

## Introduction à OFDM et OFDMA

V1 mars 2014 Par Kurt Ritter he9dyy.

L'OFDM *Orthogonal Frequency Division Multiplex* est un mode de transmission numérique à haut débit qui repartit un string binaire sur un grand nombre de sous-porteuses.

L'OFDMA *Orthogonal Frequency Division Multiple Access* c'est de l'OFDM qui inclut un système d'allocation des ressources.

Ce type de transmission est un passage obligé utilisé pour des transmissions numériques à haut débit par voie Hertzienne. On le trouve notamment dans les applications suivantes.

DAB *Digital Audio Broadcast* alias radio numérique.

DVB *Digital Video Broadcast* alias Télévision numérique en modes T, C et S

WLAN alias *WiFi* en modes a, g, n et ac.

WIMAX

LTE 4G.

### Pourquoi cette technologie complexe ?

On peut transmettre des bits à grande vitesse (haut débit) sur une porteuse unique et dans ce cas la largeur du spectre va augmenter en fonction du débit transmis. Par exemple si on transmet un signal numérique de 10 Mbs (10 Méga bits secondes) on va se retrouver avec une largeur de spectre HF d'environ 8 MHz.

Si cette transmission a lieu entre 2 antennes directives qui sont en visibilité directe (*Link*) cela peut parfaitement fonctionner. Mais si les antennes ne sont pas en visibilité directe ou si l'antenne de réception reçoit plusieurs réflexions (*Multi-Path*) ; il va se produire du fading sélectif avec des creux plus ou moins profonds dans l'amplitude du spectre de 8 MHz et dans ce cas la transmission devient rapidement inexploitable.

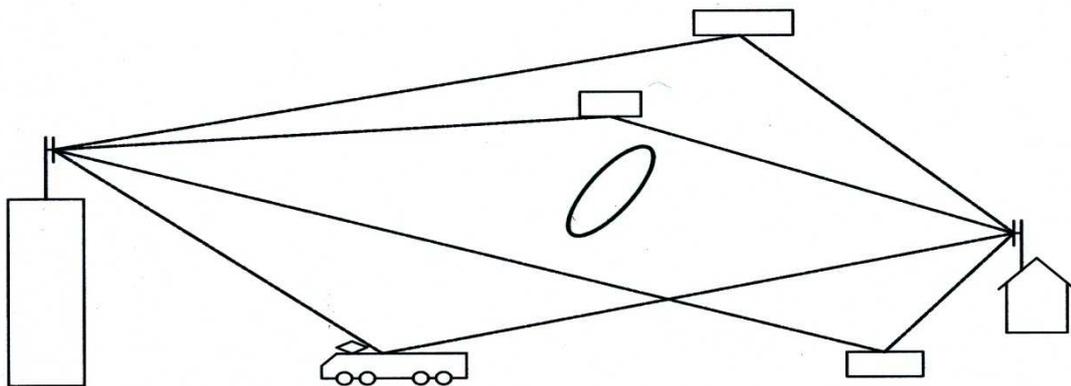


Fig.1 Les trajets multiples *Multi-Path*

On a aussi constaté qu'avec l'augmentation du débit les Interférences inter symboles *ISI* augmentent.

Pour lutter contre ce phénomène de façon économique on va repartir le signal sur un certain nombre de sous-porteuses ce qui offre les avantages suivants :

1 Si on répète le signal en plusieurs endroits dans la largeur du spectre, il y aura toujours une portion du spectre qui a un niveau suffisant pour être exploitable.

2 En répartissant le débit par exemple 10 Mbs sur 1000 sous-porteuses, on réduira la vitesse de transmission de chaque sous-porteuse d'autant, par exemple  $10 \text{ Mbs} / 1000 = 0.01 \text{ Mbs}$ .

Ces 2 principes mis ensemble permettent de réduire considérablement les méfaits du fading sélectif et des perturbations inter symboles *ISI*, ils permettent aussi de desservir des stations mobiles qui se déplacent à grande vitesse.

### Le principe de l'orthogonalité.

On voit sur le dessin ci-dessous que par rapport à une série de porteuses conventionnelles (Fig.2 a), la répartition Orthogonale permet de mettre un beaucoup grand nombre de sous porteuses dans la largeur du spectre allouée (Fig.2 b).

