

## **DEPARTEMENT GENIE ELECTRIQUE**

### **Master 1 ISERT**

---

#### **Transmission avancée et multiplexage**

#### **Projet 2 : Modélisation et simulation d'une transmission à base d'un modem OFDM**

---

Intervenants : **Mr. H. QABOUCHE**  
**Pr. A. SAHEL**

Réalisé par :

- BOUDRAI Abdellah
- SAFI Oussama
- GUERROUCHI Zakaria

**Année universitaire : 2022/2023**

# Table des matières

<b>INTRODUCTION :</b>	<b>3</b>
<b>Partie 1 : Etude théorique du modem OFDM :</b>	<b>3</b>
<b>I. Rappel sur la notion du multiplexage :</b>	<b>3</b>
I.1 Multiplexage temporel (TDM) :	3
I.2 Multiplexage fréquentiel (FDM) :	4
I.3 Limitation du FDM et la nécessité d'utilisation de la OFDM :	5
<b>II. Principe de l'OFDM :</b>	<b>6</b>
II.1 Définition du OFDM :	6
II.2 Utilisation du modem OFDM :	7
II.3 Schéma bloc du modem OFDM :	7
<b>III. Description mathématique :</b>	<b>8</b>
III.1 Notion d'orthogonalité :	8
III.2 Préfixe cyclique :	9
<b>IV. Avantages et limitations :</b>	<b>9</b>
IV.1 Avantages :	9
IV.2 Limitations :	10
<b>Partie 2 : Modélisation d'un modulateur et démodulateur OFDM</b>	<b>10</b>
<b>I. OFDM avec porteuses modulés par la QPSK</b>	<b>10</b>
I.1 Schéma du modulateur et démodulateur OFDM avec porteuses modulés par la QPSK sur Simulink	10
I.1.1 Paramètres des blocks utilisés	10
<b>II. OFDM avec porteuses modulés par la 16-PSK</b>	<b>14</b>
II.1 Schéma du modulateur et démodulateur OFDM avec porteuses modulés par la 16-PSK sur Simulink	14
II.1.1 Paramètres des blocks utilisés	14
<b>ETUDE DES PERFORMANCES DU MODEM OFDM :</b>	<b>19</b>
<b>I. Objectif :</b>	<b>19</b>
<b>II. Encombrement spectrale:</b>	<b>19</b>
<b>III. Constellation :</b>	<b>20</b>
<b>IV. TEB:</b>	<b>23</b>
<b>CONCLUSION :</b>	<b>24</b>

## **INTRODUCTION :**

Le modem OFDM joue un rôle crucial dans les systèmes de communication modernes en permettant une transmission simultanée de plusieurs flux de données à des vitesses élevées sur un canal de communication limité en bande passante, tout en offrant une résistance accrue aux interférences et la capacité de correction d'erreurs.

## **PARTIE 1 : ETUDE THEORIQUE DU MODEM OFDM**

### **I. Rappel sur la notion du multiplexage :**

Le multiplexage numérique est une technique qui permet de combiner plusieurs signaux numériques en un seul canal de transmission. Cette technique est souvent utilisée après la modulation numérique car elle permet de transmettre plusieurs signaux numériques sur une seule porteuse modulée.

En d'autres termes, la modulation numérique permet de coder une information numérique sur une onde porteuse, tandis que le multiplexage numérique permet de combiner plusieurs signaux modulés sur une même porteuse pour économiser la bande passante et maximiser l'utilisation du canal de transmission.

En utilisant le multiplexage numérique, plusieurs signaux numériques peuvent être transmis simultanément sur une même fréquence porteuse. Cela permet d'optimiser l'utilisation du canal de transmission et de réduire les coûts de communication.

Par conséquent, l'utilisation du multiplexage numérique après la modulation numérique est une pratique courante dans les systèmes de communication numériques modernes pour maximiser l'efficacité et la capacité de transmission des données.

#### **I.1 Multiplexage temporel (TDM) :**

Le multiplexage temporel est le multiplexage le plus systématiquement utilisé en télécommunications. On utilise les espaces qu'il y a entre deux échantillons successifs d'un signal modulé (PAM ou PPM) pour y mettre les échantillons d'un autre signal.

On peut multiplexer plusieurs signaux échantillonnés :  $m_1(t)$ ,  $m_2(t)$ , ...,  $m_N(t)$ , en insérant leurs échantillons sur une trame temporelle commune.

Chaque signal à transmettre est échantillonné par une porteuse de même fréquence mais décalé dans le temps.

Si  $T_e$  est fixée, la largeur de l'impulsion détermine le nombre de signaux possibles à transmettre.

Afin d'éviter les interférences, les impulsions doivent être espacées un minimum. Les différents échantillons provenant de diverses sources se suivent dans un ordre rigoureux

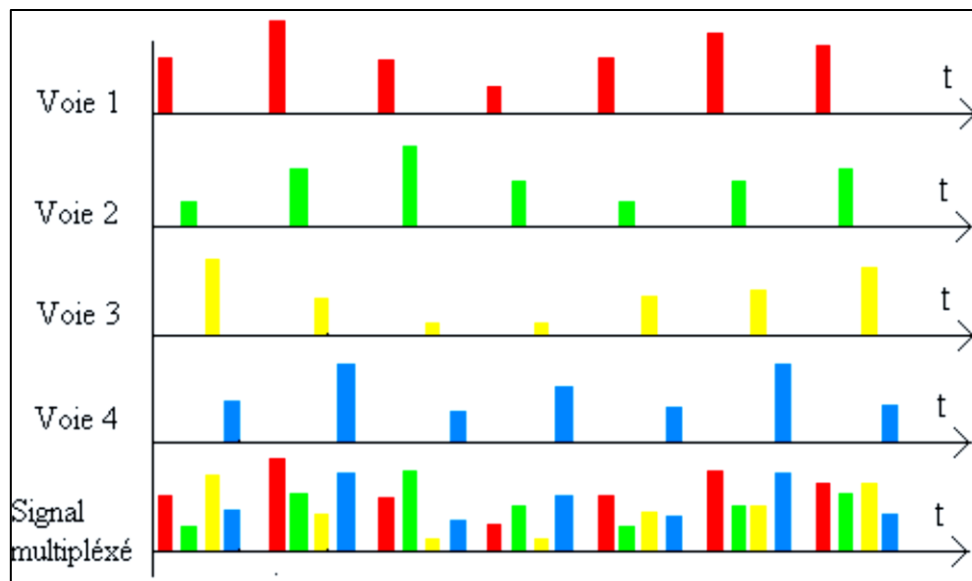


Figure 1: multiplexage temporel

## I.2 Multiplexage fréquentiel (FDM) :

Le Multiplexage Fréquentiel par Division de Fréquence (FDM - Frequency Division Multiplexing) est une technique de communication qui permet de transmettre plusieurs signaux simultanément sur un canal de transmission en utilisant différentes bandes de fréquences.

