

L'UMTS et le haut-débit mobile

Eric MEURISSE

Février 2007

SOMMAIRE

Tables des illustrations	3
Contexte	4
Historique	5
1G - NMT	5
2G - GSM.....	5
2.5G – GPRS	6
2.75G – EDGE.....	7
3G – UMTS.....	7
3.5G – HSDPA	8
L'UMTS	9
Présentation	9
Plans de fréquences	10
Hierarchie des cellules de l'UMTS.....	11
Les services de l'UMTS	12
Le réseau UMTS.....	13
Réseau d'accès UTRAN.....	14
Réseau cœur.....	17
Eléments communs	18
Le domaine CS	18
Le domaine PS	18
Interface Radio de l'UTRAN.....	20
Architecture en couches	20
Transport des données.....	22
Les principes du W-CDMA.....	23
CDMA.....	23
Contraintes	27
L'effet near-far	27
Les handovers.....	29
Le Fast-Fading.....	30
Les trajets multiples	30
W-CDMA.....	31
Multiplexage.....	31
scrambling	31
Comparaison du W-CDMA avec la 2G.....	32
Qualité de service.....	32
Le HSDPA	33
Simple évolution de l'UMTS	33
HSDPA vs WiMax.....	33
Après la 3G, la 4G ?	33
Sigles.....	34

TABLES DES ILLUSTRATIONS

Figure 1 – Présentation des différents réseaux sans-fil et mobiles	4
Figure 2 – Plan de fréquences pour la 3G	10
Figure 3 – Hiérarchie des cellules de l'UMTS	11
Figure 4 – Les besoins en débit des services de l'UMTS	12
Figure 5 – Architecture globale du réseau UMTS	13
Figure 6 – Architecture du réseau d'accès	14
Figure 7 – NodeB avec antennes sectorielles	15
Figure 8 – NodeB avec antenne omnidirectionnelle.....	15
Figure 9 – Représentation graphique de l'exemple de communication.....	16
Figure 10 – Architecture du réseau cœur de l'UMTS.....	17
Figure 11 - Vue en couches de l'interface radio UTRAN	20
Figure 12 – Encapsulation des paquets TCP/IP à l'arrivée au réseau cœur.....	22
Figure 13 – Principe de l'étalement de spectre	24
Figure 14 – Arbre des codes OVSF	25
Figure 15 – Utilisation des codes OSVF	26
Figure 16 – Effet Near-Far	27
Figure 17 – Comparaison des puissances sans contrôle de puissance	28
Figure 18 – Comparaison des puissances avec contrôle de puissance	28
Figure 19 – Exemple de soft handover.....	29
Figure 20 – Exemple de hard handover	29
Figure 21 – Le mécanisme de scrambling	31

CONTEXTE

De nos jours, nous avons à faire à plusieurs types de réseaux locaux sans-fil et de réseaux mobiles. Ces deux appellations sont souvent utilisées pour signifier la même chose alors qu'il s'agit de termes différents. La portée des réseaux sans-fil est faible, et ne permettent pas des déplacements importants. En revanche, les réseaux mobiles proposent une portée plus conséquente, et permettent des utilisations lors de déplacements importants avec une certaine vitesse.

Le schéma ci-dessous présente les différents types de réseaux sans-fil et réseaux mobiles :

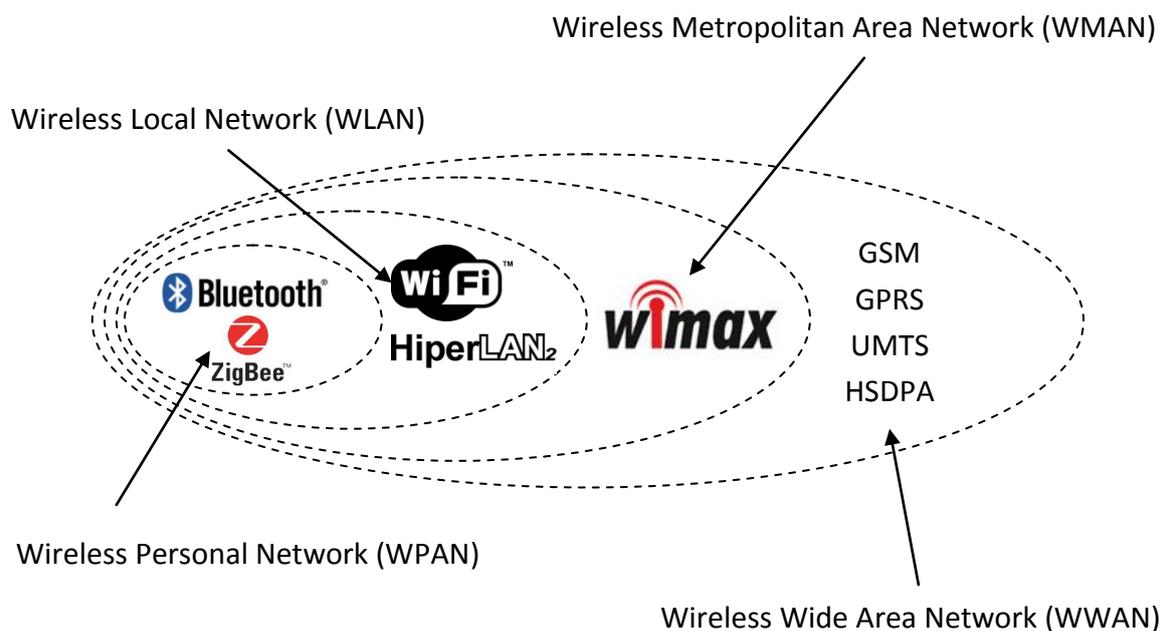


Figure 1 – Présentation des différents réseaux sans-fil et mobiles

HISTORIQUE

Cette partie présente les différentes générations de la téléphonie mobile. Cela va permettre de mettre à plat les différences et ressemblances entre celles-ci.

1G - NMT

Nordic Mobile Telephone (NMT) est une norme de téléphonie mobile spécifiée par les administrations des télécommunications nordiques à partir de 1970. Elle a été mise en service en 1981 en réponse à la congestion des réseaux de téléphonie mobiles existants à cette époque (ARP sur la fréquence 150 MHz en Finlande et MTD sur la fréquence 450 MHz en Suède, en Norvège et au Danemark). Ce réseau de première génération a été ouvert dans des pays tels que la Suède, le Danemark, la Norvège, d'où le nom de « Nordic » dans son appellation.