On remarque sur la Fig.2 c que l'amplitude maximum d'une sous porteuse correspond à l'amplitude minimum des 2 sous porteuses qui l'entourent ; c'est le principe de base de l'Orthogonalité.

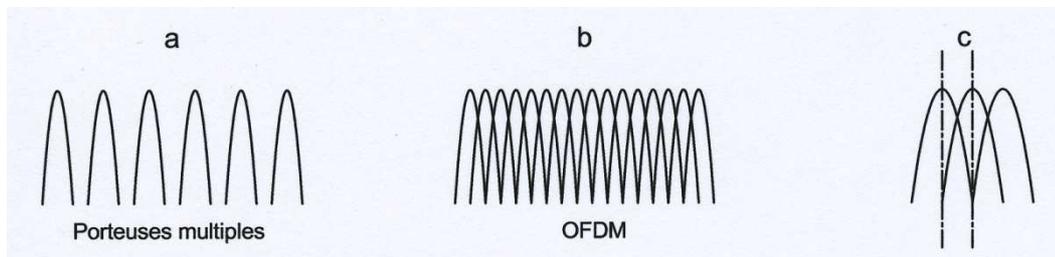


Fig. 2 Le principe de l'OFDM

Les opérations principales pour obtenir une transmission OFDM.

Ce processus très complexe n'est viable que grâce à des composants à haute intégration.

Le dessin ci-dessous est un schéma de principe ne montre que les opérations principales du processus.

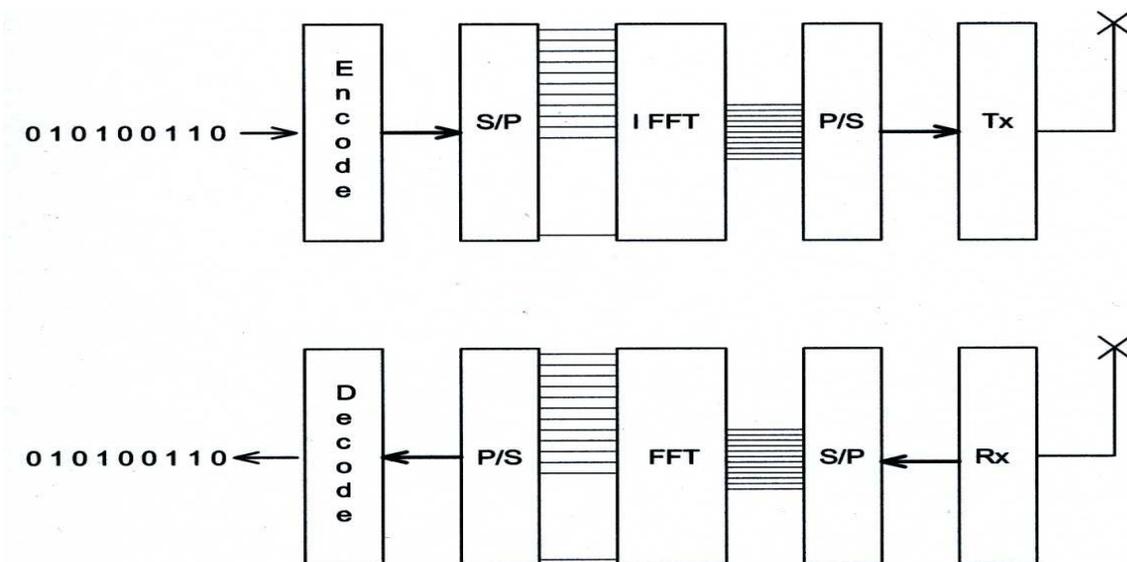


Fig. 3 Processus OFDM

A l'émission :

**Encode** transforme le *string* binaire en un type de modulation en fonction du débit binaire à atteindre soit du QPSK, 8PSK, 16QAM etc. qui seront implémentés sur les sous-porteuses.

**Encode** peut aussi avoir plusieurs entrées qui seront allouées de façon fixe ou dynamique que l'on retrouvera à la sortie **Decode** du Rx.

