

La téléphonie mobile

Systèmes Pré-cellulaire (0G)

Cette entrée en matière concerne les premiers systèmes de téléphonie mobile pré-cellulaires. un temps avant le cellulaire !

Nous parlons ici du système de téléphonie mobile original (MTS) et de la version améliorée appelée système de téléphonie mobile amélioré (IMTS). L'IMTS était assez largement utilisé jusqu'à ce que l'utilisation du système cellulaire analogique (AMPS) se généralise dans les années 1990.

- **Le service de téléphonie mobile (MTS)** était un système radio VHF pré-cellulaire relié au réseau téléphonique public commuté (PSTN). MTS était l'[équivalent radiotéléphonique](#) du service téléphonique terrestre.

Le service de téléphonie mobile a été l'une des premières normes de téléphonie mobile. Il s'agissait d'un opérateur assisté dans les deux sens, ce qui signifie que si une personne était appelée depuis une ligne fixe, l'appel serait acheminé vers un opérateur de téléphonie mobile, qui l'acheminerait vers son téléphone. De même, pour passer un appel sortant, il fallait passer par l'opérateur mobile, qui demandait le numéro de mobile et le numéro à appeler, puis passait l'appel.

Ce service est né du **système Bell** et a été utilisé pour la première fois à **Saint-Louis le 17 juin 1946**. L'équipement d'origine pesait 80 livres (36 kg) et il n'y avait initialement que 3 canaux pour tous les utilisateurs de la zone métropolitaine, plus tard d'autres licences ont été ajoutées, portant le total à 32 canaux sur 3 bandes (voir fréquences IMTS). Ce service a été utilisé au moins jusque dans les années 1980 dans une grande partie de l'Amérique du Nord.

Le 2 octobre 1946, les équipements de communication **Motorola** ont effectué les premiers appels sur le nouveau service radiotéléphonique de voiture de l'Illinois Bell Telephone Company à Chicago. En raison du petit nombre de fréquences radio disponibles, le service a rapidement atteint sa capacité maximale.

MTS utilise 25 canaux radio VHF aux États-Unis et au Canada. Les canaux sont identifiés par des paires de lettres tirées de positions sur un cadran téléphonique nord-américain qui, une fois remplacées par des chiffres, forment (pour les postes mobiles à 12 canaux) 55, 57, 95 et 97.

Dans le plan des années 1960, les attributions de bande haute VHF prévoyaient 11 chaînes aux États-Unis : JL, YL, JP, YP, YJ, YK, JS, YS, YR, JK et JR. Au Canada, deux chaînes supplémentaires étaient disponibles : JJ et JW ...

Ces canaux sont sujets à la congestion et aux interférences du réseau puisqu'une radio plus proche du terminal prendra parfois le relais en raison d'un signal plus puissant. Le service utilise une technologie abandonnée par le fabricant depuis plus de trois décennies.

Le facteur de remplacement dans la majeure partie de l'Amérique du Nord, en particulier dans les grandes villes, était la congestion, c'est-à-dire l'incapacité du réseau à diffuser plus de deux douzaines de chaînes dans une zone géographique. Le service cellulaire a résolu très efficacement ce problème de congestion, d'autant plus que les fréquences cellulaires, généralement UHF, ne vont pas aussi loin que les fréquences VHF et peuvent donc être réutilisées. La capacité d'un système cellulaire à utiliser la force du signal pour choisir les canaux et diviser les cellules en unités plus petites contribue également à augmenter la capacité des canaux.

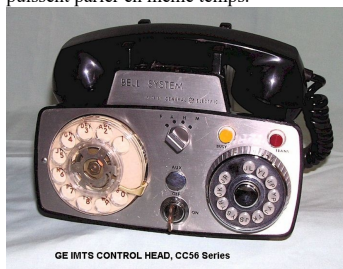
Toutefois, le facteur de remplacement dans les zones reculées n'est pas la congestion du réseau, mais bien l'obsolescence. Étant donné que les équipements ne sont plus fabriqués, les entreprises qui utilisent encore le service doivent lutter pour maintenir leurs équipements en état de fonctionnement, soit en cannibalisant des équipements obsolètes, soit en improvisant des solutions. En raison d'un trafic insuffisant, le cellulaire ne constitue pas une solution de remplacement rentable. Actuellement, la seule solution viable est la téléphonie par satellite, car le petit nombre de « stations de base » en orbite autour de la planète dessert de vastes régions géographiques lors de leur passage. Le coût reste toutefois un problème et le remplacement est progressivement devenu acceptable pour les clients mobiles VHF, à mesure que le coût de la téléphonie par satellite a baissé et continuera de baisser. De nombreuses fréquences MTS sont désormais utilisées pour les services de radiomessagerie locaux. On ne les trouve que dans certaines régions rurales d'Amérique du Nord, ayant été remplacés dans la plupart des régions par le service cellulaire dans les années 1980 ou plus tard.

MTS a été remplacé par le service téléphonique mobile amélioré (IMTS), introduit en 1964.

En complément, lire la page [Le téléphone de voiture](#)

- **Le service téléphonique mobile amélioré (IMTS)** était un système radio pré-cellulaire VHF/UHF relié au réseau téléphonique public.

L'IMTS était l'équivalent radiotéléphonique du service téléphonique terrestre. Introduit en 1964, il a remplacé le service de téléphonie mobile (MTS) et amélioré la plupart des systèmes MTS en offrant une numérotation directe plutôt que des connexions via un opérateur en direct, ainsi qu'un fonctionnement en duplex intégral afin que les deux parties puissent parler en même temps.



Tête de commande pour un téléphone General Electric IMTS

La technologie IMTS a considérablement limité le nombre total d'abonnés. Dans les années 1970 et au début des années 1980, avant l'introduction des téléphones cellulaires, il existait des « listes d'attente » allant jusqu'à trois ans pour ceux qui souhaitaient bénéficier d'un service de téléphonie mobile. Ces abonnés potentiels attendaient que d'autres abonnés résilient leur abonnement pour obtenir un numéro de téléphone mobile et un service de téléphonie mobile.

Ces limitations ont entraîné des ventes et une production en faible quantité de téléphones IMTS et les unités mobiles étaient donc très chères (2 000 à 4 000 dollars). Avant la cession d'AT&T en 1984, les abonnés IMTS du système Bell louaient généralement l'équipement à un tarif mensuel pouvant atteindre 120 \$. La disponibilité des chaînes était limitée et le temps d'antenne était également assez cher, entre 0,70 et 1,20 dollars la minute. À la suite de la cession, les sociétés Bell avaient besoin d'équipement appartenant aux clients et les tarifs mensuels s'élevaient alors généralement à 25 \$ plus le temps d'antenne. De plus, comme il y avait si peu de canaux, il était courant que les téléphones fassent la queue pour utiliser un canal et les fabricants d'IMTS se disputaient la vitesse à laquelle les unités s'emparaient d'un canal disponible.

La limite du nombre de clients sur MTS et IMTS a été le moteur des investissements dans les réseaux cellulaires. Dans les régions éloignées, ce n'est pas le cas ; dans les régions éloignées, l'obsolescence est le moteur, mais l'absence d'une alternative adaptée et abordable a entraîné des obstacles réglementaires : les clients ne voulaient pas que le service MTS/IMTS soit retiré. L'accessibilité croissante du service par satellite et les investissements gouvernementaux dans l'expansion cellulaire ont permis la suppression de MTS et IMTS.

- **Le système de téléphonie mobile avancé (AMPS)** a finalement progressé dans les années 1990, au point où les systèmes MTS et IMTS ont finalement été arrêtés. De nombreuses tours ont été réutilisées pour des antennes cellulaires. Bien que la distance physique d'AMPS soit bien inférieure à celle de MTS ou d'IMTS, le nombre d'appels par tour a considérablement augmenté. Mais finalement, AMPS a finalement été fermé car il était trop analogique (même s'il disposait de canaux de contrôle numériques). Grâce aux méthodes numériques telles que le GSM et le CDMA, le nombre d'appels par canal pourrait augmenter considérablement. L'AMPS lui-même n'a donc pas duré beaucoup plus longtemps que l'IMTS. L'IMTS a disparu à la fin des années 1990 et l'AMPS a été officiellement fermé en 2009.

En Finlande, le service de radiotéléphone de voiture a été disponible pour la première fois en 1971 sur le service ARP (Autoradiophelin, ou radiophone de voiture) de génération zéro. Il a été remplacé en 1982 par le système 1G NMT (Nordic Mobile Telephone), utilisé dans toute la Scandinavie et dans d'autres régions souvent éloignées.

En Allemagne de l'Ouest, le service de radiotéléphone de voiture a été lancé en 1958 sous le nom de service A-Netz. En 1971, il a atteint sa limite de capacité de près de 11 000 abonnés et a été remplacé par le B-Netz en 1972, qui proposait la numérotation directe, ne nécessitant pas d'opérateur humain pour connecter les appels. Toutefois, pour joindre un abonné, il fallait encore connaître son emplacement, car le combiné prenait l'indicatif local de la station de base qui le desservait. Il a été remplacé en 1985 par le système C-Netz 1G.

La téléphonie mobile a connue une évolution rapide et ne cesse d'évoluer sur le plan technique et applicatif. La première génération de téléphonie cellulaire analogique (**1G**, exemple de RC2000 : Radiocom 2000 de France Telecom et NMT : Nordic Mobile Telephone) est née sur la coexistence de plusieurs normes incompatibles entre elles. Lire la page [Le téléphone de voiture](#)

Saviez-vous qu'il existait déjà un aspect de téléphonie mobile dans les années 50 ? .

De l'autre côté de l'Atlantique, ce téléphone sans fil apparaissait en **1956** sous forme de prototype signé **SRA/Ericsson** et pesant ... **40Kg**. Mais il était réservé à des gens

fortunés puisqu'il était commercialisé au prix de 3995 USD à l'époque, c'est l'équivalent aujourd'hui d'environ 6500 euros. Grâce aux nouvelles technologies du début du siècle, en particulier la technologie radio développée à partir des années 40 et celle des cellules hexagonales permettant d'envoyer et de recevoir des signaux dans trois directions différentes, le téléphone mobile fut inventé par **Martin Cooper**, directeur général de la division communication chez **Motorola**.

L'appareil reste tout de même très imposant: mesurant 25cm sans compter l'antenne et pesant 783 grammes, on est encore loin du téléphone d'aujourd'hui que l'on peut glisser dans sa poche. La batterie intégrée proposait une autonomie de 60 minutes en communication, mais présentait le défaut majeur de nécessiter 10 heures pour être rechargé au chargeur d'origine (une heure avec un nouveau modèle de chargeur sorti plus tard). Ce téléphone était vendu sur le marché au prix de 3995 \$ et était disponible en trois couleurs: gris sombre, gris et blanc, et blanc clair.

C'est en avril 1973 que l'invention du téléphone portable analogique est attribuée à l'ingénieur de **Motorola** nommé **Martin Cooper**.

1950 en France, le Téléphone Mobile de Voiture 150 Mc/s est mis en étude par le Service des Recherches et du Contrôle Technique, sur décision de l'Administration des PTT. Les études sont avancées avant Janvier 1952 et la première expérimentation débute le 1er décembre 1954 avec un véhicule SIMCA Aronde.

1955 Le premier réseau radio téléphonique mobile appelé R150, est ouvert commercialement en France en Octobre, uniquement à Paris et Région Parisienne, avec 10 abonnés. Les fréquences utilisées sont autour de 150 MHz, le réseau est conçu par la société Thomson-CSF.

C'est encore un système analogique manuel géré par des opératrices, via le Central Téléphonique Radio de Paris situé dans le Centre Téléphonique Émetteur Ménilmontant, sur un point haut de Paris. La mise en relation est faite à travers le commutateur téléphonique automatique ROTARY de l'époque.

Avant que le premier système radio cellulaire commercial au monde, conçu par les ingénieurs des Bell Labs en 1946, puisse être mis en service au Japon en 1979, 100 ingénieurs et techniciens japonais ont nécessité une période de développement de 12 ans.

ITT a dépensé un montant record de 1 milliard de dollars dans les années 1980 pour le développement de son système de commutation numérique (System 12), puis a abandonné les télécommunications.

En France en 1973, le Téléphone de Voiture R150 atteint 500 abonnés. Le réseau R150 sera fermé le 2 janvier 1992.

Le réseau R450 (450 MHz.) vient compléter le réseau R150 en juin 1973. Ce réseau est à commutation entièrement automatique.

Que ce soit en technologies R150 ou R450, ce qu'il est convenu d'appeler le "Téléphone de Voiture" atteint le 10.000^{ème} abonné le 26 juin 1984 pour culminer en fin 1985 à un total de 12.000 abonnés.

C'est en 1986 qu'est créé le premier **réseau français de téléphonie mobile** sous la dénomination de **Radiocom 2000**.



C'est un réseau téléphonique mobile semi-analogique et semi-numérique à structure cellulaire.

Radiocom 2000 est la norme 1G ou première génération.

La liaison (téléphonique) entre le radiotéléphone et le réseau téléphonique (central) est réalisée par l'intermédiaire d'un **relai radio**.

Les signaux de contrôle et de localisation sont numériques. Les conversations téléphoniques transitent directement en modulations analogiques sans cryptage par la voie aérienne. Chaque Station Relais est raccordée par 2 ou 3 liaisons numériques MIC (30 voies) à un Commutateur Téléphonique Électronique Temporel de 2ème Génération (MT25 ou E10N1), puis de 3ème Génération (AXE10). Chaque Commutateur Téléphonique voit les liaisons MIC provenant des Stations Relais R2000 comme une simple Unité de Raccordement d'Abonnés Distant.

Chaque relai couvre une zone géographique appelée « **cellule** ». C'est pourquoi on parle parfois de **réseaux « cellulaires »**.

Lorsqu'un mobile sort d'une cellule, il peut « s'inscrire » sur la cellule adjacente.

Lors du lancement du Radiocom 2000, la communication était perdue lorsque le mobile sortait de la cellule d'inscription précédant l'appel.

L'ajout de la fonction de « **handover** » permet de continuer la communication en changeant de zone de couverture.

Cette dernière évolution technique a coûté le rapatriement de tous les mobiles pour mettre à jour le logiciel de gestion du mobile !

Mai 1986, le Radiocom 2000 compte 1.800 abonnés en France.

Ce n'est pas vraiment un téléphone mobile indépendant du réseau commuté, il faudra attendre un peu.

1987 Iridium, le premier système mondial de communications personnelles mobiles par satellite, a été conçu en 1987.

Plus de 1000 ingénieurs, techniciens et mathématiciens, principalement aux États-Unis mais aussi en Europe et en Asie, avec beaucoup de compétence et d'énergie, ont élaboré des conceptions élaborées pour les composants et systèmes pour les logiciels, les plans de gestion et la logistique au coût de 3,4 milliards de dollars avant que le système puisse être mis en service le 1er novembre 1998.

À ce moment-là, malheureusement, il était trop tard. La pénétration mondiale étonnamment rapide de la radio cellulaire a rendu le système Iridium superflu.

En 1988, le réseau Radiocom 2000 compte jusqu'à 60.000 abonnés et plus de 90 % des appareils sont installés à bord de véhicules.

Son utilisation est avant tout professionnelle et on est très loin d'un phénomène de masse. Il y avait 330.000 abonnés quand **son abandon au profit exclusif de la norme GSM sera réalisée en l'an 2000**.



Historique GSM au niveau international.

Du 24 septembre au 6 décembre **1979**, la Commission Administrative Mondiale des Radiocommunications est réunie à Genève pour 11 semaines de travaux (WARC'79). Un traité international de l'UIT est alors signé pour libérer la bande des 900 MHz en vue d'un futur standard de téléphonie mobile restant à définir.

Du 14 au 25 juin **1982** la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (CEPT) est réunie en session à Vienne (Autriche) et crée en cette occasion le Groupe spécial pour système public de radiocommunications avec les mobiles à 900 MHz, soit en abrégé le Groupe spécial mobiles (GSM).

Fin juin **1982**, se tient à Londres, à la demande de la France et de la Grande-Bretagne, la première réunion européenne visant à définir les bases du radiotéléphone du futur, exploitant la bande des 900 MHz, de 890 MHz à 915 MHz dans le sens Mobile vers Station Relais, de 935 MHz à 960 MHz dans le sens Station Relais vers Mobile.

En Décembre 1982, le CNET lance le projet **MARATHON** (Mobiles ayant Accès au Réseau des Abonnés par Transmission Hertzienne Opérant en Numérique) chargé d'établir les spécifications techniques du futur système GSM. Le Chef de Projet est M. Bernard Ghillebaert. La contribution de la France, du CNET et la contribution de M. Ghillebaert seront internationalement reconnues à postériori.

Le 15 **juillet 1983**, la France (par M. le Ministre des PTT) et la RFA adoptent le principe d'un système commun de radiotéléphonie cellulaire à transmission entièrement numérique dénommé S900.

Le 15 **décembre 1983** sont lancées simultanément en France et en RFA des consultations et des appels d'offres communs en direction des industriels. Le **26 mars 1984**, cinq réponses sont reçues et soumises aux 2 administrations provenant des consortiums suivants :

CIT Alcatel, Thomson-CSF, Philips Kommunikation Industrie et Siemens, Matra, Ant Nachrichtentechnik et Robert Bosch, Motorola, SAT, AEG-Telefunken et S.E. Lorenz, SECRE et Ericsson Radio System AB.

Le **30 octobre 1984**, lors du 11ème sommet Franco-Allemand qui s'est tenu en RFA, les deux pays décident d'une coopération poussée pour se lancer concrètement dans l'aventure. Constatant la nécessité de plus de temps pour développer le système numérique il est décidé de procéder :

À titre transitoire, à l'ouverture rapide en France et en RFA de systèmes de radiotéléphone analogique 1G, ce qui donnera le Radiocom 2000.

À titre pérenne, à l'ouverture du système numérique GSM900 à l'horizon 1988-1989, période envisagée.

Le **20 juin 1985**, il est signé à Nice un accord entre la Direction Générale des Télécommunications (France), la Deutsche Bundespost (RFA) et la SIP (Italie) de coopération technique entre ces trois opérateurs en vue de la création du système GSM900.

Le 2 juillet 1986, la Grande Bretagne rejoint les signataires de l'accord du 20 Juin 1985.

En Novembre **1986**, le Centre National d'Études des Télécommunications (CNET) est retenu par le Groupe Spécial Mobile issu de la Conférence Européenne des Postes et Télécommunications pour coordonner et mener les premiers tests techniques qui se déroulent jusqu'en Janvier 1987, dont le premier bilan est tiré à Paris au cours de la réunion du 20 janvier 1987 en présence de M. le Directeur Général des Télécommunications - Marcel Roulet.

Du 16 au 20 **février 1987**, la Commission Administrative Mondiale des Radiocommunications (CEPT) est réunie à Madère (Portugal) et acte en cette occasion le principe de transmission numérique par répartition dans le temps (TDMA) entre les Stations fixes et les téléphones mobiles. Le futur GSM900 sera donc un système 100% numérisé de bout en bout.

Le 19 **mai 1987**, la France, la Grande-Bretagne, l'Italie et la RFA signent officiellement à Bonn, en tant qu'États, un accord entérinant les normes techniques communes du futur

système numérique de radiocommunications annoncé pour 1991 (Radiotéléphone de 2ème génération norme GSM).

Du 9 au 12 juin 1987, la Commission Administrative Mondiale des Radiocommunications (CEPT) est réunie à Bruxelles (Belgique) et valide les matériels retenus, parmi ceux utilisés durant les premières expérimentations.

Le **25 juin 1987**, à Bruxelles au Conseil de l'Europe, adoption des recommandations techniques de base du système : accès multiple, codage de canal, modulation et codage de la parole à débit réduit, gammes de fréquences utilisées (Recommandation 87/372/CEE) ; et précise l'intention d'une ouverture coordonnée du GSM dans toute l'Europe de l'horizon 1991. (Recommandation 87/371/CEE)

Le **7 septembre 1987**, un accord d'intention ouvert à tous les exploitants de la CEPT (14 exploitants pour 13 pays) est signé à Copenhague qui aboutiront à l'ouverture d'appels d'offres coordonnés dans toute l'Europe de l'ouest dans le but de construire des réseaux opérationnels.

Le **29 février 1988**, des appels d'offres coordonnés au niveau de l'Europe de l'ouest sont ouverts. Concernant la France, sont sollicités une vingtaine d'industriels français et étrangers.

En **fin d'année 1988**, à l'issue des appels d'offres concernant la France deux consortiums sont sélectionnés pour construire chacun un réseau GSM.

Le premier consortium choisi, dénommé ECR900 regroupe CIT-Alcatel, Alcatel-Radiotéléphone, l'allemand de l'ouest AEG et le finlandais Nokia.

Le second consortium est formé par Matra associé avec Matra-Ericsson-Telecommunication (MET).

Ces deux premiers réseaux "privés" seront établis en Île-de-France. Chaque réseau GSM France-Télécom construit aura une capacité maximale de 10.000 abonnés. Leur mise en service est alors projetée pour le second semestre 1991.

Le GSM entérine le choix de la transmission numérique avec **multiplexage temporel et fréquentiel**; le type de modulation, le codage de canal et le codage de la parole sont également choisis et permettent de fixer les bases nécessaires à une élaboration rapide des spécifications.

Cette même année, les exploitants des réseaux de 13 pays européens signent un protocole d'accord MoU (Memorandum of Understanding) pour l'ouverture commerciale du GSM en 1991.

En **février 1988**, France Télécoms et les opérateurs de 10 autres pays européens lancent un appel d'offres international auprès des industriels pour la réalisation de réseaux pilotes. En septembre 1988, France Télécom choisit 2 consortiums qui comprennent chacun un constructeur français (Alcatel et Matra).

En **Novembre 1990**, la société **Matra** Communication réalise sous forme de maquette, les premières communications expérimentales du monde en norme GSM, sur son site technique de Bois d'Arcy (78). La structure cible du système cellulaire GSM est déjà choisie :

Les Stations de Base Radio (BTS),

Les Contrôleurs de Stations de Base (BSC),

Les Commutateurs de Services Mobiles (MSC).

Le GSM Itinériss a été autorisé à la création en France, par les pouvoirs publics, par un arrêté du **25 mars 1991**.

Ce réseau utilise des fréquences autour de 900 MHz, pour un débit de 9,6 kbits/s.

Le système GSM est classé dans les systèmes de téléphonie mobile de 2ème génération (2G).

À partir de cette date, les expérimentations ont commencé.

Au printemps 1991, le premier Commutateur Service Mobile (MSC) de France (MASSÉNA 1) conçu et fabriqué par Alcatel-Thomson, est mis en service dans les sous-sols du Centre Téléphonique Masséna, à Paris. Il s'agit d'un MSC expérimental, de structure hybride, notamment construit autour d'organes fiables et éprouvés tirés de la technologie des autocommutateurs téléphoniques de transit MT20 de Thomson et d'autres organes (très instables) nouvellement conçus par Alcatel. Cette machine, expérimentale, est réputée instable dès sa mise en service pour les tests, mais devra toutefois assurer le trafic mobile durant les premiers trimestres de l'existence du réseau. Elle sera remplacée dès 1993/1994 par de nouveaux matériels plus stables.

En **1991**, les **normes GSM de deuxième génération**, sont basées essentiellement sur le service voix, autrement dit c'est une époque où un téléphone servait avant tout à ... téléphoner.

En 1991, sous l'impulsion des britanniques, les spécifications GSM sont adaptées de façon mineure pour permettre de développer des systèmes dans la bande des 1800 MHz. Ces systèmes sont désignés par le terme DCS 1800, Digital Cellular System, et sont plus ciblés pour des environnements urbains. Ils correspondent à la transposition de la norme GSM dans la bande des 1800 MHz. De manière analogue au GSM 900 MHz, deux sous bandes (de largeur 75 MHz chacune) sont réservées dans certains pays pour le DCS 1800.

En septembre 1994, Bouygues Télécoms est sélectionné p

Le **1er juillet 1991 à 15H00**, les premières communications mobiles GSM expérimentales sont passées en France dans le réseau public, sur le territoire géographique de la Direction Régionale de Paris-Sud par M. Marcel Roulet - Président de France-Télécom et M. Charles Rozmaryn - Directeur Général de France-Télécom. (dans les sens émission et réception d'appels ; à destination et en provenance des réseaux fixe et mobile Radiocom 2000.)

Pour réaliser ces essais, le Commutateur MT25 Masséna 3 ET2 est alors préparé pour exercer la fonction de Centre d'Accès au Service (CAS) pour le Réseau GSM en expérimentation. (Compte-rendu de réunion des commutants MT20 daté du 23 mai 1991 et Compte-rendu de réunion MT-RTS de Novembre 1991.) Il s'agit alors de permettre l'accès de quelques terminaux GSM expérimentaux au reste du Réseau Téléphonique Commuté via ce Commutateur d'abonnés et téléphone fixe (RTC) MT25 parisien, sans pour autant avoir créé d'indicatif GSM spécifique porté par ce Commutateur. Une sorte d'astuce très provisoire.

Les initiales **G.S.M. signifient "Groupe Spécial Mobile"**.

Le réseau Itinériss de France-Télécom se dénomme officiellement GSM F1. Il s'agit d'un réseau téléphonique mobile entièrement numérique :

À la fois les signaux de contrôle et de suivi dynamique de localisation sont numériques,

Les signaux de conversations téléphoniques sont désormais également numérisés.

Le **14 novembre 1991**, en France, à Paris, le premier indicatif ABPQ du GSM F1 mis en service provisoire pour essais préparatoires est le suivant : 07.10. Le premier Commutateur téléphonique ayant porté le premier indicatif AB.PQ de Téléphonie Mobile à la norme GSM 2G en France (07.10) est le Commutateur d'abonnés MT25 de Paris-Trudaine 5 ET1, à partir du 14 novembre 1991. Dans les murs du Centre Téléphonique Trudaine, est également mis en service un Commutateur Service Mobile (MSC) (NAVARIN 1) réalisé en matériels conçus par Ericsson.

Le **23 décembre 1991**, les 8 premières cellules GSM sont mises en service expérimental dans Paris intra-muros et connectées au réseau téléphonique public. Quelques centaines d'abonnés internes (agents de France Télécom) sont chargés de tester en service réel le nouveau système.

Le **11 mai 1992**, sur Paris et les environs, 2 autres ABPQ du GSM F1 sont mis en service en vue de l'ouverture commerciale à venir : il s'agit des 07.01 (Commutateur MT25 - Masséna 3 ET2) et 07.61 (Commutateur MT25 - Masséna 2 ET1).

Le 11 juin 1992, au cours d'une conférence de presse, France-Télécom annonce que le GSM Itinériss sera prêt pour une mise en service à la date prévue depuis 1987. France-Télécom sera donc le premier opérateur européen de télécommunications à ouvrir à l'exploitation son réseau de Radiotéléphone de 2ème génération GSM.

Le **26 juin 1992** à 8H00, l'ouverture technique d'Itinériss dans tout le réseau téléphonique français est effective.

Le 1er juillet 1992, l'ouverture commerciale grand public d'Itinériss est effective (mais la distribution des abonnements demeure tout de même confidentielle et contingentée les 8 premiers mois.) À cette date précise, les deux premières grandes métropoles ouvertes au GSM Itinériss sont Paris et Lyon. Initialement, l'AB=07 est alors affecté au Téléphone Mobile de France Télécom Itinériss (GSM F1). Ce qui donne actuellement le format OZ AB = 06.07.

En France, les 5 premiers indicatifs AB PQ du GSM F1 mis en service commercial sont les suivants : 07.61 ; 07.20 ; 07.01 ; 07.10 pour Paris ; 07.30 pour Lyon. (Ordre Téléx du 22 juin 1992 rectifié le 24 juin 1992)

Ce qui donne actuellement le format OZ AB PQ suivant : 06.07.61 ; 06.07.20 ; 06.07.01 ; 06.07.10 pour Paris et 06.07.30 pour Lyon.

Donc, dès la création, le réseau Itinériss peut recevoir 10.000 abonnés par AB PQ créé, soit un maximum de 50.000 abonnés.

4 AB PQ FT sont créés sur Paris et 1 AB PQ FT sur Lyon.

Bien d'autres AB PQ seront créés ultérieurement.

1er juillet 1992, les premiers modèles de Radiotéléphones de 2ème génération GSM portatifs sont commercialisés par France Télécom lors de l'ouverture grand public. Ces premiers modèles ne sont pas encore badgés France Télécom vue leur récence.

Prix de vente de ces radiotéléphones : 15.000 francs ! *De gauche à droite :*

modèle 1 : Siemens (serait le S1).

modèle 2 : Motorola International 3200.

modèle 3 : Alcatel 9109HA.

modèle 4 : Ericsson Hot line Digital GH172.

modèle 5 : Nokia 1011.

modèle 6 : Philips PR810.



modèle 7 : Ericsson Hot line GH197.
modèle 1 : Matra
modèle 2 : Alcatel 9109HA.
modèle 3 : Orbitel



Les premiers modèles de Radiotéléphones GSM portatifs commercialisés par France Télécom.

Un cas particulier en France



De son côté, France Télécom ne compte pas rater son virage numérique, lance le **Bi-Bop** en 1993. à Strasbourg en 1991 en expérimentation. Bi Bop est basée sur la **Norme CT2**, à contrepied de la tendance du moment, puisqu'il ne se base pas sur la norme GSM. Son principal point fort : il est quatre fois moins cher que la téléphonie mobile d'alors. Mais il ne parvient pas à s'imposer et sera arrêté en 1997.

A leur apogée en août 1994, ces deux réseaux analogiques français totalisaient 460 000 abonnés, soit un taux de pénétration de 0,83 %. Ce taux était tout à fait modeste en comparaison des autres pays européens (8 % dans les pays nordiques).

En France, lors des débuts du GSM, les ingénieurs retiennent une Structure-Réseau tout à fait unique dans le monde. Tout d'abord, tout appel téléphonique GSM emprunte, comme partout dans le monde, le chemin architectural suivant :

Les Stations de Base Radio (BTS),

Les Contrôleurs de Stations de Base (BSC),

Les Commutateurs de Services Mobiles (MSC).

Puis, pour être acheminé à travers la France, la logique eût voulu, comme il le sera décidé partout ailleurs dans le monde, d'emprunter directement les autocommutateurs de transit téléphonique inter-urbains, c'est à dire à l'époque les Commutateurs MT20, en reliant directement, par des faisceaux de Jonctions Numériques MIC chaque MSC à au moins un autocommutateur MT20 de sa zone géographique de rattachement.

Mais chez nous, il a été décidé d'une architecture différente. En effet, les Ingénieurs des Télécommunications ne croyaient pas, en 1991, à l'explosion du trafic et à la demande que connaîtra la téléphonie mobile numérique GSM.

Aussi, au lieu de connecter les MSC directement aux autocommutateurs MT20 de transit interurbain, il est alors décidé, en France, de connecter les premiers MSC mis en service en France (essentiellement en Île-de-France et en région Lyonnaise) aux autocommutateurs d'abonnés MT25 de leur zone géographique de voisinage direct.

Ainsi, particularité française, les premiers indicatifs du téléphone mobile GSM ne seront pas créés et portés directement par les autocommutateurs de transit interurbain MT20, mais par des autocommutateurs d'abonnés urbains MT25 !

Cette structure a convenablement fonctionné durant la première année de mise en commercialisation du téléphone mobile GSM. Mais dès 1993, l'architecture du réseau atteint

rapidement la limite et sature, devant l'accroissement du parc de lignes GSM et du trafic qui en a découlé.

Aussi, seuls les premiers indicatifs créés à partir du 14 novembre 1991 seront bel et bien portés par des autocommutateurs d'abonnés MT25, par lesquels les appels téléphoniques GSM transiteront dans le réseau téléphonique interurbain, et ce jusqu'aux indicatifs créés le 22 octobre 1993.

À partir du 6 décembre 1993, avec la mise en service du MSC CHOISY 1 (TW13), France-Télécom en profite pour changer la Structure-Réseau : les nouveaux indicatifs créés seront désormais portés directement par les autocommutateurs de transit national MT20 - les MSC seront donc, à partir de cette date, directement connectés aux autocommutateurs MT20 de transit interurbain de leur zone géographique de rattachement.

Les tous premiers indicatifs créés dans l'ancienne architecture, portés par les autocommutateurs d'abonnés MT25 seront migrés vers les MT20 dans l'année qui suit, et ainsi, la France normalisera-t-elle, en 1994, l'architecture du GSM sur le modèle retenu partout ailleurs sur la planète.

Le 11 décembre 1991, en France, à Paris, les 2 premiers indicatifs ABPQ du GSM F1 (re)mis en service pour essais préparatoires sont les suivants : 07.10 (Trudaine 5 ET1 (AE16)) et 07.20

Même si la norme GSM est la norme la plus répandue dans le monde, l'évolution des télécommunications n'a pas suivi le même chemin sur tous les continents. Aux Etats-Un une norme unique a finalement débouché sur trois normes distinctes, et au Japon, l'évolution de la norme propriétaire de NTT DoCoMo a donné naissance à la norme J-TACS. Pour plus de services, l'évolution du GSM est nécessaire qui donne naissance au GPRS (General Packet Radio Service). Le GPRS qualifié souvent de 2,5G et dérivé du GSM a permis l'évolution de la téléphonie mobile vers la transmission par paquets. Cette méthode est plus adaptée à la transmission des données à un débit plus élevé. L'architecture générale d'un réseau GPRS reprend, avec quelques modifications, l'architecture du sous-système radio du GSM, mais impose la création d'un sous-système réseau spécifique. Pour encore plus de débit de performance, on a pensé à utiliser en mieux les performances radio en introduisant la 8PSK (Eight Phase Shift Keying). Donc, le EDGE (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) qualifié souvent de 2,75G est une évolution du GPRS. L'architecture générale d'un réseau EDGE est identique à celle d'un réseau GPRS, seules quelques modifications sont à réaliser concernant le sous-système radio. La particularité de EDGE réside dans l'adaptation du schéma de modulation, en fonction de la qualité de la liaison.

Les réseaux de première génération possédaient des cellules de grande taille (50 [km] de rayon) au centre desquelles se situait une station de base (antenne d'émission). Au tout début, ce système allouait une bande de fréquences de manière statique à chaque utilisateur qui se trouvait dans la cellule qu'il en ait besoin ou non. Ce système ne permettait donc de fournir un service qu'à un nombre d'utilisateurs égal au nombre de bandes de fréquences disponibles.

Le facteur déterminant fut sans doute la cristallisation autour de la **norme GSM** issue d'un effort soutenu de standardisation mené à l'**ETSI** (Organe européen de normalisation en télécommunications, créé à l'initiative du Conseil des ministres).

Normalisation par l'ETSI. European Telecommunications Standards Institute

La condition nécessaire pour offrir un service de téléphonie mobile sur toute l'Europe est de disposer d'une bande de fréquence commune sur l'ensemble du territoire européen.

En 1979, un accord a été conclu au sein du WARC (World Administrative Radio Conférence), dépendant de l'UIT (Union Internationale des Télécommunications), pour ouvrir la bande des 900 MHz aux services mobiles.

En 1982, la CEPT (Conférence Européenne des Postes et Télécommunications) alloue deux sous bandes précises de 25 MHz chacune :

- Une sous bande de 890 à 915 MHz pour les transmissions des terminaux vers les réseaux (sens montant)

- Une sous bande de 915 à 930 MHz pour les transmissions dans le sens inverse (sens descendant)

et crée un groupe d'étude, le Groupe Special Mobile. L'acronyme GSM sera réinterprété plus tard (1990) pour spécifier un système cellulaire européen.

En France, ce groupe d'étude est présent au CNET et lance le projet MARATHON : Mobiles ayant Accès au Réseau des Abonnés par Transmission Hertzienne Opérant en NUMERIQUE.

La France s'oriente donc dès le départ pour un système numérique alors que le choix n'est toujours pas déterminé au niveau européen.

Dès l'apparition de la norme GSM...Alcatel entreprit d'abord en consortium avec AEG et Nokia, puis seul, un vaste programme de développement, qui portera ses fruits en premier dans les installations fixes et plus tard dans les téléphones portables le segment des installations fixes comprenait deux parts : la partie radio... [et] la partie commutation qui assure l'interface avec le réseau fixe pour l'acheminement des communications ainsi que la gestion des abonnés mobiles».

- D'un côté Nokia s'implique très fortement sur les terminaux du GSM. Il devient ainsi le premier fabricant mondial de terminaux mobiles, mais s'intéresse aussi aux infrastructures de réseaux, où il obtient en 2000 une part du marché mondial d'environ 11%.

- De l'autre côté Alcatel suit aussi la voie de s'investir fortement dans la fabrication de terminaux mobiles et assure également le développement d'équipements d'infrastructures, sans investissements importants, en adaptant les commutateurs MT, puis E10.

Cette adaptation, aux réseaux mobiles des deux premières générations du GSM, est assez aisée, car le service à assurer reste un service téléphonique. Ainsi dès la fin **1991**

Alcatel commercialise des commutateurs E10 OCB283 pour les réseaux GSM.

Fin 1991, ce produit sera aussi expérimenté avec succès à **Concarneau** comme élément de **commutation du réseau mobile**.

Il faut attendre 1991 pour que la première communication expérimentale par GSM ait lieu avec par **Alcatel**.

Le 25 mars 1991 en France, un arrêté ministériel donne l'autorisation au deux opérateurs des réseaux analogiques, France Télécoms et SFR, de déployer un réseau GSM. Les contraintes sont les suivantes :

- Ouverture commerciale du service en 1992

- 70 % de la population couverte en 1995 (soit environ 45 % du territoire)

- 85 % de la population couverte en 1997 (soit environ 60 % du territoire) et elles furent respectées par les deux opérateurs (ouverture commerciale annoncée en juillet 1992).

Les premiers réseaux pilotes ouvrent à la fin de l'année 1991.



Le GSM Itinériss a été autorisé à la création en France, par les pouvoirs publics, par un arrêté du 25 mars 1991.

1991 le premier Commutateur Service Mobile (**MSC**) expérimental de France (MASSÉN) conçu et fabriqué par Alcatel-Thomson, est mis en service au Centre Téléphonique Masséna, à Paris.

Puis, pour être acheminé à travers la France, après les expérimentations, pour l'ouverture en 1992, il sera décidé comme partout ailleurs dans le monde, d'emprunter directement les autocommutateurs de transit téléphonique inter-urbains, (à l'époque les Commutateurs MT20), en reliant directement, par des faisceaux de Jonctions Numériques MIC chaque MSC à au moins un autocommutateur MT20 de sa zone géographique de rattachement.

our déployer un réseau DCS 1800 sur les grandes villes de France avec l'obligation de couvrir 15 % de la population française dans les 18 mois.

Des 1992, des réseaux ouvrent dans toute l'Europe avec la référence au **sigle GSM** qui perd alors sa signification française pour l'appellation nettement plus évocatrice de **"Global System for Mobile communications"**.



Il a fallu attendre les années 90-95 pour que le téléphone mobile soit assez petit et bon marché pour intéresser le grand public.

A partir de ce moment, le portable s'est très rapidement popularisé à l'échelle mondiale jusqu'à devenir le moyen de communication le plus utilisé de nos jours. Fin 1992 Itinérés compte 1.300 abonnés en France, 1.000.000 abonnés en 1996, 7.500.000 en 1999 ...

Le 1er **septembre 1992**, ouverture du service Télétel 3615 ITINERIS qui informe sur les services proposés, l'état de l'extension de la couverture radio, la carte à puce Itinérés que l'on introduit dans le téléphone portable, la tarification, les modèles de terminaux GSM proposés à la vente ainsi que les adresses des points de vente.

Au 31 décembre 1992, le service GSM Itinérés compte 1.300 abonnés en France.

Le 21 février 1993, la 3ème zone de France ouverte au GSM après Paris et Lyon, par France Télécom sont les villes de Nice et Cannes (Alpes-Maritimes).

Au 28 **février 1993**, le service GSM Itinérés compte 4.000 abonnés en France.

Les premiers terminaux commercialisés (téléphones portables GSM) ne pèsent plus que 300 grammes, ce qui constitue un net progrès comparé aux terminaux Radiocom 2000 pesant plusieurs kilogrammes.

Au 31 Mars 1993, le service GSM Itinérés compte 25.000 abonnés en France.

Le 6 **avril 1993**, l'ouverture commerciale grand public d'Itinérés est effective dans la zone de Marseille (4ème zone ouverte au GSM). MM. Marcel Roulet (Président de France Télécom) et Michel Bertinetto (Directeur de France Télécom Mobiles) sont présents à Marseille, en cette occasion.

Le 14 **avril 1993**, l'ouverture commerciale grand public d'Itinérés est effective dans la zone de Nice (ouverture totale de la 3ème zone ouverte partiellement depuis le 21 février 1993). MM. Charles Rozmaryn (Directeur Général de France Télécom) et Michel Bertinetto (Directeur de France Télécom Mobiles) sont présents à Nice, en cette occasion.

Le 15 **avril 1993**, la commercialisation des abonnements est confiée directement aux Agences Commerciales France Télécom des zones déjà couvertes. Ainsi, à partir de cette date, la commercialisation de masse des abonnements peut-elle vraiment commencer. (A Paris, les Agences Commerciales France Télécom Paris Luxembourg et Paris Saint-Lazare avaient commencé la vente d'abonnements au GSM Itinérés à partir du 18 janvier 1993 à titre expérimental.)

Le 19 **mai 1993**, l'ouverture commerciale grand public d'Itinérés est effective dans la zone de l'Est de la France (Alsace/Moselle/Meurthe-et-Moselle/Vosges). (5ème zone ouverte au GSM).

En **Juillet 1993** est commercialisé le 1er Radiotéléphone de voiture à la norme GSM, le modèle Lisa 9020. Il est fabriqué par Motorola. Prix de vente : 10.000 francs !

En 1993, France Télécom, qui distribue déjà en son nom propre dans son réseau d'Agences France Télécom les abonnements GSM Itinérés, crée Callway, une filiale de Société de Commercialisation de Services, chargée de la distribution par vente indirecte. Utile les premières années pour booster la pénétration du marché, la filiale sera dissoute 5 ans plus tard.

Au 30 **août 1993**, le service GSM Itinérés compte 25.000 abonnés en France.

Le 5 octobre 1993, l'ouverture commerciale grand public d'Itinérés est effective dans la zone de Nantes.

Le 22 octobre 1993 correspond, pour le GSM F1 Itinérés, aux dernières mises en service des AB.PQ Itinérés directement créés et portés par des Commutateurs MT25 (Il s'agit des dates pour l'Île-de-France, étant la région la plus en avance de France). 14 indicatifs ABPQ GSM F1 Itinérés seront ainsi créés en Île-de-France sur ce modèle d'architecture transitoire du début du GSM en France.

Le 6 décembre 1993 correspond, pour le GSM F1 Itinérés, aux premières mises en service des AB.PQ Itinérés portés désormais par des Commutateurs de transit interurbain MT20. À cette date, en Île-de-France, un 3ème Commutateur Service Mobile MSC est mis en service CHOISY MSC et vient s'ajouter aux deux Commutateurs Service Mobile MSC expérimentaux : MASSÉNA MSC1 (ALCATEL), NAVARIN MSC1 (ERICSSON). L'architecture définitive du GSM commence son existence.

Au 31 **décembre 1993**, le service GSM Itinérés compte 78.685 abonnés en France.

En Février 1994, le service GSM Itinérés compte plus de 100.000 abonnés en France, puis 140.000 abonnés en Mai 1994, puis 200.000 abonnés en Juin 94, 250.000 abonnés en Août 1994, puis 300.000 abonnés en Octobre 1994, puis **369.174 abonnés au 31 décembre 1994** (à comparer au système Radiocom 2000). La croissance exponentielle est alors une réalité.

Le 5 décembre 1994, chez France-Télécom, la Messagerie Vocale GSM Itinérés est mise en service, assurant "une disponibilité totale de la ligne", pour ne perdre aucun appel en cas d'occupation de la ligne, ou d'absence de couverture.

En fin d'année 1994, chez France-Télécom, le GSM Itinérés remplace le service de Radiotéléphone Fluvial VHF qui est mis définitivement hors service à cette date.

En **Mars 1995**, le service GSM Itinérés compte 400.000 abonnés en France.

Le 29 mai 1995, ouverture du préfixe OZ.AB = 06.08 attribué au GSM F1 - Itinérés. Celui-ci vient doubler la capacité de numéros de portables disponibles de l'opérateur.

Le 14 juin 1995 le service GSM Itinérés dépasse 500.000 d'abonnés, et l'événement est fêté ce jour-là sur 11 sites différents en France. soirée animée par William Leymergie de l'Aquaboulevard de Paris.

Au 31 décembre 1995, le service GSM Itinérés dépasse 700.000 abonnés.

Au 30 avril 1996, le service GSM Itinérés dépasse 835.000 abonnés.

En **Septembre 1996**, le service GSM Itinérés dépasse **1.000.000 d'abonnés**. La progression exponentielle se poursuit. Au 31 octobre 1996, 1.150.000 abonnés.

Le 17 octobre 1996, veille du passage à la nouvelle numérotation téléphonique à 10 chiffres, les tranches de numéros de téléphones ouvertes au GSM Itinérés sont : AB.P = 04.0 suivi de 5 chiffres (soit une capacité théorique maximale de 100.000 abonnés - nota : pas de date retrouvée sur la mise en service partielle de l'AB = 04...)

AB.P = 04.1 suivi de 5 chiffres (soit une capacité théorique maximale de 100.000 abonnés)

AB = 07 suivi de 6 chiffres (soit une capacité théorique maximale d'1 million d'abonnés)

AB = 08 suivi de 6 chiffres (soit une capacité théorique maximale d'1 million d'abonnés)

Soit une capacité théorique totale maximale de 2,2 millions d'abonnés au GSM Itinérés à cette date.

Le 18 octobre 1996 à 23H00, la numérotation téléphonique du GSM Itinérés bascule à 10 chiffres :

AB.P = 04.0 devient OZ.AB.P = 06.04.0

AB.P = 04.1 devient OZ.AB.P = 06.04.1

AB = 07 devient OZ.AB = 06.07

AB = 08 devient OZ.AB = 06.08

Au 31 décembre 1997, le service GSM Itinérés dépasse 3.000.000 d'abonnés.

Au 16 juillet 1998, le service GSM Itinérés dépasse 4.000.000 d'abonnés. La progression exponentielle prend encore de l'ampleur.

Au 31 décembre 1998, le service GSM Itinérés atteint 5.557.000 abonnés.

Le 12 juillet 1999, le service GSM Itinérís atteint 7.000.000 d'abonnés
 Au 31 août 1999, le service GSM Itinérís dépasse 7.500.000 abonnés. La progression exponentielle se poursuit.
 Au 31 décembre 1999, le service GSM Itinérís dépasse 10 millions d'abonnés.

Le 21ème siècle commence par l'apparition de la troisième génération de la téléphonie mobile.

L'UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) est l'une des trois normes de mobiles de 3ème génération (3G) qui s'inscrit dans un contexte mondial d'interopérabilité. Ce standard permettra à la fois la téléphonie mobile et le transport de données (images vidéo en direct, visioconférence mobile, etc.) avec un débit supérieur aux technologies précédentes. La technique d'accès multiples utilisée est le W-CDMA (Wide band Code Division Multiple Access). Le nombre des services augmente et demande de plus en plus de débit, et l'UMTS doit évoluer vers d'autres technologies. Le HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) appelé 3,5G ou encore 3G+ (dénomination commerciale) est un protocole qui offre des performances dix fois supérieures à la 3G (UMTS R'99) dont il est une évolution logicielle. Cette évolution permet d'approcher les performances des réseaux DSL (Digital Subscriber Line). Comme L'UMTS, cette technologie est basée sur la W-CDMA. En plus de l'UMTS, on a rajouté trois nouveaux canaux. Le HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) est une mise à jour des réseaux W-CDMA/UMTS/HSDPA. Il apporte des améliorations de type HSDPA au flux descendant des connexions et permet ainsi d'obtenir des débits de chargement (upload) pouvant atteindre les 5,8 Mbps. Le HSUPA est considéré comme le successeur du HSDPA qui permet d'obtenir des débits très élevés mais uniquement sur le flux descendant (download). Le HSPA (High speed packet access), meilleur atout des deux solutions précédentes en occurrence le HSDPA et le HSUPA, fournira ainsi aux utilisateurs un débit symétrique. Le HSOPA (High Speed OFDM Packet Access) représente l'évolution du couple HSDPA/HSUPA offrant ainsi un débit théorique de 100 Mbit/s en flux descendant et 50 Mbit/s en flux montant. Le nombre d'utilisateurs par fréquence devrait également être bien supérieure et dépasser les 100 (40 en HSDPA et 9 en UMTS).

La quatrième génération qui suit, avec le LTE (Long Term Evolution) et le WIMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) qui sont les normes des réseaux mobiles de quatrième génération (4G).

2020 La cinquième génération aujourd'hui est entrée progressivement en service offrant de nombreux services et augmente considérablement les débits.

Le monde de la téléphonie et des réseaux est aujourd'hui dynamique et n'arrête pas d'innover.

Dans les années 2000, la convergence des réseaux fixe et mobile ouvre des nouvelles portes au futur des télécommunications avec l'apparition de l'UMA (Unlicensed Mobile Access) et l'IMS (IP Multimedia Subsystem).

Mais UMA a été un échec commercial faute d'adhésion du public et des fabricants de terminaux mobiles. Alors il a eu un successeur au milieu des années 2010 avec la VoWiFi (Voice over WiFi) qui est désormais depuis 2020 disponible sur la plupart des terminaux moyen/haut de gamme et chez presque tous les opérateurs.

Pour accéder à Internet, l'appareil le plus utilisé n'est plus l'ordinateur mais bien le smartphone, devenu indispensable au quotidien de nombreux Français. Avec **79 millions d'abonnements mobiles pour 67 millions d'habitants**, la France a une télé densité mobile, c'est-à-dire un nombre de forfaits par rapport au nombre d'habitants, supérieure à 100 %, comme dans de nombreux pays et territoires

Le réseau 2G en France ouvre commercialement le 29 mai 1996.

En 1995, la phase 2 des recommandations GSM est entièrement publiée par l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute); elle unifie les systèmes GSM à 900 MHz et DCS 1800.

En mai 1996, la phase 2+ prévoit des terminaux bimode permettant l'interfonctionnement total GSM 900 - DCS 1800. Elle envisage, entre autres, des nouveaux services supplémentaires comme l'identification d'appels malveillants et des possibilités d'appels de groupe.

Tel quel, le réseau GSM est adéquat pour les communications téléphoniques de parole.

En effet, il s'agit principalement d'un réseau commuté, à l'instar des lignes "fixes" et constitués de circuits, c'est-à-dire de ressources allouées pour la totalité de la durée de la conversation. Rien ne fut mis en place pour les services de transmission de données.

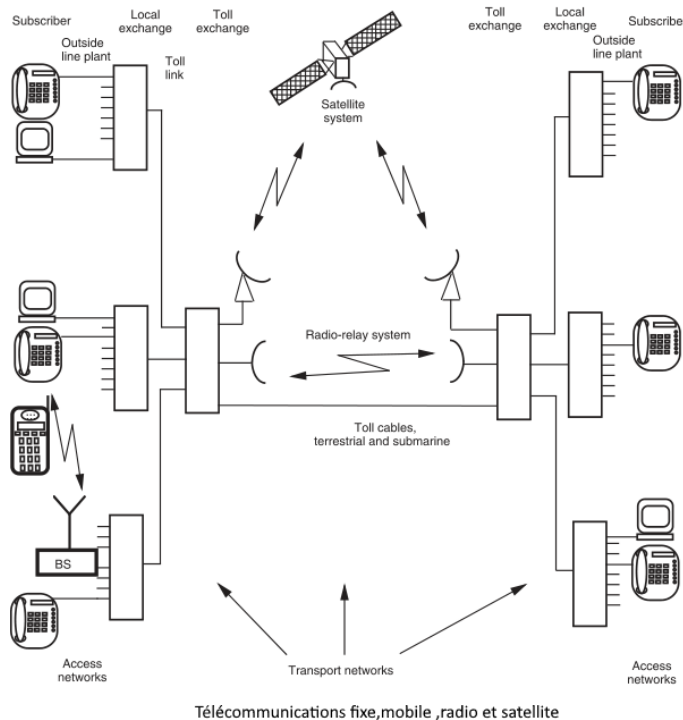


Schéma général des de la téléphonie avant l'arrivée d'Internet. La voix des téléphones fixes et mobiles est commutée par les centres de commutations du réseau national et les centres du réseau international los s'une communication internationale.

