

Chapitre 4 La solution Haut débit

I. Technique de maillage des réseaux 802.11

1. Historique

Le réseau maillé ou mesh fut développé par les militaires dans le cadre des systèmes de communication inter armées sur les champs de bataille et notamment expérimenté par l'armée américaine lors de la guerre d'Irak. Une entreprise en a même fait son nom ; ainsi Mesh Networks a fondé son activité sur cette technologie . La société Mesh Networks a joué le rôle du pionnier des réseaux maillés ; mais aujourd'hui des grands noms de l'informatique, comme Intel, et des télécoms, comme Nortel, s'intéressent de près à cette technologie.

Les réseaux sans fil financés principalement par le gouvernement américain, ont débuté sous la supervision de la DARPA (Défence Advanced Reseach Project Agency), l'ONR (The Office of Naval Research), et l'armée américaine.

Le premier projet avait pour objectif d'explorer l'utilisation des réseaux radios à déployer pour l'échange de données. En 1982, un autre projet, a vu le jour sous le nom de « SURAN » (Survivable Adaptatif Network). Il avait pour objectif d'étendre les algorithmes développées pour son prédécesseur dans les réseaux avec des centaines d'utilisateurs. En parallèle la DARPA a lancé les programmes LPR (LOW PACKET RADIO).

Aujourd'hui il y a plusieurs projets financés par le gouvernement américain. Bien que ces projets aient débuté dans un cadre militaire pur, le domaine d'application des réseaux sans fil s'étend bien au-delà. Ces réseaux offrent une grande flexibilité ainsi qu'une rapidité et facilité de mise en place. Ceux-ci sont faciles à implémenter dans les bâtiments où il est impossible d'installer des câbles convenablement.

2. Définitions

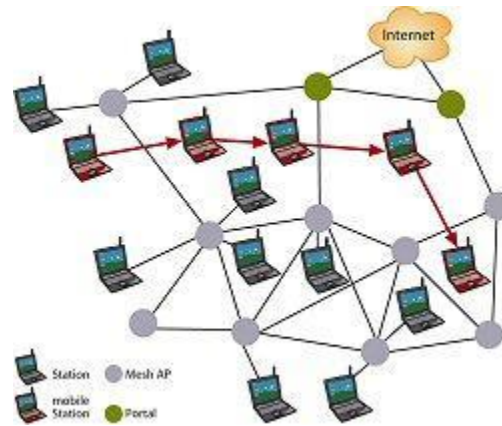
2.1. Ad Hoc : Mode de communication point à point entre 2 stations WiFi ou plus sans passer par un point d'accès.

2.2. Mesh : Le concept du Mesh Networking (Réseau maillé) ou "réseau maillé auto adaptatif" est de transformer un récepteur en relais potentiel. A partir d'un premier point d'accès WiFi ou WiMax, un hotspot peut ainsi être étendu, de point à point, en étant relayé par d'autres bornes voire de simples PC portables, faisant office de relais.

2.3. MANET : MANET, acronyme de Mobile Ad-Hoc Networks, est le nom d'un groupe de travail de l'IETF, créé en 1998/99, chargé de standardiser des protocoles de routage basés sur la technologie IP pour les réseaux ad hoc, mobiles ou non. Depuis la naissance de ce groupe de travail, le nom propre MANET est utilisé comme nom commun pour désigner un réseau ad hoc, spécialement dans les pays Anglophones.

3. Principe des réseaux maillés

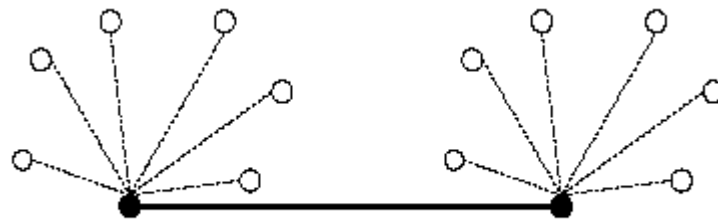
Les réseaux MESH repose sur une technologie qui permet aux postes clients de former à leur tour un réseau local sans fil large bande et de supprimer le câblage entre les points d'accès. Le mode Ad hoc était jusque'ici utilisé pour connecter deux ordinateurs entre eux (d'égal à égal) permettant des partages de fichiers. Mais là, il s'agit de connecter des hôtes de proche en proche pour établir un réseau de mailles permettant à tous les hôtes de communiquer entre eux. Chaque périphérique sans fil se comporte comme un routeur / répéteur pour ses voisins et chaque station peut communiquer avec la totalité du réseau par leur intermédiaire.



Source : <http://www.heise.de>

4. Topologie

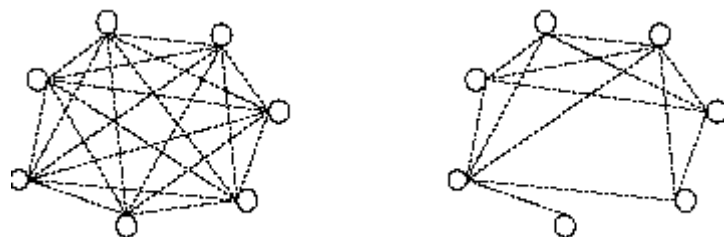
4.1. Topologie à station de base : C'est la topologie de base des réseaux Wifi. Ce modèle met en œuvre une station de base qui centralise les communications entre les nœuds du réseau. L'unique moyen de communication pour un nœud est de passer par la station de base. Ce passage indispensable fragilise le réseau ainsi constitué puisqu'une panne au niveau de la station de base rend le réseau inopérant.



Topologie a stations de base connectees

Source : INRIA

4.2. Mode Ad Hoc connecté : Ce type d'architecture est très simple à mettre en place. Selon ce modèle, tous les nœuds composant le réseau, s'entendent et il n'y a donc nul besoin de protocoles de routage. Cette simplicité, signifie aussi fragilité, puisqu'une rupture d'un lien signifie l'arrêt de communication entre plusieurs périphériques. Ceci implique aussi qu'en cas de mobilité, il faut que tous les nœuds se déplacent en même temps pour conserver la connectivité du réseau.



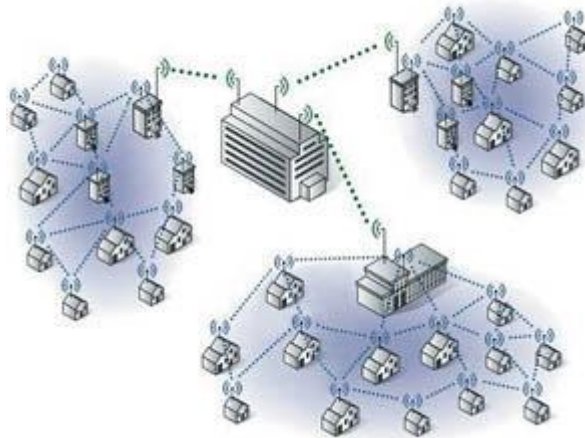
Topologie connectee

Topologie partiellement connectee

Source : INRIA

4.3. Topologie à routage interne : C'est la topologie typique des réseaux Mesh Wifi. Dans cette architecture, les nœuds ne se voient pas tous. Le réseau se base sur un routage interne entre ses membres. Cette configuration sans centralisation permet de résoudre les inconvénients des deux architectures précédentes. Il suffit qu'un nœud ait

au moins un voisin pour qu'il soit connecté aux autres. On peut également relier plusieurs sous réseaux mesh par des lignes longue distance (schémas ci dessous).



