



[Les réseaux cellulaires de radiotéléphonie](#)

[La téléphonie cellulaire](#)

[Bibliographie et Webographie](#)

---

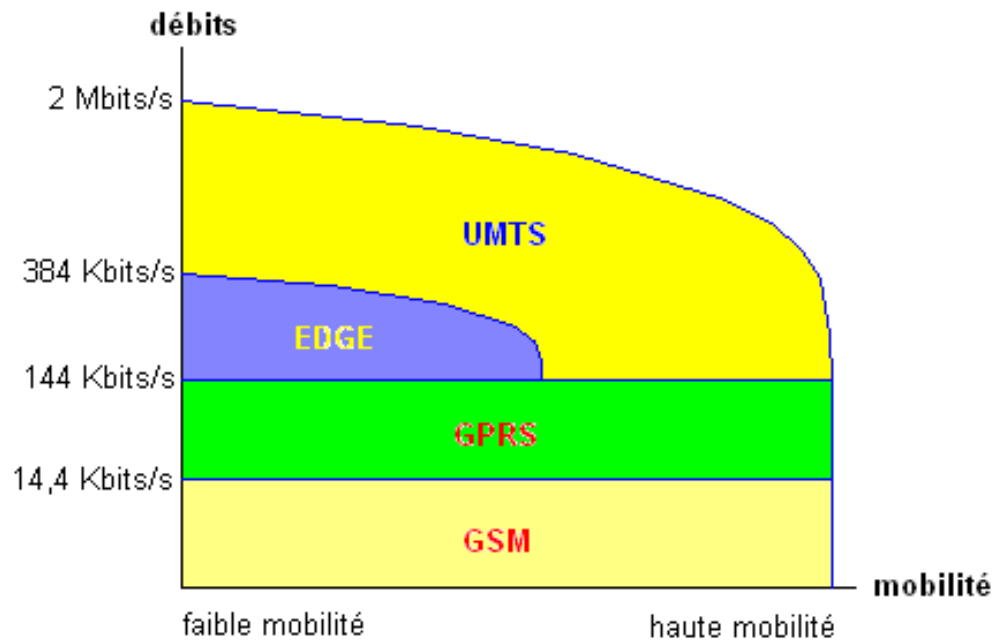
## Les réseaux cellulaires de radiotéléphonie

La téléphonie a été à l'origine des premiers réseaux de télécommunication. Les progrès de l'informatique, la numérisation de l'information et la banalisation de l'Internet ont fait converger les réseaux téléphoniques vers les réseaux informatiques avec une volonté (une nécessité ?) d'unification.

Un autre concept est à prendre en considération : le développement de la mobilité en télécommunication qui permet le passage de terminaux "fixes", c'est à dire reliés "en dur" au réseau, à des terminaux mobiles transportés par l'utilisateur et connectables à n'importe quel point géographique (en principe !). Pour la téléphonie, cette tendance a conduit au développement de réseaux d'accès mobiles de type cellulaire.

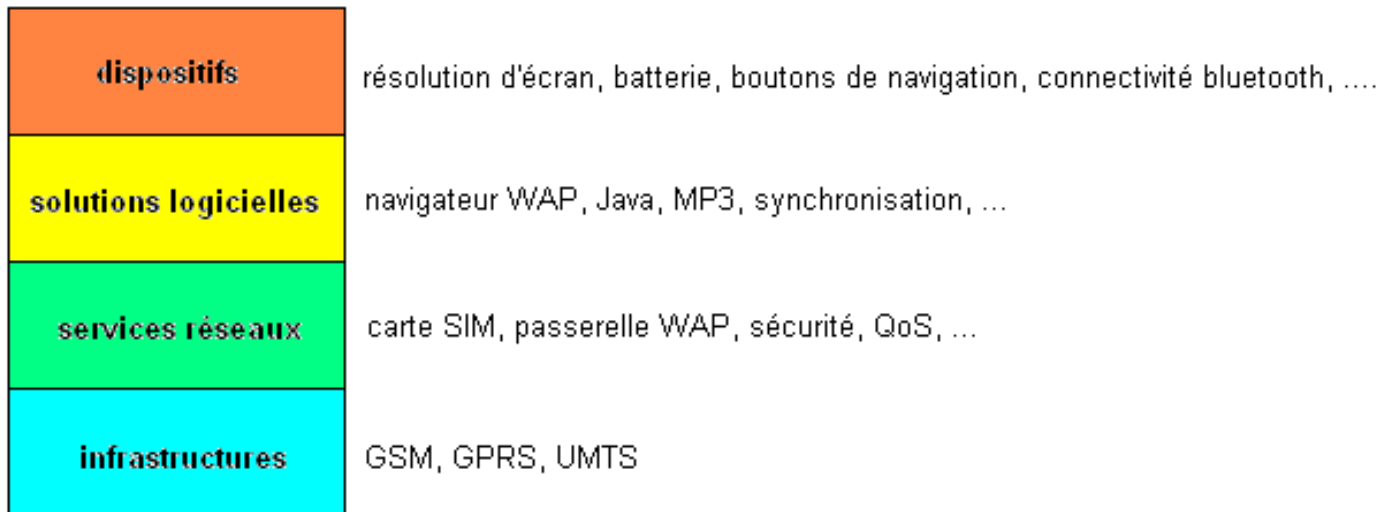
Les premiers réseaux de ce type étaient basés sur le transport d'informations analogiques comme l'était, au départ, la téléphonie fixe. Ces premiers réseaux sont qualifiés de 1ère génération. Le plus connu, en France était Radiocom 2000. Ces réseaux ont laissé assez rapidement la place à une nouvelle génération (2ème génération) mettant en application les technologies numériques. Elles ont notamment donné naissance aux réseaux GSM (en Europe), PDC (au Japon) et PCS (aux Etats-Unis).

Une nouvelle famille de normes (UMTS) conduit aujourd'hui à une troisième génération (3G) de réseaux et de terminaux mobiles. En fait, il existe une génération intermédiaire appelée 2,5G dont des représentants sont le GPRS et EDGE.



*d'après A. Fouquet, J.-P. Worgague*

Autour des ces réseaux téléphoniques nouveaux se sont développés des services, des solutions logicielles et des dispositifs de manipulation, d'accès, de présentation, ...



## La téléphonie cellulaire

La téléphonie mobile utilise des fréquences radioélectriques résultant d'un partage du spectre. La bande utilisée se situe dans la plage 150MHz - 1 GHz pour les systèmes existants. Comme la téléphonie mobile utilise un multiplexage en fréquence, il est nécessaire de découper le territoire en cellules associées à des jeux de fréquences différents pour éviter le brouillage. Le même jeu peut alors être utilisé par des cellules distinctes

suffisamment éloignées. La taille des cellules est déterminée par les deux paramètres que sont la zone de couverture et la distance de réutilisation.

- zone de couverture : zone dans laquelle le rapport signal sur bruit est supérieur à un seuil (généralement 90%)
- distance de réutilisation : distance à partir de laquelle on peut réutiliser une fréquence définie dans une zone voisine.

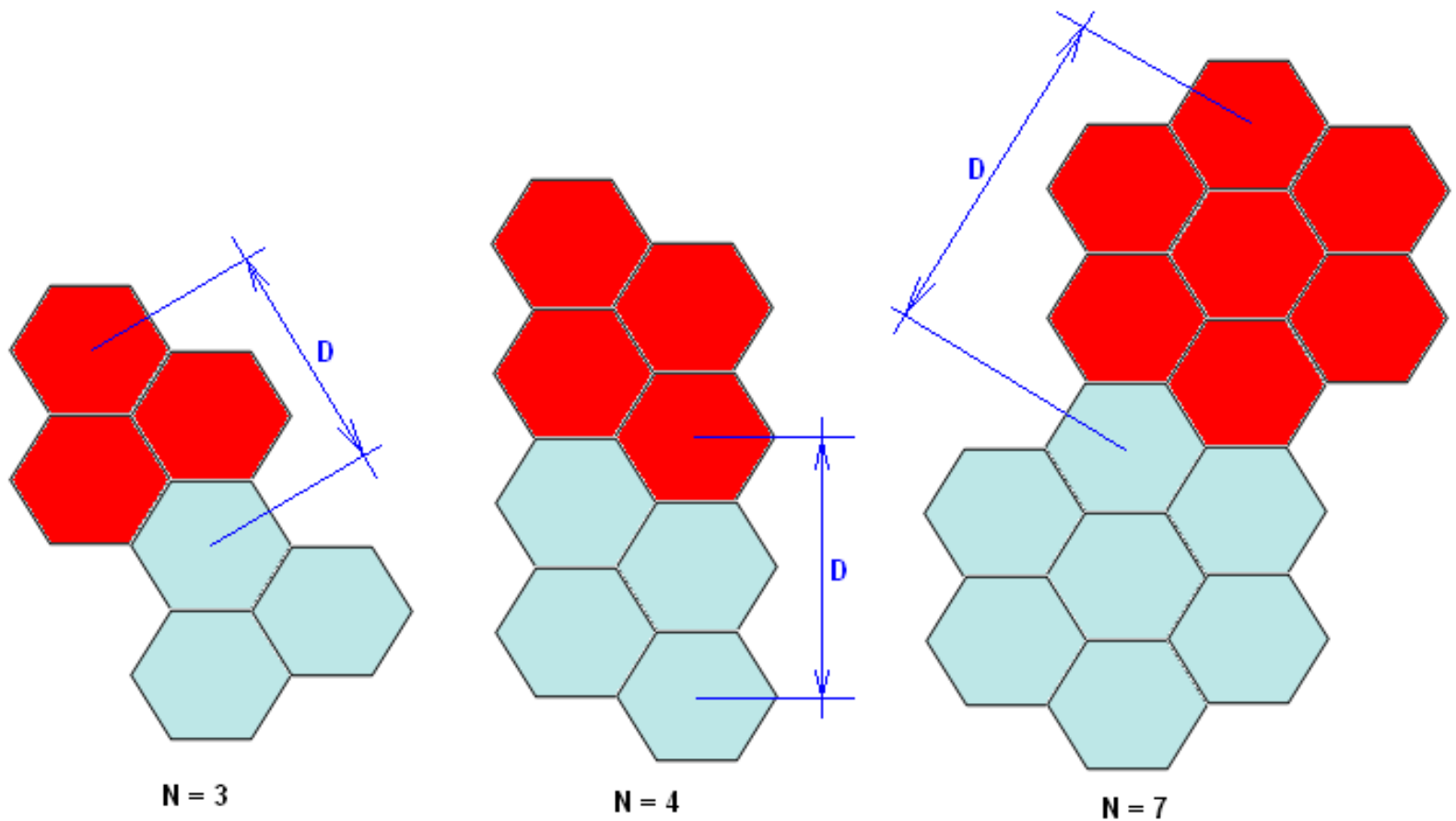
Comme l'indique leur nom, les terminaux mobiles se déplacent et il convient d'assurer par le réseau deux fonctions essentielles : la localisation (dans quelle cellule se trouve le mobile) et le changement de cellule (handover) qui ne doit pas perturber une session.