En pratique :

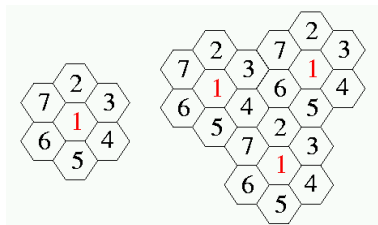
La première amélioration consista à **allouer un canal à un utilisateur uniquement à partir du moment où celui-ci en avait besoin** permettant ainsi d'augmenter "statistiquement" le nombre d'abonnés, étant entendu que tout le monde ne téléphone pas en même temps.

Mais ce système nécessitait toujours des stations mobiles de puissance d'émission importante (8 [W]) et donc des appareils mobiles de taille et de poids conséquents. De plus, afin d'éviter les interférences, deux cellules adjacentes ne peuvent pas utiliser les mêmes fréquences. Cette organisation du réseau utilise donc le spectre fréquentiel d'une manière sous-optimale.

C'est pour résoudre ces différents problèmes qu'est apparu le concept de cellule.

Le principe de ce système est de diviser le territoire en de petites zones, appelées cellules, et de partager les fréquences radio entre celles-ci.

Ainsi, chaque cellule est constituée d'une station de base (reliée au Réseau Téléphonique Commuté, RTC) à laquelle on associe un certain nombre de canaux de fréquences à bande étroite, sommairement nommés fréquences. Comme précédemment, ces fréquences ne peuvent pas être utilisées dans les cellules adjacentes afin d'éviter les interférences⁴. Ainsi, on définit des motifs, aussi appelés clusters, constitués de plusieurs cellules, dans lesquels chaque fréquence est utilisée une seule fois.



cellules

Figure représentant un motif élémentaire (à gauche) et un ensemble de motifs dans un réseau (à droite)

Graphiquement, on représente une cellule par un hexagone car cette forme approche celle d'un cercle. Cependant, en fonction de la nature du terrain et des constructions, les cellules n'ont pas une forme circulaire. De plus, afin de permettre à un utilisateur passant d'une cellule à une autre de garder sa communication, il est nécessaire que les zones de couverture se recouvrent de 10 à 15%, ce qui renforce la contrainte de ne pas avoir une même bande de fréquences dans deux cellules voisines.

Pour éviter les interférences à plus grande distance entre cellules utilisant les mêmes fréquences, il est également possible d'asservir la puissance d'émission de la station de base en fonction de la distance qui la sépare de l'utilisateur. Le même processus du contrôle de la puissance d'émission est également appliqué en sens inverse. En effet, pour diminuer la consommation d'énergie des mobiles et ainsi augmenter leur autonomie, leur puissance d'émission est calculée en fonction de leur distance à la station de base. Grâce à des mesures permanentes entre un téléphone mobile et une station de base, les puissances d'émission sont régulées en permanence pour garantir une qualité adéquate pour une puissance minimale.

En résumé, une cellule se caractérise :

- par sa puissance d'émission nominale ce qui se traduit par une zone de couverture à l'intérieur de laquelle le niveau du champ électrique est supérieur à un seuil déterminé,
- par la fréquence de porteuse utilisée pour l'émission radio-électrique et
- par le réseau auquel elle est interconnectée.

Il faut noter que la taille des cellules n'est pas la même sur tout le territoire. En effet, celle-ci dépend :

- du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone,
- de la configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeubles, ...),
- de la nature des constructions (maisons, buildings, immeubles en béton, ...) et
- de la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine) et donc de la densité des constructions.

Ainsi, dans une zone rurale où le nombre d'abonnés est faible et le terrain relativement plat, les cellules seront plus grandes qu'en ville où le nombre d'utilisateurs est très important sur une petite zone et où l'atténuation due aux bâtiments est forte. Un opérateur devra donc tenir compte des contraintes du relief topographique et des contraintes urbanistiques pour dimensionner les cellules de son réseau.

On distingue pour cela quatre services principaux :

1. Le service "Outdoor" qui indique les conditions nécessaires pour le bon déroulement d'une communication en extérieur.
2. Le service "Incar" qui tient compte des utilisateurs se trouvant dans une voiture. On ajoute typiquement une marge supplémentaire de 6 décibel Watt, notée 6 [dB], dans le bilan de puissance pour en tenir compte.
3. Le service "Indoor" qui permet le bon déroulement des communications à l'intérieur des bâtiments. Cette catégorie de service se subdivise à son tour en deux :
 - (a) le "Soft Indoor" lorsque l'utilisateur se trouve juste derrière la façade d'un bâtiment et
 - (b) le "Deep Indoor" lorsqu'il se trouve plus à l'intérieur.

Typiquement, on considère que, lors de l'établissement du bilan de puissance, c'est-à-dire de l'analyse du rapport de la puissance émise à la puissance reçue au droit du récepteur, il faut tenir compte de 10 [dB] d'atténuation supplémentaire pour le Soft Indoor et de 20 [dB] pour Deep Indoor à 900 [M Hz]. Quand on sait que 10 [dB] représente un facteur de 10 en puissance, on comprend qu'il est crucial pour un opérateur de dimensionner au mieux son réseau, quitte à effectuer des mesures sur le terrain.

Par rapport au système de première génération, les cellules étant de taille plus petite, la puissance d'émission est plus faible et le nombre d'utilisateurs peut être augmenté pour une même zone géographique. C'est grâce au principe de réutilisation des fréquences qu'un opérateur peut augmenter la capacité de son réseau. En effet, il lui suffit de découper une cellule en plusieurs cellules plus petites et de gérer son plan de fréquences pour éviter toute interférence. Il y a ainsi toute une nomenclature spécifique pour classer les cellules en fonction de leur taille (macro, micro, pico, etc)

Estimation du rapport de puissance porteuse à bruit

Étant donné que, dans un réseau, une même fréquence est réutilisée plusieurs fois, il est nécessaire d'évaluer la distance minimum qui doit séparer deux cellules utilisant la même fréquence pour qu'aucun phénomène perturbateur n'intervienne.

En calculant le rapport entre la puissance de la porteuse et celle du bruit, il est possible d'estimer cette distance.

Pratiquement, dans une cellule, un mobile reçoit à la fois le message utile (dont la puissance vaut C) qui lui est destiné et un certain nombre de signaux perturbateurs. La connaissance du rapport entre ces puissances, nous permettra de connaître la qualité de la communication.

Pour commencer, il est nécessaire d'identifier les différents signaux perturbateurs.

On peut les subdiviser en deux classes :

1. Les interférences de puissance totale I qui sont dues aux signaux émis par les autres stations. On peut distinguer :
 - (a) Les interférences co-canal qui sont dues aux signaux émis par les autres stations de base utilisant la même fréquence.
 - (b) Les interférences de canaux adjacents dues aux signaux émis par les stations de base utilisant des fréquences voisines.
2. Le bruit, de puissance N, provenant principalement du bruit de fond du récepteur.

Dès lors, c'est le rapport $C / N + I$ qui permet d'évaluer la qualité de la communication ainsi que la distance de réutilisation des fréquences.

Synthèse des principales caractéristiques du GSM

La norme GSM prévoit que la téléphonie mobile par GSM occupe deux bandes de fréquences aux alentours des 900 [M Hz] :

1. la bande de fréquence 890 - 915 [M Hz] pour les communications montantes (du mobile vers la station de base) et
2. la bande de fréquence 935 - 960 [M Hz] pour les communications descendantes (de la station de base vers le mobile).

Comme chaque canal fréquentiel utilisé pour une communication a une largeur de bande de 200 [kHz], cela laisse la place pour 124 canaux fréquents à répartir entre les différents opérateurs.

Mais, le nombre d'utilisateurs augmentant, il s'est avéré nécessaire d'attribuer une bande supplémentaire aux alentours des 1800 [M Hz].

On a donc porté la technologie GSM 900 [M Hz] vers une bande ouverte à plus haute fréquence. C'est le système DCS-1800 (Digital Communication System) dont les caractéristiques sont quasi identiques au GSM en termes de protocoles et de service.

Les communications montantes se faisant alors entre 1710 et 1785 [M Hz] et les communications descendantes entre 1805 et 1880 [M Hz].

Connaissant les différents canaux disponibles, il est alors possible d'effectuer un multiplexage fréquentiel, appelé Frequency Division Multiple Access (FDMA), en attribuant un certain nombre de fréquences porteuses par station de base. Un opérateur ne dédie pas pour autant une bande de fréquences par utilisateur, car cela conduirait à un gaspillage de ressources radio étant donné qu'un utilisateur émet par intermittence. De plus, avec un tel système, si une source parasite émet un bruit à une fréquence bien déterminée, le signal qui se trouve dans la bande de fréquence contenant le parasite sera perturbé.

Pour résoudre ces problèmes, on combine le multiplexage en fréquence à un multiplexage temporel (appelé Time Division Multiple Access ou TDMA) consistant à diviser chaque canal de communication en trames de 8 intervalles de temps (dans le cas du GSM).

Pour être complet, signalons qu'il existe encore une autre technique de multiplexage appelé Code Division Multiple Access (CDMA), utilisée dans la norme américaine IS-95 ou promue pour l'UMTS.

Ainsi, avec le TDMA, il est par exemple possible de faire parler huit utilisateurs l'un après l'autre dans le même canal.

On multiplie donc le nombre de canaux disponibles par unité de temps par huit.

	GSM	DCS-1800
Bande de fréquences (↑)	890, 2 – 915 [MHz]	1710 – 1785 [MHz]
Bande de fréquences (↓)	935, 2 – 960 [MHz]	1805 – 1880 [MHz]
Nombre d'intervalles de temps par trame TDMA	8	8
Débit total par canal	271 [kb/s]	271 [kb/s]
Débit de la parole	13 [kb/s]	13 [kb/s]
Débit maximal de données	12 [kb/s]	12 [kb/s]
Technique de multiplexage	Multiplexage fréquentiel et temporel	Multiplexage fréquentiel et temporel
Rayon de cellules	0, 3 à 30 [km]	0, 1 à 4 [km]
Puissance des terminaux	2 à 8 [W]	0, 25 et 1 [W]
Sensibilité des terminaux	–102 [dB]	
Sensibilité de la station de base	–104 [dB]	

TAB. 1 – Comparaison des systèmes GSM et DCS-1800.

Tous les terminaux mobiles fabriqués actuellement sont compatibles avec les 2 normes ; ces terminaux sont appelés bi-bandes ou dual-band. Sur le territoire des États-Unis, aucune des bandes de fréquences pré-citées n'étaient encore disponibles. C'est pourquoi le réseau à technologie GSM américain utilise des bandes autour des 1900 [MHz]. Des terminaux capables d'opérer dans les trois bandes sont appelés tri-bandes

Les réseaux de téléphonie mobile sont basés sur des cellules au centre desquelles est située la station de base (**BTS** en anglais).

Il existe d'autres normes 2G à travers le monde, mais le **GSM européen** est celui qui connaît le plus grand succès.

Il y a plusieurs raisons à ce succès. Tout d'abord, il s'agit d'une norme européenne qui permet d'utiliser son téléphone dans tous les pays ayant adopté cette norme. Sur le plan technique, le réseau GSM est idéal pour les communications de type « voix » (téléphonie).

Le 23 décembre 1991, les 8 premières cellules GSM sont mises en service expérimental dans Paris intra-muros et connectées au réseau téléphonique public. Quelques centaines d'abonnés internes (agents de France Télécom) sont chargés de tester en service réel le nouveau système.

Le 11 mai 1992, sur Paris et les environs, 2 autres ABPQ du GSM F1 sont mis en service en vue de l'ouverture commerciale à venir : il s'agit des 07.01 (Commutateur MT25 - Masséna 3 ET2) et 07.61 (Commutateur MT25 - Masséna 2 ET1).

Le 11 juin 1992, **France-Télécom annonce que le GSM Itinériss est prêt** pour une **mise en service à la date du 1er juillet 1992**. France

C'est le premier opérateur européen de télécommunications à ouvrir à l'exploitation son réseau de Radiotéléphone de 2ème génération GSM.

Au 31 décembre 1992, le service GSM Itinériss compte 1.300 abonnés en France.

Le GSM (2G) s'impose dans le monde entier .

En France, les réseaux ont d'abord été exploités en 900 MHz par les opérateurs **Itinériss** (devenu Orange) et SFR. Le troisième venu, Bouygues Telecom, hérita de la bande des 1 800 MHz.

Avec le développement du nombre d'abonnés, les deux premiers décidèrent de lancer des appareils double bande, 900 et 1 800 MHz.

Le GSM 900 utilise la bande 890-915 MHz pour l'envoi des données numériques, et la bande 935-960 MHz pour la réception des informations numériques.

Le GSM 1 800 utilise la bande 1 710-1 785 MHz pour l'envoi, et la bande 1 805-1 880 MHz pour la réception.

La numérisation des données vocales se fait, dans le mobile, tout comme la conversion analogique pour l'écoute .

Le réseau étant commuté, les ressources ne sont allouées que pour la durée de la conversation, **comme lors de l'utilisation de lignes téléphoniques fixes**. Les clients peuvent soit acheter une carte prépayée, soit souscrire un abonnement.

Le 22 octobre 1993 correspond, pour le GSM F1 Itinériss, aux dernières mises en service des AB.PQ Itinériss directement créés et portés par des Commutateurs MT25 (il s'agit des dates pour l'Île-de-France, étant la région la plus en avance de France). 14 indicatifs ABPQ GSM F1 Itinériss seront ainsi créés en Île-de-France sur ce modèle d'architecture transitoire du début du GSM en France.

Le 6 décembre 1993 correspond, pour le GSM F1 Itinériss, aux premières mises en service des AB.PQ Itinériss portés désormais par des Commutateurs de transit interurbain MT20.

À cette date, en Île-de-France, un 3ème Commutateur Service Mobile MSC est mis en service CHOISY MSC et vient s'ajouter aux deux Commutateurs Service Mobile MSC expérimentaux : MASSÉNA MSC1 (ALCATEL), NAVARIN MSC1 (ERICSSON).

L'architecture définitive du GSM commence son existence.

Supporté par la téléphonie mobile, le premier **SMS** (Short Message Service) a été envoyé , le **3 décembre 1992**, par un ingénieur en télécommunications qui utilisa son ordinateur afin d'envoyer "Merry Christmas" (Joyeux Noël !) au téléphone d'un des dirigeants de Vodafone, au Royaume-Uni. **Le protocole SMS** était en fait déjà intégré à la norme GSM 03.40 depuis 1990.

Le célèbre format de moins de 160 caractères devait à l'origine servir à la diffusion de messages de service provenant des opérateurs.

Au départ, ces derniers étaient convaincus que les consommateurs allaient continuer à privilégier les appels !

L'histoire leur a manifestement donné tort.

En 1994, le Nokia 2110 a été l'un des premiers terminaux permettant de saisir des SMS, grâce au T9 (Littéralement, texto sur 9 touches), qui permettait de saisir des messages alphanumériques à partir du clavier numérique d'un téléphone portable.

Les évolutions ont visé à accroître la capacité des réseaux en termes de débit mais à élargir les fonctionnalités en permettant par exemple l'établissement de communications ne nécessitant pas l'établissement préalable d'un circuit.

Pour dépasser la borne des 14, 4 [kb/s], débit nominal d'un canal téléphonique basculé en mode de transmission de données, l'ETSI a défini un nouveau **service de données en mode paquet** : le **General Packet Radio Service (GPRS)** qui permet l'envoi de données à un débit de **115 [kb/s]** (multiplexage) par mise en commun de plusieurs canaux.

D'une certaine manière, le GPRS prépare l'arrivée de la téléphonie de troisième génération, appelée Universal Mobile Telecommunications System (UMTS), qui permettra d'atteindre un débit de 2 [Mb/s]. Mais le chemin est long car les applications nécessitant l'UMTS se font attendre, sans perdre de vue que tous les éléments du réseau UMTS sont incompatibles avec ceux du GSM .

En utilisant les mêmes réseaux, il devenait possible d'avoir **accès à Internet via le Wap** ou d'**envoyer des courriels**.

Au mois d'Avril 2001, une nouvelle technologie, le GPRS, commence à être déployée en France, par France Télécom.

Des le milieu de l'année 1995, le **système de deuxième génération GSM, numérique**, supprime les réseaux analogiques en France avec plus de 500 000 clients, par rapport à la première génération, les avantages sont :

- la modulation numérique apporte :

- a) la robustesse du signal (à qualité égale. le rapport C/I nécessaire est moindre, c'est-à-dire que le signal C résiste mieux aux brouillages);
- b) la capacité plus élevée (par compression numérique de la parole et par efficacité spectrale de la modulation, ce qui permet de faire "passer" plus d'utilisateurs simultanément)
- La montée dans les fréquences utilisées pour les systèmes de deuxième génération permet l'implantation de systèmes à haute densité grâce à la réduction de portée du signal avec la montée en fréquence : la taille réduite des cellules permet d'offrir une capacité plus élevée par unité de surface ;
- Un accès multiple à réparation dans le temps TDMA (GSM) ou dans les codes (IS-95 : CDMA) pour les systèmes de seconde génération ;
- Une normalisation européenne des systèmes de deuxième génération, qui permet aux différents réseaux nationaux de s'interconnecter.

À partir du 6 décembre 1993, avec la mise en service du **MSC CHOISY 1**, France-Télécom en profite pour changer la Structure-Réseau : les nouveaux indicatifs créés seront désormais portés directement par les **autocommutateurs de transit national MT20**

les MSC seront donc, à partir de cette date, directement connectés aux autocommutateurs MT20 de transit interurbain de leur zone géographique de rattachement.

Les tous premiers indicatifs créés dans l'ancienne architecture, portés par les autocommutateurs d'abonnés MT25 seront migrés vers les MT20 dans l'année qui suit, et ainsi, la

France normalisera-t-elle, en 1994, l'architecture du GSM sur le modèle retenu partout ailleurs sur la planète.

La norme GSM dans le monde

La norme GSM est adoptée dans de nombreux pays. C'est l'unique norme numérique de téléphonie cellulaire acceptée en Europe.

Dans la plupart des autres pays, elle est en concurrence avec d'autres normes de radiotéléphonie numérique, en général originaire des Etats-Unis ou du Japon (IS-95).

Dans le monde, on comptait environ 220 millions d'abonnés GSM (et DCS) en novembre 1999.

Le taux de pénétration moyen en Europe de l'Ouest a dépassé la barre des 20 % en septembre 1998 avec un peu plus de 75 millions d'abonnés

Fin 1999, la barre des 100 millions d'abonnés européens a été largement dépassée.

Le taux de pénétration est de 43,6 % à la fin du mois de septembre 2000 (plus de 26 millions de téléphones portables).

La diversité des services

L'objectif initial était de spécifier un service de téléphonie mobile de voix et de données, compatible avec les réseaux téléphoniques fixes analogiques ou numériques (RNIS ; Réseau Numérique à Intégration de Services). Un réseau GSM permet ainsi toute la palette des services disponibles sur un réseau moderne : voix et données, fax, messagerie, De plus, l'utilisation de la carte à puce dans la carte SIM rend la souscription d'un abonnement indépendante de l'achat du terminal.

Au mois d'Avril 2001, une nouvelle technologie, le GPRS, commence à être déployée en France, par France Télécom. Le General Packet Radio Service permet de doubler voire tripler le débit numérique. Cette technologie, qui est une évolution du GSM-2G, est aussi surnommée 2,5G. En moins d'une année, 90% de la population est déjà couverte par le GPRS. Le débit nominal passe à 56 kbit/s. Le débit maximal passe à 144 kbit/s. L'usage reste limité aux appels et aux messages.

Le 21 juin 2001, le GSM F1 de France Télécom quitte son nom de marque ITINERIS pour devenir ORANGE.

En Juillet 2002 est mis en service en France le premier pylône d'émission GSM camouflé en arbre. Ce pylône de type arbre artificiel est installé à Vétheuil, localité du Val-d'Oise, connue pour la beauté de ses paysages peints autrefois par les impressionnistes.

À partir du 18 avril 2005 pour la clientèle Entreprise, puis le 9 juin 2005 pour la clientèle Grand Public, la technologie 2G bénéficie en France de son ultime évolution, par le déploiement d'une nouvelle technologie, le EDGE (Enhanced Data-rates for GSM Evolution), mené par France Télécom. Cette technologie, qui est une évolution du GSM-2G, est aussi surnommée 2,75G. Dès le 9 juin 2005, 85% de la population est déjà couverte par le EDGE. Le débit nominal passe à 200 kbit/s. Le débit maximal passe à 348 kbit/s. L'usage est limité aux appels, aux messages et aux emails sans photographies jointes.

La technologie EDGE est alors présentée comme la solution dans l'attente du déploiement de la technologie UMTS-3G, alors en tout début de déploiement.

Le réseau initial GSM-2G demeure préservé ; il est seulement modernisé.

Le 25 mars 2006, la licence du réseau GSM F1 exploité par France Télécom/Orange est renouvelée pour une durée de 15 ans par la Décision n°2006-0239 de l'ARCEP, en date du 14 février 2006.

Nota : actuellement (2018), la technologie EDGE est toujours en fonctionnement en France

Pour pouvoir transmettre de la vidéo, télécharger des chaînes de télévision et des films, permettre la visiophonie, envoyer des **MMS** (multimedia messaging service) avec photos, il a fallu passer à la **troisième génération ou 3G**).

2001 - L'UMTS (3G) (universal mobile telecommunications system).

Travaux de R&D pour le GSM 3G

A partir des années 2000, le site de Lannion devient progressivement le centre majeur des activités de commutation Mobile 3G en prenant la responsabilité du développement de deux machines du réseau mobile: le **HLR** (Home Location Register) puis le **RCP** (Radio Control Point)

Sur le plan fonctionnel, les évolutions concerneront le module de traitement de signalisation 3G ATM.

Sur le plan technologique, entre 2004 et 2006, le logiciel du HLR est porté sur la plateforme TOMIX. Ce portage s'accompagne de la mise en œuvre d'une base de données relationnelle du commerce.

Cette opération a bénéficié de l'expertise acquise auparavant à Lannion lors :

- du portage du logiciel du E10 réalisé dès 1987

- de la mise en œuvre de bases de données à l'occasion du projet de migration du traducteur (base de données du E10) en 1998.

Au travers de cette opération et de son prolongement (le HSS, Home Subscriber Server), le site de Lannion a acquis une expertise en SDM (Subscriber Data Management), incontournable au sein d'Alcatel-Lucent.

Mais la Direction d'Alcatel-CIT lors du CCE en novembre 2002 confirme « le faible positionnement d'Alcatel... dans l'investissement nécessaire pour lancer les réseaux UMTS » et poursuit en indiquant : « Alcatel se positionne pour un démarrage progressif de l'UMTS d'où un engagement faible dans le premier tour d'attribution des contrats. Au travers de la mise à disposition de réseaux pilotes, Alcatel-CIT supporte seul le poids des investissements UMTS ». Alcatel-CIT est ainsi largement devancé, pour le développement des réseaux d'infrastructures 3G-UMTS de communication mobile par les deux nouveaux leaders Européens : Ericsson et Nokia.

Le premier, Ericsson, « est capable de fournir à la fois des systèmes numériques en TDMA et CDMA. Ericsson a été, de ce fait, l'un des tout premiers promoteurs des systèmes cellulaires de troisième génération (UMTS) ».

De son côté « la société Nokia est maintenant spécialisée dans les télécommunications mobiles. Fournisseur d'infrastructures de réseaux cellulaires dans le monde entier, Nokia est surtout [en 2000] le premier fabricant mondial de terminaux mobiles... Cette situation pourrait changer au cours des années 2001 et 2002, la groupe ayant connu d'importants succès sur les premiers contrats d'infrastructures UMTS ».

C'est un standard mondial, sur lequel l'Europe et l'Asie sont en avance (l'iPhone d'Apple n'est pas 3G, malgré son prix exorbitant).

En Octobre 2000, France Télécom choisit les équipementiers Alcatel, Ericsson et Nokia pour déployer le futur réseau mobile UMTS-3G.

Le 28 septembre 2001, Orange et Alcatel procèdent aux premières communications expérimentales en système UMTS-3G sur leurs équipements expérimentaux situés dans Paris.

Le 16 octobre 2001, le gouvernement révisé les conditions d'obtention des licences UMTS-3G (prix et conditions de paiement), afin d'attirer de nouveaux candidats ; le prix initial ayant été finalement jugé trop élevé, il est divisé environ par 2. Les nouvelles conditions plus favorables s'appliquent aussi aux deux premiers lauréats : France Télécom et SFR. De surcroît, la durée de la concession augmente : elle passe de 15 à 20 ans.

Le 25 février 2004, France Télécom annonce le début du déploiement du réseau de 3ème Génération UMTS au second semestre 2004.

Ce réseau utilise les fréquences dans les bandes des 1.900 à 1.980 MHz et 2.110 à 2.170 MHz.

Deux réseaux seulement ont acquis la licence: Orange et SFR.

Le débit de transmission est, au minimum, de **384 kbits/s**, mais peut monter jusqu'à 2 Mbits/s, voire 3,60 Mbits/s (3G+).

Pour ce faire, il a été nécessaire de remanier entièrement les réseaux et d'utiliser des fréquences radio différentes: 1 920-1 980 MHz pour la voie montante, 2 110- 2 170 MHz pour la voie descendante dans un premier temps.

Comme ces modifications d'infrastructures coûtent fort cher, les opérateurs utilisent, selon les zones et les appareils, le système **EDGE** (iMode haut débit pour Bouygues Telecom), qui permet les téléchargements et l'**envoi de MMS**, mais pas la réception de chaînes TV ni la visiophonie.

Cela leur donne le temps de construire leurs nouveaux réseaux.

Dans tous les cas, les téléphones restent compatibles GSM-GPRS.

Le 30 avril 2004, Toulouse est la première ville française pilote où le réseau de 3ème Génération (à titre expérimental en fonctionnement réel). 250 premiers clients-testeurs bénéficient alors du service. Le débit minimal est de 144 kbit/s et le débit expérimental est alors limité à 384 kbit/s. Il s'agit alors d'effectuer des tests de couverture radio.

Le 6 mai 2004, le réseau 3G est ouvert à Lille, seconde ville pilote, avec 300 clients-testeurs.

Le 21 mai 2004, le réseau 3G est ouvert à Cannes, troisième ville pilote, avec 300 clients-testeurs.

Le 17 juin 2004, le réseau 3G est ouvert à Bordeaux, quatrième ville pilote.

Le 2 juillet 2004, le réseau 3G est ouvert à Nice, cinquième ville pilote.

Le 6 juillet 2004, le réseau 3G est ouvert à Lens, sixième ville pilote.

Le 9 juillet 2004, le réseau 3G est ouvert à Nantes, septième ville pilote.

Le 13 juillet 2004, le réseau 3G est ouvert à Lyon, huitième ville pilote.

Le 23 juillet 2004, le réseau 3G est ouvert à Marseille, neuvième ville pilote.

Le 1er octobre 2004, le réseau 3G est ouvert à Rennes.

Le 8 décembre 2004, France Télécom active pour ses clients 3G le haut débit dans le réseau. Le débit utile augmente alors jusqu'à 600 kbit/s, débit permettant alors la visiophonie et la lecture de vidéos.

À partir de Novembre 2005, en France, est menée par France Télécom, dans la ville de Lyon, la première expérimentation en service réel de la nouvelle technologie 3G-nommée HSDPA ((High Speed Packet Access) (H). Cette technologie annonce une modernisation du réseau 3G, par l'augmentation du débit, avec un débit de données de 1,8 Mbit/s et un débit maximal pouvant alors atteindre 7,2 Mbit/s. Ce débit permet alors de télécharger des vidéos dans des délais nettement plus acceptables pour les utilisateurs.

Le 28 février 2006, la mise en service de la norme 3G+ débute à Lyon, première ville pilote avec 150 clients-testeurs Orange.

Le 20 mars 2006, la mise en service de la norme 3G+ débute à Issy-les-Moulineaux et à Boulogne-Billancourt, secondes villes pilotes.

Le 24 novembre 2006, suit l'ouverture commerciale de la zone Lyon, en même temps que l'ouverture technique et commerciale en 3G+ HSDPA des zones de Nice, Marseille, puis dans les semaines qui suivent : Toulouse, Bordeaux, Montpellier.

Le 15 janvier 2007, la nouvelle technologie 3G+ HSDPA est mise en service à Paris et en Île-de-France.

En fin Janvier 2007, la nouvelle technologie 3G+ HSDPA est mise à disposition de toute la clientèle France Télécom. Il suffit alors d'être équipé d'un téléphone mobile compatible.

En Janvier 2010 France Télécom améliore encore la technologie 3G+ HSDPA en procédant au doublement du débit maximal jusqu'à 14,4 Mbit/s. Le déploiement commence en France par les villes de Paris et de La Défense.

Le 24 novembre 2011, France Télécom commence la mise en service d'une nouvelle technologie 3G++ HSDPA+ (H+) qui permet des débits maximum de 42 Mbit/s. Cette technologie d'abord commercialisée pour les entreprises, devient accessible au grand public à partir du 5 avril 2012, pour peu que l'on soit équipé d'un terminal compatible.

À partir du 18 avril 2005 pour la clientèle Entreprise, puis le 9 juin 2005 pour la clientèle Grand Public, la technologie 2G bénéficie en France de son ultime évolution, par le déploiement de la nouvelle technologie, **EDGE** (Enhanced Data-rates for GSM Evolution), mené par France Télécom.

Dès le 9 juin 2005, 85% de la population est déjà couverte par le EDGE.

Le débit nominal passe à 200 kbit/s. Le débit maximal passe à 348 kbit/s. L'usage est limité aux appels, aux messages et aux emails sans photographies jointes.

La technologie EDGE est alors présentée comme la solution dans l'attente du déploiement de la technologie UMTS-3G, alors en tout début de déploiement. Le réseau initial GSM-2G demeure préservé ; il est seulement modernisé.

1992 : débuts du GSM SFR (Société Française du Radiotéléphone).

Le GSM SFR a été autorisé à la création en France, par les pouvoirs publics, par un arrêté du 25 mars 1991 .

Ce réseau utilise des fréquences dans la bande des 900 MHz.

de 890 MHz à 915 MHz dans le sens Mobile vers Station Relais,

de 935 MHz à 960 MHz dans le sens Station Relais vers Mobile.

Le système GSM est classé dans les systèmes de téléphonie mobile de 2ème génération (2G).

Le 18 mai 1992, en France, à Paris, le premier indicatif ABPQ du GSM F2 mis en service pour essais préparatoires est le: 09.61.

Le réseau SFR se dénomme officiellement GSM F2.

Bien que concurrent direct de France-Télécom, techniquement parlant c'est France-Télécom qui crée dans le réseau téléphonique public les faisceaux réservés au GSM SFR et qui les affecte ; c'est encore France-Télécom qui insère la numérotation téléphonique des abonnés GSM SFR dans tous les traducteurs téléphoniques du réseau téléphonique et qui achemine, via ses propres commutateurs téléphoniques France-Télécom, les communications dans tout le pays (voire bien sûr vers l'étranger).

Lors de l'ouverture du GSM SFR en 1992, la Société Française du Radiotéléphone reverse, au titre de la convention d'interconnexion au Réseau Téléphonique de France Télécom 65% de son chiffre d'affaires. Un tel pourcentage peut paraître énorme, mais il ne fait que signaler la dépendance réelle, matérielle et technologique de cet opérateur concurrent vis à vis de France Télécom.

Il s'agit aussi d'un réseau téléphonique mobile entièrement numérique :

- Les signaux de contrôle et de suivi de localisation sont numériques,

- Les signaux de conversations téléphoniques sont désormais également numérisés.

L' AB.PQ téléphonique du GSM SFR est donc porté par le Commutateur d'abonnés MT25 France Télécom de Paris Tuileries 6 ET4 (Thomson-CSF, il sera mis hors service le 26 septembre 2017).

Le 26 juin 1992 à 8H00, l'ouverture technique de SFR GSM est effective à cette date.

Le 1er juillet 1992, France Télécom remplit ses obligations d'interconnexion du GSM SFR dans le réseau téléphonique de l'État et ainsi la SFR peut quand elle le souhaite ouvrir à la commercialisation son service GSM.

En effet, il faut que France Télécom traite à égalité Itinériss et SFR, pour qu'Itinériss puisse être commercialisé à la date du 1er juillet 1992.

Le 15 décembre 1992, l'ouverture commerciale du GSM SFR est effective à cette date, inaugurée par le M. le Président Directeur Général de la SFR - Philippe Glotin. À cette date précise, la première grande métropole ouverte au GSM SFR est Paris.

Initialement, l'AB=09 est alors affecté au Téléphone Mobile de SFR (GSM F2). Ce qui donne actuellement le format OZ AB = 06.09.

En France, les 4 premiers indicatifs AB PQ du GSM F2 mis en service commercial sont les suivants : 09.11 ; 09.41 ; 09.51 et 09.61. (Ordre Téléx du 22 juin 1992). Ce qui donne actuellement le format OZ AB PQ suivant : 06.09.11 ; 06.09.41 ; 06.09.51 et 06.09.61.

Donc, dès la création, le réseau SFR GSM peut recevoir 10.000 abonnés par AB PQ créé, soit un maximum de 40.000 abonnés.

Les 4 AB PQ SFR Mobiles de départ sont créés sur Paris. Bien d'autres AB PQ seront créés ultérieurement.

Le 21 juin 1993, le GSM SFR ouvre en Provence et couvre, à cette date, toute la Côte d'Azur

Le 20 octobre 1993 correspond, pour le GSM F2 SFR, aux dernières mises en service des AB.PQ Itinériss directement créés et portés par des Commutateurs MT25 de France Télécom (Il s'agit des dates pour l'Île-de-France, étant la région la plus en avance de France). 8 indicatifs ABPQ GSM F2 SFR seront ainsi créés en Île-de-France sur ce modèle d'architecture transitoire du début du GSM F2 en France.

Le 1er février 1994 correspond, pour le GSM F2 SFR, aux premières mises en service des AB.PQ Itinériss portés désormais directement par des Commutateurs de transit interurbain de France-Télécom MT20. Cette date correspond avec la mise en service, en Île-de-France, du MSC SFR - VANVES MSC, à cette date.

L'architecture définitive du GSM F2 commence son existence ; les premiers indicatifs du GSM F2 SFR créés avant cette date seront migrés dans la nouvelle architecture durant l'année 1994.

Au 31 décembre 1994, le service GSM SFR compte 89.000 abonnés en France.

Au 31 décembre 1995, le service GSM SFR atteint 300.000 d'abonnés.

Le 1er février 1996, ouverture technique des OZ.AB.PQ de la série 06.03.00 au 06.03.69, mis en service pour le GSM SFR (Ordre Téléx du 22 janvier 1996).

Le 8 février 1996, fermeture immédiate des OZ.AB.PQ de la série 06.03.10 et de la série 06.03.12 à 06.03.69 après plainte de la société SFR recevant de nombreux faux appels (Ordre Téléx urgent du 8 février 1996).

La série OZ.AB.PQ = 06.03.00 à 06.03.09 et la série 06.03.11 étant les seules maintenues, soit 110.000 abonnés supplémentaires possibles au GSM SFR...

Au 30 avril 1996, le service GSM SFR atteint 416.000 abonnés.

Le 17 octobre 1996, veille du passage à la nouvelle numérotation téléphonique à 10 chiffres, les tranches de numéros de téléphones ouvertes au GSM SFR sont :

AB = 03 suivi de 6 chiffres (soit une capacité théorique maximale de 110.000 abonnés)

AB = 09 suivi de 6 chiffres (soit une capacité théorique maximale d'1 million d'abonnés)

Soit une capacité théorique totale maximale de 1,11 million d'abonnés au GSM SFR à cette date.

Le 18 octobre 1996 à 23H00, la numérotation téléphonique du GSM SFR bascule à 10 chiffres :

AB = 03 devient OZ.AB = 06.03

AB = 09 devient OZ.AB = 06.09

Le 25 mars 2006, la licence du réseau GSM F2 exploité par SFR est renouvelée pour une durée de 15 ans par la Décision n°2006-0140 de l'ARCEP, en date du 31 janvier 2006.

1996 : débuts du GSM/DCS Bouygues Télécom.

En 1993 un accord entre la Grande-Bretagne et l'Allemagne est signé pour assurer la compatibilité de la norme DCS 1800 entre ces deux pays.

Le 25 janvier 1994, un appel à candidature est ouvert en vue d'ouvrir un 3ème réseau de téléphonie mobile en France,

Le 2 mai 1994, trois groupements d'entreprises se manifestent et déposent leur dossier : Citadin (Alcatel-Alsthom), Bouygues Télécom, Ultracom (Lyonnais des Eaux Dumez).

Nota : France Télécom ne se porte pas candidat, car seuls de nouveaux entrants pouvaient concourir.

Le 3 juin 1994, la France (Direction Générale des Postes et Télécommunications) rejoint l'accord signé entre Grande-Bretagne et Allemagne.

Désormais, dès qu'une des trois autorités de régulation de ces pays homologuera un équipement DCS1800, il pourra être utilisé dans les deux autres pays sans agrément supplémentaire. But : harmonisation européenne des équipements DCS1800.

Les 15 et 16 juin 1994, se tiennent les auditions des 3 candidats à la licence DCS 1800.

Le 25 août 1994, le rapport d'instruction est transmis à M. le Ministre chargé des Télécommunications - Gérard Longuet.

Le 4 octobre 1994, le choix de M. le Ministre chargé des Télécommunications - Gérard Longuet se porte sur Bouygues Télécom.

Le GSM / DCS Bouygues Télécom est autorisé à la création en France, par les pouvoirs publics, par un arrêté du 8 décembre 1994 .

La mise en service de ce troisième réseau est prévue avant le 1er janvier 1996. (Dans les faits, un retard de 5 mois sera constaté)

Ce réseau utilise des fréquences autour de 1.800 MHz à la norme GSM adaptée à cette bande de fréquences.

Le système GSM / DCS est classé dans les systèmes de téléphonie mobile de 2ème génération (2G).

Le réseau Bouygues Télécom se dénomme officiellement **GSM F3** ou DCS F3.

Bien que concurrent direct de France-Télécom, techniquement parlant, c'est France-Télécom qui crée dans le réseau téléphonique public les faisceaux réservés au GSM Bouygues Télécom et qui les affecte ; c'est encore France-Télécom qui insère la numérotation téléphonique des abonnés GSM Bouygues Télécom dans tous les traducteurs téléphoniques du réseau et qui achemine, via ses propres commutateurs téléphoniques, les communications dans tout le pays (voire bien sûr vers l'étranger).

Il s'agit aussi d'un réseau téléphonique mobile entièrement numérique :

- Les signaux de contrôle et de suivi de localisation sont numériques,
- Les signaux de conversations téléphoniques sont désormais également numérisés.

Le 20 novembre 1995 à 8H00, l'ouverture technique de Bouygues Télécom GSM est effective à cette date, en Île-de-France (Ordre Téléx du 16 novembre 1995) Concernant la province, la date d'ouverture technique est décalée au 6 décembre 1995.

Initialement, le OZ AB = 06.02 est alors affecté au Téléphone Mobile de Bouygues Télécom (GSM F3).

En France, les 9 premiers indicatifs OZ AB PQ du GSM F3 mis en service le 20 novembre 1995 sont les suivants : 06.02.00 ; 06.02.10 ; 06.02.31 ; 06.02.40 ; 06.02.60 ; 06.02.61 ; 06.02.66 ; 06.02.71 ; 06.02.80 - soit 90.000 abonnés GSM F3 possibles.

Puis la totalité du OZ AB = 06.02 est techniquement ouverte par France Télécom dans le réseau téléphonique le 22 mars 1996 à 8H00, soit les OZ AB PQ allant de 06.02.00 au 06.02.99 - soit 1 million d'abonnés GSM F3 possibles.

Il convient de noter que dès l'ouverture du réseau Bouygues Télécom GSM F3, les indicatifs sont directement créés sur des Commutateurs Services Mobiles réservés au rattachement des seuls abonnés mobiles (CSM, en anglais : MSC)

L'intermède ayant consisté en 1991-1992 à créer les tous premiers indicatifs mobiles France Télécom et SFR en les faisant porter par des commutateurs d'abonnés fixes ordinaires de type MT25 étant depuis lors aboli pour tous les opérateurs de téléphonie mobile en France.

Cette structure consistant à séparer raccordement d'abonnés fixes et rattachement d'abonnés mobiles prévaut désormais pour tous les opérateurs de téléphonie mobile en France.

Il s'est très vite posé le choix technologique de l'acheminement du transit téléphonique des communications émises (et reçues) à partir des téléphones mobiles.

Initialement, les premiers Commutateurs téléphoniques pour abonnés mobiles où étaient rattachés les premiers indicatifs de téléphonie mobile sont des Commutateurs d'abonnés ordinaires, utilisés habituellement en Commutateurs d'abonnés fixes.

Les premiers Commutateurs d'abonnés mobiles seront d'ailleurs, en Île-de-France des **MT25 d'abonnés fixes** ainsi partagés (où seront rattachés les premiers indicatifs AB.PQ mobiles (France Télécom comme SFR). Concernant Lyon, ce sera un AXE10 d'abonnés fixes qui sera utilisé (LYON BACHUT AXE).

Et au tout début de la téléphonie mobile GSM de 2ème génération, le trafic téléphonique généré par les abonnés mobiles GSM était donc acheminé par le même réseau téléphonique de transit que celui des abonnés fixes, alors constitué presque exclusivement de **Commutateurs de transit national MT20**, temporels de 2ème génération. (Les derniers Commutateurs de transit électromécaniques Crossbar étant en cours d'arrêt.) En environ 2 ans, s'est posée, avec l'explosion des abonnements au téléphone mobile, la nécessité de repenser le réseau téléphonique dans son entier.

Il a alors été décidé de **créer des Commutateurs d'Abonnés Mobiles**, où ne seraient désormais reliés uniquement les abonnés mobiles et ainsi de faire cesser cette cohabitation des abonnés mobiles au sein des commutateurs d'abonnés fixes (historiques).

Ces Commutateurs sont des Commutateurs pour Service Mobile - **CSM** - connus sous leur acronyme britannique MSC.

Les tous premiers MSC furent des Commutateurs temporels de 2ème génération MT20 à titre transitoire, très rapidement remplacés par des MSC temporels de 3ème génération **E10B3** en quelques années seulement.

Ainsi, lors de la création du 3ème opérateur de téléphonie mobile Bouygues Télécom, tous les indicatifs AB.PQ de Bouygues GSMF3 ont été créés dès 1995/96 directement sur des Commutateurs de Service Mobile (MSC).

Une fois créés ces Commutateurs pour Service Mobile (MSC), il a été créé un nouveau réseau dédié de Commutateurs de Transit pour la téléphonie mobile, où l'essentiel du trafic téléphonique entre abonnés mobiles devait être désormais acheminé. (Sachant qu'en cas de débordement, le trafic puisse être écoulé en secours par le réseau de transit fixe, au cas où...)

Un réseau de Commutateurs de Transit Mobile a été créé en Commutateurs de transit de 3ème génération et a compté jusqu'à **8 Commutateurs E10B3-CTM**.

- Suivant leur configuration et le choix qui a été fait, les E10B3-CTM ont assuré 3 types de fonctions différents :

Centre de Transit téléphonique mobile "standard" : E10B3/CT,

Centre de Transit des Messageries Vocales, pour acheminer les messages enregistrés sur les boîtes vocales : E10B3/CTMV,

Centre de Transit acheminant aussi bien le transit téléphonique mobile que les messages des boîtes vocales : E10B3/CT&CTMV.

- Le premier Commutateur E10B3-CTM a été mis en service le **1er avril 1996** (Paris BEAUJON FTMRT/CT).

- Ces huit Commutateurs E10B3-CTM pour Transit Mobile ont été créés avec un Réseau de Connexion classique.

- Deux de ces Commutateurs de Transit Mobile, spécialisés uniquement dans le transit des Messages Vocaux enregistrés, sont arrêtés assez rapidement dans les années 2003-2004 (BEAUJON FTMRT/CTMV et PHILIPPE-AUGUSTE FTMRT/CTMV), ils n'ont donc jamais fait l'objet d'évolution technologique en matière de Réseau de Connexion.

- Quant aux 6 autres, ils ont été convertis en **technologie HC3** entre 2001 et 2003. (BEAUJON FTMRT/CT, BLANC MESNIL FTMRT/CT et CACHAN FTMRT/CT&CTMV).

- Le tout premier Commutateur E10B3 avec Réseau de Connexion converti en technologie HC3 dans le monde est **LYON ÉCULLY FTMRT/CT le 1er juillet 2001**.

- Ce réseau a en outre été complété par 2 Centres de Transit Mobile équipés en technologie AXE10 de Ericsson, mis en service le 9 mai 2000 (TOULOUSE KENNEDY FTMRT/MSCT) et le 18 octobre 2001 (MARSEILLE FTMRT/MSCT).

Ces deux Commutateurs de Transit Mobile possèdent, cas particulier, également la fonction Commutateur d'abonnés Service Mobile (MSC) ; ce sont donc des MSCT.

Ce réseau a assuré la majeure partie du transit du trafic mobile durant de nombreuses années (20 ans), accompagnant l'accroissement du nombre d'abonnés téléphoniques, du nombre d'opérateurs et de la taille du trafic global à traiter.

Au début des années 2010 s'est posée la question du devenir de ce réseau téléphonique de transit commuté mobile.

La décision a été prise d'arrêter ce réseau de transit commuté et de basculer la totalité du trafic téléphonique de transit de la téléphonie mobile sur le protocole internet VoIP.

- Aussi, la totalité des 6 Commutateurs téléphoniques de Transit Mobile restant a été mise hors service en 2015, avant le 31 décembre de cette année ; et la totalité du trafic mobile de transit basculé sur des machines utilisant le protocole **VoIP** Internet.

- Le premier Commutateur de Transit Mobile E10B3-CTM à être mis hors service est POITIERS GRAND CERF FTMRT/CT le 21 septembre 2015,

- Les deux derniers Commutateurs de Transit Mobiles E10B3-CTM à être mis hors service sont BEAUJON FTMRT/CT et BLANC MESNIL FTMRT/CT le 7 décembre simultanément.

Concernant les 6 Commutateurs de Transit Mobile E10B3-CTM qui étaient tous équipés, juste avant leur arrêt, de Réseau de Connexion de type HC3 de 16.384 multiplex MIC 2Me.b/s de 30 voies téléphoniques chacun, ou directement de MIC 8Me.b/s de 120 voies chacun, voire d'accès SDH à fibres optiques à 155 Me.b/s (SDH STM-1). (HC = Haute Capacité) : cinq d'entre eux sont désormais mis à l'arrêt et vont servir à entretenir le réseau de transit E10B3-CTN3G fixe ; quant au sixième, BEAUJON FTMRT/CT, il a été adapté pour rentrer dans le réseau de transit du téléphone fixe à la date du 5 décembre 2018, réseau fixe prévu pour durer jusqu'en 2030.

Depuis le 7 décembre 2015, ce réseau de transit téléphonique commuté spécifique à la téléphonie mobile en France n'existe plus. Il est donc remplacé par des machines utilisant le protocole internet VoIP.

Des exceptions peuvent persister çà et là comme par exemple le Commutateur E10B3 compacté de Saint-Pierre et Miquelon mis en service peu avant l'an 2000 qui, du fait de la taille réduite de l'île, cumule les fonctions de CAA d'abonnés fixes et de MSC pour les abonnés mobiles.

Le 29 mai 1996, l'ouverture commerciale grand public Bouygues Télécom GSM/DCS F3 est effective à cette date.

Donc, dès la création, le réseau Bouygues Télécom GSM peut recevoir 10.000 abonnés par OZ AB PQ créé, soit un maximum d'1 million d'abonnés spontanément (à comparer aux 40.000 abonnés possibles au début de SFR GSM F2 et aux 50.000 possibles au début de France Télécom GSM F1)

Les 100 OZ AB PQ Bouygues Télécom Mobiles de départ sont tous créés en Île-de-France.

Le 30 mai 1996, trois OZ.AB supplémentaires sont techniquement ouverts : OZ.AB = 06.60, 06.61 et 06.68. Soit 3 millions de lignes d'abonnés possibles, dès le lendemain de l'ouverture de Bouygues Télécom (DCS F3) en France.

À noter qu'à cette même date, les numéros GSM Bouygues Télécom commençant par OZ.AB = 06.02 sont également placés en équivalence sur l'un ou l'autre des OZ.AB = 06.60, 06.61 et 06.68, de telle sorte que le maximum d'abonnés au GSM F3 possible soit de 3 millions, et non point de 4 millions.

Le 17 octobre 1996, veille du passage à la nouvelle numérotation téléphonique à 10 chiffres, les tranches de numéros de téléphones ouvertes au GSM Bouygues Télécom sont :

AB = 02 suivi de 6 chiffres (soit une capacité théorique maximale d'1 million d'abonnés)

AB = 60 suivi de 6 chiffres (soit une capacité théorique maximale d'1 million d'abonnés)

AB = 61 suivi de 6 chiffres (soit une capacité théorique maximale d'1 million d'abonnés)

AB = 68 suivi de 6 chiffres (soit une capacité théorique maximale d'1 million d'abonnés)

Soit une capacité théorique totale maximale de 3 millions d'abonnés au GSM Bouygues Télécom à cette date, l'AB = 02 étant confondu avec les AB = 60, 61 et 68.

Le 18 octobre 1996 à 23H00, l'AB = 02 est supprimé :

4 tranches de 100.000 numéros sont fusionnées sur l'AB = 60, soit l'OZ.AB = 06.60

4 tranches de 100.000 numéros sont fusionnées sur l'AB = 61, soit l'OZ.AB = 06.61

2 tranches de 100.000 numéros sont fusionnées sur l'AB = 68, soit l'OZ.AB = 06.68

Le 2 décembre 2009, la licence du réseau GSM/DCS F3 exploité par Bouygues Télécom est renouvelée pour une durée de 15 ans par la Décision n°2009-0838 de l'ARCEP, en date du 5 novembre 2009.

Chez Lucent, relance des activités GSM 3G dès 2006 et débuts des travaux sur la 4G

L'intégration de l'équipe Lucent de Lannion est en quelque sorte providentielle pour Alcatel Lannion.

- D'une part les membres de cette équipe ont passé dix années chez Lucent et connaissent bien la façon de travailler des ingénieurs américains de Lucent.

- D'autre part ils ont acquis une expérience du meilleur niveau dans un domaine important, celui de la radio des infrastructures GSM,

Au moment de la fusion d'Alcatel et de Lucent il apparaît bien qu'en « ratant le virage de la 3G Alcatel-Lucent a perdu la confiance de ses principaux clients.

La nouvelle Direction d'Alcatel-Lucent prend des décisions énergiques.

L'établissement d'Alcatel à Vélizy, défaillant, est écarté des études radio. L'activité radio 3G de la société canadienne Nortel est acquise pour apporter un complément de compétences. Enfin les études radio 3G sont affectées à l'établissement de Lannion. «Stratégiquement il est décidé de conserver le produit provenant de Nortel et de le faire évoluer en bénéficiant des avancées du Modem du produit de Lucent.

Ce choix constitue le point de départ de l'accroissement des équipes travaillant sur la partie radio à Lannion... En plus des 35 personnes ex-Lucent qui développent le principal composant matériel de la carte Modem, une partie des développeurs ex-Alcatel participe au développement logiciel. En 2007 environ 80 ingénieurs travaillent sur cette nouvelle carte Modem. .

Vers 2007 le centre de Lannion « commence à travailler sur un démonstrateur dans la nouvelle norme du réseau mobile **LTE (GSM 4G)**, toujours sur la partie modem, mais avec d'autres équipes localisées à Villarcoux et Murray Hill aux Etats-Unis.

