

Chapitre 01

Réseaux cellulaires

I. Le concept cellulaire

Les premiers services de radiotéléphone ont pour principal défaut le traitement d'un nombre très limité d'abonnés. De nouveaux concepts sont alors nécessaires afin de partager les bandes de fréquences radio entre un plus grand nombre d'utilisateurs. En 1964, le concept de partage des ressources est introduit dans les réseaux de radiotéléphone. Le réseau alloue dynamiquement un canal radio à une nouvelle communication pour sa durée.

C'est une évolution importante car le nombre d'abonnés peut être supérieur au nombre de canaux radio.

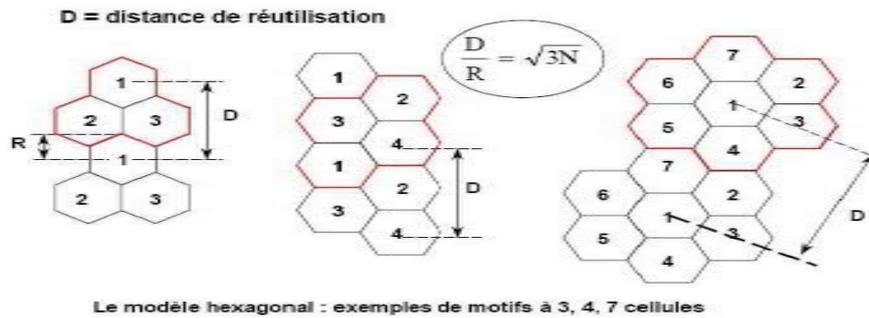
Mais une répartition soigneusement étudiée de l'allocation des fréquences radio est absolument nécessaire pour que soit viable et surtout extensible une application dans le domaine des télécommunications pour mobiles. En effet, l'utilisation de la ressource radio est le domaine sensible de ce type de système. Cette allocation est faite au moyen d'une découpe géographique basée sur le paradigme hexagonal permettant la réutilisation des fréquences sur des cellules éloignées. Cette méthode présente l'avantage d'être évolutive en fonction du trafic :

- Réduction de la taille des cellules en cas de saturation du réseau (zones géographiques à forte densité de population : zone urbaine);
- Augmentation de la taille des cellules (zones géographiques à faible densité de population : zone rurale).

Cette méthode permet d'accepter de nombreux utilisateurs, mais elle implique de solutionner les phénomènes d'interférences, qui pénalisent fortement la qualité d'un service de transmission de voie et/ou de données. Afin d'éviter qu'un niveau d'interférence trop élevé perturbe les communications. La réutilisation des fréquences est faite en respectant une distance minimum (appelée distances de résolution).

Le principe général du modèle consiste à :

- Partager une zone géographique en un certain nombre de sous-zones appelées cellules ;
- Affecter une bande de fréquences à chacune des cellules ;
- Réutiliser chaque bande de fréquences de trafic suffisamment éloignées. Cet éloignement minimum se calcule en fonction du diamètre de chaque cellule.
- Dans les systèmes SPCN (Satellite Personal Communications Network), une cellule correspond à l'un des faisceaux formé par l'antenne satellite (dédiée aux mobiles). A l'heure actuelle une antenne d'un SPCN peut supporter jusqu'à 300 faisceaux. L'ensemble de ces faisceaux est couramment appelé "beam". Un beam est en fait l'empreinte hertzienne faite sur la surface terrestre par l'antenne permettant les communications mobiles. On appelle "motif" le plus petit groupe de cellules contenant une et une seule fois l'ensemble des canaux radio. Ce motif est répété sur toute la surface à couvrir.



Exemple de motifs cellulaires où N est la réutilisation

2. Principe de la transmission numérique

Il existe des transmissions non numériques. Dans ce cas c'est le signal analogique qui est transmis à l'état original sans ajout d'information outre d'ajouter des méthodes de correction d'erreurs, d'optimiser les ressources radio afin d'augmenter la qualité et le débit d'informations transmises.

Avant de transmettre, il faut numériser le signal. Les 3 opérations sont :

- L'échantillonnage ;
- La quantification ;
- Le codage.

2.1 L'échantillonnage

L'échantillonnage du signal consiste à découper un signal continu $s(t)$ à des instants régulièrement espacés dans le temps pour obtenir des tranches dont la hauteur est l'amplitude du signal à un instant t .

