

De Radiocom 2000 à la 5G

Près de 40 ans de réseaux mobiles

Par Jean Urban

Cette année 2020 voit dans notre pays l'arrivée des réseaux 5G. Pour mesurer le chemin parcouru depuis la première génération, nous vous proposons dans cet article une rétrospective des différentes étapes d'évolution des réseaux mobiles et services associés.

Au commencement, était la voix...

Au début des années 80, la connectivité Radio des véhicules est assurée essentiellement par des réseaux 3RP (Réseaux Radio à Ressources Partagées), très répandus dans les entreprises disposant de flottes automobiles, et des réseaux radiotéléphoniques automatiques (réseaux R150 et R450) limités aux territoires de quelques grandes villes ; en 1980, ces derniers comptent quelques 5.000 abonnés.

En novembre 1985, la Direction Générale des Télécommunications ouvre le réseau Radiocom 2000. Il est le premier réseau à offrir le service téléphonique radio sur la totalité du territoire national et la possibilité de constituer des réseaux privés d'entreprise. Il n'y a pas de service data. La fonction « Handover » (changement de cellule sans couper la communication) est présente. SFR, nouvelle société créée par la Générale des Eaux, ouvre son réseau, conforme à la norme NMT, en mars 89. Ces deux réseaux représentent **la première génération de réseau mobile**.

L'architecture du réseau est simple: le territoire est divisé en cellules (on parle de réseau cellulaire ; les fréquences étant réutilisées dans des cellules non adjacentes pour éviter les interférences); chacune d'elles est équipée d'une ou plusieurs stations, une station étant elle-même constituée d'un équipement radio et d'un autocommutateur relié au réseau téléphonique général. Une base nationale gère la localisation des mobiles. Chaque utilisateur se voit attribué une fréquence pour le temps de la communication ; la transmission est analogique.

Les terminaux sont propriétaires (ils ne peuvent être utilisés sur un autre réseau) et sont essentiellement destinés aux véhicules. On voit cependant apparaître des terminaux qui parviennent à sortir de la voiture, qu'on qualifie de « portables ».



La coupole du Mabilay hébergeait dans les années 80 -90 les deux stations Radiocom 2000 assurant la couverture radio de la région rennaise



*Terminal R2000 LISA de Sagem « portable »
(Col Armorhistel)*

Une norme européenne

En 1987, pour la deuxième génération de réseau, les acteurs européens se mettent d'accord, sur une norme : le GSM (Global System for Mobile communications). Soulignons le travail de la représentation française de la DGT, pilotée par Alain Maloberti, qui en a été l'un des principaux concepteurs. Cette norme européenne connaîtra un énorme succès puisqu'elle deviendra dans quelques années une norme mondiale.

Trois opérateurs vont exploiter un réseau GSM : France Télécom (sous le label Itineris) à partir de juillet 92, SFR à partir de décembre 92 et Bouygues Télécom à partir de mai 1996.

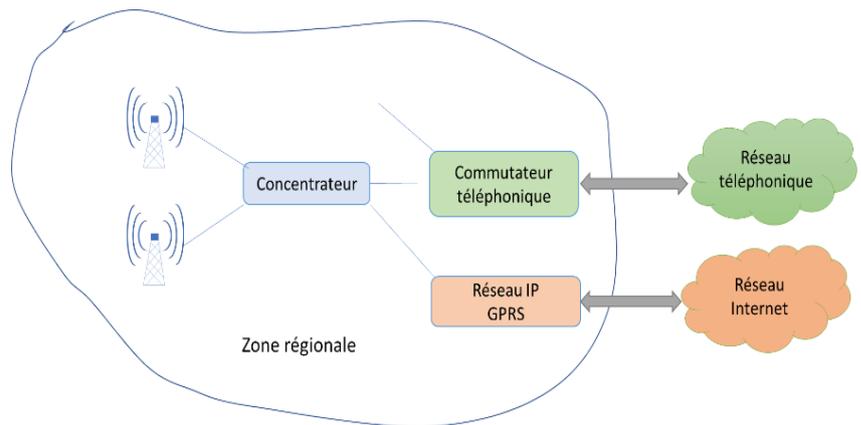
Au chapitre des nouveautés par rapport à la génération précédente :

- **l'interopérabilité**, qui permet d'utiliser les terminaux indifféremment sur les réseaux conformes à cette norme,
- **la carte SIM** qui permet l'authentification de l'abonné et de l'opérateur et d'éviter de dépendre de l'opérateur pour changer son terminal,
- la possibilité de transmettre des messages, **les SMS** (Short message System), de mobile à mobile,
- **le roaming** qui grâce à des accord inter-opérateurs, permet d'établir des appels sur d'autres réseaux, fonctionnalité utile à l'étranger,
- **le cryptage** des communications (sur la partie radio).