Source : www.wifi-savoie.org

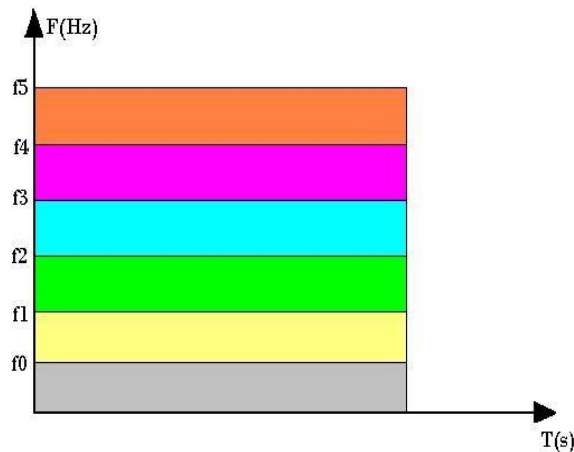
Le Réseau WiMAX

Généralités

Actuellement l'usage de certains équipements tels que les câbles, les hubs, les switches etc. sont devenus encombrant avec leurs câbles réseaux, et les hommes ont eu besoin d'avoir un accès au réseau Internet partout, même pendant qu'ils sont en déplacement. Cela entraînera l'invention du WiFi (Wireless Fidelity) en 1999, conforme à la norme IEEE 802.11 (Institut of Electrical and Electronic Engnering) et qui est une marque de la WiFi Alliance. Le WiFi permet l'interconnexion des équipements réseaux respectant la norme IEEE 802,11 (le réseau sans fil) dans un rayon de couverture pouvant atteindre 500 mètres sans ajouter de relais. 3 ans plus tard le WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) voit le jour, c'est une marque de commerce appartenant au consortium «WiMAX Forum » permettant de relier des équipements réseaux par voie hertzienne respectant la norme IEEE 802.16. Le WiMAX quant à lui a une large zone de couverture théorique de (50 Km) avec un débit montant et descendant de 70Mbits/s.

Technologie-Ondulation

Le WiMAX utilise la modulation d'onde OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing) qui est une modulation de type FDM (Frequency Division Multiplexing) qui agit sur les fréquences. Cette méthode de modulation permet de séparer plusieurs ondes porteuses en vue d'augmenter le nombre d'onde dans une fréquence sans avoir d'interférence. Le chevauchement des ondes porteuses y est supporté dans cette modulation et la transmission des informations est importante.



Représentation graphique du FDMA(Frequency Division Multiple Access)

Les fréquences

La puissance réglementaire d'émission diffère selon les pays, le WiMAX a une portée maximale de 50 Km avec un débit théorique de 70Mbits/s et un débit pouvant excéder 20 M bits/s en cas d'obstacle. La norme IEEE 802.16 a subi des révisions pour donner naissance au WiMAX mobile et au WiMAX fixe.

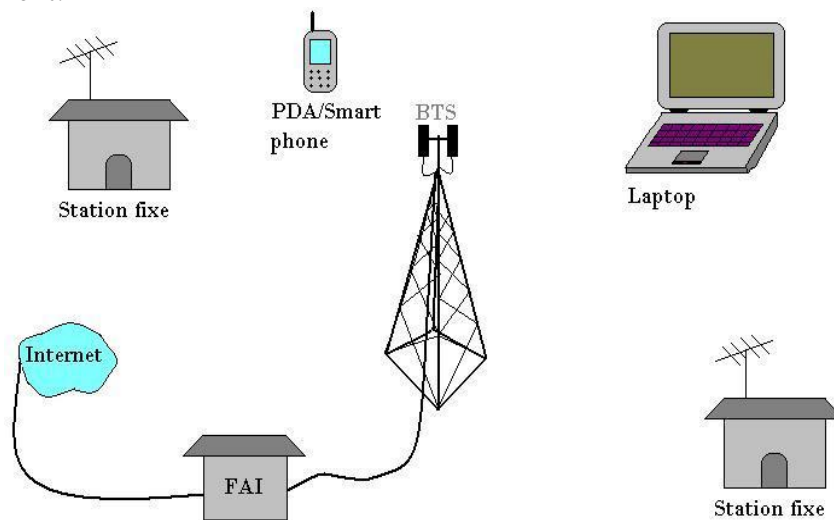
- Le WiMAX mobile ou IEEE 802.16e fonctionne sur la portion de fréquences 2-6Ghz et permet l'interconnexion des stations mobiles au réseau Internet dans un rayon de couverture pouvant atteindre 3,5Km avec un débit théorique de 30Mbits/s. Cette norme est favorable à la téléphonie mobile et au PC portables qui devront être dotés d'une carte WiFi pour choisir le meilleur signal de connexion. La vitesse de déplacement est limitée à 100 Km/h dans des technologies adaptées.
- Le WiMAX fixe ou la IEEE 802.16a-2004 fonctionne dans la gamme de fréquence 2,5Ghz et 3,5Ghz (avec acquittement de licence d'exploitation), et la fréquence de 5,8Ghz qui est une bande libre. Il permet l'interconnexion des stations fixes à antenne extérieure, permet aussi de raccorder des réseaux radios publiques (hot spot), des entreprises et des particuliers dans un rayon de couverture de 10 Km avec un débit théorique de 75Mbits/s

Le tableau ci-dessous représente sommairement les débits selon la norme sans fils.

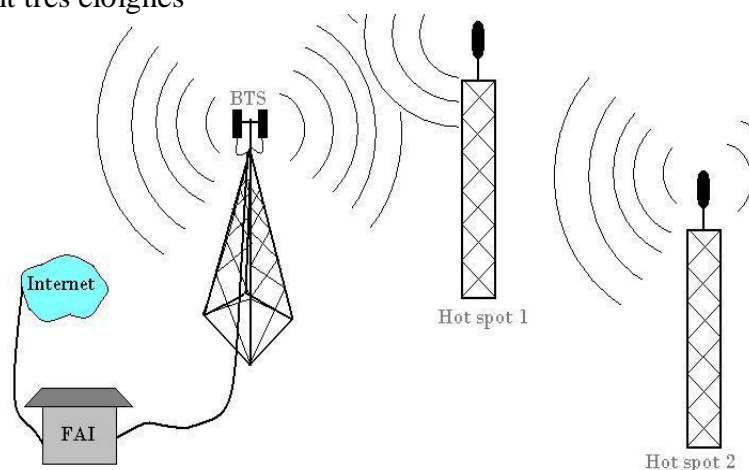
Nom	Norme	Débit	Fréquence
Bluetooth	802.15	2 Mbits/s	2,45 GHz
WiFi	502.11b	11 Mbits/s	2,4 GHz
WiFi	802.11a	54 Mbits/s	5 GHz
WiMAX	802.16	75 Mbits/s	10 - 66 GHz
WiMAX	802.16a	75 Mbits/s	2 - 11 GHz
WiMAX	802.16e	75 Mbits/s	5 – 6 GHz
Hiper LAN/2		54 Mbits/s	5 GHz

Architecture du réseau

Le WiMAX nécessite l'installation d'une BTS (Base Trancever Station) pour son fonctionnement en mode point multipoints. Le WiMAX peut aussi également réaliser un réseau maillé. Il est à noter que les équipements WiMAX ont une puissance de 20W pendant leur rayonnement.