2.2 La quantification

La quantification attribue une valeur aux amplitudes mesurées en fonction d'une loi de correspondance. En fait pour reconstruire le signal à la réception, il n'est pas nécessaire de transmettre directement les impulsions découlant de l'échantillonnage. En effet, il suffit de connaître l'amplitude de chacune d'entre elles. Cette amplitude est mesurée à l'émission et le résultat de cette mesure est transmis. A la réception, on reconstruit des impulsions régulièrement espacées dont les amplitudes sont déterminées par les résultats de mesure reçues.

La mesure de chaque échantillon est un nombre que l'on met sous forme binaire pour être transmis. Dans le canal de transmission, le chiffre 0 est représenté par une tension nulle, et le chiffre 1 par une tension V . Ainsi à la réception, il suffit de détecter la présence ou l'absence de tension pour connaître l'état logique du bit qui a été émis. Ce mode de transmission n'est donc pas sensible aux perturbations qui gênaient la transmission analogique. La mesure des échantillons est faite avec une certaine précision. La hauteur du numéro binaire associé à un échantillon sera directement liée à cette précision. Plus la mesure sera précise, et plus le nombre d'éléments binaires sera important. La quantification consiste donc à associer une même mesure à toutes les tensions d'échantillons compris dans une même plage. La distorsion ainsi introduite par cet écart entre la valeur exacte et la valeur quantifiée s'appelle l'erreur de quantification.

2.3 Le codage

Une fois que le signal est quantifié, on transmet les numéros des différentes plages occupées par le signal aux instants d'échantillonnage. Ces numéros sont codés par des mots binaires. Avec N éléments binaires, on peut former 2^N mots différents. La plage de variation du signal $s(t)$ est divisée en n intervalles, par exemple en 128 degrés positifs et 127 degrés négatifs, soit une plage de variation de 255 valeurs. Il faut 8 bits, soit un octet, pour coder cette plage de valeurs. C'est cette valeur codée qui est l'information transportée dans le canal de transmission.

3. Le concept de la mobilité

Les problèmes liés à la mobilité d'un terminal en communication, sont réglés conjointement par la structure fixe et le mobile. La décision d'effectuer un basculement de fréquence nécessaire au traitement d'un transfert de cellule (en anglais *handover*) reste toutefois à la charge des équipements fixes (celui qui interconnecte le réseau public local et celui qui assure le routage). Cette décision découle des traitements liés aux mesures, sur le niveau de réception du mobile, effectué par ce dernier (sur les fréquences balises environnantes) et transmises à l'émetteur/récepteur relayant la communication en cours.

En fait, lors d'un déplacement d'un mobile d'une cellule A vers une cellule B, étant donné que le niveau de champs radioélectrique est testé en permanence, l'infrastructure de B constate le rapprochement du mobile. L'infrastructure de A constate, quant à elle, son éloignement. Les 2 cellules communiquent et décident d'enregistrer le mobile dans B plutôt que dans A après qu'un certain niveau de champs soit atteint. En effet, si le mobile pénètre à peine dans la cellule de B puis revient dans A, alors il ne sera pas enregistré dans l'infrastructure de B.

4. Les défauts des transmissions radioélectriques

Contrairement aux transmissions filaires, les transmissions hertziennes sont sujettes à de nombreuses contraintes extérieures. Par exemple, les conditions atmosphériques, le relief géographique, la mobilité d'objets constituent des perturbations dont il est nécessaire de prendre en considération.

Voici les principales causes de perturbation des transmissions radio :

4.1 Le fading ou évanouissement du signal

Le récepteur reçoit la somme algébrique des ondes (directes + réfléchies). Quand les ondes sont en phase, le signal reçu est amplifié, par contre lorsque les ondes sont en opposition de phase, le signal reçu est nul.

4.2 L'influence du sol et des obstacles

Des obstacles comme le sol, mais aussi les arbres, les bâtiments, etc. réfléchissent les ondes radio. D'où la génération d'ondes réfléchies qui sont déphasées par rapport à l'onde suivant le chemin direct émetteur-récepteur. Le récepteur reçoit alors la somme des ondes directes et réfléchies. En conséquence, le sol et les obstacles se trouvant entre l'émetteur et le récepteur sont la cause d'interférences entre l'onde directe et les ondes réfléchies. Ces interférences génèrent le défaut de fading.

4.3 Les interférences de co-channel

Lorsque des émetteurs radio émettent sur la même fréquence que l'émetteur que l'on souhaite capter, et même si ils sont très éloignés, ils peuvent perturber la réception. C'est ce défaut que l'on appelle l'interférence de co-channel.