Le principe du FDM est de diviser la bande passante disponible en plusieurs canaux de fréquences différents, et d'attribuer chaque canal à un signal spécifique à transmettre. Chaque signal est alors modulé en amplitude ou en phase sur sa bande de fréquence spécifique, puis tous les signaux modulés sont combinés pour former un signal multiplexé.

Le signal multiplexé est ensuite transmis sur un canal unique, et les signaux individuels peuvent être séparés à l'autre extrémité de la ligne à l'aide d'un dispositif de démultiplexage. Chaque canal est ensuite démodulé pour récupérer le signal original.

Le FDM est largement utilisé dans de nombreuses applications de télécommunications, notamment la transmission de signaux téléphoniques, la diffusion de signaux de télévision, la transmission de données par modem, la transmission de signaux radio et la communication satellitaire.

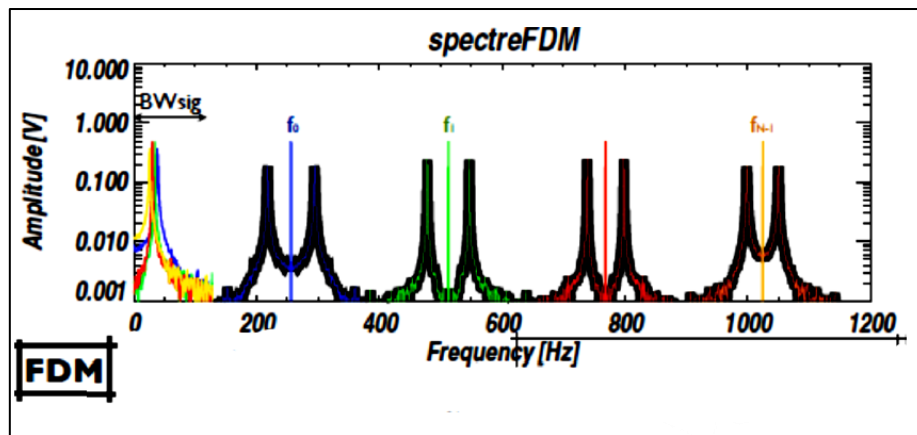


Figure 2 :multiplexage frequentiel

### I.3 Limitation du FDM et la nécessité d'utilisation de la OFDM :

Bien que la FDM présente plusieurs avantages, elle présente également certaines limitations en termes d'optimisation de la bande passante et de la bande de garde.

Voici quelques-unes des limitations du FDM en termes d'optimisation de la bande passante et de la bande de garde :

- Utilisation inefficace de la bande passante : FDM utilise une large bande passante pour transmettre plusieurs signaux. Cela peut être inefficace lorsque les canaux individuels ne sont pas entièrement utilisés.
- Sensibilité aux interférences : FDM est sensible aux interférences inter-canaux, ce qui peut causer des distorsions et des erreurs de transmission.
- Difficulté de synchronisation : Dans FDM, chaque canal doit être séparé à l'extrémité de réception. Cela peut être difficile à réaliser en raison des variations des délais de propagation dans différents canaux.

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une technique plus avancée qui surmonte certaines de ces limitations de FDM. Dans OFDM, la large bande passante disponible est divisée en plusieurs sous-porteuses orthogonales (c'est-à-dire qu'elles sont mutuellement orthogonales) qui sont utilisées pour transmettre les données. Les sous-porteuses sont étroitement espacées les unes des autres et chaque sous-porteuse transporte une petite quantité de données.

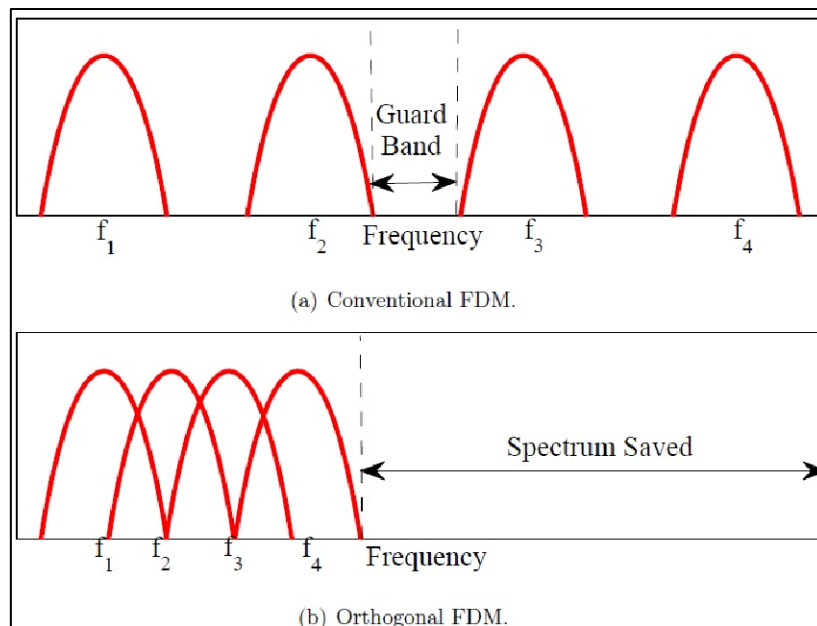


Figure 3: Comparaison entre FDM et OFDM

## II. Principe de l'OFDM :

### II.1 Définition du OFDM :

Le principe de l'OFDM consiste à diviser sur un grand nombre de porteuses le signal numérique que l'on veut transmettre. Comme si l'on combinait le signal à transmettre sur un grand nombre de systèmes de transmission (exemple : des émetteurs) indépendants et à des fréquences différentes.

Pour que les fréquences des porteuses soient les plus proches possibles et ainsi transmettre le maximum d'information sur une portion de fréquences donnée, l'OFDM utilise des porteuses orthogonales entre elles. Les signaux des différentes porteuses se chevauchent mais grâce à l'orthogonalité n'interfèrent pas entre elles. Le signal à transmettre est généralement répété sur différentes fréquences porteuses. Ainsi dans un canal de transmission avec des chemins multiples où certaines fréquences seront détruites à cause de la combinaison destructive de chemins, le système sera tout de même capable de récupérer l'information perdue sur d'autres fréquences porteuses qui n'auront pas été détruites. Chaque porteuse est modulée indépendamment en utilisant des modulations numériques : QPSK, QAM-16, QAM-64, ...

Ce principe permet de limiter l'interférence entre symboles. Pour l'éliminer, on peut ajouter un intervalle de garde (c'est-à-dire une période pendant laquelle il n'y a aucune transmission) après chaque symbole émis très grand devant le délai de transmission (la vitesse de la lumière multipliée par la distance séparant l'émetteur et le récepteur).

## II.2 Utilisation du modem OFDM :

Le modem OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) est une technologie de modulation utilisée dans les réseaux de télécommunications pour transmettre des données numériques à haute vitesse.