Le WiMAX peut aussi être utilisé pour relier des hots spots WiFi à Internet géographiquement très éloignés



Cas pratique: Interconnexion d'une entreprise à un réseau WiMAX

Dans notre cas pratique nous prenons l'exemple d'une entreprise privée qui sollicite les prestations d'un fournisseur d'accès Internet (FAI) à travers un réseau WiMAX. Cette entreprise se trouve à une distance de 8Km du FAI. Dans cette partie nous nous limiterons sur la partie « antenne WiMAX – passerelle de l'entreprise ».

Identification du matériel

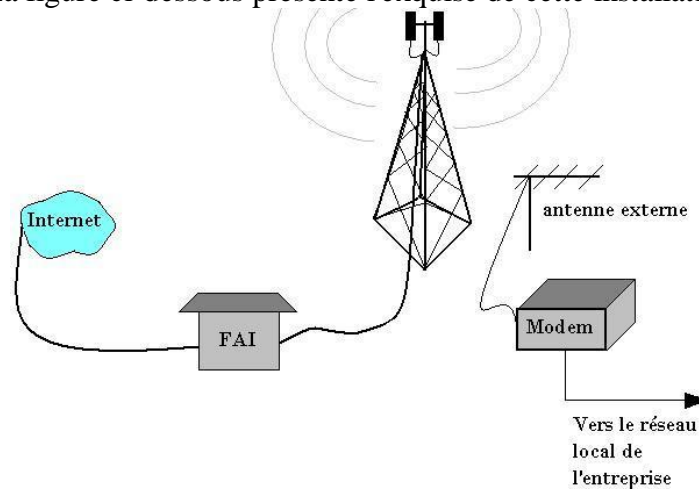
Ici le Fournisseur d'accès Internet (FAI) est doté d'une BTS (Base Tracever Station) dont les rayonnements couvrent toute la ville jusqu'aux environs. Le Fournisseur d'accès Internet devra fournir les équipements suivants après étude minutieuse:

- ✓ Une antenne WiMAX
- ✓ Un mât

- ✓ Un parafoudre
- ✓ Une prise de terre
- ✓ Une bonne longueur de câble coaxial BNC et de câble RJ-45
- ✓ Des connecteurs de câble RJ-45 et BNC
- ✓ un modem sans fil (WiMAX) accompagné du manuel d'emploi
- ✓ Une adresse IP

Présentation des installations

L'équipe technique devra d'abords creuser un trou où sera logé le mât qui supportera l'antenne et le parafoudre. Une fois le mât coulé, s'en suit l'installation de l'antenne et du parafoudre. L'antenne extérieure sera connectée au modem par l'intermédiaire d'un câble coaxial BNC et le parafoudre sera relié à la terre par un câble métallique spécial. Le modem sera relié au serveur local (passerelle) de cette entreprise par le biais d'un câble réseau RJ-45. La figure ci-dessous présente l'exquise de cette installation.



L'entreprise sera dotée d'une adresse IP publique (ex:123.123.123.4), cette adresse IP (Internet Protocol) sera attribuée à l'une des cartes réseaux de la passerelle de cette entreprise. Les techniciens du FAI configureront le modem WiMAX et l'administrateur réseau de l'entreprise privée pourra donc administrer son réseau local comme il se doit.

Conclusion

Le WiMAX semble avoir un bel avenir devant lui car il répond aux besoins des utilisateurs en termes de large bande passante, son coût de production faible et sa distance de propagation élevée. Il est donc adapté pour les villes et les campagnes.

De La 2G À La 4G

Cette page reprend les articles Techniques.

Qu'entend-on par la 4G?

La norme LTE-Advanced, aussi dénommée 4G est la norme téléphonie de 4ème Génération. Celle-ci permet d'améliorer les performances d'une communication radio-mobiles comparativement à la 3G notamment en terme de :

- ✓ Débits (montant et descendant)
- ✓ Interactivité : réduction de la latence

- ✓ Meilleure efficacité spectrale : L'opérateur peut couvrir une plus grande densité de population en exploitant une bande de fréquence identique à la 3G.
- ✓ Optimisation automatique du réseau : Les équipements 4G se configureront automatiquement pour améliorer la qualité de service offerte au particulier.

Des confusions à éviter.

Pour simplifier, après la 2G, il y a deux normes assez proches qui se sont développées pour proposer des services vidéos mobiles, une norme principalement implantée en Amérique (3GPP2 ou IMT-2000 normalisée par l'institut Américain ITU) et une norme implantée en Europe et en Asie (3GPP ou UMTS), spécifiée par l'institut Européen ETSI.

Ainsi, la 3G regroupe deux standards, le 3GPP et le 3GPP2. Chaque norme s'est développée au fil des années en apportant des améliorations sur le débit notamment.

Pourquoi la 4G?

Alors que les débits et l'interactivité n'intéressent de prime abord que les utilisateurs (et les commerciaux pour vanter la 4G), nous verrons dans ce blog les avantages de la 4G pour l'opérateur, et les raisons qui ont poussé les équipementiers et les opérateurs à la mise en place de la 4G.

Dans les faits, la 3G n'est arrivée en France qu'en 2004, la 2G en 1992 mais le téléphonie mobile n'a réellement inondé le marché qu'à la fin des années 90. D'autre part la 2G est toujours utilisée et la 3G n'est pas encore totalement exploitée. Alors pourquoi passer en 4G?

La 4G est planifiée en 2012/2013 en France (les tests en environnement réels ont démarré en 2010-2011 sur Lannion, sur Vélizy et sur Poitiers pour le LTE), mais la couverture nationale (plus de 90% de la population couverte) ne sera pas assurée avant 2015-2016. Dans les autres pays (Japon, Corée, Amérique, ...) la 4G pourrait démarrer en 2012.

Actuellement, on lit plusieurs expérimentations sur le LTE. La 4G, ou LTE-Advanced s'appuie sur le LTE. Par abus de langage, certains parlent du LTE en considérant que c'est de la 4G. En réalité, le LTE est une norme dite 3.9G car elle ne répond pas aux spécifications imposées par la norme 4G. D'un point de vue technique, il y a peu de différences entre le LTE et le LTE-Advanced.

Les différentes normes téléphoniques

Avant d'expliquer l'état actuel des technologies utilisées aujourd'hui, il me semble intéressant de rappeler l'évolution de ces techniques : cela a pour avantage d'une part de savoir de quoi on est parti pour mieux se positionner à l'heure actuelle et d'autre part de voir l'évolution du réseau structurant de l'opérateur. Rassurez-vous, je serai très bref.

Les années 80

La 1ère génération des téléphones mobiles a débuté dans le début des années 80 en offrant un service médiocre de communication mobile, médiocre mais très coûteux. La 1G avait beaucoup de défauts : Des normes incompatibles d'une région à une autre, une transmission analogique non sécurisée (on pouvait écouter les appels), pas de roaming vers l'international (roaming est la possibilité de conserver son numéro sur un réseau autre que celui de son opérateur).



