

III.1. Introduction

Les techniques de modulation basées sur la modulation I/Q ont connu une expansion considérable ces dernières années dans les systèmes de communications mobiles. Citons comme exemples le GSM, aujourd'hui répandu dans le monde entier, et la norme américaine de radiocommunications NADC. La génération de signaux de test pour ces systèmes demande de plus en plus de temps, ne serait-ce qu'en raison de la longue durée d'initiation aux normes correspondantes. La définition de la norme de radiocommunications mobiles de la 3ème génération suscite en outre un besoin de plus en plus urgent de développer également de nouvelles techniques de modulation et d'accès aux canaux. L'objectif de WinIQSIM va plus loin que d'assurer la génération simple et rapide de signaux à modulation numérique. Grâce à un panneau de commande et d'affichage central appelé bloc-diagramme et représentant le synoptique de la génération des signaux, l'utilisateur a toujours une bonne vue d'ensemble du processus de génération des signaux. Tous les éléments intégrés dans le bloc-diagramme, de la source de données à la superposition de brouillages et à la simulation du canal de transmission, en passant par la modulation elle-même, illustrent la structure et le déroulement de la génération des signaux, (figure.III.1). Tout le cycle nécessaire à la configuration d'un signal peut être commandé sur le bloc-diagramme, en sachant toujours d'un coup d'œil à quel niveau de la configuration on travaille à l'instant considéré et quels sont les brouillages alors actifs. Une ligne d'état affichée en haut de la fenêtre principale indique clairement les principaux paramètres momentanés du signal, tels que type de modulation, code, débit de symboles, fonction de filtrage et de fenêtrage ainsi que sur échantillonnage. Bien entendu, tous les paramètres de modulation peuvent être réglés librement et indépendamment pour pratiquement tous les types de modulation, et, bien entendu, toutes les fenêtres de réglage peuvent être juxtaposées à loisir pour configurer de manière optimale l'interface utilisateur. Des possibilités de visualisation dans les domaines temps et fréquence – notamment $i(t)$ et $q(t)$, diagramme vectoriel et spectre – permettent d'effectuer des simulations et d'analyser les propriétés dès la phase de conception initiale de nouveaux systèmes de communication numériques [15].

III.2.Schéma de principe

Le schéma de principe est une partie essentielle de chaque panneau de système principal. Le schéma de principe utilisé affiche le modèle de transmission. Il illustre le flux de signal et permet un contrôle simple et le fonctionnement du programme. Il n'existe que de légères différences entre les schémas synoptiques de la porteuse unique Fonction et la signification du schéma de principe pour l'exécution du programme est le même pour tous les systèmes.

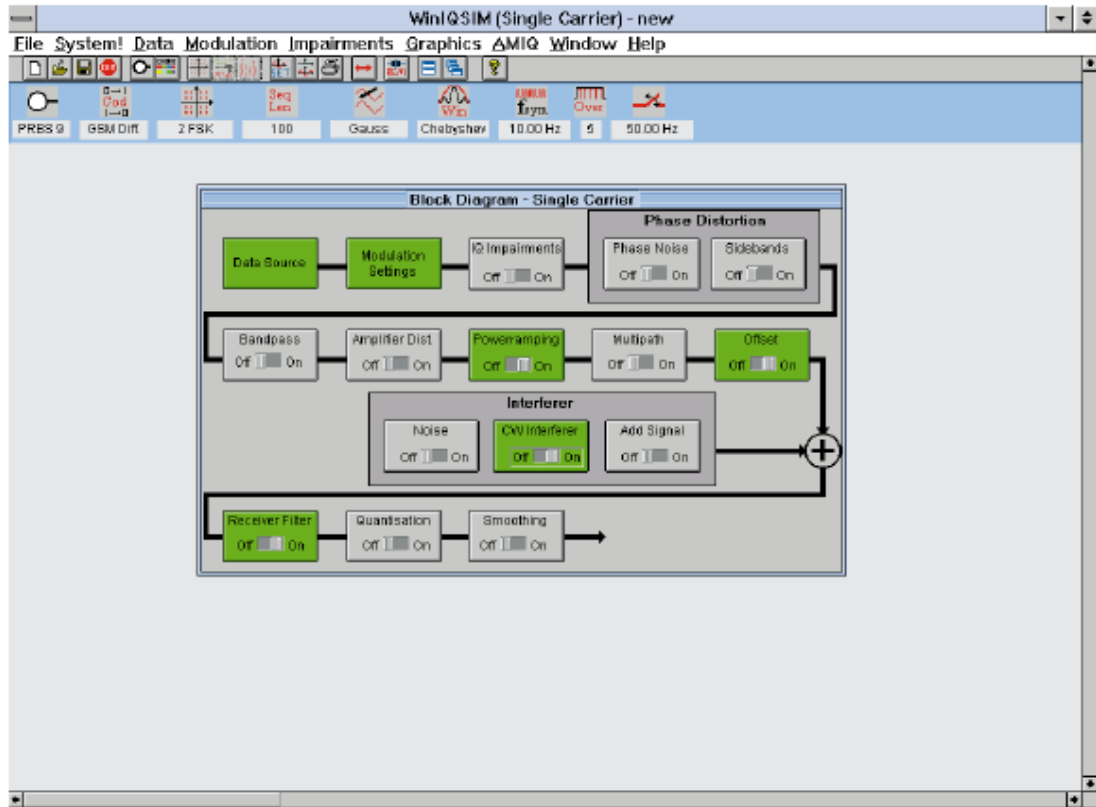


Figure III.1. Processus de génération des signaux [16].

III.2.1. WinIQsim en bref

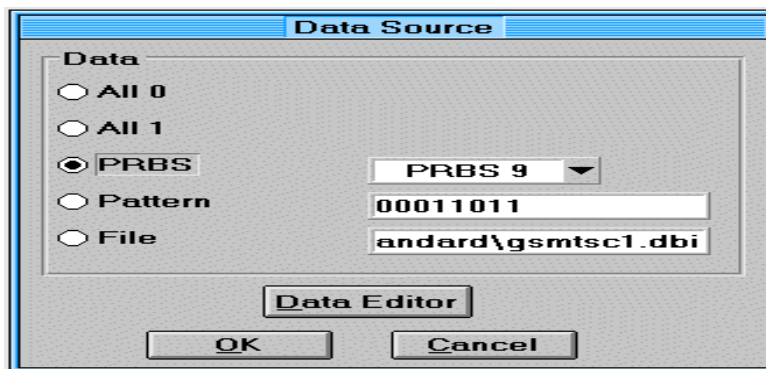
Le logiciel WinIQSIM comporte les différents éléments de la chaîne de transmission en cascade :

- **Data source** : élaboration de la trame numérique à transmettre : des 1, des 0, séquences aléatoire PRBS, une suite définie par l'utilisateur, ou un fichier).
- **Modulations** : choix de la modulation (FSK, PSK, etc...), du codage, du type de filtre, etc...
- **IQ impairment** : déséquilibre des signaux I et Q
- **Phase Noise** : effet du bruit des oscillateurs, PLL et mélangeurs
- **Bandpass Filtre** : Effet des filtres anti-repliement qui limitent la bande du canal
- **Amplifier dist** : effet des non linéarités des amplificateurs sur l'étalement de spectre et parasitage des canaux adjacent (ACPR)
- **Power ramping** : pour certaines normes la gestion de la puissance suit un schéma très précis.
- **Multipath et Offset** : il est possible de simuler l'interférence entre 6 trajets, chacun défini par son délai, son atténuation, etc... Et prendre en compte une variation parasite de porteuse en fréquence et phase.

- **Noise & cw interf.** : Cet élément permet de prendre en compte l'effet d'un bruit blanc de niveau donné, ainsi que qu'une émission parasite à une fréquence particulière.
- **Rec. Filtre, oversampling, smoothing** : prise en compte du filtre en réception, d'un sur échantillonnage et lissage éventuels.

III.2.2.Sélection de la source de données

La source de données binaire à utiliser pour la génération de signaux I / Q est choisi dans le panneau de source de données (premier bloc dans le diagramme). Cinq types de sources de données différentes sont disponibles. Ce sont tous des 0, 1. La source de données souhaitée peut être sélectionnée par un clic de souris sur l'élément souhaité.



FigureIII.2.Source des données [16].

ALL0 : Source des données Toutes 0 envoie une séquence de binaires 0 symboles.

ALL1 : Source des données Tous 1 envoie une séquence de binaire 1 symbole.

PRBS : Cette source de données peut générer des séquences binaires pseudo-aléatoires. Les types PRBS 7, PRBS 9, PRBS 11, 15 PRBS, PRBS 16, 20 PRBS, PRBS 21 et 23 PRBS peut être sélectionné dans le domaine à la droite du bouton PRBS.

Pattern : Un motif de bits peut également être utilisé comme une source de données. Le motif de bits actuellement fixé est indiqué à la droite du bouton Pattern .Pour modifier le motif ou pour définir une nouvelle, cliquez sur la sélection de configuration binaire champ avec la touche gauche de la souris.

Fichier : La source de données peut également être un fichier de données. Le fichier sélectionné est indiqué dans le champ à droite de la Boîte de sélection des fichiers.