- La télédiffusion numérique terrestre (DVB-T, DVB-H)
- La radiodiffusion numérique terrestre DAB.
- Les réseaux sans-fils basé sur les normes 802.11a, 802.11g, 802.11n, 802.11ac et 802.11ax (Wi-Fi), 802.16 (WiMAX) et HiperLAN
- Les réseaux mobiles de nouvelles générations (LTE, 4G, 5G) qui utilisent une technique d'accès multiple basée sur l'OFDM appelée OFDMA : Orthogonal Frequency-Division Multiple Access.

## II.3 Schéma bloc du modem OFDM :

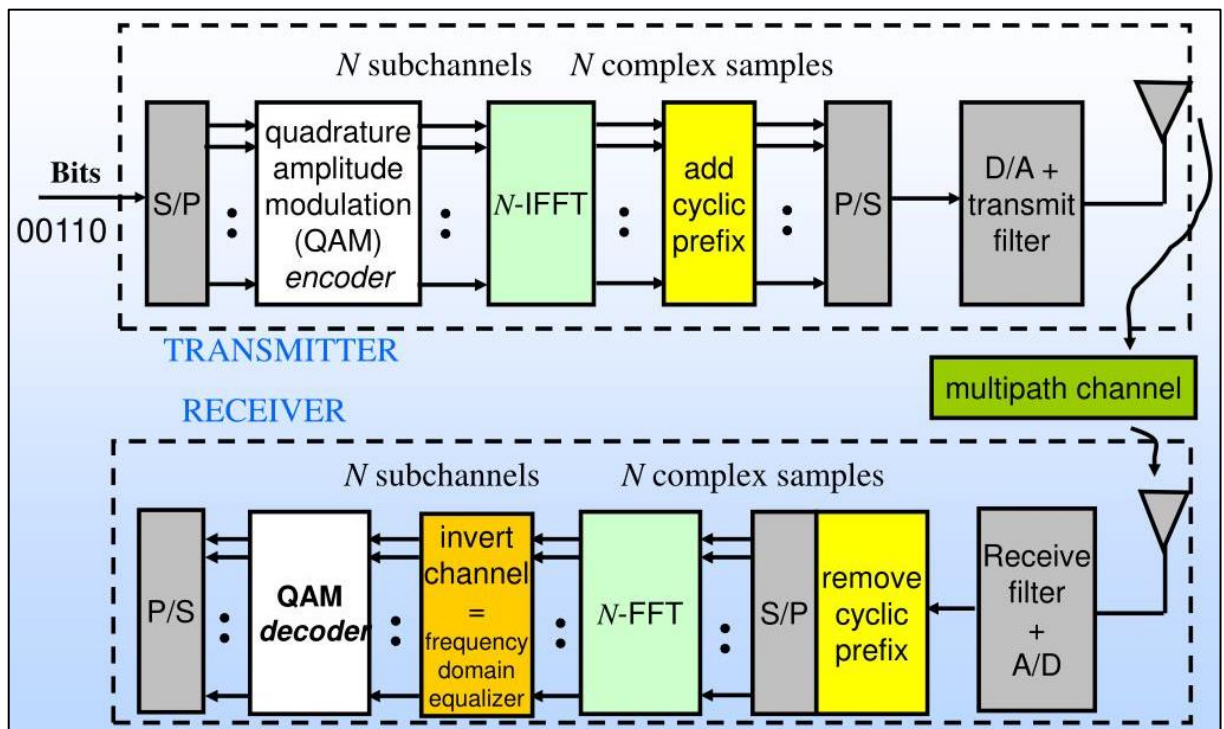


Figure 4: Schéma bloc du modem OFDM

**S/P (Sérial à Parallèle) :** Cette étape consiste à convertir les données numériques en un format série en données parallèles. Les données sont regroupées en un certain nombre de sous-porteuses qui seront utilisées pour la transmission.

**QAM (Modulation d'amplitude en quadrature) :** Ensuite, chaque sous-porteuse est modulée avec des symboles de données en utilisant une technique de modulation en amplitude en quadrature. La modulation QAM permet de transmettre plus d'informations sur une même bande passante.

**IFFT (Transformée de Fourier inverse) :** Après la modulation QAM, chaque sous-porteuse est convertie en une forme d'onde dans le domaine temporel. Pour cela, on utilise une transformée de Fourier inverse qui convertit les données du domaine fréquentiel au domaine temporel.

**Préfixe cyclique :** Afin de réduire les interférences inter-symboles, un préfixe cyclique est ajouté à la fin de chaque sous-porteuse. Ce préfixe est un morceau de la fin de l'onde qui est répétée au début de chaque symbole, créant ainsi un espace sans interférence entre les symboles.

**P/S (Parallèle à série) :** Cette étape consiste à convertir les données parallèles de chaque sous-porteuse en données sérielles pour la transmission.

**D/A + Filtre de transmission :** Les données sérielles sont converties en signaux analogiques via un convertisseur numérique-analogique (D/A). Un filtre de transmission est également utilisé pour éliminer les fréquences hors bande et s'assurer que les signaux transmis sont conformes aux exigences réglementaires.

### III. Description mathématique :

- L'équivalent passe-bas d'un signal OFDM est exprimé ainsi :

$$v(t) = \sum_{k=0}^{N-1} I(k) e^{i2\pi kt/T}, 0 < t < T$$

Où  $\{I_k\}$  sont les symboles de donnée,  $N$  est le nombre de sous-porteuses et  $T$  la durée du bloc OFDM.

La formule décrit le signal OFDM dans le temps continu pour une durée d'un bloc OFDM  $T$ . Elle se compose d'une somme de  $N$  sous-porteuses, où chaque sous-porteuse est modulée en amplitude et en phase par un symbole de donnée  $I_k$ .

La fréquence de chaque sous-porteuse est déterminée par  $2\pi k/T$ , où  $k$  est l'index de la sous-porteuse. Le signal de chaque sous-porteuse est multiplié par le symbole de donnée correspondant  $I_k$ , puis est sommé pour produire le signal OFDM final.

#### III.1 Notion d'orthogonalité :

Dans le contexte de la communication numérique, l'orthogonalité est une notion importante pour la conception des systèmes de transmission. En particulier, dans le cas du modem OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), l'orthogonalité est un aspect clé de sa structure.

L'orthogonalité des sous-porteuses est obtenue en utilisant une transformation mathématique appelée transformée de Fourier discrète (DFT). Cette transformation permet de convertir un signal temporel en un signal fréquentiel. Les sous-porteuses sont alors générées en sélectionnant des fréquences spécifiques dans le spectre fréquentiel du signal transformé. Les fréquences sélectionnées sont choisies de manière à ce qu'elles soient orthogonales les unes aux autres.