Les années 90

Dans les années 90, le GSM est apparu. Il s'agit de la norme 2G, s'appuyant sur les transmissions numériques permettant une sécurisation des données (avec cryptage). La norme est mondiale, elle autorise le roaming entre pays exploitant le réseau GSM. Le GSM permettait aussi l'émission de SMS (limités à 80 caractères). Le principe du GSM, dois je le rappeler, est de passer des appels téléphoniques. Aussi, le GSM s'appuie sur une connexion dite orientée circuit, déjà utilisée par la téléphonie fixe. L'avantage de cette connexion est d'ouvrir un faisceau entre l'appelant et l'appelé qui ne sera fermé qu'en fin de communication. Un faisceau, c'est comme une voie ferroviaire, supposons deux gares reliées entre elles par plusieurs voies. Si le système de **commutation** des voies ne change pas, tous les trains emprunteront le même chemin. Dans le cas de la téléphonie, le système de commutation s'établit pendant la tonalité de mise en relation, puis est maintenu pendant toute la communication. L'inconvénient est l'utilisation d'un faisceau même si vous ne parlez pas (et quand bien même vous parlez, lorsqu'on communique, il y a plus de 60% de blancs lors de notre conversation), c'est à dire que le faisceau vous est réservé alors que vous ne transmettez rien. L'avantage et la raison de ce choix est que la conversation arrive dans le bon ordre (si vous comptez de 1 à 10, le 1 arrivera en premier à votre correspondant et le 10 en dernier car tous ces nombres auront suivi le même faisceau).

Le GSM a connu un énorme succès et a permis de susciter le besoin de téléphoner en tout lieu avec la possibilité d'émettre des mini-messages.

Devant le succès, il a fallu proposer de nouvelles fréquences aux opérateurs pour acheminer toutes les communications, et de nouveaux services sont aussi apparus, comme le MMS. Le débit de 9.6 kbps proposé par le GSM est insuffisant, de nouvelles techniques de modulations et de codages ont permis d'accroître le débit et les premières connexions IP sont apparues (GPRS, EDGE). Des applications M2M (Machine To Machine) sont aussi apparues comme par exemple commander les produits à approvisionner dans une machine de distribution (machine à café, ...)

Les années 2000

La 3G a été impulsée par les exigences de l'IMT-2000 pour permettre des applications vidéos sur le mobile. Une application vidéo nécessite un débit de 384 kbps au minimum. Les applications visées étaient la possibilité de regarder youtubes, de la visiophonie, ... Outre

l'augmentation de débit, un point complexe à résoudre était de passer d'un service de téléphonie (à connexion circuit) vers un service DATA (connexion paquets).

La 3G a démarré lentement après un retard de 2 ans sur les prévisions (autonomie des mobiles insuffisante est due entre autres au dimensionnement des amplificateurs pour transmettre le signal sans trop le déformer. L'amplificateur est situé avant l'antenne, il amplifie le signal pour que celui-ci puisse être reçu par l'antenne, c'est un peu comme si vous souhaitiez écouter de la musique dans votre jardin à partir de votre radio dans votre chambre).

La 3G a commencé à s'introduire sur le marché à partir de la version 3.5 (2005.c), celle-ci, nommée HSDPA a permis d'augmenter le débit descendant. Puis est arrivé le HSUPA pour augmenter le débit montant et enfin le HSPA et HSPA+.

L'accès aux services de connexions à internet et surtout de messagerie s'est peu à peu installé dans les habitudes des utilisateurs. Les terminaux se sont améliorés (Smartphone,..) permettant un usage plus confortable de la connexion haut débit.

Succédant à la 3G (l'expérience de ces 20 années de téléphonie) et aux évolutions de cette norme (HSDPA, HSUPA, HSPA, HSPA+), le LTE apparait avant tout comme une rupture technique :

- ✓ Nouvelle Interface radio basée sur un multiplexage d'accès OFDMA
- ✓ Modification de l'Architecture réseau existant afin de fournir une connexion tout IP.

En en 2010

La norme LTE-advanced impose des critères de base sur le débit et sur la latence, comme le résume le tableau suivant :

		LTE	IMT-advanced	LTE-advanced
Débits crêtes maximums	DL	300Mb/s		1Gb/s
	UL	75Mb/s		500Mb/s
Bandes de fréquence		1,4 à 20MHz	→ 40MHz	→ 100MHz
Latence	données	10ms	10ms	10ms (RTT)
	session	100ms	100ms	50ms
Efficacité spectrale DL / UL	Max	5,0 / 2,5 b/s/Hz	15 / 6,75 b/s/Hz	30 / 15 b/s/Hz
	Moyen	1,8 / 0,8 b/s/Hz	2,2 / 1,4 b/s/Hz	2,6 / 2,0 b/s/Hz
	En limite	0,04 / 0,02 b/s/Hz	0,06 / 0,03 b/s/Hz	0,009 / 0,07 b/s/Hz

Réseau de l'opérateur - Schéma simplifié

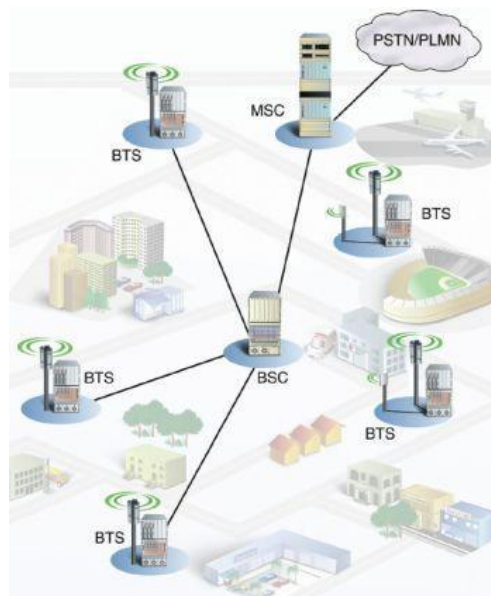
Le sous système radio : BSS

Nous allons nous intéresser maintenant au réseau téléphonique de l'opérateur concernant la 2G. Pourquoi? Pour comprendre encore mieux les éléments qui ont été introduits dans le réseau, et les modifications apportées au fil des années (des normes).

La encore, la simplicité sera de mise.

Initialement, pour la 1G le réseau était composé une antenne (appelée station de Base ou BTS en Anglais), d'un centre de commutation (cf. article précédent) nommé MSC et le trafic était envoyé sur le réseau fixe.

Puis, un contrôleur intelligent a été placé entre la BTS et le MSC dont le rôle est de définir les liens (faisceaux radio) pour acheminer les appels (Hopping car le BSC gère plusieurs BTS, gestion des liaisons, ...)



Le mobile, le BTS et le BSC forment la sous partie radio, nommée **BSS** (Base Station Subsystem).

Le sous système réseau : Le NSS

Le BSC est connecté au commutateur, lequel est relié au système téléphonique fixe de l'opérateur (PSTN). Si on vous appelle d'un poste fixe, l'appel sera acheminé jusqu'au MSC puis transmis à la BSC et enfin à la BTS sur laquelle vous êtes connecté. Il y a environ 30000 BTS pour un opérateur en France. Si on vous appelle, il est nécessaire de savoir sur quelle BTS vous êtes "connecté". Afin de transférer l'appel vers le bon commutateur (MSC), une base de données (nommée VLR) est associée à chaque commutateur MSC. Ainsi, si quelqu'un vous appelle, on cherche dans quelle VLR/MSC vous êtes enregistré. Ensuite le MSC soumet l'appel à la BSC et une procédure de recherche (nommé Paging) permet de définir avec exactitude les BTS avec lesquelles vous pouvez communiquer (au plus 7 BTS).