Pour modéliser le découpage du territoire en cellules, on fait appel à des cellules hexagonales ce qui permet un pavage exhaustif. On souhaite trouver des ensembles de cellules permettant de différencier les fréquences. On montre que le nombre  $N$  d'un tel motif obéit à la règle

$$N = i^2 + ij + j^2 \quad (i, j \text{ entiers})$$

*exemples* : Détermination de  $N$  à partir de  $i$  et  $j$

		j					
		0	1	2	3	4	5
i	0	0	1	4	9	16	25
	1		3	7	13	21	31
	2			12	19	28	39
	3				27	37	49
	4					48	61
	5						75



On peut vérifier que pour  $N = 3$ , la distance de réutilisation  $D$  vaut  $3R$  où  $R$  est le côté de l'hexagone ; Pour  $N = 4$ ,  $D = 2R \sqrt{3}$  ; Pour  $N = 7$ ,  $D = R\sqrt{21}$ . On peut vérifier la règle générale  $D = R\sqrt{3N}$ .

Bien entendu, pour une meilleure efficacité, une cellule peut être décomposée en plusieurs cellules, ce qui est le cas dans les milieux urbains.

On constatera que le motif doit comporter un nombre  $N$  de cellules le plus grand possible pour diminuer les effets d'interférence. Mais par ailleurs, la distance entre l'émetteur relais et le mobile joue aussi un rôle déterminant de sorte qu'il faut arriver à un compromis satisfaisant.



## Bibliographie et Webographie

- Alain Fouquet, Jean-Pierre Worgague, La révolution des usages portée par l'évolution technologique des réseaux,
- Mémento technique n°17 : Mobiles Multimédias - chap 3. ; <http://www.rd.francetelecom.com/fr/conseil/mento17/chap3b.html>
- Pierre Lescuyer, UMTS : Les origines, l'architecture, la norme ; Dunod
- Transmission des télécommunications, Cours B11, CNAM



# GSM



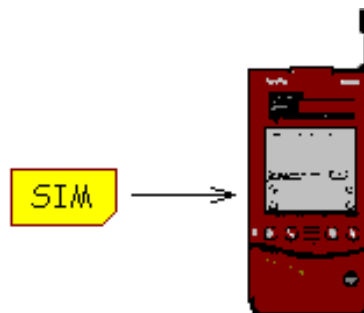
[Présentation](#)  
[Architecture du réseau GSM](#)  
[Connexion au réseau](#)  
[Canaux et multiplexage](#)

## Présentation

Le GSM (Global System for Mobiles) est une technologie européenne à mettre en parallèle avec des technologies équivalentes en Amérique du Nord (IS-95) et au Japon (PDC). Toutefois, GSM a fait ses preuves, il suffit de regarder autour de soi et voir la place que prend maintenant la téléphonie mobile.

C'est pourtant aux Etats Unis que s'est développée en premier la téléphonie mobile grâce notamment à la normalisation AMPS (Advanced Mobile Phone Service) en 1982. L'Europe a comblé son retard en 1987 avec le GSM qui permet une disponibilité téléphonique (voix, services) quel que soit le lieu et pour un équipement mouvant.

Le terminal, appelé quelquefois station mobile (MS : Mobile Station), est composé d'un équipement électronique et d'une carte à puce appelée carte SIM (Subscriber Identification Module).



La carte SIM a pour fonction principale d'identifier et d'authentifier un abonné téléphonique à un réseau téléphonique. Elle comporte également des fonctionnalités annexes. On notera donc que l'on peut changer d'équipement GSM sans problème : c'est la carte SIM qui est le dispositif permanent.

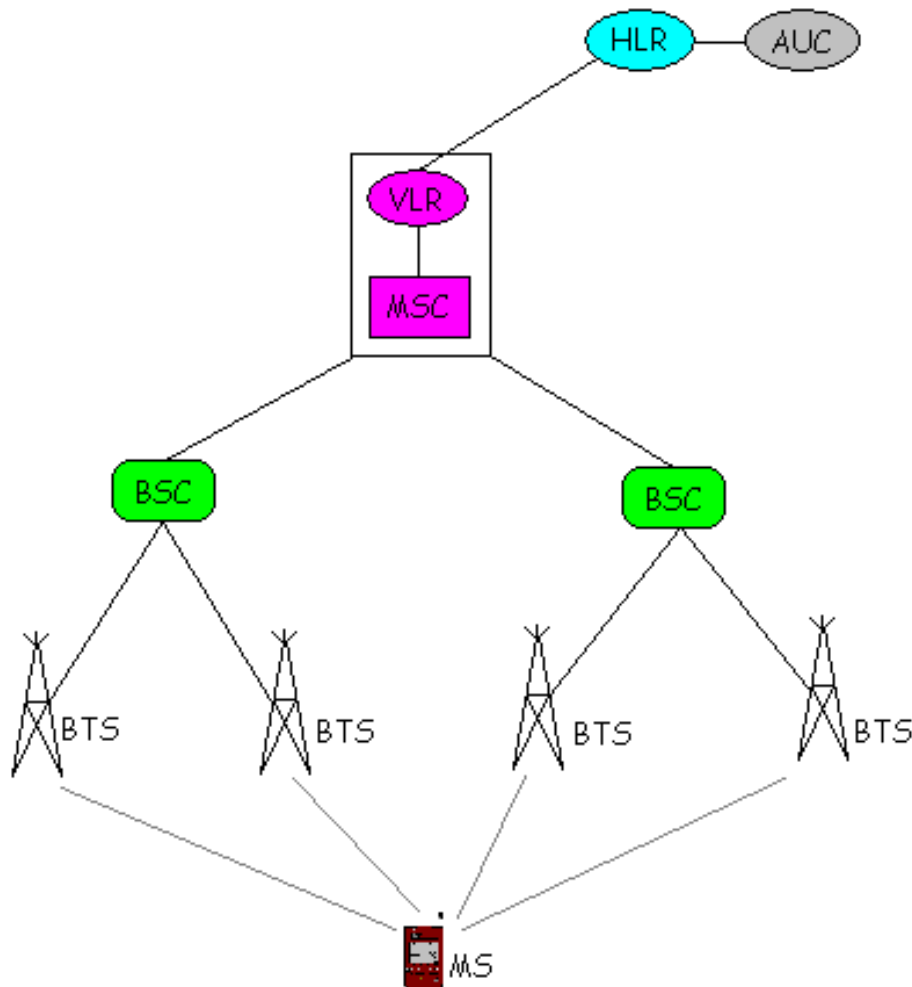
La connexion au réseau téléphonique s'opère par liaison radio entre le terminal et une antenne fixe appelée BTS (Base Transceiver Station). Cette communication est évidemment la plus vulnérable car la liaison radio est facile à capter par d'éventuels pirates. C'est pour cette raison que les émissions radio doivent être cryptées.



---

# Architecture du réseau GSM

Le réseau est du type arborescent (comme d'habitude) :



Plusieurs BTS sont contrôlées par un BSC (Base Station Controller). Les BSC sont reliés aux noeuds de commutation du réseau appelés MSC (Mobile-services Switching Centre) qui comprennent une base de données VLR (Visitor Location Register) dont la fonction est de localiser l'abonné dans une zone géographique donnée (LA : Location Area). L'abonné est enregistré dans une base de données centrale appelée HLR (Home Location Register) ; HLR contient le numéro du dernier VLR où l'abonné a été repéré. AUC (AUthentication Centre) est une base de données permettant l'authentification de l'abonné.

Le MSC est également en relation avec des passerelles permettant de véhiculer les messages vers le réseau téléphonique commuté RTC ou vers Internet.



## Connexion au réseau

Les BTS ont pour fonction de détecter la présence d'un téléphone portable ; ils émettent périodiquement des signaux qui sont reçus par le MS. Celui-ci, qui peut recevoir des signaux de plusieurs BTS sélectionne le BTS qui est le plus adéquat sur des critères énergétiques (niveau de réception) ou de disponibilité (la BTS la moins chargée).

Cette sélection étant faite, le MS envoie au BTS choisi une requête de connexion composée de l'identifiant de l'abonné (qui est dans la carte SIM) ; si le BTS peut accepter la connexion, elle envoie un acquittement ACK. Si elle ne peut accepter la connexion (par exemple si elle n'a pas de canaux disponibles) elle envoie un message ALERT (le MS doit alors choisir une autre BTS).

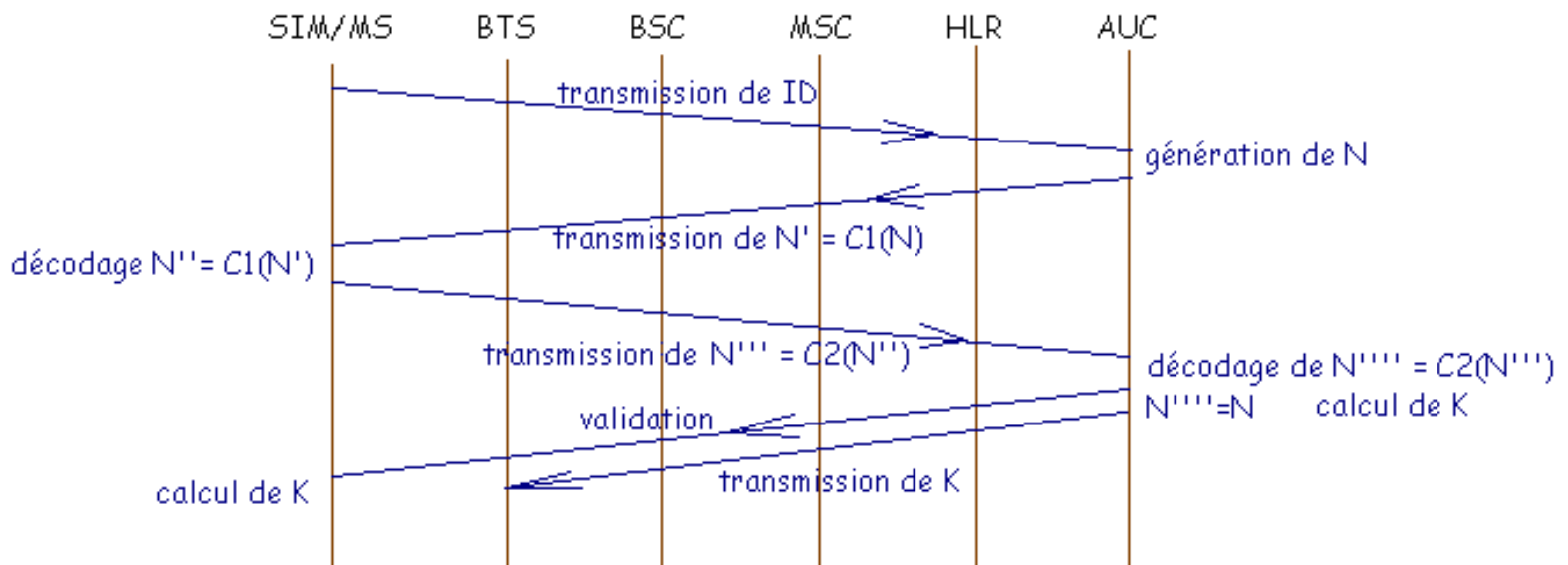
Cette simplicité n'est qu'apparente car une BTS peut très bien recevoir simultanément des requêtes de connexion provenant de deux MS différents ; dans ce cas ces requêtes se superposent et donnent lieu à un signal incompréhensible (collision). Cette situation n'est pas nouvelle ; elle a déjà été traitée dans le cas des réseaux locaux comme les réseaux Ethernet. Cependant le problème est ici différent car la collision ne peut être détectée par le MS (qui ne l'"entend" pas). On utilise alors le protocole Aloha qui est très simple : si au bout d'un certain délai (timeout), le message ACK n'est pas reçu par le MS, on considère que la requête n'est pas arrivée et on émet une nouvelle requête après un délai aléatoire compris entre 0 et  $t_{max}$ . Le choix de timeout et de  $t_{max}$  influe bien évidemment sur le débit effectif du réseau.

