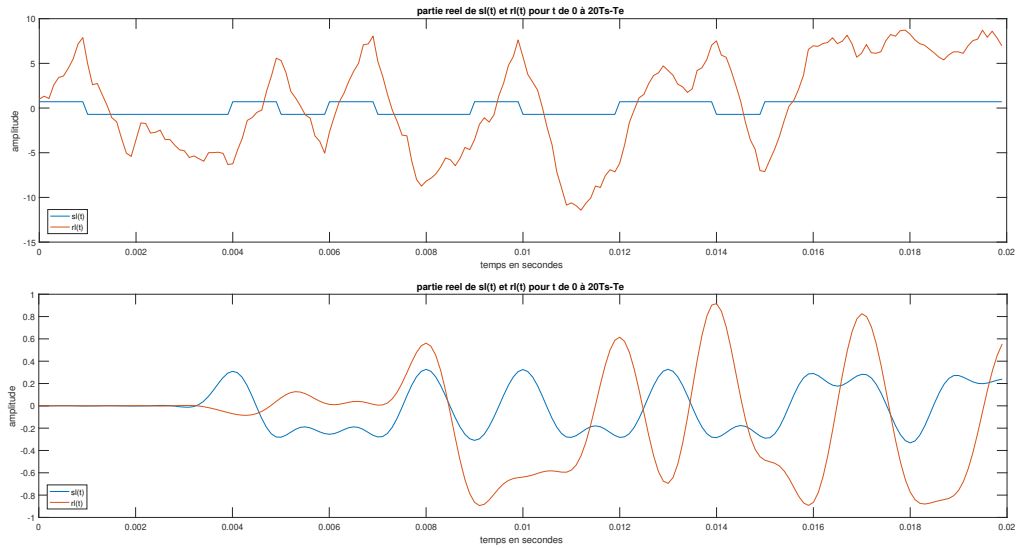


FIGURE 4 – Partie réelle de $s_l(t)$ et $r_l(t)$ pour $g =$ fenêtre en haut et $g =$ cosinus surélevé en bas

Bande passante : Sur la figure 5, on a tracé les périodogrammes de Welch de $s_l(t)$ pour les deux filtres de canal. On a un lobe principal légèrement plus raide et étroit avec le filtre de canal en cosinus sur-élevé. Par contre, le filtre fenêtré laisse passer des lobes secondaires inutiles qui augmente la bande occupé par le signal. Le filtre en cosinus surélevé est donc beaucoup moins gourmand en bande passante.