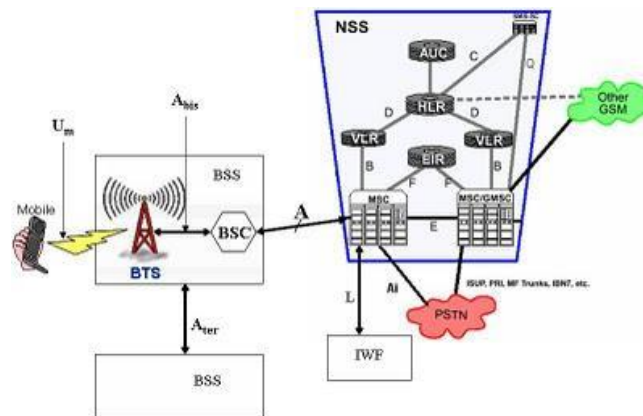
En ce qui concerne l'enregistrement au niveau de la VLR, si votre mobile est allumé, il communique périodiquement avec la BTS. Si vous éteignez votre téléphone, le VLR conserve votre position (dans plus de 99% des cas, lorsque l'abonné éteint et rallume son téléphone, celui-ci se trouve toujours connecté à la MSC).

Pour savoir sur quelle MSC vous êtes connecté, faites :

- ✓ 290 pour Orange (appel gratuit)
- ✓ 06.09.00.00.00 pour SFR (prix appel normal)
- ✓ 06.60.31.09.99 pour Bouygues (prix appel normal)

Une autre base de données existe, elle s'appelle la HLR; c'est un espace protégé, redondé qui contient toutes les informations du mobile et du client (votre numéro de mobile, le numéro de la carte SIM, le téléphone, ...) et qui pointe vers la MSC où vous êtes enregistrés. Ainsi, quand un appel vous êtes destinés, la première étape consiste à lire au niveau du HLR dans quelle VLR vous avez été "vu" la dernière fois.

Le HLR contient donc toutes les informations du client, il existe d'autres bases, comme l'EIR qui contient le numéro d'identification du mobile (tapez *#06# sur votre mobile pour connaître votre numéro IMEI), un centre d'authentification (AuC).



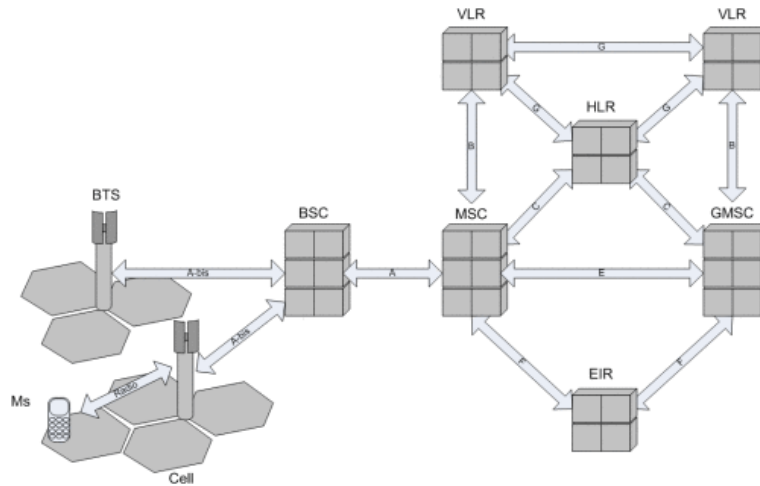
L'évolution du GSM est la suivante : GPRS, EDGE, WAP. Ces trois technologies ont permis d'améliorer le débit de communication entre le GSM et la station de base, et sont destinées à un lien IP pour la transmission de données.

Evolution de la 2G

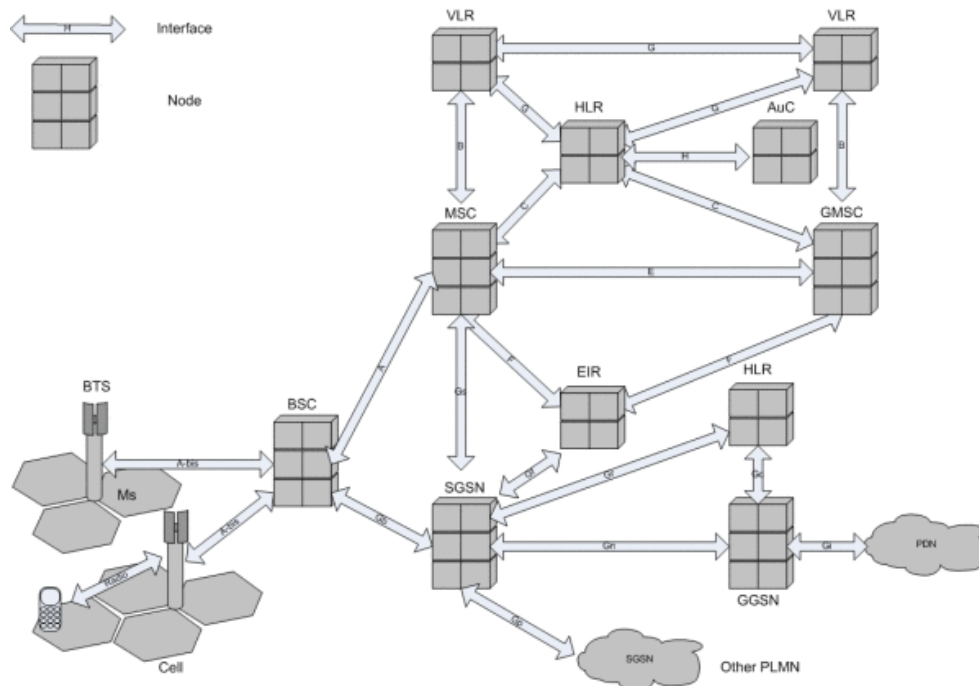
GPRS ou General Packet Radio System est un système orienté paquets, autrement dit il envoie les données à la volée sans maintenir un lien de connexion permanent avec l'appelant : toutes les 20 ms, la BSC alloue des faisceaux pour transmettre des données (un ou plusieurs faisceaux).

Le standard R97 (Release soumise en 1997) permet d'atteindre un débit descendant de 40 kb/s et 14 kb/s en montant. Les améliorations futures (R98 et R99) proposent un débit pouvant aller jusqu'à 170 kbit/s pour les utilisateurs en faible mobilité, proches de la station de base en concentrant plusieurs faisceaux entre eux et en diminuant l'algorithme de détection/correction d'erreurs : l'abonné étant proche de la station de base, la communication ressent moins l'effet du bruit. La partie BSS constituée de la BTS; de la BSC et du mobile prend pour nom GERAN (GSM Edge Radio Access Network), la modification porte sur la possibilité de transmettre en mode paquet sur plusieurs faisceaux. Il s'agit donc d'une amélioration logicielle de la gestion des communications. Mais il n'y a aucun nouvel équipement affecté sur le BSS. La partie réseau NSS est quant à elle modifiée comme le montrent les figures ci-dessous :

Le réseau GSM



Le réseau GSM et GPRS



Jeu des différences?

Deux équipements supplémentaires équipent la partie NSS de l'opérateur :

- ✓ SGSN : noeud de Service GPRS
- ✓ GGSN : noeud de Passerelle GPRS

Le rôle du SGSN est similaire au MSB :

- ✓ Authentification des stations mobiles pour permettre la transmission de données en mode paquets : le SGSN enregistre donc le mobile GPRS et gère son déplacement (Handover) .Le SGSN crée aussi un contexte pour chaque communication GPRS, le contexte définissant les caractéristiques de la communication (qui : Adresse IP, où, quoi, comment, ...)