Dans le cas où la connexion est acceptée, la BTS transmet la requête au BSC qui elle-même la transmet au MSC avec le numéro de la BTS ce qui permet de mettre à jour la VLR (enregistrement de la localisation). Celle-ci transmet également les informations de localisation au HLR pour mise à jour. Tout ce processus correspond à l'identification de l'abonné.

Il faut maintenant passer au processus d'authentification. La carte SIM comporte l'identifiant ID de l'abonné et une clé secrète composée en fait de deux clés C1 et C2. Par ailleurs, le AUC comporte les mêmes informations : connaissant ID, il trouve les clés C1 et C2 dans ses tables. AUC construit un message à partir d'un nombre N généré aléatoirement et qu'il encode avec la clé C1 ; il envoie ce message (via la chaîne AUC-HLR-MSC-BSC-BTS-MS) au MS. Ce dernier, à l'aide de la clé C1, décode le message et récupère donc le nombre N qu'il encode avec la clé C2 ; ce nouveau message est envoyé à AUC (via la chaîne MS-BTS-BSC-MSC-HLR-AUC) ; AUC peut le décoder avec la clé C2 et récupère donc N ; il peut vérifier que c'est bien le nombre initial. Si c'est le cas, l'authentification a réussi. Il faut alors avertir le MS qu'il a été authentifié.

Il faut maintenant proposer une clé d'encryptage pour la suite de la connexion (puisque la transmission radio doit être sécurisée). C'est la carte SIM qui calcule cette clé K à partir du nombre N et des clés C1 et C2. AUC fait de même et transmet K à la BTS. MS et BTS peuvent alors échanger des messages cryptés avec la clé K.



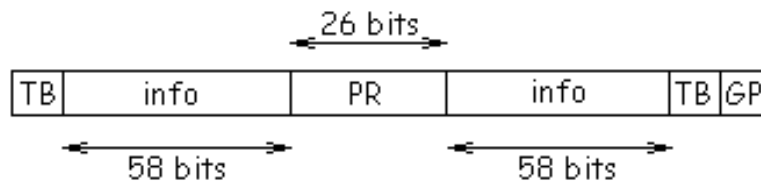


## Canaux et multiplexage

GSM combine deux méthodes de multiplexage :

- FDMA (Frequency Division Multiple Access) ou AMRF (Accès Multiple à Répartition en Fréquence) est un multiplexage fréquentiel partageant la bande de fréquence 890-915 MHz en 124 canaux de 200 KHz pour les voies montantes (BTS → MS) et la bande 935-960 MHz en 124 canaux de 200 KHz pour les voies descendantes (MS → BTS). Chaque canal ainsi défini possède un débit nominal  $D$ . Notons que ceci est valable pour les opérateurs France Telecom et SFR (GSM900) ; l'opérateur Bouygues utilise des fréquences autour de 1800 (GSM1800).
- TDMA (Time Division Multiple Access) ou AMRT (Accès Multiple à Répartition dans le Temps) est un multiplexage temporel utilisé dans chaque canal ou voie. Une voie peut véhiculer 8 communications différentes de la manière suivante : Le temps est divisé en slots ou IT (Intervalles de temps) de durée 577 microsecondes, numérotés de 0 à 7. L'ensemble de 8 IT consécutifs constitue une trame. Une communication s'effectue dans un slot de numéro défini, par exemple 4 ; Les trames se succèdent mais la communication n'utilise que le slot 4 de chaque trame. Le débit effectif de la communication est donc  $D/8$ . La durée d'une trame est de 4,615 ms. Une série de 26 trames constitue une supertrame (ou multitrame). Les trames 12 et 26 sont réservées au service.

La voix est numérisée par un convertisseur A/N au niveau du MS. C'est donc de l'information numérique qui est transmise entre MS et BTS, c'est à dire une suite de bits. Durant un IT, un paquet de bits est transmis comportant des bits de contrôle et des bits d'information (cryptés). La structure type d'un paquet d'information est donnée ci-dessous :



TB (Tail Bits) correspond à 3 bits, GP (Guard Period) correspond à 8,25 bits et vise à compenser la durée de transmission entre MS et BTS ; PR est un champ pour les paramètres de réception.

Par suite, sachant que 116 bits utiles sont envoyés pendant une période de 577 microsecondes, que la communication utilise une IT sur 8 et que 24 trames sur 26 sont utilisées, le débit effectif est

$$d = (116\ 000\ 000/577) \times (1/8) \times (24/26) = 23,197\ \text{Kbits/s}$$



# GPRS



- [Présentation](#)
- [Architecture du réseau GPRS](#)
- [Protocoles](#)
- [Connexion au réseau](#)
- [Canaux et multiplexage](#)
- [EDGE](#)
- [Bibliographie et Webographie](#)

---

## Présentation

On peut présenter le GPRS (General Packet Radio Services) comme une évolution du GSM. Il a, en effet, été présenté comme tel lors de son introduction à l'ETSI (European Telecommunication Standard Institute) en 1994 (début de mise en service : 2001). Il est quelquefois présenté comme réseau de 2,5G (génération intermédiaire entre la deuxième et la troisième génération). Son introduction vise à corriger les imperfections du GSM :

- trop orienté "téléphonie" et pas assez orienté "données"
- faible débit
- fiabilité non assurée

Qu'apporte donc le GPRS par rapport au GSM ? Tout d'abord, un débit plus important allant jusqu'à 171,2 Kbits/s ce qui est beaucoup plus confortable. Ensuite un certain nombre de services supplémentaires orientés multimédia : notamment l'accès à Internet et au Web, la diffusion d'informations graphiques (une des possibilités la plus remarquable est la prise de photographie suivie de sa transmission).

Il faut insister aussi sur une différence importante entre GSM et GPRS : le premier travaille en mode "circuit" comme le téléphone "ordinaire", le second en mode "paquet". Cela signifie que l'information est découpée en paquets (comme dans IP) et qu'un canal logique GPRS transmet des paquets. La connexion n'est assurée que pendant la transmission de paquets (pas de silence) alors qu'en mode "circuit", la connexion reste maintenue tant que l'un des abonnés n'a pas raccroché (le silence est donc d'"or" car il est facturé comme la parole).

Enfin, signalons la possibilité d'obtenir une simultanéité de services. On peut à la fois utiliser conjointement une session GSM et une session GPRS : on peut téléphoner (GSM) et envoyer des données simultanément (GPRS) ou encore transmettre une image (GPRS) et un SMS (GSM). Comme on le verra plus loin, cette simultanéité de services provient du multiplexage. Ces possibilités dépendent toutefois

- classe A : usage simultané de tous les services et dans de bonnes conditions
- classe B : idem mais avec une restriction sur la qualité de la parole
- classe C : pas de simultanéité.

Le multiplexage permet de multiplexer plusieurs usagers sur un même canal physique mais aussi permet à un usager de bénéficier de plusieurs canaux. Le nombre maximal de canaux logiques pour un usager est de 8 (on utilise alors tous les IT d'une trame GSM). Cependant le nombre de canaux logiques utilisables simultanément par un terminal dépend de celui-ci avec une répartition sens descendant et sens montant.



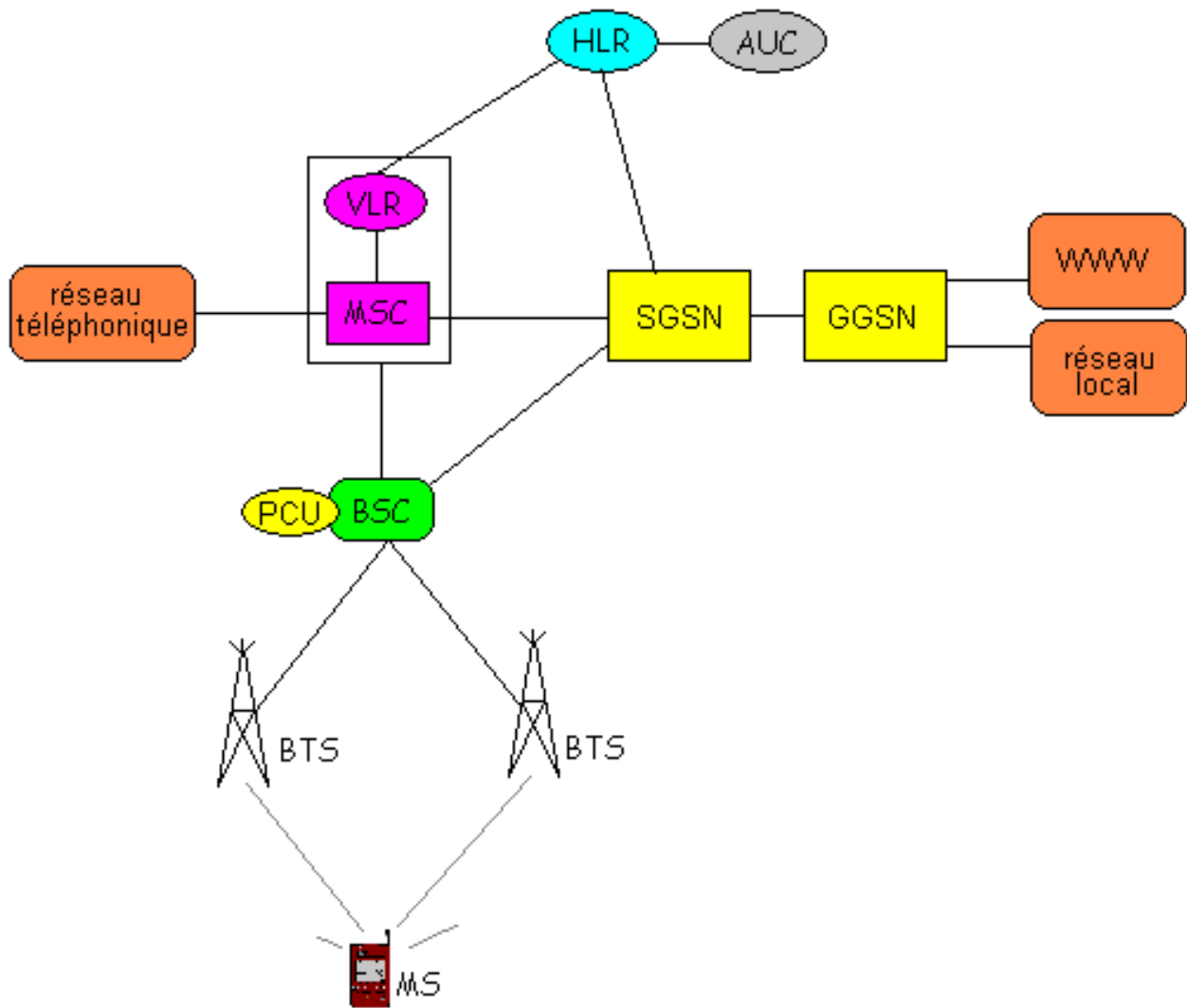
---

## Architecture du réseau GPRS

Le réseau GPRS utilise le réseau GSM pour la couche physique. Il faut simplement y adjoindre deux noeuds supplémentaires :

- SGSN (Serving GPRS Support Node) : ses fonctionnalités principales sont la gestion de la mobilité (changement de cellule), et la conversion des données du terminal en paquets de type IP (et réciproquement).
- GGSN (Gateway GPRS Support Node) : il assure la connexion avec les réseaux de données de type Internet (accès à un réseau local d'entreprise, accès à un serveur Web).