Cette norme est basée sur une technologie de téléphonie analogique sans-fil. Sa technologie de modulation radio est similaire à celle utilisée par les stations radio FM.

Avantages	Inconvénients
Premiers radiotéléphones analogiques sans-fil	Taille imposante des équipements
	Pas de confidentialité des communications
	Réseaux saturés

2G - GSM

Global System for Mobile communication (GSM) est la norme de téléphonie mobile de seconde génération développée à partir de 1990. Cette technologie représente la première technologie de téléphonie numérique sans fil. En 1992, le GSM est utilisé dans 7 pays européens.

En France, le GSM fonctionne entre les fréquences 900 Mhz et 1800 Mhz.

Le débit moyen du GSM est similaire à celui du FAX, c'est-à-dire 9,6 kbits/sec.

Avantages	Inconvénients
Meilleure qualité d'écoute	Débit : envoi de données lentes
Taille réduite	
Confidentialité des communications	

2.5G – GPRS

General Packet Radio Service (GPRS) est une évolution importante du GSM. L'objectif principal de cette évolution est d'accéder aux réseaux IP.

Débit théorique est de l'ordre de 171, 2 kbit/s, et le débit réel est de l'ordre de 30 kbit/s.

Le GPRS supporte différents niveaux de qualité de service (QoS).

Quatre paramètres définissent la qualité de service :

- Classe de priorité
- Classe de fiabilité
- Classe de délai / retard
- Classe de débit

Plusieurs nouveautés sont disponibles avec le GPRS :

- Accès au Web
- Messagerie électronique
- Transfert de fichier
- Commerce électronique
- Services d'information

Malheureusement, le GPRS n'a pas été un succès auprès des consommateurs.

Avantages	Inconvénients
Débits	Pas d'accès à l'Internet global
Accès WAP (Internet allégé)	Réseaux GSM déjà saturés
Facturation à la donnée	Aucune application décisive pour le grand public
Connexion permanente possible	
Support de plusieurs niveaux de qualité de service	

2.75G – EDGE

Enhanced Data for GSM Evolution (EDGE) a été développé au cours de l'année 2005. Cette technologie est une évolution des technologies GSM et GPRS. Avec des débits réels de l'ordre de 177 kbits/s (3 fois plus que le GPRS), EDGE se place entre le GPRS et la 3G.

EDGE introduit une nouvelle modulation : 8-Phase Shift Keying (8-PSK)

HSCSD et GPRS augmentent le débit GSM

EDGE est utilisé comme complément avec HSCSD et GPRS :

- EDGE couplé au HSCSD donne l'E-CSD (débit maximum théorique de 300 kbps)
- EDGE couple au GPRS donne le E-GPRS (débit maximum théorique de 300 kbps)

Avantages	Inconvénients
Solution alternative moins onéreuse que la 3G	Obligation de changer de terminal
Débits plus élevés que le GPRS	

3G – UMTS

Universal Mobile Telecommunications System (UMTS) a été développé en 2004 sous sa première version Release 99 (R99).

L'UMTS fonctionne sur la bande de fréquences 1900-2000 MHz et permet un débit réel de l'ordre de 384 kbits/s (8 fois plus rapide que le GPRS).

Avantages	Inconvénients
Accès Internet haut-débit depuis un équipement mobile ou un ordinateur	Coût
Visiophonie	Changement des équipements usagers
Télévision	Arrivée du HSDPA

3.5G – HSDPA

Dernière née des technologies mobiles, le High Speed Downlink Packet Access (HSDPA) est développée depuis 2006. Elle propose des débits réels de l'ordre de 1.8 Mbits/s dans sa première version (presque 5 fois plus que l'UMTS). La prochaine version de l'HSDPA proposera des débits réels équivalents à 3.6 Mbits/s. Tout comme l'UMTS, l'HSDPA fonctionne sur la bande de fréquence 1900-2000 MHz.

Avantages	Inconvénients
Connexion Internet depuis un ordinateur	Concurrent du WiMax (30 Mbits/s)
Débits élevés	Changement des équipements usagers
Contenu multimédia	

PRESENTATION

Il existe plusieurs technologies 3G dans le monde. Chacune d'elles suivent les recommandations IMT2000. Suivant les continents, la norme utilisée est différentes :

Europe : UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)

Amérique : CDMA-2000

Japon et Corée : W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access)

Chine : TD-SCDMA

Ces normes permettent de transporter les données sans-fil à haut débit sur la même connexion. La particularité des technologies 3G est d'avoir un réseau cœur IP.

L'UMTS est donc la norme de télécommunications de troisième génération utilisée en Europe et est basée sur la technologie W-CDMA (utilisée au Japon et Corée). Elle a été développée à partir de 2004 avec la Release 99 (R99). Sa bande de fréquence de fonctionnement est 1900MHz-2000MHz. Les spécifications techniques de cette norme sont développées au sein de l'organisme 3GPP.

L'UMTS est compatible avec tous les réseaux du monde du fait de la possibilité de roaming au niveau mondial. Le réseau UMTS ne remplace pas le réseau GSM existant puisque la coexistence entre ces deux réseaux est possible.

PLANS DE FREQUENCES

Le schéma ci-dessous présente le plan de fréquence de la téléphonie de 3^{ème} génération en Europe, Japon et Etats-Unis :