Les développements s'intensifient de **2008 à 2010** pour aboutir à un produit qui est commercialisé chez l'opérateur Verizon aux Etats-Unis.

Verizon ouvre le premier réseau commercial LTE avec des équipements Alcatel-Lucent (l'un de ses deux fournisseurs), le 5 décembre 2010.

Ces développements sur le LTE se traduisent par une nouvelle croissance des effectifs travaillant sur le wireless (3G UMTS et 4G LTE). Cela représente environ 130 personnes.

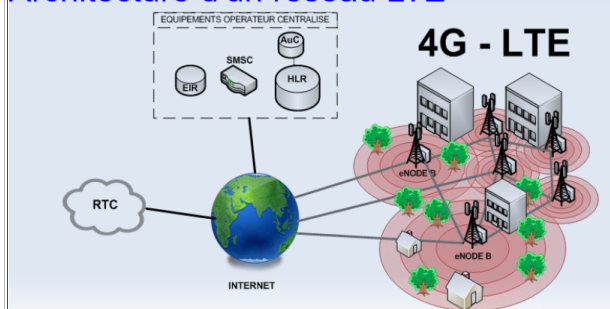
La technologie LTE, aux normes américaines, n'est pas une technologie 4G au sens strict. C'est la version suivante, LTE-Advanced, qui sera la plus proche de la technologie 4G européenne.

2010 - Arrive le LTE , la 4

Les nouveaux éléments de la 4G :

En 2G et 3G, les MSC communiquent par le Réseau Téléphonique Commuté, (par les commutateurs téléphoniques "nationaux" et "internationaux" , en 4G toutes les communications sont faites en IP par Internet .

Architecture d'un réseau LTE



Le SGSN est séparé en deux entités fonctionnelles différentes : le MME (Mobile Management Entity) pour le plan « contrôle » et le Serving Gateway pour le plan « usage ».

Le MME va ainsi gérer les sessions (authentification, autorisations, session voix et donnée) et la mobilité (localisation, « paging », « hand-over »,...) du terminal.

La Serving Gateway est responsable de l'acheminement des flux « utiles » dans le réseau cœur (les communications voix, le trafic data, etc.).

Le GGSN quant à lui est remplacé par une PDN Gateway (Paquet Data Network Gateway).

La PDN Gateway est responsable du lien avec les autres réseaux (publics ou privés), et notamment avec le monde Internet.

Le HLR est remplacé par un **HSS** (Home Subscriber Server).

Le HSS est responsable d'à peu près les mêmes fonctionnalités que le HLR (base des profils des abonnés, avec leurs droits et leurs caractéristiques). Le HSS inclut en plus un lien possible avec le monde **IMS**, pour la gestion des services de voix enrichis.

Un nouvel élément du cœur de réseau 4G est le **PCRF** (Policy and Charging Rules Fonction), qui permet la gestion dynamique de la facturation et de Policy de qualité de service des flux (flux best effort, flux « premium » avec bande passante et latence garanties, tarification dynamique suivant le flux, etc.).

Le PCEF (Policy and Charging Enforcing Function), module fonctionnel logé dans la PDN Gateway, applique les règles fixées par le PCRF.

Le 15 juin 2011, l'ARCEP publie l'appel à candidatures pour l'attribution de fréquences 4G dans les bandes 2,6 GHz et 800 MHz.

Le 15 septembre 2011, délai de rigueur, l'ARCEP reçoit les candidatures de Bouygues Telecom, Free Mobile, Orange France et SFR pour l'attribution de licences 4G dans la bande 2,6 GHz.

Le 22 septembre 2011, après vérification des dossiers, l'ARCEP retient les 4 sociétés candidates : Bouygues Telecom, Free Mobile, Orange France et SFR. L'ensemble des fréquences objet de l'appel à candidatures sera donc attribué.

Le 11 octobre 2011, l'ARCEP délivre les licences 4G aux 4 lauréats de la procédure d'attribution de fréquences dans la bande 2,6 GHz. Décision ARCEP n° 2011-1170 du 11 octobre 2011 concernant Orange France.

Le 15 décembre 2011, délai de rigueur, l'ARCEP reçoit les candidatures de Bouygues Telecom, Free Mobile, Orange France et SFR pour l'attribution de licences 4G dans la bande 800 MHz.

Le 22 décembre 2011, l'ARCEP publie les résultats de la procédure d'attribution des licences mobiles 4G dans la bande 800 MHz (dite « dividende numérique »).

Le 17 janvier 2012, l'ARCEP délivre les autorisations à 3 lauréats de la procédure d'attribution de fréquences complémentaires dites du « dividende numérique » (800 MHz), dont Orange France. (Free Mobile n'ayant pas été retenu pour cet appel complémentaire.) Décision ARCEP n° 2012-0038 du 17 janvier 2012, concernant Orange France.

Ainsi, globalement, concernant la 4G en France, les 4 opérateurs candidats sont tous reçus à l'examen.

Concernant Orange, la technologie 4G retenue est la LTE (Long Term Evolution) et permet des débits de données maximum de 150 Mbit/s dès le début de la mise en exploitation.

Les industriels et les équipements choisis par Orange pour mener l'équipement et le déploiement de la 4G sont Alcatel, Ericsson et CISCO.

En Mars 2012, Orange informe que la première ville française qui sera ouverte à la 4G/LTE Orange sera Marseille, équipée en matériels pilotes Alcatel.

Le 21 juin 2012, la 4G Orange est officiellement mise en service à Marseille, ville pilote.

Le 21 novembre 2012, la 4G Orange est commercialisée, pour les clients Entreprise, à Lyon, Lille et Nantes. (La clientèle grand public suit en Février 2013)

Le 28 janvier 2013, la 4G Orange commence à être mise en service à Paris, dans le quartier de l'Opéra Garnier.

Le 4 avril 2013, la 4G Orange est mise en service dans les villes suivantes : Bordeaux, La Rochelle, Chartres, Orléans, Dunkerque, Nancy, Metz, Clermont-Ferrand, Grenoble et Annecy. À cette même date, la 4G est mise en service dans les 1er, 2ème, 8ème et 9ème arrondissements de Paris.

En Juin 2013, suivent 21 autres grandes villes, dont : Rennes le 17 juin, Pau, Poitiers, Mulhouse.

Montpellier suit le 3 Juillet, Toulouse le 12 juillet 2013, Nîmes et Alès le 22 juillet 2013...

Le 9 septembre 2013, la ville de Paris est entièrement couverte en technologie 4G Orange,

Fin septembre 2013, la première couronne est couverte en technologie 4G Orange.

Le 13 décembre 2013, Orange est finalement retenue par la RATP pour déployer la 4G (ainsi que la 3G) dans le Métropolitain de Paris, pour tous les opérateurs, ainsi que dans le RER. Il s'agit là d'un gros chantier de modernisation d'une grande complexité, en raison de la situation souterraine du Métropolitain.

Le déploiement complet dans le Métropolitain de Paris en technologies modernes (3G & 4G) est prévu pour être atteint en fin 2017 ou courant 2018, le service incluant enfin, en plus du service «téléphone» de base, les transmissions de données Internet.

Il faut rappeler, pour mémoire, que l'installation actuelle en GSM 2G du Métro de Paris, déployée à partir de 2002, au fonctionnement assez limité, se cantonnant au seul accès au service de base « Téléphone et SMS » et fait appel à des installations mutualisées mises à disposition de tous les opérateurs par la RATP.

De surcroît, nous entendons beaucoup de critiques sur le retard d'arrivée de la 3G (qui existe portant en France depuis 2004) et de la 4G dans le Métropolitain de Paris. Mais la faute ne peut en incomber à Orange. En effet, dès 2010, la RATP avait au départ l'ambition de s'associer à d'autres industriels et devenir opérateur de son propre réseau de télécommunications souterrain, mais s'est heurtée à des problèmes techniques d'une si grande complexité à résoudre, qu'elle en a perdu plusieurs années en études infructueuses et à finalement décidé de venir naturellement vers nous, pour le bonheur futur des usagers de la RATP.

Le déploiement de la 4G dans les 304 stations du Métropolitain de Paris et dans les tunnels est achevée le 13 juillet 2020 (information presse).

Le 17 juillet 2014, Orange met en service pour la première fois en France, à Strasbourg et à Toulouse, la 4G+ / LTE Advanced, permettant d'obtenir des débits descendants de 223 Mbit/s par agrégation de 2 bandes de fréquences.

En Février 2015, Paris est déjà couverte en 4G+ Orange parmi une quinzaine de villes.

Fin 2016, la 4G+ Orange s'améliore encore et permet d'atteindre 330 Mbit/s par agrégation de 3 bandes de fréquences dans certaines villes. (Bouygues Télécom ayant commencé à déployer cette évolution technologique en 2016, quelques mois avant Orange)

Le 7 juillet 2017, la 4G+ Orange franchit un nouveau cap après la mise en service de la 4G+ dans la ville de Villefranche-sur-Saône avec un nouveau débit descendant théorique de 680 Mbit/s et réel atteignant jusqu'à 500 Mbit/s. Il s'agit désormais d'utiliser outre l'agrégation de multiples bandes de fréquences, de nouvelles technologies qui sont d'ores et déjà retenues pour la future norme 5G en cours de constitution : il s'agit du multiplexage par Entrées Multiples – Sorties Multiples MIMO 4x4 et de la modulation optimisée 256 QAM qui permettent d'augmenter et d'optimiser les débits.

La 4G permet de multiplier par trois le débit obtenu en 3G pour atteindre 100 Mb/s, et rend ainsi possible en mobilité des usages comme les appels en « visio » ou la TV en direct.

Pour obtenir un débit élevé et renforcer le réseau de téléphonie mobile, les antennes relais se sont peu à peu déployées sur le territoire au fur et à mesure du déploiement de la **quatrième génération**.

Enfin, l'**IMS** (IP Multimedia Subsystem), bien que ne faisant pas partie véritablement de la 4G, est un ensemble d'éléments permettant d'offrir des **services multimédia** sur les réseaux IP et donc entre autre **sur le réseau mobile**.

La convergence des voix et données conduit à une nouvelle architecture de réseau, appelée **IMS** (IP Multimedia Subsystem). « Dans l'architecture IMS les fonctions sont réparties et localisées dans le réseau au mieux des besoins :

-La voix subit un traitement particulier dans des noeuds dénommés passerelles (ou Média Gateway).

-Les nouveaux services multimédias et les besoins en trafic ont conduit à distinguer un plan de contrôle (établissement des appels, traitement des services...) et un plan usager (échange d'information) et ont nécessité de créer un type de noeud dédié au plan de contrôle, appelé serveur d'appel.

-Le besoin d'interfonctionnement de ce réseau « convergé » avec le réseau téléphonique classique nécessite une fonction MGCF (Media Gateway Control Function).

Elle a pour objectif d'assurer l'interconnexion avec les réseaux et systèmes existants,...systèmes datant parfois de plusieurs dizaines d'années».

L'architecture réseau IMS (IP Multimedia Subsystem) a pris corps; cette fois la chaîne de traitement d'appels de l'OCB n'était plus adaptée au réseau téléphonique. **L'objectif de l'architecture IMS était d'intégrer les appels mobiles et fixes** et là l'architecture mobile apportait par exemple une base données centralisée HLR, plus universelle que le Traducteur E10, fonction qui est devenu le HSS dans l'architecture IMS.

Chaque bloc fonctionnel (en raccourci chaque ML) du commutateur se trouvait ainsi localisé à un endroit quelconque du réseau et mis en commun pour les besoins du fixe et du mobile.

C'est ainsi que plusieurs produits, notamment le **5060 MGC10** et le manager de données des abonnés **8650 SDM** ont été développés à Lannion dans ce nouveau cadre d'un réseau unique voix et données.

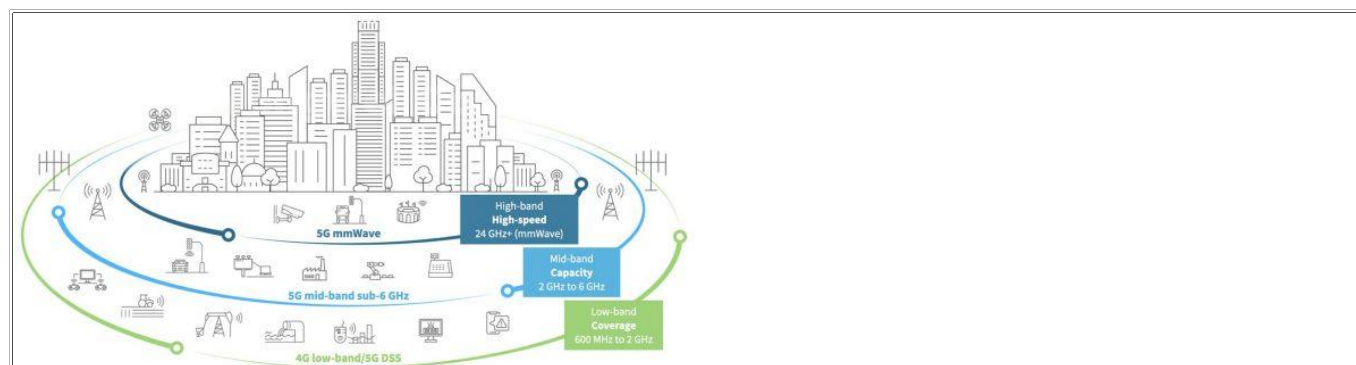
Le commutateur E10 conservait une petite place, celle de faire l'interface avec les commutateurs RTC existants et est devenu ainsi un des blocs fonctionnels de l'architecture IMS.

L'IMS permet des services interpersonnels multimédia riches : voix sur IP, conférence vidéo, agenda enrichi, messagerie instantanée, sonnerie sur plusieurs terminaux, etc.

Les grands opérateurs, comme Orange ont programmé la [fermeture de toutes leurs lignes RTC](#) au début des années 2020. **Ce sera la fin définitive d'une belle aventure, celle**

des commutateurs E10.

En 2018 on parlait déjà de l'arrivée de la 5G (projet Spectra), 10 fois plus rapides que la 4G.



Il existe trois bandes de fréquences au cœur des réseaux 5G :

- La bande haute 5G (mmWave) offre les fréquences les plus élevées de la 5G. Celles-ci vont de 24 GHz à environ 100 GHz. Parce que les hautes fréquences ne peuvent pas facilement traverser les obstacles, la 5G à bande haute est par nature à courte portée. De plus, la couverture mmWave est limitée et nécessite plus d'infrastructure cellulaire.
- La bande moyenne 5G fonctionne dans la gamme 2-6 GHz et fournit une couche de capacité pour les zones urbaines et suburbaines. Cette bande de fréquence a des taux de pointe dans les centaines de Mbps.
- La bande basse 5G fonctionne en dessous de 2 GHz et offre une large couverture. Cette bande utilise le spectre disponible et utilisé aujourd'hui pour la 4G LTE, fournissant essentiellement une architecture LTE 5g pour les appareils 5G qui sont maintenant prêts. Les performances de la 5G à bande basse sont donc similaires à celles de la 4G LTE et prennent en charge l'utilisation des appareils 5G sur le marché aujourd'hui.

En plus de la disponibilité du spectre et des exigences d'application pour les considérations de distance par rapport à la bande passante, les opérateurs doivent prendre en compte les besoins en puissance de la 5G, car la conception typique d'une station de base 5G exige plus de deux fois la quantité d'énergie d'une station de base 4G.

Pour plus de détails, [consulter cette page](#).

Le 25 janvier 2017, Orange et Ericsson procèdent pour la première fois en France à des essais réussis de communications mobiles en technologie mobile 5G à l'aide de prototypes, dans les laboratoires Orange Gardens, situés à Châtillon. Orange est donc le premier opérateur mobile à utiliser en France, en laboratoire, la technologie mobile 5G.

Le 16 novembre 2017, pour la première fois, le Groupe Orange procède, avec le concours du Groupe Nokia, aux premières démonstrations publiques en technologie expérimentale de 5ème Génération de téléphonie mobile. Ces essais ont lieu en Slovaquie, dans la capitale Bratislava.

Du 13 décembre 2017 au 16 février 2018, le gouvernement lance une consultation publique pour construire une stratégie nationale dans le domaine des futures technologies 5G.

Le 21 décembre 2017, la conférence internationale 3GPP (3rd Generation Partnership Project) qui se tient à Lisbonne, au Portugal, se conclut par un accord unanime sur la définition de la norme 5G NR (New Radio), une norme intermédiaire à la 5G définitive prévue pour la mi-2018. La réunion regroupe les plus importants opérateurs mondiaux, dont le Groupe Orange.

Le 22 février 2018, concernant Orange, l'ARCEP autorise, par sa décision n°2018-0177 l'expérimentation de la technologie 5G dans les villes de Douai et de Lille entre le 1er juin 2018 et le 1er juin 2019.

Le 22 février 2018, concernant Bouygues Telecom, l'ARCEP autorise, par sa décision n°2018-0178 l'expérimentation de la technologie 5G dans les villes de Bordeaux, Lyon et Villeurbanne entre le 1er mai 2018 et 30 septembre 2018.

Du 22 mai au 18 juin 2018, l'ARCEP lance une consultation publique concernant la bande des fréquences des 26 GHz, attribuée actuellement à l'Armée, à Météo-France et au CNES, en vue d'une éventuelle réattribution aux opérateurs de télécommunications pour la future technologie 5G. Toutes les parties prenantes sont invitées à adresser leurs observations à l'ARCEP.

Le 23 mai 2018, SFR et Nokia procèdent à leur tour, 16 mois après Orange, à des essais réussis de communications mobiles en technologie mobile 5G à l'aide de prototypes, dans les laboratoires SFR, situés à Vélizy.

Le 4 septembre 2019, Orange dépose un dossier de candidature dans l'optique d'attribution de futures licences de la future technologie 5G.

Le 1er octobre 2020, les premiers blocs de fréquences 5G de la bande des 3,4 à 3,9 GHz sont attribués par l'ARCEP au 4 opérateurs en lice : Bouygues Télécom, Free, Orange et SFR.

Le 3 décembre 2020, Orange ouvre à l'exploitation et à la commercialisation la technologie 5G.

La technologie 5G ouverte initialement dans la bande des 3,5 GHz, permet d'ores-et-déjà un débit 3 à 4 fois supérieur à la technologie 4G LTE.

Les 15 premières villes sont : Angers, Clermont-Ferrand, Le Mans, Marseille, Nice, et 10 autres villes.

Le 15 décembre 2020, Orange ouvre à l'exploitation et à la commercialisation plus de 140 nouvelles villes, dont les arrondissements du centre de Paris. Suivirent 160 villes françaises ouvertes en technologie 5G par Orange.

Le 19 mars 2021, Orange généralise à l'ensemble de Paris la mise en service de la technologie 5G dans la bande des 3,5 GHz.

Mars 2022, Orange frappe un grand coup en annonçant l'extinction prochaine de ses réseaux 2G et 3G.

Le réseau 2G d'Orange disponible sur le territoire français s'éteindra ainsi en 2025, tandis que son réseau 3G sera lui fermé d'ici à 2028.

Au niveau européen, l'opérateur historique entend par ailleurs fermer ses services 2G et 3G à horizon 2030.

Pour la 3G de Bouygues Telecom, les antennes 3G seront mises hors service en 2029/2030, idem pour SFR.

L'opérateur historique a justifié cette décision par la généralisation de la 4G sur l'ensemble du territoire

« L'arrêt de la 2G et 3G permettra à Orange d'optimiser la gestion de ses réseaux et de les faire évoluer vers des technologies plus sécurisées, résilientes, économes en énergie et modernes telles que la 4G et la 5G », faisait ainsi savoir la direction d'Orange début mars. La décision de l'opérateur français suit celles de différents acteurs mondiaux, dont l'américain AT&T, qui a récemment décidé de fermer ses propres services 2G et 3G.

Pour l'état-major de l'opérateur historique, l'extinction des réseaux 2G et 3G permettra une meilleure « expérience client sur mobile, avec une meilleure qualité de la voix via la technologie VoLTE, un débit plus élevé, une latence plus faible et une sécurité renforcée, tout cela sans impact majeur sur les offres pour la quasi-totalité des clients »

Pendant la majeure partie de l'ère de la 3G, les smartphones ont permis aux utilisateurs de découvrir les joies de la navigation web en mobile, de partager des vidéos virales, de mettre à jour des statuts et de se connecter avec des personnes du monde entier. Tout cela reste bien évidemment possible grâce aux réseaux 4G, à la 5G ou encore au Wi-Fi.

Pour autant, certains smartphones seront alors obsolètes.

C'est notamment le cas de l'iPhone 3GS, qui ne pourra plus passer d'appels sur la 3G ni envoyer de messages texte. Les utilisateurs de cet appareil pourront toutefois toujours se connecter au Wi-Fi pour accéder aux applications internet.

RESUME

Au 28 février 1993, le service GSM Itinéris compte 4.000 abonnés en France .

Au 31 Mars 1993, le service GSM Itinéris compte 25.000 abonnés en France.

Au 31 décembre 1993, le service GSM Itinéris compte 78.685 abonnés en France.

En Février 1994, le service GSM Itinéris compte plus de 100.000 abonnés en France, puis 140.000 abonnés en Mai 1994, puis 200.000 abonnés en Juin 94, 250.000 abonnés en Août 1994, puis 300.000 abonnés en Octobre 1994, puis 369.174 abonnés au 31 décembre 1994 (à comparer au système Radiocom 2000). La croissance exponentielle est alors une réalité.

Au 31 décembre 1997, le service GSM Itinérís dépasse 3.000.000 d'abonnés.
Au 31 juillet 1998, le service GSM Itinérís dépasse 4.000.000 d'abonnés. .
Au 31 décembre 1998, le service GSM Itinérís atteint 5.557.000 abonnés.
Le 12 juillet 1999, le service GSM Itinérís atteint 7.000.000 abonnés
Au 31 août 1999, le service GSM Itinérís dépasse 7.500.000 d'abonnés.
Le 14 juin 1995 le service GSM Itinérís dépasse 500.000 d'abonnés.
Au 31 décembre 1995, le service GSM Itinérís dépasse 700.000 abonnés.
Au 30 avril 1996, le service GSM Itinérís dépasse 835.000 abonnés.
En Septembre 1996, le service GSM Itinérís dépasse 1.000.000 d'abonnés.
La progression exponentielle se poursuit. Au 31 octobre 1996, 1.150.000 abonnés.
...

Aujourd'hui, les terminaux mobiles utilisent différentes technologies s'appuyant principalement sur les réseaux d'antennes.

le GSM (ou téléphonie mobile de 2ème génération 2G) fonctionne sur les bandes de fréquences 900 MHz et 1 800 MHz. La 2G offre un débit limité à 88 Kb/s pour la transmission de données (SMS, photos, internet...), voire 200 Kb/s pour EDGE qui est la version la plus évoluée. Un téléphone GSM peut émettre jusqu'à une puissance maximale de 2W pendant un appel et, dans les meilleures conditions de réception, la puissance peut-être mille fois inférieure (de l'ordre de 0,001 W).

l'UMTS (ou 3G) passe par les bandes de fréquences 900MHz et 2 GHz. Plus perfectionnée que la 2G, la 3G a popularisé les usages internet et multimédia mobiles grâce à des débits supérieurs à 384 Kb/s (et jusqu'à 40 Mb/s pour les évolutions 3G+, H+). Cette technologie est aussi largement plus efficace dans le traitement du signal, puisqu'en conditions de réception optimales, un mobile 3G peut fonctionner à des puissances plusieurs millions de fois inférieures à sa puissance maximale (sa puissance maximale est de 0,25W).

le LTE (ou 4G) fonctionne sur les bandes 800 MHz, 1800 MHz et 2600 MHz précédemment utilisées par d'autres applications : la fréquence 800 MHz, par exemple, servait à la télévision analogique avant l'arrivée de la TNT. Grâce à de nouvelles technologies de codage, la 4G permet déjà de multiplier par trois le débit obtenu en 3G pour atteindre 100 Mb/s, et rend ainsi possible en mobilité des usages comme les appels en « visio » ou la TV en direct.

La 5G est conçue pour une plus grande transmission de données et une connectivité accrue; son infrastructure permet l'Internet des objets associé à des milliards de dispositifs connectés. La technologie 5G soutiendra les innovations de demain, et ce, dans divers domaines tels que :

– les soins de santé, – la sécurité publique, – les transports, – l'agriculture, – les villes intelligentes.

La technologie **5G** pourra être exploitée à des fréquences inférieures du spectre (inférieures à 6 GHz) et à des fréquences plus élevées, dites à ondes millimétriques (supérieures à 6 GHz).

Lancé en 2021 en France, le réseau 5G semble encore balbutiant au regard des chiffres publiés par l'Arcep, l'autorité hexagonale de régulation des télécoms.

Selon son dernier rapport publié durant l'été **2022, seuls 4,1 millions de Français sont abonnés à une formule 5G**, alors que l'on dénombre **66,9 millions de clients 4G** dans le pays. Une proportion encore mince, bien qu'en augmentation rapide — l'Arcep évoque 1,2 million d'abonnés 5G supplémentaires chaque trimestre —, qui fait de l'avènement de la 5G une perspective encore lointaine .

La 6G Alors que huit à dix ans séparent chaque nouvelle génération de réseau mobile selon les pays, on comprend qu'il est déjà l'heure de se pencher sur la suivante : la 6G annoncée pour 2030.

Alors même que l'adoption de la 5G semble encore limitée, pourquoi passer à la 6G ?

À la fois pour remédier aux lacunes de la 5G actuelle, coûteuse pour les équipementiers et gourmande en énergie, et pour répondre à des usages nouveaux. Alors que la 5G est conçue pour atteindre des débits allant jusqu'à 10 à 20 Gbps, son héritière pourrait, elle, dépasser les 100 Gbps et flirter avec le Tbps. "La 6G devrait atteindre des performances supérieures à celles de la 5G pour permettre de nouveaux services et soutenir la croissance attendue du trafic", note Orange dans son Livre blanc.

6G est le nom de la sixième génération de réseaux cellulaires, qui fournira une intelligence sans fil véritablement omniprésente. Prévu pour être disponible au début des années 2030, le voyage de recherche 6G est déjà bien engagé.

La vision de la 6G repose sur le désir de créer une réalité homogène où les mondes numérique et physique tels que nous les connaissons aujourd'hui ont fusionné. Cette réalité fusionnée du futur offrira de nouvelles façons de rencontrer et d'interagir avec d'autres personnes, de nouvelles possibilités de travailler de n'importe où et de nouvelles façons de découvrir des lieux et des cultures lointaines.

En offrant une communication intelligente omniprésente, la 6G contribuera à la création d'une société plus humaine, durable et efficace.

Présentation du continuum cyber-physique

La 6G permettra de se déplacer librement dans le continuum cyber-physique, entre le monde physique connecté des sens, des actions et des expériences, et sa représentation numérique programmable.

Le continuum cyber-physique de la 6G inclut le métaverse tel qu'il est généralement compris - un environnement numérique où les avatars interagissent dans un monde VR/AR - et va plus loin, offrant un lien beaucoup plus étroit avec la réalité.

Dans le continuum cyber-physique, il sera possible de projeter des objets numériques sur des objets physiques représentés numériquement, leur permettant de coexister de manière transparente en tant que réalité fusionnée et d'améliorer ainsi le monde réel.

Les futurs réseaux seront un élément fondamental pour le fonctionnement de pratiquement toutes les parties de la vie, de la société et des industries, répondant aux besoins de communication des humains ainsi que des machines intelligentes. Alors que l'accélération de l'automatisation et de la numérisation continue de simplifier la vie des gens, le continuum cyber-physique émergent améliorera continuellement l'efficacité et garantira l'utilisation durable des ressources.

D'innombrables capteurs seront embarqués dans le monde physique pour envoyer des données afin de mettre à jour la représentation numérique en temps réel. Pendant ce temps, les fonctions programmées dans la représentation numérique seront exécutées par des actionneurs dans le monde physique. L'objectif de la plate-forme de réseau 6G est de fournir une intelligence, une connectivité omniprésente et une synchronisation complète avec cette réalité émergente.

Bien d'autres technologies viennent enrichir les usages du mobile :

Le DECT (de l'anglais Digital Enhanced Cordless Telecommunications abrégé en DECT1 signifiant littéralement « téléphone sans-fil numérique amélioré »), anciennement Digital European Cordless Telephone, est une norme de téléphone sans fil numérique destinée aux particuliers comme aux entreprises sur la gamme de fréquence 1 880 à 1 920 MHz. Cette norme, même si elle a été conçue pour une gamme large d'utilisations, est aujourd'hui principalement utilisée pour des communications vocales.

Le Bluetooth est une norme de communications permettant l'échange bidirectionnel de données à très courte distance en utilisant des ondes radio UHF sur une bande de fréquence de 2,4 GHz. Son objectif est de simplifier les connexions entre les appareils électroniques en supprimant des liaisons filaires. Elle peut remplacer par exemple les câbles entre ordinateurs, tablettes, haut-parleurs, téléphones mobiles entre eux ou avec des imprimantes, scanners, claviers, souris, manettes de jeu vidéo, téléphones portables, assistants personnels, systèmes avec mains libres pour microphones ou écouteurs, autoradios, appareils photo numériques, lecteurs de code-barres et bornes publicitaires interactives.

le NFC (« Near Field Communication ») est une des technologies de communication sans contact permettant l'échange d'informations à très courte distance (quelques centimètres maximum) entre un terminal mobile (après validation de l'utilisateur) et un récepteur. Avec certains modèles de téléphones mobiles, elle sert d'ores et déjà pour le paiement, la validation des titres de transport, et pourrait à terme remplacer les cartes bancaires.

le RFID (« Radio Frequency Identification ») est aussi une technologie sans contact par radiofréquences. Elle permet une détection automatique avec des distances de lecture supérieures à celles de la NFC.

le Wifi est également utilisé pour relier son mobile à une « box » internet.

LoRa est une technologie réseau longue portée permettant la communication à bas débit d'objets connectés. A l'instar de la 3G/4G, le protocole LoRa permet la transmission aussi bien en extérieur qu'en intérieur sur des distances plus longues. Le grand avantage de LoRa, par rapport à un réseau cellulaire conventionnel, est l'autonomie des récepteurs ainsi que le coût d'utilisation. Le réseau LoRa est conçu de manière à réduire au maximum la consommation d'énergie. Un objet connecté peut ainsi atteindre une autonomie de plusieurs années avec une simple batterie (compteurs d'eau, d'électricité, etc). Autres avantages, la portée d'une passerelle (~10km en zone rurale et 1km en ville), ainsi que le faible coût de mise en service.

le LTE-M facilite les échanges de données enrichies (data, voix, SMS) avec les objets qu'ils soient en déplacement, dans des bâtiments ou des lieux enterrés. Cette technologie convient au suivi logistique, à la télésurveillance et téléassistance médicale, ou encore à la gestion de flotte de véhicules.

A terme, le réseau mobile d'Orange fonctionnera uniquement en 4G et 5G, qui sont les plus à même de satisfaire les besoins actuels et futurs des utilisateurs.



Structure des canaux radio

Un système radio mobile a besoin d'une partie du spectre radio pour fonctionner. Les concepteurs du système doivent demander une bande de fréquence auprès de l'instance officielle chargée de la gestion du spectre.

En France : la répartition en 2020

Technologie	4G	4G	2G et 3G	2G et 4G	3G	4G	TOTAL
Fréquences	700 MHz	800 MHz	900 MHz	1 800 MHz	2 100 MHz	2 600 MHz	
bouygues	5	10	10	20	15	15	75
free	10	0	5	15	5	20	55
orange	10	10	10	20	20	20	90
SFR	5	10	10	20	20	15	80
Largeur de fréquence disponible	30	30	35	75	60	70	300

Les largeurs des bandes de fréquences basses sont plus réduites, deux fois plus petites que les bandes de fréquences hautes.

On s'aperçoit également que Orange possède le patrimoine fréquentiel le plus important avec 90 MHz de largeur de bande au total, suivi de SFR avec 80 MHz, Bouygues Telecom avec 75 MHz et Free avec 55 MHz.

Dans les zones à forte densité, les opérateurs privilégient des petites cellules et donc un nombre plus important d'antennes pour apporter un débit plus important par personne et donc une meilleure qualité de service. Une antenne est limitée par un certain nombre de connexions simultanées, même si l'opérateur peut augmenter sa capacité.

Ainsi la cellule pour une même fréquence ne sera pas la même en fonction de l'endroit où elle est déployée. Pour la fréquence 4G 800 MHz par exemple, en zone urbaine, elle peut porter seulement 950 mètres quand en campagne, elle peut couvrir une zone jusqu'à 30 km.

En 2 600 MHz, la fréquence la plus haute utilisée actuellement de façon commerciale, en zone urbaine, elle couvre une surface de 290 mètres. Alors qu'à la campagne, on peut espérer la capter jusqu'à 8,85 km.

Contrairement à une idée reçue, le passage d'une génération à une autre ne s'accélère pas. Il est plutôt d'une durée constante.

Il y a plusieurs raisons à ce phénomène : d'une part la complexité des systèmes augmente exponentiellement d'une génération à une autre et d'autre part chaque génération nécessite l'installation d'antennes relais spécifiques.

Cette opération, appelée « déploiement », prend du temps, de une à plusieurs années.

Il faut enfin qu'une génération soit utilisée un certain temps, quelques années au moins, pour que le déploiement soit rentabilisé.

Chaque génération finance ainsi la suivante, les revenus de la 2G/3G ayant par exemple financés la 4G ... Oui la technologie peut aller très vite mais la rentabilité est le nerf de la guerre des télécommunications.

La Technologie sonore pour les conversations téléphoniques.

a. Les microphones à charbon et les haut-parleurs

Historiquement, les micros utilisés dans les téléphones sont des micros à charbon. La technologie consiste en une capsule de granules de charbon tenues entre 2 électrodes métalliques, les granules de charbon jouent le rôle d'une résistance électrique. Quand ces granules de charbon sont soumis à l'onde sonore émise par la voix, leur géométrie change et la résistance électrique aussi, ce qui permet de réaliser une transduction d'une énergie sonore à une énergie électrique. Leur réponse en fréquence est relativement médiocre puisqu'elle est comprise entre 200 Hz à 3500 Hz. Ce type de micro était beaucoup utilisé jusque dans les années 50 à la radio ou dans les films. Les voix des films des années 30 à 60 ressemblent d'ailleurs aux voix filtrées que l'on entend dans nos téléphones. Quand il y a des séquences de téléphone dans les films anciens, la différence entre le timbre des voix filtrées et des voix normales est moins flagrant que dans les films actuels.

Les haut-parleurs embarqués sur les téléphones fixes sont calqués sur la qualité médiocre des microphones avec une bande passante guère plus large (en général 200 Hz - 5 kHz). Tout comme les microphones, ils ont un taux de distorsion important malgré leur petite puissance. Tout cela fait du téléphone, un système audio de bien mauvaise qualité. Mais le but n'est pas là...

L'important est de transmettre le message porté par la voix. Avec la bande passante de 300 Hz à 3400 Hz des micros à charbon, même si certains détails fins disparaissent en chemin, la voix avec son flot de messages et d'émotions nous parvient sans problème.

Malgré l'évolution des microphones (dynamiques, piezzo) et haut-parleurs de téléphones, le passage au numérique, la médiocrité des communications téléphoniques demeure : la qualité sonore des voix téléphoniques n'est pas si éloignée des années 1960.

Ceci est dû à la norme G.711 qui a été adoptée lors du passage à la téléphonie numérique.

b. La compression G.711

La norme G.711 régit le codage des signaux audio du téléphone nécessaires à leur transit sur un réseau de téléphonie numérique.

Elle définit les différentes méthodes de codage des signaux audio appliqués à la voix humaine. Il s'agit de transcoder la voix pour réduire à la fois la dynamique sonore et le débit.

Les micros utilisés pour les téléphones numériques sont de meilleure qualité que les vieux micros à charbon, mais l'exigence de réduction de débit oblige à une réduction de la bande passante. Dans un premier temps la voix est numérisée en PCM comme nous venons de l'expliquer. Ensuite le codage G.771 réduit les 13 ou 14 bits en 8bits. La fréquence d'échantillonnage étant de 8 kHz, la bande passante est limitée à 4 kHz selon le principe de la fréquence de Nyquist.

Chaque échantillon est codé sur 8 bits pour un débit total de 64 kbit/s. Les codages de la norme G.771 reposent sur un principe de quantification non uniforme. Pour les échantillons de bas niveaux et de hauts niveaux, une « petite » variation ne sera pas perçue par le système quand une même « petite » variation pour des échantillons de niveaux moyens sera retranscrite par un changement d'intervalle de codage. Cela revient à accorder plus de précision aux signaux qui correspondent à un niveau de voix normal, au détriment d'une mauvaise précision pour les chuchotements et les cris. Ce système très ingénieux permet de combiner en simultanée deux fonctions qui sont souvent confondus par le grand public ; la compression de dynamique et la compression de données.

Le traitement de dynamique qui est réalisé par ce codage est plus précisément l'action cumulée d'un expander qui a le rôle d'amortir encore plus les bas niveaux et celui d'un compresseur qui est de limiter les hauts niveaux. L'amortissement des bas niveaux permis par l'expander conduit à réduire le bruit de fond, bruit de fond acoustique provenant l'environnement extérieur ou bruit de fond introduit par l'électronique du téléphone. Une directive de l'OMS21 relative aux bruits dans l'environnement indique que le rapport signal/bruit doit être d'au moins 15 dB pour toutes les situations où la voix doit être absolument intelligible (salle de classe ou conversation téléphonique par exemple)

Au sein de la norme G.771, il y a deux lois de codage : La loi Mu qui est utilisée en Amérique du Nord et au Japon et la loi A qui est appliquée en Europe et dans le reste du monde. Ces deux lois se distinguent par leur adaptation à différents protocoles. Leurs courbes de compression sont légèrement différentes mais l'influence sur le son n'est pas significative.

Les systèmes de téléphonie sur smartphone utilisent maintenant le réseau internet pour transiter la voix et non les réseaux cellulaires (pas d'antennes relais). C'est comme si deux ordinateurs étaient reliés entre eux par internet et qu'ils échangeaient un flux sonore plutôt que des e-mails. Ils utilisent le protocole [VOIP](#) (Voice Over Internet Protocol) en associant des adresses IP aux téléphones. Cette technologie à l'avantage de permettre des débits beaucoup plus grand qu'en téléphonie cellulaire. Cela a permis la création de la norme G.722 qui propose une bande passante « haute définition » pour la voix : 50 - 7000 Hz au lieu de 300 - 3400 Hz avec la norme G.771.

Les numéros des opérateurs de téléphonie mobile sont, en France, de la forme 06 ABPQ MCDU ou 07 ABPQ MCDU.

Un numéro de téléphone mobile est composé de 10 chiffres dont :

- Les préfixes 06 et 07 indiquent qu'il s'agit d'un numéro mobile,
- Les 4 chiffres ABPQ sont attribuables sous forme de blocs pour les opérateurs (par exemple 1 ou 52 45).

En fonction du bloc attribué, les chiffres suivants permettent de créer les numéros de téléphonie mobile (chacun identifiant un abonné).

Ces préfixes sont attribués par l'autorité chargée de réguler les télécommunications en France, l'Arcep.

Les blocs (ou préfixes) sont attribués pour une période donnée (en général 20 ans) et peuvent changer de propriétaire. Ces attributions peuvent être prorogées ou transférées vers un autre opérateur.

Tous les préfixes ne sont pas attribués. Mais, ceux qui ne le sont pas ne sont pas pour autant attribuables, car certains sont réservés à des usages particuliers, tel que le réacheminement, ou ne sont pas encore ouverts.

Avec la portabilité des numéros (ayant beaucoup augmenté depuis 2012), l'opérateur d'un abonné peut être différent de celui associé au préfixe du numéro.

L'opérateur associé à un numéro dépend donc de la date d'attribution du bloc et n'est correcte que pour l'opérateur qui a attribué le numéro en premier.

Les numéros de téléphone français en 07 sont utilisés depuis le 3 mai 2010 pour répondre à la pénurie de numéros en 06.

L'ARCEP a annoncé le 26 janvier 2009 qu'il restait moins de 10 % des 100 millions de combinaisons que proposent les numéros en 06. Le nombre de clients à la téléphonie mobile et le développement de technologie de télécommunication utilisant la carte SIM (comme les objets communicants) sont tels que le régulateur a décidé d'ouvrir progressivement la tranche des 07.

Le 25 avril 2012, l'ARCEP propose dans une consultation publique d'allouer la tranche des 07 00 aux objets communicants. Ces numéros comporteront 14 chiffres en métropole et 13 chiffres dans les départements et territoires d'outre-mer.

Ces listes référencent, à la date du 9 juillet 2022, les préfixes des numéros de téléphones mobiles attribués par l'Arcep en France (métropolitaine et d'outre-mer), aux opérateurs de téléphonie mobile ainsi qu'à certains opérateurs virtuels, dits full-MVNO et MVNE. Les autres MVNO utilisent les préfixes des opérateurs mobiles ou des MVNE avec lesquels ils ont passé un accord (les numéros attribués aux opérateurs de boîtiers radio ne sont pas référencés). Les opérateurs virtuels (MVNO) peuvent selon le cas avoir leurs propres préfixes réservés, utiliser les préfixes de l'opérateur hôte, voire utiliser ces deux possibilités.

En 2022 Dans le monde, il y a 7,91 milliards d'habitants dont 5,31 milliards étaient équipés d'un téléphone mobile. En France il y a 67 millions de clients 4G dont 4.1 millions en 5G, pour 67 millions d'habitants. le nombre de cartes SIM en service en France (hors cartes MtoM) atteint 82,6 millions. En France, les utilisateurs possédaient 36 millions de smartphones en 2020. En France, plus de 99 % de la population âgée de 15 ans ou plus est équipée d'un téléphone, fixe ou mobile. L'équipement mobile est la norme : 95 % de la population possède un téléphone mobile et 77 % détient plus particulièrement un smartphone. Le smartphone est incontournable pour les jeunes, 94 % des 15-29 ans en sont équipés, alors qu'il tarde à s'imposer parmi les plus âgés (36 % des 75 ans ou plus en possèdent un). Le taux d'équipement augmente avec le niveau de diplôme et dans une moindre mesure avec le niveau de vie et la taille de l'unité urbaine de résidence. Pour accéder à Internet, l'appareil le plus utilisé n'est plus l'ordinateur mais bien le smartphone, devenu indispensable au quotidien de nombreux Français. La France a une télédensité mobile, c'est-à-dire un nombre de forfaits par rapport au nombre d'habitants, supérieure à 100 %, comme dans de nombreux pays et territoires. Le mobile début 2023 : 10 chiffres clés : - 5,44 milliards de personnes possèdent un smartphone (soit 68 % de la population mondiale), - Nous comptons 168 millions de nouveaux mobinautes en 2022 (+3,2 %), - 71,9 % du trafic mobile est effectué via Android, contre 27,48 % via Apple, - En moyenne, la population mondiale consomme 15 GB de données mobiles chaque mois, - Nous passons en moyenne 5 h 01 par jour sur notre smartphone (+2,4 % en un an), - La majorité du temps passé sur mobile est consacré à l'usage des plateformes sociales (42,4 % du temps), - En 2022, 255 milliards d'applications ont été téléchargées (+11 %), - 167,1 milliards de dollars ont été dépensés sur les applications et en achats in-app en 2022, - En moyenne, les mobinautes ont dépensé 25,32 dollars pour des applications en 2022, - L'application la plus téléchargée au monde en 2022 est Instagram. Disposer d'un téléphone ne signifie pas que l'on soit toujours disponible pour répondre : six personnes sur dix filtrent ou refusent les appels sur leurs appareils fixes et mobiles. Cette pratique est plus répandue parmi les personnes n'ayant pas le baccalauréat ; à l'inverse, les personnes de 75 ans ou plus et celles résidant en outre-mer prennent plus souvent les appels. 2018 La fin du fixe a sonné pour 9,5 millions d'abonnés encore en fixe, avec l'arrivée de la fibre et l'arrêt du réseau cuivre du téléphone fixe. Après 2030 si ce déploiement se passe comme prévu, la téléphonie mobile la VOiP sera l'unique moyen de communiquer entre personnes. Mais sait-on si l'avenir nous réserve d'autres révolutions, de nouvelles façons d'échanger et communiquer ?
--

Les Antennes



Antenne relais



Le réseau d'antennes-relais leur permet de se déplacer sans perdre le fil de la conversation et d'être joignable n'importe où.

Dans les réseaux mobiles, les antennes sont des émetteurs / récepteurs d'ondes radio qui acheminent le trafic sur un territoire donné. Tout comme la télévision et la radio fonctionnent grâce à des émetteurs, les téléphones mobiles ne pourraient pas fonctionner sans elles. Leur déploiement poursuit un double objectif : assurer la plus vaste couverture géographique possible ; et maintenir une densité suffisante de relais pour traiter tout le trafic en un point donné.

Compte-tenu de la façon dont se propagent les ondes radio, les antennes sont généralement installées en hauteur, par exemple sur le toit des immeubles ou au sommet de pylônes. Leur faisceau se déploie comme celui d'un phare éclairant la mer, n'atteignant le sol qu'à une distance de 50 à 200 mètres de l'antenne selon la hauteur de celle-ci. Et plus on s'éloigne, plus le faisceau diminue en intensité.

Les différents types d'antennes

Aux multiples points des territoires, les opérateurs installent différents types d'antenne-relais, avec des puissances s'échelonnant de quelques milliwatts à plusieurs dizaines de watts.

- Les antennes-panneaux sont généralement utilisées dans les grandes cellules. Elles permettent de véhiculer un grand nombre de communications simultanées, mais n'émettent que dans un secteur de 120°. C'est la raison pour laquelle un même mât ou un toit terrasse d'immeuble porte trois antennes afin de pouvoir relayer les communications à 360°.
- Les antennes omnidirectionnelles sont plutôt destinées aux petites cellules, et installées sur des façades d'immeubles ou du mobilier urbain dans les zones denses connaissant un important trafic mobile (gares, aéroports, centres commerciaux...). Comme leur nom l'indique, elles émettent dans toutes les directions.
- Les antennes massive MIMO – Multi-Input Multi-Output permettent l'accès à de larges bandes de fréquence pour de très hauts débits de connexion. Leur technologie « agile » sera dotée de la capacité à orienter leurs faisceaux vers une multitude de terminaux en mobilité grâce à leur architecture multifocale. Elles présenteront de ce fait l'avantage de mieux diriger le signal vers l'utilisateur, en l'orientant au gré de sa mobilité, comme un acteur sous un projecteur bénéficiant d'un signal lumineux plus net.

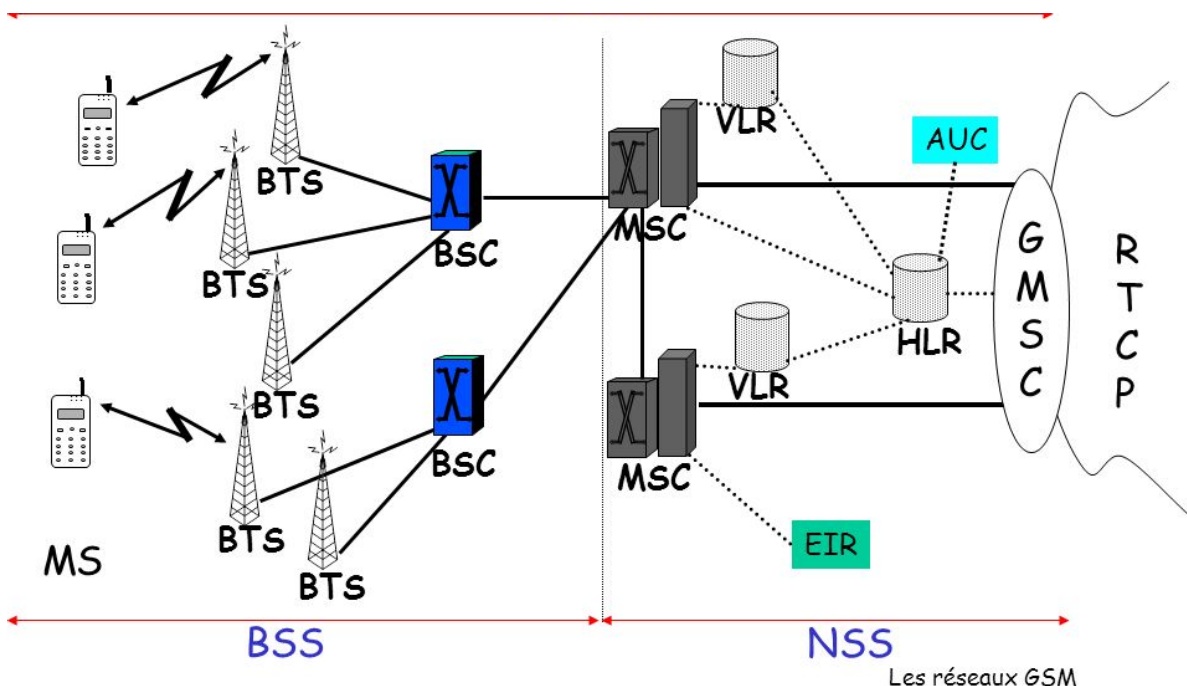
Elles permettent notamment :

- de limiter la consommation électrique
- d'accueillir un plus grand nombre d'utilisateurs, et d'augmenter les débits
- d'améliorer sensiblement la qualité du signal vers l'utilisateur tout en réduisant les émissions superflues autour

Enfin, de petites antennes intérieures avec une puissance de quelques dizaines de milliwatts et une portée de quelques mètres peuvent être installées sur les murs et les plafonds, pour servir de relais mobiles ou de point d'accès wifi à l'intérieur ou autour de bâtiments (hôtels, bureaux, gares...) et les mobiliers urbains (abribus, panneaux publicitaires).

PRINCIPES DU FONCTIONNEMENT du réseau GSM (extraits de cours sur le mobile)

Rentrons dans un peu plus dans cette architecture technique, et pour beaucoup plus de détails [suivre ce lien](#).



Le schéma ci dessus présente l'architecture générale d'un réseau GSM

Un système de radiotéléphonie a pour objectif premier de permettre l'accès au réseau téléphonique à partir d'un terminal portatif sur un territoire étendu (un pays, voire un continent). Ce service utilise une liaison radioélectrique entre le terminal et le réseau.

La norme GSM spécifie ainsi complètement l'architecture du réseau mobile PLMN Public Land Mobile Network, avec une distinction claire entre 3 sous systèmes :

A - Le sous-système radio BSS

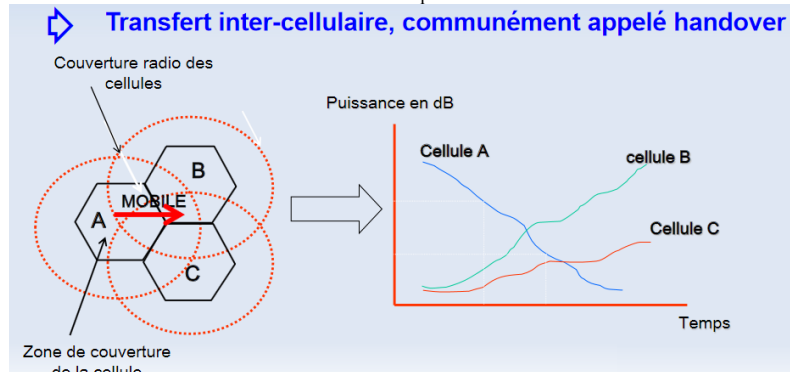
B - Le sous-système réseau NSS

C - Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS

A - L'interface radio élaborée le BSS

L'interface radio, qui représente le maillon fragile de la chaîne de transmission reliant un utilisateur mobile au réseau, a été particulièrement étudiée. Tout au long de la c des traitements permettent l'établissement et le maintien d'un lien en environnement perturbé. En effet, dans un système radiomobile, le lien entre le terminal et le réseau fluctuant du fait de l'instabilité du canal radio et du déplacement du terminal.