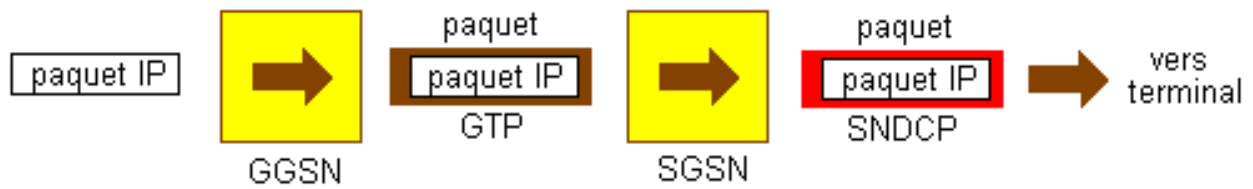
Un module logiciel est toutefois ajouté au BSC : PCU (Packet Control Unit) qui fait la différence entre les données "circuit" de GSM et les données "paquet" de GPRS.



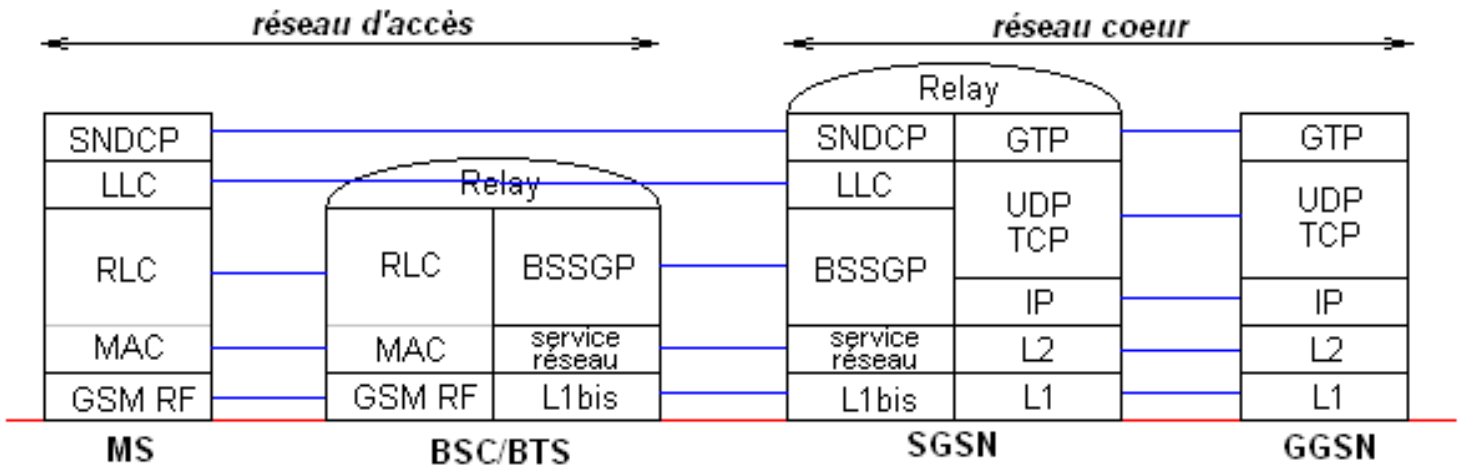
## Protocoles

Deux protocoles sont utilisés pour l'encapsulation/décapsulation des données :

- GTP (GPRS Tunneling Protocol) qui produit au niveau de GGSN un paquet encapsulant un paquet IP destiné au terminal
- SNDCP (Sub-Network Dependent Convergence Protocol) qui encapsule au niveau de SGSN un paquet GTP destiné au terminal



En fait, GPRS utilise toute une série de protocoles, du réseau "cœur" au réseau d'accès :



La couche physique est celle de GSM qui utilise le mode mixte TDMA/FDMA.

Le niveau supérieur est constitué dans le réseau d'accès de trois couches MAC, RLC et LLC. Les paquets SNDCP sont convertis en trames LLC (de type HDLC/LAPD) qui à leur tour sont segmentées dans des blocs radio RLC (ensemble de 4 trames GSM). Le découpage est "brut" en ce sens qu'un bloc peut très bien contenir la fin d'une trame LLC et le début d'une autre. RLC effectue évidemment aussi la fonction inverse de constitution de trames LLC à partir des blocs radio reçus. La couche MAC multiplexe les flux de données en tenant compte de la priorité.



## Connexion au réseau

Les aires de localisation (LA) du GSM sont utilisées mais décomposées en aires de routage (RA). Une aire de routage correspond à un nombre donné de cellules. Une aire de routage ne correspond qu'à un seul SGSN mais un SGSN peut contrôler plusieurs RA.

Une aire de localisation est définie sans ambiguïté par son identifiant LAI (Location Area Identity) qui est composé du MCC (identifiant du pays), du MNC (identifiant du réseau GSM) et du LAC (code

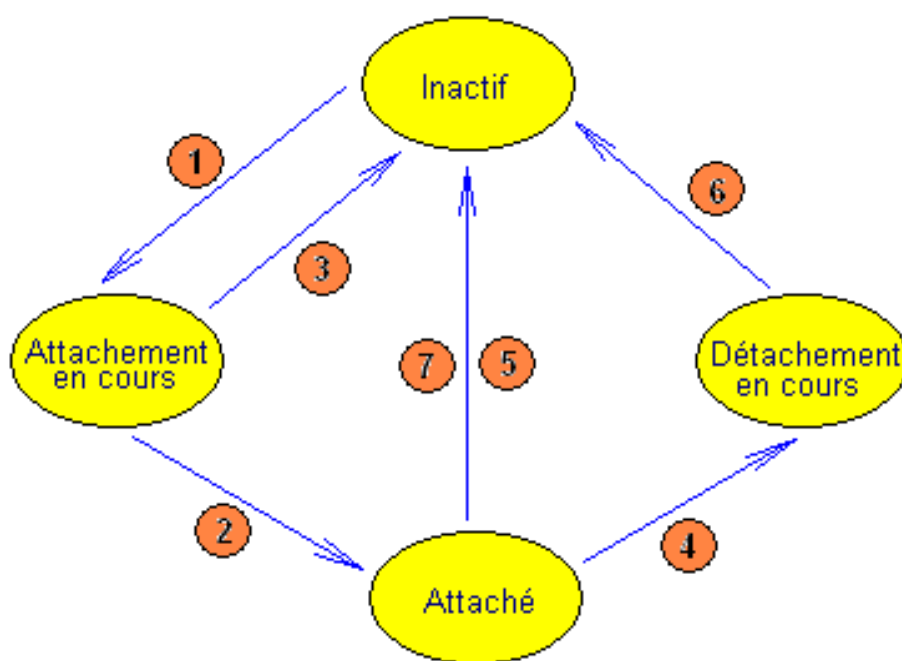
d'identification de LA).

Une aire de routage est identifiée par un code RAC qui joint à LAI définit sans ambiguïté une RA.

Une cellule est identifiée par rapport à une LA par un code de cellule CI (Cell Identity). LAI + CI identifie donc sans ambiguïté une cellule quelconque.

Un mobile est en connexion avec le SGSN et lui transmet son P-TMSI (identité temporaire de mobile) que le SGSN lui a déjà attribué. Si le mobile a changé d'aire de routage ou d'aire de localisation, le SGSN recherche l'information auprès d'autres SGSN. S'il ne trouve rien, il se fait communiquer l'IMSI (identité internationale de mobile commune à GSM et GPRS). L'authentification terminée, le SGSN localise le mobile auprès des HLR/VLR.

Le schéma ci-dessous précise les étapes d'attachement et de détachement d'un mobile :



- 1 : le mobile effectue une demande d'attachement
- 2 : le SGSN accepte la demande et confirme l'attachement
- 3 : le SGSN refuse la demande et envoie un message de rejet
- 4 : le mobile demande une interruption de la session mais reste en veille
- 5 : le mobile demande une interruption définitive de la session (coupure d'alimentation)
- 6 : si la demande d'interruption est acceptée, le SGSN confirme et le mobile passe dans l'état inactif
- 7 : fin de session

Le changement de cellule est différent dans le cas du GPRS par rapport au GSM. Dans ce dernier, ce n'est pas le mobile qui a l'initiative, dans le cas du GPRS, c'est le mobile qui signale le changement. Dans le cas d'un changement de cellule au sein d'une même aire de localisation, le mobile envoie une trame LLC au SGSN contenant l'identité de la nouvelle cellule. Dans le cas d'un changement d'aire de routage, l'information relative à la nouvelle aire de routage est ajoutée au message vers le SGSN qui vérifie si le mode paquet est toujours valable ; éventuellement un nouveau P-TMSI est affecté au mobile. Si le

mobile change d'aire de localisation, le message envoyé par le mobile est transmis par le SGSN au GGSN, au VLR/HLR.



## Canaux et multiplexage

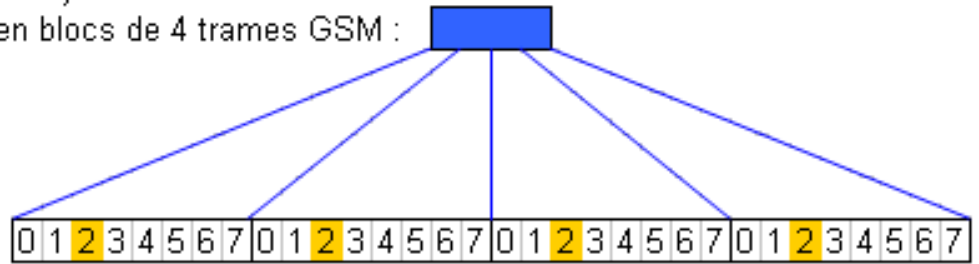
L'infrastructure de GSM sert de base au réseau GPRS qui utilise des multitrames composée de 52 trames GSM. 48 de ces trames sont utilisables pour la transmission de données ; les 4 autres restent libres ; les trames utilisables forment des blocs de 4 trames ; les trames libres se situent après trois blocs. Une multitrame comporte donc au maximum 384 canaux physique GPRS appelés PDCH (Packet Data Channel). Ces canaux peuvent être multiplexés pour obtenir des débits plus importants. Par ailleurs, la répartition des canaux entre GSM et GPRS reste à l'initiative des opérateurs.



multitrame GPRS = 52 trames GSM dont 4 restent libres

■ trame libre (après une suite de 3 blocs)

les 48 trames utilisées sont réparties en blocs de 4 trames GSM :



2 : canal logique PDTCH

Comme pour le GSM, GPRS utilisent des IT pour constituer des canaux logiques. Un ou plusieurs canaux physiques PDCH sont réservés aux informations de signalisation relative au mode "paquet" ; on les appelle MPDCH (Master PDCH). Ils correspondent à un seul canal logique PCCCH (Packet Common Control Channel).