III.3. Les différents types de modulation [16]

Les types de modulation sont organisés en groupes. La prochaine amplitude de modulation en quadrature (QAM) et le dernier de tous les procédés utilisant modulation par déplacement de fréquence (FSK).



Figure. III.3. Type de modulation à deux niveaux

III.3.1.La modulation FSK

FSK : Le troisième et dernier groupe est les modes de modulation de fréquence numérique, par déplacement de fréquence (FSK). Avec FSK, la fréquence des symboles d'entrée est décalée. WinIQSIM prend en charge les modes FSK suivantes : MSK, 2FSK, 4FSK et GTFM. L'indice de modulation h de modulation de fréquence numérique est défini comme :

$$h = 2 \cdot \Delta F / f_{symbol} \quad \text{Eq.III.1.} \quad \text{Où}$$

ΔF = écart de fréquence. L'excursion de fréquence est dérivé en tant que

$$\Delta F = h \cdot f_{symbol} / 2 \quad \text{Eq.III.2.}$$

MSK : L'application la plus connue est GSM. Signaux MSK ont une enveloppe continue si la longueur de la séquence est choisie pour être un multiple de quatre. MSK : Minimum Shift Keying est une modulation de fréquence numérique permettant à deux décalages de fréquence. L'indice de modulation (Indice FSK) de MSK est fixé de manière permanente à 1/2. L'indice de FSK ne peut donc être changé pour MSK. L'excursion de fréquence est réglée de MSK à ¼ du débit de symboles [16].

III.3.2. La modulation QAM

Modulations QAM peut être traitée de la même manière que les modulations PSK. QAM : Quadrature amplitude modulation est le deuxième groupe de modulation. Elle utilise la modulation d'amplitude et de phase. Un symbole de modulation ou l'état de modulation représentant plusieurs bits de données d'entrée. Avec 64QAM, par exemple, un symbole de modulation représente six bits de données d'entrée. Le taux de transmission de ces symboles est inférieur au débit binaire d'un facteur de six. WinIQSIM prend en charge les modes de QAM suivantes :

16QAM, QAM-32, 64QAM et 256QAM [12].

III.4. Indice de modulation en numérique

Lorsqu'on module en fréquence une porteuse par un signal modulant sinusoïdal $s(t) = \cos(\Omega t)$ de période $T=1/F$:

- la fréquence instantanée s'écrit : $f(t) = f_0 + k_a \cos(\Omega t)$
- L'excursion en fréquence vaut : $\Delta f = \pm k_a$
- L'indice de modulation m s'écrit : $m = \Delta f / F$

Ce signal FM est, en général, produit par un VCO :

Si le signal modulant est un signal binaire, on étend la définition de l'indice de modulation $m(t)$:

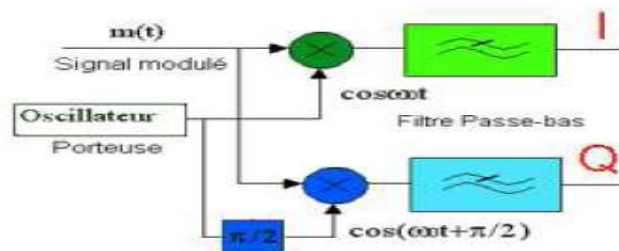


Figure III.4. Réception est de démoduler le signal afin de régénérer les paramètres I et Q.

L'indice de modulation m pour une modulation numérique s'écrit : $m = \Delta f / F = \Delta f \cdot 2T_{\text{bit}} = 2\Delta f / D$. La fréquence instantanée s'écrit alors : $f(t) = f_0 \pm mD/2$ (+ pour un "1" et – pour un "0").

III.4.1. Les paramètres I-Q

L'expression du symbole I est le paramètre en phase avec la porteuse,
 Q le paramètre en quadrature. $M(t) = I \cos(\omega t) + Q \cos(\omega t + \pi/2)$ Eq. III.3

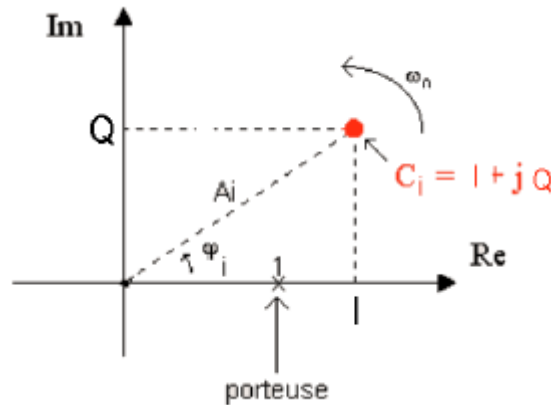


Figure III.5. La représentation graphique du symbole dans le plan complexe.

En cliquant sur le cadre Data source, on sélectionne pattern et on choisit dans la fenêtre un signal modulant constitué de la séquence : (1010110011100011110000)

Pour sélectionner la visualisation de l'amplitude $r(t)$ et de fréquence $f(t)$ du signal modulé pour les 22 bits d'entrée et tracer les 2 courbes :

Graphique R Phi : L'amplitude $r(t)$ reste constante à 1 ; on observe les variations de la phase entre 0° et 180° .

Graphique R F : Ce graphique présente peu d'utilité, on y observe les variations de fréquence en fonction du temps.

III.5. La simulation avec le logiciel WinIQSim

III.5.1. Modulation 2FSK

- Modulation le type 2FSK sans filtre :

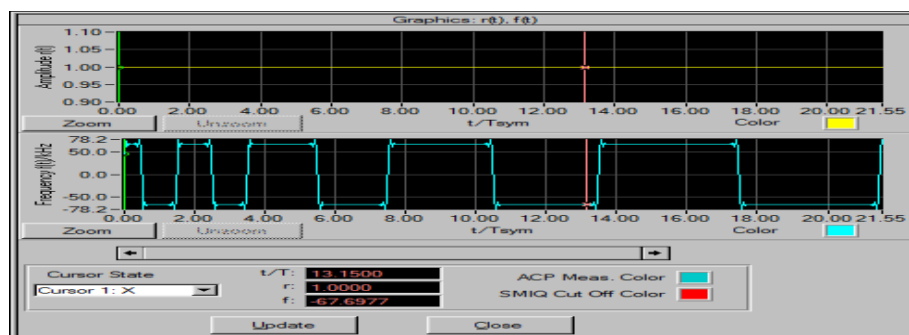


Figure III.6. Le signal $r(t)$ et $f(t)$ de type modulation 2FSK .

En remarque : en théorie sans la présence du filtre, l'amplitude d'un signal de type modulation 2FSK et constant (égale à 1 dans ces simulation), et cette simulation montre une amplitude constante du signal modulé $r(t)$.

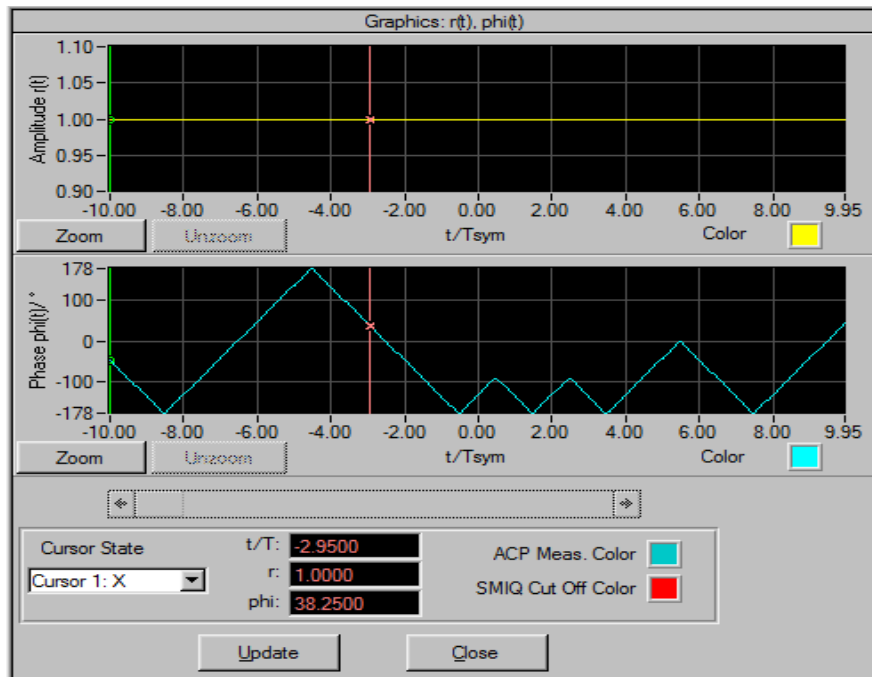


Figure III.7. le signal $r(t)$ et $\phi(t)$.

En remarque sur la figure III.7 : l'amplitude du signal $r(t)$ est constante, le signal $\phi(t)$ triangulaire.

