



TP SYSTÈMES À ÉTALEMENT DE SPECTRE

Hamza Zougari Belkhayat
Ayoub Najmeddine

Département Sciences du Numérique
2021-2022

Table des matières

1	Introduction	3
2	cas mono-utilisateur	4
2.1	Chaîne de communication sans bruit	4
2.2	Chaîne de communication avec bruit	6
2.3	Synchronisation grossière par corrélation passive	7
3	cas multiutilisateurs sans bruit	7
4	Conclusion	9

1 Introduction

Le but de ce travail est de faire une simulation de bout en bout de la technique SS (Spread Spectrum). Il s'agit d'une technique selon laquelle le signal du message est multiplié par une séquence pseudo-aléatoire afin d'étaler la largeur de bande du message. La motivation de la technique SS vient du théorème de la capacité des canaux. Ce théorème stipule que l'on peut obtenir de bonnes performances de communication en augmentant la largeur de bande, même lorsque la puissance signal-bruit est faible. La technique SS augmente la largeur de bande du signal de transmission pour éliminer l'interférence intersymbole (ISI) et l'interférence à bande étroite. Il assure la sécurité de la transmission car le récepteur doit connaître la séquence pseudo-aléatoire pour obtenir le signal de données transmis. Dans le cas contraire, le récepteur ne peut pas détecter le signal du message original, et il ne voit que le signal transmis comme un bruit. Cette propriété de la technique SS permet de l'utiliser pour les systèmes de communication militaires. La technique SS permet également l'utilisation d'une bande passante par plusieurs utilisateurs, car chaque utilisateur multiplie le signal de son message par une séquence pseudo-aléatoire différente, et un récepteur reçoit le signal de son message s'il possède la séquence pseudo-aléatoire de l'émetteur. Le processus de SS est illustré ci-dessous.

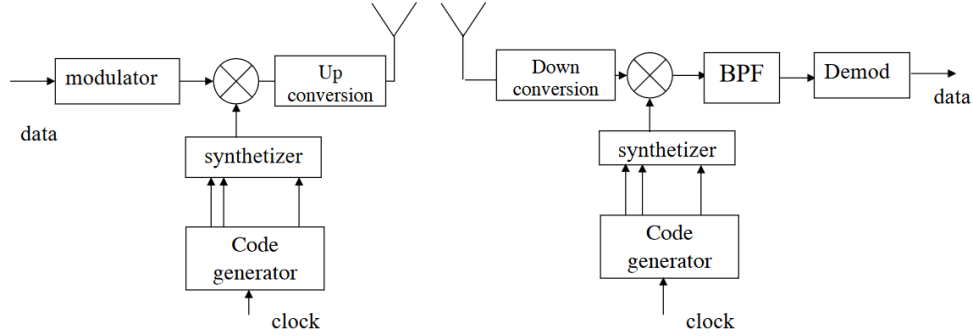


FIGURE 1 – Schéma fonctionnel du système à étalement de spectre.

La simulation de la chaine d'émission/réception de la modulation SS commence par la génération du signal message au niveau de l'émetteur. On utilise une modulation QPSK avec un alphabet de symboles d_k . Pour chaque symbole d_k une séquence PN pondérée par d_k est générée. La séquence PN composée de L chips c_i est $PN(t) = \sum_{i=0}^{L-1} c_i \delta(t - iT_c)$ où T_c est la durée d'un chip.