- L'espacement entre les porteuses de  $1/T$  Hz, rend les sous-porteuses orthogonales entre elles ; cette propriété est exprimée ainsi :

$$\frac{1}{T} \int_0^T \left( e^{\frac{i2\pi k_1 t}{T}} \right) * \left( e^{\frac{i2\pi k_2 t}{T}} \right) dt = \frac{1}{T} \int_0^T e^{i2\pi(k_2 - k_1)t/T} dt = \begin{cases} 1, & k_1 = k_2 \\ 0, & k_1 \neq k_2 \end{cases}$$

### III.2 Préfixe cyclique :

Le préfixe cyclique (CP - Cyclic Prefix en anglais) est une technique utilisée dans les systèmes OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) pour éviter les interférences intersymboles (ISI - Inter-Symbol Interference) qui peuvent survenir lorsque les symboles se chevauchent. L'ISI peut se produire lorsque le signal transmis subit des distorsions dues à des réflexions ou des échos.

Le CP consiste à ajouter une copie de la fin du symbole OFDM à son début. Cela crée une redondance qui permet au récepteur de reconstruire le signal sans ISI, même si des échos ou des interférences sont présents. En effet, le CP augmente la durée du symbole OFDM, ce qui permet de réduire l'effet de l'ISI.

- Pour éviter l'interférence inter-symboles dans un environnement de propagation multi chemins on ajoute un intervalle de garde  $T_g$   
Le signal OFDM avec le cyclique préfixe devient donc :

$$v(t) = \sum_{k=0}^{N-1} I(k) e^{i2\pi k t / T}, \quad -T_g < t < T$$

- Enfin le signal OFDM est représenté ainsi :

$$s(t) = \sum_{k=0}^{N-1} |I_k| \cos(2\pi[f_c + k/T]t + \arg[I_k]).$$

## IV. Avantages et limitations :

### IV.1 Avantages :

- Résistance aux interférences : OFDM utilise une technique de multiplexage en fréquence orthogonale, qui permet de séparer les signaux en différentes sous-porteuses orthogonales. Cela rend le signal plus résistant aux interférences, car une interférence sur une sous-porteuse n'affecte pas les autres sous-porteuses.
- Le spectre OFDM est composé de sous-porteuses étroites superposées. Cela rend l'utilisation efficace du spectre de fréquences par rapport à la méthode FDM traditionnelle.
- OFDM utilise le préfixe cyclique pour éliminer l'ISI (Inter Symbol Interference) trouvé dans l'environnement de canal multivoie. Il est donc robuste à l'évanouissement par trajets multiples.

- Les algorithmes d'estimation et de correction du décalage temporel sont très simples grâce à la technique de corrélation.

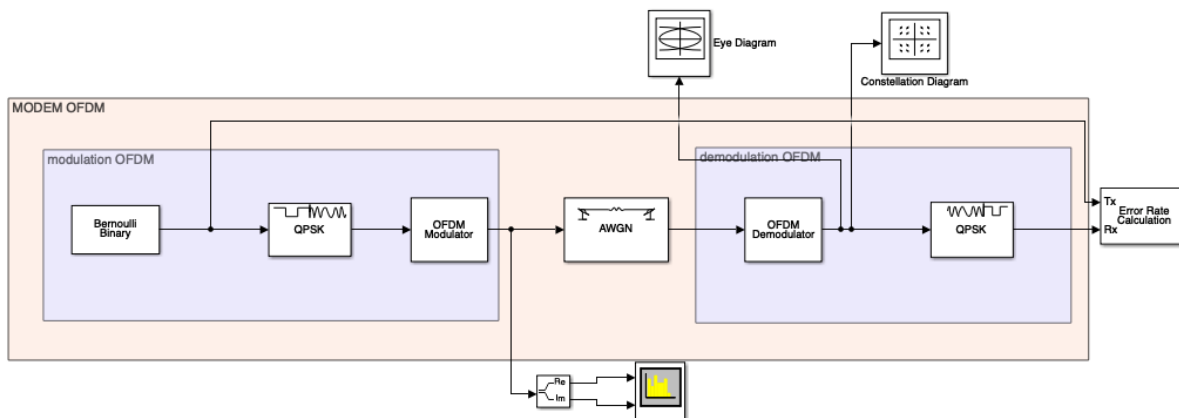
## IV.2 Limitations :

- Gigue d'horloge : Le modem OFDM utilise une horloge pour synchroniser la transmission des données. Si cette horloge n'est pas suffisamment précise, cela peut entraîner une distorsion du signal et des erreurs de transmission.
- Latence : L'utilisation de paquets de données plus petits dans les systèmes OFDM peut entraîner une latence accrue, ce qui peut affecter la qualité de la communication en temps réel telle que la voix sur IP, la vidéoconférence, etc.
- Utilisation de la bande passante : Le modem OFDM utilise une bande passante relativement large, ce qui peut entraîner une utilisation inefficace de la bande passante dans les environnements à faible occupation du spectre.

## PARTIE 2 : MODELISATION D'UN MODULATEUR ET DEMODULATEUR OFDM

### I. OFDM avec porteuses modulés par la QPSK

#### I.1 Schéma du modulateur et démodulateur OFDM avec porteuses modulés par la QPSK sur Simulink



##### I.1.1 Paramètres des blocks utilisés

Bernoulli Binary :

**Bernoulli Binary Generator**

Generate random Bernoulli distributed binary numbers.

[Source code](#)

**Parameters**

Probability of zero:

Source of initial seed:

Initial seed:

Sample time:

Samples per frame:

Output data type:

Simulate using:

OK Cancel Help Apply

Modulateur QPSK :

**Main Data Types**

**Parameters**

Input type:

Constellation ordering:

Phase offset (rad):

View Constellation

OFDM Modulator :

Parameters

FFT length: 128

Number of guard bands: [16; 16]

☐ Insert DC null

☐ Pilot input port

Cyclic prefix length: 16

☐ Apply raised cosine windowing between OFDM symbols

Number of OFDM symbols: 1

Number of transmit antennas: 1

Simulate using: Interpreted execution

AWGN :

Initial seed: 42

Mode: Signal to noise ratio (Eb/No)

Eb/No (dB): EbNo

Number of bits per symbol: 192

Input signal power, referenced to 1 ohm (watts): 1

Symbol period (s): 64

OFDM Demodulator :

FFT length: 128

Number of guard bands: [16; 16]

☐ Remove DC subcarrier from output

☐ Pilot output port

Cyclic prefix length: 16

Number of OFDM symbols: 1

Number of receive antennas: 1

Simulate using: Interpreted execution

Démodulateur QPSK :

Main
Data Types

Parameters

Input type: Bit

Constellation ordering: Gray

Phase offset (rad):  $\pi/4$

View Constellation

Error Rate Calculation :