Les autres canaux physiques PDCH (appelés canaux esclaves par rapport aux précédents) servent de support à deux types de canaux logiques :

- PDTCH (Packet Data Traffic Channel) qui servent à la transmission des données
- PACCH (Packet Associated Control Channel) qui transportent la signalisation associée aux données.





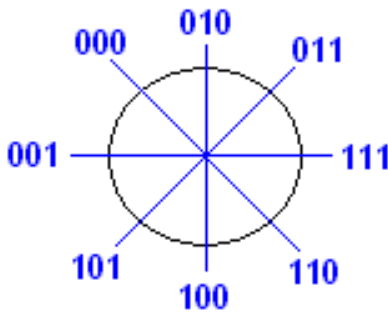
---

## EDGE

Si les informations deviennent volumineuses, le débit du GPRS n'est plus suffisant et c'est au niveau de la couche physique que se situe l'évolution vers de hauts débits ce qui a donné naissance à EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution).

Dans le GSM, le codage s'effectue de manière simple : on utilise deux signaux qui correspondent soit à un "0", soit à un "1". Un signal radio transporte donc 1 bit (modulation GMSK : Gaussian Multiple Shift Keying).

Dans EDGE, le codage utilise une modulation de phase permettant de transporter 3 bits par signal, la modulation 8PSK (8-Phase Shift Keying) :



Le débit est alors multiplié par 3 par rapport au GPRS.

Ce nouveau mode de codage a cependant des conséquences onéreuses. Tout d'abord, les terminaux mobiles doivent être spécifiques ; ensuite, il faut effectuer des modifications logicielles et matérielles au niveau des BTS, des BSC et des composants du réseau cœur (SGSN, MSC, VLR).



---

## Bibliographie et Webographie

- Jean Cellmer, Du système GSM au système GPRS, Techniques de l'ingénieur, <http://www.techniques-ingenieur.com>
- Pierre Lescuyer, UMTS : les origines, l'architecture, la norme, Dunod

- MorganDoyle Limited, GPRS Tutorial
- TechArena Community, Internet Access over GPRS, <http://forums.techarena.in>



# UMTS



- [Présentation](#)
- [Architecture du réseau UMTS](#)
- [CDMA](#)
- [Protocoles](#)
- [Couche physique](#)
- [Bibliographie et Webographie](#)

## Présentation

L'UMTS ( Universal Mobile Telecommunication System) ne justifie pas sa qualification d'universelle, du moins en ce qui concerne ses déclinaisons car il existe 5 systèmes se recommandant de ce vocable :

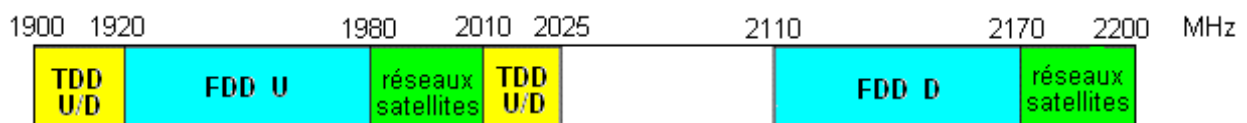
- UTRA/FDD ou IMT-DS (International Mobile Telecom - Direct Spread)
- UTRA/TDD ou IMT-TC (International Mobile Telecom - Time Code)
- DECT ou IMT-FT (International Mobile Telecom - Frequency Time)
- CDMA 2000 ou IMT-MC (International Mobile Telecom - Multi Carrier)
- UWC-136 ou IMT-SC (International Mobile Telecom - Single Carrier)

Il existe d'ailleurs aussi des technologies concurrentes bien que l'UMTS soit issue des travaux de l'IMT (International Mobile Telecommunication) sous le couvert de l'ITU (International Telecommunication Union).

Les services à couvrir par la nouvelle norme concerne la plupart des transferts d'informations : parole, video-streaming, interactivité (Internet, jeux), messagerie, ... Ces applications possèdent des contraintes différentes en ce qui concerne le débit et la fiabilité. De plus il faut offrir une qualité de service définie en ce qui concerne les paramètres précédents, mais aussi des niveaux de priorité. Concernant les paramètres QoS de débit et de fiabilité, le tableau suivant indique les classes de service proposées :

tolérance aux erreurs	Conversational voix, vidéo	Messagerie vocale	Streaming	FAX
intolérance aux erreurs	Telnet jeux interactifs	e-business WWW	FTP image fixe	e-mail
	Conversational ( << 1s )	Interactivité ( 1 s )	Streaming ( < 10 s )	Background ( > 10 s )

UMTS utilise deux techniques de multiplexage sur la voie radio : TDD (Time Division Duplex) et FDD (Frequency Division Duplex). La première utilise un multiplexage temporel à la manière de TDMA (une seule fréquence est utilisée alternativement par les deux voies montante et descendante) tandis que la seconde utilise un multiplexage fréquentiel à la manière de FDMA (2 fréquences différentes pour la voie montante et la voie descendante). Les plages de fréquences allouées sont plus élevées que pour les réseaux de deuxième génération :

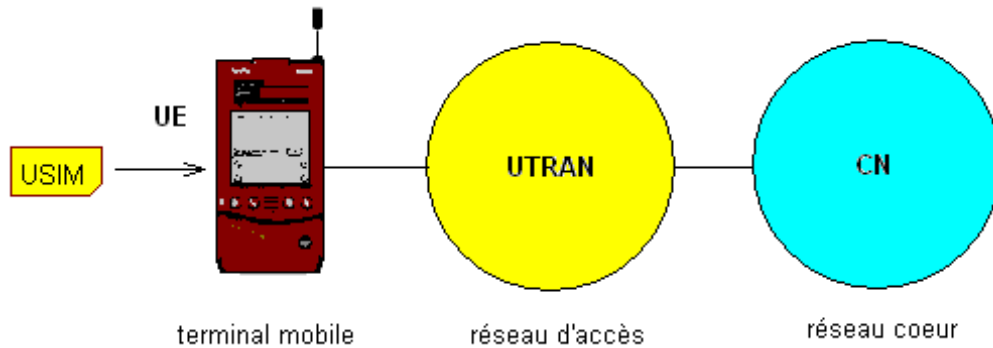


U : Up (voie montante)  
D : Down (voie descendante)



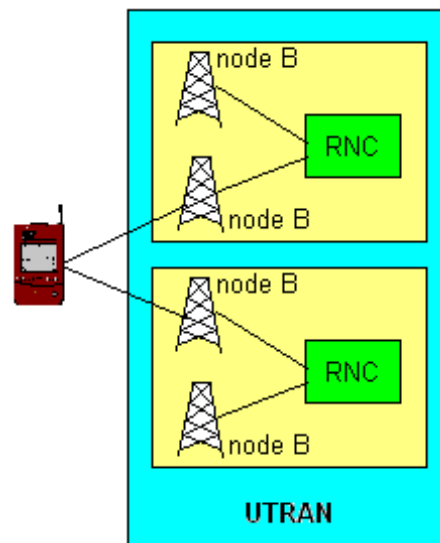
## Architecture du réseau UMTS

Le réseau UMTS possède l'architecture classique suivante :

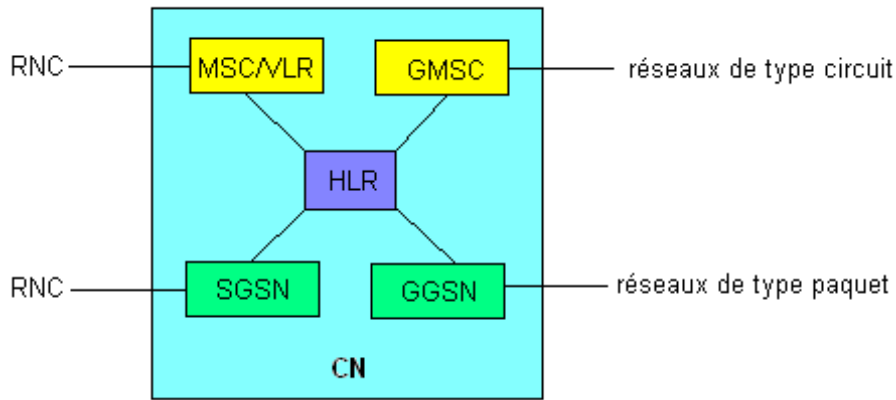


Le terminal mobile (UE : User Equipment) est constitué d'un équipement ME (Mobile Equipment) et d'une carte à puce USIM analogue à la carte SIM. Le réseau d'accès est appelé interface UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network). Le réseau coeur CN (Core Network) permet la connexion aux réseaux classiques. L'architecture globale est donc similaire à celle du réseau GSM ou GPRS.

L'UTRAN comprend des stations de base (Node B) associées à un contrôleur RNC (Radio Network Controller). Un node B n'est associé qu'à un contrôleur unique. Un ensemble RNC et les node B correspondants est appelé RNS (Radio Network Sub-System). On notera qu'un mobile peut être en relation avec plusieurs nodes B (dans le cas du handover notamment).



Le réseau coeur comprend 3 domaines : le domaine circuit assez analogue à GSM, le domaine paquet assez analogue à GPRS et un domaine commun.

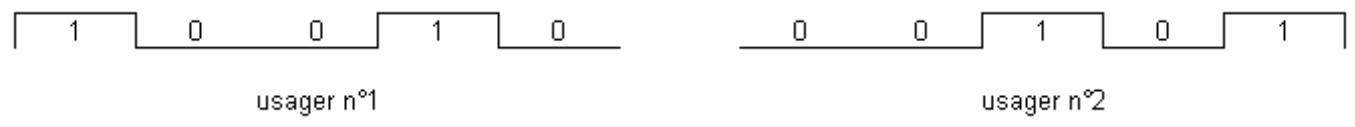


## CDMA

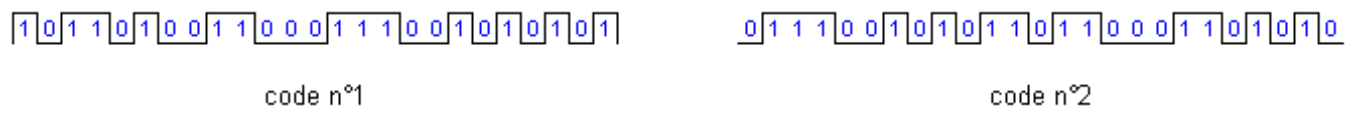
Le réseau UMTS utilise un multiplexage appelé CDMA (Code Division Multiple Access initialement appelé IS-95 aux États Unis). Pour expliquer en quoi consiste cette forme de multiplexage, on peut imaginer une assemblée de personnes en un même lieu, les individus parlant chacun une langue différente. Il est clair que le résultat est un brouhaha incompréhensible mais quelqu'un qui connaît une langue peut comprendre une communication. Dans CDMA, les langues sont remplacés par des codages de l'information : tous les usagers utilisent la même fréquence mais il y a un code spécifique pour chaque usager.