Le modèle d'émission est donné par :

$$X(t) = \text{Re}(X_e(t)e^{j\omega_0 t}) = \text{Re}\left(e^{j\omega_0 t} \sum_k PN(t - kT) * h(t)\right) = \text{Re}\left(e^{j\omega_0 t} \sum_k PN_F(t - kT)\right)$$

où h représente le filtre de mise en forme. et $PN_F(t) = PN(t) * h(t)$. Le récepteur idéal associé à la modulation linéaire composé d'un filtre adapté à $PN_F * (-t)$ suivi d'un échantillonneur est :

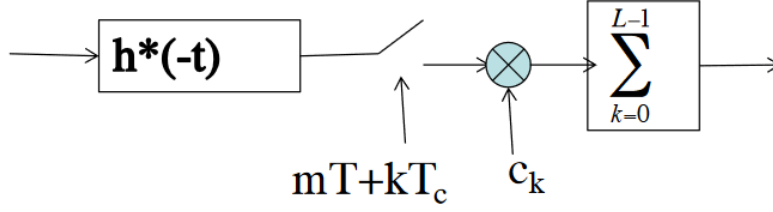


FIGURE 2 –

2 cas mono-utilisateur

2.1 Chaîne de communication sans bruit

Nous avons d'abord testé la modulation SS sur une chaîne de communication sans bruit avec un utilisateur.

- Fréquence d'échantillonnage $Fe = NR_c$ avec $R_c = LR_s$ soit $Fe = MR_s$ avec $M = NL$.
- Filtre de mise en forme $h(n)$: rectangle de durée T_c ou filtre en racine carrée de cosinus surélevé de roll-off $a = 0.5$.
- Modulation : BPSK ou QPSK.

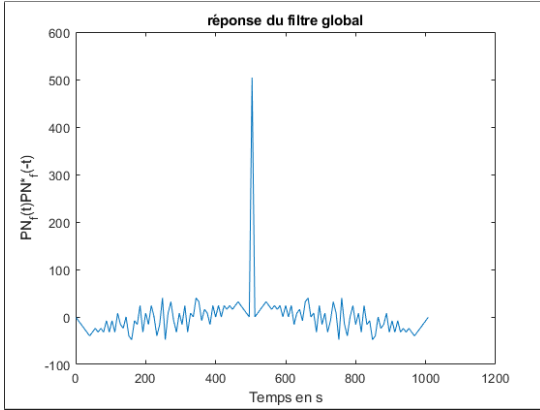


FIGURE 3 – Mise en forme rectangulaire.

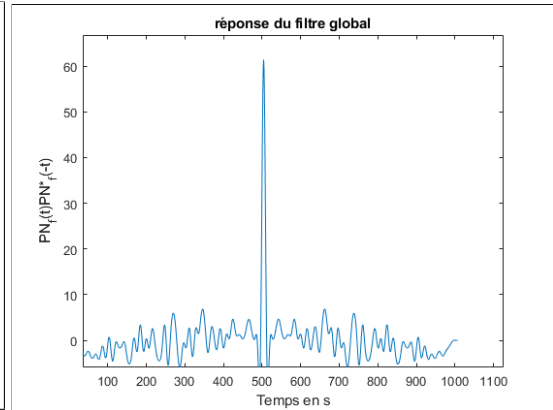


FIGURE 4 – Mise en forme SRRC.

Si on note $H(f)$ la réponse en fréquence rectangulaire du filtre d'émission, et $H_r(f)$ la réponse en fréquence identique du filtre de réception, alors $H(f)H_r(f)$ est un filtre triangulaire, d'où la forme du filtre global.

Dans le cas où l'entrée de la chaîne de transmission est composée de symboles identiques, les signaux à la sortie du filtre de réception sont de la forme :

