

Le Wi-Fi¹⁾ alias WLAN²⁾ en OFDM³⁾ sur 2,4 GHz

Kurt Ritter HE9DYY

Par rapport à un lien filaire (Ethernet ou autres) le Wi-Fi n'a de loin pas les mêmes performances. Le passage par une voie hertzienne nécessite un encodage et décodage supplémentaire et on doit partager le lien avec d'autres usagers; cette situation est encore aggravée par les problèmes de propagations des ondes radioélectriques par trajets multiples.

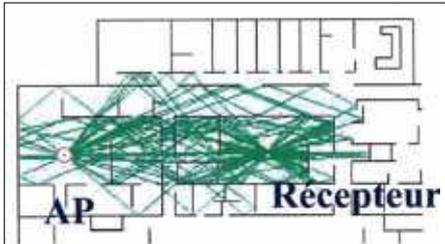


Fig. 1 - Exemple de trajets multiples

- 1) Wi-Fi = nicht Wireless Fidelity sondern Funkstandard; wird häufig als Synonym für WLAN verwendet
- 2) WLAN = Wireless Local Area Network (Funknetzwerk)
- 3) OFDM = Orthogonal Frequency-Division Multiplexing
- 4) WiMAX = Worldwide Interoperability Microwave Access: Hochgeschwindigkeits-Übertragung zwischen 2 GHz bis 66 GHz; offiziell als 4G-Technologie bezeichnet

Cela ne veut pas dire que cela ne fonctionne pas, mais la plus part du temps cela fonctionne mal et on est loin des débits annoncés par les fournisseurs de matériel Wi-Fi. Le présent article aborde de façon pragmatique les aspects des liens par Wi-Fi.

Le lien physique

Les normes 802.11-g et 802.11-n qui ont une largeur de canal de 20 MHz sont les plus répandues. La norme 802.11-n qui occupe 40 MHz est en fait constituée par 2 canaux 20 MHz accolés, n'est exploitable que dans un loft ou les éléments constituant le réseau sont quasiment en vue direct de l'Access point. Par l'emploi d'éléments compatibles qui disposent de 2 antennes, on peut utiliser la technique MIMO (*Multiple In - Multiple Out*) qui réduit considérablement les perturbations par trajets multiples (*Multipath*).

Les débits binaires annoncés par exemple 300 MB pour la norme n 40 MHz, ne sont possibles que si il n'y qu'un seul utilisateur sur la plage de fréquence de 40 MHz. Il en est de même pour les canaux de 20 MHz. Ces conditions ne sont que très rarement remplies et de ce fait les débits réels sont bien plus faibles que ceux annoncés par les fabricants. Attention à ne pas confondre ou amalgamer Wi-Fi et WiMAX⁴⁾.

Le spectre disponible

La bande ISM va de 2'400 à 2'500 MHz c'est une bande libre, (non concessionnée) que l'on peut qualifier de fourre-tout. Elle est partagée entre plusieurs utilisations principalement le Wi-Fi, le Bluetooth, des radars d'intrusion, les fours à micro-ondes, le verrouillage des portes des voitures et un certain nombre de gadgets plus ou moins inutiles. Les risques de perturbations mutuelles sont de ce fait très grands.