UMTS utilise une version de CDMA appelée W-CDMA (ou CDMA large bande) permettant d'atteindre des débits allant jusqu'à 2 Mbits/s.

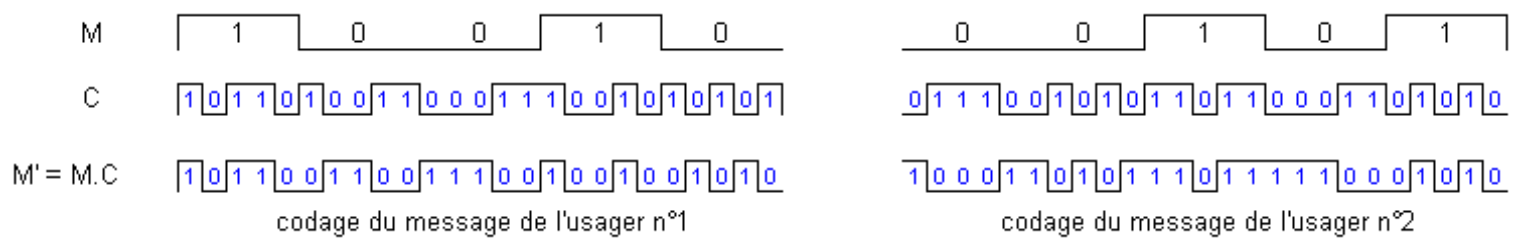
L'information binaire à transmettre est tout d'abord codée en NRZ à une fréquence  $f$ . Le schéma ci-dessous donne l'exemple du codage de deux messages (de deux usagers différents) où le "1" est codé +1 et où le "0" est codé -1 :



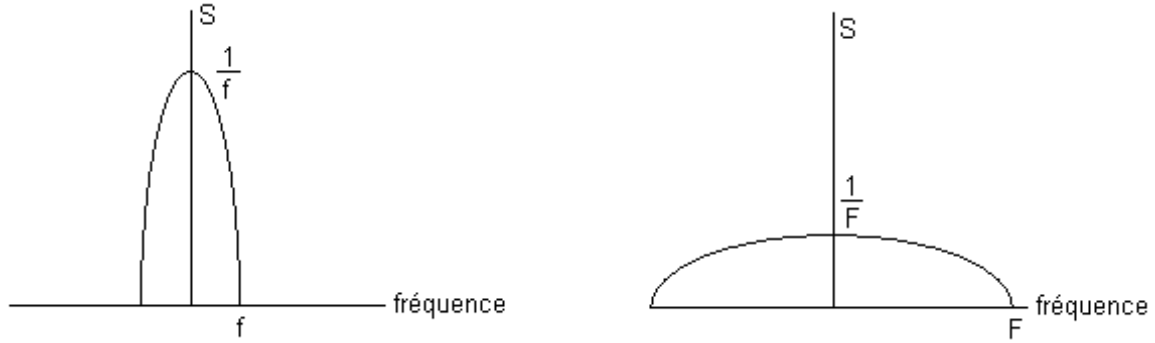
Pour chaque usager, par tirage aléatoire, on génère un signal binaire à une fréquence  $F = nf$  ( $n = 5$  sur le schéma) ; chacun de ces signaux constitue un code affecté à chaque usager :



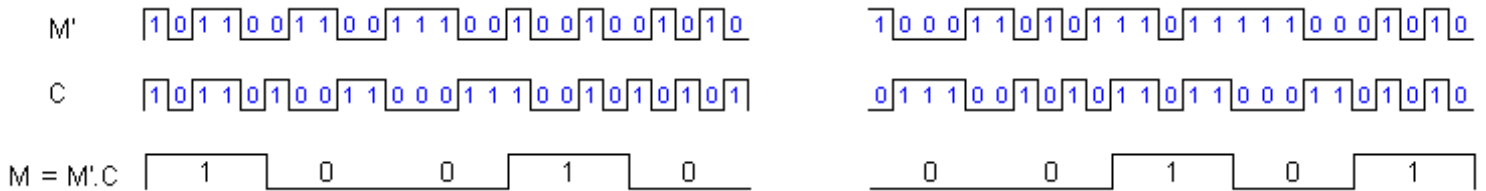
Les messages des usagers sont alors codés par simple multiplication des signaux du message et des signaux du code :



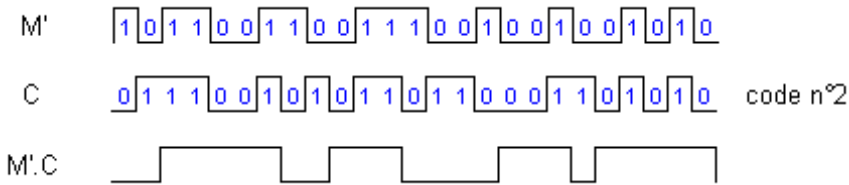
opération s'appelle étalement de spectre pour la raison suivante. Pour le signal original de fréquence  $f$ , le spectre obtenu par transformation de Fourier est assez resserré. Par contre pour les signaux de fréquence  $F$ , le spectre est plus étalé :



La restitution du message original s'effectue de manière très simple par multiplication du signal codé et du signal de code :



Bien entendu, le récepteur doit effectuer la multiplication avec des signaux décalés de  $\tau$  (temps de propagation du signal entre l'émetteur et le récepteur), soit  $M'(t - \tau).C(t - \tau)$ . Il faut évidemment aussi décaler le code pour retrouver le signal original. Si l'on appliquait le code n°2 au signal codé par le code n°1, on obtiendrait un résultat non valable très significatif :

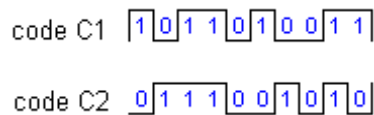


Bien entendu il se pourrait que deux codes conduisent à un résultat interprétable à partir d'un même message initial. Pour éviter ce résultat, il faut choisir les codes de manière particulière.

On définit la corrélation de 2 codes  $C_1$  et  $C_2$ , composés d'une suite  $N$  d'éléments binaires, de la manière suivante :

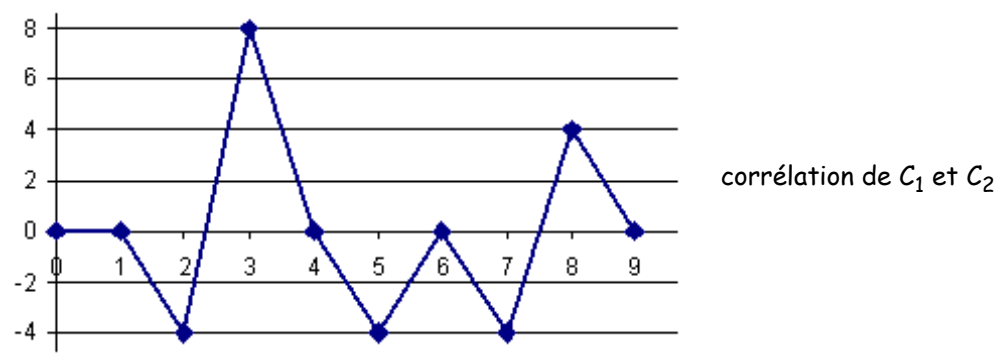
$$R_i(C_1, C_2) = \sum_{j=0}^{N-1} (-1)^{C_{1,j} + C_{2,(j+i) \bmod N}}$$

exemple : soit les codes  $C_1$  et  $C_2$  ( $N = 10$ ) :

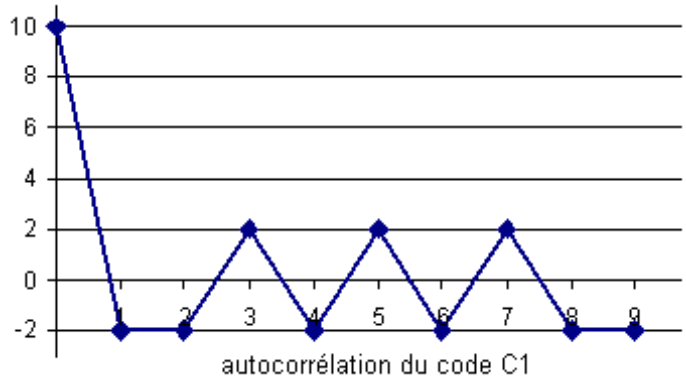
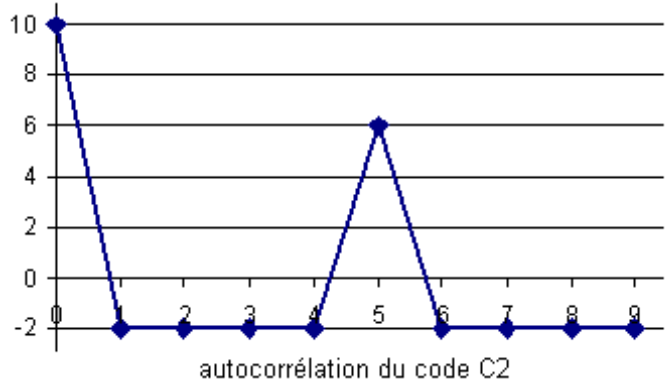


On a  $R_0(C_1, C_2) = 0$  ;  $R_1(C_1, C_2) = 0$  ;  $R_2(C_1, C_2) = -4$  ;  $R_3(C_1, C_2) = 8$  ;  $R_4(C_1, C_2) = 0$  ;  $R_5(C_1, C_2) = -4$  ;  $R_6(C_1, C_2) = 0$  ;  $R_7(C_1,$

$C_2) = -4 ; R_8(C_1, C_2) = 4 ; R_9(C_1, C_2) = 0$  ce qui se traduit par la fonction de corrélation :



On peut aussi considérer l'autocorrélation des codes  $C_1$  et  $C_2$  :  $R(C_1, C_1)$  et  $R(C_2, C_2)$  :



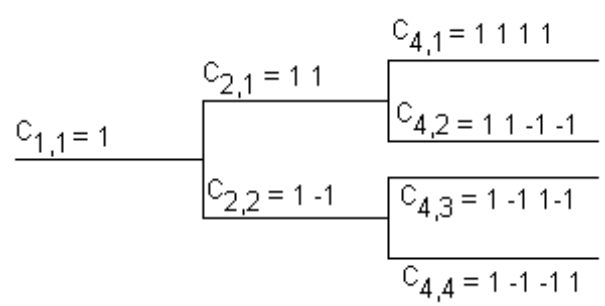
Dans le système CDMA, les codes doivent satisfaire aux conditions suivantes :

- l'autocorrélation d'un code doit être faible ou négative pour  $i \neq 0$  ;
- la corrélation entre deux codes doit être faible ou négative. Si elle est nulle, les codes sont dits orthogonaux.

Il est clair que dans l'exemple montré, les codes ne satisfont pas ces conditions. Comment trouver les "bons" codes ? On commence par noter  $C_{N,m}$  les codes où N désigne le nombre de bits du code (N a la valeur maximale 256 pour les canaux montants et 512 pour les canaux descendants) et m le numéro du code.