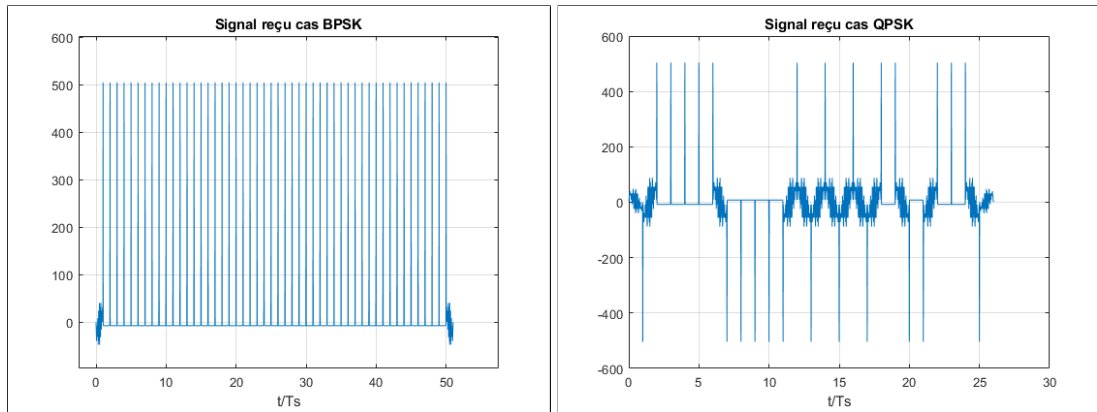


FIGURE 5 – Signal en sortie du récepteur (BPSK). FIGURE 6 – Signal en sortie du récepteur (QPSK).

Pour un mapping QPSK de symboles indépendants, et des filtres de mise en forme et de réception rectangulaire, la sortie du filtre adapté est la fonction *sinc* (transformée de fourier du rectangle), donc le signal prend la forme :

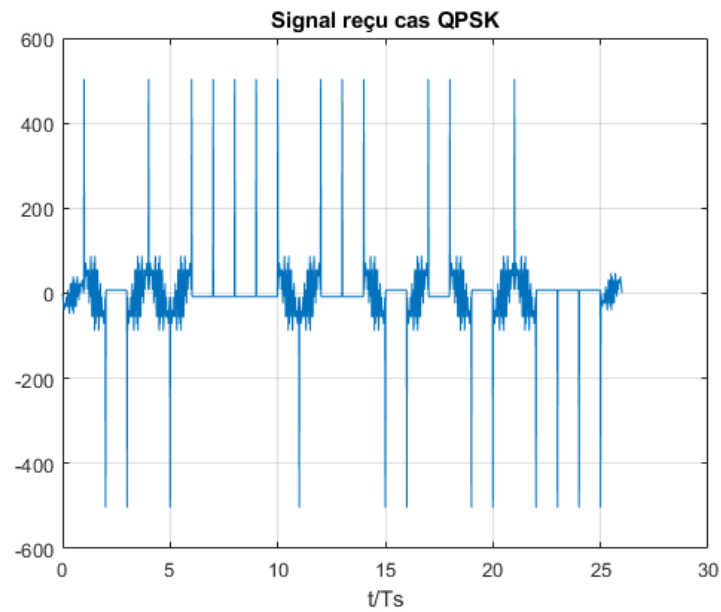


FIGURE 7 –

Pour les deux types de modulation on retrouve les même constellations après échantillonnage à la sortie du récepteur pour les deux modulations :

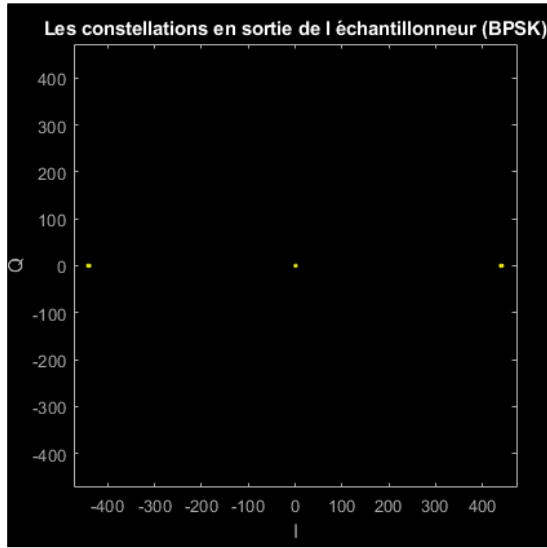


FIGURE 8 – Constellations (BPSK).