II. GSM : GLOBAL SYSTEM FOR MOBILE COMMUNICATION

C'est au sein du groupe de travail de l'ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) nommé *Groupe Spécial Mobiles*, établi en 1982 par la Conférence Européenne des administrations des Postes et Télécommunications (CEPT), que les premières spécifications d'un système de communication mobile en utilisant la bande de fréquence des 900 MHz ont vu le jour. Cette spécification vise à offrir un service complètement numérique pour la voix, la messagerie, etc., compatible avec tous ses prédécesseurs que ce soit analogique ou bien numérique. Ces spécifications s'intéressent au coût du service, au support du roaming (un seul système pour toute l'Europe), à la sécurité, à la bonne qualité du service, à la bonne utilisation du spectre, etc. Le GSM a rapidement pris de l'ampleur sur le marché et son architecture ouverte a encouragé son développement.

1. Architecture du GSM

L'architecture du GSM est composée essentiellement de trois entités: la première entité est la Station Mobile (MS), parfois désignée par *Subscriber Station* (SS), qui n'est rien d'autre que l'appareil téléphonique transporté par l'utilisateur. La deuxième entité est le système de stations de base (*Base Station*, BS), ensemble des stations de base responsables de contrôler les communications avec la station mobile à travers l'Interface Air. La troisième entité est le système réseau qui permet à un mobile de rejoindre un autre mobile ou bien de rejoindre le réseau fixe. Dans ce qui suit, nous donnons une description plus détaillée de ces trois entités.

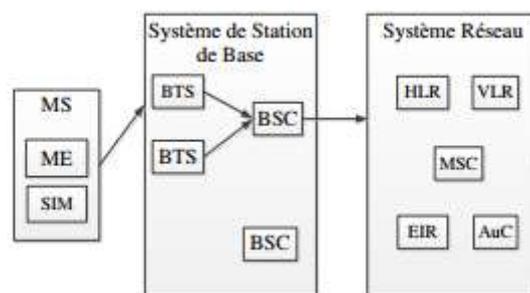


Fig 1.1 Architecture du réseau GSM

1) La station mobile (MS)

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 carte *Subscriber Identity Module* (SIM) est une entité indispensable pour l'accès au réseau. Elle contient toutes les informations concernant l'abonné : la liste des réseaux accessibles et/ou interdits, et s'identifie grâce à l'*International Mobile Subscriber Identity* (IMSI) qui est

un numéro mondialement unique pour identifier l'abonné aussi bien que les services auxquels il a droit.

La carte SIM se comporte donc comme une mini-base de données dont les principaux champs sont fournis dans le tableau suivant :

Paramètres	Commentaires
Données administratives	
PIN/PIN2	Mot de passe demandé à chaque connexion
PUK/PUK2	Code pour débloquer une carte
Language	Langue choisie par l'utilisateur
Données liées à la sécurité	
Clé K_i	Valeur unique, connue de la seule carte SIM et du HLR
CKSN	Séquence de chiffrement
Données relatives à l'utilisateur	
IMSI	Numéro international de l'abonné
MSISDN	Numéro d'appel d'un téléphone GSM
Données de "roaming"	
TMSI	Numéro attribué temporairement par le réseau à un abonné
Location updating status	Indique si une mise à jour de la localisation est nécessaire
Données relatives au réseau	
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

La station mobile correspond donc au téléphone portable. À l'intérieur du MS, plusieurs entités fonctionnelles existent comme l'équipement mobile (*Mobile Equipment*, ME) qui est responsable de la transmission et de la réception radio. Chaque ME possède un code unique pour l'identifier. Il s'agit de l'*International Mobile Equipment Identity* (IMEI). À chaque utilisation du ME, le code IMEI doit être vérifié pour mettre hors service tout mobile volé ou grillé.

2) Système de station de base

Ce système est responsable de la communication radio avec la station mobile (MS) à travers l'Interface Air. Il est composé de deux parties :

• **Base Transceiver Station (BTS)** : La station de base est l'élément central, que l'on pourrait définir comme un ensemble émetteur/récepteur pilotant une ou plusieurs cellules. Elle définit le rayon de couverture d'une cellule à laquelle s'attachent un ou plusieurs nœuds mobiles et gère les transmissions radio entre ces nœuds mobiles et le réseau.

Dans le réseau GSM, chaque cellule principale au centre de laquelle se situe une station base peut-être divisée, grâce à des antennes directionnelles, en plus petites cellules qui sont des portions de celle de départ et qui utilisent des fréquences porteuses différentes.

C'est la station de base qui fait le relais entre le mobile et le sous-système réseau. Elle réalise les fonctions de la couche physique et de la couche liaison de données.

• **Base Station Controller (BSC)** (contrôleur de station de base) qui 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.