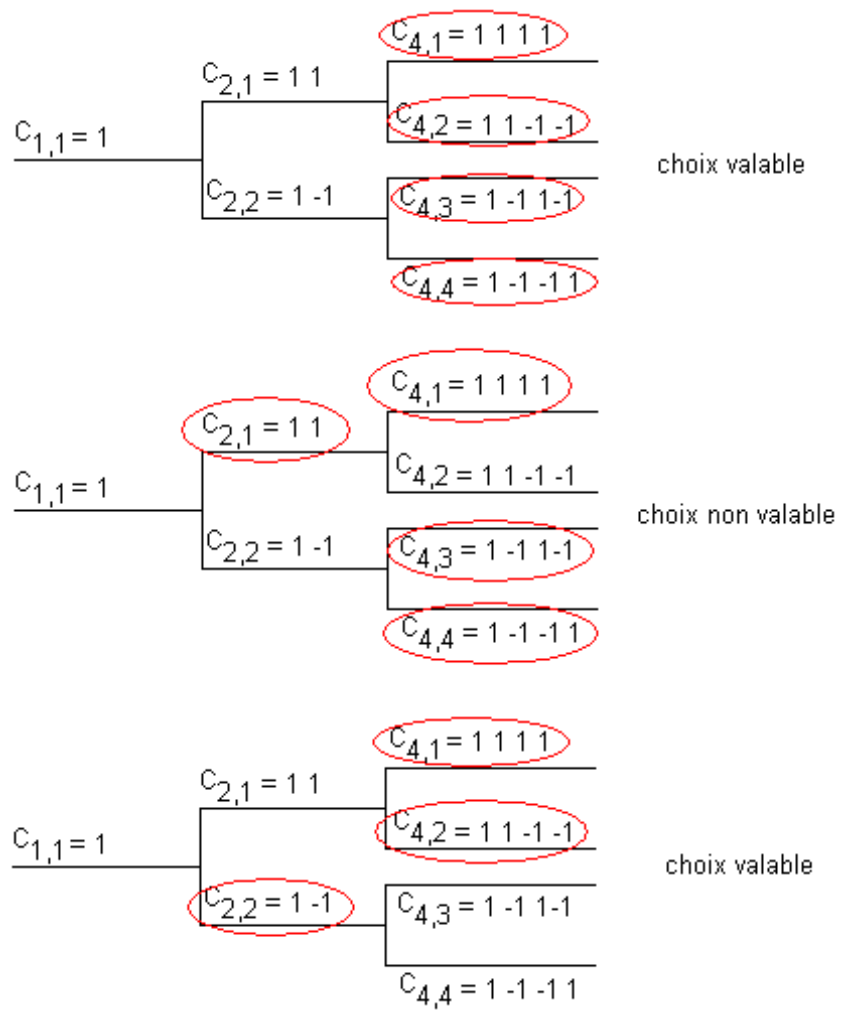
- Le plus simple est  $C_{1,1}$  qui ne comporte qu'un élément bit : 1.
- Le suivant est  $C_{2,m}$  (où  $m = 1, 2$ ) avec  $C_{2,1} = 11$  et  $C_{2,2} = 1-1$ .
- Le troisième est  $C_{4,m}$  (où  $m = 1, 2, 3, 4$ ) avec  $C_{4,1} = 1111$ ,  $C_{4,2} = 11-1-1$ ,  $C_{4,3} = 1-11-1$ ,  $C_{4,4} = 1-1-11$

et ainsi de suite ( 1 représente un "1" et -1 un "0"). On peut donner une représentation arborescente commode de ces codes :

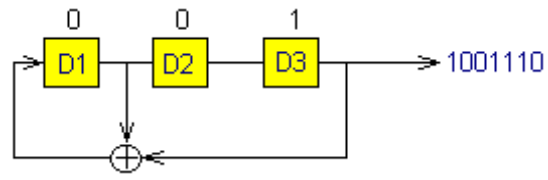


On peut vérifier que les codes de même niveau hiérarchique sont orthogonaux. Ces codes sont appelés OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor). Toutefois 2 codes situés sur le même rameau (comme  $C_{4,1}$  et  $C_{2,1}$ )

ne sont pas toujours orthogonaux ce qui conduit, lorsqu'on a fait un choix d'un code, à éliminer tous ses antécédents :



Les codes ainsi constitués ne sont cependant pas aléatoires et il faut effectuer un traitement spécial dit de "brouillage" pour obtenir les "bons" codes. Le résultat s'appelle codes de brouillage (scrambling codes) que l'on ajoute aux codes OVSF. La méthode utilise un registre à décalage muni d'une fonction XOR et le principe est exposé dans le schéma ci-dessous :



Le tableau ci contre indique le fonctionnement du dispositif

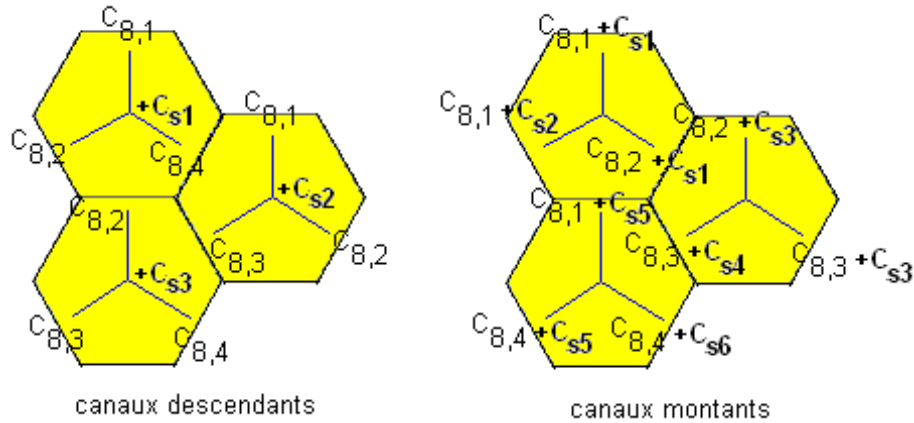
D1⊕D3	D1	D2	D3	sortie
0	0	0	1	1
1	1	0	0	0
1	1	1	0	0
1	1	1	1	1
0	0	1	1	1
1	1	0	1	1
0	0	1	0	0

Le dispositif fournit des codes de longueur  $2^n - 1$  où n est le nombre de registres à décalage. Dans l'interface UTRAN de l'UMTS, le générateur est plus complexe que l'exemple pédagogique ci-dessus et comporte 25 registres à décalages (et plusieurs fonctions XOR) ; il peut donc fournir des codes à  $2^{25} - 1$  bits dont on retient seulement 38400 éléments.



Il faut maintenant attribuer les codes aux canaux. Il y a une différence de méthodes entre les canaux montants (mobile → réseau) et les canaux descendants (réseau → mobile).

Dans le sens descendant le réseau doit effectuer la synchronisation des codes afin de garantir leur orthogonalité (un décalage mettrait le système en difficulté): tous les canaux sont donc synchronisés lorsqu'ils parviennent au mobile. Pour garantir l'indépendance entre les canaux de cellules différentes, on ajoute un code de brouillage propre à chaque cellule :



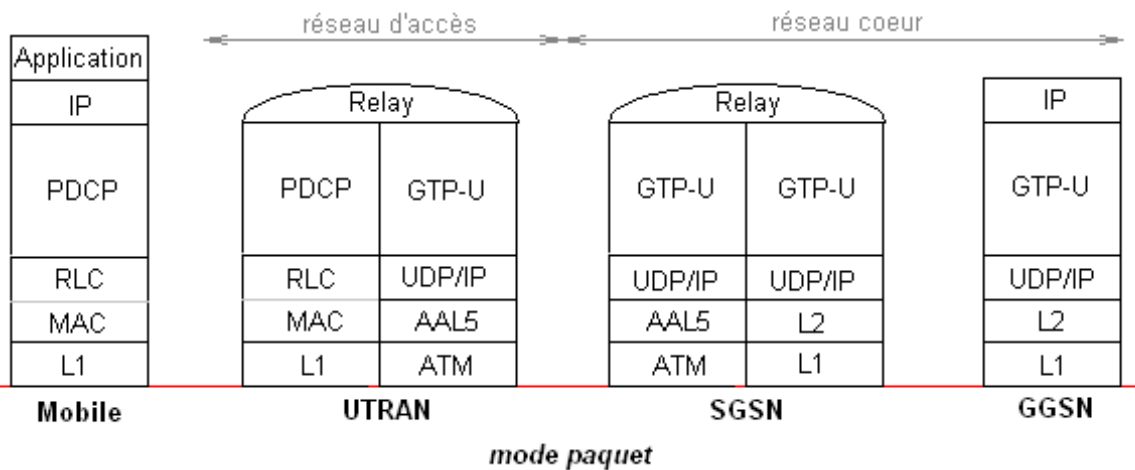
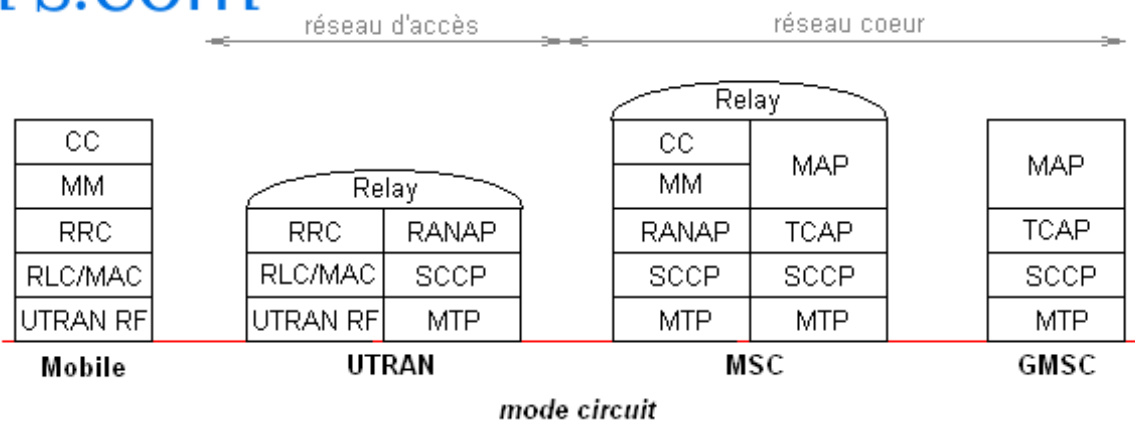
Par contre dans le sens montant, si mobile peut synchroniser des codes différents, il est difficile de synchroniser des codes provenant de mobiles différents. Le réseau alloue alors à chaque mobile un code de brouillage différent.

L'attribution des fréquences aux cellules (planification des fréquences) qui doit se faire en GSM n'a plus lieu ici du fait de l'utilisation des codes ; en revanche il faut effectuer une planification des codes : attribution à chaque cellule d'un code de canal de synchronisation secondaire et d'un code de brouillage. Cependant ces codes sont suffisamment nombreux pour que le problème de la planification soit moins complexe que celui de GSM.