**S/P** Conversion Série / Parallèle va répartir le string binaire en multi porteuses

**I FFT** Inverse Fast Fourier Transforme va créer les sous porteuses Orthogonales.

**P/S** Conversion Parallèle / Série va créer un signal modulant qui comprend une porteuse principale et toutes les sous porteuses.

A la réception :

On fait les mêmes opérations mais en sens inverse. Mais on utilisera une « vraie » FFT en lieu et place d'une FFT inversée (IFFT).

Allocation des ressources.

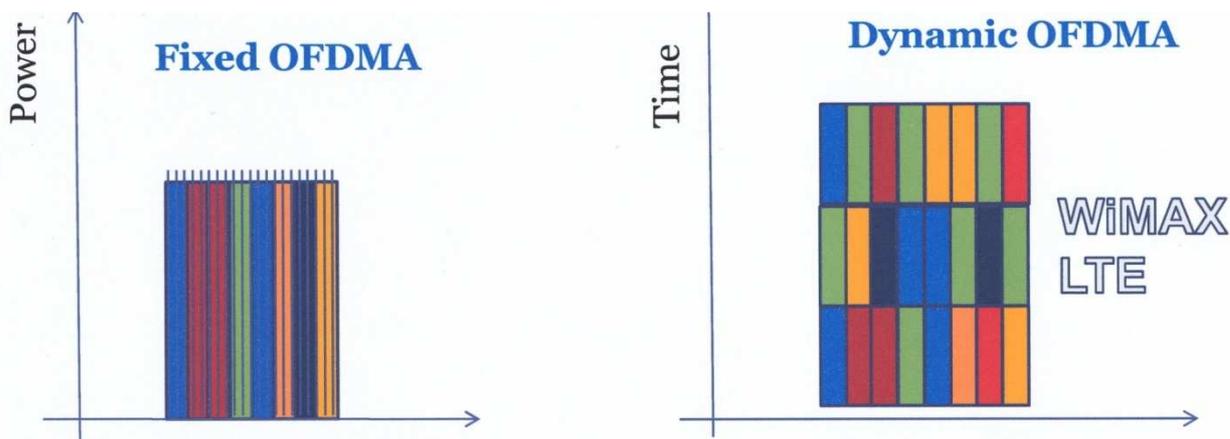


Fig.4 Allocation des ressources fixes et variables chaque couleur représente un usager.

L'allocation fixe convient bien pour la Radio et la Télévision ou les canaux sont définis une fois pour toutes  
L'allocation dynamique va attribuer provisoirement des ressources à n'importe quel usager qui en besoin.

Les principales caractéristiques de quelques transmissions.

	WiFi g/n	WIMAX	LTE 4G	DAB	DVB-T
Débit binaire maximum Mbs :	54	40	43.2	2.4	8 et 20
Largeur min du spectre HF MHz :	16.25	1.25	1.25	1.526	2
Largeur max du spectre HF MHz :	40	20	20	1.526	8
Espacement des sous porteuse KHz :	312.5	11		1	1.165
Nombre de sous porteuses :	52	128 à 2048	128 à 2048	1536	6817
Type de modulation au débit max :	64 QAM	64 QAM	xxQAM	DQPSK	

Les Spectrogrammes et Oscillogrammes résultant d'une transmission en mode OFDM.

La largeur du spectre HF ne varie pas avec le débit, car il est défini par le nombre et la largeur des sous porteuses.  
Les exemples ci-dessous sont du DAB *Digital Audio Broadcast*.