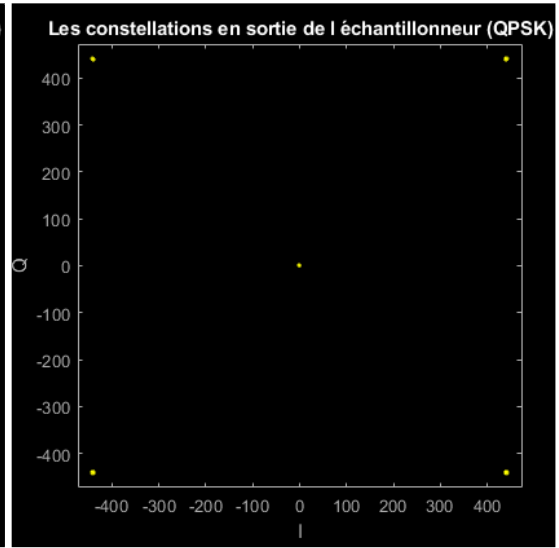


FIGURE 9 – Constellations (QPSK).

2.2 Chaîne de communication avec bruit

Nous avons analysé les performances de la modulation SS, sous l'effet du bruit avec un utilisateur, Les résultats sont obtenus en termes de taux d'erreur sur les bits (TEB). Lorsque la valeur SNR diminue, nous vérifions le TEB et l'analysons. Nous nous attendions à obtenir un bon TEB car la technique SS est connue pour sa plus grande résistance au bruit. Par conséquent, nous avons obtenu le tracé du TEB et du TEB théorique pour différentes valeurs du SNR :

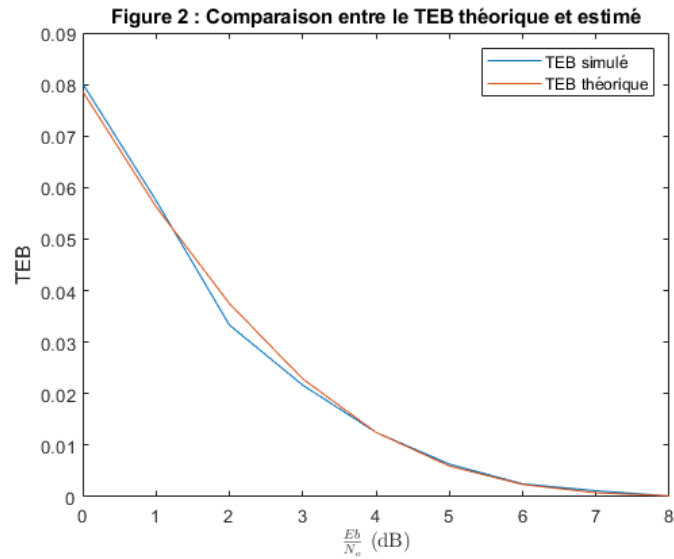


FIGURE 10 –

2.3 Synchronisation grossière par corrélation passive

La chaîne de communication est implantée avec bruit avec un utilisateur, le mapping est fait en QPSK, et le signal est mis en forme avec un filtre NRZ de mise en forme. La sortie du filtre adapté est décimée par un facteur $M = L \times N$. On réalise sous *Matlab* le test suivant qui permet de déterminer l'instant optimal d'échantillonnage :

```
1 for kk=1:M
2     signal_ech_qsk=signal_recu(kk:M:end);
3     p(kk)=sum(abs(signal_ech_qsk))^2;
4 end
5 [maximum,id_max]=max(p);
```

FIGURE 11 –

où id_max représente l'instant optimal d'échantillonnage.

3 cas multiutilisateurs sans bruit

Nous avons étudié les performances de la technique d'étalement de spectre dans le cas multiutilisateur sans bruit. On commence par générer 6 séquences de Gold, afin d'obtenir des valeurs faibles de corrélation croisée entre 5 utilisateurs interférents de même puissance que le signal utile. Nous avons obtenu les constellations suivantes pour les différents utilisateurs de la chaîne de communication.