3) Le sous-système réseau

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 principalement de:

- Mobile Switching Center (MSC)
- Home Location Register (HLR)
- Visitor Location Register (VLR)

A. Le centre de commutation mobile (MSC)

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 de son équivalent numérique, le réseau RNIS (ISDN en anglais). 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 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 interopérabilité entre réseaux d'opérateurs.

B. L'enregistreur de localisation nominale (HLR)

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

- toutes les informations relatives aux abonnés: le type d'abonnement, la clé d'authentification K_i -cette clé est connue d'un seul HLR et d'une seule carte SIM-, les services souscrits, le numéro de l'abonné (IMSI), etc
- 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, ...). Les données dynamiques sont mises à jour par le MSC. Cette base de données est souvent unique pour un réseau GSM et seules quelques personnes y ont accès directement.

C. L'enregistreur de localisation des visiteurs (VLR)

Cette base de données ne contient que des informations dynamiques et est liée à un MSC. Il y en a donc plusieurs dans un réseau GSM. Elle contient des données dynamiques qui lui 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 rattachée. Lorsque l'abonné quitte cette zone de couverture, ses données sont transmises à un autre VLR; les données suivent l'abonné en quelque sorte.

2. Handover avec la norme GSM

La procédure de *Handover* dans un réseau GSM est appelée *Mobile Assisted Handover* (MAHO). Elle est de type *Hard Handover* car le nœud mobile coupe la connexion avec sa station BTS avant de se connecter à la prochaine station BTS (*Brake-Before-Make*).

Il existe trois types de *Handover* en GSM [26]: *Intra-BTS Handover*, *Inter-BTS Handover* et *Inter-MS-C Handover*.

Dans le premier mode, il s'agit d'un cas de *Handover* à l'intérieur de la même cellule. Le nœud mobile ne change pas de BTS, il change juste le canal de fréquence sur lequel il est attaché. La cause peut être l'interférence ou le brouillage des canaux.

Dans le deuxième mode, un nœud mobile sort du rayon de couverture de la cellule courante. Deux cas se présentent soit le nœud mobile change de BTS tout en restant dans le même BSC et dans ce cas, c'est ce dernier qui gère le *Handover* ; soit le nœud mobile passe d'une BTS gérée par un premier BSC à une autre BTS gérée par un autre BSC et dans ce cas, le MSC gère le *Handover*.

Finalement, le troisième mode de *Handover* aura lieu quand un nœud mobile change de réseau. Les deux MSC qui sont concernés pour la gestion des cellules en questions (cellule courante et cellule destination) négocient ce cas de *Handover*.

Le principe général du Handover en GSM repose sur :

- Les mesures faites par le terminal mobile et transmises au BSC courant ;
- La décision prise par le BSC d'effectuer un handover après identification d'une ou plusieurs cellules utilisables ; si plusieurs cellules sont éligibles, le MSC détermine, en fonction des charges de trafic, la cellule la plus judicieuse à effectuer à la communication ;
- La réservation d'un deuxième canal de trafic entre la nouvelles BTS et le mobile ;
- Un basculement effectué par le mobile sur réception d'une commande émise par le BSC.

3. L'acheminement des appels

Voici les différentes phases lorsqu'un utilisateur d'un mobile désire correspondre avec un abonné du réseau fixe :

- 1 - Une fois que l'utilisateur a composé le numéro de son correspondant sur son mobile, la demande arrive à la BTS de sa cellule.
 - 2 - La demande traverse le BSC.
 - 3 - La demande arrive dans le commutateur du réseau où l'abonné est d'abord authentifié puis son droit d'usage vérifié.
 - 4 - Le commutateur MSC transmet l'appel au réseau public.
 - 5 - Le commutateur MSC demande au contrôleur BSC de réserver un canal pour la future communication.
 - 6 - Lorsque l'abonné demandé décroche son téléphone, la communication est établie.
- Pour les appels dans l'autre sens, le HLR et le VLR interviennent pour déterminer la cellule où se situe l'utilisateur mobile.