Parameters

Receive delay: 0

Computation delay: 0

Computation mode: Entire frame

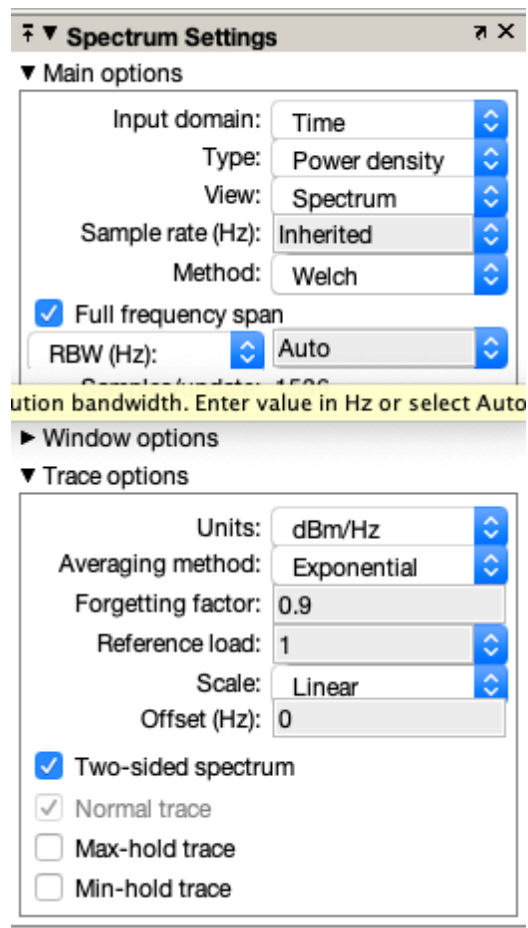
Output data: Workspace

Variable name: outsiml

☐ Reset port

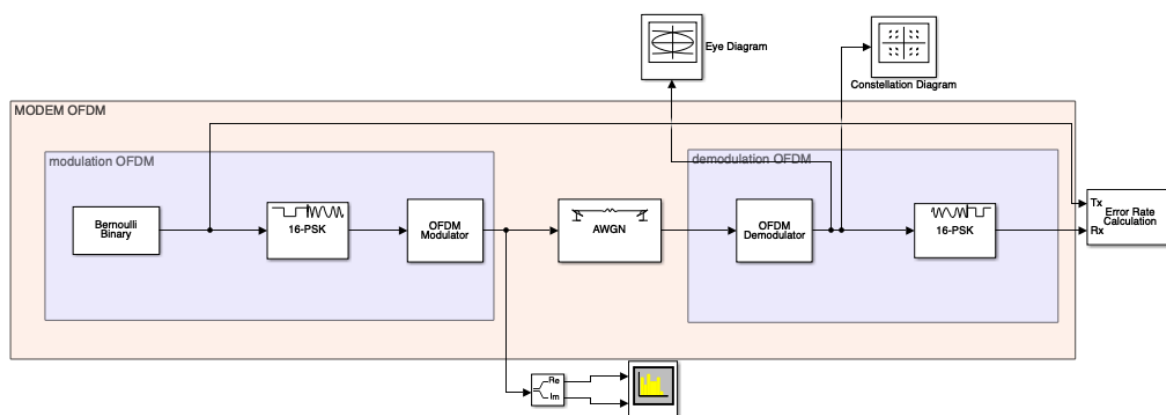
☐ Stop simulation

Spectrum analyser :



## II. OFDM avec porteuses modulés par la 16-PSK

### II.1 Schéma du modulateur et démodulateur OFDM avec porteuses modulés par la 16-PSK sur Simulink



#### II.1.1 Paramètres des blocks utilisés

Bernoulli Binary :

**Bernoulli Binary Generator**

Generate random Bernoulli distributed binary numbers.

[Source code](#)

**Parameters**

Probability of zero: 0.5

Source of initial seed: Parameter

Initial seed: 42

Sample time:  $1/(192 \times 10^{-3})$

Samples per frame: 192

Output data type: double

Simulate using: Interpreted execution

OK Cancel Help Apply

Modulateur 16-PSK :

Main Data Types

**Parameters**

M-ary number: 16

Output type: Bit

Decision type: Hard decision

Constellation ordering: Gray

Phase offset (rad):  $\pi/M$

OFDM Modulator :

**OFDM Modulator**

Apply OFDM modulation to the input signal. Enable pilot signal input to assign it into designated subcarriers prior to modulation.

[Source code](#)

**Parameters**

FFT length:

Number of guard bands:

☐ Insert DC null

☐ Pilot input port

Cyclic prefix length:

☐ Apply raised cosine windowing between OFDM symbols

Number of OFDM symbols:

Number of transmit antennas:

Simulate using:

AWGN :

Initial seed:

Mode:

Eb/No (dB):

Number of bits per symbol:

Input signal power, referenced to 1 ohm (watts):

Symbol period (s):

OFDM Demodulator :



**OFDM Demodulator**

Apply OFDM demodulation to the input signal. Enable pilot signal output to separate it from the data signal after demodulation.

[Source code](#)

**Parameters**

FFT length:

Number of guard bands:

☐ Remove DC subcarrier from output

☐ Pilot output port

Cyclic prefix length:

Number of OFDM symbols:

Number of receive antennas:

Simulate using:

Demodulateur 16-PSK :

**Demodulateur 16-PSK**

Main Data Types

**Parameters**

M-ary number:

Output type:

Decision type:

Constellation ordering:

Phase offset (rad):

Error Rate Calculation :

**Error Rate Calculation**

**Parameters**

Receive delay:

Computation delay:

Computation mode:

Output data:

Variable name:

☐ Reset port

☐ Stop simulation

Spectrum analyser :

▼ Spectrum Settings

▼ Main options

Input domain:

Time

▼

Type:

Power density

▼

View:

Spectrum

▼

Sample rate (Hz):

Inherited

▼

Method:

Welch

▼

☒ Full frequency span

RBW (Hz):

▼

Auto

▼

Resolution bandwidth. Enter value in Hz or select Auto

► Window options

▼ Trace options

Units:

dBm/Hz

▼

Averaging method:

Exponential

▼

Forgetting factor:

0.9

▼

Reference load:

1

▼

Scale:

Linear

▼

Offset (Hz):

0

▼

☒ Two-sided spectrum

☒ Normal trace

☐ Max-hold trace

☐ Min-hold trace

## PARTIE 3 : ETUDE DES PERFORMANCES DU MODEM OFDM :

### I. Objectif :

Dans cette partie nous allons évaluer et comparer les performances des modulations M-PSK à des valences supérieures à 4. Nous allons établir une étude comparative en terme du TEB et de la probabilité d'erreur par symbole. Les valences considérer dans cette partie sont : [4, 16].