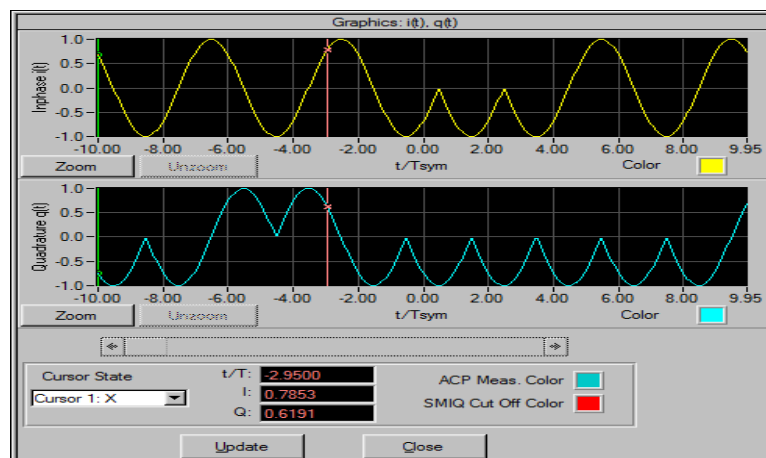


Figure III.8. Le signal $r(t)$ et $q(t)$.

- Modulation le type 2FSK pour les filtres.
- La variation de $r(t)$ et $f(t)$ pour les 3 filtres passe- bas suivants :
 - Filter 5éme order:

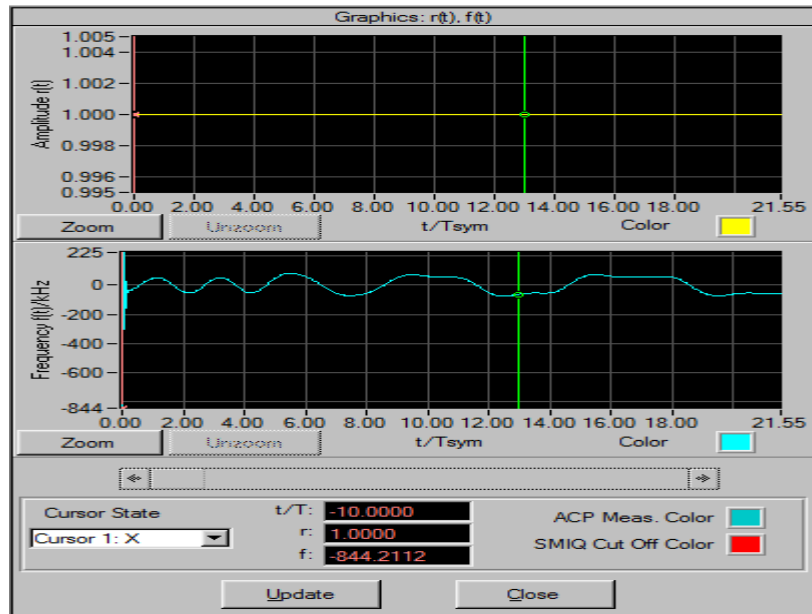


Figure III.9. La variation de $r(t)$ et $f(t)$ pour filtre (Butter Worth) 5éme ordres.

- Filtre en cosinus :

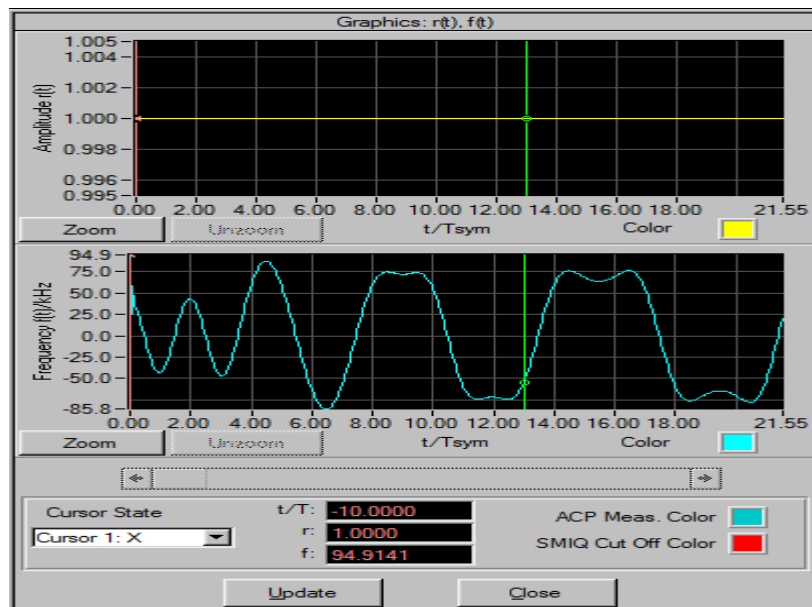


Figure III.10. Variation de $r(t)$ et $f(t)$ pour un filtre cosinus.

➤ filtre gaussien

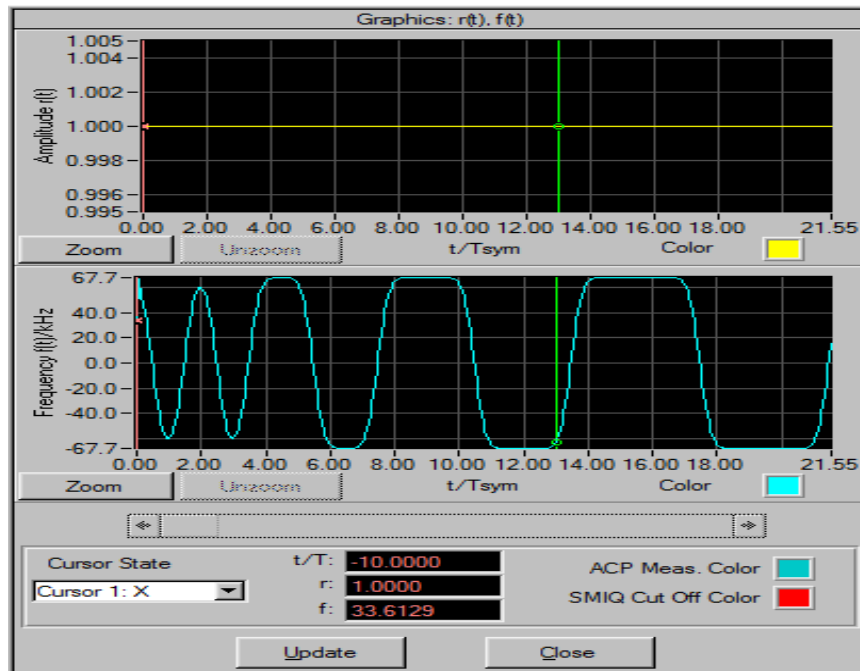


Figure III.11.variation de $r(t)$ et $f(t)$ pour filtre gaussien.

On voit bien en comparant les résultats des 3 filtres appliqués sur le signal d'entrée, que les variations de $r(t)$ et $f(t)$ pour le filtre gaussien est meilleur par-rapport aux autres filtres c'est le filtre utilisé dans le standard GSM.

III.5.2.Le bruit de Phase pour les filtres :

➤ Filtre 5ème ordre ;

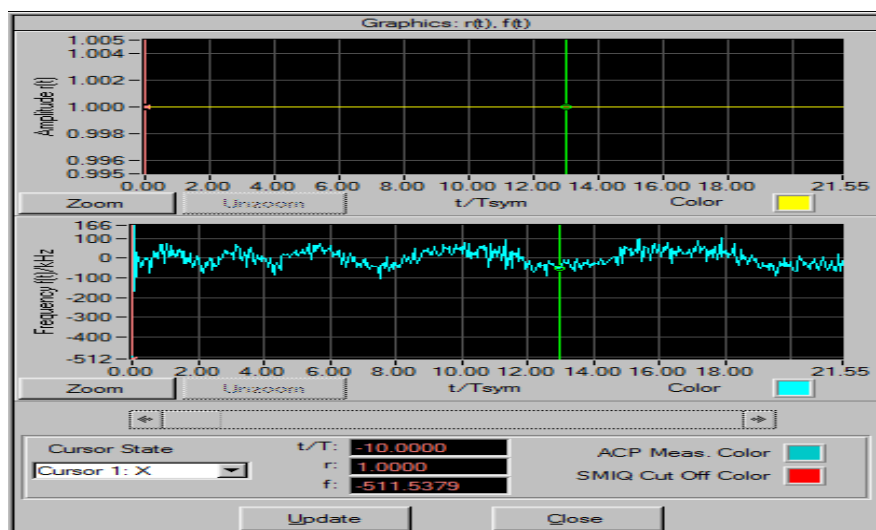
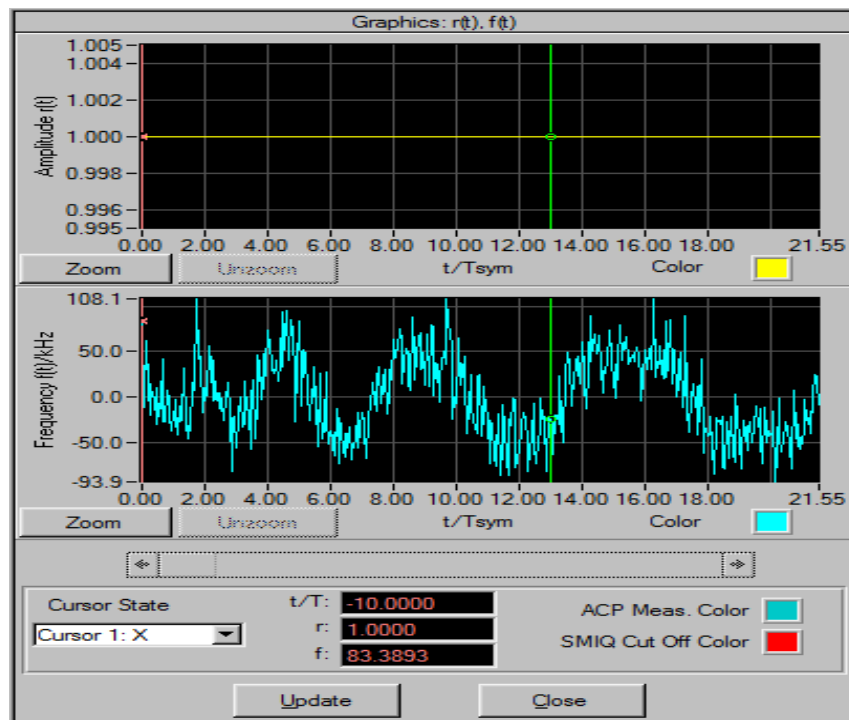


Figure III.12.le signal $r(t)$ et $f(t)$, le bruit de phase pour filtre 5ème ordre.