III. GPRS : General Packet Radio Service

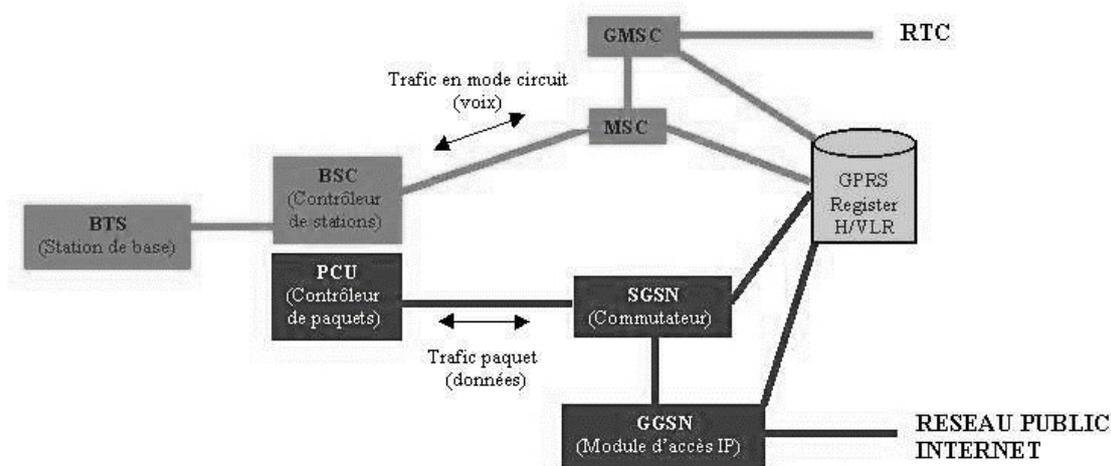
Le **GPRS** est une norme pour la téléphonie mobile dérivée du GSM permettant un débit de données plus élevé. On le qualifie souvent de 2,5G. Le G est l'abréviation de *génération* et le 2,5 indique que c'est une technologie à mi-chemin entre le GSM (2^e génération) et l'UMTS (3^e génération).

Le GPRS est une extension du protocole GSM : il ajoute par rapport à ce dernier la transmission par paquets. Cette méthode est plus adaptée à la transmission des données. En effet, les ressources ne sont allouées que lorsque des données sont échangées, contrairement au mode « circuit » en GSM où un circuit est établi – et les ressources associées – pour toute la durée de la communication.

Architecture

Le **GPRS** permet de fournir une connectivité IP constamment disponible à une station mobile (MS), mais les ressources radio sont allouées uniquement quand des données doivent être transférées, ce qui permet une économie de la ressource radio. Les utilisateurs ont donc un accès bon marché, et les opérateurs économisent la ressource radio. De plus, aucun délai de numérotation n'est nécessaire. Avant le **GPRS**, l'accès à un réseau se faisait par commutation de circuits, c'est-à-dire que le canal radio était réservé en continu à la connexion (qu'il y ait des données à transmettre ou pas). La connexion suivait le chemin suivant :

MS → BTS → BSC → MSC → Réseau.



Le GPRS introduit de nouveaux équipements qui sont le SGSN et le GGSN

- Le **SGSN** (*Serving GPRS Support Node*) est une passerelle permettant l'acheminement des données dans les réseaux mobiles GPRS.

- Le **GGSN** (*Gateway GPRS Support Node*) est une passerelle d'interconnexion entre le réseau paquet mobile (GPRS ou UMTS) et les réseaux IP externes.

La connexion GPRS suit le cheminement suivant :

MS → BTS → BSC → SGSN → Backbone GPRS (Réseau IP) → GGSN → Internet.

IV. UMTS : UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM, UMTS

L'UMTS est la version européenne du projet *International Mobile Télécommunication* (IMT-2000) dont le rôle est d'assurer une convergence entre différentes sortes de réseaux fixes et mobiles que ce soit publics ou privés et ceci à l'échelle mondiale.

C'est l'une des technologies de téléphonie mobile de troisième génération (3G) européenne. L'UMTS est parfois aussi appelé 3GSM, soulignant l'interopérabilité qui a été assurée entre l'UMTS et le standard GSM auquel il succède.

1. Applications et services

Grâce à sa vitesse accrue de transmission de données, l'UMTS ouvre la porte à des applications et services nouveaux. L'UMTS permet en particulier de transférer dans des temps relativement courts des contenus multimédia tels que les images, les sons et la vidéo. Initialement, on a pu croire que les nouveaux services concernent surtout l'aspect vidéo : visiophonie, MMS Vidéo, vidéo à la demande, télévision. La 3G a en fait été principalement colonisée par une utilisation de type Internet, et ce principalement depuis l'explosion du marché des smartphones et des réseaux sociaux.