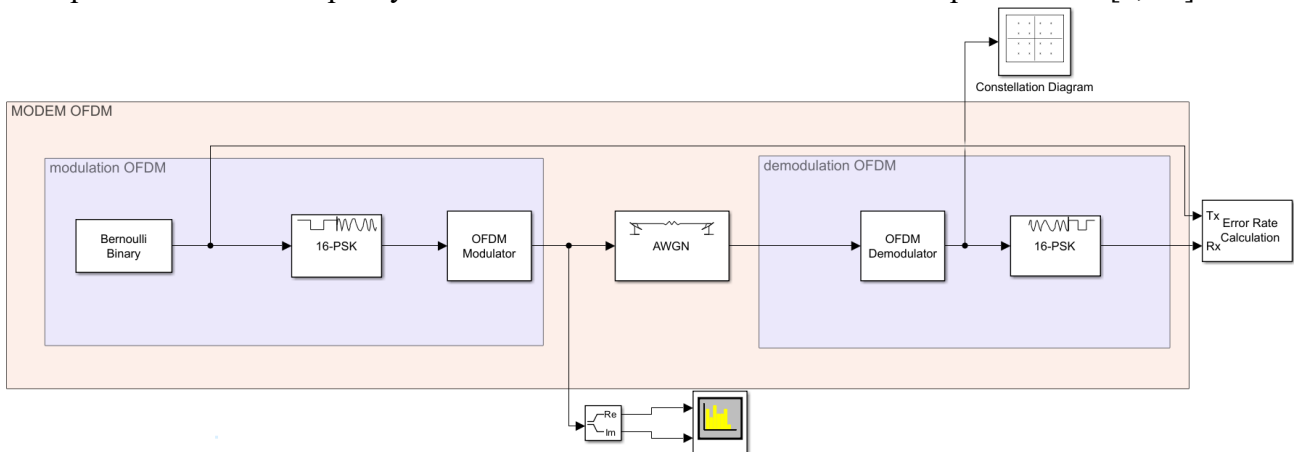


Figure 1 :modem OFDM

On utilisant ce modem au-dessus pour les études qu'on va faire après .

### II. Encombrement spectrale:

Au niveau d'encombrement spectrale après la simulation utilisant le bloc Spectrum Analyzer dans Simulink pour représenter les spectres de la sortie de modulation ( partie réel et imaginaire ) on trouve ces figures suivant :

Pour QPSK :

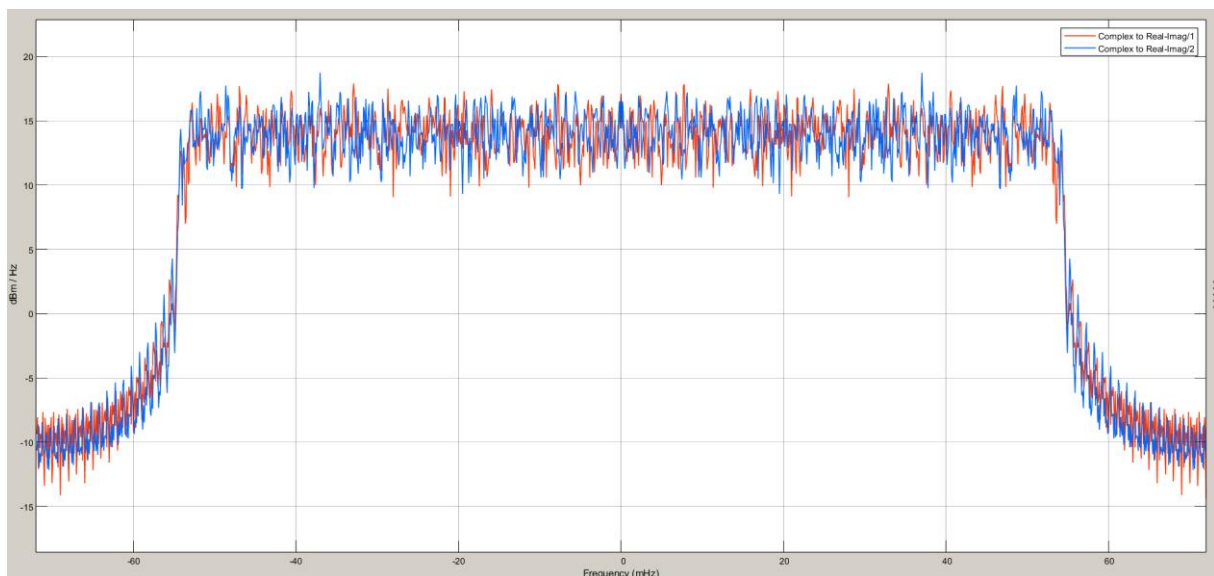


Figure 2: spectre du signal OFDM module cas de QPSK

Pour 16PSK :

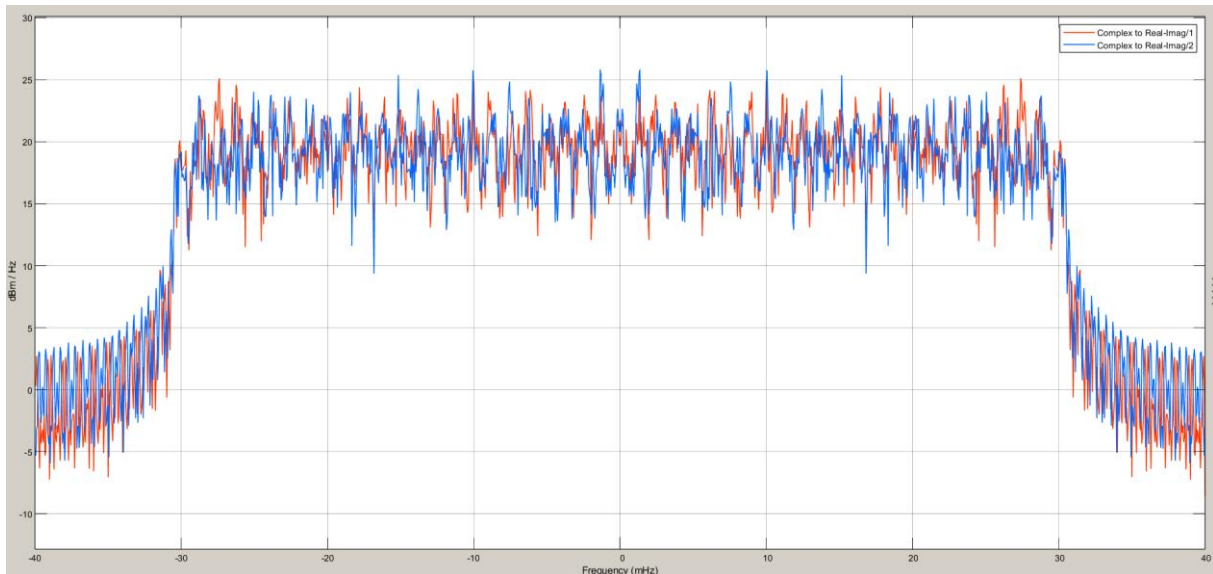


Figure 3 spectre du signal OFDM module cas de 16-PSK

On remarque bien que l'encombrement spectral Du cas de QPSK est supérieur à celle de 16PSK la principale différence entre l'encombrement spectral de OFDM QPSK (Quadrature Phase Shift Keying) et OFDM 16PSK (Phase Shift Keying) est la manière dont les données sont modulées sur les sous-porteuses.