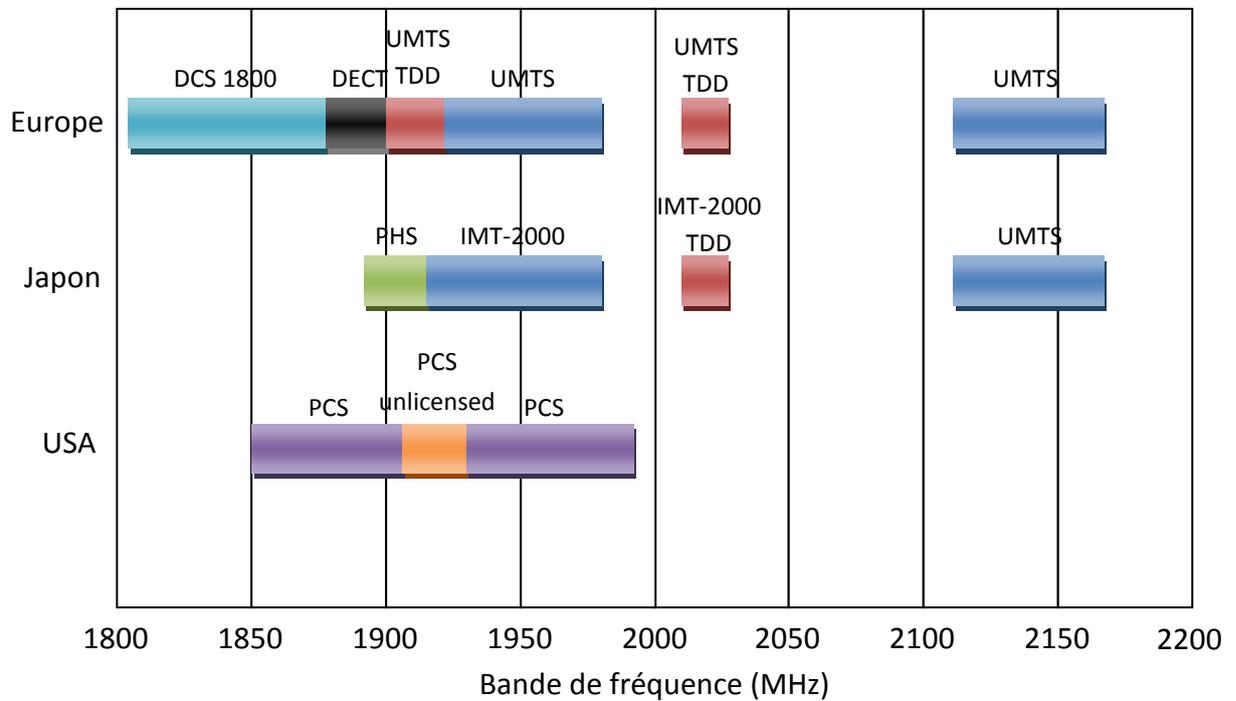


Figure 2 – Plan de fréquences pour la 3G

HIERARCHIE DES CELLULES DE L'UMTS

Tout comme le réseau GSM, l'UMTS est divisé en plusieurs cellules de tailles variables. Chacune d'entre elles est présente en fonction de la densité de population à servir et de la vitesse de mobilité. L'accès par satellite est une extension.

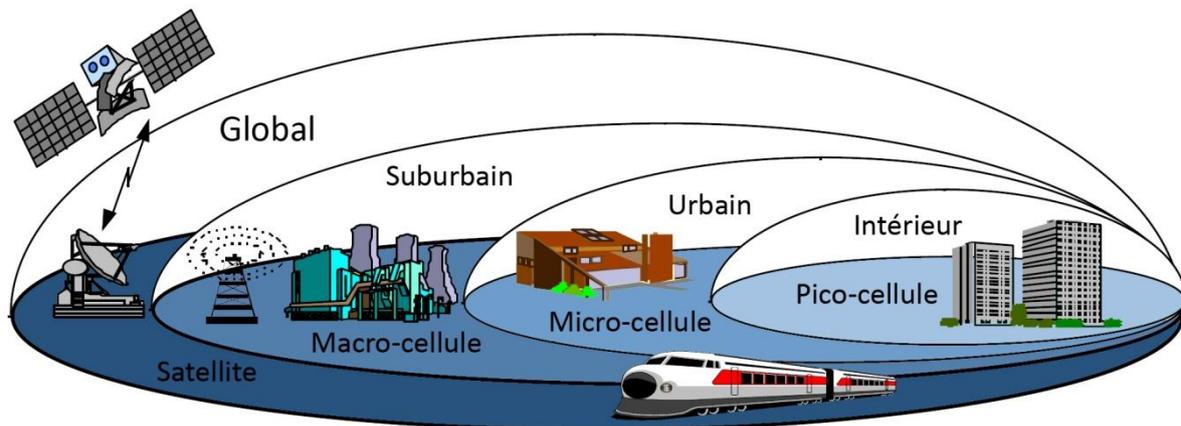


Figure 3 – Hiérarchie des cellules de l'UMTS

Une pico-cellule permet des débits de l'ordre de 2 Mbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 10 km/h (marche à pied, déplacement en intérieur, etc.).

Une micro-cellule permet des débits de l'ordre de 384 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 120 km/h (véhicule, transports en commun, etc.).

Une macro-cellule permet des débits de l'ordre de 144 kbits/s lors d'un déplacement de l'ordre de 500 km/h (Train à Grande Vitesse, etc.).

LES SERVICES DE L'UMTS

Le schéma ci-après présente les différents services que propose l'UMTS. Sur l'axe des ordonnées se trouve le débit demandé pour le service en question. Chacun des services est regroupé par leur type de connexion (bidirectionnel, unidirectionnel, diffusion point/multipoint).