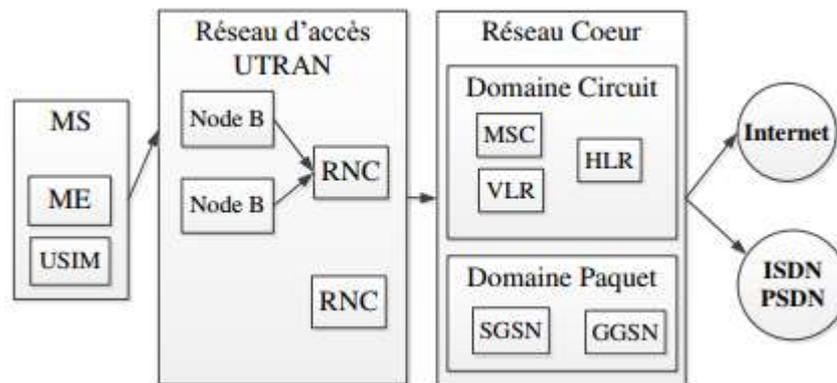
2. Architecture de l'UMTS

L'architecture UMTS est formée, comme le GSM, de trois entités qui communiquent entre elles à travers des Interfaces Air.

La première entité est la station mobile, qui doit être plus sophistiquée que celle du GSM dans le sens où elle doit être capable d'utiliser un réseau qui fonctionne selon les deux modes : circuit et commutation par paquets.

La deuxième entité est le réseau d'accès (UMTS Terrestrial Radio Access Network, UTRAN) qui gère les données en provenance du nœud mobile.

Et la troisième entité est le réseau cœur de toute installation UMTS qui est aussi formé de plusieurs sous parties. Dans ce qui suit, nous détaillons ces trois entités en mettant le point sur les fonctionnalités de chacune d'elles.



•Équipement utilisateur

Il est formé de deux composantes :

- La première est l'équipement mobile dont le rôle est de communiquer à travers l'Interface Air.
- La deuxième composante est la carte USIM (Universal Subscriber Identity Module) qui est l'équivalente de la carte SIM du GSM.

•Le réseau d'accès

Il joue le rôle de passerelle entre la station mobile et le cœur du réseau. Il est chargé des fonctions de sécurité, de mobilité et de gestion des ressources radio. Le réseau d'accès, lui aussi, contient plusieurs éléments.

Le premier est le Node B qui est l'équivalent de la station BTS du réseau GSM dans le sens où il gère les fonctions de transmission et de réception radio.

Le deuxième est le Radio Network Controller (RNC) qui est l'équivalent du BSC du GSM et dont le rôle est d'acheminer les informations entre le Node B et le réseau cœur de l'UMTS.

L'ensemble des Nodes B et des RNC est nommé UTRAN.

•Le réseau cœur

Il adopte la même structure de base des réseaux GSM et GPRS et il se compose de deux parties.

La première partie est le domaine Circuit Switched (CS) dont le débit atteint 384 Kbit/s, utilisé pour la diffusion des services qui nécessitent un temps de transfert réduit et limité tels que les services temps réel comme la visioconférence et autres applications multimédia.

La deuxième partie est le domaine Paquet Switched (PS) dont le débit atteint 2 Mbit/s, caractérisé par un mode de commutation des paquets et qui sera utilisé pour traiter les informations non temps réel qui ne sont pas sensibles au temps de transfert des paquets, comme l'envoi des courriers électroniques, la navigation sur Internet, les SMS, etc.

3.Handover avec UMTS

Il existe trois types de *Handover* avec UMTS : *Hard Handover*, *Soft Handover* et *Softer Handover*.

Selon le premier type (*Hard Handover*), le réseau décide d'un besoin de *Handover* en se basant sur la puissance du signal. Le *Handover* sera du type *Break-Before-Make*, le mobile coupe ses liens avec le Node B auquel il est attaché pour établir ensuite un nouveau lien avec un nouveau Node B.

Dans le cas du soft *Handover*, le mobile se trouve dans une zone chevauchante entre deux stations de base. La communication avec le mobile se fait selon deux canaux, un pour chacune des deux stations de base.

Et finalement, pour le *Softer Handover*, le mobile communique avec une seule station de base à travers deux secteurs différents (deux canaux radio).

V. Handover

1. Nécessité du Handover

Le Handover est le processus qui permet à un nœud mobile de changer son point d'attachement. Un nœud mobile connecté sur un réseau peut, pour améliorer la qualité de service, avoir le besoin de le quitter pour aller se connecter à une autre cellule, soit du même réseau, soit d'un nouveau réseau. Parmi les causes qui sont à l'origine d'un besoin de *Handover* nous pouvons citer :

- Le nœud mobile quitte la zone de couverture de la cellule courante et communique à travers une nouvelle cellule.
- Le nœud mobile subit une grande interférence sur la cellule courante d'où le besoin de passer sur une autre cellule (du même réseau ou d'un réseau différent), où il y a moins d'interférence.
- Le nombre des nœuds mobiles dans une cellule est très important de façon que la bande passante soit insuffisante provoquant ainsi une détérioration de la qualité du service. Le mobile peut choisir d'aller dans les cellules voisines qui sont moins encombrées.