Le rôle du GGSN est de faire l'interface entre le réseau GPRS et le réseau IP. Il s'agit d'une Passerelle.

EDGE : Enhanced Data rate for GSM Evolution

La technologie EDGE s'appuie sur une modification de la communication entre le mobile et la station de base. Il est nécessaire de changer la carte TRX (transmission/réception) de la BTS et de modifier la partie logicielle. L'astuce consiste à modifier la modulation numérique en augmentant la valence (la modulation MSK est remplacée par une modulation 8PSK c'est à dire 3 fois plus rapide). Cela entraîne une réception plus sensible au bruit et par conséquent une couverture plus faible.

Explication avec les mains:

LE GSM :

Prenez un rapporteur et placez une étiquette sur le 0 et le 180°. Avec des flèches blanches, visez l'étiquette sur le 0 et avec les flèches noires visez l'étiquette positionnée sur le 180°. Regardez le nombre de flèches de couleur blanche qui sont le plus proche de l'étiquette 0. Il s'agit d'une bonne transmission, vous visiez le 0 et votre flèche est plus proche du 0 que du 180°. Le fait de n'avoir que 2 étiquettes vous permet d'avoir une marge d'erreur plus importante. Par contre, vous ne pouvez transmettre qu'une flèche blanche ou noire à chaque tir. Si vous souhaitez transmettre une information blanche et deux noires, il faut lancer 3 flèches.

EDGE :

Maintenant, intercalez des étiquettes sur le 45°, 90°, 135°, 225°, 270° et 315°. Si vous visez l'étiquette sur le 45°, la marge d'imprécision est maintenant plus faible. Il faut en quelque sorte se rapprocher de la cible pour améliorer son tir.

Maintenant, on utilise 8 flèches différentes : une flèche comportant 3 traits blancs (vers le 0), une flèche comportant deux traits blanc et un trait noir (pour viser le 45°), une flèche comportant un trait blanc-1 trait noir-1 trait blanc pour viser le 90°, ...

Ainsi, chaque flèche contient 3 informations, c'est à dire qu'une flèche contient à chaque lancé 3 fois plus d'informations que les flèches utilisées pour le GSM. Une transmission EDGE transmet 3 fois plus d'informations qu'une transmission GSM, le débit est multiplié par 3.

Donc, entre la modulation MSK (GSM - 2 étiquettes) et 8PSK (Edge 8 étiquettes), pour avoir le même nombre de tirs faux, il est nécessaire de se rapprocher de la cible pour le 8PSK. Mais un bon tir donne 3 fois plus d'informations pour l'EDGE que pour le GSM.

De la 2G à la 3G

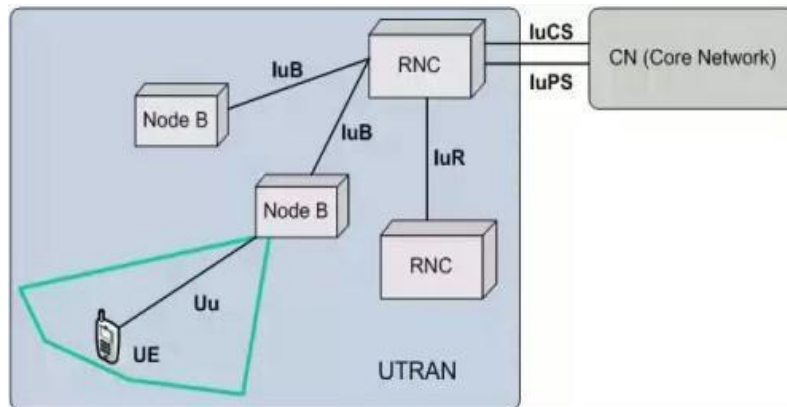
La 3G a été définie dans la release R99 sous le nom UMTS : Universal Mobile Telecommunications System. Certains préfèrent encore l'appeler W-CDMA qui est la technologie d'accès radio permettant à plusieurs utilisateurs de communiquer en même temps. L'objectif de la 3G était le haut débit, en théorie 2 Mbps (soit 6*384 kbps) avec une mobilité faible et proche de l'antenne, et un débit de 384 kbps en mouvement, ce qui est proche des offres ADSL de l'époque.

La 3G est arrivée en France en 2004, et elle a nécessité la mise en place d'infrastructures radio en parallèle du réseau EDGE et du réseau GPRS dont le coût a été estimé à quelques milliards

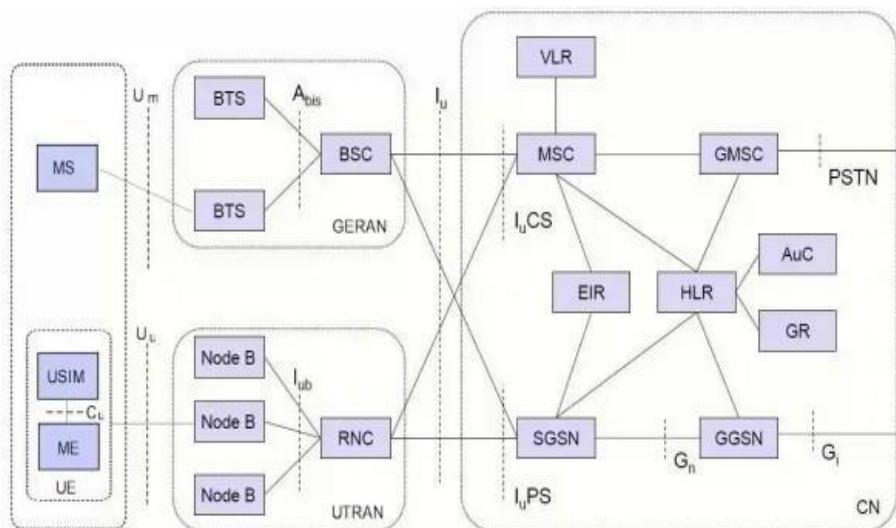
d'euros. Il s'agit du cout de la mise en place de nouvelles antennes, nommée Noeud B et d'un controlleur de noeud nommé RNC. Le noeud B est donc l'équivalent de la BTS utilisée en GSM, mais avec sur une bande différente, et utilisant une technologie de modulation (HPSK) et une technologie d'accès (W-CDMA) différente.

Le noeud B et le RNC forment l'accès radio UMTS dénommé UTRAN (UMTS TERRESTRIAL Radio Acces Network). Ils se rajoutent donc au GERAN (GSM-EDGE RAN). L'UTRAN et le GERAN forment donc maintenant le BSS (cf. article évolution de la 1G vers la 2G).

Un schéma vaut mieux qu'un long discours :



Seule la partie radio a été modifiée, la partie réseau (NSS) reste identique, l'interface UTRAN s'appuie sur les éléments réseaux déjà existant. La cohabitation entre les deux réseaux est ainsi la suivante



Conclusion :

La mise en place de la 3G a coûté plusieurs milliards d'euros, il faut convaincre les opérateurs que la 4G qui nécessite une nouvelle interface radio coûtera moins cher.

L'UMTS, ou la 3G, a été définie en 1999 au cours de la release R'99. La 3G est arrivée en 2004 en France, retard dû en partie aux téléphones qui n'étaient pas fonctionnels avec le réseau.

Le LTE a été normalisé en 2008 dans la R8, l'arrivée est-elle planifiée en 2012 ou en 2013?