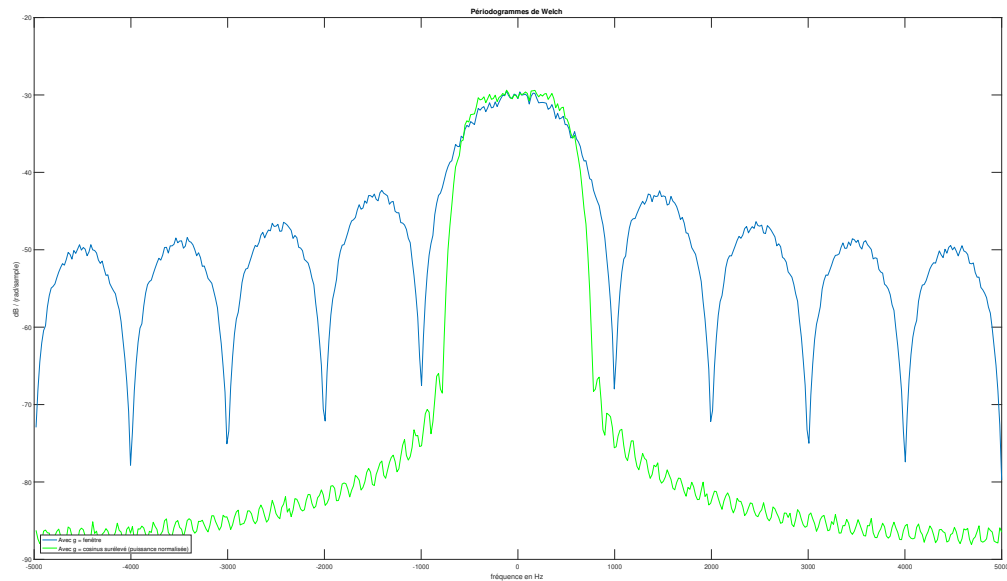


FIGURE 5 – périodogrammes de Welch de $s_l(t)$, bleu avec g fenêtre et vert avec g cosinus surélevé (puissance normalisée)

Probabilité d'erreur : Sur la figure 6, on remarque que les deux filtres donnent la même probabilité d'erreur, ce qui n'est pas étonnant car sur la figure 5 on a déjà vu que les deux filtres envoient la même puissance dans le lobe principal.

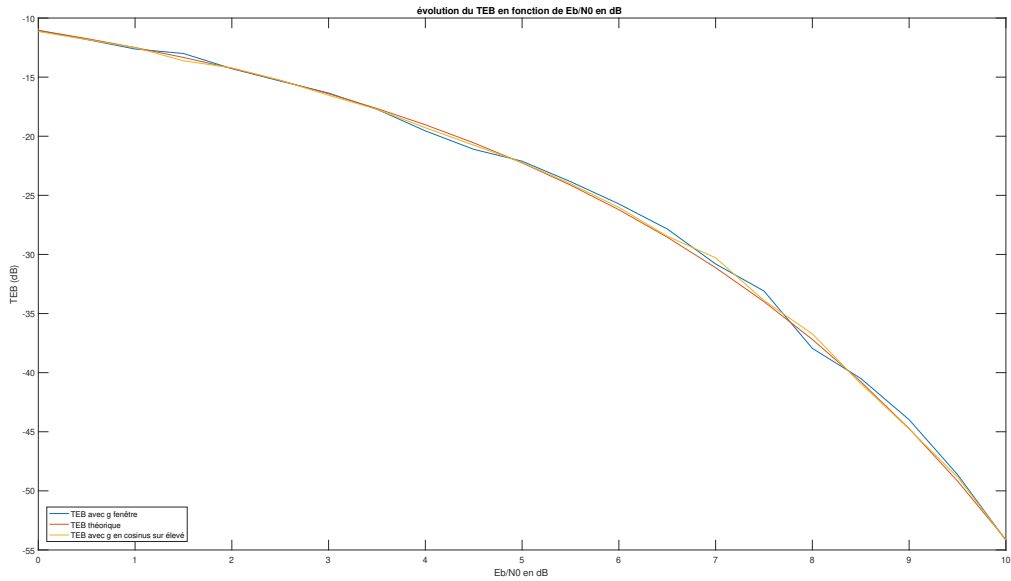


FIGURE 6 – L'évolution du TEB en fonction du rapport $\frac{E_b}{N_0}$ en dB

Efficacité spectrale : Comme la bande passante n'est pas définie dans le sujet, nous ne pouvons pas calculer l'efficacité spectrale des deux signaux. Par contre, on peut déduire de la figure 5 que le filtre en cosinus surélevé produit un signal bien plus efficace spectralement parlant.

4 Communications numériques sur fréquence porteuse

4.1 Implémentation sous Matlab

1. On peut constater le bon fonctionnement de notre modulation et démodulation sur fréquence porteuse avec les constellations des figures 7 et 8. On a donc bien le même signal en entrée et sortie car on n'a pas encore ajouté le bruit.