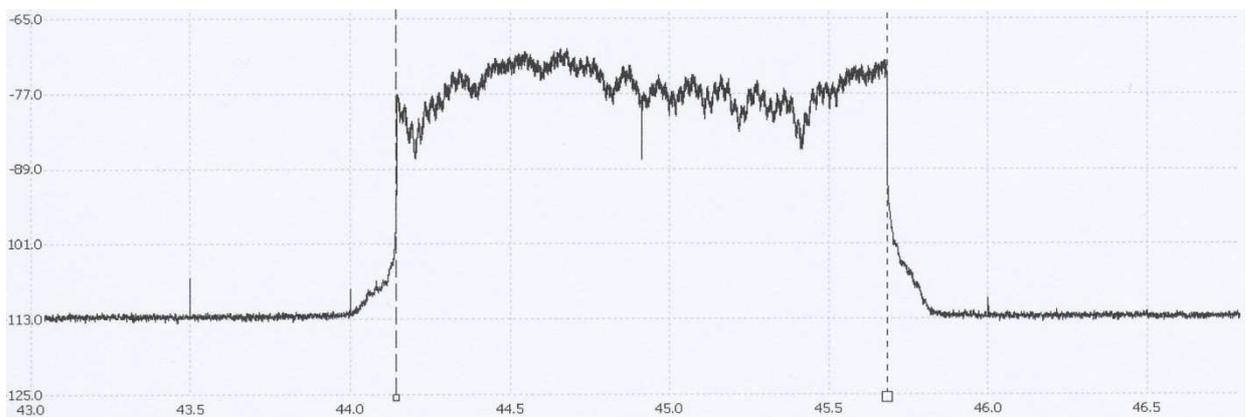


Fig.5 Le spectre complet de 1.526 MHz.  
Les variations du niveau sont dues aux trajets multiples *Multi Path*.

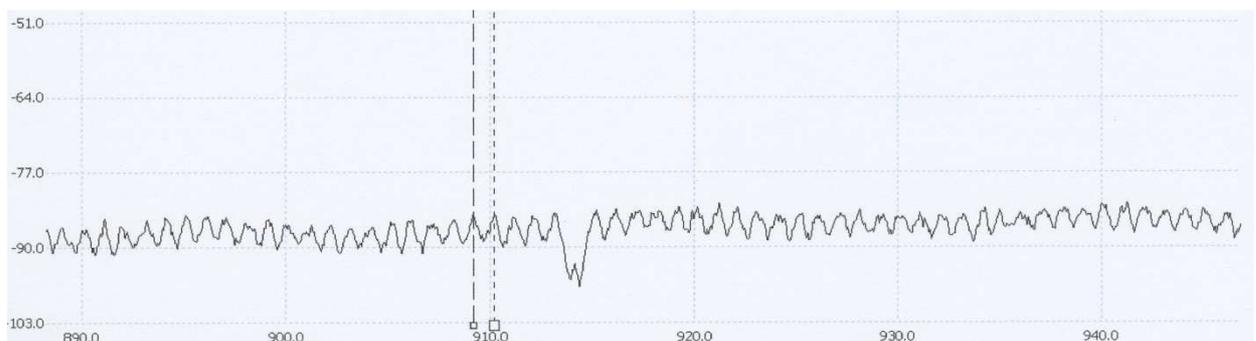


Fig.6 Une partie des 1536 sous porteuses espacées de 1 KHz.  
On voit distinctement que les sous porteuses sont modulées.

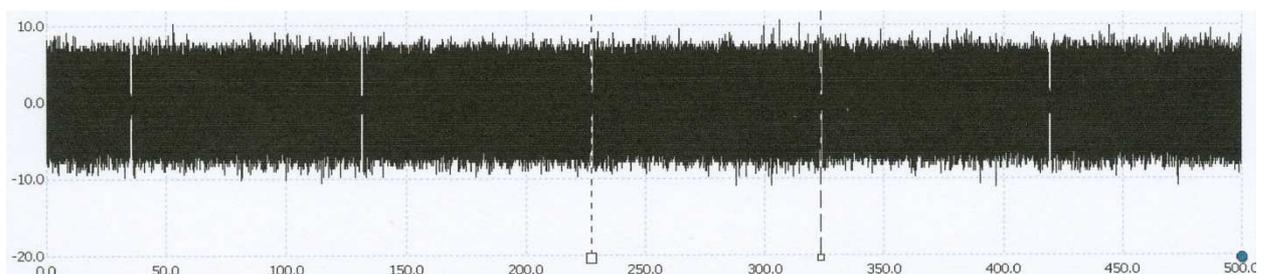


Fig.7 Les *Transmission Frame* de 96 ms

C'est une particularité du DAB pour permettre la réception en mobile, l'espace entre chaque *Frame* est un temps de garde de 1,3 ms qui permet de compenser les variations rapides du champ HF.