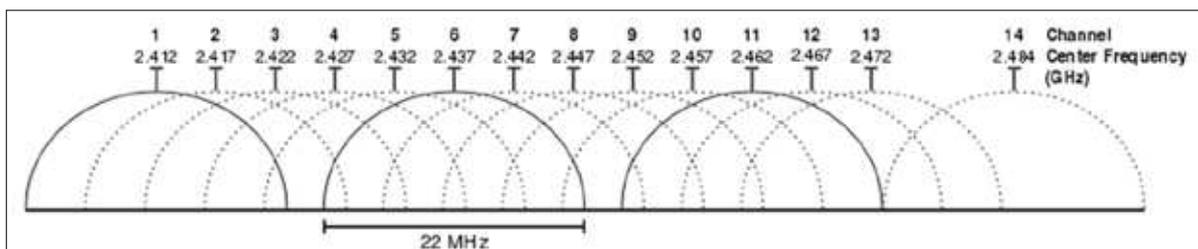


Fig. 2 - Répartition des fréquences dans la bande de 2,4 GHz

On voit que l'on a que 3 fréquences centrales disponibles pour les transmissions en OFDM 20 MHz soit les canaux 1- 6 et 11. La plage de fréquence de 40 MHz dédiée au mode n est centrée sur le canal 3 ce qui la rend vulnérable aux perturbations si les canaux 1 et 6 sont occupés par des modes g ou n.

Les transmissions multifréquences

On peut transmettre des signaux numériques modulés sur une seule porteuse, ou les répartir sur plusieurs. En mode 802.11 g et n 20 MHz, la transmission a lieu en OFDM (Orthogonal Frequency-Division Multiplex) sur 64 sous porteuses dont 52 sont actives. Ces sous porteuses qui se chevauchent partiellement, sont espacées de 312,5 KHz et occupent une plage de 16,25 MHz; dans ce cas l'occupation spectrale sera équivalente à celle de la transmission par porteuse unique. Les avantages de l'OFDM sont une meilleure résistance aux trajets multiples qui provoquent le fading sélectif.

Le Wi-Fi alias WLAN en OFDM sur 2,4 GHz (II)

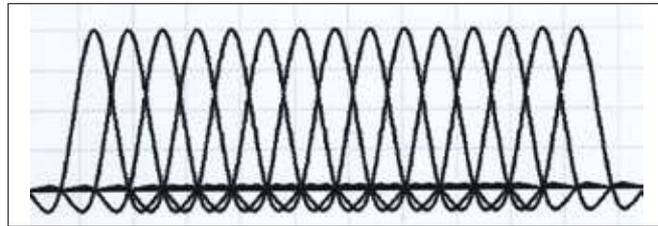


Fig. 3 - Sous porteuses OFDM

Le spectre d'une transmission en mode g ou n 20 MHz

Les informations à transmettre étant répartie sur 52 sous porteuses la largeur du spectre ne varie pas en fonction du nombre ou de la vitesse des symboles transmis. Il n'y a que la durée de la transmission et son taux de répétition qui varie en fonction de la vitesse et du volume binaire à transmettre. L'émission n'est pas continue elle est même très fugace au point qu'un analyseur de spectre en mode Amplitude ne les perçoit pas, il faut utiliser le mode Maintien du Pic pour les révéler sur l'écran. En fonction du nombre de symboles transmis la durée d'une transmission varie entre 1 et 20 ms.