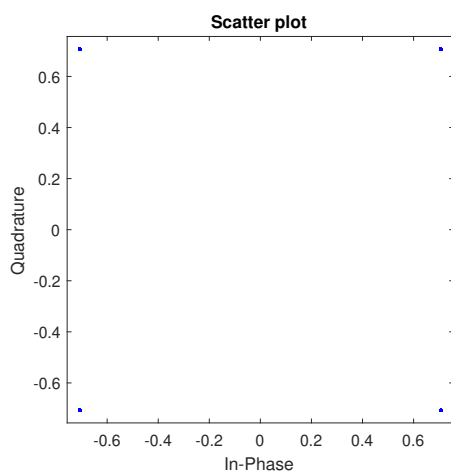


FIGURE 7 – constellation de $s_s(t)$

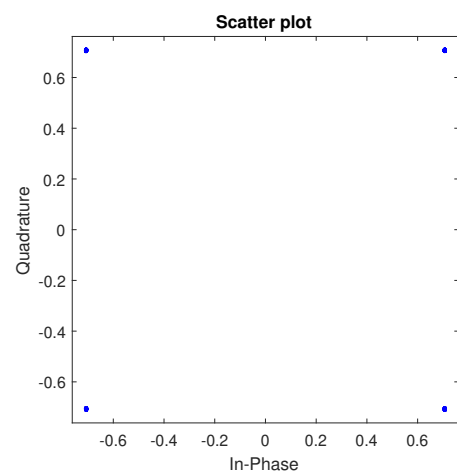


FIGURE 8 – constellation de $r_l(t)$

2. On a en figure 9 la DSP du signal $s(t)$ avec la méthode du périodogramme de Welch ainsi que théorique.

Pour la DSP théorique, on a pris la FFT du filtre de mise en forme multiplié par la porteuse. On a pris le soin d'indiquer la bande passante (à -25dB comme ce n'était pas imposé par le sujet) ainsi que la fréquence de la porteuse.

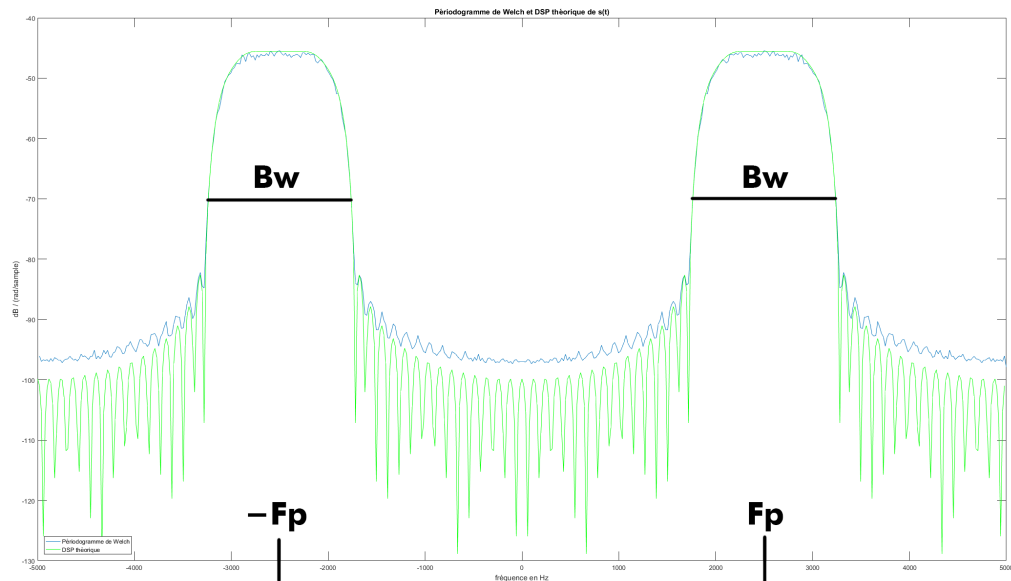


FIGURE 9 – périodogramme de Welch de $s(t)$ et la DSP théorique

- On peut voir sur la figure 10, le TEB avec porteuse (2,5kHz) simulé et théorique avec une QPSK en bande de base. On peut donc conclure qu'émettre sur une porteuse diminue l'immunité au bruit du signal par rapport à une transmission en bande de base.