Le réseau repose sur la mise en place de stations radio locales (desservant une cellule), de concentrateurs de liaisons, de commutateurs temporels au niveau régional (extrapolés des commutateurs du fixe) et, au niveau national, d'équipements centralisés assurant la gestion de la localisation des clients, l'administration des clients est du réseau.

La transmission radio est désormais numérique et exploite le multiplexage temporel (technique TDMA) et fréquentiel : huit conversations simultanées sont possibles par porteuse. Les cellules se rapetissent en zone urbaine pour supporter un trafic plus important et des terminaux moins puissants (2W). On voit du coup apparaître et se développer une offre de terminaux très compacts, qu'on peut désormais transporter dans la poche.

L'accès aux données pointe son nez en 2000 avec l'arrivée du GPRS et ensuite de Edge, qui sont des petits réseaux IP greffés au réseau GSM. Les débits proposés sont modestes (250 kbits/sec en Edge) mais la mise en place d'un protocole de présentation et de transmission de données spécifique, le WAP (Wireless Application Protocol) permet d'accéder à Internet (en partie) et d'afficher les données sur un petit écran. La transmission de MMS (Multimedia Messaging Services) est désormais possible.)



Le réseau GSM



Le Nokia 7110 (1999) permettait d'accéder à Internet et d'afficher les données sur le petit écran

Si les systèmes de 1^{ère} génération pouvaient être considérés comme élitistes du fait de tarifs très élevés, le GSM fait décroître les prix de façon importante ; en 1996, on peut accéder à un abonnement mensuel de 18 euros (121 francs) et acquérir un mobile pour 225 euros (1500 francs)

Le succès du GSM est considérable : dans la décennie 90, le nombre d'abonnés mobiles passe de 250.000 à 30 millions. Effets de bord : le succès considérable des SMS (service auquel les marketeurs ne croyaient pas au départ) va mettre fin aux services de radiomessagerie et le service Bi-Bop va être abandonné car ne présentant plus aucun avantage par rapport au GSM.

L'arrivée des smartphones

La **troisième génération** de réseau mobile arrive avec le 3^{ème} millénaire : SFR puis France télécom ouvrent leur réseaux 3G en 2004. Bouygues ouvrira le sien en 2007. Enfin Free, nouveau venu sur le marché, ouvrira son réseau en janvier 2012, en s'appuyant sur un accord d'itinérance avec Orange. Cette 3^{ème} génération correspond à la volonté de répondre à la demande des clients en matière de débit des données.

Pour la voix, les commutateurs téléphoniques temporels de la 2G sont maintenus. Les évolutions vont essentiellement concerner la partie Réseau d'Accès Radio : le but est d'augmenter les débits offerts tout en maintenant le spectre de fréquences. Pour ce faire, la norme UMTS (Universal Mobile Telecommunications System) est mise en œuvre ; elle consiste à réutiliser les mêmes fréquences dans des cellules voisines, mais avec un codage de l'information différent (technique CDMA). Cela permet une augmentation des ressources disponibles sans extension du spectre. Cette technique connaît deux évolutions qui vont permettre d'atteindre un débit de 42 Mbits/s

La 3G n'est donc pas une révolution mais l'augmentation des débits va ouvrir le champ à des possibilités d'usages considérables. La révolution va provenir des terminaux avec l'arrivée de l'iphone d'Apple en 2007 qui le premier servira de support aux multiples applications que l'on connaît aujourd'hui.

A noter enfin, l'apparition en 2010 de la HD pour le service voix, qui permet la retransmission de la bande audio de 7 khz, utilisable malheureusement dans un 1^{er} temps avec restrictions.

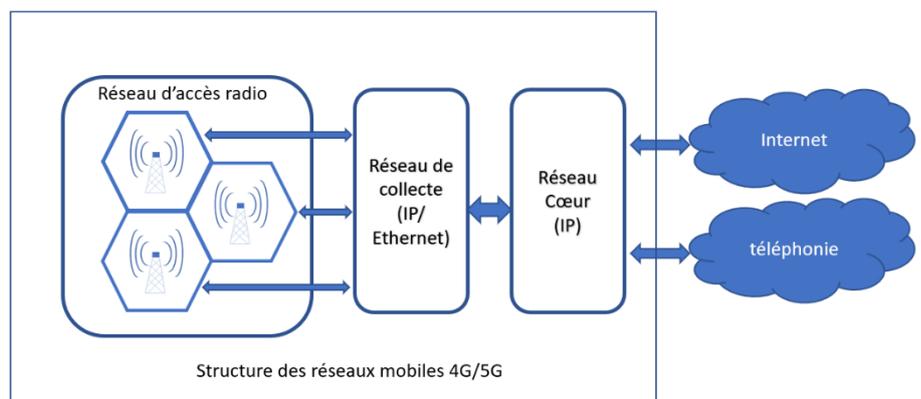
*L'iphone
1G (2007)
va
révolutionner
les usages du
mobile*