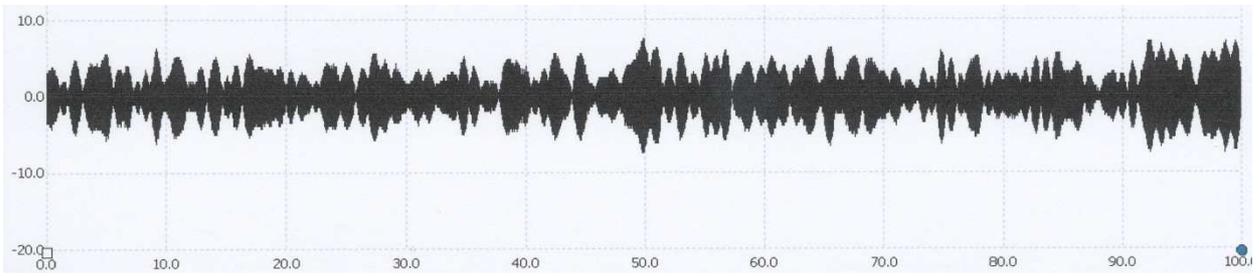


Fig.8 la modulation

On reconnaît bien les variations d'amplitude du mode QPSK

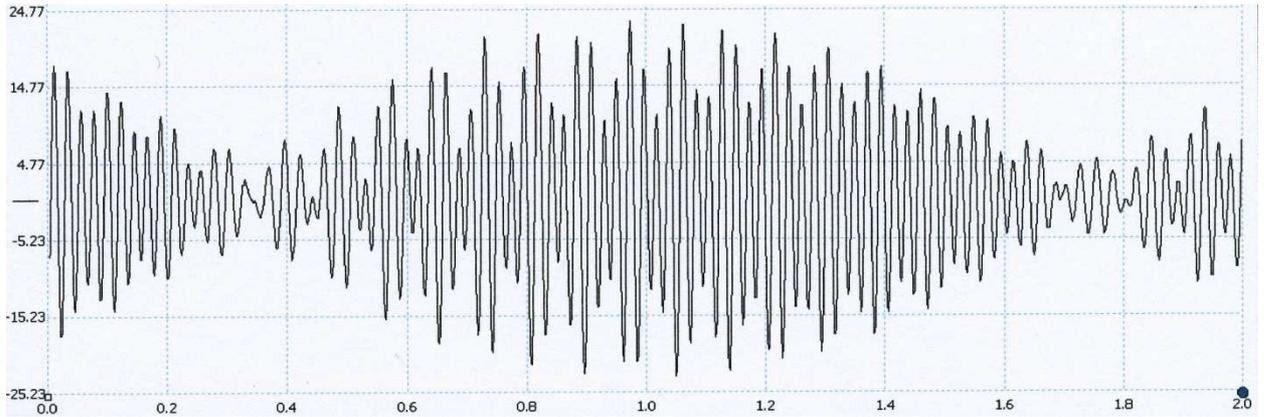


Fig.9 Détail de la modulation

On reconnaît parfaitement les sauts de phase et les variations d'amplitude de la composante AM du mode DQPSK.

Configuration du système de mesure Messaufbau 2014

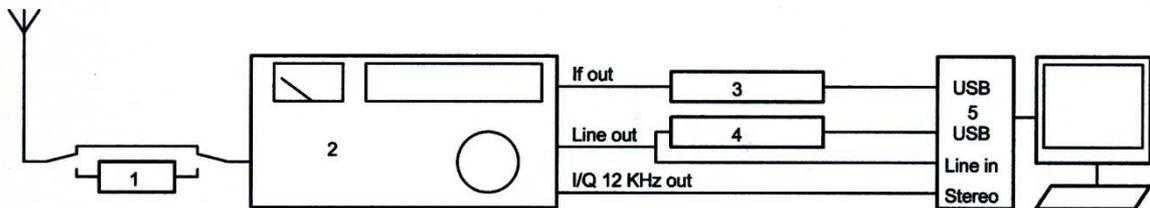


Fig.10 Configuration des mesures.

Plage de fréquence : 10 KHz à 3 GHz sans trou. DANL : (sans ampli) -110dBm ou mieux. Précision en amplitude : +/- 3 dB. Autres caractéristiques : sur demande.

Contact en Français und Deutsch : Kurt Ritter [ritterk@bluewin.ch](mailto:ritterk@bluewin.ch)