QPSK utilise quatre phases différentes pour moduler les données, ce qui signifie que chaque sous-porteuse peut transporter deux bits d'information. D'autre part, 16PSK utilise 16 phases différentes pour moduler les données, ce qui signifie que chaque sous-porteuse peut transporter 4 bits d'information.

Cela signifie que pour transmettre la même quantité de données, OFDM 16PSK nécessitera moins de sous-porteuses que OFDM QPSK, ce qui signifie que l'encombrement spectral de OFDM 16PSK sera inférieur à celui de OFDM QPSK. Par conséquent, OFDM 16PSK peut être plus efficace en termes d'utilisation de la bande passante.

### III. Constellation :

La simulation nous donne ces figures :

Cas de QPSK :

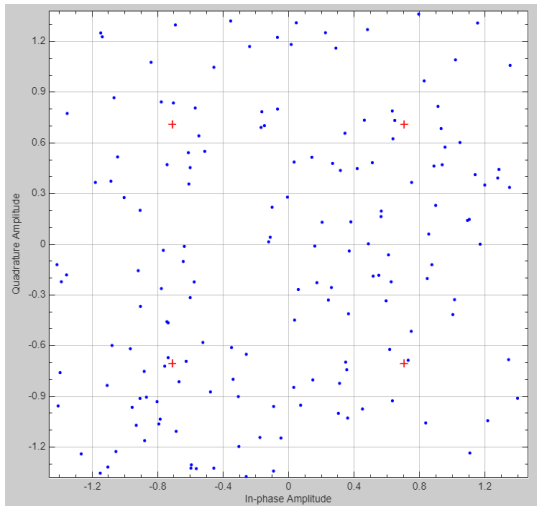


Figure 4: Constellation QPSK avec rapport signal bruit de 10dB e la différenciation des états est impossible

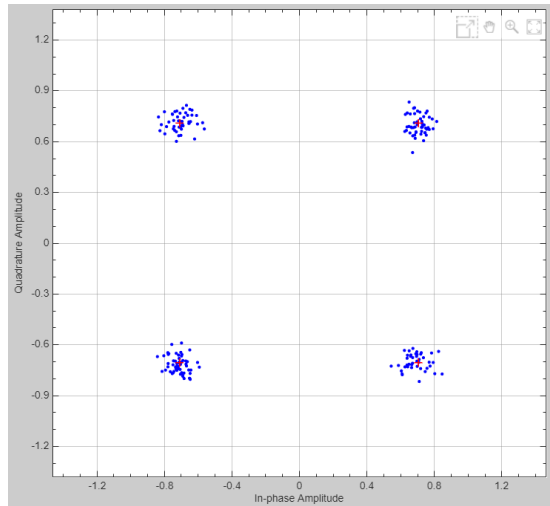


Figure 5 : Constellation QPSK avec rapport signal bruit de 30dB les différents états sont bien séparés

### Cas de 16PSK :

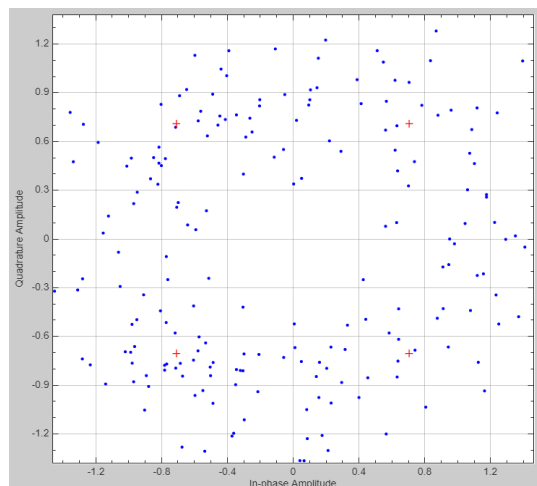


Figure 6 : Constellation 16PSK avec rapport signal bruit de 10dB e la différenciation des états est impossible

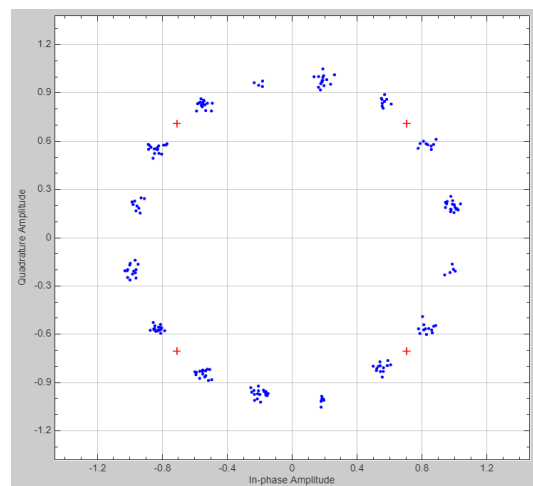


Figure 7: Constellation 16PSK avec rapport signal bruit de 30dB les différents états sont bien séparés

Pour les résultats du diagramme de constellation on conclut que L'augmentation du nombre d'états permet, à débit constant, d'occuper une bande BW de plus en plus faible, ce qui permet d'augmenter de pair l'efficacité spectrale . Inversement, la robustesse de ces modulations diminue avec le nombre d'états, surtout en présence de bruit.

La porteuse modulée voit son amplitude fluctuer, de même que sa phase. Il en résulte que les constellations réelles sont en fait formées de nuages de points.

#### IV. Qualité de transmission(Diagramme de l'œil):

Cas de QPSK:

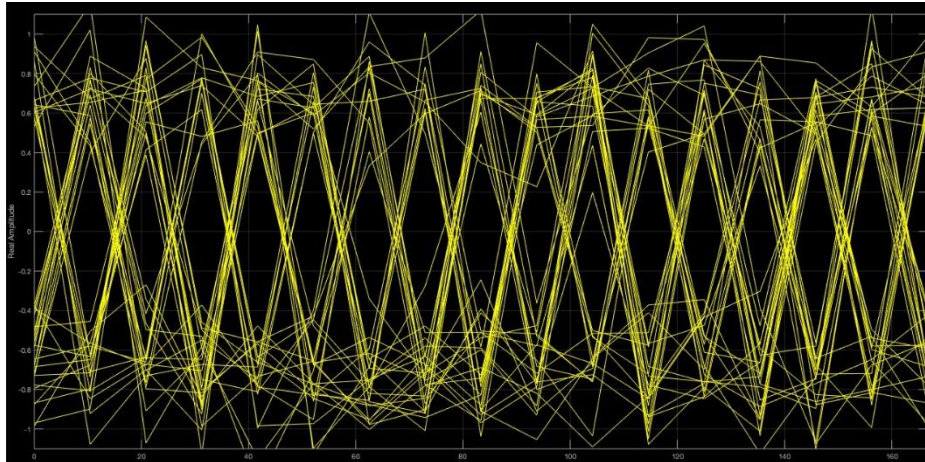


Figure 8: Diagramme de l'œil cas OFDM-QPSK

CAS de 16PSK :