Une architecture spécifique est définie sur l'interface radio pour permettre à chaque station mobile de surveiller très périodiquement son environnement. De plus, des procédures liées à l'état "en veille" des mobiles et au "handover" permettent d'assurer une continuité de service analogue à celle du réseau fixe.



Ce réseau est constitué des stations de base BTS qui assurent le lien radioélectrique avec les abonnés mobiles MS. Les BTS sont gérées par un contrôleur de stations de base BSC qui assure également la fonction de concentration du trafic. En outre, le BSC est connecté à un transcodeur TCU qui permet de diminuer le nombre de liens MIC nécessaires entre le BSS et le NSS.



4 baies BSC Motorola

Le sous-système radio

1 - Le mobile appelé aussi station mobile ou MS (mobile station) ou tout équipement terminal capable de communiquer sur le réseau.

Il est composé d'un émetteur / récepteur et d'une logique de commande. Il peut être :

- Un équipement installé à demeure sur un véhicule,
- Un portatif, c'est-à-dire un équipement de quelques centaines de grammes et de faible puissance (de l'ordre du Watt) aisément transportable.

Le téléphone et la carte SIM (Subscriber Identity Module) sont les deux seuls éléments auxquels un utilisateur a directement accès.

Ces deux éléments suffisent à réaliser l'ensemble des fonctionnalités nécessaires à la transmission et à la gestion des déplacements.

La principale fonction de la carte SIM est de contenir et de gérer une série d'informations. Elle se comporte donc comme une mini-base de données.

Paramètres	Commentaires
<i>Données administratives</i>	
PIN/PIN2	Mot de passe demandé à chaque connexion
PUK/PUK2	Code pour débloquer une carte
Language	Langue choisie par l'utilisateur
<i>Données liées à la sécurité</i>	
Clé K_i	Valeur unique, connue de la seule carte SIM et du HLR
CKSN	Séquence de chiffrement
<i>Données relatives à l'utilisateur</i>	
TMSI	Numéro international de l'abonné
MSISDN	Numéro d'appel d'un téléphone GSM
<i>Données de "roaming"</i>	
TMSI	Numéro attribué temporairement par le réseau à un abonné
Location updating status	Indique si une mise à jour de la localisation est nécessaire
<i>Données relatives au réseau</i>	
Mobile Country Code (MCC), Mobile Network Code (MNC), etc	Identifiants du réseau mobile de l'abonné
Numéros de fréquence absolus	Fréquences utilisées par le PLMN

- Elle contient donc l'International Mobile Subscriber Identity (IMSI), qui sert à identifier l'abonné dans n'importe lequel des systèmes GSM, et les procédures de cryptographie qui sauvegardent le secret de l'information de l'utilisateur ainsi que d'autres données telles que, par exemple, la mémoire alphanumérique du téléphone et la mémoire relative aux messages de texte (SMS) et enfin les mots de passe qui empêchent l'utilisation interdite de la carte et l'accès à d'autres fonctions supplémentaires.

L'IMSI présente la structure suivante: MCC / MNC / MSIN Où:

- MCC = Mobile Country Code (2 ou 3 chiffres, pour la France 33)
- MNC = Mobile Network Code (2 chiffres, en France 06)
- MSIN = Mobile Station Identification Number (maximum 10 chiffres)

Le Mobile Equipment est identifié (exclusivement) à l'intérieur de n'importe quel réseau GSM par l'International Mobile Equipment Identity (IMEI).

L'IMEI est un numéro à 15 chiffres qui présente la structure suivante: IMEI = TAC / FAC / SNR / sp Où:

- TAC = Type Approval Code, déterminé par le corps central du GSM (6 chiffres)
- FAC = Final Assembly Code, identifie le constructeur (2 chiffres)
- SNR = Serial Number (6 chiffres)
- sp = Chiffre supplémentaire de réserve (1 chiffre)

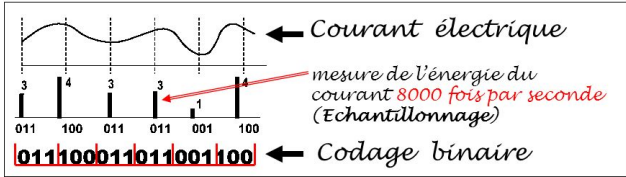
- CKSN la clé de chiffrement KC ,

et aussi

- K la clé d'authentification Ki,
- Les algorithmes de chiffrement (A8, qui génère Kc, et A5) et d'authentification A3.

La norme définit plusieurs classes de terminaux suivant leur puissance maximale d'émission. Cette puissance conditionne bien sûr leur portée. La majorité des terminaux sont des portatifs d'une puissance de 2 W pour GSM 900, de 1 W pour DCS 1800.

C'est dans la MS (ou le mobile) qu'est effectuée le transcodage de la parole et la numérisation de la parole.



Ce procédé de numérisation de la parole est utilisé depuis les années 1970 dans le cœur du réseau téléphonique fixe avec un débit de 64 000 b/s par communication téléphonique.

La puissance de la MS détermine la capacité de cette dernière de s'éloigner des stations émetteurs/récepteurs (BTS) du réseau tout en continuant d'utiliser le service. Une particularité de la MS consiste en la capacité de changer la puissance d'émission du signal sur le canal radio de façon dynamique sur 18 niveaux et ceci pour pouvoir conserver à tout instant la puissance de transmission optimale, en réduisant ainsi les interférences entre canaux, qui interviennent sur les cellules adjacentes, et les dépenses du terminal. Ces deux derniers aspects sont potentialisés par le Discontinuous Transmit (DTX) qui bloque la transmission lorsque l'utilisateur n'est pas en conversation grâce à la fonction Voice Activity Detection (VAD), qui vérifie la présence ou l'absence d'activité vocale. L'augmentation ou la diminution de la puissance du signal est transmise à la MS par la BSS qui fait de façon constante le monitoring de la qualité de la communication.

Un abonné à un réseau GSM donné peut accéder à des réseaux d'autres pays sous réserve d'accord entre les opérateurs de ces pays (et de souscription de l'abonnement International), sans avoir à faire de démarche administrative et tout en recevant la facture de son opérateur d'origine. Cette possibilité est appelée **roaming**, ou itinérance internationale.

2 - Le sous système radio BTS

Chaque BTS émet en permanence des informations sur son canal BCH (Broadcast Channel) appelé aussi voie balise.

A la mise en route du mobile, il garde aussi en mémoire les fréquences des 7 BCH de puissance inférieure.

A la mise en veille, toutes les 15 secondes si le signal reçu est fort et toutes les secondes s'il est faible, le récepteur écoute les balises des cellules voisines pour détecter un éventuel changement de cellule (handover).

En communication, parallèlement à cette activité principale, il écoute périodiquement les voies balises de la cellule et des cellules voisines pour détecter une variation de niveau lui indiquant un changement de cellule (handover).

Pour que le service soit disponible, il faut que la liaison radio entre le terminal et le réseau soit de qualité suffisante, ce qui peut nécessiter une puissance importante des émetteurs. Afin de limiter cette puissance, l'opérateur du réseau radio mobile place un ensemble de stations de base (BS, Base Station) sur le territoire à couvrir pour que le terminal soit toujours à moins de quelques kilomètres de l'une d'entre elles. Ces BS sont, pour les usagers, les points d'accès au réseau radio mobile.

La liaison entre le mobile et la BS est effectuée sur un canal radio, c'est-à-dire sur une bande de fréquences du spectre alloué à l'opérateur.

La surface sur laquelle un terminal peut établir une liaison avec une station de base déterminée est appelée une **cellule**.

L'opérateur cherche donc à réaliser une couverture du territoire par un **ensemble de cellules contiguës**. (il est nécessaire que les zones de couverture se recouvrent de 10 à 15%).

Pour économiser le spectre hertzien, il réutilise les mêmes fréquences sur des cellules suffisamment éloignées les unes des autres pour que les communications qui utilisent la même fréquence ne se brouillent pas. Selon la quantité de trafic à écouler dans la cellule, l'opérateur dispose plus ou moins de canaux radios sur la station de base,

Pour éviter les interférences à plus grande distance entre cellules utilisant les mêmes fréquences, il est également possible d'asservir la puissance d'émission de la station de base en fonction de la distance qui la sépare de l'utilisateur. Le même processus du contrôle de la puissance d'émission est également appliqué en sens inverse. En effet, pour diminuer la consommation d'énergie des mobiles et ainsi augmenter leur autonomie, leur puissance d'émission est calculée en fonction de leur distance à la station de base. Grâce à des mesures permanentes entre un téléphone mobile et une station de base, les puissances d'émission sont régulées en permanence pour garantir une qualité adéquate pour une puissance minimale.

BTS, la station de base



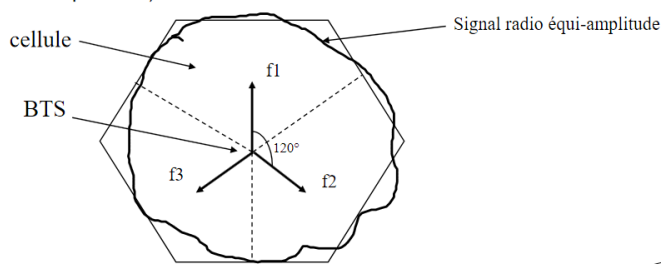
3 secteurs = minimum 3 antennes et

3 TRX (ensemble émetteurs récepteurs à 1 fréquence porteuse)

= minimum 1 TRX / secteur (secteur = cellule)

Les émetteurs sont généralement constitués de 3 antennes réparties à 120°. La répartition du signal radio équi-amplitude forme en première approximation un hexagone.

(un émetteur muni d'une seule antenne omni-directionnelle a un diagramme sensiblement équivalent).



Description du canal physique

Spectre limité

Le spectre radio utilisable pour les radiocommunications, et par conséquent la capacité disponible pour l'accès radio, est généralement limitée par la réglementation. En effet, contrairement aux communications filaires ou une population et une demande en capacité de plus en plus importantes peuvent être facilement desservies par le déploiement de câbles supplémentaires pour connecter les abonnés au réseau, la largeur du spectre radio ne peut être étendue arbitrairement.

La technique cellulaire résout partiellement ce problème en partageant la zone à couvrir en cellules radio, chacune équipée par une station de base et en réutilisant le spectre radio aussi souvent que possible. La réutilisation du spectre est principalement limitée par les niveaux des interférences co-canaux et adjacentes.

De plus, les constructeurs ont eu recours à :

- Une modulation spectralement efficace, c'est-à-dire transportant plus d'informations dans une bande de fréquences moins large (hausse du nombre de bits/Hz)
- Un codage de compression de source (parole, données) permettant d'éliminer la redondance d'informations, de manière à réduire le nombre de bits à transmettre dans le temps imparti, et donc de réduire le débit de transmission nécessaire et par là même la largeur de bande nécessaire.

L'objectif des concepteurs et des opérateurs de réseaux mobiles consiste donc à transmettre le maximum d'informations dans des canaux de largeur de bande fixe.

Qualité fluctuante des liens radios

Alors que dans un réseau filaire les liens de transmission possèdent en fonctionnement normal une qualité élevée et constante, le lien radio est sujet à de multiples variations dues à la mobilité des usagers et aux changements des caractéristiques de l'environnement : obstacles et réflecteurs en mouvement, interférences et brouilleurs de toutes sortes,....

Ces problèmes se manifestent par un niveau de BER (Bit Error Rate, taux d'erreur binaire) sur le lien radio qui fluctue dans des marges importantes.

Point d'accès inconnu et variable dans le temps

Contrairement à une connexion filaire où les usagers communiquent via des points d'accès réseau fixes, l'accès à un réseau radio mobile permet à l'utilisateur de changer de point d'accès réseau entre deux connexions et même au cours d'une connexion. Cela suppose donc une gestion de la mobilité à deux niveaux différents :

- Du point de vue réseau pour permettre au système de retrouver un abonné ou qu'il se situe sous la couverture du réseau : gestion de la localisation {paging} ;
- Du point de vue radio pour permettre à une communication de se poursuivre sans interruption lorsque l'abonné se déplace en cours d'appel et change de point d'accès réseau (handover).

Sécurité

Un dernier aspect lié à l'utilisation du canal radio mobile est sa caractéristique de médium diffusant. Par conséquent, les communications peuvent être écoutées et le canal peut être utilisé par tout le monde (émetteurs pirates). Il est donc nécessaire de réaliser des fonctions de sécurité permettant la confidentialité des communications et l'authentification des terminaux souhaitant accéder au système.

Multiplexage fréquentiel

Dans sa version à 900 [MHz], la norme GSM occupe deux bandes de 25 [MHz] ; l'une est utilisée pour la voie montante (890, 2 - 915 [MHz]), l'autre pour la voie descendante (935, 2 - 960 [MHz]). Il est également défini que chaque porteuse de cellule possède une densité spectrale confinée dans une bande de 200 [kHz] ce qui signifie que, théoriquement, on peut disposer de 124 canaux. Notons au passage que la bande de fréquences du DCS-1800 étant plus large, elle peut contenir 374 canaux.

Aussi, si on indique par F_u les fréquences porteuses montantes et par F_d les fréquences porteuses descendantes, les valeurs de fréquence porteuse valent

$$F_u(n) = 890,2 + 0,2 \times (n - 1) \text{ [MHz]} \quad (2)$$

$$F_d(n) = 935,2 + 0,2 \times (n - 1) \text{ [MHz]} \quad (3)$$

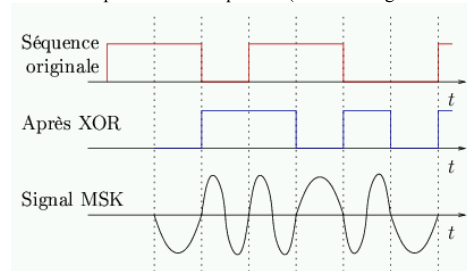
où $1 \leq n \leq 124$. Connaissant les canaux disponibles, il est alors possible d'effectuer un multiplexage fréquentiel en attribuant un certain ensemble de fréquences porteuses par opérateur GSM - c'est le rôle du régulateur, l'IBPT6 en Belgique - et l'opérateur choisit son plan de fréquences en allouant une ou plusieurs fréquences par station de base.

Proximus utilise les canaux 1 à 30 et 61 à 90, Mobistar s'est vu attribuer les canaux 31 à 60 et 91 à 120 ; quant aux canaux restants (121 à 124), ils ont été réservés pour les téléphones sans fil. Base (nommé Orange auparavant) n'opère pas dans la bande des 900 [MHz].

Par contre, la bande DCS-1800 est utilisée par les 3 opérateurs (Base, Mobistar et Proximus)

La modulation

En raison de la forte variabilité de l'amplitude des signaux dans un environnement mobile, on préfère recourir à une technique de modulation angulaire pour ce type d'environnement. La technique de modulation utilisée pour porter le signal à haute fréquence est la modulation GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Comme le suggère son nom, il s'agit d'une variante d'une modulation MSK appartenant à la famille des modulations de fréquence (FM) numériques. On utilise la GMSK car, en raison de la transition rapide entre 2 fréquences ($f_c - \Delta f$ et $f_c + \Delta f$), la modulation par MSK aurait nécessité une trop large bande de fréquences.



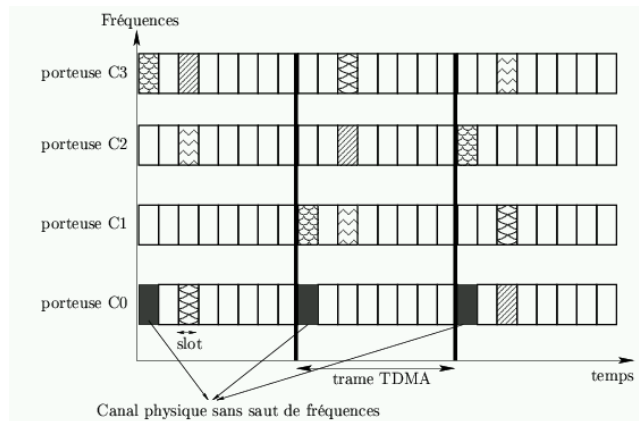
La modulation GMSK consiste en une modulation de fréquence à deux états portant non pas sur la séquence originale mais sur une nouvelle séquence dont le bit n est produit comme le résultat de la fonction du OU exclusif (XOR) entre le bit courant et le bit précédent. Après application du XOR, le signal est filtré. La figure 4 montre la création d'un signal modulé par GMSK.

Au bout du compte, il faut une largeur de 200 [kHz] par fréquence porteuse. Sachant que le débit atteint 270 [kb/s], on atteint un rapport du débit à largeur de bande, appelé efficacité spectrale, proche de 1. Cette valeur est typique pour des environnements mobiles, ce qui signifie que, pour doubler le débit, il n'y a d'autre solution que de doubler la largeur de bande.

Le saut de fréquences ou Frequency Hopping

Pour protéger les canaux d'une source radio parasite, la fréquence porteuse utilisée pour transmettre une salve de données fluctue au cours du temps. C'est le principe du saut de fréquence ou du Frequency Hopping (FH); il est illustré ci dessous.

Ainsi, si à un moment déterminé, une bande de fréquences est sujette à fortes perturbations, seule une petite quantité de données sera perturbée.



Principe du saut de fréquence

La norme GSM définit un parcours de fréquence cyclique ou pseudo-aléatoire, comprenant au plus 64 fréquences porteuses. Habituellement, un algorithme standardisé génère une suite pseudo-aléatoire de nombres si compris dans une liste de N fréquences disponibles pour les sauts.

La configuration des sauts se fait au moyen de paramètres tels que:

- le Cell Allocation (CA), la liste des numéros des fréquences utilisées dans une cellule,
- le Mobile Allocation (MA), la liste des numéros des fréquences disponibles pour les sauts,
- le Hopping Sequence Number (HSN), une valeur comprise entre 0 et 63, servant à initialiser le générateur pseudo-aléatoire, et
- le Mobile Allocation Index Offset (MAIO), une valeur comprise entre 0 et 63 qui indique quel décalage doit être utilisé. Cette valeur de décalage est convenue à l'initialisation de l'appel et elle diffère d'un mobile à l'autre.

L'opérateur choisit le nombre de fréquences à prendre pour chaque numéro de trame élémentaire (appelée slot).

Néanmoins, il doit tenir compte de la nécessité d'un mobile entrant dans le réseau de pouvoir communiquer. Pour cela, on fixe la fréquence porteuse de certains slots dans le sens de la station de base vers le mobile. Ce canal a pour fonction essentielle de permettre au mobile de se rattacher à la station de base la plus favorable. Il s'agit par exemple du slot 0 pour lequel on fixe une fréquence et on n'autorise le saut que sur 3 fréquences (pour les appels en cours sur le slot 0) au lieu de 4 pour les autres slots.

Signalons qu'il n'est pas possible de passer de la bande 900 [MHz] à la bande 1800 [MHz] pour effectuer le saut de fréquence.

Autrement dit, les ressources radio des bandes GSM et DCS-1800 ne sont jamais mélangées.

Décalage temporel des envois

Pour permettre le basculement d'un mobile du mode réception en mode émission, la norme GSM prévoit un décalage de 3 slots. Plus précisément, le mobile émet des informations 3 slots après réception des signaux envoyés par la station de base.

Malgré tout, les informations envoyées par les différents mobiles autour d'une même fréquence porteuse entre en collision au droit de la station de base si la distance entre les mobiles et l'antenne est fort différente d'un mobile à l'autre. Pour éviter des collisions, certains mobiles (les plus distants) doivent avancer le moment de l'envoi. La durée de l'avance temporelle de l'envoi est appelée Timing Advance (TA). Elle est fournie dynamiquement par la station de base.

Le codage

Pour protéger les informations des erreurs qui peuvent se produire lors des communications radio et ainsi réduire le taux d'erreur sur bit, trois techniques de codage sont appliquées:

- Un codage en bloc qui ajoute un bit de parité au bloc et qui permet la détection d'un nombre impair d'erreurs.
- Un codage récurrent (algorithme de VITERBI). L'information n'est plus sectionnée en parties indépendantes mais certains bits de redondance sont placés régulièrement dans le code.

On effectue également un entrelacement par blocs de 464 bits. Cet entrelacement consiste à répartir les blocs selon une méthode définie. Ainsi, si le canal perturbe une suite de bits consécutifs, l'altération sera diffusée sur un grand nombre de blocs plutôt que sur la totalité d'un bloc; les blocs affectés pourront alors être corrigés grâce aux bits redondants.

Le Device-to-Device

Dans les réseaux cellulaires, une communication **device-to-device** (D2D) est une communication directe entre deux utilisateurs mobiles sans l'utilisation d'une station de base ou d'un réseau de télécommunications.

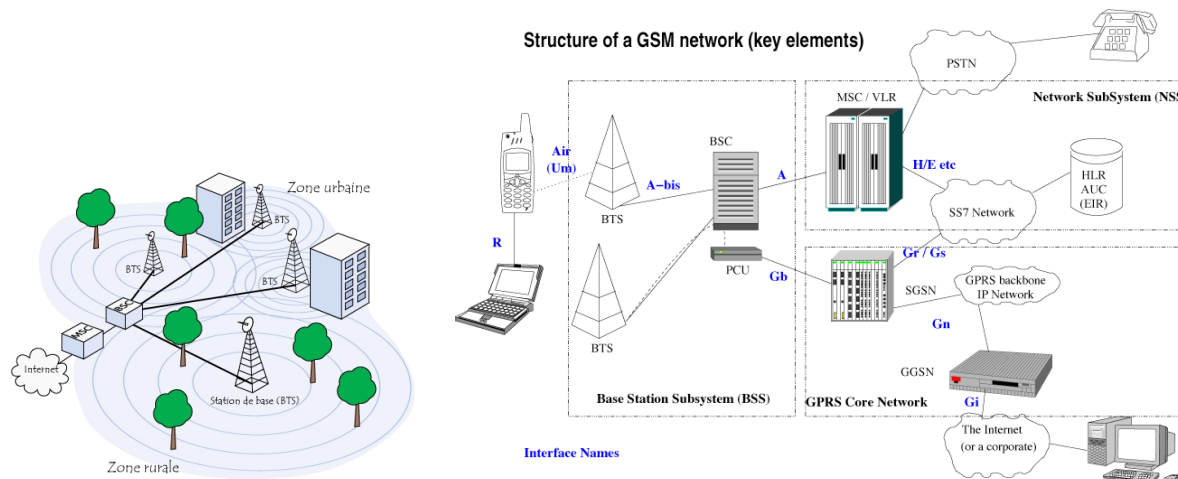
La communication D2D est généralement non transparente pour le réseau cellulaire. Elle peut se produire sur les fréquences cellulaires (c'est-à-dire dans la bande) ou sur le spectre sans licence (c'est-à-dire hors bande).

Dans un réseau cellulaire traditionnel, toutes les communications passent par la station de base même si les deux parties communicantes sont à portée de communication D2D. Cette architecture convient aux services classiques à faible débit de données tels que les appels vocaux et les messages textuels pour lesquels les utilisateurs ne sont généralement pas assez proches pour une communication D2D.

Cependant, les utilisateurs mobiles dans les réseaux cellulaires actuels utilisent des services à débit de données élevé (par exemple, le partage vidéo, les jeux, les réseaux sociaux basés sur la proximité) dans lesquels ils pourraient bénéficier d'une communication D2D.

Les communications D2D dans de tels scénarios pourraient augmenter considérablement l'efficacité spectrale du réseau.

Les avantages des communications D2D vont au-delà de l'efficacité spectrale; ils pourraient aussi, pour certains types de trafic, améliorer l'efficacité de la communication et l'efficacité énergétique tout en réduisant les latences.



La station de base : BTS

La BTS (Base Transceiver Station) est un ensemble d'émetteurs- récepteurs appelés TRX.

Dans une première approche, un TRX peut être vu comme un couple de fréquences (montante; descendante) sur lequel 8 communications bidirectionnelles simultanées peuvent être écoutées.

Le rôle de la BTS est d'assurer l'interface entre le réseau fixe et les stations mobiles.

La communication avec les mobiles se fait par l'interface radio aussi appelée interface Um.

Le transport des canaux de signalisation, de données et de parole s'effectue sur des *liaisons MIC à 2 Mbits/s* (32 IT à 64 kbits/s).

La BTS a la charge de la transmission radio : modulation, démodulation, égalisation, codage correcteur d'erreur.

Elle gère plus généralement la couche physique : multiplexage TDMA, saut de fréquence (lent) et chiffrement.

Elle s'occupe en outre de la couche liaison de données pour l'échange de signalisation ainsi que pour assurer la fiabilité du dialogue.

Elle réalise aussi l'ensemble des mesures nécessaires pour vérifier qu'une communication en cours se déroule correctement et transmet directement ces mesures au BSC, sans les interpréter.

La communication avec le réseau fixe, via le BSC, se fait par une interface filaire appelée interface Abis.

La signalisation

La signalisation au sein d'un réseau de télécommunication fait référence à l'ensemble des échanges d'informations entre les équipements du réseau, nécessaires pour fournir et maintenir le service.

Les informations de la signalisation sont acheminées sous forme de messages caractérisés par des paquets de données à débit élevé. Nous devons noter que la signalisation peut être transmise de deux manières :

- Signalisation en bande de base
- Signalisation hors - bande

La signalisation en bande de base est la méthode qui a été utilisée par le réseau téléphonique traditionnel. Les signaux permettant d'établir un appel entre deux commutateurs s'effectuaient toujours dans le même canal que le transport de la voix.

La signalisation prenait la forme d'une série d'impulsions multifréquences (MF), un peu comme la tonalité de composition du numéro entre les commutateurs. Dans le cas de la signalisation hors-bande la conversation et la signalisation ne prennent pas le même canal.

Ce type de signalisation nécessite l'établissement d'un canal numérique pour l'échange des informations de signalisation appelé lien de signalisation ou canal sémaphore.

Les canaux sémaphores de signalisation véhiculent les informations avec des débits de 56kps aux Etats Unis ou 64 kilobits par second (kb/s) pour les autres pays.

La signalisation hors-bande a plusieurs avantages qui la rendent préférable à la signalisation en bande de base :

- Elle permet le transport d'une quantité de données plus importantes
- Elle permet une signalisation à tout moment pendant toute la durée de l'appel, et pas seulement lors des phases d'établissement et de libération de l'appel ;
- Elle permet la signalisation entre des éléments de réseau entre lesquels il n'y a pas de canal direct de connexion.

Le réseau SS7 est composé d'une série d'éléments reliés à l'ensemble de réseau tels que des commutateurs, des bases de données, et des noeuds d'acheminement.

Les utilisateurs du réseau sémaphore sont les centraux téléphoniques qui génèrent et interprètent les messages de signalisation.

Dans ce contexte ils sont appelés Points Sémaphore (PS) ou Signalling Point (SP).

Les noeuds d'acheminement sont le coeur du réseau SS7 qui est l'ensemble des Points de Transfert Sémaphore (PTS).

Chaque PTS dans le réseau SS7 est identifié de façon non-ambiguë par le « numeric point code ».

Ces codes sont acheminés dans des messages de signalisation entre les différents points, afin d'identifier de manière formelle la source (CPO) et la destination (CPD) de chaque message. Une table de routage est utilisée dans ces noeuds pour sélectionner le meilleur chemin pour joindre la destination.

...

Interface A-Bis

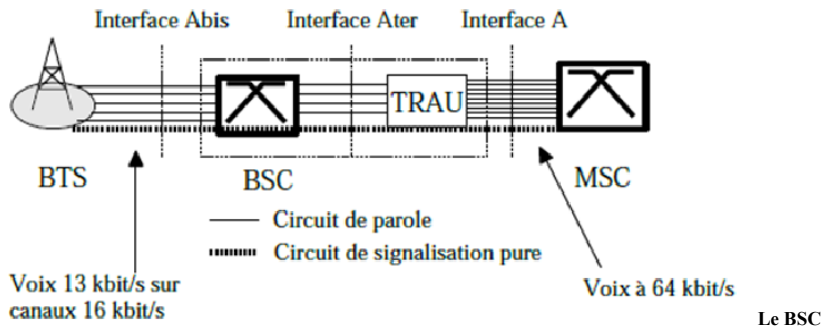
Le contrôleur de station de base gère une ou plusieurs stations de base et communique avec elles par le biais de l'interface A-bis.

Ce contrôleur remplit différentes fonctions tant au niveau communication qu'au niveau exploitation.

Pour les fonctions de communication, le BSC agit vis-à-vis du trafic abonné venant des stations de base comme un concentrateur puisqu'il véhicule les communications provenant des différentes stations de base. Dans l'autre sens, le contrôleur commute les données en les dirigeant vers la bonne station de base. Il remplit à la fois le rôle de relais pour les différents signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance.

Une autre fonctionnalité importante est la gestion des ressources radio pour la zone couverte par les différentes stations de base qui y sont connectées. En effet, le contrôleur gère les transferts inter-cellulaires des utilisateurs dans sa zone de couverture, c'est-à-dire quand une station mobile passe d'une cellule dans une autre. Il doit alors communiquer avec la station de base qui va prendre en charge l'abonné et lui communiquer les informations nécessaires tout en avertissant la base de données locale VLR (Visitor Location Register) de la nouvelle localisation de l'abonné.

C'est donc un maillon très important de la chaîne de communication et il est de plus le seul équipement de ce sous système à être directement gérable (via l'interface X.25 qui le relie au sous-système d'exploitation et de maintenance) .



Le contrôleur de station de base BSC

Le contrôleur de station de base gère une ou plusieurs stations de base et communique avec elles par le biais de l'interface A-bis.

Ce contrôleur remplit différentes fonctions tant au niveau de la communication qu'au niveau de l'exploitation.

Pour les fonctions des communications des signaux en provenance des stations de base, le BSC agit comme un **concentrateur** puisqu'il transfère les communications provenant des différentes stations de base vers une sortie unique.

Dans l'autre sens, le contrôleur commute les données en les dirigeant vers la bonne station de base.

Dans le même temps, le BSC remplit le rôle de relais pour les différents signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance.

Il alimente aussi la base de données des stations de base.

Enfin, une dernière fonctionnalité importante est la gestion des ressources radio pour la zone couverte par les différentes stations de base qui y sont connectées. En effet, le contrôleur gère les transferts inter-cellulaires des utilisateurs dans sa zone de couverture, c'est-à-dire quand une station mobile passe d'une cellule dans une autre. Il doit alors communiquer avec la station de base qui va prendre en charge l'abonné et lui communiquer les informations nécessaires tout en avertissant la base de données locale VLR (Visitor Location Register) de la nouvelle localisation de l'abonné.

C'est donc un maillon très important de la chaîne de communication et il est, de plus, le seul équipement de ce sous système à être directement gérable (via l'interface X25 qui le relie au sous-système d'exploitation et de maintenance).

Il existe deux types de BTS ; les macro BTS classiques et les micros BTS. Ces dernières sont prévues pour assurer la couverture de zones urbaines denses à l'aide de microcellules. Ce sont des équipements de faible taille, de moindre puissance, moins chers et pouvant être placés à l'extérieur des bâtiments.

Suivant le type d'environnement à couvrir (urbain dense, suburbain, rural), les BTS comportent un plus ou moins grand nombre de TRX. Plus la densité de trafic est importante (urbain dense), plus chaque BTS doit écouler un trafic important et donc plus elle nécessite des TRX.

Le minimum est bien sûr de 1 TRX, le maximum est déterminé par les constructeurs qui proposent des configurations adaptées au trafic ; il est donc en constante évolution.

Exemple 1998 : Nokia : les BTS peuvent gérer jusqu'à 6 TRX. NMC : les BTS peuvent gérer jusqu'à 8 TRX.

Si le mobile se trouve près d'une BTS, la norme prévoit que le mobile ou la BTS peuvent diminuer leur puissance d'émission. C'est le contrôle de puissance (power control). Les BTS sont connectées à leur contrôleur BSC :

- soit en étoile (1 MIC par BTS),
- soit en chaîne (1 MIC est partagé par plusieurs BTS),
- soit en boucle (liaison en chaîne fermée permettant la redondance : une liaison MIC coupée n'isole pas de BTS).

Cette dernière technique de connexion, dite de "drop and insert" permet de sécuriser la connexion des BTS au BSC et de réduire le nombre et la longueur des liaisons MIC nécessaires sur l'interface Abis.

Types de connexions BTS - BSC

Le contrôleur de station de base : BSC

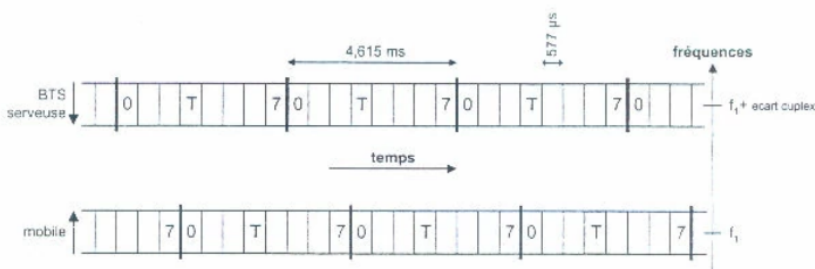
Le BSC (Base Station Controller) est l'organe intelligent du BSS. Il gère les ressources radio des BTS qui lui sont attachées. Il réalise pour cela les procédures nécessaires à l'établissement ou au rétablissement des appels et à la libération des ressources à la fin de chaque appel, ainsi que les fonctions propres aux communications (contrôle de puissance, décision d'exécution et gestion du handover).

Il assure en outre une fonction de concentration des liaisons MIC vers le MSC. Initialement, les constructeurs de BSC n'ont pas eu tous la même philosophie concernant la capacité de trafic de ces éléments :

des BSC de faible capacité,

- gérant un moins grand nombre de BTS « il faut donc davantage de BSC pour couvrir la même surface »
- minimisant ainsi les distances BTS-BSC « réduction du coût d'exploitation pour l'opérateur »
- particulièrement adaptés aux zones rurales faiblement peuplées

des BSC de forte capacité



- gérant un plus grand nombre de BTS
- augmentant donc les distances BTS-BSC moyennes

- particulièrement adaptés aux zones urbaines à forte densité de trafic

Exemple 1998 :

Nokia : les BSC peuvent gérer 256 TRX chacun, soit par exemple 64 BTS à 4 TRX.

NMC : les BSC peuvent gérer 160 TRX chacun, soit par exemple 40 BTS à 4 TRX. Fin 2000, chaque BSC pourra écouler jusqu'à 3000 Erlangs

Le transcodeur : TCU

Les abonnés transmettent des informations à des débits de 13 kbits/s (parole plein débit) qui sont ensuite adaptées et transportées à partir de la BTS à 16 kbits/s. Or le réseau fixe, qui est le plus souvent numérique, gère des circuits de parole à 64 kbits/s. Il est donc nécessaire de réaliser dans le réseau un transcodage 16 kbits/s $\Leftrightarrow$ 64 kbits/s. La norme n'impose pas d'implanter les transcodeurs en un endroit particulier du réseau mais les place forcément dans le BSS. Or, il est logique de transcoder les informations le plus tard possible, c'est-à-dire le plus près possible du MSC pour économiser les circuits de parole.

Le TCU ou TRAU (Transcoder and Rate Adaptor Unit) a donc été placé entre le BSC et le MSC dans le but de réduire le nombre des liaisons MIC nécessaires à la transmission des informations entre la BTS et le BSC. Il est généralement placé physiquement à côté du MSC mais fait fonctionnellement partie du BSC qui le commande donc à distance. Les informations sont "physiquement" transmises sur des circuits MIC à 64 kbits/s (hormis sur l'interface radio entre le mobile et la BTS). Sur chaque circuit MIC, il est donc possible de transporter les informations de 4 circuits de parole à 16 kbits/s.

B - Le sous-système réseau NSS

Le sous-système réseau, appelé **Network Switching Center (NSS)**, joue un rôle essentiel dans un réseau mobile.

Alors que le sous-réseau radio gère l'accès radio, les éléments du NSS prennent en charge toutes les fonctions de contrôle et d'analyse d'informations contenues dans des bases de données nécessaires à l'établissement de connexions utilisant une ou plusieurs des fonctions suivantes : **chiffrement, authentification** ou **roaming**.

Le NSS est constitué de :

- Mobile Switching Center (**MSC**)
- Home Location Register (**HLR**) / Authentication Center (AuC)
- Visitor Location Register (**VLR**)
- Equipment Identity Register (**EIR**)

Il regroupe toutes les fonctions de commutation et de routage, localisées dans le **MSC**.

Les données de référence, propres à chaque abonné, sont enregistrées dans une base de données répartie sur des enregistreurs de localisation nominaux **HLR**. Le MSC, afin de minimiser les accès aux HLR, utilise un enregistreur de localisation temporaire, le **VLR**, contenant les données de travail relatives aux abonnés présents dans la zone gérée par le MSC.

Le système doit aussi permettre des communications entre les abonnés mobiles et des abonnés du réseau téléphonique commuté public (RTCP) : en France, France Télécoms le "6" et depuis le 01/01/1998 le "7" de Cegetel et le "9" de Bouygues Télécoms) et s'interface pour cela avec ce dernier par des commutateurs. Enfin, comme tout réseau, il doit offrir à l'opérateur des facilités d'exploitation et de maintenance.

Scénarios d'acheminement des appels entre le réseau fixe et le réseau GSM: deux scénarios en guise d'exemple :

Illustrons brièvement le fonctionnement des entités d'un réseau en traitant deux scénarios typiques simplifiés entre un réseau mobile et un réseau fixe:

1 - Un abonné GSM compose le numéro de téléphone d'un abonné du réseau fixe.

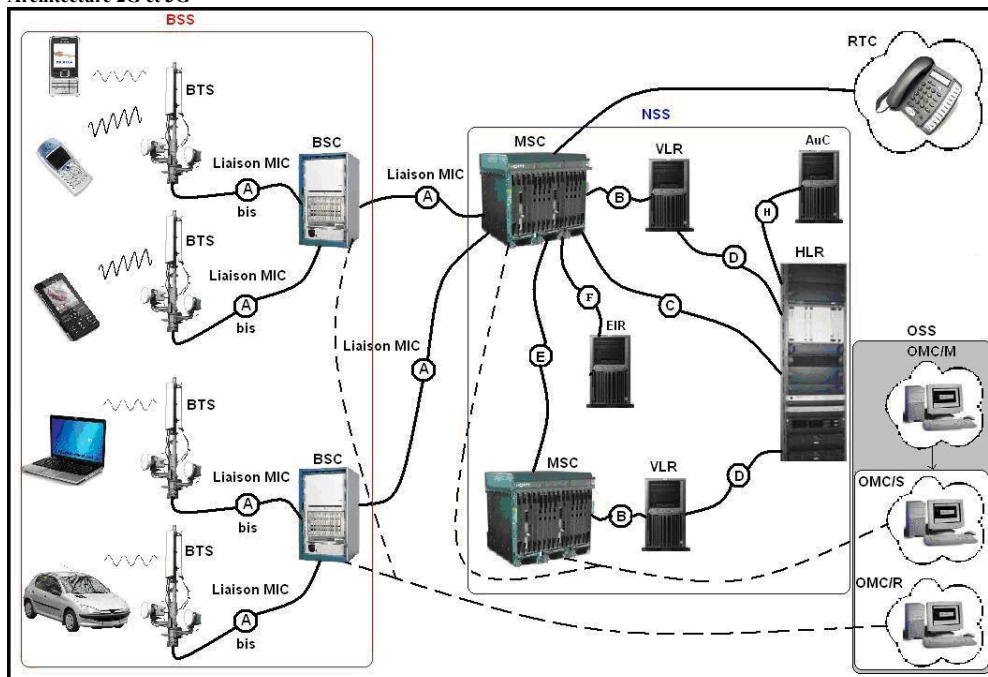
Sa demande arrive d'abord au BTS de la cellule puis passe à travers le BSC et arrive enfin au MSC qui vérifie les droits de l'abonné (autorisation d'accéder à ce service, état de l'abonnement, ...). Si l'abonné remplit les conditions, le MSC transmet l'appel au réseau public et demande au BSC de réserver un canal pour la communication. Il ne reste alors plus qu'à attendre que le poste fixe soit décroché pour que la communication soit établie.

2- Supposons au contraire qu'un abonné du réseau fixe veuille joindre un abonné du réseau GSM.

Le fonctionnement est un peu plus complexe car l'opérateur GSM n'alloue des ressources à un abonné que lorsque celui reçoit ou émet un appel.

Le numéro composé sur le poste fixe est tout d'abord aiguillé vers le réseau de l'abonné GSM. La demande de connexion est interprétée par un commutateur passerelle entrant du réseau GSM -il s'agit d'un GMSC. Le numéro formé par l'abonné du réseau fixe n'est pas utilisé tel quel pour commuter la communication. à l'instar des numéros verts ou des numéros d'urgence, il y a un mécanisme qui, au droit du GMSC, va convertir le numéro de l'abonné en un autre numéro attribué dynamiquement en fonction de la position de l'utilisateur. C'est sur base de ce numéro dynamique que l'appel sera re-dirigé dans le réseau GSM. Concrètement, le HLR est interrogé afin de connaître la position de l'utilisateur du réseau mobile ainsi que son état (libre, occupé, éteint). Si le mobile est dans l'état "libre", le réseau interroge alors le VLR de la zone pour savoir dans quelle cellule le mobile se situe. Ainsi, le BSC de la zone demande aux différentes stations de base de sa zone de diffuser un avis d'appel. Comme le mobile est "libre", le destinataire écoute le réseau et s'aperçoit qu'on tente de le joindre et la sonnerie du terminal est activée. Une fois que l'utilisateur a décroché, un canal de communication est alloué à l'appel et les bases de données VLR et HLR sont mises à jour.

Architecture 2G et 3G



Le commutateur MSC commutateur numérique en mode circuit

Le commutateur du réseau mobile **MSC** (Mobile-services Switching Centre) assure l'interface entre le réseau mobile et les réseaux publics déjà implantés en cas d'appels

entrants : il s'appelle alors GMSC (Gateway MSC). Il assure la commutation des appels et constitue le point de commande des tâches de mise à jour de la localisation des mobiles et du transfert des appels.

Il commande les appels en provenance et à destination du Réseau Téléphonique Public Commuté **RTCP**, du Réseau Numérique à Intégration de Services **RNIS** (Numeris), des réseaux publics mobiles **PLMN** (SFR, Itinériss, Bouygues Télécoms), des réseaux publics de données **PSDN** (Transpac).

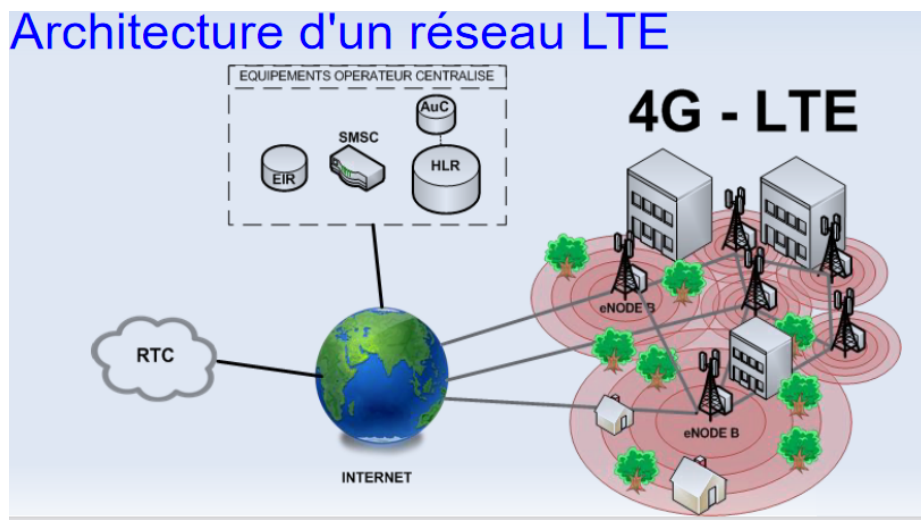
Le MSC est essentiellement chargé de l'établissement des appels (réservation des ressources, procédures d'identification et d'authentification, acheminement vers l'abonné appelé, commutation sur les circuits dédiés à la communication,) entre un mobile et le réseau, de la taxation des appels et de la transmission des messages courts. Il intervient aussi dans certaines procédures de handover.

De plus, il participe à la fourniture des différents services aux abonnés tels que la téléphonie, les services supplémentaires et les services de messagerie. Il permet encore de mettre à jour les différentes bases de données (HLR et VLR) qui donnent toutes les informations concernant les abonnés et leur localisation dans le réseau.

Les commutateurs MSC d'un opérateur sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations.

Des MSC servant de passerelle (Gateway Mobile Switching Center, GMSC) sont placées en périphérie du réseau d'un opérateur de manière à assurer une inter-opérabilité entre réseaux d'opérateurs.

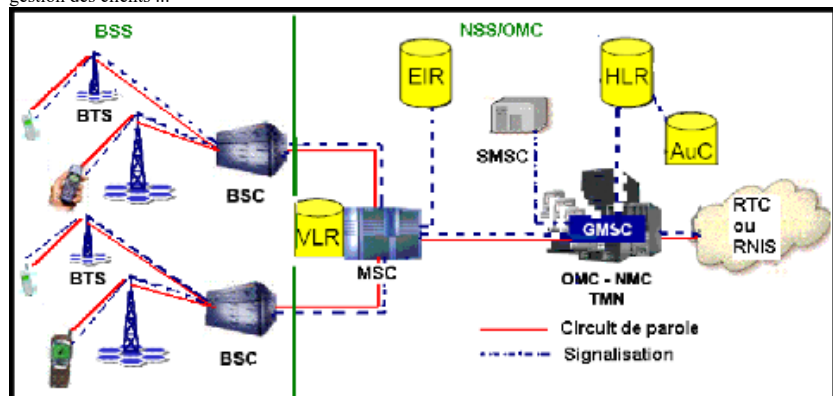
En 2G et 3G, les MSC communiquent par le Réseau Téléphonique Commuté, (par les commutateurs téléphoniques "nationaux" et "internationaux", en 4G toutes les communications sont faites en IP par Internet.



Un MSC

Pour mieux se représenter l'acheminement des données:

- la parole en rouge qui passe du téléphone local au Msc qui commute les données vers le serveur Msc distant puis au téléphone distant.
- la signalisation en bleu reste locale du téléphone au centre Msc de rattachement ainsi qu'aux serveurs Eir Vlr Hlr Auc pour traiter toutes les phases de communications nécessaires : à l'état et demandes des téléphones, à la mise en relation, à la gestion nécessaire pour la taxation, le traçage ... aux bases de données de l'opérateur pour assurer la gestion des clients ...



L'enregistreur de localisation : HLR

Il existe au moins **un** enregistreur de localisation HLR **par réseau** (PLMN).

Il s'agit d'une base de données avec des informations essentielles pour les services de téléphonie mobile et avec un accès rapide de manière à garantir un temps d'établissement de connexion aussi court que possible.

Le HLR contient les caractéristiques de chaque abonné :

- L'identité internationale de l'abonné : IMSI, unique, fixe et secrète, utilisée par le réseau,
- la clé d'authentification Ki –cette clé est connue d'un seul HLR et d'une seule carte SIM .
- Le numéro d'annuaire à 12 chiffres de l'abonné : MSISDN, commençant par **33 06 en France**,
- Le profil de l'abonnement (services supplémentaires souscrits, autorisation d'appel à l'international,...) .
- ainsi qu'un certain nombre de données dynamiques telles que la position de l'abonné dans le réseau –en fait, son VLR– et l'état de son terminal (allumé, éteint, en communication, libre, ...).

Le triplet (Kc, SRES, RAND) fourni au VLR, puis au MSC, lors de la procédure d'authentification de l'abonné,

Les données dynamiques sont mises à jour par le MSC.

La localisation de l'abonné correspond au couple le MSC / VLR ou il est enregistré actuellement, même si c'est sur un PLMN étranger (utile en cas de recherche de cet abonné : le réseau s'adresse directement au HLR pour savoir où se trouve l'abonné et s'il est joignable).

Cette base de données est souvent unique pour un réseau GSM et seules quelques personnes y ont accès directement.

Un HLR peut gérer plusieurs centaines de milliers d'abonnés et il constitue une machine spécifique. A chaque abonné est associé un HLR unique ; le réseau identifie le HLR à partir du numéro MSISDN ou de l'identité de l'abonné.

Le centre d'authentification : AuC

Le centre d'authentification (AuC), mémorise pour chaque abonné une **clé secrète Ki** utilisée pour authentifier les demandes de service et chiffrer les communications.

L'authentification s'effectue par résolution d'un défi sur base d'un nombre M généré aléatoirement et envoyé au mobile. À partir de ce nombre, un algorithme identique (algorithme A3) qui se trouve à la fois dans la carte SIM et dans l'AuC produit un résultat sur base de la clé Ki et du nombre M.

Lorsqu'un abonné passe une communication, l'opérateur doit pouvoir s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un usurpateur.

Le centre d'authentification remplit cette fonction de protection des communications.

Pour ce faire, les normes GSM prévoient deux mécanismes :

1. Le chiffrement des transmissions radio. Remarquons qu'il s'agit d'un chiffrement faible, qui ne résiste pas longtemps à la crypto-analyse ! Ceci explique sans doute pourquoi, en Belgique, de nombreux toits de bâtiments de puissance étrangère sont équipés d'antennes servant exclusivement à la réception de signaux GSM... (algorithmes d'authentification et de Chiffrement A3 et AS)

2. L'authentification des utilisateurs du réseau au moyen d'une clé Ki, qui est à la fois présente dans la station mobile et dans le centre d'authentification.

L'authentification s'effectue par résolution d'un défi sur base d'un nombre M généré aléatoirement et envoyé au mobile. À partir de ce nombre, un algorithme identique (algorithme A3) qui se trouve à la fois dans la carte SIM et dans l'AuC produit un résultat sur base de la clé Ki et du nombre M .

Dès lors, lorsqu'un VLR obtient l'identifiant d'un abonné, il demande, au HLR du réseau de l'abonné, le nombre M servant au défi et le résultat du calcul afin de le comparer à celui qui sera produit et envoyé par le mobile. Si les résultats concordent, l'utilisateur est reconnu et accepté par le réseau.

Grâce à ce mécanisme d'authentification, un VLR peut accueillir un mobile appartenant à un autre réseau (moyennant un accord préalable entre opérateurs de réseau !) sans qu'il ne soit nécessaire de divulguer la clé de chiffrement du mobile.

On peut dès lors distinguer trois niveaux de protection :

1. La carte SIM qui interdit à un utilisateur non enregistré d'avoir accès au réseau.
2. Le chiffrement des communications destiné à empêcher l'écoute de celles-ci.
3. La protection de l'identité de l'abonné.

Un AuC est généralement associé à chaque HLR.

L'ensemble peut même parfois être intégré dans un même équipement: la sécurité relative au transfert des informations entre ces deux entités fonctionnelles distinctes est alors optimale.

L'enregistreur de localisation des visiteurs : VLR

Le VLR (Visitor Location Register) est une **base de données** qui mémorise les **informations d'abonnement** des abonnés présents dans une certaine zone géographique.

Les informations sont transmises par le HLR avec lequel elle communique lorsqu'un abonné entre dans la zone de couverture du centre de commutation mobile auquel elle est rattaché.

Plusieurs MSC peuvent être reliés au même VLR, mais un MSC ne peut être qu'à un seul VLR et en général, à un VLR correspond un seul MSC.

Cette base de données ne contient que des informations dynamiques et est liée à un MSC.

Les données mémorisées par le VLR sont les mêmes que celles du HLR, mais concernent un sous-ensemble d'**abonnés : ceux présents dans la zone considérée**. De plus, le VLR contient pour chaque abonné :

- Son identité temporaire TMSI (variable au cours du temps, parfois d'une connexion à l'autre);
- Sa localisation plus précise : sa zone de localisation.

Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre VLR ; les données suivent l'abonné en quelque sorte.

La séparation matérielle entre le VLR et le MSC n'est pas très précise. On parle souvent de l'ensemble MSC / VLR car si le MSC possède toutes ses fonctionnalités de commutation et d'établissement d'appel, c'est grâce aux informations fournies par le VLR. Un ensemble MSC / VLR peut gérer une centaine de milliers d'abonnés.