Le *Handover* peut avoir lieu entre deux cellules de même technologie et sera appelé *Handover Horizontal*, ou bien entre deux cellules utilisant des technologies différentes, c'est dans ce cas un *Handover Vertical*. Finalement, la combinaison de ces deux versions de *Handover* est appelée *Handover Diagonal* permettant de transférer le trafic d'un point d'accès dont on arrive en limite de connexion vers un réseau de technologie différente.

2. Différents types de Handover

La prise de décision et l'exécution du *Handover* peut être complètement prise en charge par l'opérateur, ou peut être complètement du côté du mobile ou bien un partage entre les deux côtés. Dans ce qui suit nous détaillons les différents modes du *Handover*.

• Mobile Controlled Handover Decision (MCHO)

Le nœud mobile prend la décision du *Handover* en se basant sur des informations locales tels que : la puissance du signal (*Radio Signal Strength*, RSS), l'interférence sur le canal radio (*Signal to Noise Interference Ratio*, SINR), le *Blocking Error Rate* (BLER), les préférences de l'utilisateur, la vitesse du mobile, etc. Le contrôle du *Handover* par le mobile peut être assisté par le réseau dans le sens où le réseau peut fournir la valeur de certains paramètres de qualité de service comme la bande passante et le taux de perte des paquets. Ces paramètres peuvent aussi être pris en compte par le nœud mobile pour décider du réseau de destination.

• Network Controlled Handover Decision (NCHO)

Dans ce mode de *Handover*, c'est le réseau qui prend la décision. Ce type de *Handover* peut être initié par le nœud mobile (mobile initiated) ou bien assisté par le

nœud mobile (mobileassisted). Selon le premier cas, (*Handover* initié par le mobile), le nœud mobile détecte la présence d'un nouveau point d'accès et estime qu'il y a un meilleur réseau dans son entourage (*Handover Initiation*), le nœud mobile informe alors le réseau qui va accepter ou rejeter le *Handover*. Dans le cas où le mobile assiste le *Handover*, c'est le réseau qui initie le *Handover* (*Handover Initiation*), mais le nœud mobile assiste seulement ce processus (*Mobile Assisted Handover*, MAHO) en lui offrant des mesures sur des paramètres qui aideront le réseau à prendre la décision.

3. Niveau du Handover

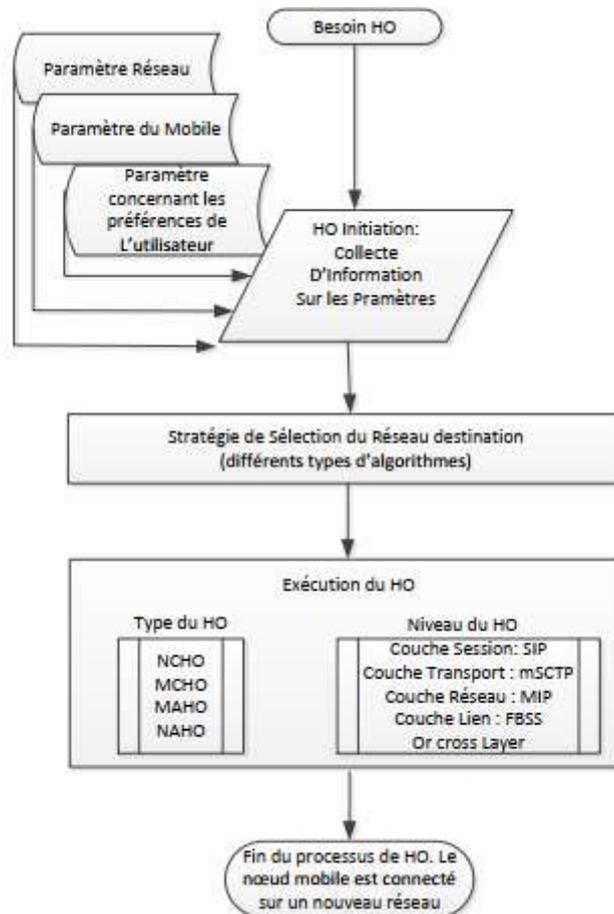
Un élément clé de la gestion du processus de *Handover* est de maintenir la connexion entre le mobile et le réseau de façon à minimiser le délai de latence du *Handover*. Ce phénomène de *Handover* peut arriver à différents niveaux du modèle OSI (*Open Systems Interconnection model*). Selon que le *Handover* est exécuté au niveau d'une couche particulière, un standard différent peut intervenir. Le tableau ci-après montre différents protocoles, à différents niveaux du modèle en couches, qui permettent de gérer la mobilité des terminaux.