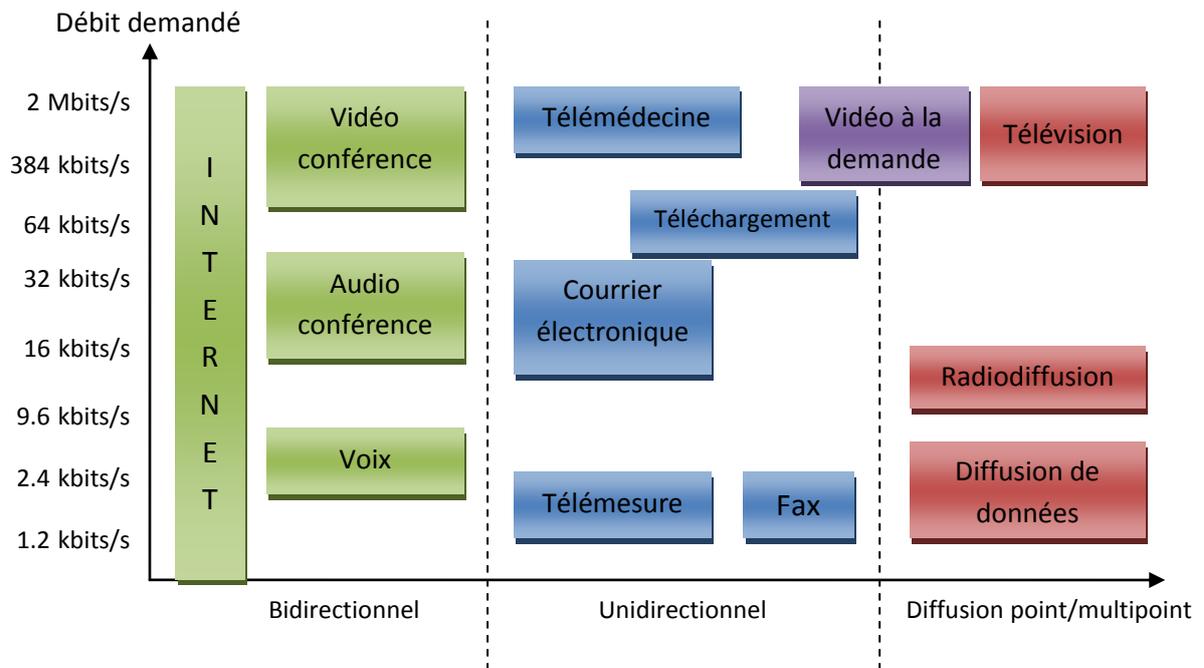


Figure 4 – Les besoins en débit des services de l'UMTS

LE RESEAU UMTS

Le réseau UMTS est composé d'un réseau d'accès UTRAN (UMTS Terrestrial Radio Access Network) et d'un réseau cœur.

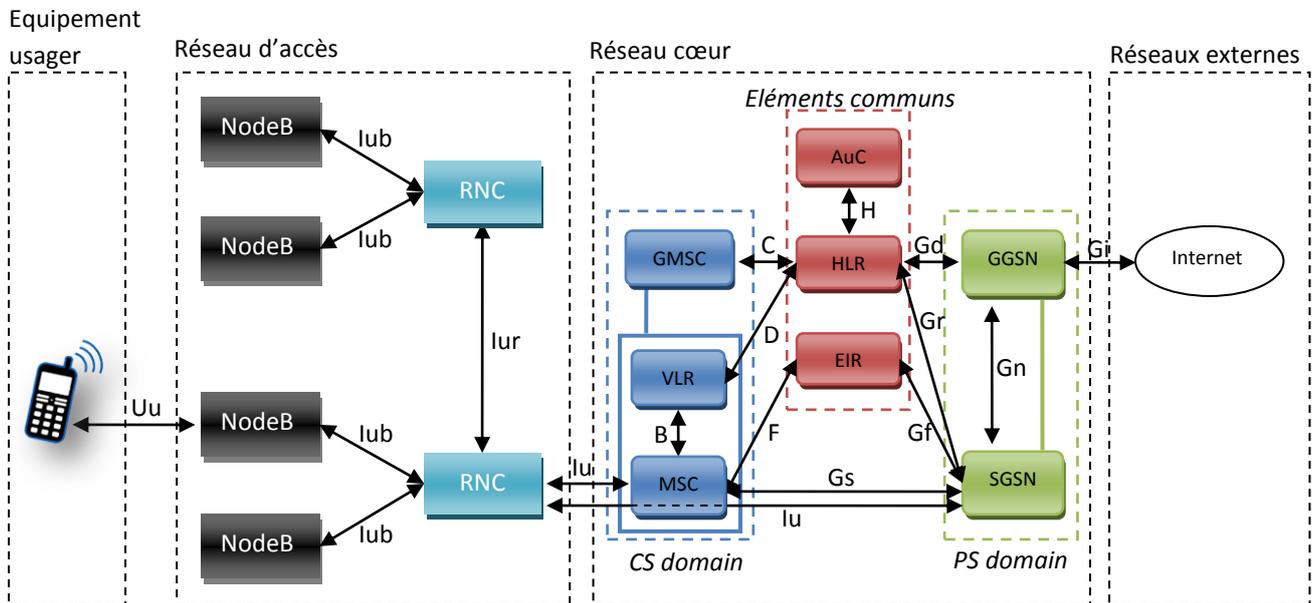


Figure 5 – Architecture globale du réseau UMTS

RESEAU D'ACCES UTRAN

Le réseau d'accès UTRAN est doté de plusieurs fonctionnalités. Sa fonction principale est de transférer les données générées par l'utilisateur. Il est une passerelle entre l'équipement usager et le réseau cœur via les interfaces Uu et Iu. Cependant, il est chargé d'autres fonctions :

- Sécurité : Il permet la confidentialité et la protection des informations échangées par l'interface radio en utilisant des algorithmes de chiffrement et d'intégrité.
- Mobilité : Une estimation de la position géographique est possible à l'aide du réseau d'accès UTRAN.
- Gestion des ressources radio : Le réseau d'accès est chargé d'allouer et de maintenir des ressources radio nécessaires à la communication.
- Synchronisation : Il est aussi en charge du maintien de la base temps de référence des mobiles pour transmettre et recevoir des informations.

Le réseau d'accès UTRAN est composé de plusieurs éléments : une ou plusieurs stations de base (appelées NodeB), des contrôleurs radio RNC (Radio Network Controller) et des interfaces de communication entre les différents éléments du réseau UMTS.

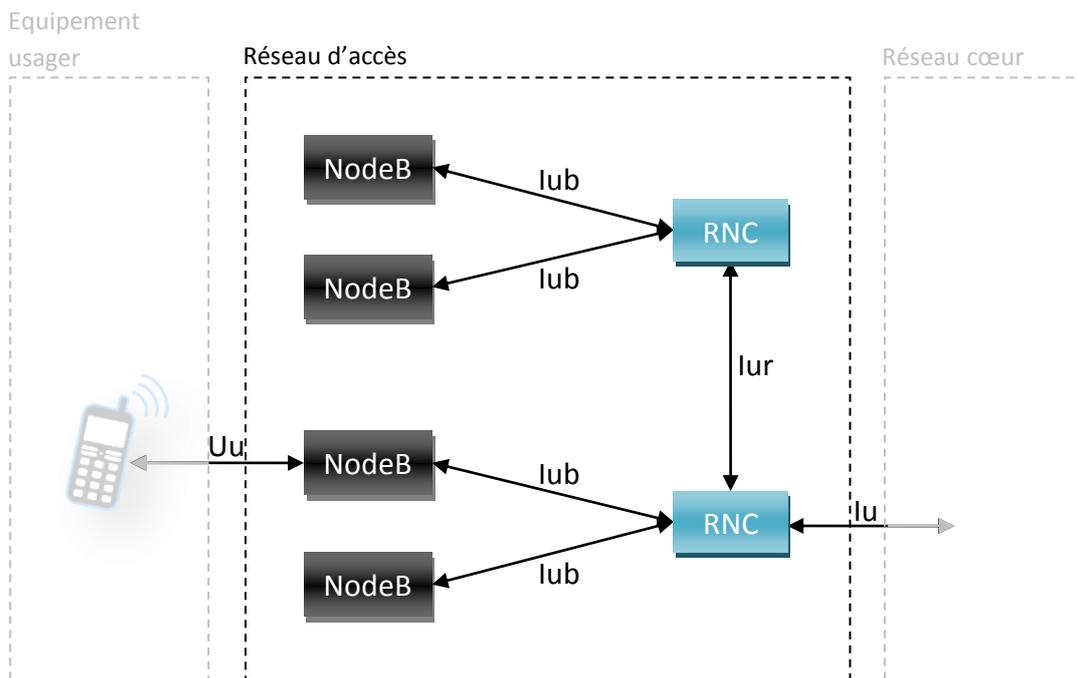


Figure 6 – Architecture du réseau d'accès

NodeB :