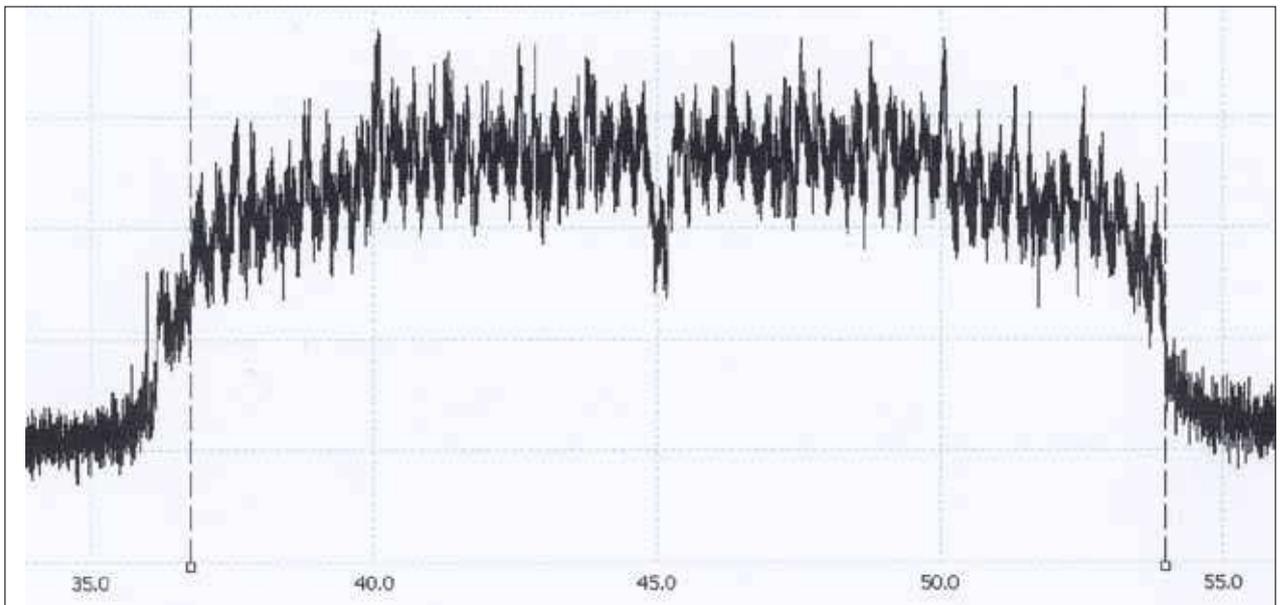


Fig. 4 - Spectre de 16,25 MHz d'une transmission en OFDM: on voit distinctement les 52 sous porteuses actives espacées de 312,5 KHz.

La modulation

Chaque sous porteuse peut être modulée différemment en fonction de ce que l'on transmet (Audio, Vidéo, Texte) et du débit binaire nécessaire. Une simple modulation binaire en PSK n'est quasiment plus utilisée, pour gagner du débit on cherche transmettre un nombre maximum de symboles à la fois, pour ce faire on utilise un mélange de PSK (Phase Shift Keying) et de AM (Amplitude Modulation).

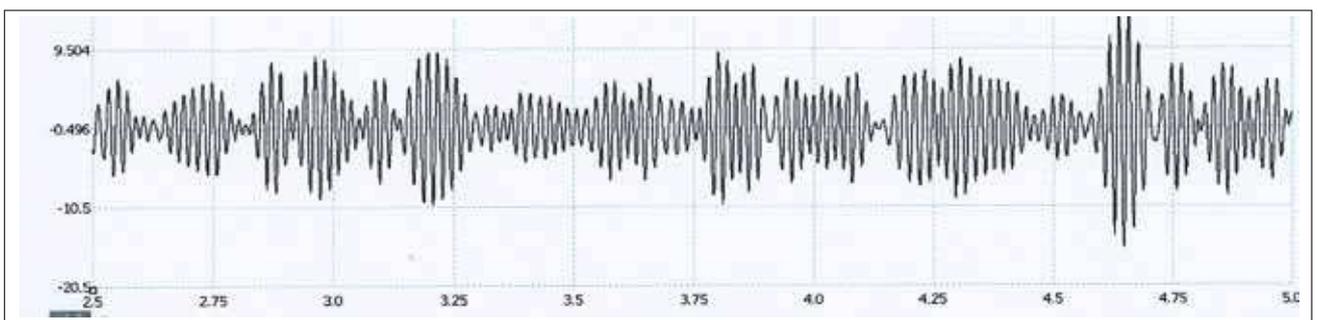


Fig.5 - Détail de la modulation PSK + AM: on distingue bien les sauts de phase du PSK et les différences d'amplitude de l'AM

Capacité du canal et perturbations

Sur l'oscillogramme ci-dessous on voit qu'il n'y a plus de place pour une transmission de 20 ms; si une telle transmission démarre, elle va perturber ou carrément écraser les signaux d'un certain nombre d'usagers. Le conflit va se régler par une réadaptation du trafic de l'ensemble des usagers, mais en attendant tous ont un taux d'erreurs BER (Bit Error Ratio) très grand et le débit va se ralentir considérablement. On comprend dès lors qu'un canal Wi-Fi peut facilement être saturé par le nombre d'équipements qui fonctionnent dessus.