L'enregistreur d'identité des équipements : EIR

L'EIR (Equipment Identity Register) est une base de données contenant les identités des terminaux IMEI.

Elle peut être consultée lors des demandes de services d'un abonné pour vérifier que le terminal utilisé est autorisé à fonctionner sur le réseau.

L'accès au réseau peut être refusé parce que le terminal n'est pas homologué, qu'il perturbe le réseau ou bien parce qu'il a fait l'objet d'une déclaration de vol.

Malgré les mécanismes introduits pour sécuriser l'accès au réseau et le contenu des communications, le téléphone mobile doit potentiellement pouvoir accueillir n'importe quelle carte SIM de n'importe quel réseau. Il est donc imaginable qu'un terminal puisse être utilisé par un voleur sans qu'il ne puisse être repéré.

Pour combattre ce risque, chaque terminal reçoit un identifiant unique (International Mobile station Equipment Identity, IMEI) qui ne peut pas être modifié sans altérer le terminal. En fonction de données au sujet d'un terminal, un opérateur peut décider de refuser l'accès au réseau. Tous les opérateurs n'implémentent pas une telle base de données.

L'EIR peut contenir 3 listes :

- Une liste blanche de l'ensemble des numéros d'homologation ;
- Une liste noire des équipements volés et interdits d'accès. Le réseau peut mémoriser l'identité IMSI d'un abonné utilisant un terminal inscrit sur cette liste et la transférer au système d'administration pour permettre d'identifier les accès frauduleux (cela ne sert donc à rien de voler un terminal GSM !);
- Une liste grise des terminaux présentant des dysfonctionnements insuffisants pour justifier une interdiction totale,

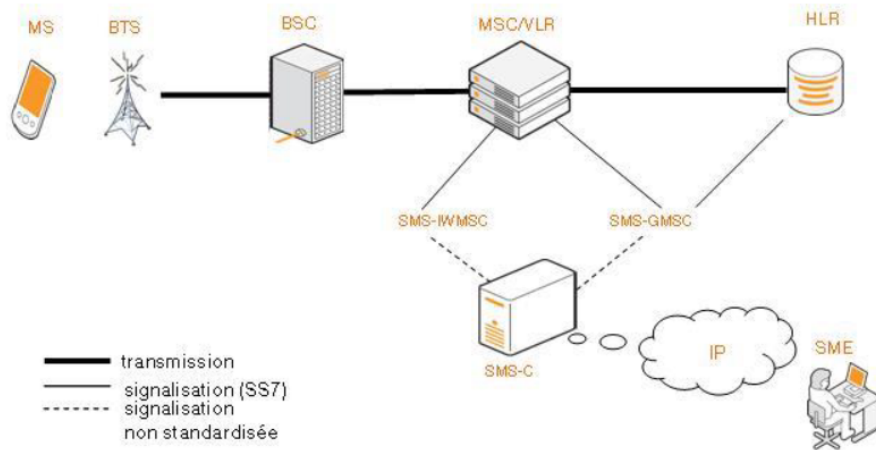
Dernier maillon le SMSC

Schéma d'architecture d'envoi des SMS

La transmission de SMS entre un appareil mobile et un destinataire (autre mobile, clé 3G avec le logiciel iDoine, équipement fixe, ...) et réciproquement peut être réalisée à travers différents protocoles tels que le SS7 dans le cadre du protocole standard GSM, ou encore par TCP/IP avec le même standard. Les messages sont envoyés avec l'opération supplémentaire forward_short_message, dont la longueur de charge utile (payload) est limitée par les contraintes du protocole de signalisation à savoir 140 octets au maximum.

En pratique, cela se traduit soit par 160 caractères en encodage sur 7 bits, soit par 140 caractères en encodage sur 8 bits, soit encore par 70 caractères en encodage sur 16 bits.

L'architecture réseau SMS est la suivante



Le **SME** est tout équipement pouvant émettre ou recevoir des SMS. Exemples :

- Mobile GSM, GPRS ou UMTS
- VMS (Voice Messaging System)
- Un ordinateur sur internet
- Un ordinateur connecté directement au SMSC

Le **SMSC** permet de gérer le transfert de messages SMS (textes ou binaires) vers les terminaux mobiles, voire avec les émetteurs. En particulier, quand un abonné envoie un SMS vers un autre, le terminal transmet en réalité le SMS vers le SMSC.

Le SMSC stocke le message puis le transmet au destinataire lorsque celui-ci est présent sur le réseau (terminal allumé, et prêt à recevoir) :

Le SMSC fonctionne sur le mode Store & Forward. Le rôle du SMSC est de :

- relier les SMS entre SMEs
- gérer les accusés de réception
- gérer le routage des SMS
- assurer l'interface avec le réseau mobile (PLMN) via le protocole SS7
- proposer une interface externe utilisant le(s) protocole(s) standard UCP et/ou SMPP.

Protocole UCP : L'Universal Computer Protocol est un protocole d'échange entre MS et SMSC. C'est le protocole utilisé pour relier les partenaires du service SMS

. Protocole SMPP :

Le Short Message Peer to Peer est un Protocole d'échange entre SMSC. Il permet d'envoyer des SMS vers des opérateurs mobiles. Il est généralement utilisé par les fournisseurs de contenus. Ce protocole SMPP n'est pas utilisé dans les échanges entre les SMSC de France Telecom Orange et ses clients.

Le SMS-Gateway MSC est une passerelle qui reçoit les SMS du SMSC, interroge le HLR pour les aspects routage et droits et envoie ensuite le SMS au visited MSC (MSC auquel le terminal destinataire est rattaché).

Le SMS-Gateway MSC est utilisé pour la procédure dans le cas de l'envoi d'un SMS "Mobile Terminated" (MT SMS), c.-à-d. à destination d'un terminal mobile.

Le SMS-InterWorking MSC est une mesure MSC qui permet de recevoir un message court à partir du réseau mobile et de le soumettre au SMSC. Le SMS-GMSC et le SMS-IW/MSC sont généralement intégrés dans le SMSC. Le SMS-IW/MSC est utilisé pour la procédure Mobile Originated (MO) SMS : SMS envoyés depuis un terminal .

C - Le sous-système d'exploitation et de maintenance OSS

Cette partie du réseau regroupe trois activités principales de gestion : la gestion administrative, la gestion commerciale et la gestion technique.

Le réseau de maintenance technique s'intéresse au fonctionnement des éléments du réseau. Il gère notamment les alarmes, les pannes, la sécurité, . . . Ce réseau s'appuie sur un réseau de transfert de données, totalement dissocié du réseau de communication GSM

Il est utilisé par l'opérateur pour administrer son réseau, de manière locale par des OMC et de manière générale par le NMC.

Les fonctions de sécurité et de contrôle d'accès au réseau sont assurées par le centre d'authentification **AUC** et l'enregistreur des identités des équipements EIR. Lorsqu'un abonné passe une communication, l'opérateur doit pouvoir s'assurer qu'il ne s'agit pas d'un usurpateur.

Le centre d'authentification remplit cette fonction de protection des communications. Pour ce faire, les normes GSM prévoient deux mécanismes.

L'administration du réseau : OMC et NMC

La diversité des équipements présents dans un réseau GSM tant par leur type (émetteurs- récepteurs, commutateurs, bases de données) que par le nombre de fournisseurs (au moins 2 pour faire jouer la concurrence) pousse à adopter une approche structurée et hiérarchique de la supervision du réseau. La norme présente 2 niveaux :

- Les OMC Opérations & Maintenance Centre; Le NMC Network Management Centre.
- Le NMC permet l'administration générale de l'ensemble du réseau par un contrôle centralisé, alors que les OMC permettent une supervision locale des équipements. Plusieurs OMC vont, par exemple, superviser des ensembles de BSC et de BTS sur différentes zones. D'autres OMC vont superviser les MSC-VLR. Les incidents mineurs sont transmis aux OMC qui les filtrent, tandis que les incidents majeurs remontent jusqu'au NMC.

L'administration de réseau comprend toutes les activités qui permettent de mémoriser et de contrôler les performances et l'utilisation des ressources de façon à offrir un certain niveau de qualité aux usagers. Les différentes fonctions d'administration comprennent:

- L'administration commerciale (déclaration des abonnés, des terminaux, facturation,) ;
- La gestion de la sécurité (intrusion);
- L'exploitation et la gestion des performances (observation du trafic et de la qualité, charge du réseau,)
- Le contrôle de la configuration du système (mise à jour des logiciels d'évolution et des nouvelles fonctionnalités, introduction dans le réseau de nouveaux équipements);
- La maintenance (tests des équipements)

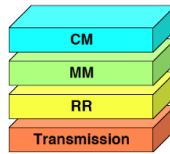
Architecture en couches

La couche réseau du GSM

3 sous-couches **RR : Radio Resource Management** , fournit un lien (communication) entre le MS et le MSC

MM : Mobility Management , gère les bases de données de localisation du mobile

CM : Communication Management , contrôle la connexion utilisateur



Se base sur la couche de transmission

RR : Radio Resource Management gère l'administration des fréquences et canaux Principalement l'interface radio. Garantit un lien stable en changeant de cellule Handover dans le RR (pas le MM, en effet, la mobilité est vue du point de vue macro-mobilité)

Fonctions

- I Monitoring du BCCH, PCH
- I Administration du RACH
- I Demande / assignation de canaux
- I controle de puissance de la MS et synchro
- I Handover

RR implémenté dans la MS, BTS, BSC, MSC

La conversion du 64 Kbits/s au 13Kbits/S (TRAU)

Sur l'interface radio, la voix est codée sur 13 kbits/s, or le réseau fixe gère des circuits de parole de 64 kbits/s d'où il faut réaliser dans le réseau un transcodage 13-64 kbits/s. La norme n'impose pas d'implanter les transcodeurs en un endroit précis, mais la place forcément dans le BSS.

Cependant, pour économiser des circuits de parole, il est logique de transcoder le plus tard possible, c'est à dire le plus près possible du MSC. Aussi, les transcodeurs sont généralement placés physiquement à coté du MSC, mais font fonctionnellement partie du BSC ce qui permet de transporter 4 communications codées à 16 kbits/s (on complète les 13 kbits/s par des bits de bourrage) sur une voie MIC à 64 kbits/s.

MM : Mobility Management Gère la localisation de l'utilisateur et les tâches liées à la mobilité

Fonctions

- I Assigne la TMSI
- I Localisation de la MS
- I Mise à jour de la localisation
- I Authentification de la MS
- I Identification, association/désassociation de la MS

MM implémenté dans la MS, MSC

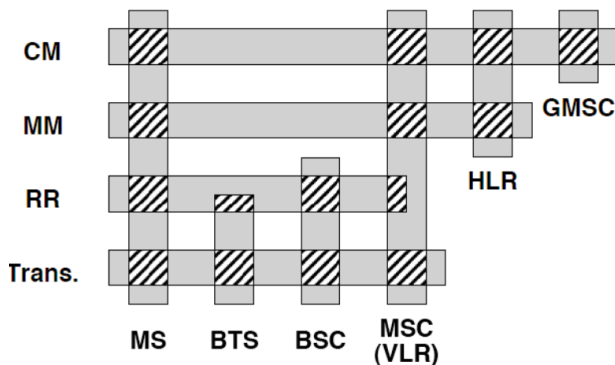
CM : Communication Management contrôle des appels, services supplémentaires (SMS, ...)

Fonctions

- I Etablissement de l'appel (de ou vers la MS)
- I gestion des appels d'urgence
- I Fin d'appel
- I signalisation DTMF
- I modification en cours d'appel

CM implémenté dans la MS, MSC, GMSC

Les protocoles et les équipements



Les principales interfaces

Une interface est le lien entre 2 entités du réseau, sur lequel transitent des informations particulières. Par exemple, la BTS et le BSC sont connectés, il existe donc une interface entre ces deux entités, mais le HLR n'est pas directement lié à la BTS, donc il n'existe pas d'interface entre ces deux entités.

Chaque interface, désignée par une lettre, est totalement spécifiée par la norme, c'est-à-dire que les informations sont transmises dans des messages précis, sous un format et à un emplacement du message précis, à des moments précis.

Cela permet théoriquement d'utiliser les équipements de différents constructeurs sans aucune incompatibilité. L'interface à respecter de façon impérative est l'interface D car elle permet à un MSC / VLR de dialoguer avec le HLR de tout autre réseau. Sa conformité avec la norme permet donc l'itinérance internationale. L'interface A sépare le NSS du BSS. La conformité du BSC et du MSC à la recommandation permet aux opérateurs d'avoir différents fournisseurs pour le NSS et le BSS.

Nom	Localisation	Utilisation
Um ou Air ou Radio	MS – BTS	Interface radio
Abis	BTS – BSC	Divers (transfert des communications...)
A	BSC – MSC	Divers (transfert de données)
B	MSC – VLR	Divers (transfert de donnée)
C	GMSC – HLR	Interrogation du HLR pour appels entrants
D	VLR – HLR	Gestion des informations d'abonnés et de localisation
E	MSC – MSC	Exécution des Handover
F	MSC – EIR	Vérification de l'identité du terminal

G	VLR – VLR	Gestion des informations des abonnés
H	HLR – AUC	Echange des données d'authentification
	SM - GMSC- HLR	Interrogation du HLR pour SMS entrant
	MSC – SM – GMSC	Transport de messages courts,

Les interfaces désignées par des lettres de A à H dans le tableau ci-après ont été définies par la norme GSM. Bien souvent, le découpage des fonctions entre les éléments du réseau (VLR et MSC) par exemple est effectué par les constructeurs (Nokia Siemens network, Ericsson, Alcatel...) qui ne respectent pas forcément les règles définies dans le tableau.

Le sous-système radio

La recommandation GSM établit un découpage des fonctions et une répartition de celles-ci sur divers équipements.

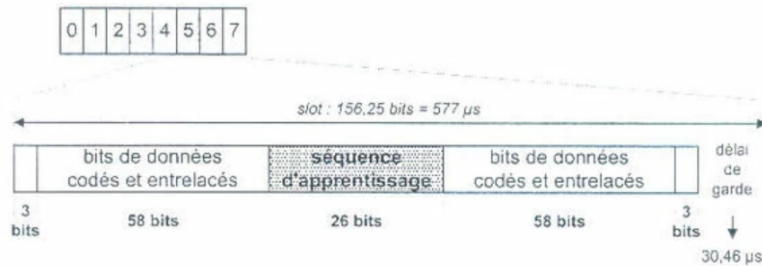
Par exemple, les handovers seront pris en charge par diverses entités selon le type de handover effectué et les différentes phases de celui-ci. La structure en couches reprend ce découpage en respectant la philosophie générale des couches OSI.

Dans le BSS, on retrouve principalement les trois couches basses de l'OSI : couche physique, couche liaison de données et couche réseau, cette dernière étant découpée en plusieurs sous-couches qui concernent plusieurs interfaces.

La couche 1 où couche physique définit l'ensemble des moyens de transmission et de réception physique de l'information (traitement bit par bit). Sur les interfaces A et Abis, la transmission est numérique, le plus souvent sur des voies MIC à 64kbits/s. Sur l'interface radio, cette couche est plus compliquée du fait des nombreuses opérations à effectuer : codage correcteur d'erreurs, multiplexage des canaux logiques, mesures radios à effectuer.

La couche 2 ou liaison de données a pour objet de fiabiliser la transmission entre deux équipements par un protocole dit de fiabilisation (traitement trame par trame). Les protocoles adoptés sur le BSS comportent un mécanisme d'acquittement et de retransmission des trames et sont assez similaires au protocole HDLC. Ces protocoles sont : sur la liaison Abis, le LAPD (utilisé dans le RNIS) et entre la MS et la BTS, la spécificité de la couche physique requiert un protocole dérivé du LAPD : le LAPDm (m pour mobile).

La couche 3 où couche réseau a pour objet d'établir, de maintenir et de libérer des circuits commutés (parole ou données) avec un abonné du réseau fixe. Cette couche est divisée en 3 sous-couches :



- La sous-couche Radio Ressource RR intègre l'ensemble des aspects purement radios : établissement, maintenance et libération des différents canaux logiques. Dans la MS, elle a pour rôle de sélectionner les cellules et de surveiller leur voie balise. La plupart des messages RR transitent par la BTS sans interprétation et sont directement traités par le BSC ou la MS : chiffrement, basculement du mobile vers un canal dédié à sa communication, exécution du handover,.... Cependant, certains messages, comme par exemple l'ordre d'activation d'un TRX, concernent directement la BTS et sont échangés d'abord entre le BSC et la BTS, puis entre la BTS et la MS. Pour cela, la BTS comporte donc une première entité appelée BTS Management pour traiter les commandes en provenance du BSC (entité que l'on retrouvera donc dans le BSC) et une seconde entité appelée RR' pour dialoguer avec le mobile. Cette entité RR est comprise dans la sous-couche RR du mobile.

- La sous-couche Mobility Management MM gère l'itinérance de la MS. Elle prend donc en charge la mise à jour de localisation du mobile, l'authentification et l'identification de l'abonné, l'allocation du TMSI et la demande de service (en cas d'appel sortant).

- La sous-couche Connections Management CM est elle-même découpée en 3 parties :

L'entité Call Control CC traite la gestion des connexions de circuits avec le destinataire final : établissement et fin d'appel, modifications en cours d'appel,

L'entité Short Message Service SMS assure la transmission et la réception des messages courts,

L'entité Supplementary Services SS gère les services supplémentaires.

Les sous-couches CM et MM ne sont pas gérées au sein du BSS, L'ensemble des messages CM et MM transitent par la BTS et par le BSC sans être analysés.

Le déroulement d'une liaison :

Lorsque l'utilisateur met son terminal en marche, celui-ci essaie de se connecter à une station de base en explorant la bande de fréquences disponible dans la cellule.

La station de base est identifiée par les messages que cette dernière émet sans arrêt sur le canal logique de la cellule, une fois que le terminal a choisi sa cellule en fonction de la puissance des signaux reçus, il se fait connaître grâce au dialogue qui s'établit entre la carte d'identification et la station de base.

Le numéro de la zone de localisation du mobile est alors mémorisé dans l'enregistreur de localisation des visiteurs.

La station mobile doit effectuer cette opération régulièrement pour faire connaître sa situation géographique.

C'est le terminal qui détecte si une nouvelle cellule est mieux appropriée pour ses communications et qui l'indique à la nouvelle station de base qui relaiera cette information dans l'enregistreur de localisation des visiteurs.

Si la zone de localisation est modifiée, ce changement géographique est détecté par l'enregistreur de localisation des visiteurs qui dialogue avec le terminal pour mettre sa base de données à jour.

C'est cet enregistreur de localisation des visiteurs qui avertit l'enregistreur de localisation nominal du changement et celui-ci à son tour vient mettre à jour l'enregistreur de localisation des visiteurs de la zone qui a été quittée.

Appel terminal vers BTS : le mobile demande une bande passante par l'intermédiaire d'un canal logique, puis transmet le n° d'appel au centre de commutation des services mobiles qui l'envoie aux commutateurs du réseau fixe de l'opérateur.

La gestion d'un appel à destination d'un mobile est plus complexe.

L'opérateur est indiqué par le type de n° du mobile. L'appel est acheminé vers le MSC le plus proche qui, grâce aux premiers chiffres, détecte l'emplacement de l'enregistreur de localisation nominale. Après interrogation de cet enregistreur, l'appel est acheminé jusqu'au MSC concerné qui, grâce à son enregistreur de localisation des visiteurs, véhicule l'appel jusqu'à la station de base concernée.

Celle-ci envoie alors un message de diffusion (Paging) qui permet au mobile de reconnaître son adresse et de demander l'établissement de la communication.

Le Handover :

Dans un réseau cellulaire, la liaison radio entre un Mobile et une BTS n'est pas allouée définitivement pour toute la conversation, le " handover " ou Itinérance, représente la commutation d'un appel en cours vers un autre canal ou une autre cellule.

Il y a 4 types de handovers, qui se distinguent suivant les composants qu'ils mettent en jeu. Ainsi les changements peuvent se faire entre ¾

- Canaux d'une même cellule (saut de fréquence)

- Cellules (BTS) sont sous le contrôle d'un même BSC

- Cellules sous le contrôle de différents BSC, mais qui appartiennent au même MSC

- Cellules sous le contrôle de différents MSC

Les 2 premiers types sont appelés handovers internes, car ils n'impliquent qu'un BSC ainsi, dans le but de gagner de la bande passante, ils sont mis en place uniquement par le BSC concerné sans impliquer le MSC, sauf pour lui annoncer la réussite du handover.

Les 2 derniers types de handovers, appelés handover externes, sont dirigés par le MSC.

Dans le cas de changements de cellules sous le contrôle de différents BSC qui appartiennent au même MSC, on parle de MSC d'origine.

Dans le cas où le changement entraîne un changement de MSC on parle de MSC relais.

Il existe enfin un cinquième type de handover qui intervient dans l'interconnexion à un autre réseau comme lors d'un passage dans un autre pays qui entraîne la connexion à un autre réseau d'accueil du nouveau pays atteint.

Principe de Handover :

Les handovers peuvent donc être mis en place soit par le portable, soit par le MSC.

Ainsi, pendant ces "time slot" inutilisés, le portable scanne les "canaux de contrôle des diffusions" ; des cellules avoisinantes.

Il constitue ensuite une liste des 6 meilleures cellules, basée sur l'intensité du signal. Ces informations sont envoyées au BSC et au MSC, au moins une fois par seconde et vont être utilisées dans l'algorithme du handover.

Le BSC ne sait pas en général si le faible signal est dû à de fortes perturbations ou au fait que le portable est passé dans une autre cellule.

C'est pourquoi, le BSC va utiliser un algorithme.

Il en existe deux principaux basés sur le contrôle de l'énergie, mais un seul est utilisé, il est choisi par les opérateurs.

Ces deux algorithmes sont :

- L'algorithme du "minimum de performance acceptable" donne la priorité à la maîtrise de l'énergie par rapport au handover.

Ainsi, lorsque le niveau du signal est en dessous d'un certain point, la puissance du portable est augmentée. Si cela n'augmente pas la qualité du signal, alors un handover est mis en place.

C'est la plus simple et la plus commune des méthodes utilisées. Son inconvénient acceptable est de déformer les limites des cellules lorsqu'un portable communique à son pic puissance et se déplace en dehors des limites de sa cellule.

- L'algorithme du "minimum de puissance" utilise les handovers pour essayer de conserver ou d'améliorer la qualité du signal avec autant ou moins de puissance. Ce système évite les déformations des limites des cellules et réduit les interférences entre canaux, mais il est très compliqué.

La Mise à jour des emplacements :

Un portable allumé est informé d'un appel entrant par un message sur le canal logique de la cellule. Ainsi, une solution extrême serait d'envoyer un message dans chaque cellule du réseau, mais il y aurait bien évidemment une grosse perte de bande passante.

Une autre solution serait que le portable envoie constamment sa position à la cellule. Cela permettrait qu'un seul message d'appel soit envoyé, mais cela créerait beaucoup de pertes, à cause du grand nombre de message de localisation envoyé par le portable. La solution utilisée dans le GSM est un compromis. Ainsi, les cellules sont regroupées en "zones de localisation".

Des messages de localisation sont demandés lorsque le portable change de "zone de localisation", et les messages d'appels entrant sont envoyés dans la zone correspondante.

La localisation et le routage des appels utilisent le MSC et ses 2 bases de registres ; le HLR et le VLR. Quand un portable passe dans une nouvelle zone, il doit s'authentifier avec le réseau pour indiquer sa nouvelle position.

Dans le cas habituel, un message de mise à jour de la localisation est envoyé au nouveau MSC/VLR, qui enregistre les informations et les envoient au HLR de l'abonné.

L'Authentification et la Sécurité :

Comme les ondes radio sont accessibles à tous, l'authentification de l'utilisateur (pour prouver qu'ils sont ce qu'ils prétendent être) est très importante. L'authentification implique 2 entités :

la carte SIM dans le portable, et le centre d'authentification ("AUC"). Chaque abonné a une clé secrète X, dont une copie est enregistrée dans la carte SIM et dans l'AUC.

Un autre niveau de sécurité est mis en place sur le portable lui-même. En effet, le portable est identifié par un numéro unique (IMEI). Une liste des IMEI qui sont sur le réseau est stockée dans le EIR.

Le EIR renvoie une des réponses suivantes aux requêtes qui lui sont faites :

Sur liste blanche: le portable a le droit de se connecter au réseau

Sur liste grise: le portable est sous observation, pour problèmes possibles

Sur liste noire: le portable a été déclaré comme volé ou non valide. Le portable n'est pas autorisé à se connecter.

Services Offerts par le GSM

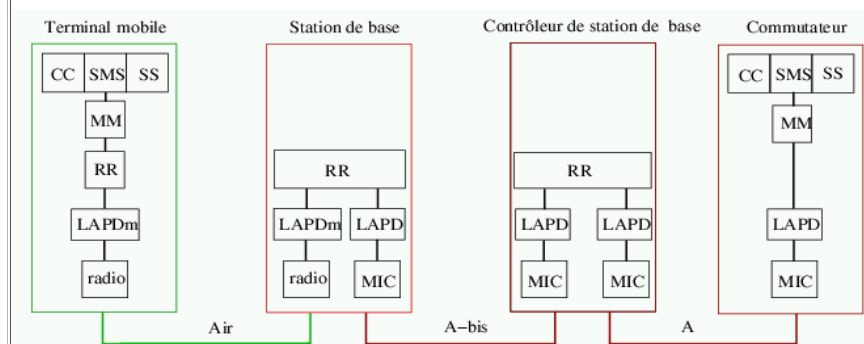
Le réseau GSM permet d'offrir un grand nombre de fonctions non disponibles avec les systèmes analogiques. Il assure des services de base incluse essentiellement :

- télé services : la téléphonie, la télécopie, la messagerie vocale, l'affichage des messages courts, le vidéotex.
- Le roaming international : la normalisation de ce système permet à l'utilisateur de bénéficier d'une mobilité à l'échelle mondiale.
- services supplémentaires : l'identification d'appel, le renvoi d'appels, l'appel en instance, la mise en garde, l'appel entre plusieurs abonnés, le groupe fermé d'abonnés, les services liés à la taxation, la restriction d'appels.
- Les appels d'urgence.
- Les messageries courtes.
- La radiotéléphonie
- Il donne accès à des services supplémentaires :
- L'identification des numéros appelants
- Transmission de données : 1200 b/s jusqu'à 9600 b/s.
- Informations : alertes, annonces stratégiques, résultats financiers,
- Coût des services : Connaissances des coûts des services accessibles à partir du mobile
- Accès aux modules : comptabilité, finances, état des stocks,
- Intranet Internet : Accès à l'annuaire de l'entreprise, fiches, catalogues, références et administration

Liste des différentes voies logiques

La figure ci dessous représente l'architecture des protocoles GSM des différents éléments du réseau.

Le protocole Mobility Management (MM) gère l'identification, l'authentification sur le réseau et la localisation d'un terminal. Cette application se trouve dans le sous réseau de commutation (NSS) et dans le mobile car ils doivent tous deux connaître la position du mobile dans le réseau.



pile protocolaire des différents sous système

Au niveau applicatif, on distingue les protocoles suivants qui, au travers de différents éléments du réseau, relient un mobile à un centre de communication (MSC) :

- 1 - Le protocole Call Control (CC) prend en charge le traitement des appels tels que l'établissement, la terminaison et la supervision.
- 2 - Le protocole Short Message Service (SMS) qui permet l'envoi de courts messages au départ d'un mobile. La longueur d'un SMS est limitée à 160 caractères de 7 bits, soit 140 bytes.
- 3 - Le protocole Supplementary Services (SS) prend en charge les compléments de services. La liste de ces services est longue mais, à titre d'exemple, citons le Calling Line Identification Presentation (CLIP), le Calling Line Identification Restriction (CLIR) et le Call Forwarding Unconditional (CFU).
- 4 - Le protocole Mobility Management (MM) gère l'identification, l'authentification sur le réseau et la localisation d'un terminal. Cette application se trouve dans le sous-réseau de commutation (NSS) et dans le mobile car ils doivent tous deux connaître la position du mobile dans le réseau.
- 5 - Le protocole Radio Ressource management (RR) s'occupe de la liaison radio. Il interconnecte une BTS et un BSC car ce dernier gère l'attribution des fréquences radio dans

une zone.

Les trois premiers protocoles applicatifs pré-cités (CC, SMS et SS) ne sont implémentés que dans les terminaux mobiles et les commutateurs; leurs messages voyagent de façon transparente à travers le BSC et le BTS

Canaux logiques de l'Interface radio du terminal mobile/Station de base

L'interface radio représente la partie délicate de la chaîne de transmission et le système doit faire face aux différents problèmes du lien mobile-eéseau au niveau de la propagation (atténuation,évanouissements, interférences...), mais aussi au niveau de la gestion du réseau : il est nécessaire d'avoir des fonctions de contrôle pour que le mobile se rattache à la station de base la plus favorable, pour établir et surveiller le déroulement d'une communication ou encore assurer le handover.

Pour faciliter la gestion du mobile et la communication, on définit différents canaux logiques qui sont multiplexés temporellement dans des trames, supertrames et hypertrames.

Les interfaces A-bis, A et X25

Présentons brièvement les trois types d'interface qui relient le BSC respectivement à la station de base (interface A-bis), au commutateur (interface A) et au centre d'exploitation et de maintenance (interface X25).

L'interface A-bis

La couche physique est définie par une liaison PCM à 2 [Mb/s] (recommandation de la série G de l'ITU) et la couche liaison de données est composée du protocole Link Access Protocol D-channel (LAPD).

Comme le canal de liaison PCM a un débit unitaire de 64 [kb/s] et que le débit par canal radio GSM est de 13 [kb/s], il faut donc adapter le débit. Cette fonction est appelée transcodage et elle est réalisée dans une unité appelée Transcoding Rate and Adaptation Unit (TRAU).

Deux solutions sont techniquement possibles et rencontrées dans les réseaux GSM:

- Mutliplexer quatre canaux à 13 [kb/s] pour produire un canal à 64 [kb/s].
- Faire passer le débit de chaque canal à 64 [kb/s].

Tout est affaire de compromis et de choix. L'avantage de la première solution est de diminuer le débit entre la station de base et le BSC où le trafic est fortement concentré. La seconde solution offre par contre l'avantage de banaliser les équipements du système en ramenant tous les équipements à 64 [kb/s]. Souvent, la deuxième solution est utilisée au niveau des commutateurs et la première au niveau du BSC afin de garder l'avantage du faible débit de parole.

L'interface A

La couche physique est toujours définie par une liaison à PCM à 2 [Mb/s] mais c'est le protocole CCITT numéro 7 qui est utilisé pour la couche liaison de données.

Le centre de commutation mobile est relié au sous-système radio via l'interface A.

Son rôle principal est d'assurer la commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du réseau commuté public (RTC) ou du réseau ISDN. D'un point de vue fonctionnel, il est semblable à un commutateur de réseau ISDN, mis à part quelques modifications nécessaires pour un réseau mobile. De plus, il participe à la fourniture des différents services aux abonnés tels que la téléphonie, les services supplémentaires et les services de messagerie. Il permet encore de mettre à jour les différentes bases de données (HLR, VLR et AuC) qui donnent toutes les informations concernant les abonnés et leur localisation dans le réseau. Les commutateurs MSC d'un opérateur sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations. Des MSC servant de passerelle (Gateway Mobile Switching Center, GMSC) sont placées en périphérie du réseau d'un opérateur de manière à assurer une inter-opérabilité entre réseaux d'opérateurs.

L'interface X25

Cette interface relie le BSC au centre d'exploitation et de maintenance (OMC). Elle possède la structure en 7 couches du modèle OSI.

Empilement des protocoles dans le BSS

Sous-système réseau

L'échange de signalisation au sein du NSS se fait en utilisant la **Signalisation Sémaphore n°7, SS7**,

Cette signalisation n'est pas détaillée car elle ne concerne pas le système GSM en particulier : elle définit un standard au niveau mondial, optimisé pour les réseaux numériques, d'un haut niveau de fiabilité et évolutif pour convenir à l'élaboration de services futurs.

Par opposition à la signalisation voie par voie, la signalisation par canal sémaphore peut se définir comme une méthode dans laquelle une seule voie, le "canal sémaphore", achemine, grâce à des messages étiquetés, l'information de signalisation se rapportant à une multiplicité de circuits de parole.

Les avantages de la SS7 sont les suivants :

- la possibilité de transférer de la signalisation pure indépendamment de l'établissement d'un circuit,
- la possibilité de transférer la signalisation à fort débit pendant une communication
- sans que l'utilisateur ne soit gêné,
- la possibilité de réserver les circuits pour un appel seulement lorsque le correspondant demande est réellement joignable.

La gestion de l'itinérance nécessite le développement du protocole Mobile Application **PamMAP** particulier au GSM et gérant les dialogues entre les équipements du NSS.

Le protocole Message Transfer Part MTP en est une application aux 3 premières couches du modèle OSI. Il est implanté dans les MSC, VLR et HLR et offre un service de transfert fiable des messages de signalisation repartit sur 3 niveaux :

- Le niveau 1 définit les caractéristiques physiques, électriques et fonctionnelles de la liaison et les moyens d'y accéder. Les supports utilisés sont en général les conduits numériques MIC à 64 kbits/s,
- Le niveau 2 définit les fonctions et les procédures de transfert des messages de signalisation de façon à fournir un transfert fiable entre deux points. Il contient un mécanisme de contrôle de flux, de détection d'erreur et de correction par retransmission ;
- Le niveau 3 définit une fonction de routage au sein du réseau SS7 national et une fonction de gestion du réseau. La gestion du réseau est effectuée par des procédures de rétablissement et de maintien des conditions normales de fonctionnement. Elles peuvent avoir pour effet de détourner le trafic de signalisation sur un ou plusieurs canaux de secours. Pour détecter les défaillances, elles utilisent les informations de surveillance répercutées par le niveau 2.

De même, les protocoles Signalling Connection Part SCCP et Transaction Capabilities Application Part TCAP sont implantés à partir du BSC et sont utilisés pour offrir l'itinérance internationale et l'échange de signalisation non liée à l'établissement d'un circuit.

Le protocole de gestion d'appel, le SSUTR2 en France ou VISUP dans d'autres pays, est utilisé pour l'établissement des appels entre les différents MSC / VLR du réseau GSM et avec les centraux du réseau fixe.

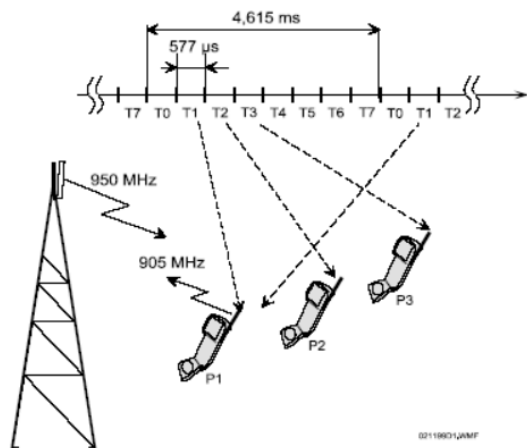
Enfin, entre le BSC et le MSC, une des applications du MAP, le BSS Application Part BSSAP permet, grâce à deux nouveaux protocoles :

- l'échange des messages de gestion du lien BSC - MSC par le BSSMAP ;
- l'encapsulation des messages des couches MM et CM par le protocole Direct Transfer Application Part DTAP, rendant ainsi le BSC transparent aux messages échangés entre la MS et le MSC.

Partage des ressources

Multiplexage par TDMA statique

Une liaison entre un téléphone mobile et une antenne-relais utilise deux canaux de transmission : un pour la voie montante et un pour la voie descendante. Un canal est constitué d'une onde radio (la porteuse) dont la fréquence varie dans une plage de 200 kHz de largeur et pendant un huitième du temps.



Etablissement d'une communication entre des mobiles et la station de base.

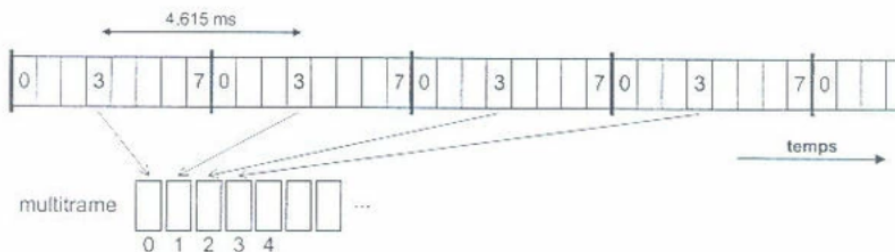
La figure illustre le principe utilisé : une antenne-relais transmet vers 3 téléphones mobiles, notés P1, P2 et P3, au moyen d'une porteuse dont la fréquence nominale est comprise entre 935 et 960 MHz (cas du GSM 900). Cette fréquence nominale est de 950 MHz dans l'exemple de la figure.

Le message binaire (constitué de 0 et de 1) module la fréquence instantanée de la porteuse dans une plage étroite centrée autour de la fréquence nominale. La porteuse ainsi modulée occupe une largeur de 200 kHz comprise entre 949,9 et 950,1 MHz.

Durant un premier intervalle de temps T1, d'une durée de 577 μs, la porteuse est utilisée pour transmettre vers le téléphone P1 ; cet intervalle de temps est appelé « time slot » dans la terminologie GSM. Ensuite, le téléphone P2 reçoit pendant le second « time slot » T2. De la même manière, le téléphone P3 recevra les informations qui lui sont destinées pendant le troisième « time slot » T3, et ainsi de suite s'il y a d'autres téléphones mobiles dans la cellule. Une porteuse peut ainsi être partagée par 8 téléphones mobiles. A la fin du « time slot » T1, le téléphone P1 devra attendre pendant 7 « time slots » avant de recevoir à nouveau. La transmission d'un canal (c'est-à-dire une conversation) se fait donc de manière discontinue ; ce procédé est appelé « multiplexage temporel » ou encore « time division multiple access » (TDMA)

Il est à noter que cette transmission « saccadée » n'est pas perceptible pour l'utilisateur, car la transmission pendant un « time slot » s'effectue à un débit 8 fois supérieur à celui correspondant à la restitution du signal, autrement dit, la transmission vers le téléphone P1 s'effectue pendant le « time slot » T1 et la restitution du signal vocal occupe 8 « time slots » (c'est-à-dire 4,615 ms).

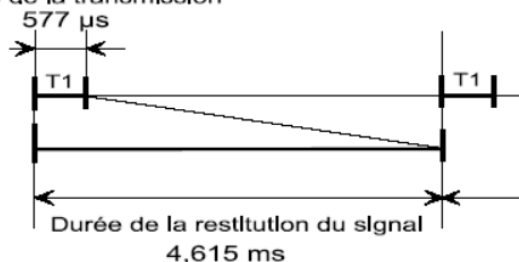
La figure ci dessous illustre ce processus.



Partage en temps et en fréquence d'une bande de fréquences GSM

Rmq : Le terme intervalle de temps n'est jamais utilisé en téléphonie GSM, car, vu d'un mobile, il s'agit plutôt d'une salve d'information. En conséquence, on utilise plutôt le terme anglo-saxon **burst** (salve), emprunté au système radar.

Durée de la transmission



La figure ci dessus présente le format des bits transmis pendant un « time slot ». Il comprend un train de 148 bits d'une durée de 3,7 μs, ce qui correspond à 547,6 μs. Ce train de 148 bits est appelé «burst » ; il comporte :

- 3 bits d'en-tête et de queue : permettent d'« entourer » le burst
- Au centre, 26 bits : une séquence d'apprentissage pseudo-aléatoire. Par un calcul d'intercorrélation, cette séquence permet de retrouver le centre du burst et de synchroniser la lecture des données à la réception.

- Temps mort de 8,25 bits. Pendant cette durée, aucune information n'est réellement transmise.

Sachant qu'un mobile peut être à 70km d'une BTS, le retard de propagation varie.

Ce temps mort permet de prendre en compte le retard d'arrivée du burst du fait de la distance

- Deux paquets de données de 57 bits, suivis ou précédés par 1 bit de préemption.

L'utilité de ce bit sera vue dans l'étude sur les canaux logiques .

Chaque utilisateur plein débit utilise un slot par trame TDMA (toutes les 2 trames TDMA pour un utilisateur demi- débit).

Un "canal physique" est donc constitué de la répétition périodique d'un slot de la trame TDMA sur une fréquence particulière.

Dans ce slot, qui a une notion temporelle, l'élément d'information est appelé burst. On dit que le GSM est orienté circuit: il réserve à chaque utilisateur une portion des ressources (1 timeslot parmi 8 sur une paire de fréquences), qui n'est partagée avec personne d'autre, jusqu'à la de connexion de l'utilisateur.

On peut donc dire que le GSM est un système F/TDMA puisque les ressources sont partagées en fréquence et en temps.

Enfin, dans le système GSM, un mobile émet et reçoit à des instants différents.

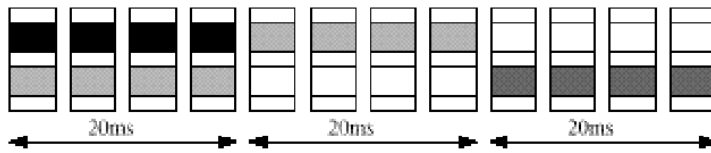
Au niveau du canal physique alloué au mobile, l'émission et la réception d'informations sont donc décalées dans le temps de 3 timeslots.

3 bits d'entete	57 bits de données	1 bit Pr	26 b d'apprentiss age	1 bit Pr	57 bits de données	3 bits de queue	8.25 bits de garde
--------------------	--------------------	----------------	-----------------------------	----------------	--------------------	--------------------	-----------------------

Il existe deux solutions pour transmettre la voix dans les bursts.

La première et la plus simple consiste à utiliser 4 bursts entiers pour transmettre 20 ms de parole.

Dans ce cas, on les remplit directement avec les huit paquets de 57 bits. Il y en a donc 4 pour 20 ms de données. La seconde solution consiste cette fois-ci à utiliser 8 bursts. Pour remplir complètement les bursts, on chevauche les données correspondant à 20 ms comme le schéma ci-dessous le montre.



La durée d'un « time slot » étant de 577 μ s, le train de 148 bit est en fait suivi d'une interruption de la transmission (appelée « Guard period »), d'une durée de 29,4 μ s, et dont le but est de séparer le contenu de 2 « time slots » successifs.

Multiplexage par FDMA dynamique.

Face au fading de Rayleigh, le FDMA dynamique a été mis en place. Ce saut en fréquence permet de ne pas rester sur un noeud pour deux intervalles de temps successifs. De plus, il assure un début de confidentialité de la communication.

La fréquence de transmission, entre un téléphone mobile et une BTS, est modifiée à chaque « burst ». La figure suivante correspond au cas où la BTS utilise 3 porteuses de fréquence f1, f2 et f3.

Chaque porteuse comporte 8 « time slots » c'est-à-dire 8 bursts numérotés de 0 à 7. Le 1er « burst » est transmis à la fréquence f1, le 2ème c'est-à-dire 8 « time slots » plus tard) à la fréquence f2, le 3ème à la fréquence f3. Pour les 4ème, 5ème et 6ème « bursts », on recommence le cycle f1, f2, f3, et ainsi de suite.



Saut de fréquences

Le procédé est appelé « frequency hopping » en anglais ; il a comme avantage d'offrir une transmission dont la qualité moyenne est améliorée.

En effet, en pratique, la qualité d'une liaison radio (mesurée par le taux d'erreurs) peut varier avec la fréquence de la porteuse.

Dans l'exemple de la figure 8, il se pourrait que la réception sur f3 soit de moins bonne qualité que sur f1 et f2 et cela pour deux raisons :

a) Il est possible qu'une autre BTS (ou tout autre émetteur) situé à bonne distance, utilise également cette fréquence f3, ce qui a pour effet que tous les téléphones mobiles recevant la fréquence f3 captent, à la fois, les signaux de la BTS la plus proche et ceux de la BTS éloignée émettant à cette fréquence f3. En cas de perturbations importantes, la fréquence f3 pourrait même devenir inutilisable.

b) Les réflexions sur le sol et sur les bâtiments donnent lieu à un régime d'ondes stationnaires (ou quasi stationnaires) caractérisé par des ventres de vibrations (l'amplitude du champ y est maximale) et des noeuds de vibrations où le champ est nul dans le cas d'un régime purement stationnaire.

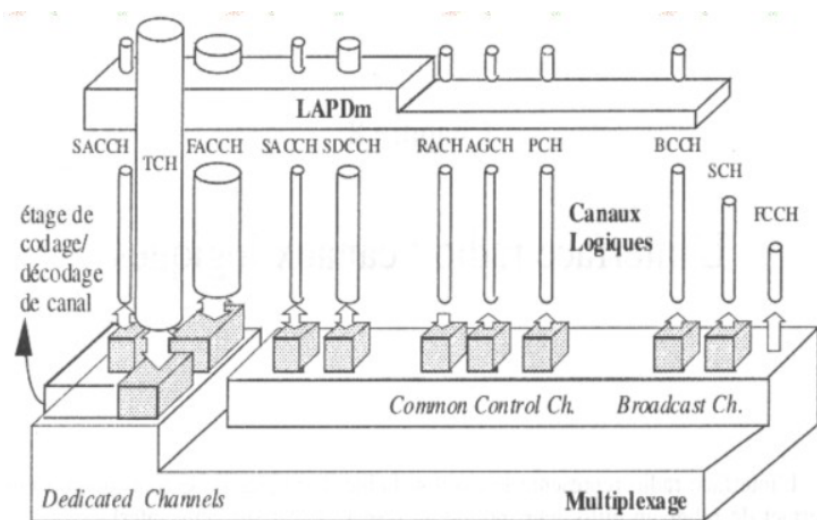
Rappelons également que la distance séparant un ventre d'un noeud est égale à un quart de la longueur d'onde, soit environ 8 cm à la fréquence de 900 MHz ; cette distance dépend donc de la fréquence de la porteuse et il en découle que la position des ventres et des noeuds varie avec la fréquence. Il est donc possible que le téléphone mobile se trouve, précisément, en un point P correspondant à un noeud de vibrations pour la fréquence f3 ; si c'est le cas, il est peu probable que ce point P soit également un noeud aux fréquences f1 et f2.

Une communication utilisant des fréquences différentes pour la transmission des « bursts » successifs bénéficiera d'une qualité moyenne nettement plus constante que si la fréquence de la porteuse était fixe. Dans notre exemple, la qualité moyenne d'une communication utilisant successivement les fréquences f1, f2 et f3 sera forcément moins bonne que si seulement f1 ou f2 étaient utilisées ; par contre elle sera supérieure à la qualité de la transmission à la fréquence f3.

Ajoutons également que les algorithmes de détection et de correction d'erreurs sont très performants lorsque le taux d'erreurs reste faible. A l'inverse, au-delà d'un certain seuil, aucune correction n'est plus possible est les bit reçus sont perdus. L'utilisation du saut de fréquence apporte donc un gain en performance substantiel, pour autant, bien sûr, que la qualité moyenne ne tombe pas sous le seuil où l'algorithme de correction d'erreurs n'est plus en mesure de fonctionner efficacement.

Le saut de fréquence est utilisé, à la fois, pour les voies montantes et descendantes. Par exemple, avec le GSM 900, si la BTS transmet le 1er « burst » à la fréquence f1, la réponse du téléphone mobile sera transmise à la fréquence f1 - 45 MHz. Pour le 2ème « burst » transmis à la fréquence f2, la réponse du téléphone mobile sera transmise à la fréquence f2 - 45 MHz, et ainsi de suite pour les « bursts » suivants

Canaux logiques GSM



Type de canal	Canal logique	Slot possible	Multi trame	Fonction
Broadcast Channel	FCCH Fréquence Correction Channel	0	51	Calage fin du mobile sur la fréquence porteuse
Simplex Non-dédiés	SCH Synchronization Channel	0	51	Synchronisation du mobile avec la cellule
	BCCH Broadcast Control Channel	0 2,4,6	51	Diffusion au mobile des informations de la cellule
Common Control Channel	PCH Paging Channel	0 2,4,6	51	Canal par lequel le mobile reçoit les appels en provenance du réseau
Simplex Non-dédiés	RACH Random Access Channel	0 2,4,6	51	Canal par lequel le mobile accède au réseau de façon aléatoire pour répondre ou lancer un appel.
	AGCH Access Grant Channel	0 2,4,6	51	Le réseau communique par ce canal pour informer le mobile par où, quand et comment il doit établir une communication
	CBCH Cell Broadcast Channel	0 1,2,3	51	Diffusion sur ce canal des messages courts de type info routière, météo etc...
Dedicated Control Channel	SDCCH Stand-Alone Dedicated Control Channel	0 1 à 7	51	Canal de signalisation, mise à jour de localisation etc...
Duplex Dédiés	SACCH Slow Associated Control Channel	0 0 à 7	51 26	Canal de supervision d'une liaison, control de la puissance, de la qualité, remonté de mesure. Il peut être associé soit à un canal SDCCH (multi-trame 51), soit à un canal TCH (multi-trame 26).
	FACCH Fast Associated Control Channel	0 à 7	26	Canal de supervision d'une liaison, lors d'une communication, il sert à exécuter le Hand-Over, ce canal n'existe que par le vol de slots du canal TCH
Traffic Channel Duplex Dédiés	TCH Traffic Channel	0 à 7	26	Canal supportant le trafic voix ou data

Typologie des paquets

Chaque trame consiste en un certain nombre de bits. Ces bits sont organisés suivant une structure qui diffère en fonction du protocole applicatif mis en oeuvre pour chaque slot mais aussi de l'état intermédiaire du protocole considéré.

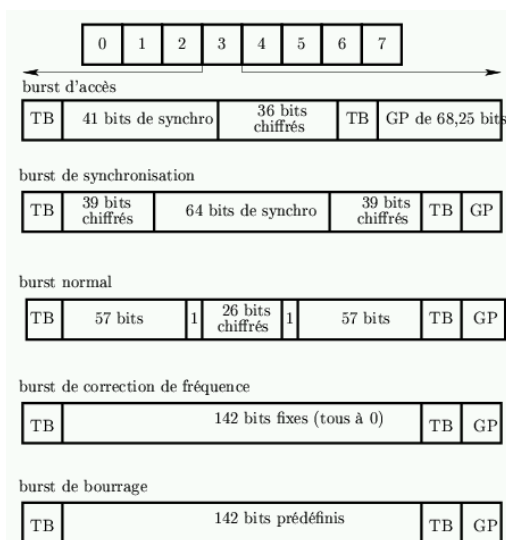
La durée d'un paquet (0, 577 [ms]) correspond à l'émission de 156, 25 bits, dont 114 bits de message ``net". En admettant que les slots se suivent sans interruption, un simple calcul ($\frac{156,25}{0,577 \times 10^{-3}}$) montre que le débit maximum vaut 270 [kb/s]. En pratique, le débit maximum utile (en mode full-rate) ne dépasse pas 13 [kb/s] en raison des bits nécessaires à la correction d'erreurs. Pour la transmission des données, cette limite descend même à 9, 6 [kb/s] en raison de la sur-protection nécessaire à la garantie d'un taux d'erreur acceptable.

La norme définit 5 types de paquets fonctionnels, appelés bursts dans la terminologie GSM:

- Les bursts d'accès qui sont envoyés par les mobiles lorsqu'ils veulent entrer en contact avec le réseau.
- Les bursts de synchronisation qui contiennent les informations sur la localisation et les fréquences utilisées.
- Les bursts normaux qui transportent les messages.
- Les bursts de correction de fréquence.
- Les bursts de bourrage (dummy packet) qui sont placés dans les espaces vides si aucune donnée ne doit être envoyée. Pour être précis, ce burst est composé de 2 salves de 58 bits préfixés interrompus par une séquence d'entraînement de 26 bits.

Tous les types de burst ont une forme semblable. Ils sont composés, dans l'ordre, de:

- bits d'en-tête (tail bit, TB), nécessaires à la synchronisation. Ils correspondent toujours au code 000 sauf pour les bursts d'accès.
- 148 bits utiles dont le format dépend du type de burst.
- bits de fin, aussi appelés tail bit, terminés par une période temporelle de garde requise pour permettre à l'émetteur de réduire sa puissance de 70 [dB]. Elle sert aussi à compenser la durée de transmission qui est variable pour la réception d'un paquet au suivant si le mobile a bougé.