➤ Filtre cosinus

Figure III.13.le signal $r(t)$ et $f(t)$, le bruit de phase pour filtre cosinus.

➤ Filtre gaussien

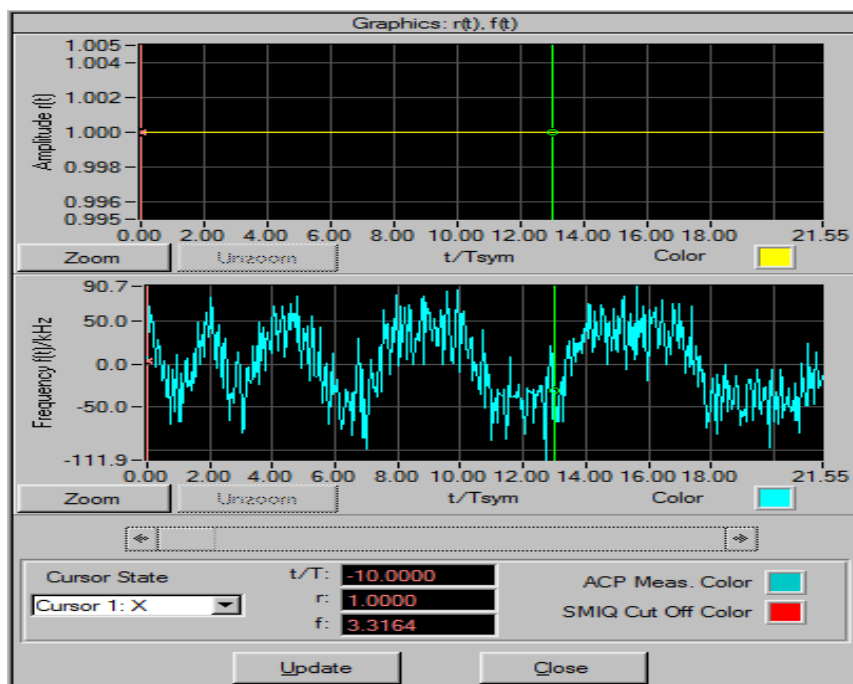
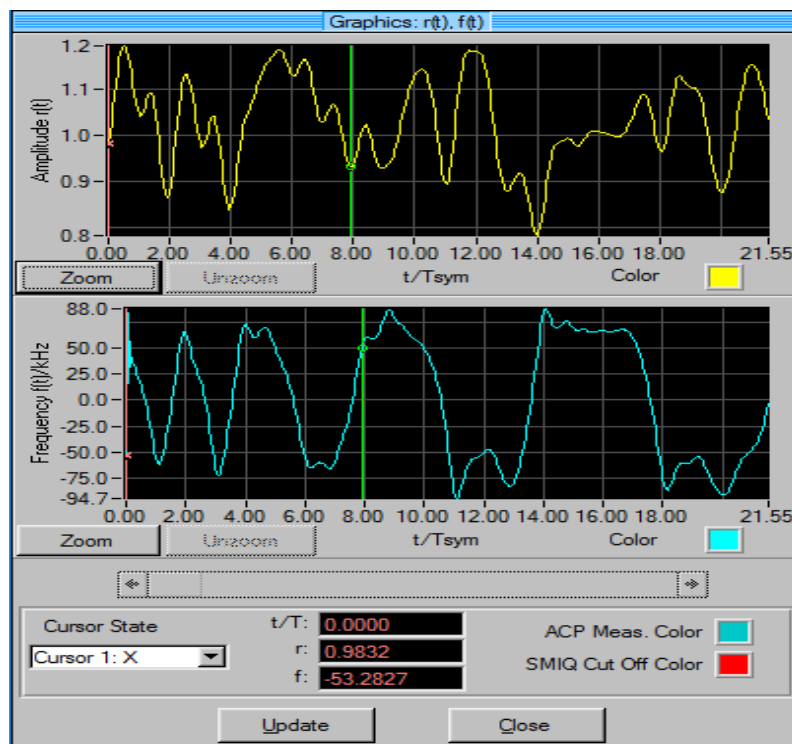
Figure III.14.le signal $r(t)$ et $f(t)$, le bruit de phase pour filtre gaussien.

Figure III.15. Le signal $r(t)$ et $f(t)$ pour filtre passe-bande.

Filtre Passe-bande

Figure III.16. Le signal $r(t)$ et $f(t)$ pour le filtre passe-bande avec le bruit de phase.

- Filtre 5^{ème} ordre en on présence du bruit (noise)



Figure III.17. Le signal $r(t)$ et $f(t)$ avec bruit.

- Filtre en cosinus en présence du bruit

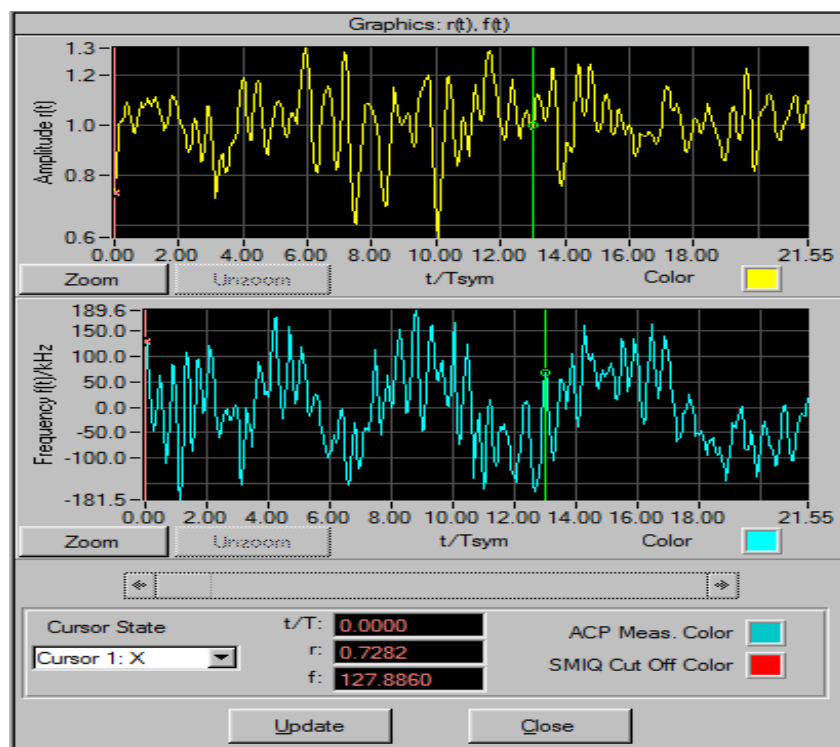
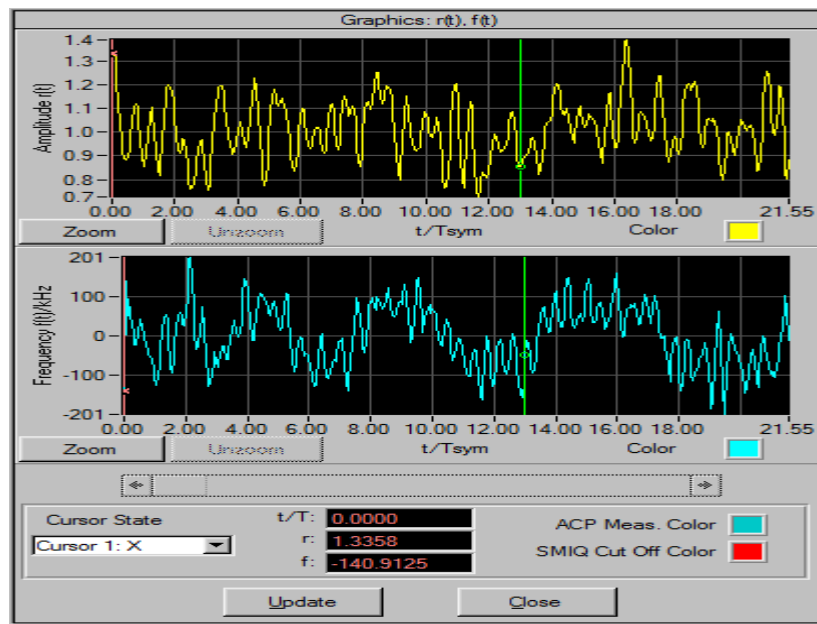


Figure III.18. Le signal $r(t)$ et $f(t)$ avec bruit pour filtre cosinus.