Le rôle principal du NodeB est d'assurer les fonctions de réception et de transmission radio pour une ou plusieurs cellules du réseau d'accès de l'UMTS avec un équipement usager. Le NodeB travaille au niveau de la couche physique du modèle OSI (codage et décodage). Nous pouvons trouver deux types de NodeB :

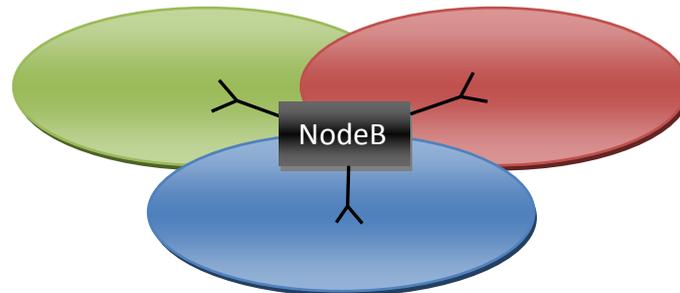


Figure 7 – NodeB avec antennes sectorielles

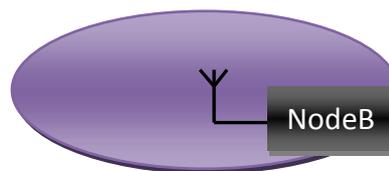


Figure 8 – NodeB avec antenne omnidirectionnelle

Les interfaces de communication :

Plusieurs types d'interfaces de communication coexistent au sein du réseau UMTS :

- Uu : Interface entre un équipement usager et le réseau d'accès UTRAN. Elle permet la communication avec l'UTRAN via la technologie CDMA.
- Iu : Interface entre le réseau d'accès UTRAN et le réseau cœur de l'UMTS. Elle permet au contrôleur radio RNC de communiquer avec le SGSN.
- Iur : Interface qui permet à deux contrôleurs radio RNC de communiquer.
- Iub : Interface qui permet la communication entre un NodeB et un contrôleur radio RNC.

RNC :

Le rôle principal du RNC est de router les communications entre le NodeB et le réseau cœur de l'UMTS. Il travaille au niveau des couches 2 et 3 du modèle OSI (contrôle de puissance, allocation de codes).

Le RNC constitue le point d'accès pour l'ensemble des services vis-à-vis du réseau cœur.

Exemple :

Lorsqu'une communication est établie par un équipement usager, une connexion de type RRC (Radio Resource Control) est établie entre celui-ci et un RNC du réseau d'accès UTRAN. Dans ce cas de figure, le RNC concerné est appelé SRNC (Serving RNC). Si l'utilisateur se déplace dans le réseau, il est éventuellement amené à changer de cellule en cours de communication. Il est d'ailleurs possible que l'utilisateur change de NodeB vers un NodeB ne dépendant plus de son SRNC. Le RNC en charge de ces cellules distantes est appelé « controlling RNC ». Le RNC distant est appelé « drift RNC » du point de vue RRC. Le « drift RNC » a pour fonction de router les données échangées entre le SRNC et l'équipement usager.

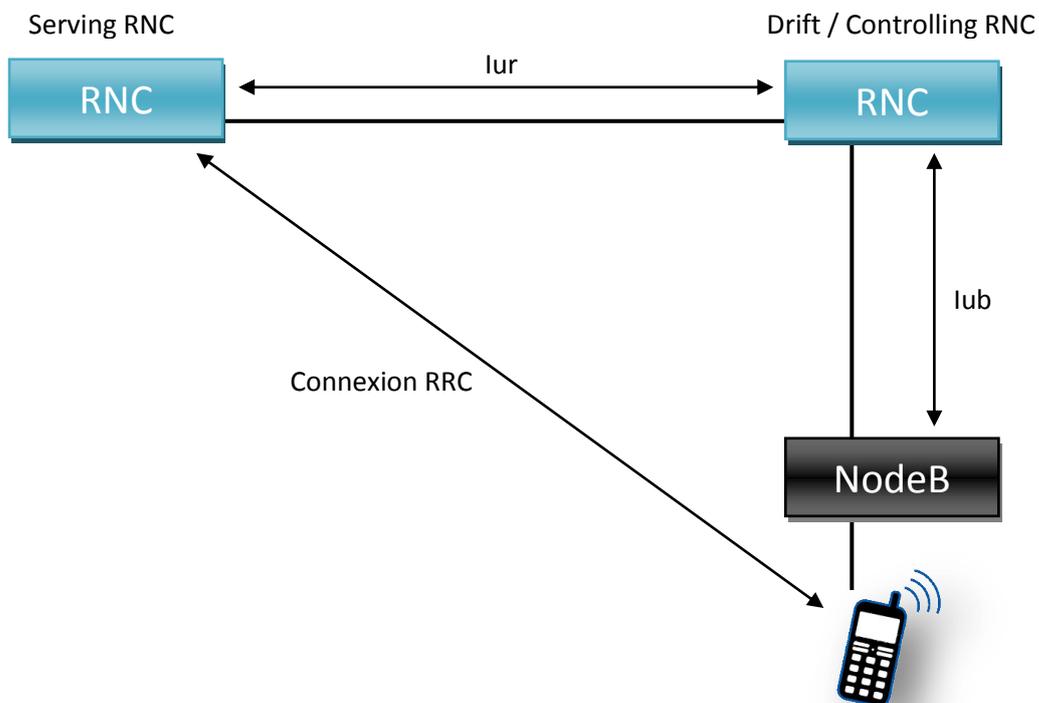


Figure 9 – Représentation graphique de l'exemple de communication

Le réseau cœur de l'UMTS est composé de trois parties dont deux domaines :

- Le domaine CS (Circuit Switched) utilisé pour la téléphonie
- Le domaine PS (Packet Switched) qui permet la commutation de paquets.
- Les éléments communs aux domaines CS et PS

Ces deux domaines permettent aux équipements usagers de pouvoir gérer simultanément une communication paquets et circuits. Ces domaines peuvent être considérés comme des domaines de service. Ce type d'architecture permet de pouvoir créer ultérieurement d'autres domaines de service.