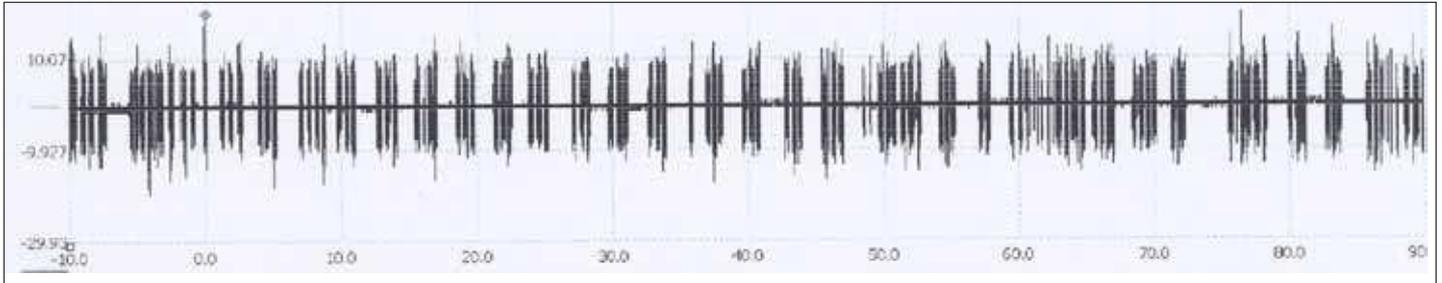


Fig. 6 - Occupation d'un canal de 20 MHz par une grande quantité de transmissions courtes

Mesures pour réduire les perturbations mutuelles

La puissance adaptative. Pour communiquer avec des éléments proches il est inutile d'utiliser la pleine puissance disponible (100 mW ou 20 dBm) Cette option va adapter la puissance en fonction du besoin, la réduction ou augmentation de la puissance se fait graduellement. On voit ci-dessous qu'elle se passe par pas de 2,5 ms.

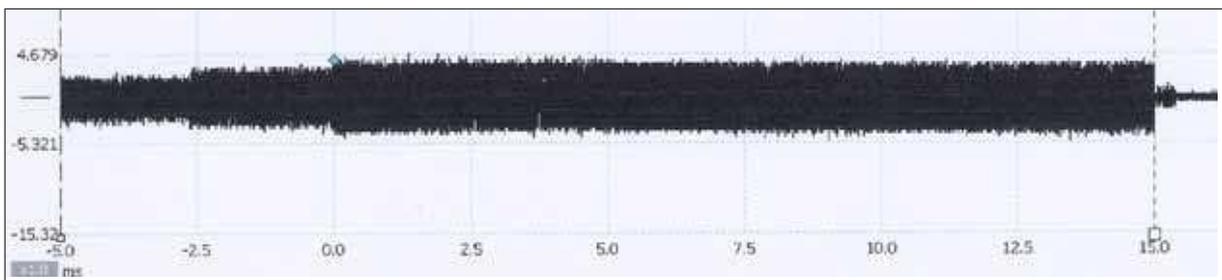


Fig. 7 - Puissance adaptative d'un burst de 20ms

La propagation

Les meilleurs résultats sont obtenus sur la fréquence la plus basse soit 2,4 GHz mais elle est aussi la plus perturbée par les émissions parasite.

Par rapport à d'autres systèmes de transmission les cartes Wi-Fi ont besoin de signaux très forts pour fonctionner correctement, de l'ordre de -50 à -60 dBm, le rapport signal bruit doit se trouver aux environs de 50 dB.

Avec des niveaux plus faibles le débit binaire diminue rapidement.

Dans le cas où les éléments constituant le réseau sont en vue direct de l'Accès point on peut compter sur un réseau stable. Dès que le signal doit traverser plusieurs obstacles plus ou moins imperméables aux ondes (murs, parois, portes, couloirs en zigzag etc.), on assiste à une réduction drastique du niveau qui va rendre le réseau très sensible aux perturbations et de ce fait le rendre instable. Une prévision des performances du réseau est illusoire il n'y a que des mesures qui peuvent nous renseigner.