➤ Filtre gaussien en présence du bruit

Figure III.19. Le signal $r(t)$ et $f(t)$ avec bruit pour filtre gaussien.

En télécommunications numérique, le Gaussien minimum shift keying (GMSK) est une forme de modulation FSK à phase continue. Elle est similaire au MSK standard, cependant le flux de données numériques est tout d'abord mis en forme par un filtre gaussien avant d'être appliqué au modulateur de fréquence. Cette étape a l'avantage de réduire la puissance de la bande latérale, qui à son tour réduit les interférences hors bande avec les canaux de fréquences adjacentes. Hélas, le filtre gaussien augmente également la mémoire de modulation dans le système et entraîne des interférences inter- symboles, rendant plus difficile encore le décodage des différentes données transmises et nécessitant des algorithmes d'égalisation des canaux plus complexes au niveau du récepteur, l'exemple Del 'égaliseur adaptatif. Le GMSK est surtout connu de par son utilisation dans les réseaux mobiles GSM.

Pour visualiser le spectre, on choisit l'option FFT MAG dans la fenêtre Graphique Settings, avec le paramétrage suivant :

- Moyenne sur 16 spectres calculés
- FFT sur 8192 points
- Plage de fréquence (-700 et +700 kHz)
- Plage d'amplitudes : 0à-110dB

On va tracer le spectre : pour 3 filtre (5éme ordre, cosinus, gaussien).

➤ Filter 5ème order

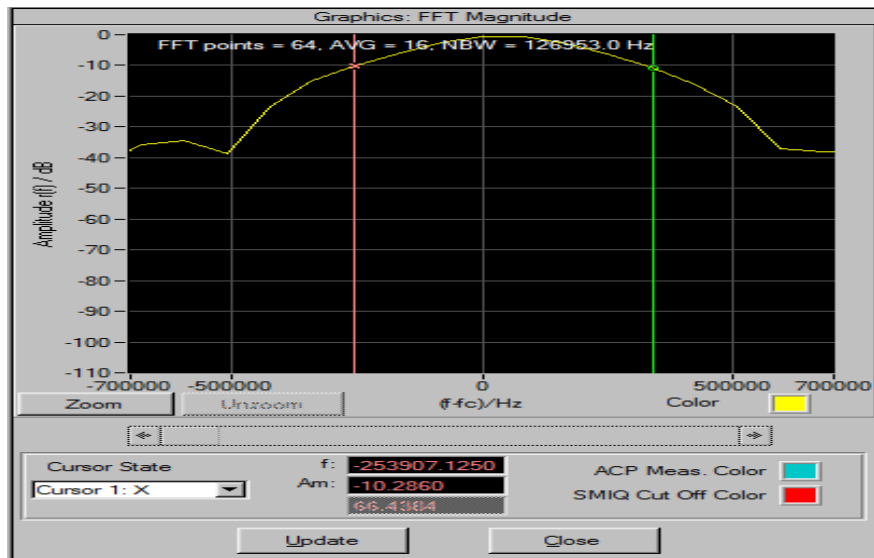


Figure III.20. Le spectre de la porteuse modulée pour le filtre 5ème ordre.

➤ Filtre cosinus

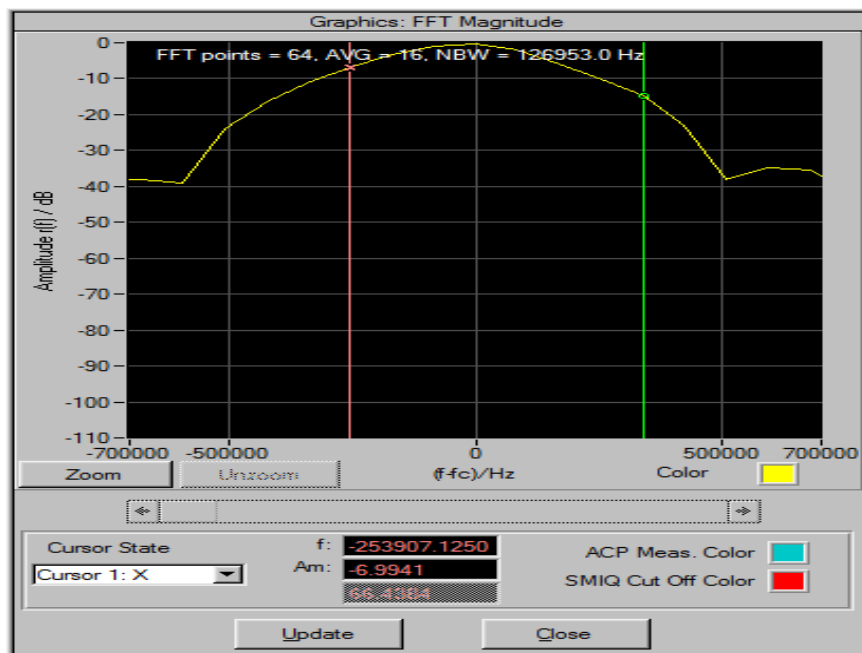


Figure III.21. Le spectre de la porteuse modulée pour le filtre cosinus.

➤ Filtre Gaussien

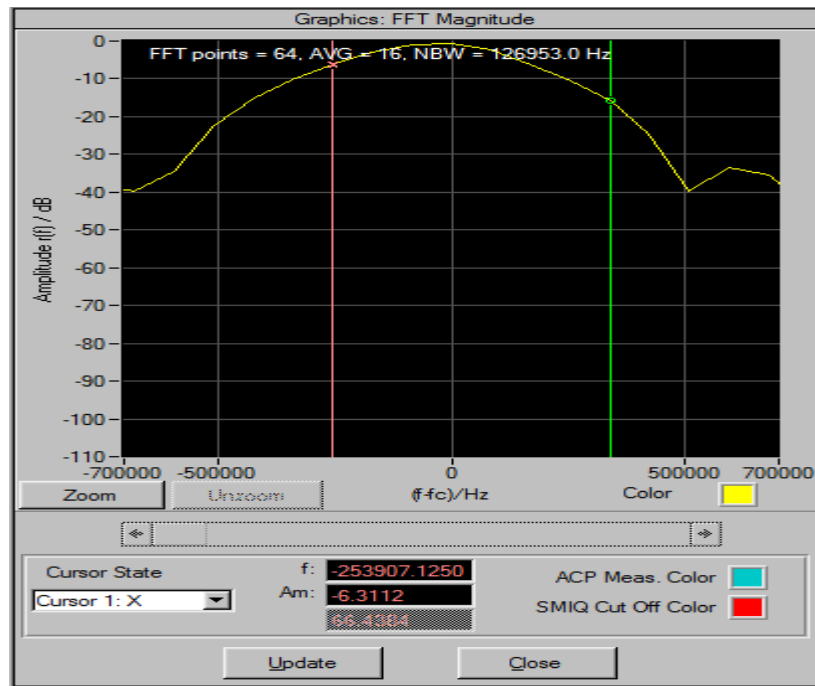


Figure III.22. Le spectre de la porteuse modulée pour le filtre gaussien.

Nous ajoutons du bruit sur le canal : le diagramme de constellation se transforme en nuage de point et le diagramme de l'œil a des frontières moins nettes. Le bruit complique la décision pour le seuil qui permet de choisir en 0 et 1.

III.5.3. La Modulation 16QAM

Data Source :

Envoyer le 16 bits : Pattern : 0100110000101111.

Modulation settings:

Modulation type 16QAM.

Coding : pas de codage.

Symbol rates : 1000 Hz

Séquence length : 16 symboles.

Filtre fonction : Sans filtre

Window function: Hemming

Bb Impulse: Dirac

- Modulation QAM, sans le filtre, on obtient les résultats suivants :

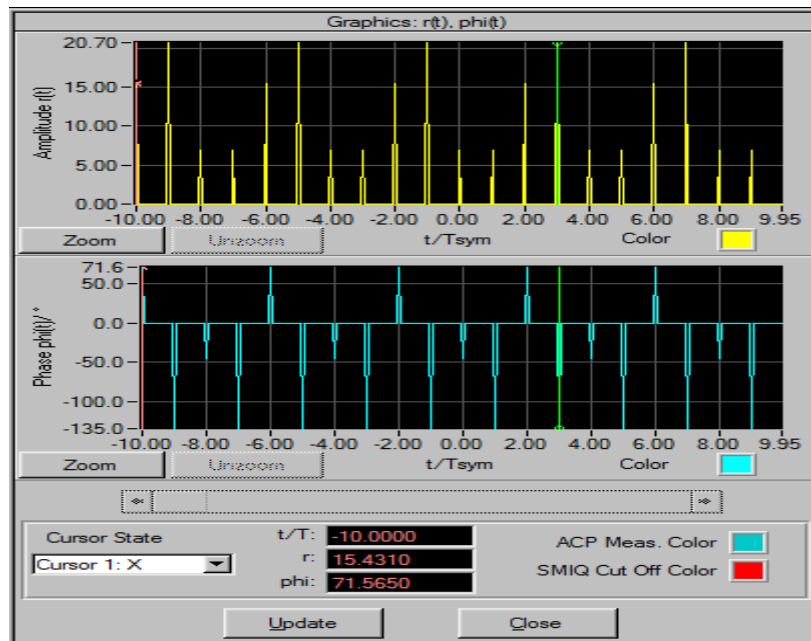


Figure III.23. Amplitude $r(t)$ et la phase $\phi(t)$.