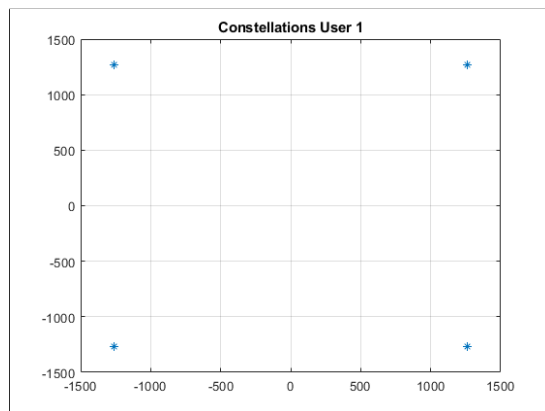


FIGURE 12 – Constellations User 1.

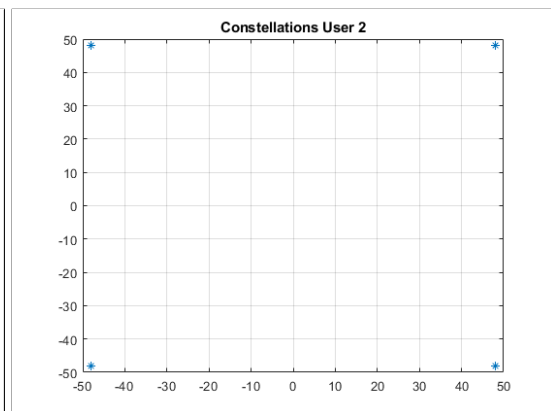


FIGURE 13 – Constellations User 2.

Les utilisateurs multiples partageant une bande passante commune dans le système à accès multiple par étalement du spectre (SSMA). Les signaux transmis pour tous les utilisateurs sont superposés dans le temps et en fréquence.

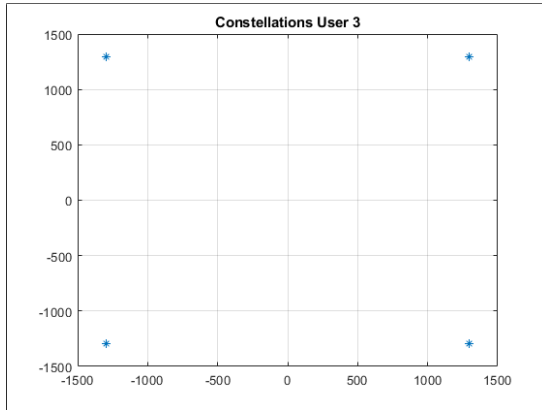


FIGURE 14 – Constellations User 3.

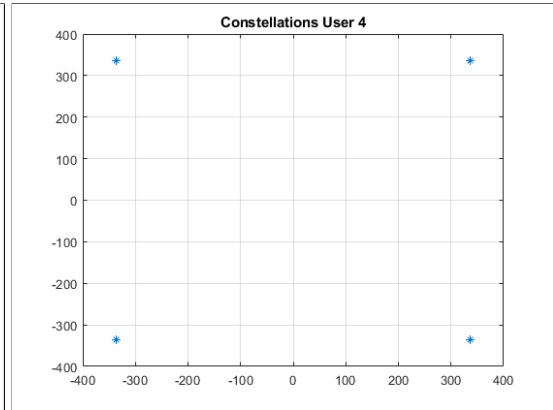


FIGURE 15 – Constellations User 4.

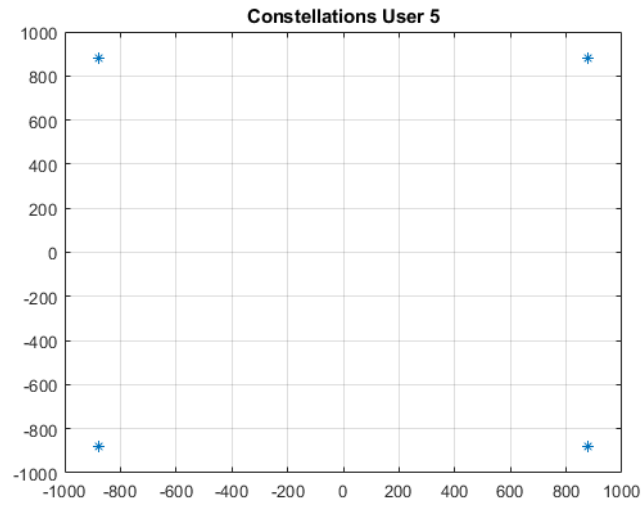


FIGURE 16 – Constellations User 5.