La structure des 5 types de burst est représentée ci contre

Codage des informations

Suivant la nature de l'information à transmettre, les messages d'information n'ont pas la même longueur ni la même protection.

Le codage de source de la parole sert à transformer le signal analogique de parole en un signal numérique. Le but de ce codage est de réduire le débit de façon à minimiser la quantité d'information à transmettre. En effet, dans le système GSM, à la sortie de ce codeur, ne sont transmis que les coefficients des filtres numériques linéaires (long terme

LTP et court terme LPC) et le signal d'excitation (RPE) et non pas le signal de parole initial. L'élément qui effectue ces opérations en émission et en réception est appelé un "codec".

Pour la parole plein débit, les 260 bits en sortie du codeur de source sont repartis en 3 classes suivant leur importance, et le codage de canal n'est appliqué qu'aux classes qui doivent être les plus protégées, c'est-à-dire les deux premières.

Les bits de CRC (Cyclic Redundant Control) sont utilisés pour la détection d'erreurs ; pour la parole, si les 3 bits de CRC indiquent une erreur, toute la trame est rejetée canaux de contrôle, les 40 bits de CRC ont en plus une légère capacité de correction d'erreur.

Les bits de trainée sont utilisés pour vider le registre à décalage du codeur de canal.

Le codage de canal sert à protéger contre les erreurs en introduisant de la redondance. Ceci conduit à une augmentation du débit, mais cette redondance est utilisée en réception pour corriger les erreurs.

Le codage de canal est réalisé par des codes convolutionnels qui, avec l'algorithme de Viterbi, assurent une correction efficace d'erreurs. Le codeur de canal utilise en GSM es de taux 1/2,

Le poinçonnage est un élément facultatif de la chaîne d'émission. Il consiste à supprimer un certain nombre de bits dans le train de bits codes prêts à être entrelacés, Ceci est fait dans le but de faire "rentrer" le train de bits codes dans une boîte du format voulu, 456 bits en l'occurrence pour les données GSM. Tous les bits supplémentaires devront être éliminés. Cependant, si un train de bits a une longueur de $(456 + n)$ bits, il est hors de question de lui enlever les n derniers bits codes : cela supprimerait toute la dernière partie des informations. On enlève donc les n bits régulièrement tout au long du train de bits, et on compte sur la redondance et les performances du récepteur pour corriger les effacements qui ont été ainsi "volontairement" introduits et dont le récepteur connaît l'emplacement.

L'entrelacement est utilisé pour rendre plus aléatoire les positions des erreurs qui arrivent généralement en salves dans le contexte radio du fait des divers obstacles auxquels sont soumis les signaux radios : immeubles, camions, feuillage ...

La technique consiste à mélanger les bits codes avant leur transmission dans un burst pour augmenter les performances de correction des codes correcteurs. En fait l'entrelacement permet de fragmenter les paquets d'erreurs et de les transformer en erreurs "isolées" afin de faciliter leur correction.

Format d'un burst normal

En réalité, il n'y a que 57 bits d'information de part et d'autre de la séquence d'apprentissage : le 58ème bit est utilisé pour indiquer un transfert spécial de signalisation sur le canal logique FACCH.

Dans le cas général, l'entrelacement des 456 bits se fait sur 8 demi-bursts. Il se fait de la manière suivante :

- les 456 bits de chaque bloc sont mélangés suivant un ordre défini par la norme ;
- les 456 bits sont regroupés en 8 groupes de 57 bits ($8 \times 57 = 456$);

chaque groupe est inséré dans une moitié de burst; l'autre moitié du burst est occupée par un autre groupe de 57 bits d'un autre bloc de 456 bits.

CANAUX LOGIQUES

Pour renforcer l'interface radio, qui est le maillon faible de la chaîne de transmission, un certain nombre de fonctions de contrôle ont été mises au point pour que le mobile se rattache à une BTS favorable, pour établir une communication, surveiller son déroulement et assurer les handovers.

Ces fonctions de contrôle engendrent des transferts de données: remontées des mesures, messages de contrôle

Plusieurs canaux logiques ont été ainsi définis pour les différents types de fonction (veille, scrutation, mesures, contrôle) ; ils forment une architecture complexe qu'il est nécessaire de connaître pour comprendre le fonctionnement d'un mobile pendant les différentes phases de communication ou pendant sa veille. Ils n'existent que sur l'interface radio et perdent ensuite toute leur signification sur les autres interfaces du système : Abis, Ater, A,



TCH: Traffic CHannel

SDCCH: Standalone Dedicated Control CHannel

BCCH: Broadcast Control CHannel

Il faut sur l'interface radio : contrôler les paramètres physiques avant et pendant les phases actives de transmission

La voie balise

Chaque BTS d'un réseau radiomobile dispose d'une voie balise.

La voie balise correspond à une fréquence particulière appartenant à l'ensemble des fréquences allouées à la BTS. Sur cette fréquence sont diffusées des informations particulières permettant aux mobiles de détecter la BTS, de se caler en fréquence et en temps et de donner les caractéristiques de la cellule (identité, particularités et autorisation d'accès).

A la mise sous tension, un mobile cherche à se caler sur la voie balise de la BTS la plus favorable autorisée. En état de veille, il surveille constamment le signal reçu sur cette voie et sur les voies balises des BTS du voisinage. Dès que cela est nécessaire, il se cale sur une nouvelle voie et change ainsi de cellule de service.

En communication, un mobile du voisinage de cette BTS mesure périodiquement sur cette voie le niveau de signal qu'il reçoit. Il détermine par cette simple mesure s'il est à portée de la station, et s'il en est proche ou éloigné. Il remonte ensuite ces mesures dans les messages MEASUREMENT REPORT en vue de l'exécution d'un handover.

La voie balise des BTS correspond à :

- une fréquence descendante: fréquence balise sur laquelle les informations sont diffusées à puissance constante pour permettre aux mobiles de faire des mesures de puissances reçues fiables; le contrôle de puissance ne peut donc pas être implanté sur cette voie ;
- et à un ensemble de canaux logiques en diffusion sur cette fréquence balise, généralement sur le slot 0 de la fréquence; FCCH, SCH et BCCH. Le saut de fréquence ne peut donc pas être implanté sur cette voie;

VOIES DUPLEXES DEDIEES A UNE COMMUNICATION

Canal TCH

Le canal TCH est utilisé pour transmettre les informations utilisateurs :

- la parole à 13 kbits/s ("full rate" plein débit), 12,2 kbits/s ("enhanced full rate", commercialisé sous le nom de "Digital Haute Résolution" chez Bouygues Telecom) ou 5,6 kbits/s ("half rate" demi- débit, pas encore utilisé par les opérateurs du fait de sa relativement mauvaise qualité),
- les données jusqu'à un débit utilisateur de 14,4 kbits/s.

Le TCH comprend les FN 0 à 11 et 13 à 24.

Canal SDCCH

SDCCH Stand-alone Dedicated Control CHannel. Canal de signalisation pure, il ne nécessite qu'un débit limité à 800bits.

Le canal SDCCH est utilisé pour les établissements des communications, les émissions/réceptions de messages courts et les mises à jour de localisation. C'est le premier canal dédié alloué au mobile, avant son basculement éventuel sur un canal TCH. Sur ce canal se déroulent toutes les procédures d'authentification, d'identification et de chiffrement.

Le canal SDCCH sert en particulier à l'émission / réception de messages courts (Télémessages) ou à la réception de services personnalisés (abonnement aux services "SCOOP")

chez Bouygues Telecom: sport, news," astrologie, courses, loto,...) lorsque le mobile n'est pas en communication à l'instant de réception.

Canal SACCH

Une liaison radio est fluctuante, il n'est pas possible de dédier un canal à un mobile sans le contrôler en permanence. Il faut constamment ajuster les paramètres pour conserver une qualité de service acceptable. Enfin le réseau doit vérifier que le mobile est toujours actif sur le canal.

Son débit est faible et le délai important (½ seconde). Le canal SACCH est un canal à faible débit: 1 burst d'information toutes les 26 trames.

On y trouve comme informations :

1. Gestion du TA (Temps d'attente entre l'émission théorique et l'émission réelle)
2. Contrôle de puissance d'émission du mobile.
3. Contrôle de la qualité du lien radio.
4. Rapatriement des mesures effectuées sur les stations voisines .

Le SACCH se situe sur la trame FN12 d'une Multitrame26. Il s'agit d'une trame réservée pour la signalisation dédiée.

Il faut 4 Multitrames pour un SACCH complet.

Idle ou état de veille : Il reste une trame par Multitrame26, celle dont le FN est 25. Cette trame n'est pas utilisée pour transmettre des données, mais pour écouter les voies balises de toutes les BTS afin de mesurer la puissance reçue dans le but de choisir la BTS la plus proche. Puisque tous les mobiles d'une cellule ont les mêmes numéros FN, cela signifie que tous seront silencieux en même temps pendant cette durée. Seules les voies balises seront en émission sur la BTS.

Le canal SACCH supporte les informations suivantes :

Dans le sens montant remontée :

- dans l'en-tête de tous les messages, des valeurs actuelles de puissance d'émission du mobile et de son timing advance
- dans le message MEASUREMENT REPORT, des mesures effectuées par le mobile sur le canal courant et sur les BTS voisines

Dans le sens descendant :

- transmission dans les messages SYSTEM INFORMATION :
- dans l'en-tête de tous les messages, des valeurs commandées par la BTS serveuse au mobile de puissance d'émission et de timing advance du mobile
- de l'identité et la zone de localisation de la cellule serveuse
- de la liste des fréquences à scanner (correspondant aux voies balises des BTS voisines)
- des diverses fonctionnalités implémentées sur la cellule serveuse : contrôle de puissance, transmission discontinue et valeur du Radio Link Timeout (RLT) en nombre de trames SACCH.

Multiplexage TCH plein débit SACCH

Le codeur de source de parole plein débit délivre toutes les 20 ms un ensemble de bits qui sont codés sur 8 demi-bursts. De manière temporelle, il faut donc transmettre 4 bursts de parole toutes les 20 ms. Pendant une période de 120 ms, il y a donc 24 bursts de parole à transmettre.

D'autre part, on a vu que le mobile pouvait émettre et recevoir des données toutes les 4,615 ms (un slot déterminé sur une fréquence particulière). Pendant une période de 120 ms, il y a donc 120/4,615 soit 26 bursts d'information à transmettre.

Il reste donc deux slots libres. Un slot est utilisé pour le canal SACCH, l'autre slot est appelé slot idle et cette structure de multiplexage est répétée toutes les 120 ms, c'est-à-dire toutes les 26 trames TDMA (d'où le nom de multitrame à 26).

Multitrame à 26 pour le multiplexage TCH plein débit / SACCH

Le slot idle est utilisé par le mobile non pas pour se reposer mais pour scruter les voies balises voisines que la BTS serveuse lui a indiquées. Pendant ce laps de temps disponible, le mobile tente de décoder le code BSIC diffuse sur le canal SCH du slot 0 des voies balises, puis il renvoie ces informations dans les messages MEASUREMENT REPORT, accompagnées des mesures de puissance effectuées.

Utilisation du slot idle

Le canal SACCH transporte, comme nous l'avons vu, de la signalisation à faible débit. Il ne convient donc pas aux actions qui doivent être faites rapidement comme le handover. En cas d'urgence, on suspend la transmission des informations utilisateurs sur le canal TCH et on utilise la capacité ainsi libérée pour un autre canal, le canal FACCH, pour la transmission de la signalisation rapide. Ce canal est vu comme un vol de capacité du TCH, il n'a pas de structure fixe dans les multitrames puisqu'il intervient ponctuellement, en cas de handover.

Multiplexage SDCCH-SACCH

De même manière que pour le canal TCH, un canal SACCH est alloué conjointement à chaque canal SDCCH, mais la structure de la multitrame est différente puisqu'il s'agit d'une multitrame à 51 trames. Sur la multitrame à 26 étaient multiplexés 1 canal TCH est son canal SACCH associé. Sur cette multitrame à 51 sont multiplexés 8 canaux SDCCH et leurs canaux SACCH associés (une multitrame sur deux),

Multiplexage des canaux non dédiés

Suivant la capacité de la BTS, le PCH et l'AGCH ont des configurations variables. Cependant, tous les canaux logiques non dédiés sont multiplexés sur une multitrame à 51 trames. Celle-ci se trouve sur le slot 0 de la voie balise et parfois, en cas de forte capacité de la BTS, sur les slots 2, 4 et 6 de cette voie.

Dans le cas contraire d'une configuration minimale (faible capacité de la BTS), le multiplexage peut être éventuellement complété par 4 canaux de signalisation dédiés SDCCH et leurs SACCH associés.

FACCH Fast Associated Control CHannel. Le canal SACCH est trop lent (0,5s) pour des ordres urgents tels qu'un handover. Dans ce cas, le FACCH permet de réagir rapidement. Ce canal est construit en volant les ressources du TCH. On remplace dans un burst 57 ou 114 bits de données par des bits d'information urgente. Pour indiquer qu'il s'agit du FACCH et non du TCH, le bit de préemption, collé aux 57 bits de données, passe au niveau logique .

VOIE BALISE, ACCES DESCENDANT DE DIFFUSION :

Ces voies sont toutes placées dans une même Multitrame 51, leurs bursts ne sont pas soumis à la règle du FDMA dynamique, et restent en permanence à la même fréquence.

La puissance émise sur cette fréquence est toujours constante et ne suit pas la règle du FDMA dynamique, même si certains slots sont utilisés comme voies dédiées.

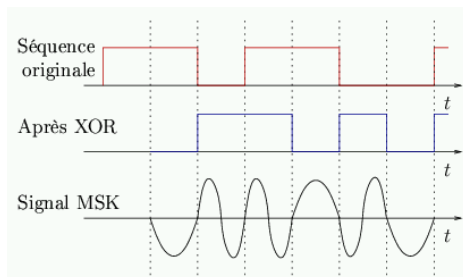
Chaque BTS a sa propre voie balise. Ainsi, tous les mobiles pouvant écouter la voie balise de toutes les BTS proches sont capables de mesurer la puissance émise par chacune des BTS.

Cette mesure permet de décider l'exécution d'un handover

Canal FCCH

Le canal FCCH consiste en un burst très particulier émis environ toutes les 50 ms. Ce burst est composé de 148 bits à "0". Émis sur une fréquence f_0 par la modulation GMSK., il donne une sinusoïde parfaite de fréquence $f_0 + 1625/24$ kHz qui permet au mobile de caler finement son oscillateur. Le canal FCCH est présent uniquement sur le slot 0 de la voie balise (f_0).

En raison de la forte variabilité de l'amplitude des signaux dans un environnement mobile, on préfère recourir à une technique de modulation angulaire pour ce type d'environnement. La technique de modulation utilisée pour porter le signal à haute fréquence est la modulation GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying). Comme le suggère son nom, il s'agit d'une variante d'une modulation MSK appartenant à la famille des modulations de fréquence (FM) numériques. On utilise la GMSK car, en raison de la transition rapide entre 2 fréquences ($f_c - \Delta f$ et $f_c + \Delta f$), la modulation par MSK aurait nécessité une trop large bande de fréquences.



La modulation GMSK consiste en une modulation de fréquence à deux états portant non pas sur la séquence originale mais sur une nouvelle séquence dont le bit n est produit comme le résultat de la fonction du OU exclusif (XOR) entre le bit courant et le bit précédent. Après application du XOR, le signal est filtré. La figure 4 montre la création d'un signal modulé par GMSK.

Au bout du compte, il faut une largeur de 200 [kHz] par fréquence porteuse. Sachant que le débit atteint 270 [kb/s], on atteint un rapport du débit à largeur de bande, appelé efficacité spectrale, proche de 1. Cette valeur est typique pour des environnement mobiles, ce qui signifie que, pour doubler le débit, il n'y a d'autre solution que de doubler la largeur de bande.

Canal SCH Synchronisation Channel.

Le canal SCH fournit aux mobiles tous les éléments nécessaires à une synchronisation complète en temps.

La séquence d'apprentissage est plus longue que dans un burst normal (64 bits au lieu de 26) pour permettre au mobile de faire une analyse fine du canal de transmission.

Les informations diffusées sur le canal SCH sont les suivantes :

- un numéro de trame permettant au mobile de savoir quel canal SCH de la multitrame il a décodé,
- le code BSIC de la BTS dont le rôle est de discriminer plusieurs BTS peu éloignées ayant la même fréquence balise :

Elle occupe les slots 0 des FN 1, 11, 21, 31, 41.

Ce canal diffuse les numéros FN des trames. Elle comporte une séquence d'apprentissage de 64bits au lieu de 26 afin d'augmenter la précision de synchronisation d'un mobile.

Elle diffuse également le numéro BSIC, Base Station Identification Color, qui informe le mobile sur les fréquences utilisées dans la zone couverte par une BSC.

3 bits d'en-tête	39 bits de données	64 bits de séquence d'apprentissage	39 bits de données	3 b de queue	8,25 bits de garde
------------------	--------------------	-------------------------------------	--------------------	--------------	--------------------

Le canal BCCH Broadcast Control Channel

Voie de diffusion des règles d'accès, de mise en fonctionnement. Elle décrit l'organisation des canaux de la cellule dans laquelle se trouve la BTS et des cellules voisines.

- Diffuse les données caractéristiques de la cellule ;
- Diffusion régulières d'informations systèmes de plusieurs types ;
- Contient les règles d'accès à la cellule. Permet au mobile s'il peut se mettre en veille sur la cellule, après une mise sous tension ou après y être entré (Niveau minimal de signal exigé, niveau maximal de puissance autorisé, hystérésis nécessaire pour la re-sélection de cellules (2 dif/seconde) ;
- D'autres informations diffusées chaque seconde, permettent aux mobiles de se mettre en conformité avec l'organisation de la cellule :
- Description de l'organisation des canaux de contrôle commun indique aux MS les slots à écouter pour détecter les appels diffusés.
- La description de l'organisation du canal CBCH permet au MS de recevoir les messages utilisateurs diffusés.
- La description des cellules voisines donne les fréquences des voies balises des cellules voisines.
- La liste des porteuses allouées à la BS est nécessaire au MS lorsqu'il est en communication et que le saut de fréquence est activé.
- De plus, un ensemble de paramètres nécessaire à différentes fonctions liées au déroulement des communications est diffusé : Contrôle de puissance, valeur de hors temp.
- Chaque BS diffuse également son identité complète (CI, Cell Identity) au sein de la zone de localisation.

Le canal BCCH est présent au moins sur le slot 0 de la voie balise et peut parfois aussi se trouver sur les slots 2,4 ou 6 de cette même voie.

VOIE COMMUNE CCCH (COMMON CONTROL CHANNEL)

Les canaux de contrôle commun

Canal RACH Random Acces Channel

Lorsque les mobiles veulent effectuer une opération sur le réseau, quelle qu'elle soit (mise à jour de localisation, envoi de messages courts, appel d'urgence ou normal (entrant ou sortant), ils doivent établir une liaison avec le réseau.

Pour cela, ils envoient vers la BTS une requête très courte codée sur un seul burst.

Cette requête est envoyée sur des slots particuliers en accès aléatoire de type ALOHA discrétisé (émission sans vérification préalable de l'occupation du canal, mais seulement possible à des instants précis).

L'ensemble des slots réservés à cette procédure s'appelle le canal RACH.

Le mobile ne connaît pas à cet instant le délai de propagation entre l'endroit où il se trouve et la BTS. Le délai de garde est de 252 μ s, ce qui permet d'envisager une distance maximale entre la BTS et le mobile d'environ 35 km.

Le burst transmet les informations suivantes :

- type de service demandé (appel entrant, appel sortant, appel d'urgence, mise à jour de localisation, émission de message court),
- un nombre aléatoire utilisé pour discriminer les mobiles en cas de collision qui permet au mobile de repérer si la réponse lui est véritablement destinée.

La séquence d'apprentissage est un peu plus longue que dans les bursts normaux car le mobile n'est pas complètement synchronisé avec la BTS : il ne connaît pas la distance qui les sépare.

Voie montante à accès aléatoire de demande d'appel.

Tout mobile désirant établir une communication fait une requête sur RACH afin qu'un TCH lui soit attribué. Le mobile faisant une requête d'appel ne dispose donc pas encore d'un SACCH.

Ne pouvant être bien synchronisé, la durée de garde a été augmentée, dans le but d'éviter un débordement sur le burst suivant d'un autre mobile sur RACH

8 bits d'en-tête	41 bits de synchronisation	36 bits de données	3 b de queue	68,25 bits de garde
------------------	----------------------------	--------------------	--------------	---------------------

Canal AGCH Acces Grant Channel. Lorsque le réseau reçoit une requête de la part du mobile sur le canal RACH, il décide de lui allouer un canal de signalisation SDCCH afin d'identifier le mobile et déterminer précisément sa demande. L'allocation d'un tel canal dédié se fait sur des slots définis qui forment le canal AGCH.

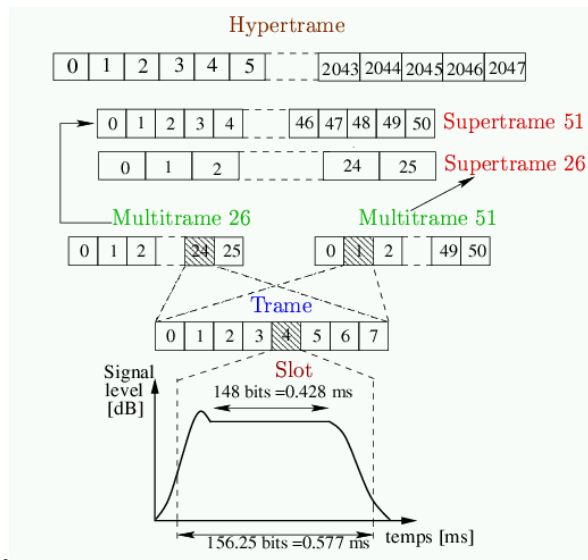
Le burst d'information contient les informations suivantes:

- numéro de slot
- fréquence allouée ou description du saut de fréquence
- valeur du timing advance

Le canal AGCH est présent au moins sur le slot 0 de la voie balise et peut parfois aussi se trouver sur les slots 2,4 ou 6 de cette même voie.

Voie descendante d'allocation de ressource.

Comme il est exclus de transmettre toutes les informations en une fois, il faut découper l'information et la transmettre au moyen de plusieurs trames consécutives. La norme GSM prévoit une organisation spécifique de structure hiérarchique de trames.



Organisation des hyperframe

Les trames sont regroupées comme suit:

1 multiframe de type 26 = 26 trames TDMA élémentaires et 1 multiframe de type 51 = 51 trames TDMA élémentaires,

1 superframe de type 26 = 26 multiframe et 1 superframe de type 51 = 51 multiframe

1 hyperframe = 2048 superframes = 2.715.648 trames.

La structure en trames est à mettre en relation avec la typologie des informations véhiculées.

Canal de signalisation et canaux de trafic

Lors de la mise sous tension d'un téléphone mobile, il commence par scruter les différents canaux dans les bandes GSM afin de déterminer ceux qui sont effectivement des BCCH (par décodage de certains bits).

Ensuite, le téléphone détermine, parmi les BCCH captés, celui dont l'intensité est la plus élevée. En principe, il s'agit du BCCH émis par la BTS la plus proche ou, du moins, celle dont le signal présente la meilleure qualité.

Le téléphone mobile signale alors au réseau qu'il se trouve dans la cellule correspondant à ce BCCH ; ce numéro de cellule est mémorisé dans la base de données du MSC ; lorsque ce téléphone mobile est appelé, le MSC dirige l'appel vers la BTS de cette cellule.

Tant qu'il est allumé (c'est-à-dire en communication ou en veille), le téléphone mobile reste en permanence à l'écoute du BCCH de la cellule. Lorsque le téléphone détecte une détérioration du niveau (ou de la qualité) de la réception du BCCH sur lequel il est « accroché », il se met à l'écoute du BCCH des cellules voisines ; lorsque l'intensité de l'un de ceux-ci est plus élevée, la communication est transférée vers la BTS de la cellule correspondante.

Ce mécanisme est appelé « **handover** » ; il s'effectue aussi bien lorsque le mobile est en veille que lorsqu'il est en communication.

BCCH Allocation List ou BA_List

Une fois qu'il est connecté à un réseau GSM, c'est à dire qu'il est "calé" sur la voie balise (encore appelée "BCCH") de la cellule courante, le mobile ne recherche pas en permanence tous les canaux sur lesquels sont susceptibles de se trouver d'autres fréquences balises avoisinantes exploitables dans la zone où il se trouve : En effet, entre les 124 canaux GSM-P en 900 MHz, mais aussi les 374 canaux GSM en 1800 MHz, le nombre de fréquences à "scanner" serait trop élevé, entraînant une dépense d'énergie conséquente, mais aussi inutile, la quasi-totalité des réseaux ne s'étant vu attribuer qu'une portion réduite du spectre utilisable, correspondant à un nombre limité de fréquences. Ainsi, il revient à la cellule courante de diffuser une liste limitative de canaux, parmi lesquels le mobile devra rechercher et sélectionner en permanence les six à huit (selon les modèles) meilleures cellules candidates, dans le but d'être à même d'en changer si la nécessité s'en fait sentir (rappelons que la resélection de cellule se fait à l'initiative du mobile en veille, et à celle du réseau en communication). C'est cette liste de canaux, diffusée à l'initiative du réseau, que l'on nomme "BA_List" (pour "BCCH allocation list").

Si le mobile se trouve en veille, c'est à travers les SYS_INFO 2, 2bis ou 2ter (en fonction de la ou les bande(s) de fréquences à laquelle/auxquelles appartiennent les canaux considérés) que sera diffusée la BA_List, via le BCCH (Broadcast Control Channel).

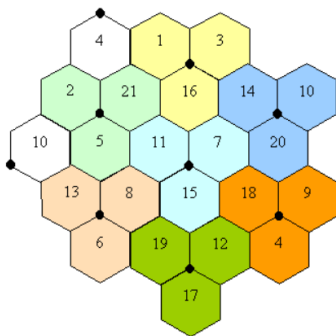
Si le mobile se trouve en communication, les informations relatives à la BA_List seront transmises par les SYS_INFO 5, 5bis ou 5ter à travers le SACCH (Slow Associated Control Channel) associé au canal dédié (SDCCH – canal de signalisation, ou TCH – canal de parole/de data) par lequel le mobile communique avec le réseau.

Dans l'hypothèse où la BA_List ne correspond pas (ou plus) à l'environnement dans lequel évolue un mobile en déplacement (parce-qu'aucun des canaux qu'elle indique ne correspond à une voie balise exploitable dans la zone dans laquelle il se trouve désormais), le mobile est condamné perdre momentanément le réseau s'il sort de la cellule courante :

- En veille, le mobile opère une "resélection critique", c'est à dire qu'il se met à rechercher rapidement une voie balise appartenant au réseau sur lequel il était préalablement connecté en "scannant" tous les canaux disponibles dans la/les bande(s) de fréquence qu'il supporte (mais pendant ce temps, il ne peut émettre ni recevoir d'appels),
- En communication, le mobile perd progressivement le contact avec la station de base, puis, lorsque la liaison est trop dégradée pour permettre un décodage du signal envoyé par la BTS, il retourne à l'état de veille à l'issue d'un délai fixé par un "timer" interne.

En effet, le réseau ne peut initier un handover vers une autre cellule que si cette dernière est reçue par le mobile avec un niveau de champ suffisant, son BCCH étant, en outre, intégralement décodé : Pour ce faire, ladite "cellule candidate" doit avoir été au préalable sélectionnée comme telle par le mobile, ce qui n'est possible que si le n° de canal de sa voie balise correspond à l'un de ceux transmis à travers la BA_List.

Exemple d'application :



Sectorisation

Le motif pris en exemple est un motif à 21 VB en 900 MHz réparties sur 7 sites macrocellulaires trisectorisés (une couleur par site).

Les deux cellules "blanches" – VB 4 et 10 – constituent les deuxièmes cellules adjacentes à la VB 11 du site bleu clair, qui fait office de "cellule de référence" (ré-allocation de fréquences)

Si l'on décide d'introduire dans la BA_List de la VB 11 ses premières et ses deuxièmes cellules adjacentes, et ce, afin de prévoir le « saut » éventuel, par le mobile, de la première cellule adjacente en veille (ou même en communication, dans un cas de saturation ponctuelle, par exemple), on obtient donc une BA_List comprenant 18 canaux en tout (21, 5, 8, 15, 7, 16 pour ce qui est des premières cellules adjacentes et 4, 2, 10, 13, 6, 19, 12, 18, 20, 14, 3, 1 pour ce qui est des secondes cellules adjacentes.

Néanmoins, dans le souci de limiter le nombre total de canaux dans la BA_List, sachant que l'utilisation d'aériens directifs sur des sites à-priori trisectorisés (sans doute la configuration la plus répandue en pratique qui consiste à placer au noeud des cellules trois antennes relais directives) est de mise dans notre modèle, on peut alors décider de ne pas introduire, dans la BA_List de la cellule courante, les trois "secondes cellules adjacentes arrière". Exit, donc, les canaux correspondants (12, 18 et 20 dans notre exemple). Il est vraisemblable que cette "économie" pourra être réalisé dans un nombre non négligeable de cas. De même, l'introduction de quelques stations bi ou monosectorisées dans le motif pourra également permettre, ponctuellement, de réduire la longueur de certaines BA_Lists.

Cependant, plusieurs exceptions à la limitation du nombre de canaux déclarés doivent être envisagées, par exemple dans la situation, fréquente dans les grandes villes, où la propagation est fortement marquée par la présence de réflexions, provoquant un champ élevé dans la direction opposée au lobe principal de l'aérien directif considéré.

Pour être réellement efficace, selon ce modèle, une BA_List urbaine monobande devrait donc, en principe, comporter entre 15 et 18 canaux en moyenne, hors le cas des VB d'éventuelles micro-cellules du voisinage, selon que l'on compte ou non les trois secondes cellules adjacentes arrière.

Dans l'hypothèse où toutes les stations sont bibande, en reprenant un motif à 21 (au moins) pour planifier les VB 1800 MHz, on doit donc avoir 16 à 19 fréquences de plus dans la BA_List (il faut en effet ajouter la cellule 1800 « jumelle » de la cellule 900 prise comme référence).

Cela conduit donc à des BA_Lists urbaines, pour un réseau intégralement bibande, de 31 à 37 canaux en moyenne, lorsque toutes les premières et secondes cellules adjacentes considérées sont 900/1800, hors présence de micro-cellules, en fonction de la déclaration ou non des trois secondes cellules adjacentes arrière dans chaque bande.

Lorsque le réseau est en cours d'équipement bibande, la longueur des BA_Lists devraient donc, en toute logique, comprendre, dans la plupart des cas, entre 16 et 36 canaux en fonction du niveau d'équipement, et si l'on considère qu'un ou plusieurs secteurs de certains sites – y compris celui dont dépend la cellule courante – peuvent ne pas être "passés" immédiatement en bibande.

Si plusieurs micro-cellules ont également été installées dans la zone considérée, les BA_Lists les plus longues susceptibles d'être rencontrées sur des cellules appartenant à une couche macrocellulaire bibande devraient donc pouvoir tourner autour de 37 à 43 canaux, contre 21 à 24 canaux seulement en cas de couche macrocellulaire monobande, si l'on considère que, pour les VB des micro-cellules, majoritairement planifiées en dehors du motif macrocellulaire à 21, la déclaration de 6 fréquences supplémentaires est en moyenne suffisante (sauf dans quelques cas ponctuels, par exemple en présence de micro-cellules indoor elles-mêmes bibande et/ou si la zone considérée est exceptionnellement dense).

Dans les zones urbaines très denses (en prenant exemple sur la vingtaine de micro-cellules Orange présentes dans, ainsi qu'autour de la gare Montparnasse à Paris), on peut en effet penser qu'en moyenne une demi-douzaine de micro-cellules, indoor comme outdoor, dont les voies balise sont exclusivement planifiées sur des fréquences différentes les unes de autres, seront présentes et directement exploitables dans la zone à l'intérieur de laquelle la macro-cellule prise comme référence sera susceptible d'être prioritairement sélectionnée en veille ou en communication.

Dans la pratique, il sera sans doute nécessaire de déclarer également plusieurs secondes cellules adjacentes, voir même un peu plus, dans le cas de sites "parapluie" installés sur des points hauts très dégagés. On pourrait alors, dans certains cas particuliers, se retrouver avec des BA_Lists pouvant comporter jusqu'à 25 canaux environ, notamment sur certaines cellules omnidirectionnelles dont la zone de service recouvre plusieurs séries de cellules "secondaires" dont le rayon d'action est moins important.

Enfin, dans le souci de laisser toute latitude au réseau pour initier des handovers dans les configurations les plus diverses entre cellules partageant tout ou partie de leurs zones de service (en cas de déplacement de la MS, et/ou dans le but d'affiner la gestion de la répartition de la charge du trafic au sein d'une zone déterminée, etc.), il nous paraît souhaitable que les données relatives aux BA_Lists, et diffusées par le SYS_INFO 5/5bis/5ter en communication, soient les plus complètes possibles, et, de ce fait, puissent éventuellement comporter un nombre de canaux supérieur à celui fourni à travers le SYS_INFO 2/2bis/2ter en veille.

Réglage de puissance (Power control)

Le réglage de puissance permet l'utilisation d'une puissance émettrice minimale pour chaque liaison tout en garantissant la qualité de celle-ci. La pile du téléphone mobile est ainsi moins sollicitée, et l'interférence entre les cellules est réduite dans l'ensemble du réseau. Cette fonction est implémentée par défaut sur les téléphones mobiles et, en général, aussi sur la station de base.

Dans ces conditions, la puissance émettrice de la station de base est réglée séparément pour chaque intervalle de temps. La puissance émettrice totale d'une station de base dépend donc non seulement du nombre de communications vocales en cours, mais également du lieu où se trouvent les téléphones mobiles concernés. Dans le cas des stations de base GSM, le BCCH, qui émet à puissance constante, fait exception.

Le Rx level, (niveau de réception) est une mesure quantitative du niveau de champ reçu sur le canal BCCH en veille. Le BCCH, est toujours émis à puissance constante depuis la BTS et il n'est pas soumis au saut de fréquence.

C'est la mesure certainement la plus connue des utilisateurs de mobiles, sa visualisation se fait sur un bargraphe indiquant le niveau de réception du réseau. Pour les mobiles pratiquant le "netmonitoring" (cf. TP Sagem Trace), des chiffres précis donnent l'état de réception de la BTS.

En veille, le mobile mesure le champ, en moyennant les 8 "burst" BCCH, de 2 multi-trame_51 reçu.

En veille, le mobile va non seulement mesurer la BTS sur laquelle il est campé, mais aussi les BTS aux alentours pour pouvoir préparer le cas échéant la sélection d'une autre BTS. Le réseau fournit au mobile la liste des BTS qu'il doit écouter et mesurer dans une "BCCH allocation list"

diffusé sur le canal BCCH de la BTS d'accroche.

Lors d'une communication, le mobile peut effectuer sur demande du réseau, une augmentation ou une diminution de son émission par pas de 2 dBm toutes les 60 ms.

Ce changement sur l'initiative du réseau, résulte d'une lecture des remontées de mesures effectuées par le mobile toute 480 ms sur le canal SACCH (soit toutes les 4 multi_trame26 = 104 trames TDMA) .

Critère C1 :

Le critère C1 est un paramètre vérifiant que la cellule sélectionnée est toujours parfaitement reçue et qu'elle ne subit pas un affaiblissement trop fort par rapport à d'autres cellules avoisinantes.

Pour vérifier cette hypothèse, le critère C1 est composé de 2 parties. Une partie définissant les capacités du mobile et une autre celles de la BTS.

L'équation vérifie la liaison descendante et montante. Ce critère s'écrit comme suit :

$C1 = (RxLev - Rx_Access_Min - MAX(Max_TXPWR_Max_CCH - Max_mobile_RF_Power, 0))$

RxLev : Niveau de champs reçu sur le canal BCCH en veille et en communication sur les canaux TCH, SACCH, SDCCH et FACCH (en dbm)

Rx_Access_Min : Niveau minimum autorisé par la BTS pour que le mobile puisse s'accrocher à elle (en dbm).

Max_TXPWR_Max_CCH : Paramètre fixant la puissance à laquelle le mobile doit émettre lors de l'accès initial à une cellule. Si ce paramètre est supérieur à la classe de puissance du mobile, celui-ci émet à sa puissance maximale (30 dbm pour un 1W, 33 dbm pour un 2W et 39 dbm pour un 8W).

Max. mobile RF Power : Puissance maximal avec laquelle le mobile est capable d'émettre vers la BTS, ce paramètre est défini par la classe du mobile (30 dbm pour un 1W, 33 dbm pour un 2W et 39 dbm pour un 8W).

Exemple d'application :

BTS paramétrée pour des mobiles 2W (33 dBm) avec un Rx_Access_Min de -103 dbm et un mobile 2W affichant un RxLevel de -80 dbm

$C1 = ((-80 \text{ dbm}) - (-103 \text{ dbm})) - \text{Max}((33\text{dbm})-(33\text{dbm}),0)$

$C1 = (23) - \text{Max}(0,0)$

$C1 = 23$

Critère C2 :

Le critère C2, appelé critère de re-sélection est implémenté en phase 2. Il a pour fonction de favoriser ou de défavoriser une cellule candidate à la re-sélection pendant un temps donné.

Lorsqu'il est présent, le critère C2 remplace le critère C1 pour la re-sélection de cellule, le critère C1 fait partie de l'équation du critère C2 :

Si Penalty_Time < 31 (620s) :

$C2 = C1 + (\text{Cell_Reselect_Offset} - (\text{Temporary_Offset} \times \text{Penalty_Time}))$.

Si Penalty_Time = 31 (620s) :

$C2 = C1 - \text{Cell_Reselect_Offset}$.

Cell_Reselect_Offset : Valeur de l'offset permanent ajouté à C1.

Temporary_Offset : Offset temporaire servant à défavoriser une cellule le temps du Penalty_Time.

Penalty_Time : Durée pendant laquelle le Temporary_Offset va être appliqué.

Le but du Penalty_Time, est de pouvoir défavoriser une cellule par rapport à une autre, afin d'éviter que le mobile ne la sélectionne alors que sa vitesse de déplacement va faire qu'il va effectuer une re-sélection dans un court laps de temps. Il est souvent utilisé sur des micro-cellules pour que seul les mobiles statiques ou à faibles vitesses les sélectionnent. Un mobile se déplaçant à vive allure engendrerait deux "Hand Over" lors d'une communication alors qu'ils pourraient être évités.

Un autre critère joue sur la re-sélection de cellules aussi bien avec les critères C1 que C2, c'est le Cell_Reselect_Hysteresis. Son but est d'éviter les effets "Ping-pong" entre deux cellules n'appartenant pas à la même zone de localisation. Si en veille la bascule entre deux cellules d'une même zone n'a aucune incidence sur le réseau, en revanche elle produit des échanges de signalisation entre le réseau et le mobile entre deux zones différentes.

Le Cell_Reselect_Hysteresis va artificiellement déplacer la frontière entre deux cellules. Au lieu d'être centrée entre les deux dans le cas classique, la frontière va se trouver à l'extrême limite de la cellule courante. Ce procédé garantit un faible taux de re-sélection de la cellule précédente,

évitant ainsi un trafic inutile; Mais c'est au détriment de l'optimisation de la re-sélection, car la bascule va se produire alors que le Rxlev aura déjà bien chuté. Le

Cell_Reselect_Hysteresis n'existe que pour la re-sélection de cellules en veille, car lors d'une communication il y a de toute façon des échanges de signalisations à chaque changement de cellules, qu'elles soit dans la même zone ou non.

La cellule courante va se voir attribuer un critère C1 et C2 augmenté de la valeur du Cell_Reselect_Hysteresis, de 2 à 14 dbm supplémentaire par pas de 2dbm. Dans le cadre de la re-sélection classique d'une cellule par un mobile, la bascule ne peut se faire que toutes les 5 secondes au minimum, avec deux cellules de zones différentes venant d'être re-sélectionné par le mobile, le temps d'attente avant re-sélection vers l'ancienne cellule est portée à 15 secondes mais reste à 5 secondes pour les cellules de la même zone.

Saut de fréquence (Slow frequency hopping)

A chaque nouvel intervalle de temps GSM, l'émetteur et le récepteur passent sur un(e) autre des canaux (fréquences) à disposition. Ainsi, dans le cas de la propagation à plusieurs voies, la liaison est moins sensible aux perturbations. Le nombre de fréquences utilisées de la sorte peut être plus élevé que dans le cas d'un système sans sauts de fréquences de même puissance d'émission. Pour l'extrapolation au mode d'exploitation déterminant, ce n'est toutefois pas le nombre de canaux effectivement utilisés qui est décisif dans le cas des systèmes à sauts de fréquences, mais le nombre de canaux pouvant être actifs en même temps.

Transmission discontinue (Discontinuous transmission) : Mode DTX

Lorsque cette fonction est enclenchée, le système vérifie, en permanence, s'il existe un signal de communication vocale. Le taux de transfert de données est réduit en cas de silence de l'interlocuteur, économisant ainsi la capacité de la pile. A la place du signal vocal, un bruit de fond synthétique (comfort noise) est introduit afin que le partenaire n'ait pas l'impression que la conversation est interrompue. Il est possible d'installer cette fonction dans les deux directions de transfert (uplink et downlink).

Evolutions

Afin de répondre à la demande en débits de transmission nettement plus élevés que les 9,6 kBit/s proposés à l'origine par le GSM, le système a été fondamentalement étendu. Le principe des nouvelles fonctionnalités **HSCSD** (High Speed Circuit Switched Data) et GPRS (General Packet

Radio Service) est le groupage du canal : plusieurs intervalles de temps sont attribués à une communication particulière. De cette façon, le débit de transmission des données d'un usager particulier peut être largement augmenté.

Outre le groupage du canal, de nouveaux codages du canal (protection de l'interface radio), et avec EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution), même un nouveau type de possible sur l'interface radio peut être adapté de façon optimale aux conditions de transmission du moment

(perturbations, distance entre station de base et téléphone portable, etc.).

Le groupage du canal en uplink, c'est-à-dire l'occupation simultanée de plusieurs intervalles de temps par l'utilisateur, augmente la puissance d'émission moyenne du téléphone portable pendant une liaison.

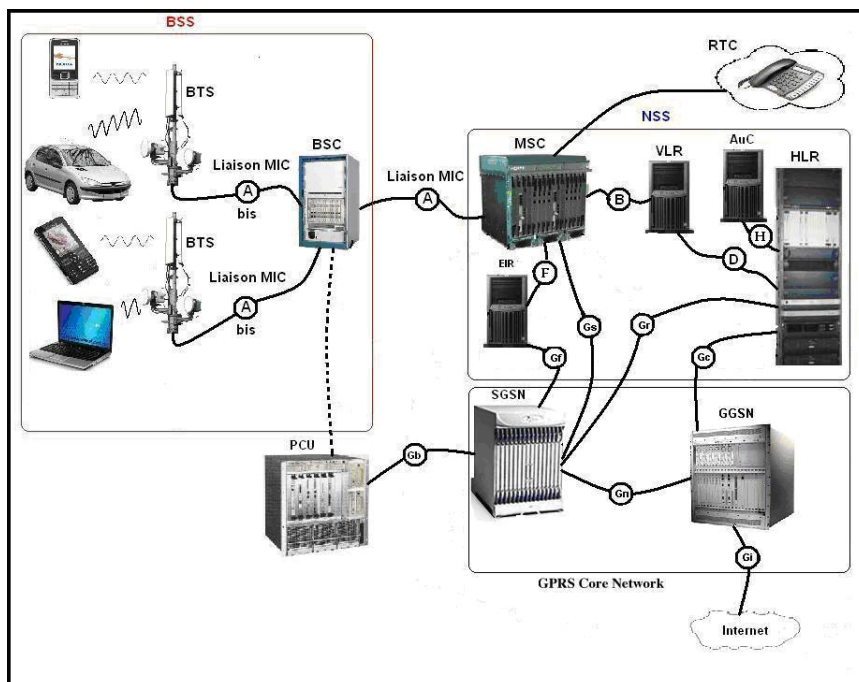
HSCSD (High Speed Circuit Switched Data)

Comme son nom l'indique, le HSCSD est un service de transmission de données par ligne commutée. Il permet à un seul usager d'occuper jusqu'à quatre intervalles de temps d'une porteuse. Vu que le débit net de données par intervalle de temps s'élève à 9,6 kBit/s ou à 14,4 kBit/s – selon le codage du canal –, les usagers peuvent disposer d'un débit allant jusqu'à 57,6 kBit/s.

Ce service de données est relativement simple à installer dans les réseaux GSM existants, car l'actuel réseau GSM central est déjà préparé pour recevoir des services de transmission de données par des lignes commutées fonctionnant à un débit de 64 kBit/s.

Les usagers ont toutefois besoin de nouveaux téléphones portables ou de nouvelles cartes enfichables par ordinateur.

GPRS (General Packet Radio Service) : Evolution du GSM



Le GPRS ne constitue pas à lui tout seul un réseau mobile à part entière, mais une couche supplémentaire rajoutée à un réseau GSM existant.

Il peut donc être installé sans aucune licence supplémentaire. Ceci signifie que tous les opérateurs qui disposent d'une licence GSM peuvent faire évoluer leur réseau vers le GPRS. L'ART n'a d'ailleurs pas fait d'appel d'offre pour le GPRS alors qu'elle en a fait pour l'UMTS.

De plus, le GPRS utilise les bandes de fréquences attribuées au GSM. C'est à dire une bande dans les 900 MHz, une autre dans les 1800 MHz et enfin une troisième pour les USA, dans les 1900 MHz.

Les opérateurs GSM actuels ont de fait un quasi monopole sur le GPRS, ce qui n'est pas le cas pour l'UMTS.

Le GPRS, appelé aussi GSM 2+, repose sur la transmission en mode paquet.

Ce principe déjà, retenu par exemple pour le protocole X.25, permet d'affecter à d'autres communications les "temps morts" d'une première communication (attente d'une réponse à une requête Internet par exemple).

Conçu pour réutiliser au maximum les infrastructures GSM existantes, le déploiement du GPRS nécessite la mise en place d'une infrastructure réseau basée sur la commutation de paquets et l'introduction de passerelles pour s'adosser aux réseaux GSM existants.

Cette technologie, capable de fournir des débits par utilisateur allant jusqu'à 115 kb/s (contre 9,6 kb/s pour le GSM), offre des fonctionnalités intéressantes :

- plusieurs canaux peuvent être alloués à un utilisateur ;
- ces mêmes utilisateurs peuvent partager un même canal ;
- le débit est indépendant des liens montant et descendant.

Les débits réels envisagés seraient dans un premier temps de l'ordre de quelques dizaines de kb/s.

Théoriquement, le service de transmission de données par paquets GPRS permet d'atteindre des débits allant jusqu'à 171,2 kBit/s, mais cela exige des conditions de propagation optimales. Or, les débits de transmission prévus dans les réseaux réels se situent – du moins au début – bien en dessous de cette limite supérieure théorique. Au lieu qu'un canal soit mis exclusivement à la disposition d'un usager pour toute la durée d'une communication, le GPRS permet de ne solliciter la capacité du canal radio que lorsqu'il y a réellement des données à transmettre. L'efficacité du

spectre du système s'en trouve accrue, car la capacité du réseau est disponible au même moment et en tout temps pour tous les utilisateurs. Par ailleurs, de nouveaux modèles de calcul des taxes peuvent être introduits. Un usager a par exemple la possibilité d'être relié en permanence à un serveur de manière logique (always-on), tout en ne payant que les données qui lui ont été physiquement transmises (taxe au volume). Conséquence : les établissements et libérations prolongés de liaison sont supprimés.

Ce principe du "always-on" rendu possible grâce au GPRS permet d'étendre le GSM à l'internet mobile.

Services / Possibilités / Limitations

Alors que le GSM version WAP s'arrête à la consultation des pages Internet, le GPRS permet d'élargir l'offre de services.

Outre l'accès à Internet (ou Intranet), à partir des mobiles traditionnels, il permet un meilleur accès aux e-mails comportant des fichiers joints.

Le mobile, dans ce cas, est considéré comme un modem, et doit être associé à un ordinateur portable ou un assistant personnel.

Le troisième domaine concerne les applications professionnelles de transfert de données et de sécurité.

La connexion ouverte en permanence du GPRS et le mode de taxation offrent à ceux qui font de la télémaintenance, de la télésurveillance et de la téléalarme, des opportunités intéressantes. On trouvera donc la norme GPRS dans les horodateurs, dans les ascenseurs (télésurveillance), dans les distributeurs de boissons ou de billet (vente, télésurveillance, gestion des stocks, réactualisation des prix), pour surveiller les sites industriels ainsi que les locaux professionnels et privés.

Aujourd'hui, le débit d'un réseau GSM standard en mode "connecté" ne dépasse pas 9,6 kbit/s, voire 14,4 kbit/s par implantation de logiciels spécifiques. Il est cinq fois moins rapide que celui du réseau filaire standard, qui autorise 56 kbit/s avec un modem V90.

Avec le GPRS, on dispose d'un débit compris entre 40 et 115 kbit/s. Tout dépend du nombre de canaux virtuels ou "time slots" utilisés, et du schéma de codage. Ce dernier agit sur la compression des données comme un multiplicateur de débit.

Trois types de terminaux ont été définis pour répondre aux besoins du GPRS : le modèle de base (classe B) est prévu pour la voix et les données en mode non simultané. Le modèle professionnel ou industriel (classe C) est data exclusivement (le terminal est utilisé comme un modem). Enfin le haut de gamme (classe A) est compatible voix/data simultanément.

Fonctionnement et caractéristiques techniques

Le premier avantage du GPRS est de permettre une meilleure utilisation des ressources radio et techniques. Alors que le GSM actuel fonctionne en mode "connecté", appelé également mode "circuit", le GPRS utilise pour sa part le mode de connexion virtuel. En mode "virtuel", les ressources sont partagées. Le canal de transmission n'est jamais affecté à un utilisateur unique, mais partagé entre un certain nombre d'utilisateurs.

Chaque utilisateur en dispose lorsqu'il en a besoin et uniquement dans ce cas. Le reste du temps elles sont disponibles.

Le mode "connecté" quant à lui correspond au fonctionnement d'une ligne GSM ou encore d'une ligne téléphonique standard. Il consiste à établir un lien physique entre deux points ou deux correspondants. Une fois le numéro d'appel composé, un circuit est affecté en permanence à la communication, sans aucun partage avec les autres clients.

Ce mode de fonctionnement qui ne tient pas compte des périodes de silence, lorsque aucune donnée n'est transmise, n'optimise pas au mieux les ressources radio.

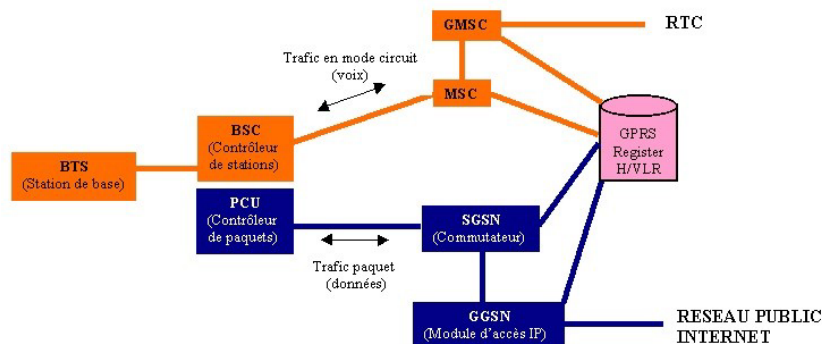
De plus ce mode de fonctionnement entraîne une facturation à la durée. Chaque communication est comptée (et facturée) du décroché, jusqu'au raccroché. Le mode d'allocation dynamique des ressources présente donc également l'avantage de permettre une facturation calculée à partir du volume des informations (paquets) échangées et non plus à partir de la durée de la communication.