Déploiement de la 4G

J'avais conclu l'article traitant de la 3G sur le coût de revient de déploiement de cette technologie. Vous vous doutez bien que fort de cette expérience, les opérateurs se préoccupent du coût d'installation (CAPEX) du LTE afin d'avoir un ROI (Retour sur Investissement) à court terme.

Dans divers communiqués de presse, les équipementiers ont tenté de rassurer les opérateurs en mettant en avant le prix d'installation de la 4G en France.

Ainsi, l'équipementier télécoms chinois ZTE a présenté (Juin 2010) une étude démontrant les coûts engendrés par l'implantation d'un réseau LTE sur un territoire fictif fortement inspiré d'un pays européen. Basée sur une moyenne de 5 pays européens, cette modélisation a pour but de rendre compte du prix que coûterait le LTE dans un grand pays de l'Europe. Ce pays imaginaire compterait 50 millions d'habitants, aurait une superficie de 400 000 kilomètres carrés. L'objectif de déploiement serait de 75% du territoire avec une réutilisation des sites 3G et GSM 900 avec en ajout la bande des 2.6 Ghz. Le coût d'implantation pour un opérateur est évalué par ZTE à 400 millions d'euros.

Alcatel-Lucent publiait des chiffres similaires, mais attention, n'oublions pas d'ajouter le coût des licences LTE (2,5 milliards d'euros entre les opérateurs).

Le CAPEX donne une indication, cependant il faut pousser l'étude un peu plus loin et s'intéresser aux frais de fonctionnement (IPEX). Les équipements sont plus petits, consomment moins, donc un gain notable sur l'immobilier (moins de place de stockage) et sur l'énergie (moins de consommation). De plus, grâce au SON (Self Optimization Network), les e-node B pourront se paramétrer tout seuls, ce qui limite le temps d'intervention des techniciens.

Au niveau financier, le coût d'installation des nouveaux équipements ne doit pas constituer un frein au déploiement du LTE.

Pourquoi passer à la 4G?

La question est de savoir qui, entre le consommateur ou l'opérateur, a sollicité la 4G?

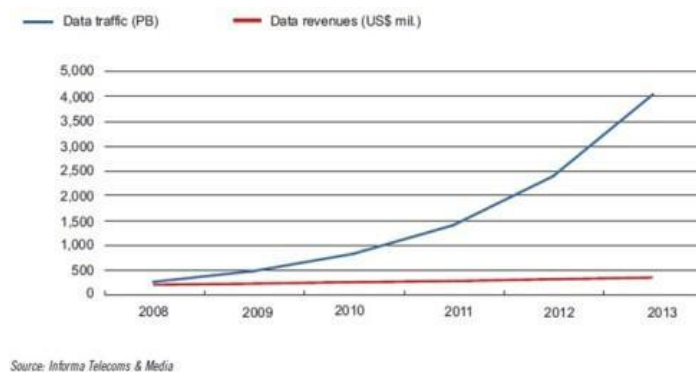
Le consommateur s'approprie actuellement la 3G, il profite d'un réseau de données pour accéder à Internet à haut débit en mobilité et du réseau 2G et 3G pour la voix. On est dans la phase d'apprentissage des applications associant plusieurs services (les milliers d'applications dans les M-stores). La 3G disponible depuis 2004 commence à trouver son public, les utilisateurs n'éprouvent pas le besoin de passer à la 4G.

Les opérateurs ont un réseau 2G et 3G à gérer. Un autre réseau 4G nécessite un nouvel investissement, mais à long terme le coût est amorti. Toutefois, les équipements 3G ont une durée de vie de 15 ans, pourquoi remplacer dès à présent les antennes relais?

La réponse se trouve dans le trafic de l'IP. Les opérateurs proposent l'Internet illimité. Le coût du forfait Internet pour un accès illimité est non rentable par rapport au coût des communications téléphoniques et des SMS. Jusqu'à présent, c'est le forfait téléphonique qui

permet de rentabiliser le réseau de voix et de data. Mais avec l'explosion du trafic, c'est l'infrastructure du réseau IP qui doit être étoffée.

Mais si dans le domaine du trafic IP « fixe », l'infrastructure va s'adapter à la croissance pour l'absorber, il en est tout autrement dans le domaine de la téléphonie. Au niveau de la téléphonie mobile, la courbe suivante présente les estimations sur l'évolution du trafic de la data et le revenu attendu. En bleu l'évolution du trafic et en rouge les revenus pour l'opérateur. La différence entre les deux représente le gap qui s'accroît entre le revenu attendu et l'investissement pour supporter la demande du trafic.



Au niveau de la téléphonie mobile, sur les 6 premiers mois de 2011 les opérateurs ont connu une augmentation de **trafic IP de 77%** (après une hausse de 73% durant la deuxième moitié 2010). La cause de cette croissance est le **streaming vidéo qui représente à lui seul 39%** du trafic IP mobile dans le monde. Le premier fournisseur de contenu est **Youtube** avec une part à **52% du streaming vidéo** tandis qu'il représente 22% du trafic IP global. Vient ensuite le partage de fichier avec 29% et ensuite la navigation sur le web avec 25%.

Si la croissance de trafic IP est incontestable, la VoIP qui ne présente qu'une très faible part est le service qui progresse le plus avec 101% de croissance. Et Skype récemment acquis par Microsoft règne sans partage avec un impressionnant 82%.

Les réseaux sociaux sont également en forte augmentation lorsqu'il s'agit de trafic IP mobile. Twitter, qui permet de réaliser une sorte de journal électronique sur des sujets qui nous intéressent a ainsi vu un trafic généré augmenter de 297% et FaceBook de 166%. Comme le streaming vidéo, ces applications sont facilement utilisables lors des attentes (transports en commun, pause, ...)

En l'absence de 4G LTE, l'augmentation du trafic IP se transforme en congestion des réseaux 3G. Pour contrer cette congestion, on entend actuellement l'idée de proposer des forfaits data limités à quelques Go de transferts. Une autre alternative est la femtocell, SFR propose déjà ce service pour les TPE.

Dans cette publicité, le réseau 3G (voix et data) est assuré entre la SFR Box et le téléphone mobile ce qui permet de décharger le trafic IP mobile à un trafic à la maison.

Dans l'article précédent, nous avons pris connaissance de la répartition des fréquences à 2.6 GHz entre les 4 opérateurs. Deux options ont été proposées :

- ✓ Une bande de 15 MHz
- ✓ Une bande de 20 MHz

Quel impact cela peut il avoir pour l'opérateur? En fait, cela se traduit par un débit maximal plus faible pour les opérateurs Bouygues et SFR par rapport à Orange et Free dans des conditions idéales.

Pour comprendre cela, il est nécessaire d'expliquer quelques notions sur la méthode de transmission (la couche physique)

Technique de l'OFDM

OFDM signifie Orthogonal Frequency Division Multiplexing, il s'agit d'une répartition de données sur des fréquences différentes. Cette technique est déjà utilisée dans la transmission vidéo, elle a l'avantage d'être robuste contre les effets du canal de propagation (selectivité fréquentielle).

OFDM pour les nuls - Explication sur un exemple

Supposons que vous souhaitiez transporter une cargaison de verres d'un point A à un point B. Les verres sont rangés dans des cartons de taille identique, dans chaque carton on peut mettre 1 verre jusqu'à 6 verres.