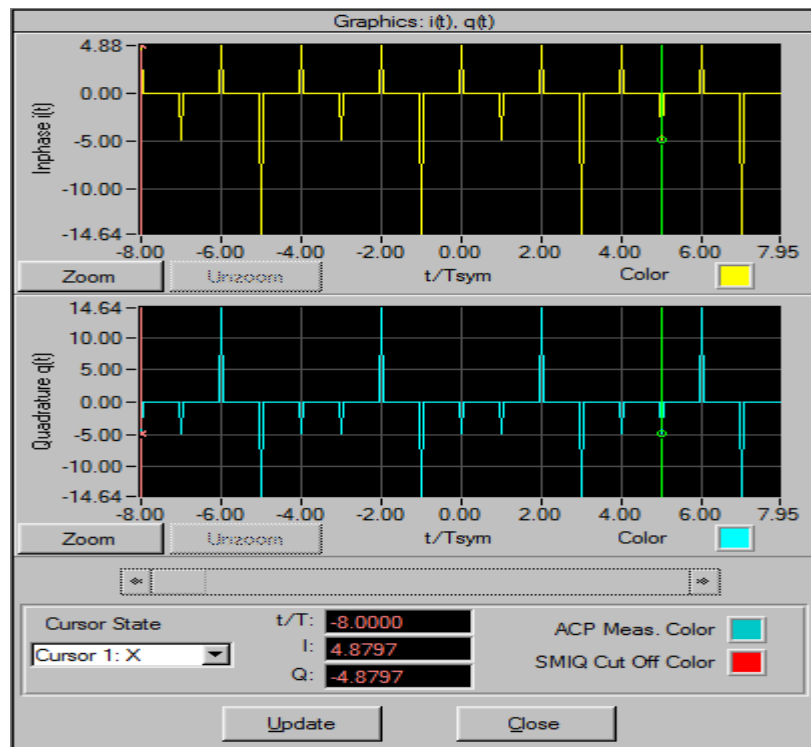
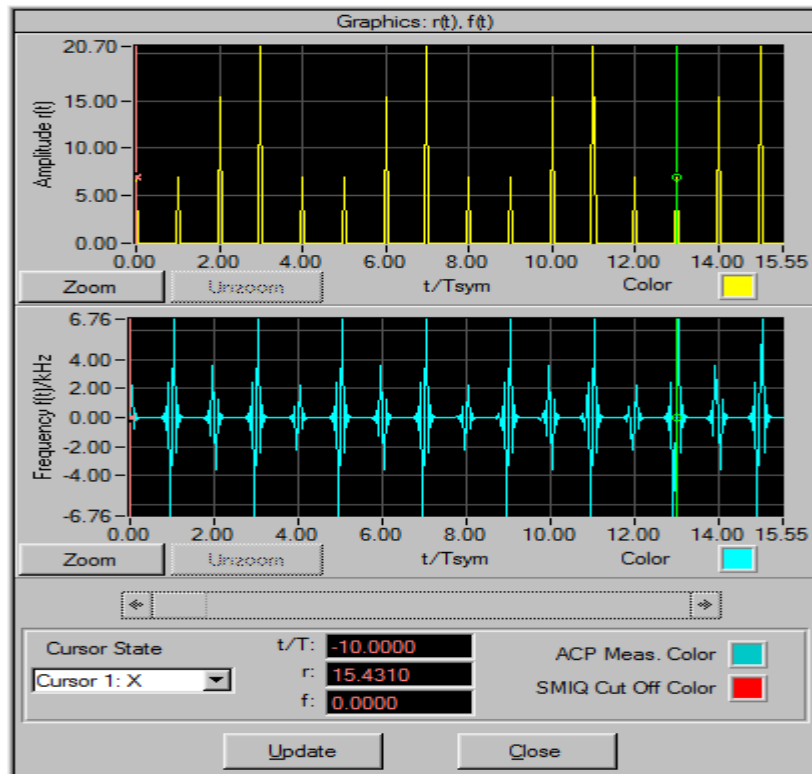
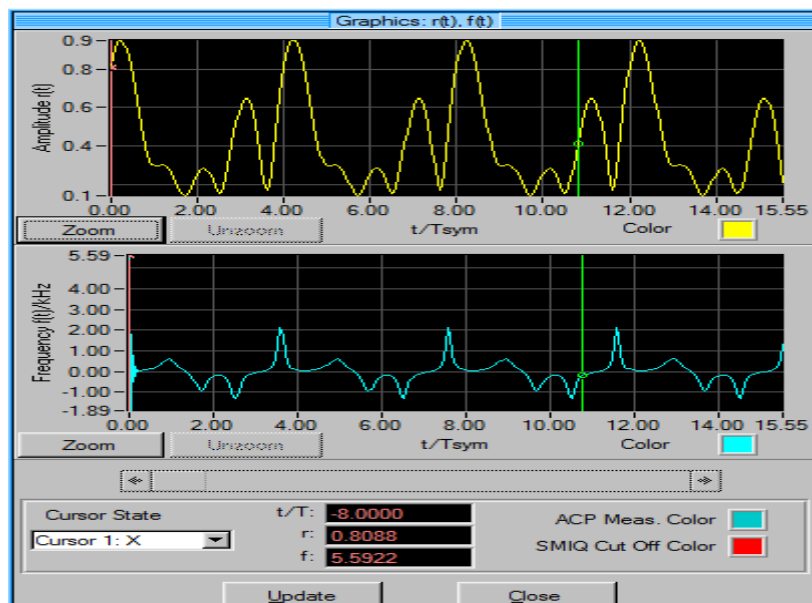


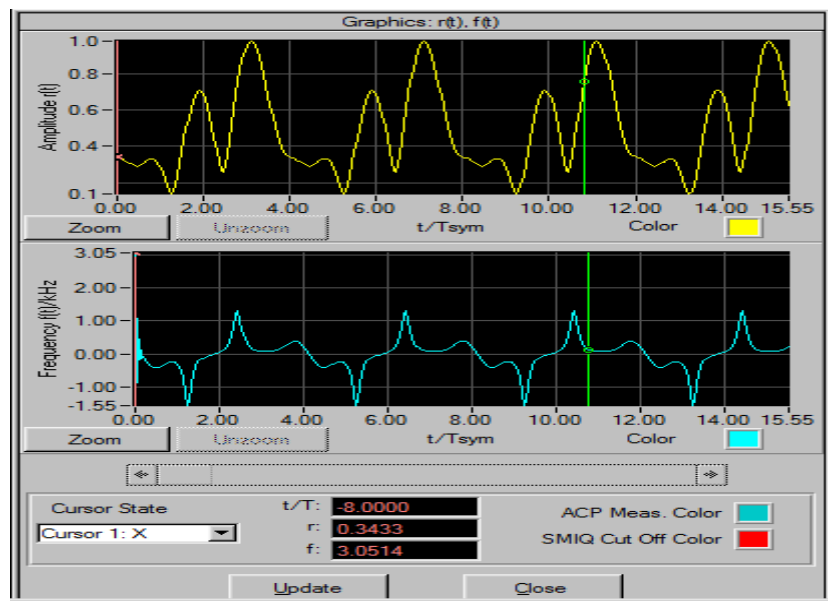
Figure III.24. La phase $i(t)$ et quadrature $q(t)$.

Figure.III.25.l'amplitude $I(t)$ et fréquence $F(t)$.

- Modulation QAM, pour les filtres
 - Filtre 5ème ordre

Figure III.26.variation de $r(t)$ et $f(t)$ pour filtre 5ème ordre.

➤ Filtre cosinus

Figure III.27.variation de $r(t)$ et $f(t)$ pour filtre cosinus.

➤ Filtre gaussien

Figure III.28.variation le signal $r(t)$ et $f(t)$ pour filtre gaussien.