Lors d'une session de consultation sur Internet par exemple, seul le volume des données échangées sert pour l'élaboration de la facture et la durée de la communication n'intervient pas. Ceci revient à dire que l'utilisateur peut consulter les pages reçues sans coût supplémentaire. Précisons que ce mode de tarification, qui s'apparente à celui du réseau Transpac, n'est pas proposé sur le réseau public commuté.

Le GPRS met en évidence le rôle plus important du gestionnaire de réseau. Dans une infrastructure GSM le rôle du gestionnaire se résume à affecter des ressources physiques au début de chaque communication. Avec le GPRS, son rôle est plus important. Il consiste à allouer en temps réel des ressources physiques (mémoires et circuits électroniques), à gérer les ressources radio, et à les affecter en fonction de la demande.

L'implantation du GPRS peut être effectuée sur un réseau GSM existant. Les stations de base ne subissent aucune modification si ce n'est l'adjonction d'un logiciel spécifique, qui peut être installé par téléchargement.

Plus en amont, le contrôleur de stations de base doit être doublé par un contrôleur de paquets (PCU pour Paquets Controller Unit). Vient ensuite, la chaîne destinée aux données par paquets, constituée du commutateur (SGSN) ou Switch spécifique GPRS, équivalent du Mobile Switch Controller (MSC), contrôleur qui a pour fonction de vérifier l'enregistrement des abonnés, de les authentifier et d'autoriser les communications, et du module d'accès (GGSN) au monde IP (Internet ou Intranet).



Structure d'un réseau GPRS

GGSN : Gateway GPRS Support Node ou Routeur IP s'interfaçant avec les autres réseaux.

Le GGSN est la fonctionnalité d'interconnexion dans le centre de communication (MSC), qui permet de communiquer avec les autres réseaux de données par paquets extérieurs au réseau GSM. Le GGSN masque au réseau de données les spécificités du GPRS. Il gère la taxation des abonnés du service, et doit supporter le protocole utilisé sur le réseau de données avec lequel il est interconnecté. Les protocoles de données supportés en standard par un GGSN sont IPv6, CLNP et X25.

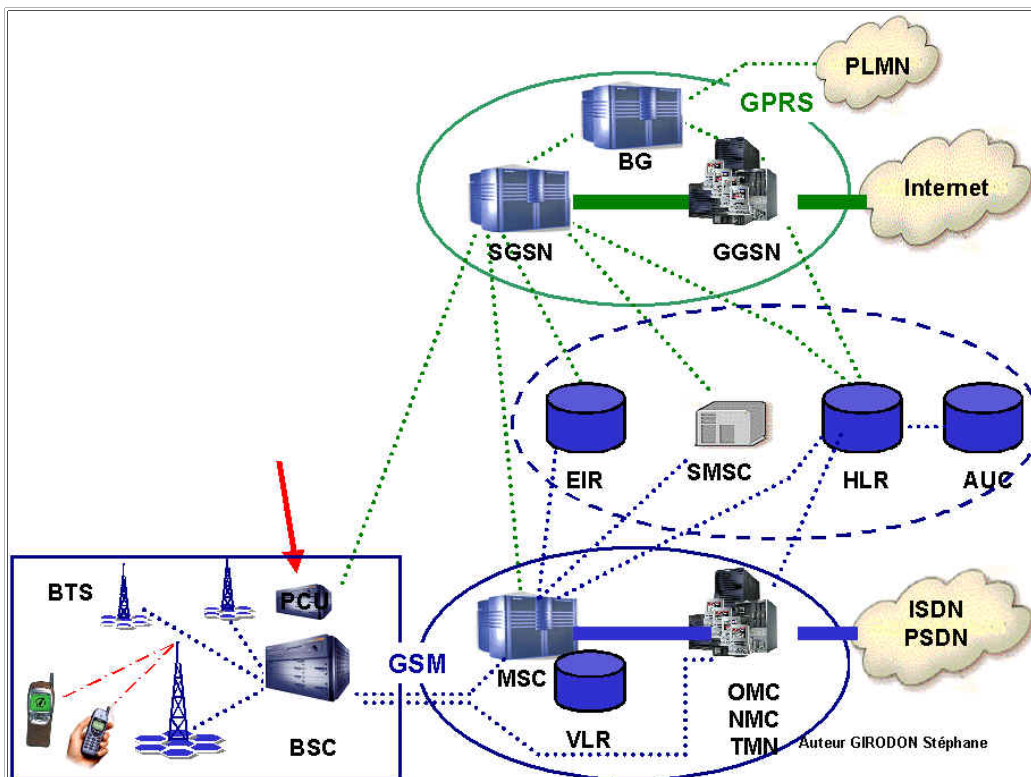
SGSN : Serving GPRS Support Node ou Routeur IP gérant les terminaux pour une zone.

Le **SGSN** (Serving GPRS Support Node) est la fonctionnalité du service dans le centre de commutation (MSC), qui permet de gérer les services offerts à l'utilisateur. Le SGSN est l'interface logique entre l'abonné GSM et un réseau de données externe. Ses missions principales sont, d'une part la gestion des abonnés mobiles actifs (mise à jour permanente des références d'un abonné et des services utilisés) et d'autre part le relais des paquets de données. Quand un paquet de données arrive d'un réseau PDN (Packet Data Network) externe au réseau GSM, le GGSN reçoit ce paquet et le transfère au SGSN qui le retransmet vers la station mobile. Pour les paquets sortants, c'est le SGSN qui les transmet vers le GGSN.

Ces modifications mineures de l'infrastructure soulèvent deux remarques :

- La première est que, comme nous l'avons déjà signalé, sans licence GSM (ce qui revient à dire sans réseau GSM), il n'est pas possible d'installer un réseau GPRS.
- La deuxième remarque concerne l'UMTS, le réseau de troisième génération qui suivra le GPRS. Il pourra réutiliser une partie du réseau GSM, notamment la partie qui permet l'accès au monde IP.

Structure du réseau GSM - GPRS



Un réseau GPRS est en premier lieu un réseau IP. Le réseau est donc constitué de routeurs IP.

L'introduction de la mobilité nécessite par ailleurs la précision de deux nouvelles entités :

- Le noeud de service - le SGSN.
- Le noeud de passerelle - le GGSN. Une troisième entité - le BG joue un rôle supplémentaire de sécurité.

Le réseau GPRS vient ajouter un certain nombre de "modules" sur le réseau GSM sans changer le réseau existant. Ainsi sont conservés l'ensemble des modules de l'architecture GSM, nous verrons par ailleurs que certains modules GSM seront utilisés pour le fonctionnement du réseau GPRS.

La mise en place d'un réseau GPRS va permettre à un opérateur de proposer de nouveaux services de type "Data" à ses clients.

Le GPRS est en mode paquets.

Cela conduira à un réseau au coût plus élevé, onéreux en infrastructures.

Par conséquent, l'UMTS se développe dans un premier temps, dans des îlots de couverture (milieu urbain, centres d'affaires, etc.) et se généralisera par un déploiement progressif, permettant des investissements incrémentaux.

La 3ème génération s'appuie donc sur la 2ème génération pour la couverture globale.

L'objectif est d'obtenir une couverture maximale, telle qu'en tous lieux, les services UMTS soient accessibles à haut débit dans les îlots UMTS ou en mode dégradé lors mode GSM prend le relais.

Cela implique une interopérabilité maximale avec le GSM, de façon transparente, et des terminaux multimodes GSM/UMTS pour passer d'îlots en îlots tout en respectant une certaine continuité de service.

La norme GSM évolue actuellement à la fois pour accroître le débit binaire et pour introduire de nouveaux modes (GPRS). Mais pour le futur réseau UMTS, l'interface radio terrestre reposera sur une nouvelle interface radio - **UTRA** (UMTS Terrestrial Radio Access) distincte de celle du système GSM.

Une décision de compromis a été prise par l'ETSI (Institut Européen de Normalisation des Télécommunications) :

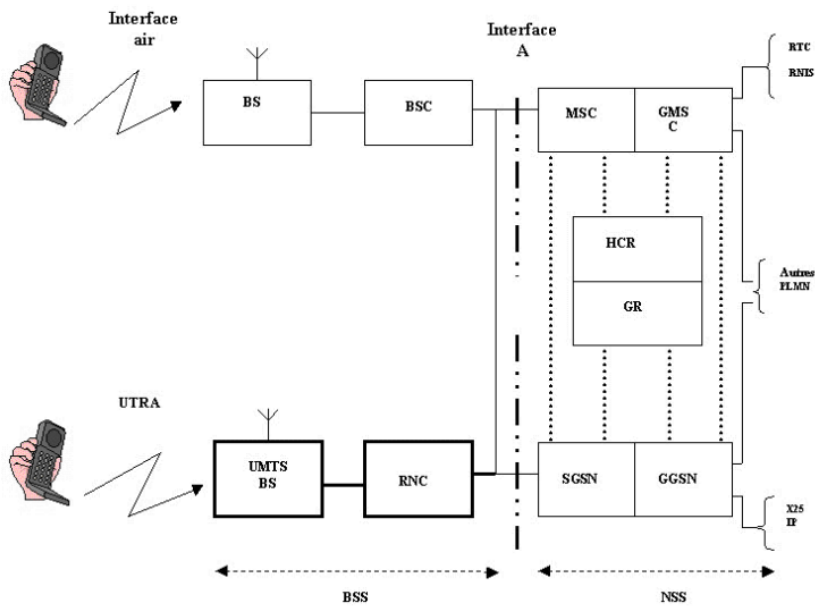
- Le protocole WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access) a été choisi pour les bandes de fréquences appariées ;
- Le protocole TD/CDMA (Time Division/Code Division Multiple Access) a été retenu pour les bandes de fréquences non appariées (applications à faible portée, téléphone sans cordon, débits fortement asymétriques).

Le débit de l'interface dépend de l'environnement d'utilisation :

- Dans une zone rurale : au moins 144 kbit/s, l'objectif étant de 384 kbit/s ;
- Dans un espace urbain : au moins 384 kbit/s, l'objectif étant de 512 kbit/s ;
- Dans un immeuble : au moins 2 Mbit/s.

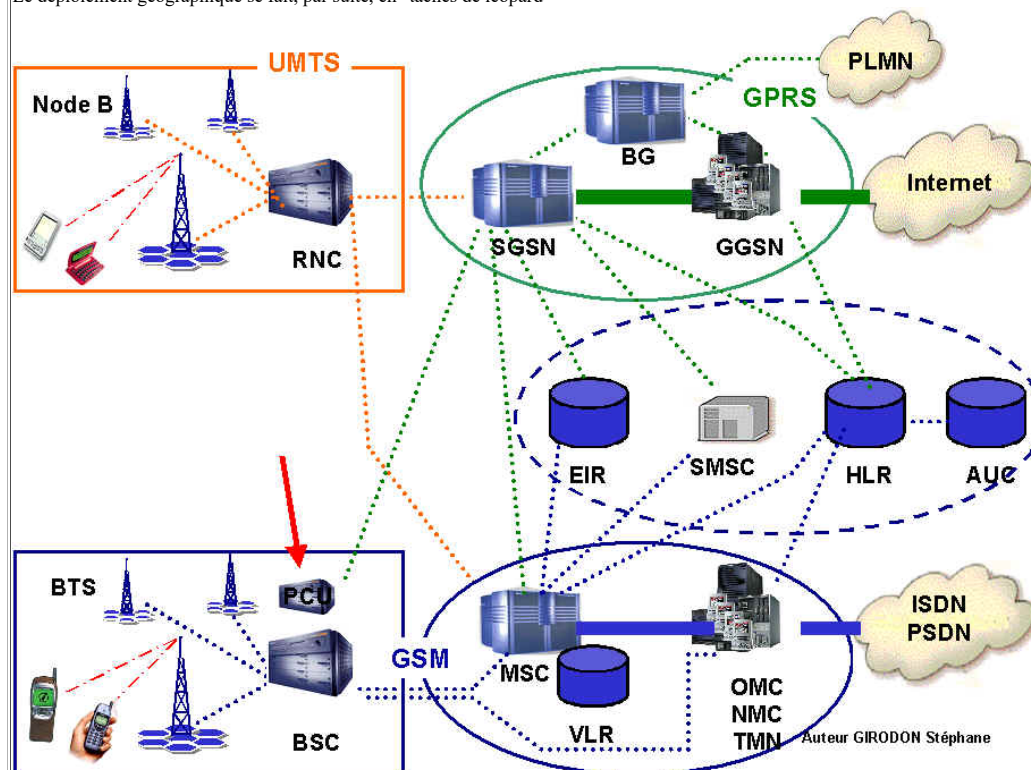
L'interface UTRA doit offrir une négociation des attributs de services (type de support, débit, taux d'erreur, délai de transmission de bout en bout, etc.), des supports de services orientés circuits et paquets, la gestion de priorité sur l'interface radio, l'adaptation de la liaison à la qualité et à la charge du réseau.

L'interface UTRA doit offrir un hand-over sans coupure du réseau d'un opérateur UMTS vers celui d'un autre opérateur UMTS, mais aussi vers un réseau GSM de la seconde génération.



Architecture réseau GSM + GPRS + UMTS

L'introduction de l'UMTS est possible en gardant le même réseau - et la même gestion globale (exploitation, mobilité, facturation). Il faut néanmoins installer de nouvelles BS. Le déploiement géographique se fait, par suite, en "taches de léopard"



Auteur GIRODON Stéphane

Topologie du réseau

La partie radio du réseau Radio Access Network appelée « eUTRAN » est simplifiée par l'intégration dans les stations de base « eNode B » des fonctions de contrôle qui étaient implémentées dans les RNC (Radio Network Controller) des réseaux UMTS. Pour remplacer la fonction d'interconnexion des RNC, des liens directs entre les eNode B (appelés X2) sont utilisés.

Le RAN d'un réseau LTE se limite donc aux eNode B, aux antennes et aux liaisons en fibres optiques vers les antennes distantes (liens CPRI) et celles reliant les eNode B entre eux et avec le cœur de réseau (réseau de backhaul).

Le cœur de réseau appelé « EPC » (Evolved Packet Core) ou « SAE » (System Architecture Evolution), est bâti sur des technologies « full IP », c'est-à-dire utilisant uniquement les protocoles internet pour la signalisation, le transport de la voix et des données.

Dans le cas d'une cohabitation avec un réseau UMTS, le LTE nécessite une couverture radio et des fréquences hertziennes spécifiques et des antennes relais le plus souvent dédiées (antennes MIMO) qui peuvent être colocalisées avec celles d'un réseau UMTS

Technologie UMA : Accès mobile « sans licence »

Introduction :

Développée au début des années 2000, la technologie UMA (Unlicensed Mobile Access) permet au téléphone mobile de devenir un terminal unique pour établir des communications sur les réseaux fixes et mobiles.

Elle permet d'utiliser la connexion Internet haut débit sans fil pour la navigation mobile, les e-mails, les MMS, les SMS et tous les services mobiles utilisant une connexion réseau.

Le terme UMA ou Unlicensed Mobile Access (Accès mobile « sans licence ») vient du fait que grâce à cette technologie, un mobile peut se relier à un point d'accès IP sans fil ne nécessitant pas de licence, autrement dit un point d'accès WiFi ou Bluetooth.

En effet, sous la couverture d'un hotspot chez lui ou au bureau, l'utilisateur se situe dans une zone appelée « zone privée ».

A travers la technologie UMA, l'abonné mobile pourra utiliser le réseau IP « filaire » à l'intérieur de ces zones privées.

Partout ailleurs, le mobile sera connecté via son réseau mobile (2G ou 3G).

L'UMA est devenue en avril 2005, une part du 3GPP sous le nom de GAAI (Generic Access to A/GB Interface).

Pour avoir accès à cette technologie, le terminal doit être bi mode : 2G/3G et WiFi/Bluetooth. Ensuite, ils doivent être raccordés à une connexion Internet large bande supérieure à 128 kbit/s qui est le débit nécessaire pour transporter de la voix sur IP.

Objectifs :

Pour l'utilisateur

- Permettre d'utiliser des services mobiles voix et data (y compris SMS et MMS) par l'intermédiaire de réseaux sans fil (wireless).
- Permettre aux utilisateurs d'avoir la même identité sur les réseaux GSM ou wireless.
- Permettre la transition sans coupure entre des réseaux GSM et des réseaux wireless.
- Être indépendant de la technique sans fil utilisée (Wi-Fi, Bluetooth)

Pour l'opérateur

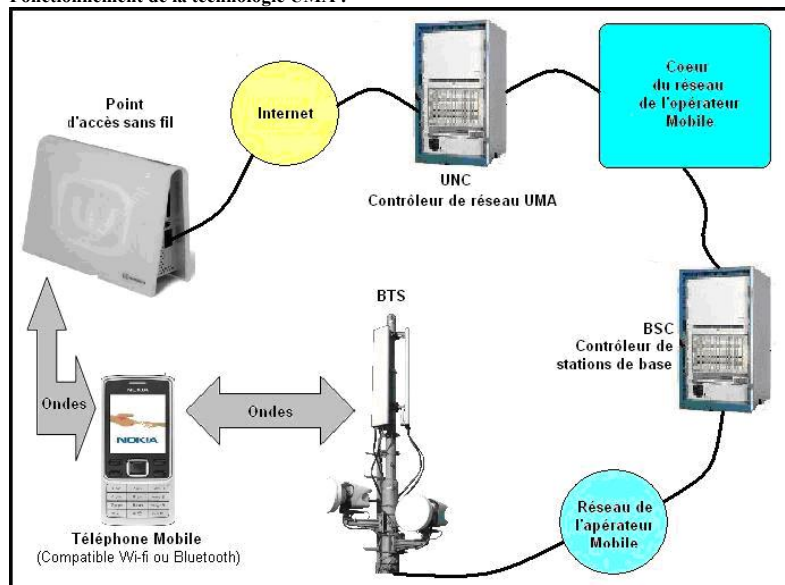
- Couvrir les zones de cécité du réseau GSM (intérieur de bâtiment, souterrain, ...) à moindre coût.
- Continuer d'utiliser les mêmes équipements, et les mêmes méthodes d'authentification et de facturation que dans un réseau GSM.
- Fidéliser ses consommateurs.

La technologie UMA convertit la commutation de circuits du GSM en commutation par paquets IP (et réciproquement) dans le cas du GSM. Dans le cas du GPRS ou de la 3G, la technologie UMA associe simplement les paquets IP entre les réseaux filaires au réseau radio personnel (en Wi-Fi ou en Bluetooth, par exemple).

L'UMA est une technologie qui a pour but de remplacer la couche physique des réseaux 2G et 3G par des bandes de fréquences libre d'utilisation (celles des 2,4GHz).

Elle a été développée par un consortium d'entreprise nommé UMAC composé d'Alcatel, Cingular, Ericsson, Motorola, Nokia, Nortel, Siemens, T-Mobile.

Fonctionnement de la technologie UMA :



Tout d'abord, nous avons besoin d'un appareil mobile intégrant la technologie UMA, d'un opérateur prenant en charge cette technologie et d'une connexion haut débit Internet à laquelle nous pouvons accéder avec le WLAN.

Le concept UMA consiste à prolonger les services mobiles 2G/3G dans les réseaux sans fils IP libres d'accès (WiFi/Bluetooth) en créant un tunnel entre le client et le cœur du réseau de l'opérateur.

La réalisation de cette technologie implique plusieurs contraintes.

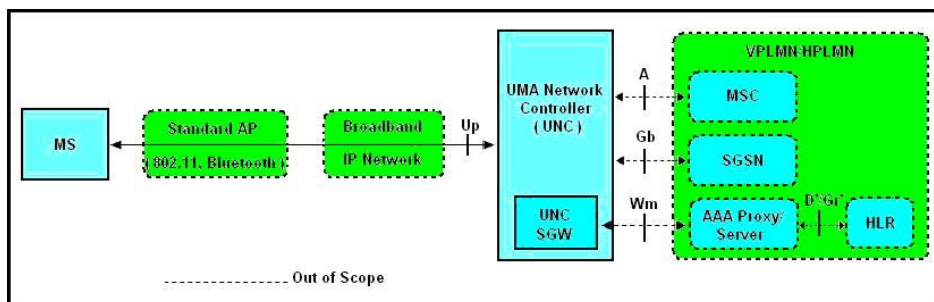
En effet, elle devra permettre à l'utilisateur d'utiliser les services mobiles voix et données par l'intermédiaire de réseaux privés en conservant le même numéro de téléphone.

Elle pourra également basculer les communications (handover) lors du passage d'un réseau privé à un réseau mobile et vice-versa sans coupure et de manière transparente pour l'utilisateur.

Elle devra, enfin, assurer une sécurité équivalente aux réseaux mobile à travers par exemple des procédures d'authentification et de chiffrement.

Voici donc le schéma de principe de l'UMA décrit sur la figure suivante qui nous montre bien le **tunnel IP** réalisé entre le point d'accès et l'UNC (UMA Network Controller).

Architecture fonctionnelle de l'UMA : La figure suivante illustre l'architecture fonctionnelle fournie dans la norme 3GPP.



On constate sur la figure que l'architecture est composée de quatre éléments de base :

- Un mobile bi-mode (GSM et WiFi) qui est capable de se connecter sur les deux réseaux ;
- Un point d'accès IP (hotspot WiFi) qui permet le lien radio entre le mobile et l'UNC (UMA Network Controller) ;
- Une connexion Internet large bande (> 128 kbps) qui établit la connectivité entre le point d'accès et l'UNC ;
- Un UNC placé chez l'opérateur mobile :

L'UNC est l'équivalent du BSC en GSM ou encore le RNC en UMTS. Il inclut également le « Security Gateway » qui permettra la sécurisation et l'authentification de l'accès à distance grâce au chiffrement par exemple. L

L'UNC est relié à un MSC et à un SGSN via les interfaces A et Gb.

Il utilise l'interface Up pour être relié au mobile. Les fonctions supportées par l'UNC incluent :

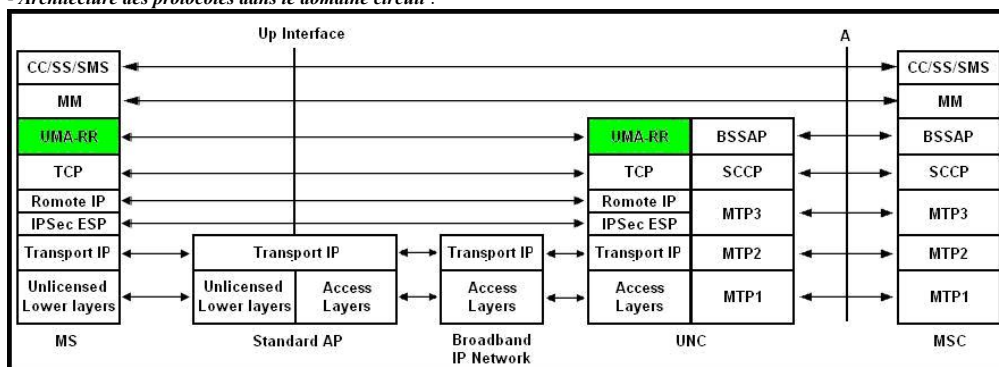
- La transmission de la signalisation du GERAN et de la MS dans le plan de contrôle vers le Core Network via les interfaces ;
- La transmission de la voix entre l'interface Up et l'interface A dans le plan usager ;
- La transformation des canaux de transport de données de l'interface Up en flux de paquets pour les transmettre au SGSN via l'interface Gb dans le plan usager.

Interface Up :

L'interface Up est l'interface entre l'UNC et la station mobile. Elle fonctionne sur un réseau de transport IP et transmet la signalisation du réseau mobile entre le réseau coeur et le mobile.

Nous allons donc d'écrire les modifications dans l'architecture des protocoles apportées par l'UMA et son interface Up dans les domaines Circuits et Paquets.

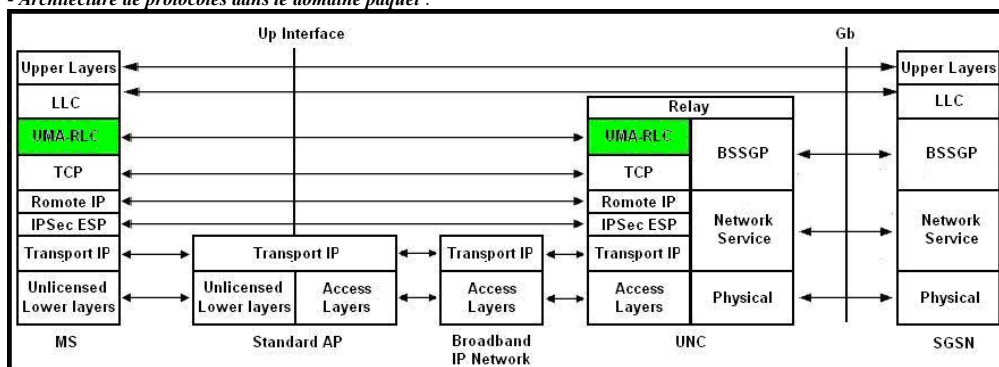
- Architecture des protocoles dans le domaine circuit :



On remarque sur la figure que l'UMA intervient entre la couche TCP et la couche MM, cela implique donc la mise en place d'un logiciel UMA dans le mobile. Le protocole UMA-RR est l'équivalent du protocole GSM-RR pour la partie voix, il gère la ressource radio : établissement, maintenance et libération des canaux.

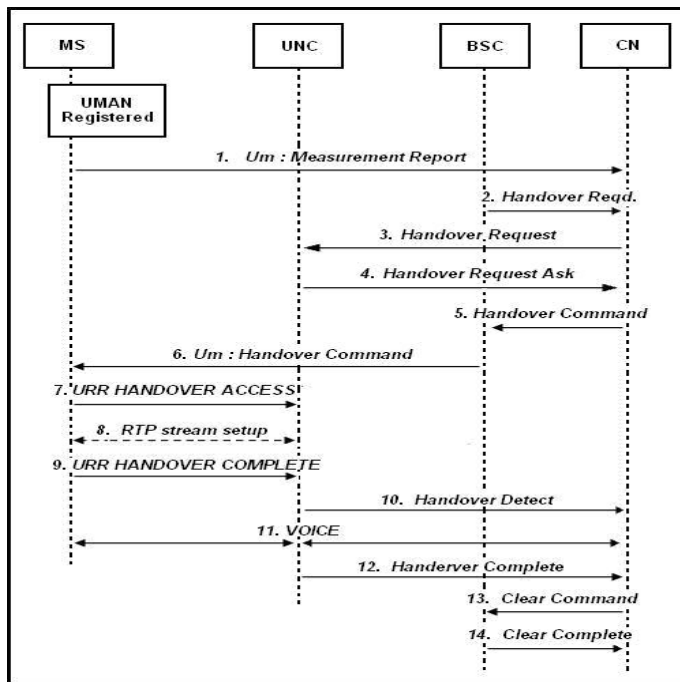
Les messages UMA-RR sont transparents pour le point d'accès. Comme en GSM, ils transitent par le point d'accès sans interprétation.

- Architecture de protocoles dans le domaine paquet :



On peut observer sur la figure que, pour la partie données, c'est le protocole UMA-RLC qui remplace le protocole RLC utilisé en GPRS. On voit bien sur ces 2 schémas que lorsque le mobile se trouve sous la couverture d'un hotspot, l'établissement d'une communication dans le domaine circuit se fait via le protocole UMA-RR, alors que, dans le domaine paquet, celle-ci est réalisée via le protocole UMA-RLC. La mise en place du logiciel dans le mobile permettra donc à l'utilisateur de créer un tunnel spécifique entre lui et le CN. Ce tunnel permet alors de prolonger le réseau GSM dans un réseau IP. Lors d'une communication, ce prolongement se fera grâce à l'usage de la fonction « handover ».

- Handover du GSM vers WiFi :



- 1 - La MS commence par introduire la cellule UMA détectée dans le « Measurement Report » envoyé au BSC. La MS envoie les caractéristiques des cellules ayant les niveaux de champ les plus grands dont ceux de la cellule UMA ;
- 2 - Après avoir traité le Measurement Report, le BSC décide de commencer la préparation du « handover » en envoyant au CN un message « Handover Required » en indiquant la cellule UMA ;
- 3 - Le CN demande à l'UNC d'allouer des ressources au mobile en envoyant le message « Handover Request » ;
- 4 - L'UNC informe le CN, à travers le « Handover Command », qu'il a bien reçu la demande de « handover » et lui indique également le canal radio auquel le mobile devrait être dirigé ;
- 5 - Le CN envoie donc au BSC les informations du « handover » grâce au « Handover Command » ;
- 6 - Le BSC envoie un « Handover Command » à la MS pour initialiser le « handover » vers l'UMA. Il faut savoir que le mobile décidera le moment du « handover ». Celui-ci sera réalisé seulement lorsqu'il enverra le message « URR Handover Complete » ;
- 7 - La MS contacte l'UNC en utilisant le « URR Handover Access » pour lui fournir les données du « Handover Command » envoyé par le BSC. L'UNC fait la corrélation entre ce message et le « Handover Request Ack » envoyé plus tôt au CN pour identifier avec succès l'achèvement du « handover » ;
- 8 - L'UNC met en place le tunnel pour allouer les ressources à la MS ;
- 9 - La MS envoie le « URR Handover Complete ». Il passe alors du GERAN « user plane » à l'UMA « user plane » ;
- 10 - L'UNC indique au CN qu'il a bien détecté la MS ;
- 11 - Le trafic de voix est réalisé de manière bidirectionnelle entre la MS et le CN via l'UNC ;
- 12 - L'UNC indique au CN que le handover est complètement réalisé en utilisant le « Handover Complete Message » ;
- 13 - Le CN va donc libérer les ressources allouées au BSC ;
- 14 - Le BSC confirme la libération des ressources allouées.

Avantages et inconvénients de l'UMA :

Du point de vue abonné, la technologie UMA va permettre à l'abonné de **réduire ses coûts grâce notamment à l'usage de la VoIP**.

Qu'il soit chez lui ou au bureau, sous la couverture d'un point d'accès, l'abonné pourra se connecter en WiFi.

Par contre, il **devra changer son terminal** car ce sont les terminaux équipés d'une couche logicielle UMA qui pourront utiliser cette technologie.

Du point de vue opérateur, les coûts de déploiement ne seront pas très importants.

De plus, la technologie UMA permettra d'économiser de la ressource en 2G et 3G avec la libération des ressources allouées aux mobiles reliés au point d'accès.

Malheureusement avec l'arrivée du **Full IP** (IMS, IP Multimedia Subsystem) la durée de vie de l'UMA n'est pas très longue.

L'architecture UMA a plusieurs avantages pour les opérateurs mobiles, Elle leur permet notamment de résoudre les problèmes éventuels de couverture des lieux d'habitation par les réseaux cellulaires, de libérer des ressources spectrales dans les zones où les fréquences GSM sont proches de la saturation et de proposer une facture unique fixe-mobile. Les opérateurs fixes voient également avec intérêt l'arrivée à maturité de la technologie UMA, car elle peut leur permettre de conserver leurs abonnés et de générer du trafic vocal supplémentaire sur leurs infrastructures filaires .

Convergence Fixe-Mobile ; Cette technologie définit un standard pour la convergence voix-données, permettant l'accès au réseau de l'opérateur par les technologies radio classiques (GSM) et par les technologies radio dites « non soumises à licence », c'est-à-dire le Bluetooth et le Wi-Fi. UMA offre des fonctions de « hand-over » transparentes entre ces réseaux .

IMS Evolution vers une architecture multimédia uniforme

L'UMA peut être interprété comme une transition entre les réseaux de télécommunications actuels et les Next Generation Network, mais il reste centré uniquement sur les services du GSM.

Mobile IP est une composante des IP Multimedia Subsystem visant à introduire la notion de roaming d'un réseau IP à un autre en usages multimédia.

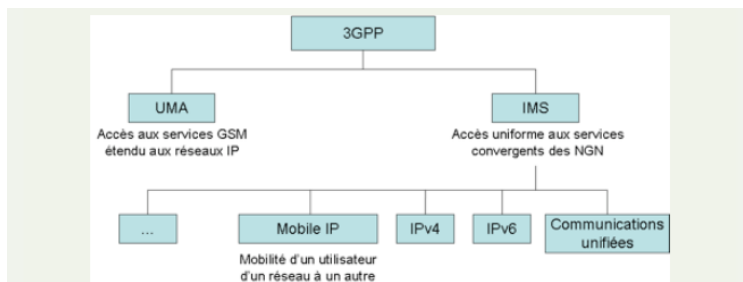
L'UMA et Mobile IP sont tous les 2 définis par la 3GPP et repose sur un ensemble de normes et standards (principalement des RFC de l'IETF). Les opérateurs de télécommunications sont libres de les intégrer comme ils le souhaitent dans leurs infrastructures réseaux .



En 2006 Le Nokia 6301 le tout premier modèle qui lui permet d'être compatible avec l'offre unik de l'opérateur Orange. Rappelons que cette l'offre Unik propose un téléphone « 2 en 1 » qui permet, en plus des communications mobiles classiques, d'appeler en illimité depuis son domicile via sa Livebox grâce à la technologie WiFi UMA.

Globalement, UMA a été un échec commercial faute d'adhésion du public et des fabricants de terminaux mobiles.

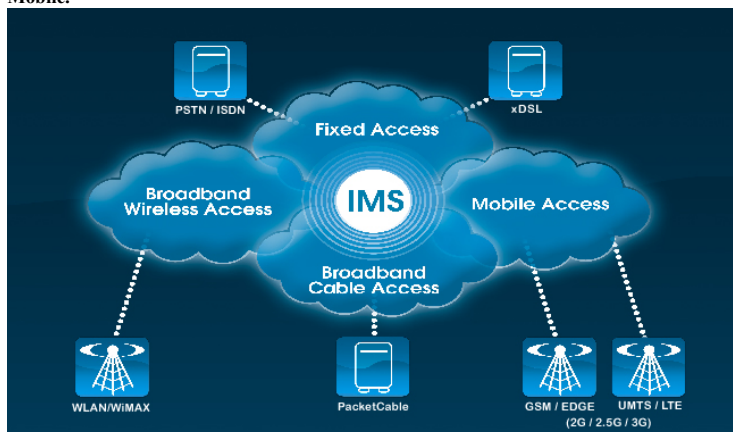
Mais il a eu un successeur au milieu des années 2010 avec la VoWiFi (Voice over WiFi) qui est désormais depuis 2020 disponible sur la plupart des terminaux moyen/haut de gamme et chez presque tous les opérateurs.



Matrice comparative UMA Vs MobileIP

	UMA	Mobile IP
Fonctionnalités	téléphonie (mobile) identification unique (carte SIM)	téléphonie, visio, castradio, webTV, instant messaging, pont de conférence,... identification unique
Environnement	accès aux services GSM étendu aux réseaux IP	fonctionnalités riches et universelles sur NGN
Architecture	réseau IP considéré comme un point d'accès aux services GSM	notion de passerelle notion de plateforme

Originellement conçu pour les réseaux cellulaire, L'IMS, est considéré par British Telecom comme le **réseau du 21ème siècle** et aujourd'hui au centre de la **convergence Fixe/Mobile**.



IMS est une couche de contrôle applicatif qui se situe au dessus de la couche réseaux, que ce soit en accès mobile, Wi-Fi ou Fixe Mobile.

La voix sur IP ne constitue plus le service de base, mais une application parmi d'autres, comme la visiophonie, la messagerie instantanée, le push to talk, la messagerie, ou les services HTTP.

Cela permet aussi à une nouvelle génération de services convergents standardisés de voir le jour, mais l'IMS permettra surtout aux utilisateurs d'être capables d'utiliser ces services aussi bien en déplacement (situation de roaming) que depuis chez eux. Des applicatifs qui regroupent des fonctionnalités de disponibilité, de localisation, d'accès à des bases de données et bien sur d'activation instantanée de communication vocale et de vidéoconférence quel que soit le lieu et le terminal.

L'IP multimedia subsystem (IMS) est une architecture standardisée de type next generation network (NGN) utilisée par les opérateurs de téléphonie, qui permet de fournir des services multimédias fixes et mobiles. Cette architecture permet, entre autres, d'utiliser la **technologie VoIP**, ainsi qu'une implémentation standardisée par le 3GPP de SIP fonctionnant sur les protocoles standards IP (IPv4 et IPv6).

Les systèmes téléphoniques traditionnels (commutation de paquets et commutation de circuits) sont aussi pris en charge.

VoLTE : qu'est-ce que c'est ?

VoLTE est la forme abrégée de Voice over Long-Term Evolution ou Voice over LTE. La technologie VoLTE offre la possibilité de passer des appels vocaux via le réseau mobile LTE/4G.

Auparavant, la 4G servait uniquement à la navigation sur Internet. Pour les appels, votre téléphone basculait automatiquement en 3G ou 2G. Vous vous rappelez sans doute des quelques secondes qui s'écoulaient avant que le téléphone du destinataire ne se mette à sonner. Grâce à la technologie VoLTE, ce délai a disparu.

Sur un réseau 2G ou 3G, les appels et les transferts de données sont séparés et ne peuvent pas fonctionner simultanément.
Par exemple, pendant un appel téléphonique sur un réseau 2G, les SMS entrants arrivent seulement après la fin de l'appel téléphonique.
Sur un réseau 4G LTE, les appels et les données fonctionnent à l'unisson, ce qui signifie qu'un SMS arrive instantanément, même pendant un appel.

* Les termes 4G et LTE désignent la même technologie et peuvent être utilisés indifféremment.

Pour pouvoir passer des appels via le réseau 4G/LTE, certaines conditions doivent être remplies :

- Vous devez disposer d'un téléphone compatible 4G/LTE.
- Votre téléphone doit être à portée d'un réseau 4G/LTE.
- Votre opérateur et votre abonnement (notamment la carte SIM) doivent prendre en charge la fonction VoLTE pour le modèle d'appareil que vous utilisez.
- Votre appareil doit être compatible et exécuter la dernière version du logiciel.
- Votre téléphone doit exécuter le logiciel non modifié fourni par votre opérateur et/ou votre fabricant.
- La fonction VoLTE doit être activée dans les paramètres de votre périphérique.

Quels sont les avantages de l'option VoLTE ?

- Configuration rapide des appels.
- Qualité vocale élevée et bruit de fond réduit.
- Le téléphone reste sur le réseau 4G/LTE pendant les appels vocaux.
- Vous pouvez utiliser les services de données 4G/LTE, tels que la navigation sur le Web et le partage de connexion, tout en passant et en recevant simultanément des appels.
- Lorsque vous passez un appel sur le réseau LTE, vous n'utilisez pas de données supplémentaires, mais des minutes d'appel. Vous payez le service d'appel vocal, pas les données que vous utilisez.

Simon Le premier Smartphone

"C'est l'ancêtre du smartphone" : on vous raconte l'histoire de l'IBM Simon, le tout premier téléphone multitâche avec écran tactile.

Le 16 août 1994, l'entreprise américaine IBM commercialise l'ancêtre du smartphone, premier téléphone de l'histoire avec un écran tactile et proposant des applications multiples (messages, agenda, calculatrice...). Son nom : Simon.



Un téléphone avec messages, calculatrice, agenda, documents, le tout avec un écran tactile : aujourd'hui, c'est évident. Son nom est un clin d'œil au jeu "Simon Says", l'équivalent de "Jacques a dit" en anglais, pour un téléphone qui peut faire tout ce qu'on lui demande. Une innovation qui n'est pas forcément restée dans les mémoires, alors que ce téléphone est considéré comme l'ancêtre du smartphone. .

C'est un boîtier noir en plastique : 20 centimètres de long, six de large, à peu près aussi épais qu'un livre. Au centre, il possède un écran tactile monochrome, tout en longueur, avec un stylet pour l'utiliser. Une fois allumé, l'IBM Simon propose de nombreuses applications résumées par Bruno Salgues, écrivain et ancien enseignant aux Mines Télécom : "D'abord, il servait à téléphoner, ce qui est quand même le minimum qu'on attend d'un téléphone, mais surtout, grâce à son écran tactile, il pouvait servir de traitement de texte rudimentaire, calculatrice, agenda, envoi de messages et il pouvait aussi envoyer des faxes."

500 grammes, 1 000 dollars. Le fax est à l'époque, dans les années 1990, le moyen de communication particulièrement à la mode. Par ailleurs, l'IBM Simon permet aussi de jouer à des jeux, de cartographier un itinéraire, et sa particularité est d'être léger. Il pèse 500 grammes, quand même, mais c'est moitié moins que ses concurrents.

"C'est l'ancêtre du smartphone, assurément. Il n'y a pas eu de produit plus proche du smartphone dans le concept avant l'IBM Simon". Cependant, le téléphone a beau être novateur, le journaliste rappelle qu'il ne s'est pas bien vendu : "Il n'a pas eu un immense succès. Déjà, parce qu'il était très cher, autour de 1 000 dollars. Aujourd'hui c'est le prix d'un smartphone haut de gamme et ça ne dérange pas, mais à l'époque, il n'y avait pas vraiment de besoin." La plupart des gens n'avaient alors "pas de téléphone portable et voulaient juste téléphoner."

Bilan : autour de 50 000 exemplaires écoulés, et la production qui s'arrête au bout de quelques mois. L'IBM Simon reste quand même une étape importante dans l'innovation téléphonique,

Ce n'est que 13 ans plus tard qu'apparaît l'**iPhone** de la marque Apple, descendant lointain de l'IBM Simon, le tout premier smartphone.

VoWiFi : qu'est-ce que c'est ?

Exemple chez FREE : La technologie Voice over WiFi (ou VoWiFi), disponible pour tous les abonnés au Forfait 5G, optimise la couverture mobile sous réserve de compatibilité du téléphone.

Elle permet en effet d'exploiter n'importe quel réseau Wi-Fi sur lequel vous êtes connecté pour émettre et recevoir des appels (et prochainement, pour envoyer et recevoir des SMS/MMS) au lieu de dépendre d'une antenne cellulaire.

Cela est très utile notamment lorsque vous ne captez pas de signal mobile ou que vous vous situez à l'étranger.

Elle présente aussi plusieurs avantages :

Le temps d'établissement d'un appel est plus rapide.

La qualité sonore est nettement améliorée.

La technologie VoWiFi est disponible sans frais et n'implique aucune surfacturation, y compris à l'étranger.

Peu importe où vous vous situez, les conditions tarifaires seront identiques à celles pratiquées lorsque vous êtes sur le territoire français.



La compatibilité avec le VoWiFi est une caractéristique technique habituellement indiquée dans la fiche technique des mobiles compatibles.
Ceux-ci sont assez nombreux et en voici une liste non-exhaustive, à commencer par tous les iPhone et iPhone Plus à partir de l'iPhone 6, à condition d'avoir installé la version iOS 9.3 ou une version plus récente.

Côté VoWiFi Android, même abondance d'appareils compatibles : chez Samsung, les Galaxy A à partir du A3 jusqu'au A8, les Galaxy S de S7 à S10, les Galaxy Note 9...

Pour tous les mobiles Samsung, il est nécessaire d'installer la dernière version logicielle de votre mobile.

Chez Sony, les Xpéria sont techniquement compatibles, du Xpéria XZ 1 au Xpéria 10+, mais ils convient de vérifier la compatibilité auprès de votre opérateur.

Enfin, chez Huawei, les mobiles P20 et P20 Pro, P30 et P30 Pro, Mate 10 Pro, Mate 20 et Mate 20 Pro sont compatibles.

Transition fluide entre VoWiFi et VoLTE

Si vous quittez la zone de couverture Wi-Fi pendant un appel Wi-Fi (VoWiFi), votre smartphone bascule automatiquement sur VoLTE (Voice over data) et l'appel continue. Cela se produira uniquement si le réseau 4G/LTE est sélectionné dans le menu Network mode (Mode réseau) sur votre téléphone et si vous vous trouvez à portée d'un réseau 4G/LTE. Cette transition n'est pas possible lorsque vous appelez via Wi-Fi avec une application distincte telle que Skype, WhatsApp, etc.

Si la fonction VoWiFi, également appelée Appels Wi-Fi, ne peut pas rebasculer sur VoLTE, la fonction VoWiFi basculera sur la 3G ou la 2G, si un tel réseau est disponible. L'appel sera alors interrompu.

Quelle est la différence entre VoLTE et VoWiFi ?

Les fonctions VoLTE et VoWiFi vous permettent de passer des appels vocaux sur Internet.

De plus, les deux technologies permettent de passer des appels via l'application d'appel de votre téléphone sans avoir besoin d'applications tierces. Principale différence : les appels Wi-Fi reposent sur une connexion Wi-Fi, et la fonction VoLTE s'appuie sur une connexion de données de votre opérateur. Si les fonctions VoWiFi et VoLTE sont toutes les deux activées, votre téléphone détermine automatiquement le service le plus adapté pour garantir une qualité d'appel optimale.

Puis-je passer des appels d'urgence avec la technologie VoLTE ?

Dans certains pays, il n'est pas possible d'appeler les numéros d'urgence via VoLTE.

Cependant, il existe toujours une option de secours. Si vous essayez de passer un appel d'urgence via VoLTE et que cette option n'est pas disponible, votre appareil utilisera automatiquement le réseau mobile, s'il se trouve à portée du réseau mobile.

Quelle est la différence entre VoIP et VoWiFi ?

La technologie Voice over Internet Protocol (VoIP), également connue sous le nom de Voice call over IP, est une technologie d'appel SIP (Session Initiation Protocol). La VoIP est une méthode de communication qui convertit la voix analogique en paquets de données numériques qu'elle envoie sur Internet, permettant de passer des appels vocaux en ligne.

Les appels VoIP ne dépendent pas de votre opérateur et ne nécessitent pas de carte SIM. Tout ce dont vous avez besoin, c'est un accès Internet (Wi-Fi ou données mobiles), une application VoIP (par ex. Skype) ou un compte VoIP SIP.

Les services VoIP peuvent être gratuits ou payants :

Vous pouvez télécharger des applications telles que Skype, Viber ou WhatsApp pour passer des appels VoIP en ligne gratuits et rejoindre d'autres utilisateurs de Skype, Viber ou WhatsApp.

Vous pouvez payer un fournisseur VoIP et configurer votre propre compte VoIP SIP sur votre téléphone.

Avec un compte SIP, vous pouvez appeler à la fois des numéros de téléphone fixe et mobile.

La technologie Voice over Wi-Fi (VoWiFi), également appelée Appels Wi-Fi, est un service d'appel téléphonique commercial Wi-Fi fourni par différents opérateurs réseau.

Grâce aux appels Wi-Fi, vous pouvez passer et recevoir des appels via un réseau Wi-Fi, au lieu d'utiliser votre réseau mobile.

Les appels Wi-Fi ne reposent pas sur un signal mobile mais sur une connexion Wi-Fi puissante. Cela signifie que vous pouvez passer des appels Wi-Fi lorsque votre téléphone est en mode avion, lorsqu'il ne reçoit pas de signal 2G, 3G ou 4G et même s'il n'a pas de carte SIM. Toutefois, certaines conditions doivent être remplies pour que les appels Wi-Fi fonctionnent sur votre téléphone.

2000 Les satellites dans les réseaux de télécommunications : l'échec des constellations mobiles, de Laurent Gille

En juin 1990, la firme américaine **Motorola**, spécialiste reconnue des radiocommunications, annonce son intention de construire un système mondial de communications mobiles par satellite baptisé **Iridium**.

La proposition en fait sourire plus d'un, le système proposé reposant sur l'utilisation des orbites basses, quasiment abandonnées par le secteur des télécommunications depuis les années 1960, et de nombreux obstacles se faisant déjà jour.

Mais certains perçoivent tout de suite l'intérêt d'un tel système et à la mi-1990, des opérateurs de communications par satellites comme Telesat Mobile (Canada), American Mobile Satellite (US), puis l'organisation Internationale Inmarsat entament leur propre réflexion sur la faisabilité d'un tel réseau mondial.

La construction d'une constellation de 77 satellites telle que prévue au départ, et le remplacement de 12 d'entre eux chaque année représentent par ailleurs un marché potentiel fabuleux pour les constructeurs aéronautiques.

Après consultations, l'Américain Lockheed est choisi en avril 1991 entre de nombreux constructeurs pour concevoir, développer et assurer la maîtrise d'œuvre des petits satellites du projet **Motorola** et Raytheon les antennes, notamment parce qu'en montant tous les deux au capital d'Iridium, leur engagement est également financier.

Le tour de table monté par Motorola laisse dans l'industrie de nombreux exclus, qui craignent de se voir marginaliser sur le marché des petits satellites. Les études engagées à la suite de l'annonce de Motorola tendent à confirmer la faisabilité et donc l'intérêt de tels systèmes pour les années à venir. La réaction viendra en octobre 1991, avec la présentation à Télécom 91 à Genève du projet **Globalstar**.

Globalstar s'inspire largement de son prédécesseur, tout en tenant compte des critiques formulées à son encontre.

Ce système est le fruit d'une co-entreprise entre Qualcomm et Loral Space Systems, derrière laquelle se trouve l'Alliance constituée entre Aérospatiale, Alcatel Espace et Alenia, que rejoindra bientôt DASA. L'Alliance est en quelque sorte le pôle européen concurrent de Matra Marconi Space et de BAe, tous deux impliqués à l'origine dans Iridium.

Ces initiatives qui viennent de l'amont (des fabricants d'équipement) vont obliger les opérateurs terrestres, qui sont d'ailleurs sollicités, à se positionner. De concurrent direct des réseaux terrestres, Iridium est devenu, après modification, un système complémentaire, comme l'est Globalstar depuis le début. **Inmarsat**, opérateur international de télécommunications maritimes et aéronautiques, est contraint de réagir dans la mesure où son marché traditionnel maritime et aéronautique serait totalement remis en cause par la mise en place d'un système global dont les terminaux seraient plus pratiques et meilleur marché, de même que les communications sous certaines hypothèses. C'est l'origine du Projet 21, annoncé en septembre 1991, établi comme société indépendante sous le nom d'ICO en 1995.

Le concept de constellation

À travers les différents systèmes proposés se dessinent plusieurs grandes options.

Il y a d'une part l'idée de constellation de petits satellites en orbite terrestre basse (en dessous de 2 000 kilomètres), qui inspire les plus connus des projets que sont Iridium ou Globalstar. Mais il y a aussi les systèmes mixtes, combinant des satellites en orbite basse, en nombre réduit, avec des satellites géostationnaires servant de relais.

C'était le cas d'un système envisagé par Inmarsat dans le cadre de son « Projet 21 ». Il ne faut pas oublier non plus les orbites moyennes que proposait le système de TRW, Odyssey, dont les satellites devaient évoluer à une altitude d'environ 10 000 kilomètres, solution finalement retenue par ICO, concrétisation du projet 21.

Enfin, en dehors de leur altitude, les orbites proposées par les différents systèmes sont soit polaires (Iridium, Globalstar), soit elliptiques (Ellispo), ou encore inclinées

(Odyssey). Le choix d'une orbite (type et altitude) résulte d'un arbitrage délicat entre de nombreux paramètres parmi lesquels le nombre de satellites, leur puissance d'émission, celle des terminaux terrestres, le type de couverture recherchée ou encore la qualité du bilan de liaison.

Ces hésitations architecturales montrent que les constellations LEO ne sont pas intrinsèquement meilleures que les systèmes GEO : elles ont pour elles de réduire les délais de propagation et donc d'assurer (théoriquement) une meilleure qualité de communication, d'autoriser des terminaux plus petits, mais ont une économie difficile dans la mesure où les satellites sont inactifs une grande partie de leur temps, à travers le survol de zones inhabitées ou de faible trafic.

Si ces projets trouvent leur origine aux USA, c'est pour deux raisons principales. Il y a d'abord le fait que le marché américain est sans conteste le plus grand marché domestique au monde en ce qui concerne les services de communications mobiles. C'est en même temps l'un des plus solvables. Mais on peut surtout voir l'origine de ces projets, qui émanent des constructeurs, dans les sommes colossales investies pendant des années par les militaires américains dans le domaine spatial. Les nombreux contrats de R & D qu'ils ont générés, ont donné aux industriels américains une avance sans doute importante sur leurs concurrents européens. Certains observateurs considèrent ainsi le projet Iridium, qui a donné en quelque sorte le coup d'envoi à la présentation des différents projets, comme une version civile de l'IDS américain, dont le concept de constellation de satellites en orbite basse remonte aux années 1970.