Mesure des performances

Certaines cartes disposent de routines de test qui informent de la qualité du lien WIFI, toutes fois leur précision est toute relative. On peut aussi en installer d'autres qui sont plus élaborées soit plus précises mais souvent payantes. Ces routines établissent un lien particulier avec l'Access point. Voir les deux signaux en forme de trapèze dans l'oscillogramme ci-dessous.

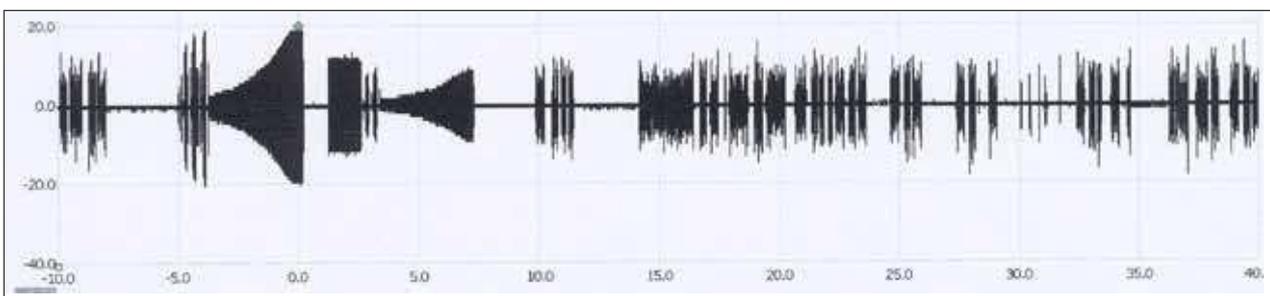


Fig. 8 - Signaux de test: on voit que la transmission de test varie en amplitude, et envoie des signaux très courts et fait apparaître un BER Test

Le Wi-Fi alias WLAN en OFDM sur 2,4 GHz (III)

Les répéteurs

Les répéteurs ou WLAN Range extenders répètent tout ce qui passe à leur portée, on peut toutes fois les programmer pour qu'ils ne répètent qu'un Accès point. On comprend immédiatement qu'un répéteur réduit le débit par 2. Le temps de garde qui est aussi programmable doit être adapté expérimentalement en fonction du réseau.

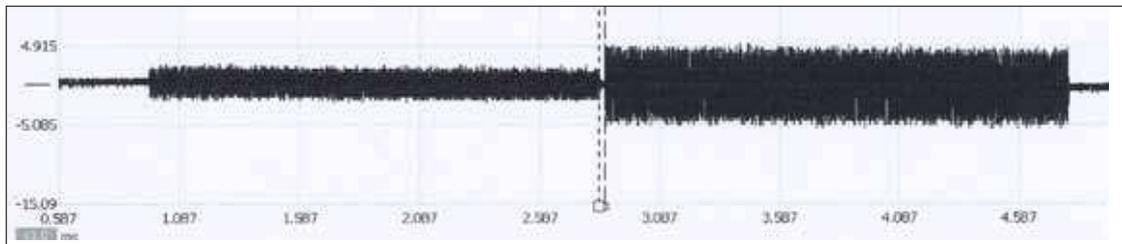


Fig. 9 - Temps de garde d'un répéteur 28µs

Les perturbations

Il faut distinguer 2 sortes de perturbations:

- 1) Celles dues aux trajets multiples (*Multipath*) qui provoquent une déformation ou une annulation sélective du spectre, par exemple, il va manquer une ou plusieurs sous porteuses ou provoquer une altération de la modulation d'une ou plusieurs sous porteuses et ainsi provoquer de l'ISI Inter Symbol Interference, qui sont en fait des symboles que le récepteur Wi-Fi ne peut pas décoder.
- 2) Celles qui sont provoquées par des émissions parasites d'autres usagers ou de machines électriques, qui sont plus ou moins sévères selon leurs niveaux à l'entrée des récepteurs Wi-Fi.