Vers le « tout IP »

L'arrivée de la **quatrième génération de réseau**, conforme à la norme LTE-A se traduit par deux évolutions importantes:

- A l'instar de ce qui s'opère sur le fixe, la totalité des flux clients voix+données bascule sur **un réseau unique, « Full IP »**; les commutateurs temporels sont donc abandonnés.
- **Une nouvelle technologie pour les accès Radio est mise en œuvre : l'OFMDA** (Orthogonal Frequency Division Multiple Acces). Celle-ci consiste à agréger un multiplexage en temps, en fréquence (multitude de porteuses) et en phase (deux porteuses proches sont orthogonales) ! Cette technique présente deux avantages : elle optimise l'usage du spectre (nous sommes en effet dans un contexte de



croissance énorme des besoins en bande passante, environ un doublement du trafic tous les 2 à 3 ans) ; par rapport aux systèmes à porteuse unique, elle a la capacité à faire face à des conditions de canal sévères (par exemple, interférences à bande étroite et évanouissement sélectif en fréquence dû à la propagation par trajets multiples).

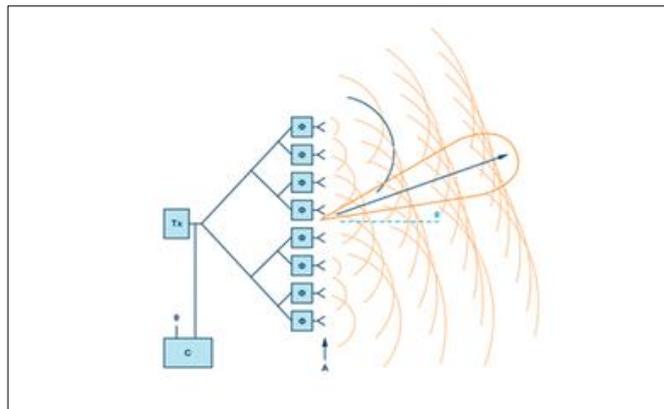
Ces évolutions techniques vont permettre de décupler (par rapport à la 3G) le débit utile et d'atteindre voire de dépasser les débits du fixe (jusqu'à 1 Gbits/sec théorique).

Les réseaux 4 G sont ouverts en 2013 par les quatre opérateurs nationaux.

La 5G : le réseau à tout faire ?

A chaque décennie, sa génération de réseau ! La fin de l'année 2020 voit l'ouverture **des réseaux de 5^{ème} génération** des quatre opérateurs français. Cette nouvelle génération, imposée par une saturation des ressources, se caractérise par des évolutions qui touchent essentiellement le réseau d'accès radio ; le réseau cœur est conservé :

Le réseau d'accès Radio franchit un nouveau pas dans la sophistication : pour la modulation, on conserve la technique OFDMA (modulation fréquence/temps/phase) de la 4G mais on fait appel **désormais à des antennes actives**. Leur principe est le suivant : les antennes sont constituées de plusieurs émetteurs; ceux-ci émettent en parallèle le signal d'un utilisateur mais de façon décalée en phase et en amplitude de façon à obtenir un signal cumulé maximal dans une direction privilégiée (voir schéma ci-contre), celle de la localisation de l'utilisateur, et une amplitude nulle ailleurs. Autre nouveauté, émission et réception s'effectuent en multiplexage temporel sur la même fréquence. Ces évolutions permettent encore une optimisation de l'utilisation du spectre. Enfin l'allocation temps / fréquence présente un haut niveau de flexibilité pour s'adapter à des utilisations très variées.



Les antennes actives 5G permettent de diriger le signal vers l'utilisateur (schéma source ANFR)

Les fréquences utilisées à l'ouverture du réseau vont se situer dans la gamme de celles la 4G (inférieure à 3Ghz), mais le plan de fréquence prévoit pour l'avenir **de monter beaucoup plus haut** dans le spectre (notamment dans la bande 24,2 ⇔ 27,5 Ghz), ce qui exige de réduire la distance antenne ⇔ utilisateur et impliquera une densification importante des antennes.

L'utilisation de composants très performants dans le réseau et les mobiles **permet de réduire considérablement le temps de traversée (la latence)** dans le réseau d'accès radio : son ordre de grandeur est de 1 ms contre 15 ms (ordre de grandeur) en 4G.