La fonction d'auto-corrélation détermine les propriétés de rejet par trajets multiples et la corrélation croisée détermine la quantité d'interférence. Les figure 17 et la figure 18 donnent la fonction d'auto-corrélation de l'utilisateur 1, et la cross_correlation entre l'utilisateur 1 et 2.

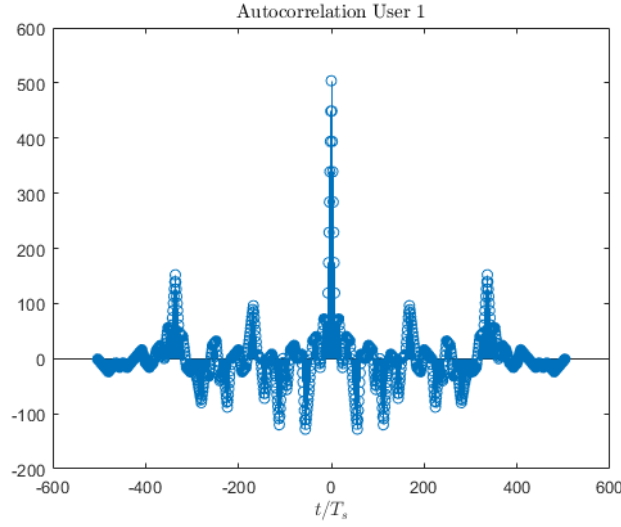


FIGURE 17 – Autocorrelation.

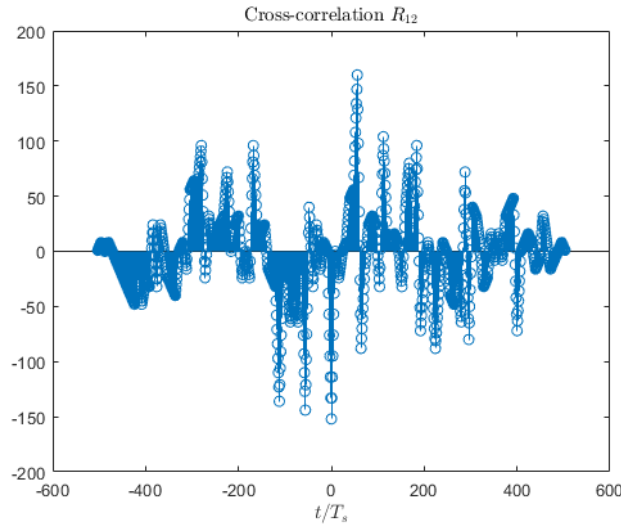


FIGURE 18 – Cross-correlation.

4 Conclusion

Dans ce TP, nous avons travaillé sur la simulation de la chaîne de communication de la technique d'étalement de spectre. Nous avons utilisé un signal de message modulé par la technique de modulation QPSK. Chaque bit de message est représenté par un nombre différent de code pseudo-numérique pour l'évaluation des performances et pour voir clairement son effet. Nous avons multiplié le signal du message et la séquence pseudo-aléatoire générée de façon aléatoire, et obtenu un signal à spectre étalé. Comme la largeur de bande augmente, sa résistance devient forte contre le bruit ou l'effet d'évanouissement du canal. Nous avons d'abord supposé que nous avons transmis et reçu le signal sans aucun effet de canal. Nous avons démodulé le signal reçu et obtenu le signal du message. A la dernière étape, nous avons analysé les graphiques TEB vs SNR dans une situation d'un bruit blanc gaussien additif. Ainsi le cas de transmission multi utilisateurs.