On choisit l'option FFT MAG dans la fenêtre Graphique Settings : modulation 16 QAM sans filtre pour la figure suivant :

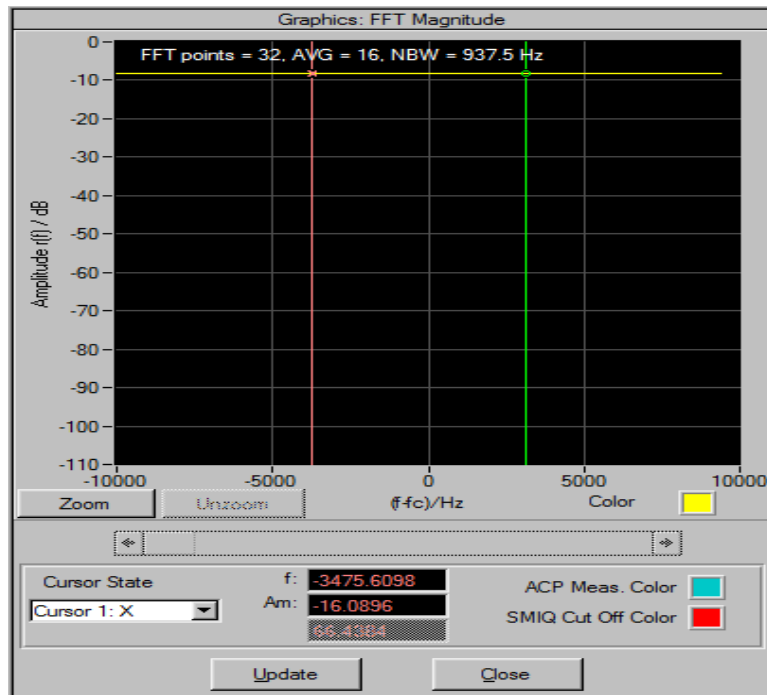


Figure III.29. Le spectre modulé sans filtre.

On choisit l'option FFT MAG dans la fenêtre Graphique Settings :

On trace le spectre : pour 3 filtre (5ème ordre, cosinus, gaussien) : pour filtre 5ème ordre la figure suivante :

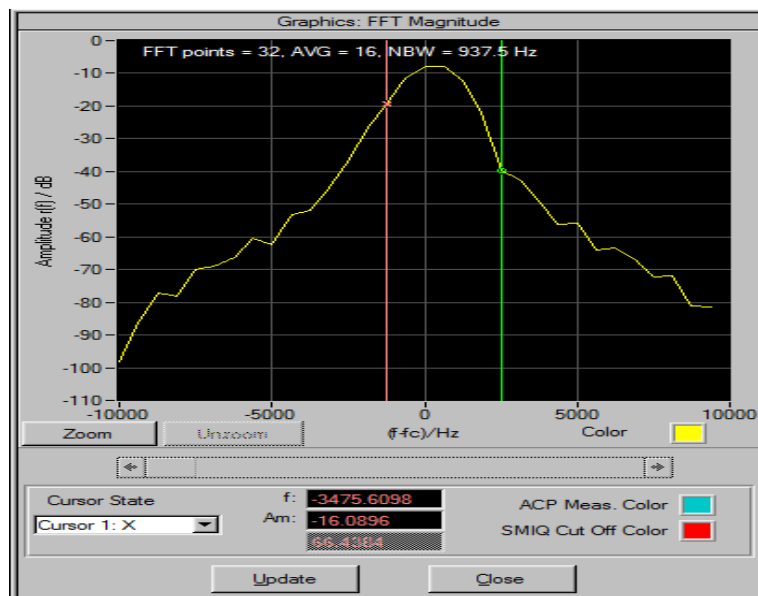


Figure III.30. Le spectre de la porteuse modulée pour le filtre 5ème ordre.

- Filtre cosinus, la figure suivante :

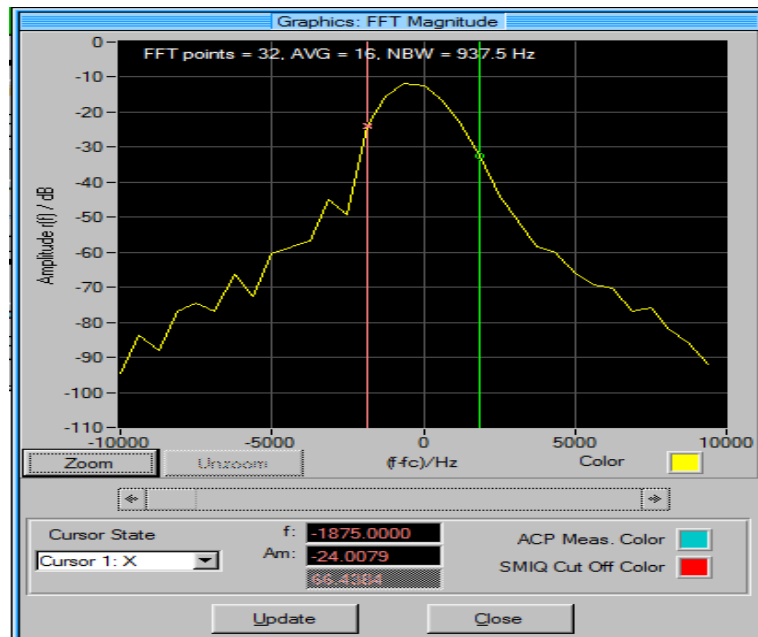


Figure III.31. Le spectre modulé pour filtre cosinus.

- Pour filtre Gaussien le spectre suivant :

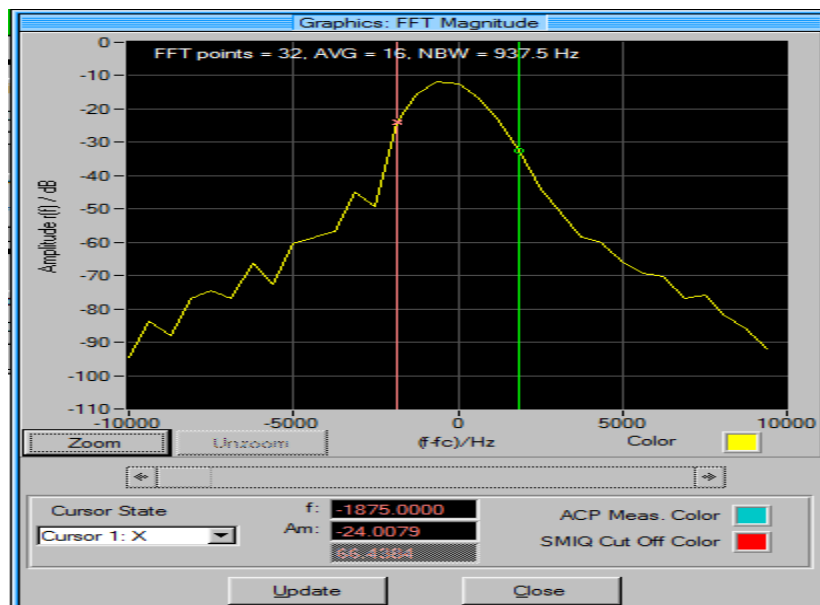


Figure III.32. Le spectre modulé pour un filtre Gaussien.

- pour filtre passe bande, la figure suivante :

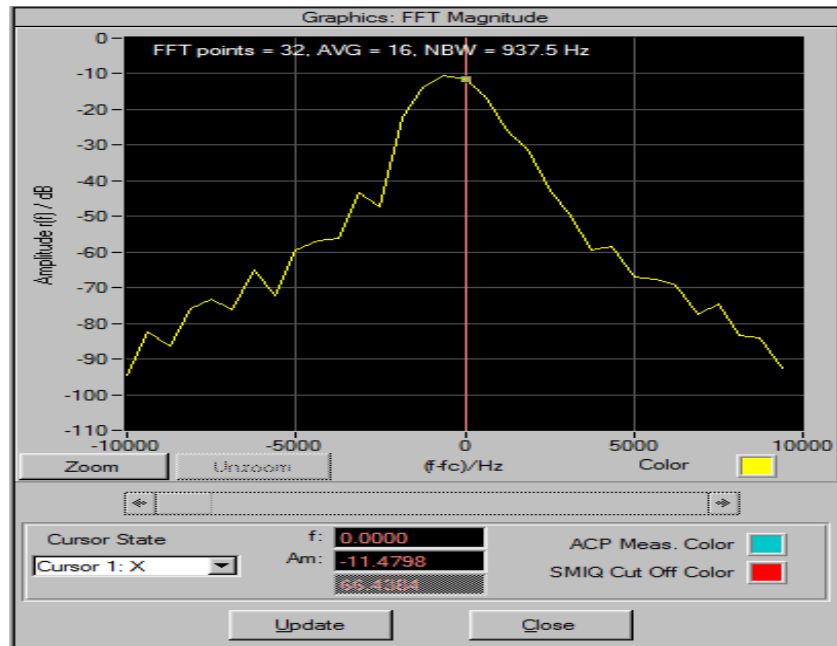


Figure III.33. Lespectre modulé pour un filtre passe- bande.