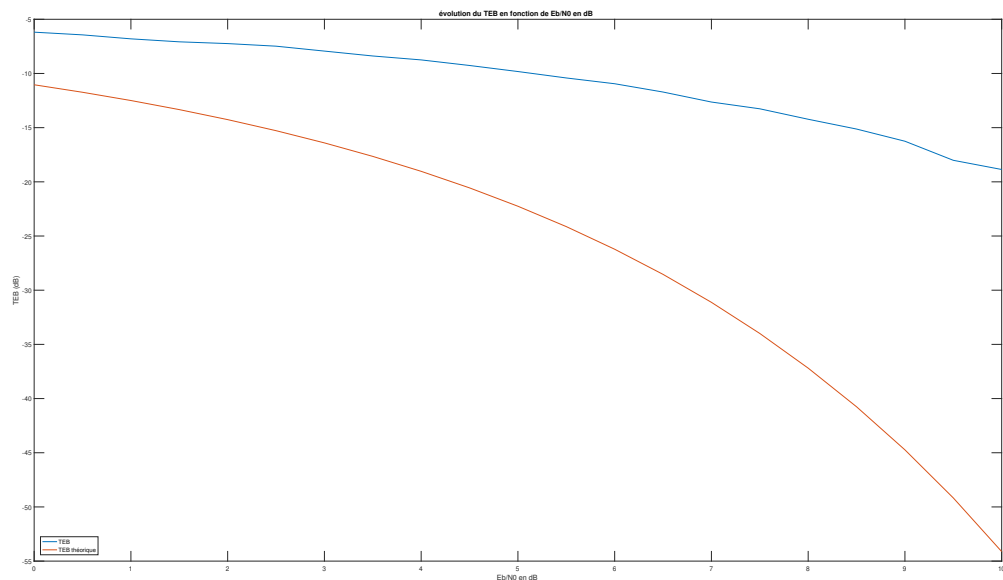


FIGURE 10 – TEB théorique en bande de base et TEB simulé avec porteuse

- On peut apercevoir en figure 11 la constellation du signal QPSK démodulé, lorsque l'oscillateur local en

réception est décalé de $\frac{\pi}{6}$ et avec un $\frac{E_b}{N_0} = 10 \text{ dB}$. On remarque bien qu'il sera difficile pour le démodulateur QPSK de retrouver le signal émis.

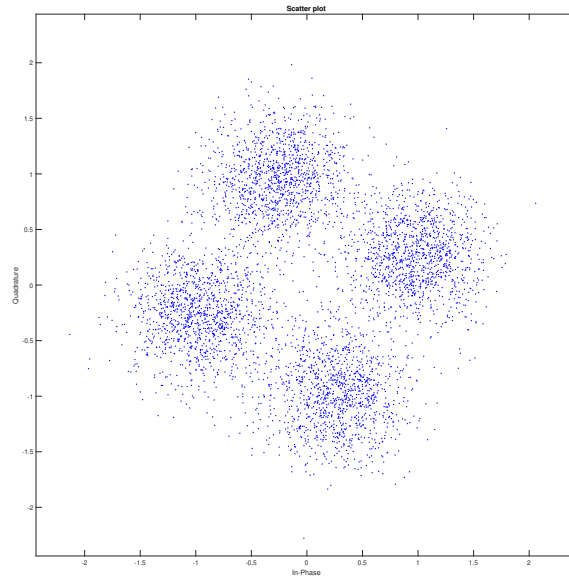


FIGURE 11 – constellation en réception ($r_l(t)$) avec un déphasage de $\frac{\pi}{6}$ dans l'oscillateur et un $\frac{E_b}{N_0} = 10 \text{ dB}$

5. On peut voir sur la figure 12, la constellation lorsqu'il y a une erreur de +10Hz dans l'oscillateur de réception. On voit que les phases se confondent, il n'y a donc plus vraiment d'intérêt à essayer de démoduler ce signal.