Heurs et malheurs du projet Iridium

L'objectif de Motorola à travers Iridium est avant tout de créer un nouveau marché pour les années à venir, tant en ce qui concerne le matériel de radiocommunication embarqué que les terminaux pour usagers. La mise en place d'Iridium donnerait également à la firme américaine une position de force en termes de brevets et de normes. Motorola emploie donc dès le départ les grands moyens pour faire passer son projet.

Le projet Iridium propose à l'origine un système très élaboré d'une constellation formée de 77 satellites, ramenée ensuite à 66, d'un coût estimé à environ 3,4 milliards de \$. Certains éléments du système sont à la pointe de la technologie et la combinaison de ces technologies sur un même petit satellite fut souvent perçue comme problématique par bon nombre d'observateurs. De par sa configuration, Iridium dans sa version d'origine avait vocation à devenir un réseau fermé, qui aurait court-circuité les réseaux terrestres des pays desservis, permettant sans doute à la commercialisation du système de bénéficier d'un « effet club ». Mais au fur et à mesure que le système gagne en crédibilité, la perspective de sa mise en service suscite des réactions plutôt hostiles de la part de certains opérateurs traditionnels qui y voient un défi à leurs monopoles nationaux.

La conception d'Iridium évolue donc et en janvier 1992 Motorola annonce que les terminaux Iridium fonctionneront sur un mode dual permettant l'accès à la fois au réseau de satellites et aux réseaux cellulaires terrestres, de façon à ce qu'à partir d'un seul terminal le client puisse choisir en fonction de la couverture de la zone et du prix des services. Le système devient donc coopératif et non plus concurrent des réseaux cellulaires. De même, pour résoudre le problème du by-pass des réseaux terrestres est-il décidé que l'appel d'un abonné d'Iridium capté par le satellite le plus proche donnera lieu à versement d'une redevance à l'exploitant de la zone d'où il sera émis, à condition que cela soit possible, c'est-à-dire qu'il y ait un exploitant en situation de monopole. Lorsque l'appel est destiné à un abonné d'Iridium, qu'il provienne soit d'un autre abonné, soit du réseau terrestre, la communication est acheminée via le réseau de satellites.

Techniquement, le projet est également confronté à plusieurs difficultés, liées cette fois-ci au problème de la miniaturisation des fonctions à embarquer sur de petits satellites. Après l'inflation de la masse annoncée pour les satellites, passée de 350 kg à l'origine à près du double à la mi-1992 pour satisfaire aux exigences des systèmes de liaison entre satellites et de commutation à bord, l'architecture du système doit être simplifiée.

Motorola forme en 1991 une compagnie indépendante chargée de porter (et donc de financer) le projet Iridium : Iridium LLC reçoit de la FCC en 1992 une licence expérimentale et signe un contrat clé en mains de 3.37 milliards de \$ avec Motorola pour le développement, la construction et la livraison du système spatial. À la conférence administrative mondiale sur les fréquences en Espagne en 1992, des fréquences sont réservées pour les satellites LEO.

Commence alors le long développement du projet. Iridium lève 800 millions de \$ en 1993 en capital, puis un montant équivalent en 1994 et enfin 315 millions en 1996, portant le capital à 1,9 milliard de \$: 19 actionnaires stratégiques détiennent ce capital parmi lesquels Motorola pour 17,3 %, Nippon Iridium qui regroupe notamment DDI et Kyocera, pour 11,1 %, O. tel. o pour 8,8 %, Krunishev pour 4,3 %, Telecom Italia pour 3,9 %, Lockheed et Raytheon détenant à eux deux 1,7 %.

Le complément du financement est apporté par deux emprunts bancaires placés par la Chase et BZW (Barclays Bank), un de 750 millions de \$ en 1996, et un autre de 800 millions en 1997, une introduction en bourse (IPO) pour 240 millions de \$ en 1997 également et un apport complémentaire de 350 millions de \$ en obligations à haut rendement en 1998 : ce sont ainsi plus de 4 milliards de \$ qui sont levés pour le projet Iridium en l'espace de 5 ans (1993-1998).

Le déploiement du système s'opère entre 1997 et 1998 : 47 satellites sont mis en orbite en 1997, les derniers l'étant en 1998 avec un taux de réussite de 100 %. Les lancements se poursuivent en 1999 et on estime aujourd'hui que 88 satellites environ ont été lancés offrant la capacité prévue de 66 satellites actifs et 6 satellites de secours : 16 satellites seraient effectivement défectueux. Et, alors que le système devait entrer en service le 3 septembre 1998, celle-ci n'interviendra que le 1 novembre, ce retard traduisant des problèmes importants de qualité des communications et des terminaux. Devant faire face en sus à des problèmes de livraison des terminaux, Iridium démarre l'année 1999 en posture difficile, la clientèle visée, le haut de gamme professionnel, étant particulièrement exigeante sur la qualité des services offerts.

Le constat fait au deuxième trimestre 1999 est accablant :

Le nombre de clients abonnés au 31 mars n'est que de 10 294, alors que la compagnie s'était engagée vis-à-vis de ses banquiers sur un chiffre de 27 000 clients. Pour le premier trimestre 1999, Iridium annonce des revenus de 1,451 million de \$ et une perte de 505 millions de \$.

Émise à 20 \$, l'action Iridium, après avoir coté plus de 60 \$ en 1998, descend à moins de 7 \$. Le PDG est conduit à démissionner.

Iridium se trouve dans l'incapacité de faire face à ses remboursements et doit renégocier en catastrophe ses emprunts pour obtenir des délais de paiement de la part des banques.

Iridium redéfinit sa stratégie commerciale en baissant considérablement ses tarifs de façon à gagner de nouveaux clients : alors qu'en novembre 1998, la minute de communication était vendue 7 \$, elle est proposée au début de 1999 entre 1,89 et 3,99 \$. Le prix des terminaux est abaissé de 4 000 à 3 000 \$. 15 % des effectifs de 550 personnes sont licenciés et Iridium se focalise sur les marchés dits verticaux, par secteur d'activité, en cherchant à reprendre la main sur un marché largement confié aux opérateurs cellulaires jusqu'à présent.

La firme fait face à un besoin de fonds important (1,65 milliards en 1999) qu'elle ne peut plus espérer de ses ventes. N'ayant pratiquement plus de fonds propres au terme de son premier trimestre plein d'exploitation, elle dépend totalement des négociations engagées avec ses créanciers. Motorola, qui détient alors 17,3 % d'Iridium, et s'est porté caution d'emprunts importants, doit passer une provision de 126 millions de \$ sur le premier semestre 1999. Veba (O. tel. o) provisionne 108 millions de \$.

Malgré cette situation plus que délicate, les échéances de négociation sont repoussées à plusieurs reprises, indiquant l'existence de négociations sous-jacentes. Le DoD annonce un soutien de l'ordre de 220 millions de \$ en achats de services. Le Department of State annonce également en juillet 1999 l'acquisition d'un millier de terminaux environ pour équiper quelques 300 représentations diplomatiques et autres des États-Unis à l'étranger.

L'espoir de trouver un repreneur diminue fortement en mars 2000 quand Craig McCaw, qui a entre-temps sauvé ICO, jette l'éponge après avoir envisagé d'injecter 600 millions de \$ dans l'affaire. Le 17 mars 2000, Iridium débranche ses utilisateurs des réseaux commutés, ceux-ci pouvant néanmoins toujours communiquer entre eux. Le juge des faillites donne à Motorola le droit de détruire le système spatial. La recherche de repreneurs conduit toutefois Motorola à conserver le système en activité. En juillet 2000, la banque d'affaires Castle Harlan qui proposait 50 millions de \$ se retire également. En novembre, un autre investisseur, qui confierait l'exploitation à Boeing, tente un dernier accord.

Les raisons d'un échec

Cette situation, qui impacte dès 1999 de façon négative tous les projets de constellations, mérite quelques analyses. L'échec d'Iridium trouve son origine grossièrement dans trois facteurs :

- Des difficultés opérationnelles
- Une sur-estimation du marché potentiel
- Un positionnement marketing déficient

Les trois facteurs ont leur importance. Iridium a retenu une solution technique extrêmement ambitieuse, issue vraisemblablement pour partie de projets élaborés dans le cadre de la guerre des étoiles. Conçu entre 1987 et 1992, le projet a retenu des liaisons inter-satellites et une commutation à bord, techniques certes testées sur des matériels militaires, mais délicates à mettre au point et à opérer. On peut se demander si le recours à des techniques militaires dont seuls disposent les USA, recours qui a longtemps été jugé comme un avantage compétitif contestable dans la mesure où les concurrents non américains n'y avaient pas accès, ne s'est pas révélé au bout du compte un handi plus qu'un avantage. Pareil raisonnement peut s'appliquer au projet de constellation multimédia Teledesic, qui depuis son annonce, a été d'allègement en allègement de à réduire sa complexité initiale. Les projets européens équivalents, Globalstar et Skybridge, sont partis sur des ambitions techniques beaucoup plus modestes, dont ils espèrent que cela renforce leur crédibilité.

Le positionnement commercial d'Iridium et surtout l'évaluation initiale du marché paraissent les erreurs majeures. Iridium tablait initialement sur un marché de 6 millions d'abonnés, chiffre revu ensuite à la baisse à 1,8 millions d'abonnés fin 2001 et 0,5 million fin 1999. Pourquoi ces données apparaissent-elles à posteriori (comme d'ailleurs elles l'étaient à priori) insuffisantes pour assurer la rentabilité des systèmes ?

- Elles ont été établies dans un contexte où le développement prévisible des réseaux cellulaires était bien inférieur à celui qu'ils ont connu de 1995 à nos jours ; en 1991-1992, on tablait sur un marché cellulaire se chiffrant à quelques dizaines de millions d'abonnés ; on compte désormais en centaines de millions d'abonnés. Certes, cette extension du marché devrait augmenter d'autant le marché potentiel des constellations LEO puisque le nombre de personnes connaissant des problèmes de couverture croît avec la taille du marché, mais sous les réserves suivantes.

- L'explosion des marchés mobiles terrestres a conduit également à une explosion de leur couverture. Iridium visait notamment comme marché potentiel les populations riches des pays en développement, tels la Chine ou l'Inde, dont on n'espérait pas un équipement rapide. Or, ces pays font partie désormais des tous premiers marchés cellulaires et les zones urbaines à forte activité économique sont désormais correctement desservies.

- De plus, cette extension des marchés a permis une décroissance inattendue des prix, tant des terminaux que des communications. Le prix de la minute mobile rejoint inéluctablement le prix de la minute fixe et la recette moyenne d'un abonné cellulaire est en passe de rejoindre la recette moyenne d'un abonné fixe. C'est bien évidemment dans ce nouveau contexte que les utilisateurs jugent non seulement la qualité du service offert, mais le prix (et le poids) du terminal tout comme le prix des communications. La comparaison des réseaux terrestres est impitoyable pour les opérateurs de constellations.

- Les réseaux cellulaires, compte tenu de la croissance de leurs marchés, considèrent le roaming international offert par ces constellations comme marginal par rapport à celui qu'ils sont d'ores et déjà en mesure d'offrir ; aucune incitation forte n'existe pour ces opérateurs avec lesquels Iridium a conclu des contrats peu contraignants.

- Plus spécifiquement pour Iridium, l'évolution institutionnelle du secteur des télécommunications, sur la période de développement 1992-1998, a été considérable : elle s'est notamment accompagnée d'une dérégulation sévère et d'une libéralisation des marchés qui a induit une réduction considérable des prix des communications longue distance, notamment internationales, et fait actuellement voler en éclat le système de tarification internationale bâti sur des accords bilatéraux. Iridium, qui offre un service de bout en bout, doit donc faire face à une forte baisse des communications internationales sur lesquelles il avait bâti la crédibilité de son business plan.

- Enfin, avec un débit possible de 2,4 kbps par ligne, Iridium ne pouvait prétendre prendre pied sur des services data, aussi frustrés soient-ils.

Très manifestement, l'évolution de l'environnement terrestre, technique, économique et institutionnel, a été sous-estimée par les projets spatiaux, notamment Iridium. C'est avec en perspective l'évolution future des réseaux terrestres qu'il faudra analyser les projets de constellation multimédia.

De plus, Iridium a proposé à sa clientèle une tarification complexe et élevée. Alors que les clients potentiels attendaient un prix à la minute voisin de 3 \$, ils se sont vu proposer des tarifs destination par destination oscillant entre 6 et 9 \$. En juin 1999, Iridium décide de simplifier sa structure tarifaire en ne proposant plus que quatre types de services avec des tarifs s'échelonnant de 1,59 à 3,99 \$ la minute. Le terminal est proposé à 1 495 \$ aux États-Unis : mais il est trop tard pour obtenir une remontée immédiate de la commercialisation.

Les projets Globalstar et ICO

Les difficultés d'Iridium ont pesé lourd sur les autres gros projets de constellations mobiles qu'étaient Globalstar, ICO ou Ellipso. Ces projets diffèrent sensiblement d'Iridium :

Architectures spatiales différenciées (orbites LEO, MEO ou elliptiques) ; nombre et masse/puissance des satellites en concordance

Architectures télécom également très variées (pas de liaisons inter-satellites, nombre de gateways, etc.)

Rentabilité assise sur des plans d'affaires peu comparables.

Issue du projet 21 étudié par Inmarsat, ICO, établie en janvier 1995 et introduite au Nasdaq en juillet 1998, rassemble les grands actionnaires d'Inmarsat, c'est-à-dire principalement des opérateurs de télécommunications européens. ICO est l'opérateur qui réclame le plus de fonds. Ses 12 satellites sont des satellites de classe géostationnaire placés sur des orbites moyennes (10 000 km). ICO a passé commande à Hughes de ses 12 satellites et Hughes a pris en contrepartie une participation de 2,3 % au capital de ICO comme Lockheed Martin l'avait fait au capital de Iridium et Loral à celui de Globalstar.

Alors qu'ICO a besoin de plus de 5 milliards de \$, il n'en a rassemblé en juin 1999 que 3. Un placement de 500 millions de \$ en juin 1999 n'est pas souscrit après report de l'échéance à fin juillet : incapable de payer ses fournisseurs et de rembourser la charge de sa dette en août 1999, ICO se place à son tour sous la protection du Chapitre XI de la loi américaine sur les faillites le 27 août 1999. En novembre 1999, Craig McCaw sauve ICO en promettant d'apporter 1,2 milliard de dollars à la compagnie. Un premier renflouement de 500 millions via sa holding personnelle Eagle River Investment a lieu fin 1999 qui lui donne le contrôle à 74 % de ICO .

Mais, en mars 2000, ICO connaissait de nouvelles difficultés avec la perte de son premier lancement par une fusée Sea Launch. Après renégociation des contrats de construction des satellites avec Hughes et apport complet des 1,2 milliard de \$ par les repreneurs, New ICO était fusionné en juillet 2000 avec Teledesic et quittait le business de la téléphonie mobile pour rejoindre celui des services « multimédia ».

Parallèlement, deux projets qui avaient reçu de la FCC en 1997 des licences GMPCS quittaient sans bruit la scène, Constellation Communications Inc. et Mobile Communications Holding Inc. Si la première était dépourvue de toute crédibilité financière, la seconde, MCHI, constituait une alternative plus sérieuse puisqu'elle portait le projet Ellipso qui avait reçu un soutien financier important de ses fournisseurs, Boeing en août 1998 et Arianespace en août 1999 . Ellipso visait essentiellement un marché de stations fixes dans les pays mal équipés : le projet présentait une meilleure progressivité de l'investissement et les orbites elliptiques retenues offraient une meilleure utilisation des satellites. Doté d'un budget prévisionnel de 1,4 milliard de \$, comprenant la construction des satellites, leur lancement et leur mise en œuvre, Ellipso a principalement négocié des crédits avec ses deux principaux fournisseurs, Boeing et Arianespace, qui sont également entrés au capital ; les fonds réunis n'ont pas suffi toutefois à financer le projet, Boeing n'ayant pas confirmé des rumeurs de reprise. Il est vrai qu'entre temps, l'industrie avait également dû déplorer la mise en faillite en août 2000 d'Orbcomm, opérateur d'une flotte de 35 satellites dédiés à des services non téléphoniques.

Ne reste alors au début 2000 que Globalstar sur le marché. Si Globalstar prétend disposer d'une économie différente, c'est que le projet se positionne comme boucle locale radio satellite complémentaire, se chargeant juste de connecter des usagers qui ne se trouveraient pas dans une zone desservie par des réseaux terrestres compatibles avec leur terminal au réseau fixe local à travers des gateways en nombre important, sans apporter de réelle valeur en termes de services, ceux-ci étant du ressort des opérateurs de ces gateways. Globalstar a choisi un schéma où la société mère assure le service spatial, et le raccordement terrestre est effectué par des sociétés partenaires qui mettent en place zone par zone la commercialisation et les gateways nécessaires ouvrant sur les réseaux terrestres.

L'Europe est ainsi répartie entre trois sociétés :

Telesat, société commune à France Télécom (51 %) et Alcatel (49 %), couvre la France, le Benelux, la péninsule ibérique, la Pologne et la Tchéquie ainsi que de nombreux pays méditerranéens, africains et latino-américains,

Vodafone dessert le Royaume Uni, la Grèce et d'autres zones (Australie),

Esiscom a la charge notamment de l'Allemagne, la Suisse et l'Italie.

Globalstar peut ainsi profiter de la baisse des coûts des communications internationales sur les réseaux terrestres qui sont systématiquement empruntés à la différence d'Iridium. Son business plan ne repose d'ailleurs pas sur le roaming international, mais uniquement sur la desserte des zones d'ombre des réseaux cellulaires terrestres. En offrant des terminaux bi-mode, Globalstar espère donc à travers le monde recueillir le marché des utilisateurs des zones rurales peu denses, sans doute principalement professionnels. C'est le médecin, le vétérinaire du Massif Central qui sont visés. Pour ne pas dépendre uniquement des opérateurs cellulaires en place qui pourraient prendre une marge importante sur des usagers marginaux pour eux, Globalstar devrait mettre en place une distribution autonome de terminaux et de services, de façon à générer une concurrence naturelle avec les autres canaux de distribution.

Le business plan de Globalstar comme celui d'ICO reposaient donc sur le potentiel apporté par le marché cellulaire. Chacun des deux opérateurs visait 1 à 2 % du marché cellulaire, qui représente environ 500 millions d'abonnés fin 2000, soit à cette date de 5 à 10 millions de clients potentiels. Globalstar estime que son point mort sera atteint avec 1 million de clients, ce qui signifie par exemple d'atteindre sur le marché français environ 50 000 abonnés. Globalstar compte également s'adresser au marché fixe en proposant dans les pays en développement des cabines publiques (à un prix d'environ 3 000 à 3 500 \$) dans lesquelles le prix des communications sera sans doute moir élevé. Tesam estime par exemple que plus de 50 % du marché africain sera un marché « fixe », de raccordement de zones non desservies sur les réseaux nationaux.

Globalstar avait levé environ 4 milliards de \$ de capitaux en juin 1999 . Il a continué à rassembler des fonds principalement auprès de ses actionnaires en l'an 2000 pour assurer son exploitation . Globalstar a subi la défaillance d'un lancement de 12 satellites par une fusée Zenit 2 en septembre 1998. Fin août 1999, Globalstar peut ouvrir de façon expérimentale à l'automne 1999 son système qui peut opérer avec 32 satellites. La poursuite des lancements permet d'atteindre en février 2000 les 52 satellites du système complet et le service est ouvert commercialement progressivement à compter de fév-rier 2000. 8 satellites de secours sont en construction chez Loral. Tirant leçon des déboires d'Iridium, Globalstar commercialise son service avec une politique tarifaire ajustée, terminaux moins chers et minutes plus économiques.

Avec des frais en année courante d'environ 850 millions de \$, Globalstar doit réunir environ 1 million de clients pour les couvrir, objectif annoncé par ses principaux actionnaires pour la fin 2000. Or, les résultats du troisième trimestre 2000 font apparaître 21 300 abonnés et un trafic de 2,3 millions de minutes sur le troisième trimestre, soit un peu plus de 100 minutes par abonné, montant bien inférieur au trafic moyen attendu. On est donc très loin du compte et sur des chiffres très voisins de ceux d'Iridium après 6 mois d'activité : la recette cumulée des 9 mois 2000 atteint 2,5 millions de \$. L'action chute brutalement en novembre 2000 sur ces mauvais résultats.

Globalstar fait feu de tout bois, comptant sur son extension géographique pour accélérer son développement, et mettant l'accent de plus en plus sur les marchés verticaux, dont il faut reconnaître qu'ils restent des marchés de niche : bus brésiliens, équipement des avions, militaires, etc. Globalstar tente de développer également les services data, mais reste contraint par un débit de 9,6 kbps par canal. Le constat qu'il est possible de faire fin 2000 est accablant : Iridium a laissé une ardoise de plus de 4 milliards de \$, ICO d'environ 3, Globalstar a déjà perdu 1,3 milliard de dollars. On voit mal comment Globalstar pourra échapper au sort de ses prédécesseurs, au risque d'entraîner des difficultés considérables pour Loral voire Qualcomm.

Dans un marché qui se révèle extrêmement étroit, il faut en plus tenir compte de la concurrence. Outre les services offerts à partir de satellites existants, notamment le service Planet de la Comsat supporté par les satellites Inmarsat (avec des terminaux plus importants que les terminaux GMPCS), plusieurs projets sont en cours de développement portés par les principaux industriels :

Le système Lockheed Martin en Asie (AceS) opérationnel en 2000,

Un projet Hughes au Moyen-Orient, Thuraya, dont le lancement doit intervenir avant la fin 2000,

Un projet africain, Rascom, visant les postes fixes, dont la mise en service ne devrait pas intervenir avant 2002.

Ces projets s'intéressent aux marchés mobiles ou fixes, avec des terminaux presque similaires, et des coûts inférieurs. Les dates prévues d'ouverture, 2000-2002, vont rendre la concurrence ardue à Globalstar.

La décennie 90 a vu la sphère financière prendre le « contrôle » de l'industrie des télécommunications.

Après avoir soutenu à bout de bras des innovations jugées périlleuses, et qui se sont confirmées telles, dans les satellites LEO comme dans les valeurs Internet, elle risque de dédaigner ces secteurs dont la pertinence nécessite seulement d'être mesurée à sa juste valeur. L'effet de yo-yo semble aujourd'hui dans son amplitude maximale. Les conséquences stratégiques pourront en être considérables pour de nombreux acteurs.

Les Risques les effets indésirables du téléphone mobile, du smartphone ...

La téléphonie mobile, rapidement et largement diffusée, a engendré de nouveaux comportements qui peuvent déboucher sur divers types d'accidents liés à la réduction de l'attention des individus, effet statistiquement établi.

L'existence de risques d'interférence électromagnétique à proximité de certains appareils médicaux est prouvée.

Enfin, les conséquences sanitaires éventuelles des émissions électromagnétiques des téléphones portables ou des antennes relais, qui participent du phénomène de pollution électromagnétique, sont sujettes à débat : les études scientifiques d'impact sur les populations n'aboutissent pas à une conclusion unique et, dans la mesure où il s'agit d'un phénomène récent, manquent de recul temporel pour évaluer d'éventuels effets à long terme. Un débat qui n'est aujourd'hui plus seulement scientifique puisqu'en France, des associations demandent et obtiennent le retrait de certaines antennes-relais auprès des tribunaux.

Risques d'accident

Accident par inattention humaine Le fait de téléphoner, et de tenir une conversation, mobilise une partie de l'attention qui détourne l'utilisateur des autres tâches en cours. La réactivité est diminuée. Son utilisation, « mains libres ou pas » augmente donc les risques d'accidents (accident du travail, accident domestique, accident de la route lorsque le téléphone est utilisé au volant...).

L'OMS relève que les risques d'accident de la circulation sont multipliés par 3 ou 4 lors de l'utilisation de mobiles (que le conducteur utilise, ou non, un « kit mains libres »). Une étude de l'administration américaine pour la sécurité sur les autoroutes, la National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), a relevé qu'aux États-Unis en 2005, à un instant donné, environ 6 % des conducteurs utilisaient un téléphone tenu en main en conduisant (soit 974 000 véhicules à un moment donné), et que 0,7 % des conducteurs téléphonaient avec un écouteur/microphone déporté, et que 0,2 % des conducteurs étaient en train de composer un numéro...

Perturbations

Tous les appareils électroniques utilisant des déplacements d'électrons dans des conducteurs peuvent être perturbés par des champs électriques et magnétiques : il faut donc éviter des niveaux de perturbation qui pourraient conduire à des dysfonctionnements, tels des blocages, des valeurs fausses, des actions inadéquates; c'est la compatibilité électromagnétique.

L'OMS relève qu'il existe des risques d'interférences électromagnétiques à proximité de certains appareils médicaux.

Selon le rapport de l'Office fédéral de l'environnement suisse : « Il est incontestable que le rayonnement à haute fréquence peut perturber le fonctionnement d'appareils techniques, ce qui peut avoir des conséquences sur la santé, en particulier dans le cas des implants médicaux, tels que les stimulateurs cardiaques. Toutefois, de nombreux appareils sont aujourd'hui insensibles au rayonnement de téléphones mobiles. »

L'utilisation des téléphones mobiles est interdite dans les hôpitaux dans certains pays. En avion elle peut perturber les liaisons radio pour la navigation sauf si une antenne-relais de téléphonie mobile spécifique est installée.

On peut citer comme appareils pouvant être perturbés les appareils électroniques destinés à être utilisés à domicile qui ont un niveau d'immunité inférieure ou égale à 3 V/m. On trouve tous les appareils médicaux comme les thermomètres, les lecteurs de glycémie, les tensiomètres, etc. et les appareils non classés médicaux (détecteurs de chute dans les piscines, stimulateurs électro-musculaires, etc.).

Risques d'explosion ?

Malgré les croyances répandues, le risque d'explosion dans les stations services due à un téléphone portable est extrêmement faible.

En ce qui concerne les incidents rapportés d'explosions spontanées de batteries, elles sont attribuables exclusivement à l'utilisation de batterie d'accumulateurs de mauvaise qualité (ou des contrefaçons de modèle standard) ou au rechargement par un système non adapté.

Risques sanitaires liés aux ondes électromagnétiques

Diverses études scientifiques et médicales portent sur les risques potentiels de cancers engendrés à long terme par les champs électromagnétiques générés par les mobiles et les antennes relais. La plupart de ces études concluent qu'il est peu probable que la téléphonie mobile soit cause de cancer, mais soulignent la nécessité de poursuivre les investigations, notamment pour les effets à long terme.

L'état des connaissances :

En se basant sur une revue de littérature d'études épidémiologiques, l'OMS a conclu en 2005 qu'il est peu probable que l'exposition aux ondes électromagnétiques des téléphones mobiles ait des conséquences néfastes sur la santé des usagers. Elle estime qu'« aucune étude nationale ou internationale récente n'a permis de conclure que l'exposition aux champs [de radiofréquence] émis par les téléphones portables ou leurs stations de base a des conséquences néfastes sur la santé » et que les études épidémiologiques « n'ont pas permis d'établir de manière convaincante un lien entre l'utilisation du téléphone portable et un risque accru de cancer ou d'autres maladies ». Concernant les stations relais (ou antennes relais), l'OMS constatant que l'exposition aux champs de radiofréquence provoqués par ces stations étant généralement plus de mille fois inférieure à l'exposition aux champs de radiofréquence émis par les téléphones portables, il est peu probable qu'elles aient des effets indésirables.

L'Agence française de sécurité sanitaire a publié en juin 2005 un avis sur les mobiles, dans lequel elle conclut, elle aussi, à une absence de preuve de nocivité en l'état actuel des connaissances, mais appelle à la vigilance et à la poursuite de travaux scientifiques. Ce rapport fut cependant dénoncé en 2006 par l'inspection générale des affaires sociales en raison des liens entre les industriels de la téléphonie mobile et les auteurs de l'étude. Le Canard enchaîné du 4 mars 2009 rapporte notamment que Bernard Veyret (directeur de recherche au CNRS), qui a signé le rapport de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement publié en 2005, siège au conseil scientifique de Bouygues Telecom.

Le ministère français chargé de la Santé a publié un document d'information Téléphones mobiles : santé et sécurité, évoquant le principe de précaution.

L'Office fédéral de l'environnement suisse, dans une étude sur l'impact sanitaire des rayonnements haute fréquence, ceux émis par des appareils comme les téléphones mobiles ou les terminaux Wi-Fi ou Bluetooth, fondée « sur les recherches présentées dans près de 150 publications scientifiques parues entre 2003 et 2006 », conclut à l'absence de preuve d'effets sanitaires (aux intensités utilisées en Suisse), mais ajoute que « certains effets associés à l'exposition de l'homme aux téléphones mobiles sont à considérer comme probables », souligne l'insuffisance des données scientifiques, tant épidémiologiques qu'expérimentales, en particulier sur une longue durée. Il note également l'existence d'effets physiologiques sur l'activité électrique du cerveau (gène possible de la qualité du sommeil).

En novembre 2006, l'OMS a publié un nouveau rapport, basé sur une revue de littérature, selon lequel « les études n'apportent pas de résultats clairs appuyant l'existence d'une association entre émissions électromagnétiques des téléphones mobiles et effets directs sur la santé », tout en rappelant que cette absence d'éléments « ne doit pas être interprétée comme la preuve de l'absence de tels effets ».

À l'été 2007, le groupe international de recherche Bioinitiative, relayé par l'Agence européenne pour l'environnement, a publié un rapport sur les risques sanitaires liés aux champs électromagnétiques dans lequel il recommande de revoir les mesures de protection des utilisateurs de mobiles car, selon lui, « les personnes qui ont utilisé un téléphone portable dix ans présentent un plus grand risque de développer une tumeur au cerveau ». Le chercheur Jean-Paul Krivine, rédacteur en chef de la revue Science et pseudo-sciences, dénonce « l'apparence de sérieux scientifique » de ce rapport et le conflit d'intérêts d'une des coauteurs, Cindy Sage, propriétaire d'un cabinet homonyme proposant « des solutions pour « caractériser ou atténuer » les impacts des champs électromagnétiques ».

Les centres de recherche et organismes internationaux, comme l'OMS et l'AFSSA en 2005, l'Office fédéral de l'environnement suisse en 2006, et le groupe de recherche Bioinitiative en 2007, soulignent le faible recul dont dispose la science et la médecine concernant les téléphones mobiles, et recommandent de poursuivre les recherches notamment sur des populations plus sensibles comme les enfants.

Le Centre international de recherche sur le cancer (CIRC) coordonne l'étude internationale « Interphone » qui vise à préciser les liens éventuels entre l'utilisation des mobiles et le cancer. Il s'agit de la plus grande enquête épidémiologique menée sur le sujet. En mai 2010, les premiers résultats de l'étude Interphone ont été publiés dans la revue International Journal of Epidemiology. Les premiers résultats publiés, portant sur l'observation de 10 700 personnes dans treize pays, concluent qu'« aucune augmentation du risque de gliome ou de méningiome n'a été observée en relation avec l'utilisation du téléphone mobile. Une augmentation du risque de gliome a été suggérée aux niveaux d'exposition les plus élevés, toutefois des biais et des erreurs empêchent d'établir une interprétation causale ». Toutefois, les chercheurs appellent à la poursuite des recherches sur le sujet. Ce rapport n'a pas satisfait les médecins de l'Association Santé Environnement France (ASEF) qui appellent depuis longtemps à la mise en place du principe de précaution, et à la protection des personnes les plus vulnérables comme les adolescents, les femmes enceintes, etc. Pour cela, elle a lancé, en 2012, une campagne de sensibilisation au sein des lycées de la région PACA, et a réalisé une enquête sur l'utilisation du téléphone portable par les jeunes. Les résultats ont montré que les deux tiers des ados interrogés ont eu un portable avant 14 ans et que, si 85 % utilisent leur portable pour envoyer des messages courts au lieu de passer des appels, 42 % téléphonent plus d'une demi-heure par jour et 75 % dorment avec leur mobile ou le rangent dans leur poche.

En juillet 2009, une équipe de recherche israélienne publie les conclusions d'une étude sur l'augmentation du cancer des glandes salivaires depuis 2002 qui suspecte les radiations émises par le téléphone portable d'en être la cause.

En octobre 2009, l'Afsset conclut que « les données issues de la recherche expérimentale disponibles n'indiquent pas d'effets sanitaires à court terme ni à long terme de l'exposition aux radiofréquences. Les données épidémiologiques n'indiquent pas non plus d'effets à court terme de l'exposition aux radiofréquences. Des interrogations demeurent pour les effets à long terme, même si aucun mécanisme biologique analysé ne plaide actuellement en faveur de cette hypothèse ».

Les Académies de Médecine, des Sciences et des Technologies ont diffusé un communiqué dans lequel elles déclarent que le groupe d'expert mandaté par les Académies « approuve sans réserve les conclusions du rapport scientifique [de l'Afsset] sur les radiofréquences [...] qui confirment celles de nombreuses autres expertises collectives ». Par ailleurs, elles « s'étonnent que la présentation de ce rapport n'ait pas particulièrement insisté sur ces aspects rassurants, mais au contraire sur les 11 études rapportant des effets. Ces études justifient un essai de réplication, mais ne constituent pas pour autant des « signaux d'alerte » crédibles. Elles ne sont pas considérées comme telles dans le rapport scientifique dont les conclusions sont différentes. Cette présentation a paradoxalement inquiété le public en proposant, sans justifications claires, des mesures de réduction des expositions. ».

Avec la publication le 31 mai 2011 de son dernier rapport, le Centre International de Recherche sur le Cancer, dépendant de l'OMS, a conclu que l'utilisation des téléphones portables pourrait peut-être entraîner un risque accru de développer un gliome, sans que l'on puisse exclure le hasard ou des biais. Par conséquent, les champs radiofréquence sont désormais classés dans la catégorie 2B des cancérogènes potentiels.

En 2018, l'OMS déclare qu'un « grand nombre d'études ont été menées depuis deux décennies afin de savoir si la téléphonie mobile crée un risque potentiel pour la santé. À ce jour, aucun effet nuisible sur la santé causé par l'usage d'un téléphone mobile n'a été démontré ».

La réaction des opérateurs

Opérateurs et industriels déclarent prendre en compte les risques lors de l'installation des antennes relais. Certaines réglementations (en France par exemple) obligent les constructeurs de téléphones à afficher dans la notice le rayonnement émis par leurs téléphones (évalué par l'indicateur Débit d'absorption spécifique ou « DAS »).

Le débat sur l'indépendance des recherches

Selon plusieurs observateurs, les enjeux économiques du secteur sont tels que les opérateurs de téléphonie mobile créeraient des conflits d'intérêts en finançant partiellement les recherches sur la question pour mieux en contrôler les résultats.

Les chercheurs Henry Lai et W. Ross Adey ont tous deux renoncé à continuer à travailler respectivement pour le Wireless Technology Research Center et Motorola qui souhaitaient orienter ou censurer les résultats de leurs expériences.

L'épidémiologiste américain George Carlo a affirmé en 2007 que les études « financées par l'industrie ont six fois plus de chances de ne rien trouver que celles qui sont financées de façon indépendante. » Selon lui, « 95% des études sont financées par l'industrie. L'industrie contrôle quasiment la science et la diffusion des informations scientifiques. Elle contrôle la façon dont le public perçoit ou ne perçoit pas les dangers ».

Dans le même esprit, quatre scientifiques français, membres de l'association Comité scientifique sur les champs électromagnétiques, ont publié en 2004 un livre blanc intitulé Votre GSM, votre santé : On vous ment.

Le débat sur le principe de précaution

Les avis des scientifiques au sujet des téléphones portables ont longtemps été divergents, et le restent encore à la mi-2008. Par conséquent, dans le doute, le débat s'est partiellement reporté sur la nécessité de mettre en garde ou non les usagers du téléphone portable selon le principe de précaution.

En France, l'Académie de médecine déclare pour sa part que « le principe de précaution ne saurait se transformer en machine alarmiste, surtout quand plusieurs milliards de portables sont utilisés dans le monde sans conséquences sanitaires apparentes depuis 15 ans. »

En juin 2008, vingt scientifiques de différentes nationalités, essentiellement cancérologues, ont déclaré qu'il pouvait y avoir un risque et ont appelé à la prudence concernant l'utilisation du téléphone portable, dressant une liste de mesures de précaution qu'ils estiment devoir être prises en attendant une évaluation épidémiologique satisfaisante des risques sanitaires liés à la téléphonie mobile. Cet appel a été vivement critiqué par l'Académie de médecine française dans un communiqué ; elle écrit en réponse « que la médecine n'est ni de la publicité ni du marketing, et qu'il ne peut y avoir de médecine moderne que fondée sur les faits. Inquiéter l'opinion dans un tel contexte relève de la démagogie mais en aucun cas d'une démarche scientifique. On ne peut pas raisonnablement affirmer qu'« un risque existe qu'il favorise l'apparition de cancers en cas d'exposition à long terme » et, en même temps, qu'« il n'y a pas de preuve formelle de la nocivité du portable ».

Le 4 février 2009, la cour d'appel de Versailles a condamné « l'entreprise Bouygues Telecom à démonter sous quatre mois ses antennes relais installées à Tassin-la-Demi-Lune, près de Lyon » en reconnaissant « l'exposition à un risque sanitaire » et en invoquant le principe de précaution. Le 16 février de la même année, SFR a également été condamné à démonter une antenne relais, par le tribunal de Carpentras, mais a fait appel de la décision.

La secrétaire d'État à l'Écologie, Chantal Jouanno, s'est déclarée le 27 février 2009 favorable à l'interdiction de l'utilisation du mobile par les enfants, le risque zéro n'existant pas. Elle précise « Sans être catastrophistes, peut-être devons-nous un jour rendre l'oreillette obligatoire pour tout le monde ».

La sensibilité électromagnétique :

Plusieurs associations affirment que les systèmes de téléphonie mobile posent des problèmes pour la santé de certains groupes d'individus, qui souffrent de sensibilité électromagnétique. À Prague en 2004 le congrès de l'OMS concluait que la notion de sensibilité aux champs électromagnétiques ne reposait pas sur des fondements scientifiques ; les causes de ces maux sont plutôt liées à l'environnement des individus, ainsi qu'à la peur liée à l'installation de nouvelles antennes relais qui pourrait provoquer des

pathologies d'ordre psychosomatiques.

Impact sur les colonies d'abeilles

selon une équipe de chercheurs de l'université de Coblence, les champs électromagnétiques perturberaient les abeilles dont le sens de l'orientation est basé sur les champs magnétiques terrestres et qui émettent des signaux de 180 à 250 hertz dans leurs danses de communication.

Risques sanitaires liés aux germes

Le téléphone mobile contient 500 fois plus de microbes qu'une cuvette de WC, notamment des *Escherichia coli*, salmonelles, streptocoques ou staphylocoques dorés. L'étude, par des chercheurs en microbiologie de l'université de Manchester, relativise le danger sauf dans le milieu hospitalier où le mobile est soupçonné d'être un vecteur potentiel d'infections nosocomiales.

Risques pour la vision

D'après un ophtalmologiste anglais, les smartphones peuvent, dans certains cas, favoriser la myopie.

Le recyclage des terminaux

Un téléphone mobile contient de nombreux matériaux potentiellement polluants, qui pourraient être recyclés. Par exemple, les composés de verre, de plastique ou encore de cuivre, les mobiles sont recyclables à 85%, mais, selon une étude faite en 2008 par Nokia, dans le monde, seuls 3% des propriétaires recyclent leur téléphone mobile usagé. Sur 6 500 personnes interrogées (en Finlande, Allemagne, Italie, Russie, Suède, Royaume-Uni, Émirats arabes unis, États-Unis, Niger, Inde, Chine, Indonésie et Brésil) 44 % ont dit « avoir conservé leurs anciens mobiles sans savoir qu'en faire », et 4 % ont avoué « s'en être débarrassés dans la nature ». Chaque personne interviewée a été propriétaire en moyenne de cinq mobiles. Selon Nokia, ce sont 240 000 t de matières premières qui auraient pu être économisées et l'équivalent de 4 millions de voitures sur les routes en termes d'émission de gaz à effet de serre.

En Europe, les téléphones mobiles font théoriquement l'objet d'une collecte sélective. Ils ne doivent pas être jetés dans la poubelle ordinaire (ce qui est rappelé par un sigle sur la batterie par exemple). La directive européenne 2002/96/CE relative aux déchets d'équipements électriques et électroniques impose (en France via le décret du 20 juillet 2005 aux fabricants et vendeurs de mobiles d'organiser leur collecte. Lors de la vente d'un téléphone mobile, un distributeur doit désormais reprendre gratuitement tout téléphone mobile usagé remis par le client. Il existe aussi des points et des centres de collecte.

Les déchets électroniques sont, dans leur ensemble, ceux dont le volume croît le plus rapidement. Ils nécessitent une filière de collecte et de recyclage spécialisée. Un téléphone mobile contient des métaux lourds, notamment sa batterie, qui ne sont pas traités dans les filières classiques car très toxiques (ce sont des déchets spéciaux et/ou dangereux). Une grande partie du recyclage est sous-traitée en Afrique ou en Asie dans des conditions sanitaires précaires.

Certains téléphones sont remis en service dans des pays en voie de développement sous l'égide d'organisations humanitaires ou de développement.

Le designer chinois Daizi Zheng a créé un nouveau prototype de téléphone écologique pour le compte de Nokia. Il fonctionne en générant de l'électricité à partir des hydrates de carbone et tire son énergie du sucre. Le téléphone lui-même est entièrement biodégradable.

Depuis quelques années, le mouvement Emmaüs participe en France à la collecte des mobiles inutilisés chez les particuliers. Des bornes de collecte sont présentes dans toutes les communautés Emmaüs. Ces dernières rapatrient ensuite les téléphones portables jusqu'aux « ateliers du bocage », une entreprise d'insertion membre du mouvement depuis 19 ans[Quand ?]. En 2010 l'association traitait 35 000 mobiles chaque mois et réemployait 30 % de ses volumes. Agréée par l'éco-organisme Eco-systèmes, de nombreux opérateurs de téléphonie mobile travaillent avec cette structure qui valorise les matériaux pour créer des emplois durables.

En mai 2012, la Fédération Française des Télécoms a lancé un site d'information, « Rapporter son mobile », ayant pour objectif de sensibiliser les internautes aux enjeux de la collecte et du recyclage des mobiles usagés ainsi que de leurs accessoires (batterie, etc.).

Coût environnemental

Le cabinet d'audit AT Kearney a publié en 2009 une étude sur la politique énergétique des opérateurs mobiles dans laquelle il soulignait quelques chiffres qui illustraient l'impact environnemental de la téléphonie. Selon AT Kearney, compte tenu de la consommation générée par l'infrastructure du réseau : la consommation en énergie générée par une heure de conversation téléphonique équivaut à celle d'une machine de linge à 40 °C.

en extrapolant sur base de la consommation d'un opérateur européen, l'émission de CO2 générée par les 3,5 milliards de téléphones portables en circulation dans le monde s'élève à 40 millions de tonnes, soit l'équivalent de 21,5 millions d'automobiles de petite cylindrée. l'impact environnemental serait très différent d'un opérateur à l'autre.

Sociologie et psychologie

L'usage est prohibé dans certains transports. Le téléphone mobile, objet de prestige technologique et de curiosité à ses débuts, est devenu un bien de consommation courant. Ses conséquences sur la vie quotidienne et le fonctionnement de la société sont nombreux et commencent à être étudiées par les chercheurs.

Gêne et savoir-vivre

L'apparition de la téléphonie mobile a engendré une rapide banalisation des conversations téléphoniques dans les lieux publics. Or, entendre une personne téléphoner provoque plus de gêne qu'entendre des bruits de fond. Selon un article du quotidien français Le Figaro en 2010, « même si le milieu est bruyant, la conversation dérange tout le monde, prend toute la place et devient vite insupportable ». Ce phénomène a été confirmé scientifiquement à la suite d'expériences sur le degré de concentration, menées en 2010 par une équipe de psychologues pilotée par Lauren Emberson (université Cornell, États-Unis). Cette équipe l'attribue à la nature de « mi-dialogue » (halflogue ou milogue) d'une conversation téléphonique qui mobilise le cerveau de celui qui l'écoute, même malgré lui. Lauren Emberson explique : « Il s'agit de mécanismes cognitifs qui obligent à écouter une conversation téléphonique et pas du tout une curiosité malveillante ».

L'utilisation du mobile a entraîné dès le début des critiques portant notamment sur la question de la gêne sonore occasionnée aux autres. D'où la mise en place progressive d'interdictions dans certains lieux et de nouvelles règles de savoir-vivre. L'utilisation de mobiles est ainsi interdite dans certains lieux (spectacles, cours, etc.). Les salles de spectacle mettent en place des systèmes de brouillage. La psychologue américaine Lauren Emberson (Cornell university), qui a étudié les conséquences des conversations téléphoniques sur l'attention des personnes environnantes, estime en 2010 : « Il est temps de se demander si l'usage du portable ne doit pas être limité, ou confiné dans des lieux réservés ».

Le mobile brouille notamment les repères entre vie privée et lieux publics : des conversations auparavant privées sont désormais échangées dans des lieux publics.

Le téléphone portable permet un assouplissement de certaines contraintes, tels les rendez-vous, qu'il est plus aisé de modifier ou décaler peu de temps à l'avance. Certains y voient au contraire un instrument de facilité et de mépris d'autrui.

Dépendances

Le téléphone portable, allumé et avec le son activé, brouille la limite, auparavant assez imperméable, entre vie professionnelle et vie privée, notamment en période de vacances.

Le téléphone portable, devenu objet multimédia généraliste, provoque des phénomènes de dépendance psychologique personnelle. Certains[Qui ?] lui reprochent de supprimer les « temps morts », désormais consacrés à des conversations, des SMS ou des jeux, et qui permettaient notamment l'observation, la réflexion, etc...

Le mobile a habitué le citoyen du début du XXIe siècle à pouvoir joindre n'importe qui n'importe quand. Ce qui constitue notamment un élément de sécurité important en cas par exemple d'accident dans un lieu isolé.

Certains lui reprochent de créer un sentiment d'urgence et d'impatience artificiel, brouillant la hiérarchie entre ce qui est important et ce qui ne l'est pas.

Un élément d'identité fort

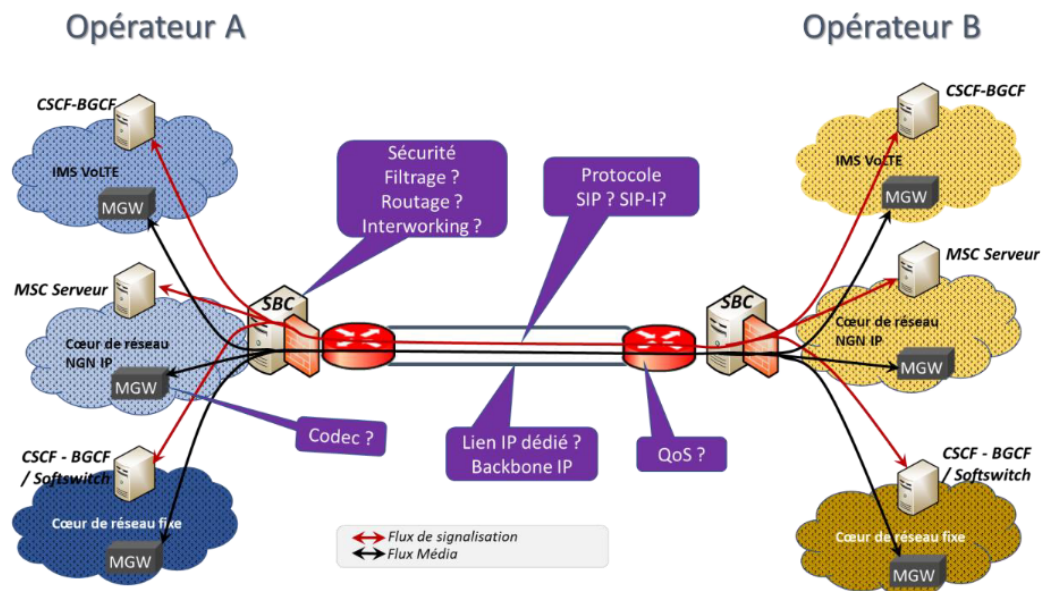
En 2000, une étude sociologique en Angleterre (réalisée par Anne Charlton et Clive Bates pour le British Medical Journal) lançait l'hypothèse que le téléphone mobile supplante la cigarette en tant que symbole du passage à l'âge adulte pour les jeunes adolescents. Cette étude fut contestée en 2003 par une chercheuse finlandaise, Leena Koivusilta, dans le même British Medical Journal.

Et demain ?

2022 [L'architecture-icx-voix-en-mode-IP-SIP-V3.1](#)(Doc en pdf)

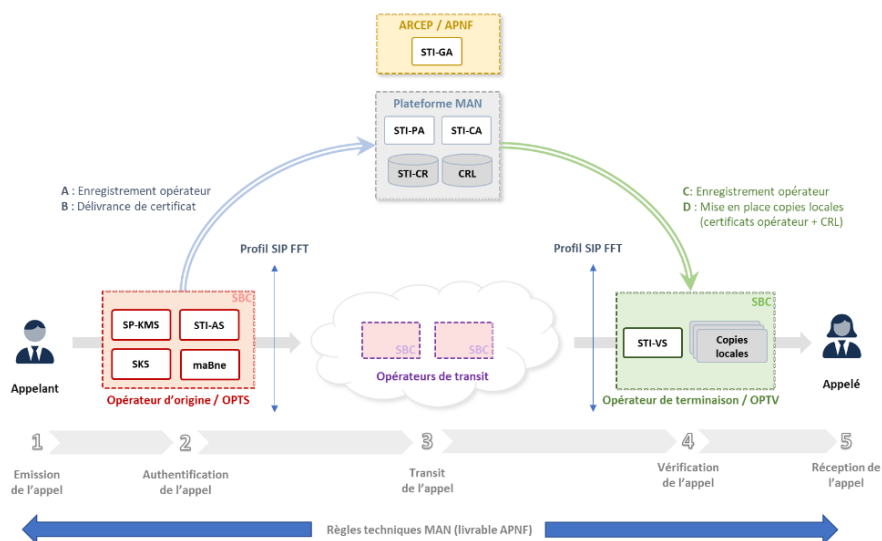
Au sein de la Fédération Française des Télécommunications, les opérateurs se sont réunis afin d'étudier les principes directeurs permettant de mettre en œuvre une architecture IP pour l'interconnexion entre opérateurs nationaux et répondant au cahier des charges services pour l'interconnexion de services de téléphonie et fonctionnalités associées (e.g. échanges de fax, connexion 64kb/s sans restriction).

L'objectif de ce document est donc de décrire l'architecture ainsi que les briques fonctionnelles à détailler pour construire une interconnexion en IP entre deux opérateurs nationaux. Le présent document a pour but également d'énoncer les principes structurants d'architecture et de faire des recommandations quant aux choix multiples qui se présentent dans le cadre de cette interconnexion.



Point important : Au 25 Juillet 2023, le législateur attend des opérateurs nationaux que soient authentifiés les usages voix, SMS, MMS et RCS.

Les travaux conduits sous l'égide de l'ARCEP puis à l'APNF depuis mi 2021 dans le cadre du plan programme MAN 2023 retiennent comme solution, le mécanisme STIR/SHAKEN. Le schéma de principe ci-dessous introduit uniquement les fonctions de cette architecture, les fonctions STI [AS,VS], s'interfaçant directement avec les équipements de bordure. Une description exhaustive des autres briques constituant la solution est disponible depuis la page du site de la FFTelecom dédiée au sujet de l'authentification du numéro appelant.



L'architecture de vérification du numéro appelant utilisant la vérification de signature et l'information d'attestation

... A suivre