Le schéma représente l'architecture du réseau cœur de l'UMTS :

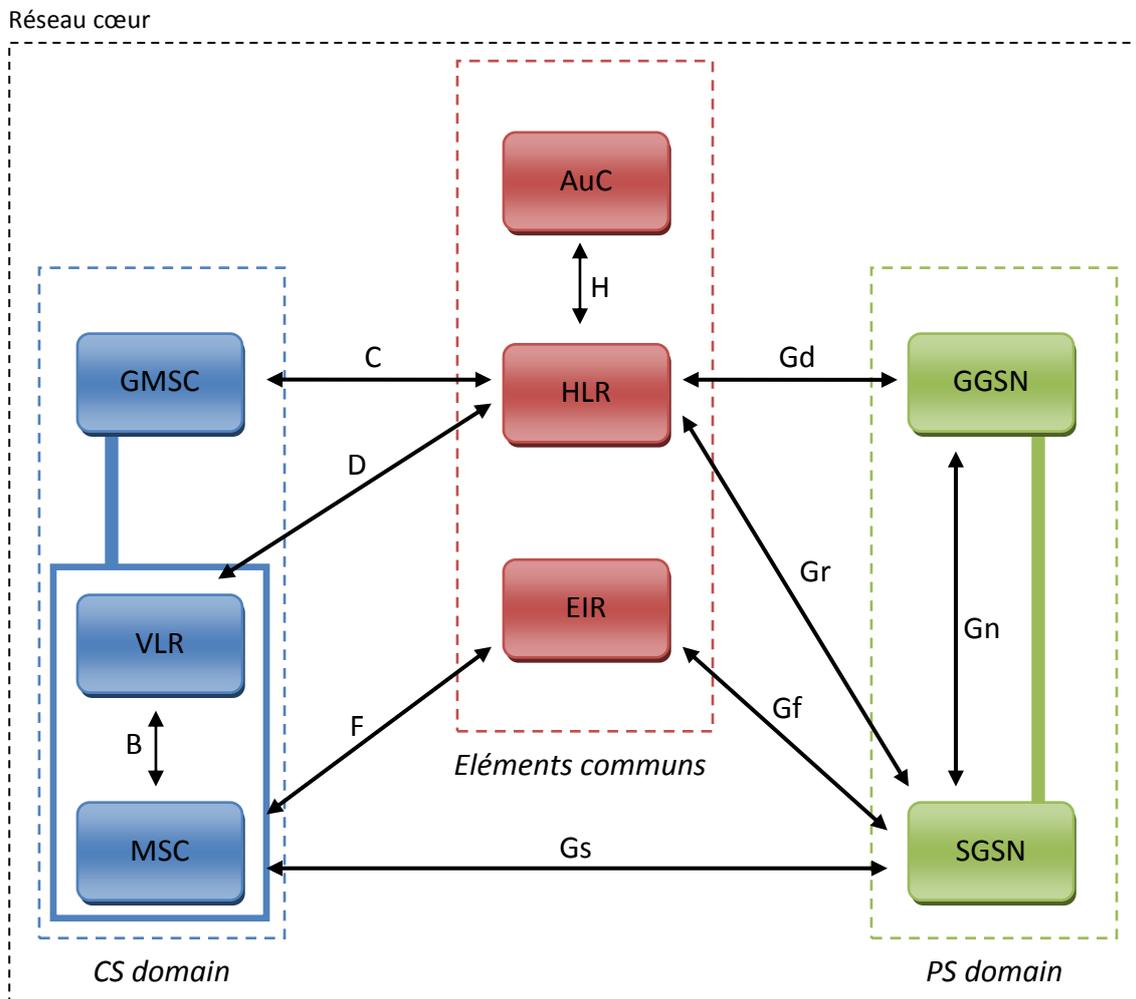


Figure 10 – Architecture du réseau cœur de l'UMTS

ELEMENTS COMMUNS

Le groupe des éléments communs est composé de plusieurs modules :

- Le HLR (Home Location Register) représente une base de données des informations de l'utilisateur suivantes :
 - o L'identité de l'équipement usager
 - o Le numéro d'appel de l'utilisateur
 - o Les informations relatives aux possibilités de l'abonnement souscrit par l'utilisateur
- Le AuC (Authentication Center) est en charge de l'authentification de l'abonné, ainsi que du chiffrement de la communication. Si une de ces deux fonctions n'est pas respectée, la communication est rejetée. Le AuC se base sur le HLR afin de récupérer les informations relatives à l'utilisateur et pour ainsi créer une clé d'identification.
- L'EIR (Equipment Identity Register) est en charge de la gestion des vols des équipements usagers. Il est en possession d'une liste des mobiles blacklistés par un numéro unique propre à chaque équipement usager, le numéro IMEI (International Mobile station Equipment Identity).

LE DOMAINE CS

Le domaine CS est composé de plusieurs modules :

- Le MSC (Mobile-services Switching Center) est en charge d'établir la communication avec l'équipement usager. Il a pour rôle de commuter les données.
- Le GMSC (Gateway MSC) est une passerelle entre le réseau UMTS et le réseau téléphonique commuté PSTN (Public Switched Telephone Network). Si un équipement usager contacte un autre équipement depuis un réseau extérieur au réseau UMTS, la communication passe par le GMSC qui interroge le HLR pour récupérer les informations de l'utilisateur. Ensuite, il route la communication vers le MSC dont dépend l'utilisateur destinataire.
- Le VLR (Visitor Location Register) est une base de données, assez similaire à celle du HLR, attachée à un ou plusieurs MSC. Le VLR garde en mémoire l'identité temporaire de l'équipement usager dans le but d'empêcher l'interception de l'identité d'un usager. Le VLR est en charge d'enregistrer les usagers dans une zone géographique LA (Location Area).