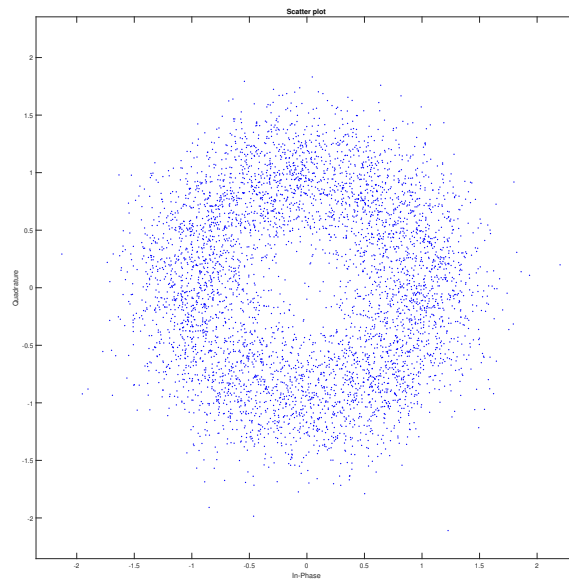


FIGURE 12 – constellation en réception ($r_l(t)$) avec une erreur de +10Hz sur la porteuse du récepteur

6. On peut apercevoir en figure 13 la constellation lorsqu'il y a une erreur de +10Hz dans l'oscillateur de réception. Les phases ainsi que les amplitude se confondent. Non seulement ce signal est ininterprétable,

mais il ressemble aussi beaucoup à un bruit de fond sans signal utile. Contrairement à la figure 12, il sera aussi difficile de déterminer si quelqu'un essaye de communiquer avec ce récepteur.

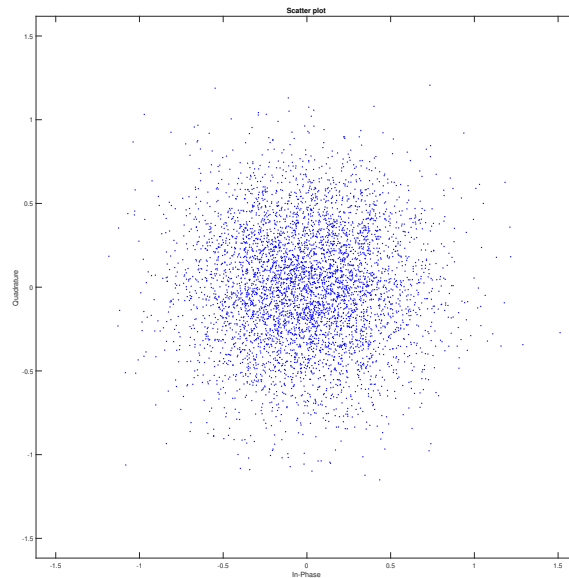


FIGURE 13 – constellation en réception ($r_l(t)$) avec une erreur de +1000Hz sur la porteuse du récepteur

4.2 Rapport

Voir la partie 4.1.

Étude d'un récepteur présentant des défauts : On peut observer en comparant les figures 8, 11, 12 et 13 que notre modulation QPSK sur fréquence porteuse marche bien en théorie (sans bruit et défaut entre émetteur/récepteur et canal), mais que dès qu'on se met dans un environnement réaliste, on rencontre vite des limites. Les problèmes qui peuvent être rencontrés dans une transmission réelle sont un déphasage entre l'oscillateur d'émission et réception, qui peut être dû à une mauvaise synchronisation ou à une mauvaise estimation du temps de propagation dans le canal ; un décalage entre la fréquence des deux oscillateurs qui peut être due aux oscillateurs eux-mêmes ou à un effet Doppler ; enfin le bruit qui est présent intrinsèquement dans tous les signaux électriques et électromagnétiques, qui sera ajouté par les organes d'émission et réception ou dans le canal de réception.