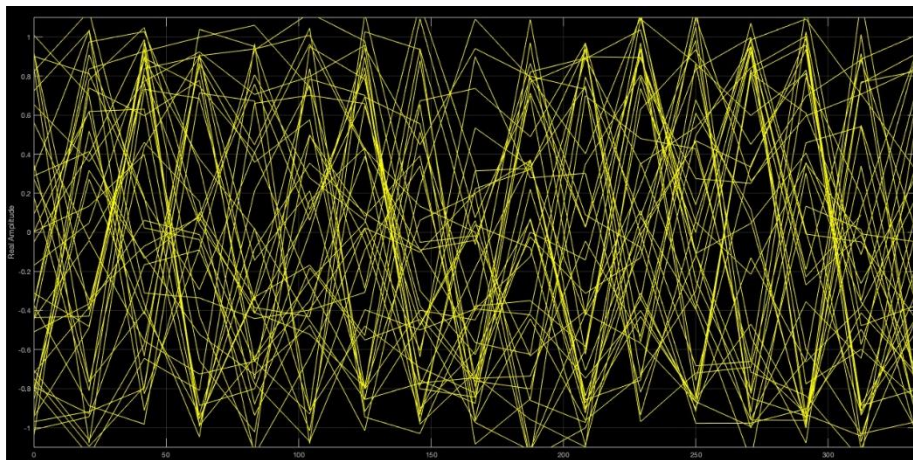


Figure 9: Diagramme de l'œil cas OFDM-16PSK

Le diagramme de l'œil est une représentation graphique des signaux transmis, qui permet d'analyser la qualité de la transmission. Il est constitué de plusieurs traces superposées, qui représentent des cycles de transmission successifs. Le centre du diagramme représente la valeur moyenne du signal, tandis que les bords du diagramme représentent les variations maximales.

D'après les figures précédentes on peut remarquer que :

- Diagramme de l'œil QPSK : Dans un diagramme de l'œil QPSK, on peut voir deux traces superposées, qui représentent les deux canaux de transmission (in-phase et

quadrature) utilisés pour moduler les données. Les traces sont bien séparées, ce qui indique que la transmission est de bonne qualité et que les signaux sont clairement discernables.

- Diagramme de l'œil 16PSK : Dans un diagramme de l'œil 16PSK, on peut voir 16 traces superposées, qui représentent les 16 phases différentes utilisées pour moduler les données. Les traces sont plus proches les unes des autres que dans un diagramme de l'œil QPSK, ce qui indique que la transmission est plus complexe et peut être plus sensible aux interférences et aux distorsions.

## V. TEB:

pour que on peut connaitre Influence du bruit sur le taux d'erreur binaire on utilise ce script pour variée le numéro de valence et aussi LE EnBo et fft size pour les blocks de OFDM :

```
clear all;
close all;
SNR=-5:5:20;
Mv=[4 16];
for j=1:length(Mv)
    M=Mv(j)
    TEBPSK=zeros(1,length(SNR));
    if M==4
        fft=128;
        a=16;
        b=16;
    elseif M==16
        fft=64;
        a=8;
        b=8;
    end
    for i=1:length(SNR)
        EbNo=SNR(i);
        sim('ofdm16');
        TEBPSK(i)=outsiml(1);

        if TEBPSK(i)==0
            TEBPSK(i)=1e-6;
        end
    end
    TEBPSK

    figure(1); semilogy(SNR,TEBPSK,'-*');hold on;
end
figure(1); legend('QPSK','16-PSK'); grid on; xlabel('SNR');ylabel('TEB')
```



On donne ci-contre le résultat de script :courbes représentant le taux d'erreur binaire (Bit Error Rate) en fonction du rapport signal bruit (par bit)

Pour un même type de modulation PSK, le BER est d'autant plus faible que le rapport signal bruit est bon.

Par contre, pour un même rapport signal bruit, le BER augmente fortement avec le nombre d'états !!

Une transmission de qualité est plus délicate avec une modulation à grand nombre d'états.

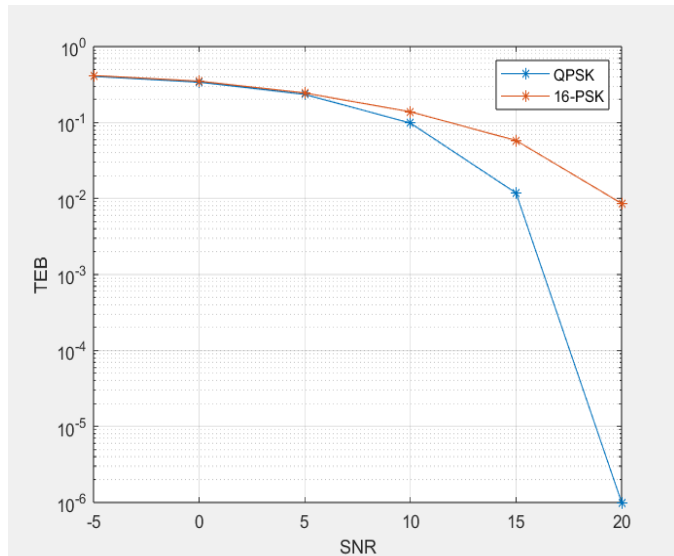


Figure 10: courbes représentant le taux d'erreur binaire (Bit Error Rate) en fonction du rapport signal bruit (par bit)

## CONCLUSION :

En conclusion, l'étude des performances du modem OFDM QPSK et 16PSK est importante pour comprendre les avantages et les limites de ces techniques de modulation numérique dans les systèmes de communication sans fil.

L'OFDM est une technique de modulation très efficace pour les canaux à propagation multipathes, qui permettent une transmission de données à haut débit avec une grande résistance aux interférences.

L'étude des performances a montré que le QPSK et le 16PSK peuvent être utilisés efficacement dans les systèmes OFDM, mais que le choix entre ces deux modulations dépend de la qualité du canal de transmission. Le 16PSK est plus efficace dans les canaux de bonne qualité, tandis que le QPSK est plus résistant aux effets de distorsion de canal.

En fin de compte, le choix de la modulation dépendra des conditions spécifiques de la transmission sans fil, telles que la qualité du canal, la bande passante disponible et les exigences de débit binaire. En comprenant les performances de ces techniques de modulation, les ingénieurs de communication peuvent concevoir des systèmes sans fil plus efficaces et fiables pour répondre aux besoins des utilisateurs.