LE DOMAINE PS

Le domaine PS est composé de plusieurs modules :

- Le SGSN (Serving GPRS Support Node) est en charge d'enregistrer les usagers dans une zone géographique dans une zone de routage RA (Routing Area)

- Le GGSN (Gateway GPRS Support Node) est une passerelle vers les réseaux à commutation de paquets extérieurs tels que l'Internet.

ARCHITECTURE EN COUCHES

L'interface radio de l'UTRAN est structurée en couches dont les protocoles se basent sur les 3 premières couches du modèle OSI (respectivement la couche physique, la couche liaison de données et la couche réseau).

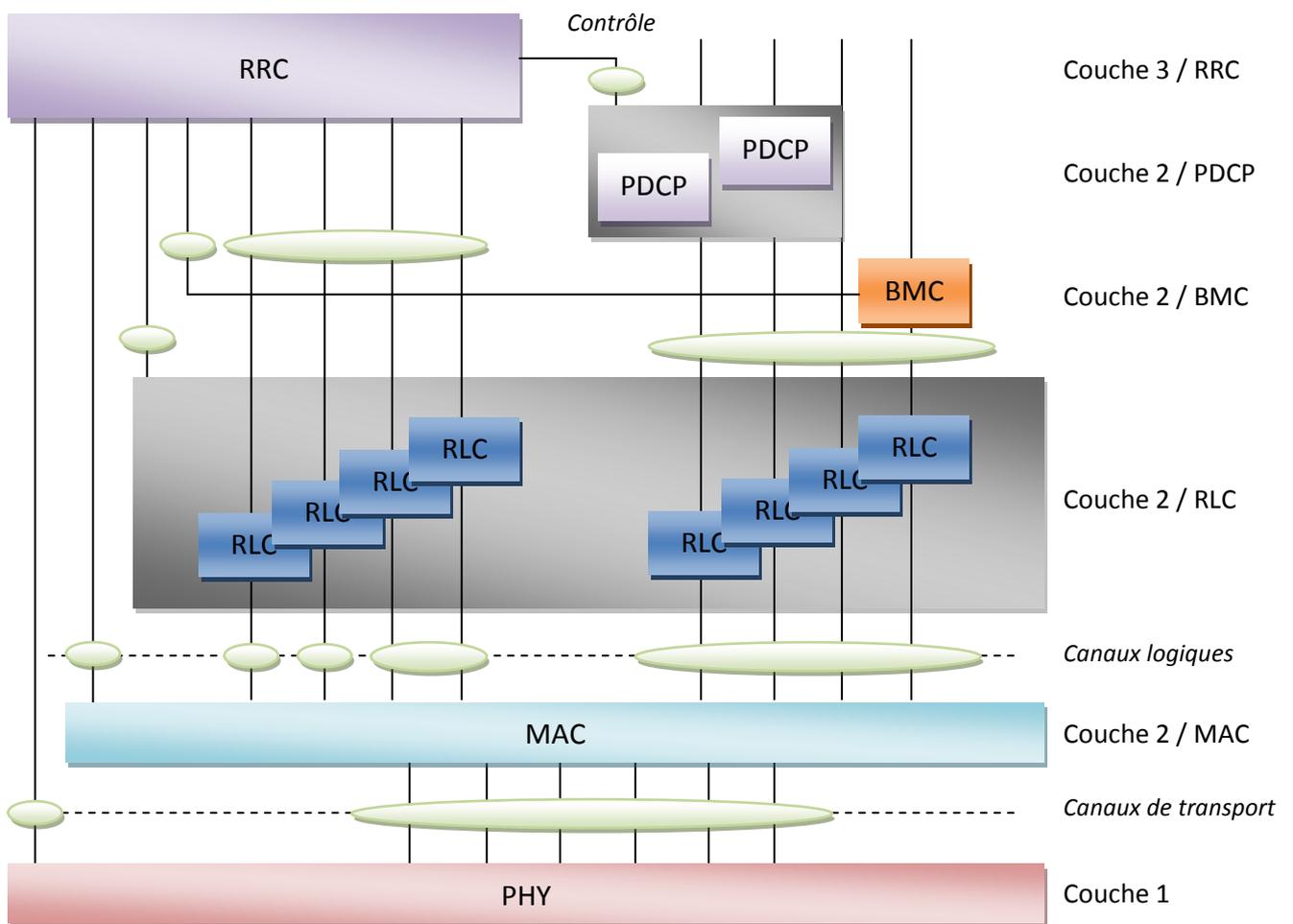


Figure 11 - Vue en couches de l'interface radio UTRAN

Couche 1 :

Cette couche PHY représente la couche physique de l'interface radio qui réalise les fonctions de codage, décodage, modulation et d'entrelacement via W-CDMA.

Couche 2 :

Cette couche est divisée en plusieurs sous couches :

- La sous-couche MAC (Medium Access Control) a pour rôle de multiplexer les données sur les canaux de transport radio.
- La sous-couche RLC (Radio Link Control) permet la fiabilité du transport des données entre deux équipements du réseau.
- La sous-couche PDCP (Packet Data Convergence Protocol) permet de compresser les données via des algorithmes de compression. Cela permet d'exploiter plus efficacement les ressources radio. PDCP compresse les en-têtes des paquets TCP/IP suivant les RFC 1144 et 2507. De plus, cette sous-couche PDCP a aussi pour rôle de rendre indépendant les protocoles radio du réseau d'accès UTRAN (sous-couches MAC et RLC) par rapport aux couches de transport réseau. Ce type d'architecture permettra l'évolution future des protocoles réseaux sans modifier les protocoles radio de l'UTRAN.
- La sous-couche BMC (Broadcast/Multicast Control) est en charge d'assurer les fonctions de diffusion de messages sur l'interface radio.

Couche 3 :

Cette couche RRC (Radio Resource Control) gère la connexion de signalisation établie entre le réseau d'accès UTRAN et l'équipement usager, utilisée lors de l'établissement ou de la libération de la communication.

Suivant le type de données à transporter, la gestion du transport des données est différente.

Commençons par détailler les trames relatives à la voix. La couche PDCP n'est pas utilisée dans ce type de transport. Les couches MAC et RLC sont employées en mode transparent, c'est-à-dire qu'il n'y a pas de segmentation, ni de multiplexage.

En revanche, le transport d'un paquet IP, le mécanisme est différent. Ce type de paquet N-PDU (Network PDU) provient du réseau cœur de l'UMTS à destination du réseau d'accès UTRAN. Tout d'abord, l'en-tête de la N-PDU est compressé par la couche PDCP. La couche RLC segmente la PDU ainsi compressée. Un en-tête est alors rajouté à la RLC-PDU par la couche MAC lors du multiplexage.