On vous propose deux options :

- ✓ transporter votre cargaison dans un véhicule de 10 m de large, 10 m de long
- ✓ transporter votre cargaison dans 10 véhicules de 2 m de large, 5 m de long, chaque véhicule empruntera un chemin.

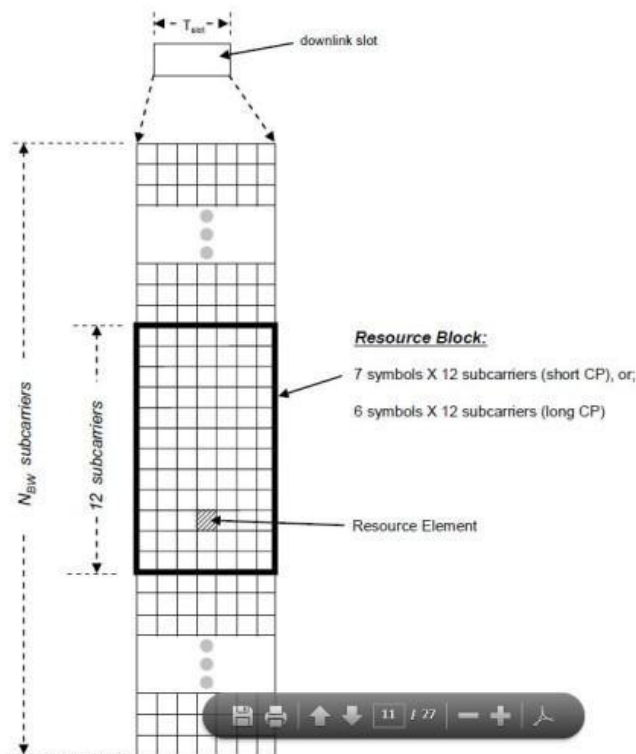
Supposons de plus, que votre concurrent place 3 objets sur le parcours (trous, barre de fer, ...). Dans le cas de l'option 1, les 3 objets déposés par votre concurrent abimera la cargaison en entier. La cargaison subira 3 impacts, elle sera donc dégradée. Dans le cas de l'option 2, si votre concurrent a placé les 3 objets sur 3 routes différentes, sept cargaisons arriveront intactes au point B et 3 cargaisons arriveront légèrement détériorées (moins abimées que dans l'option 1).

L'OFDM permet de transporter les données (le verre) entre deux points en utilisant des fréquences (routes) pour ne pas dégrader entièrement le message (la cargaison entière).

Le LTE regroupe un bloc de données à transmettre en 12 bandes de 15 kHz (technique OFDM). Un bloc élémentaire en LTE utilise donc un spectre de $12 * 15 \text{ kHz} = 180 \text{ kHz}$. On l'appelle **Bloc Ressource ou RB, les 12 bandes de 15 kHz**

Trame LTE

Une trame LTE dure 10 ms. Elle est découpée en 10 sous trames d'une durée de 1 ms. Chaque sous trame est divisée en deux slots de 0,5 ms. Un slot dure donc 0,5 ms, durée pendant laquelle est transmis 7 symboles par bande OFDM. Or, nous avons vu qu'il y avait 12 bandes. Par conséquent, $7 \text{ symboles} * 12 \text{ bandes} = 84 \text{ symboles}$ sont transmis en 0,5 ms



1 symbole peut transmettre 1 bit à 6 bits selon la modulation choisie (QPSK à 128 QAM). En reprenant l'exemple précédent, 1 symbole représente un carton, je vous rappelle que dans un carton je peux avoir un verre ou 6 verres. Si je souhaite transporter le plus de verre, j'ai intérêt à mettre 6 verres par carton, ce qui fragilise encore plus le transport, je favoriserai donc le 128 QAM (6 bits à transmettre) si le mobile et la station de base sont proches (transport peu éloigné entre le point A et le point B).

Plage de Fréquences

Le LTE est scalable, il permet d'exploiter des largeurs de bande de 1,4 MHz, 3 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz

Une ressource bloc correspond à une bande de 180 kHz, si la communication utilise

- ✓ une bande de 1,4 MHz, alors 6 RB peuvent être exploitées
- ✓ une bande de 3 MHz, alors 15 RB peuvent être exploitées
- ✓ une bande de 5 MHz, alors 25 RB peuvent être exploitées
- ✓ une bande de 10 MHz, alors 50 RB peuvent être exploitées
- ✓ une bande de 15 MHz, alors 75 RB peuvent être exploitées
- ✓ une bande de 20 MHz, alors 100 RB peuvent être exploitées

Si l'opérateur a une bande de

- ✓ 15 MHz : Il possède 75 RB, il peut donc transmettre 75×84 symboles * 6 bits en 0,5 ms. Autrement dit, 37800 bits sont transmis en 0,5 ms. Le débit s'exprime en bit par seconde dont $37800/0.0005 = 75,6$ Mbits/s
- ✓ 20 MHz : Il possède 100 RB, il peut donc transmettre 100×84 symboles * 6 bits transmis en 0,5 ms. Autrement dit, 50400 bits sont transmis en 0,5 ms. Le débit s'exprime en bit par seconde dont $50400/0.0005 = 100,8$ Mbits/s

Conclusion

Le débit maximum obtenu par le réseau SFR et Bouygues est de 75,6 Mbit/s

Le débit maximum obtenu par le réseau Orange et Free est de 100,8 Mbit/s

Attention, ce débit ne sera obtenu que si l'utilisateur est le seul à transmettre et proche de la station de base (proche car bonne qualité du signal est nécessaire pour transmettre 6 bits par symbole, cf. transporter 6 verres par carton)

Implémentations satellite VSAT

RÉSEAUX VSAT



Les technologies VSAT apportent une solution rapidement déployable pour répondre aux besoins de couverture des zones isolées, ou pour mettre en place un réseau VSAT entre différents points géographiquement distants et dont on souhaite maîtriser la disponibilité. Les innovations développées pour les modems apportent un gain d'efficacité et de robustesse des liens sans cesse accrues. L'interfaçage en IP permet de fédérer tout type d'applications : données, voix, vidéo. Les solutions récentes en tout-extérieur permettent de configurer des stations à faible consommation compatibles avec les sources d'énergie renouvelables.

Les solutions de réseaux VSAT de Metracom



Metracom commercialise ces solutions réseau VSAT en prenant en compte toutes les spécifications de ses clients et en y associant au besoin l'état de l'art des dernières innovations:

- ✓ Le lien sortant en DVB S2, avec les fonctionnalités VCM et ACM permettant une adaptation optimale de la modulation pour tenir compte de la configuration du réseau.
- ✓ La prise en compte des fonctions d'optimisation de la voix et des données.
- ✓ La gestion temps réel des porteuses pour optimiser l'utilisation de la capacité satellite.
- ✓ La réduction des temps de latence en fonction du débit numérique, indispensable dans le cas de transmission de la voix et de certains services de données. Des architectures qui réduisent les coûts de mise en œuvre et de maintenance.
- ✓ Des architectures qui réduisent les coûts de mise en œuvre et de maintenance
- ✓ Une faible consommation pour les stations distantes.
- ✓ La prise en compte de codage à faible temps de latence en fonction du débit numérique, indispensable dans le cas de transmission de la voix et de certains services de données.
- ✓ Associé à ces stations VSAT, Metracom propose un ensemble de prestations afin de garantir la pérennité et l'intégrité des équipements livrés : contrats de services, matériel de secours, intervention sur site.