Protocole Utilisé pour HO	Niveau de la couche	Paramètres Significatifs
Session Initiation Protocol (SIP)	Couche Application	<ul style="list-style-type: none"> - Préférence utilisateurs - Alerte de sécurité - Information sur le contexte - Paramètre de QoS
Media Independent Handover (MIH)	Entre la couche Liaison et la couche Réseau	<ul style="list-style-type: none"> - Puissance du signal - Paramètre de la sous couche MAC - Autre paramètres qui peuvent être extraits des services MIH comme le MIES, MICS et MIIS.
Stream Control Transmission Protocol (SCTP)	Couche Transport	<ul style="list-style-type: none"> - La charge réseau (Load) - Topologie du réseau et information sur le routage
Mobile IP et ses variantes (MIPv4, MIPv6, FMIPv6, HMIPv6)	Couche Réseau	<ul style="list-style-type: none"> - Agent externe disponible - Configuration réseau et pré-authentification
Fast Base Station Switching (FBSS)	Couche Liaison	<ul style="list-style-type: none"> - État des liens - Paramètres des liens - Condition d'accès radio
Cross-Layer	Peut être à différents niveaux	<ul style="list-style-type: none"> - Paramètre de QoS - Authentication - Puissance du signal

2.3.4. Processus du Handover

Quelque soit les raisons qui poussent un nœud mobile à quitter son réseau courant pour aller sur un nouveau réseau (*Handover*), ce processus doit être imperceptible pour l'utilisateur. Le temps de latence du *Handover* (temps entre déconnexion et reconnexion) ne devrait pas dépasser un certain seuil limite, sinon, on aboutit à une détérioration de la qualité du service surtout pour les applications temps

réel. Pour atteindre cet objectif, le processus de *Handover* se fait à travers 3 phases



•Phase I: Initiation du Handover et collecte d'informations

Un processus de *Handover* doit commencer quand un nœud mobile a le besoin de quitter son point d'attachement au réseau courant pour aller se connecter sur un autre réseau où la qualité de service sera meilleure. Généralement, la raison peut être une faible puissance du signal ou bien une valeur d'un ou de plusieurs paramètres de qualité de service qui tombent en dessous d'un certain seuil. Durant cette phase, le nœud mobile scanne, d'une façon continue, les réseaux dans son entourage en collectant les informations nécessaires de chacun. Ces informations sont indispensables pour la phase de sélection du réseau. Parmi ces informations, nous trouvons celles qui sont reliées au réseau comme le rayon de couverture du réseau, le taux de perte des paquets, la bande passante, *Bit Error Ratio* (BER), *Signal to Interference Ratio* (SINR), etc. D'autres informations sont reliées plutôt au mobile, comme la puissance du signal, la durée de vie de la batterie, la vitesse du mobile.

•Phase II: Sélection du réseau destination

Durant cette phase, les informations qui ont été collectées de la phase précédente vont être compilées pour arriver à prendre une décision et choisir un réseau parmi plusieurs disponibles dans l'environnement du nœud mobile. Le mécanisme de sélection d'un nouveau réseau est laissé au libre choix de l'utilisateur. Dans la littérature, plusieurs sortes de solutions ont été proposées: certaines proposent une approche basée les algorithmes et d'autres s'appuient sur les principes de la logique floue.

•Phase III: Exécution du Handover

Dans la phase précédente, nous avons choisi le réseau auquel le nœud mobile doit se connecter. Durant cette phase, l'exécution de la coupure des liens avec l'ancien réseau et la connexion avec le nouveau réseau est réalisée. Cette exécution peut se faire selon l'un des 4 cas suivant :

(1) Décision contrôlée par le réseau (*Network Controlled Handover Decision*, NCHO) habituellement utilisé par les opérateurs pour répartir les charges réseaux.

(2) Décision contrôlée par le mobile (*Mobile Controlled Handover Decision*, MCHO). (3) *Handover* initié par le réseau et assisté par le mobile (*network initiated but Mobile Assisted Handover*, MAHO) et,

(4) *Handover* initié par le mobile et assisté par le réseau (*mobile initiated but Network Assisted Handover* NAHO).