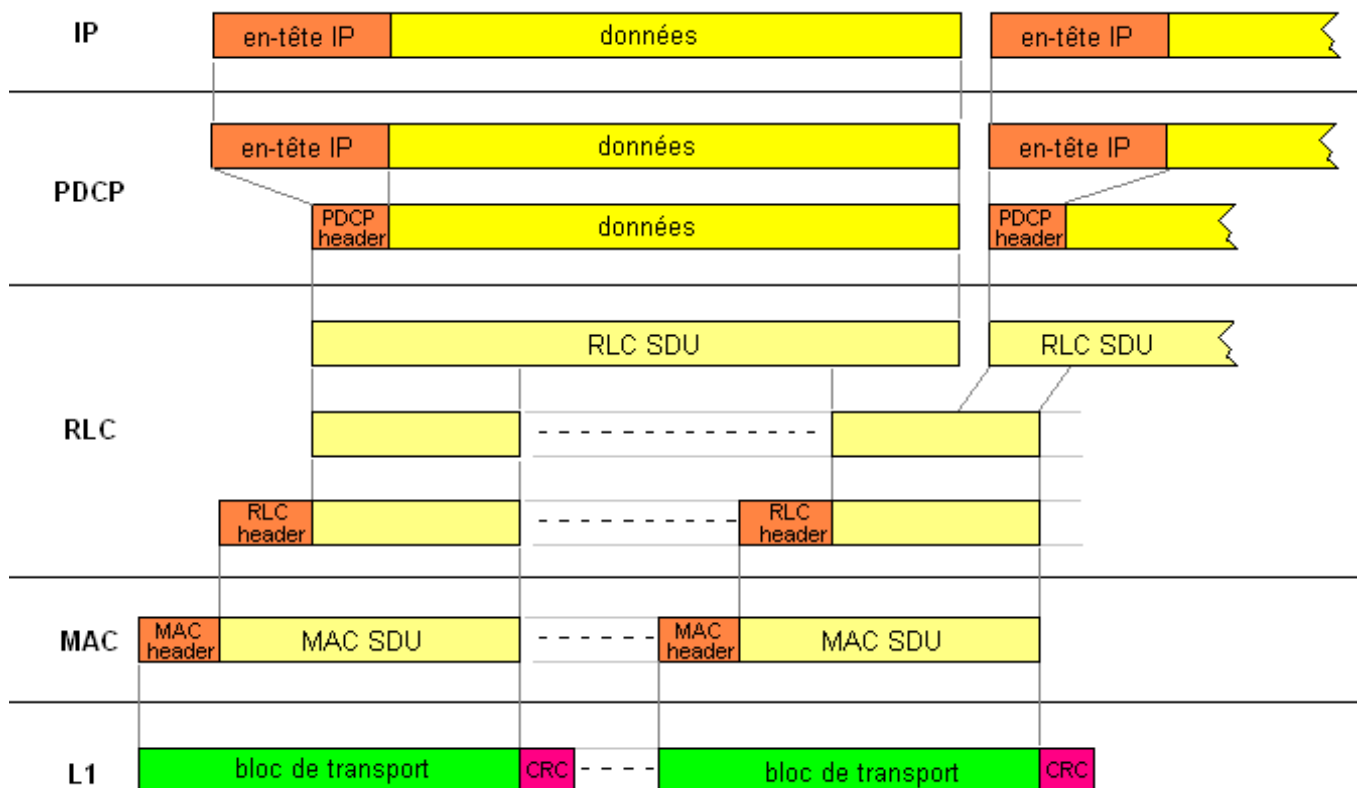


## Protocoles

Les figures suivantes donnent l'architecture en couches pour le mode circuit et le mode paquet (plan usager seulement dans ce dernier cas).



On ne considérera ici que le mode paquet, le mode circuit étant assez similaire au GSM. Dans la traversée des couches au niveau UTRAN/Mobile, les données sont transformées comme suit :



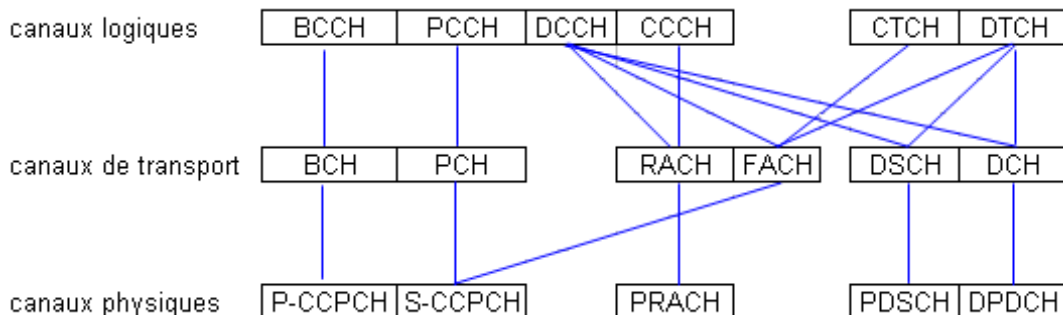
Par ailleurs, le modèle UMTS sépare en deux "strates" les fonctions réseaux : l'access stratum regroupe les fonctions d'accès au réseau (il comprend l'UTRAN mais aussi une partie de l'équipement mobile et une partie du réseau cœur) ; le non access stratum regroupe les fonctions indépendantes de l'accès, notamment l'établissement d'appel (SM : Session Management) et la gestion de la mobilité (GMM : GPRS Mobility Management). D'autre part, les flux de données transitant par l'interface radio sont divisés en deux plans : le plan de contrôle réservé à la signalisation (une partie est relative à l'access stratum (établissement de connexion avec RRC, réquisition et libération de ressources ; une autre partie est relative au non access stratum comme SM et GMM) et le plan usager relatif au transport des données (qui ne concerne que le non access stratum puisque les données transportées ne sont d'aucune utilité pour l'accès).

Dans UMTS, la notion de canaux est assez différente de celle des autres systèmes qui n'utilisent que les concepts de canaux physiques et de canaux logiques. Ici, il y a un concept intermédiaire : les canaux de transport.

Les canaux physiques sont fournis, évidemment, par la couche physique L1, les canaux de transport par la couche MAC et les canaux logiques par la couche RLC.

- canaux logiques : ils appartiennent à deux catégories : les canaux logiques de contrôle et les canaux logiques de trafic :
  - BCCH (Broadcast Control Channel) : diffusion d'information de contrôle
  - PCCH (Paging Control Channel) : envoi de messages de paging (recherche d'un terminal) aux mobiles
  - CCCH (Common Control Channel) : émission/réception de messages pour les mobiles non connectés au réseau
  - DCCH (Dedicated Control Channel) : émission/réception de messages pour les mobiles connectés au réseau
  - DTCH (Dedicated Traffic Channel) : échange de données avec un mobile connecté au réseau
  - CTCH (Common Traffic Channel) : envoi de données à un ensemble de mobiles
  
- canaux de transport : ils définissent la manière dont les informations sont transmises sur l'interface radio et correspondent donc à la qualité de service requise. Ils se divisent en canaux dédiés (affectés à un seul usager) et en canaux communs (partagés par plusieurs usagers):
  - DCH (Dedicated Channel) : canal dédié
  - BCH (Broadcast Channel) : canal de transport du réseau vers les mobile à débit constant
  - PCH (Paging Channel) : canal de transport du réseau vers le mobile
  - RACH (Random Access Channel) : canal de transport mobile -> réseau
  - FACH (Forward Access Channel) : canal de transport réseau -> mobile
  - DSCH (Downlink Shared Channel) : variante du FACH
  
- canaux physiques :
  - P-CCPCH (Primary Common Control Physical Channel)
  - S-CCPCH (Secondary Common Control Physical Channel)
  - PRACH (Physical Random Access Channel)
  - PDSCH (Physical Downlink Shared Channel)
  - DPDCH (Dedicated Physical Data Channel)

Le schéma suivant donne la correspondance entre les différents types de canaux :

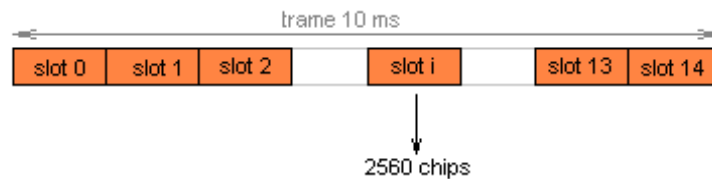




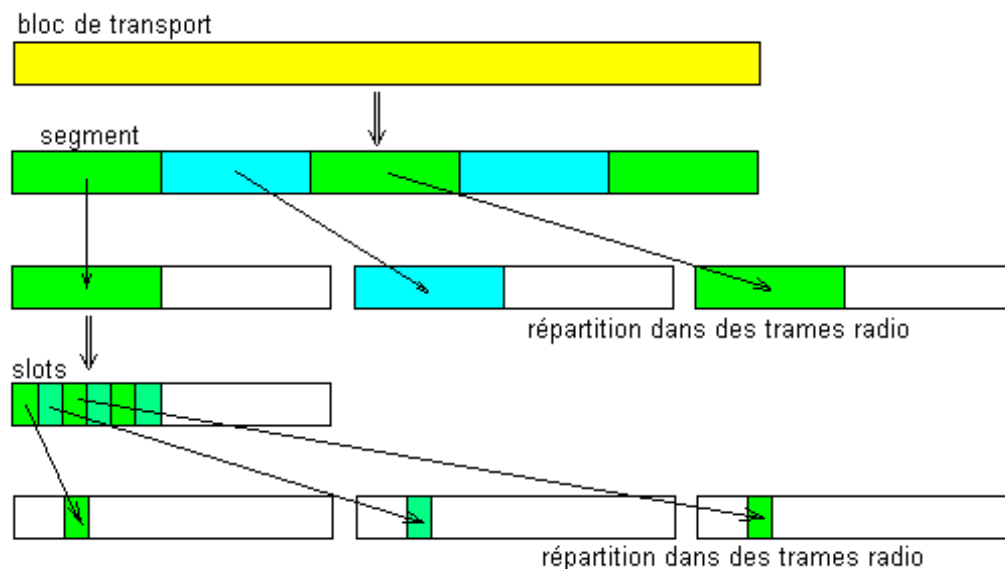
## Couche physique

Dans UTRAN, le signal est découpé en trames de durée 10 ms. Une trame est découpée en 15 slots (ou intervalles de temps) numérotés de 0 à 14.

Une séquence de code est définie par un débit mesuré en Mégachips par seconde (Mc/s), c'est à dire en millions d'éléments binaires transmis par seconde. En FDD, le débit est de 3,84 Mc/s ce qui signifie qu'un slot correspond à la transmission de  $3,84 \times 10^{-2} / 15 = 0,002560 \text{ Mc} = 2560 \text{ chips}$ .



L'information numérique qui constitue un bloc de transport est découpée en segments placés dans des trames radio successives ce qui constitue un premier entrelacement de niveau bloc. Les slots de ces trames sont ensuite également répartis sur des trames radio ce qui constitue un second entrelacement de niveau trame :



Les trames ainsi entrelacées sont codées avec NRZ, puis avec une conversion série parallèle, encodées avec le code OVFSF puis de brouillage. Enfin, le résultat est modulé avec la technologie QPSK.



## Bibliographie et Webographie

- Jean Cellmer, Réseaux cellulaires, le système UMTS, Techniques de l'ingénieur, <http://www.techniques-ingenieur.com>
- Pierre Lescuyer, UMTS : les origines, l'architecture, la norme, Dunod

- Laurent Schumacher, Cellular Networks, INFO2231, <http://enligne.info.fundp.ac.be>