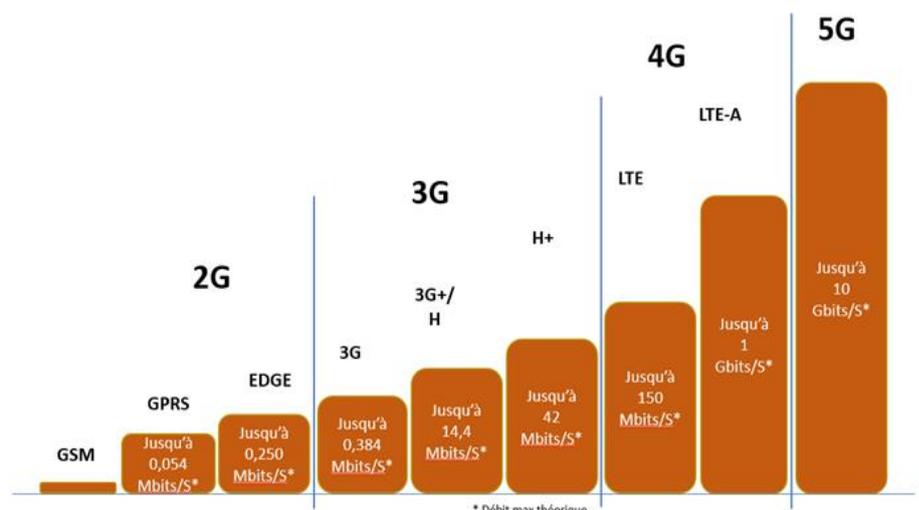
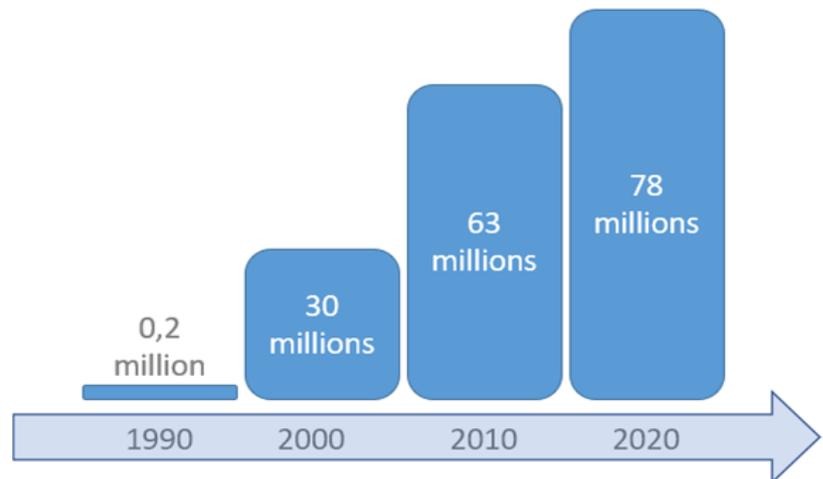
La technique d'adressage évolue fortement. Celle actuellement utilisée dans l'ensemble des réseaux IP (IP V4) est en effet à bout de souffle : les 4 milliards d'adresses possibles sont utilisées ; l'ambition de la 5G étant d'adresser un nombre considérable d'objets, **la technique IP V6** dont la capacité est phénoménale sera utilisée au maximum.

Enfin, la 5G, devant supporter des usages aux exigences en terme de débit, latence, disponibilité étant très dispersées, met en oeuvre **la notion de « network slicing »** consistant à implémenter des ressources virtuelles propres à un usage donné.

Toutes ces évolutions permettront à la 5G de répondre à trois objectifs d'usages :

- Dans la continuité des générations précédentes, assurer **le transport des communications mobiles voix & données** avec toutefois toujours plus de débit (le débit théorique maximal est multiplié par 10 par rapport à la 4G, ce qui laissera envisager par exemple de nouvelles applications de réalité augmentée).
- Permettre **les communications avec et entre les objets** ; on trouve ici des applis de gestion des objets à la maison, dans l'entreprise, dans la ville.... On entrevoit un volume de trafic, en terme de nombre de connexions plus qu'en terme de données échangées, phénoménal.
- Assurer **le transport des communications critiques**, exigeant un temps de réponse très court et une disponibilité ultra élevée ; on va trouver ici le véhicule autonome, des applis dans l'industrie, la santé ou la sécurité.

Evolution du nombre d'abonnés mobiles
(yc M2M, Machine to Machine : objets connectés)



Evolution des débits de données

La transmission d'un film de 2 Go exige plus de 11 heures en 3G
et quelques secondes en 5G

Les réseaux mobiles, conçus à l'origine pour le seul transport de la voix, ont connu des évolutions technologiques considérables pour permettre une offre extrêmement étendue de services qui ont eu ou auront un fort impact sur nos modes de vie. Et l'évolution ne s'arrête pas là : la 6G pointe le bout de son nez !