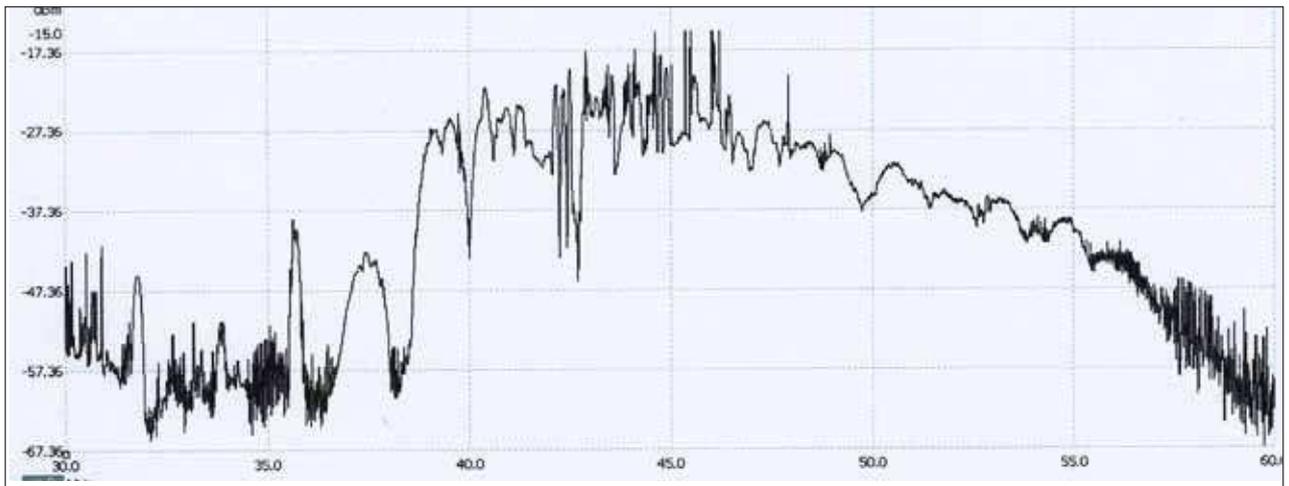


Fig.10 - Un parasite monumental de -15 dBm

Je ne sais pas si ce signal est venu par l'antenne ou par le secteur; une chose est certaine dans ces conditions il n'y a plus rien qui fonctionne.

Les Spectrogrammes et Oscillogrammes ci-dessus ont été capturés sur la sortie moyenne fréquence 45 MHz d'un récepteur AOR AR-5001 reliée à un Picoscope 3204. Les modes OFDM et l'OFDMA ainsi que les modulations BPSK, QPSK et QAM feront l'objet d'un autre cahier.

Résumé

Les liens Wi-Fi fonctionnent plus ou moins bien selon la configuration des lieux et des interférences locales. On ne peut de ce fait pas prévoir sur plans, la qualité du signal a un endroit donné. On cherchera expérimentalement les paramètres qui provoquent le moins d'erreur de transmission BER quitte à réduire le débit de la transmission.

Zusammenfassung

Wi-Fi-Verbindungen funktionieren viel schlechter als eine Draht-Verbindung wie z.B. das Ethernet. Die Ursache liegt meistens von den Mehrweg-Verbindungen „Multi Path“, welche Phasen-Verschiebungen - mit allen Probleme, die dazu gehören - erzeugen. Es ist praktisch unmöglich, eine Voraussage der Qualität der Verbindungen zu machen. Man kann nur die Resultate einigermaßen messen, aber diese Ergebnisse sind zeitlich sehr instabil: was man am morgen gemessen hat, stimmt am Nachmittag nicht mehr. Man kann nicht sagen, dass es nicht funktioniert, aber es funktioniert relativ schlecht und die angegebenen Leistungen der Lieferanten lassen sich praktisch nie erreichen.