- Pour le filtre passe –bande avec bruit : la figure suivante :

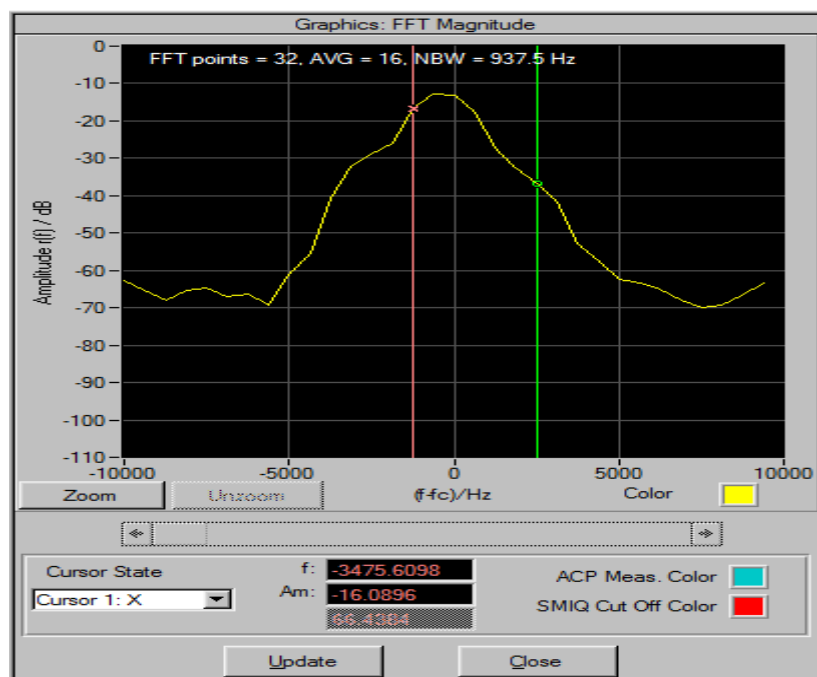


Figure III.34. Le spectre modulé pour filtre Passe –bande avec le bruit.

- pour un filtre 5^{ème} ordre avec le bruit, la figure suivante :

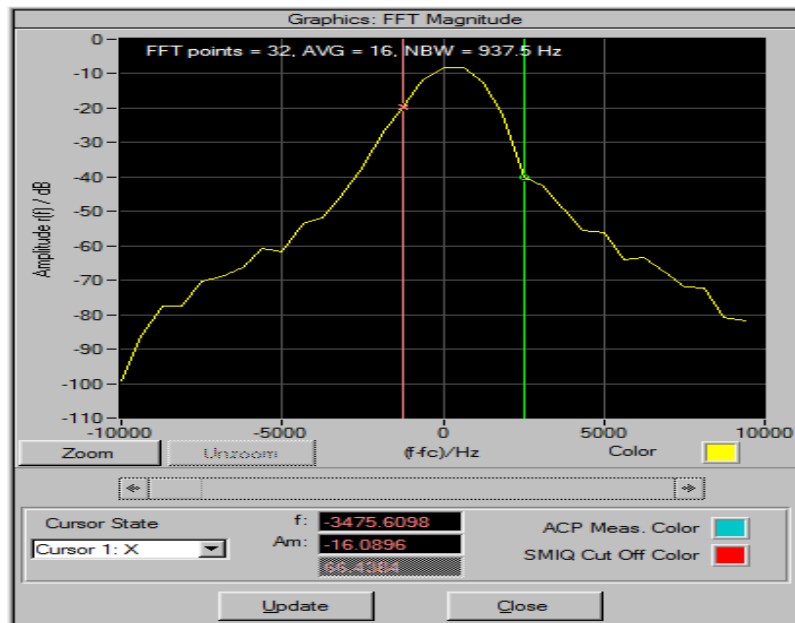


Figure III.35. Le spectre modulé pour filtre 5^{ème} ordre avec le bruit.

- Pour le filtre cosinus avec le bruit, la figure suivante ;

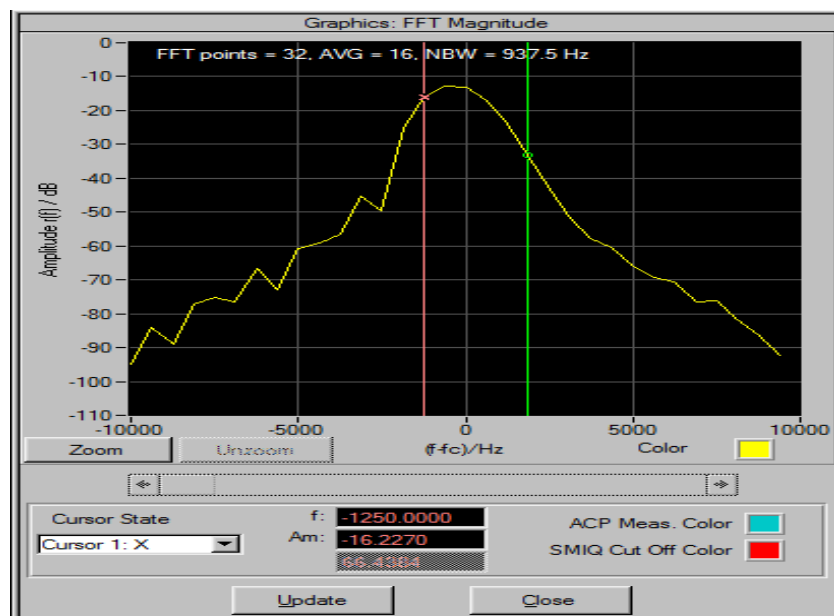
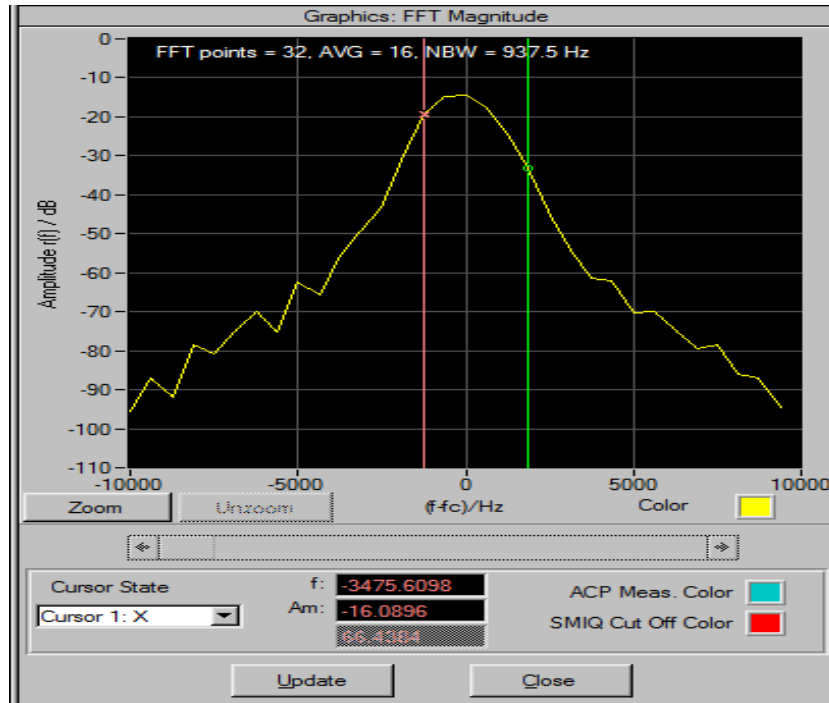


Figure III.36. Spectre modulé pour filtre cosinus avec le bruit.

- Pour filtre gaussien avec le bruit, la figure suivante :



FigureIII.37.le spectre modulation avec filtre gaussien avec le bruit.

La comparaison modulation QAM et FSK :

16-QAM (Quadrature Amplitude Modulation) : Codant chaque symbole en fonction de la phase et de l'amplitude.

Une 16-QAM est composée de 16 symboles (6 Bits sont codés par symbole). La modulation de fréquence FSK offre un très bon compromis quant à la bande passante, le débit, et l'immunité au bruit.

La modulation QAM permet d'atteindre de très hauts débits mais sa bande passante est limitée en conséquence, de plus, elle présente une faible résistance en milieu bruité et reste très sensible aux déformations du canal (802.11a/g, TV par câble).

Ce chapitre permet de mettre en évidence les différents avantages et défauts de ces modulations numériques.

Certaines modulations sont très robustes face aux perturbations (FSK) et d'autres ont un débit (16-QAM) très important, l'idéal étant d'avoir un bon compromis en fonction des besoins et des conditions de propagation, Filtre Gaussien.

Il permet grâce à des oscillations de limiter les transitions trop brutales (Énergie finie et Bande Passante limitée) et d'obtenir un signal plus propre à la réception.

Tous les paramètres de modulation peuvent être modifiés en toute liberté (p.ex. à l'aide du logiciel WinIQSIM). L'utilisateur a ainsi la possibilité de déterminer les limites de systèmes existants ou d'effectuer des études en vue du développement ou du perfectionnement de systèmes de communication numériques.

Tous les paramètres de modulation peuvent être modifiés en toute liberté (p.ex. à l'aide du logiciel WinIQSIM). L'utilisateur a ainsi la possibilité de déterminer les limites de systèmes existants ou d'effectuer des études en vue du développement ou du perfectionnement de systèmes de communication numériques.

On pourrait continuer comme dans la dernière section et d'essayer de résoudre le problème enveloppant analytiquement pour chaque type de modulation.

Une telle procédure est au-delà de la portée de ce manuel.

Il est plus logique d'écrire bas des conditions empiriques pour les modulations les plus importants.

III.6.Conclusion

Les simulations effectuées à l'aide de WinIQSIM ont permis de mettre en évidence un certain nombre de propriétés de la modulation utilisée dans le standard GSM. Ces propriétés peuvent être résumées sur ce diagramme représentant l'évolution du spectre au cours du temps pendant l'émission, par le mobil.