Le schéma ci-dessous présente l'encapsulation des paquets qui arrivent au réseau cœur de l'UMTS :

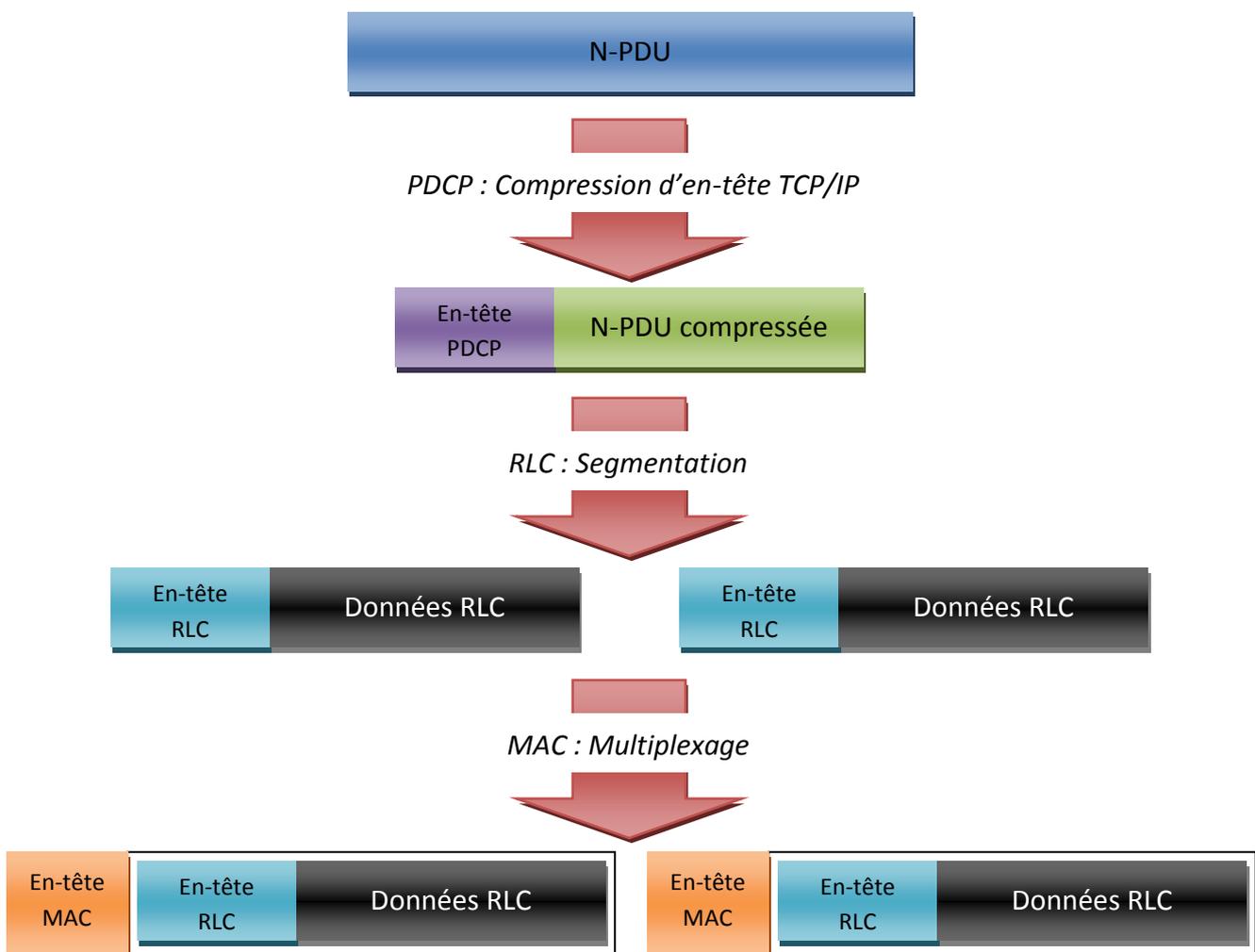


Figure 12 – Encapsulation des paquets TCP/IP à l'arrivée au réseau cœur

L'interface radio de l'UMTS se base sur le W-CDMA (Wideband Code Division Multiple Access). Cependant, le W-CDMA se base sur une technique plus ancienne qui est le CDMA (Code Division Multiple Access). Afin de comprendre les concepts du W-CDMA, il est important de comprendre la technique du CDMA.

CDMA

Le CDMA (Code Division Multiple Access) est utilisé dans de nombreux systèmes de communication. Il permet d'avoir plusieurs utilisateurs sur une même onde porteuse. Les transmissions sont numérisées, dites à étalement de spectre. L'étalement du spectre rend le signal moins sensible aux fluctuations sélectives en fréquence. Le signal est ainsi transmis sur une bande de fréquences beaucoup plus large que la bande de fréquences nécessaire.

Les avantages :

- Efficacité spectrale
- Sécurité de la transmission : le signal codé est détectable comme étant du bruit.
- Handover
- Gestion du plan de fréquences
- Concentration de trafic

Principe de l'étalement de spectre :

Le W-CDMA réalise un étalement de spectre selon la méthode de répartition par séquence directe (Direct Sequence).

Pour cela, chaque bit de l'utilisateur à transmettre est multiplié (OU exclusif) par un code pseudo aléatoire PN (Pseudo random Noise code) propre à cet utilisateur. La séquence du code (constituée de N éléments appelés "chips") est unique pour cet utilisateur en question, et constitue la clé de codage. Cette dernière est conservée si le symbole de donnée est égal à 1, sinon elle est inversée. La longueur L du code est appelée facteur d'étalement SF (Spreading Factor).

Si chacun des symboles a une durée T_b , on a 1 chip toutes les T_b/N secondes. Le nouveau signal modulé a un débit N fois plus grand que le signal initialement envoyé par l'utilisateur et utilisera donc une bande de fréquences N fois plus étendue.

Nous avons donc une relation entre le débit initial et le débit final du type :

$$\text{Débit Chip} = \text{Débit Bit} \times SF$$

Remarque : La relation ci-dessus nous permet de dire que plus le facteur d'étalement SF est élevé, plus le Débit Chip sera élevé. Cela implique que le débit de données du canal sera élevé. Les canaux à débits variables peuvent être libérés en fonction des besoins de l'utilisateur.

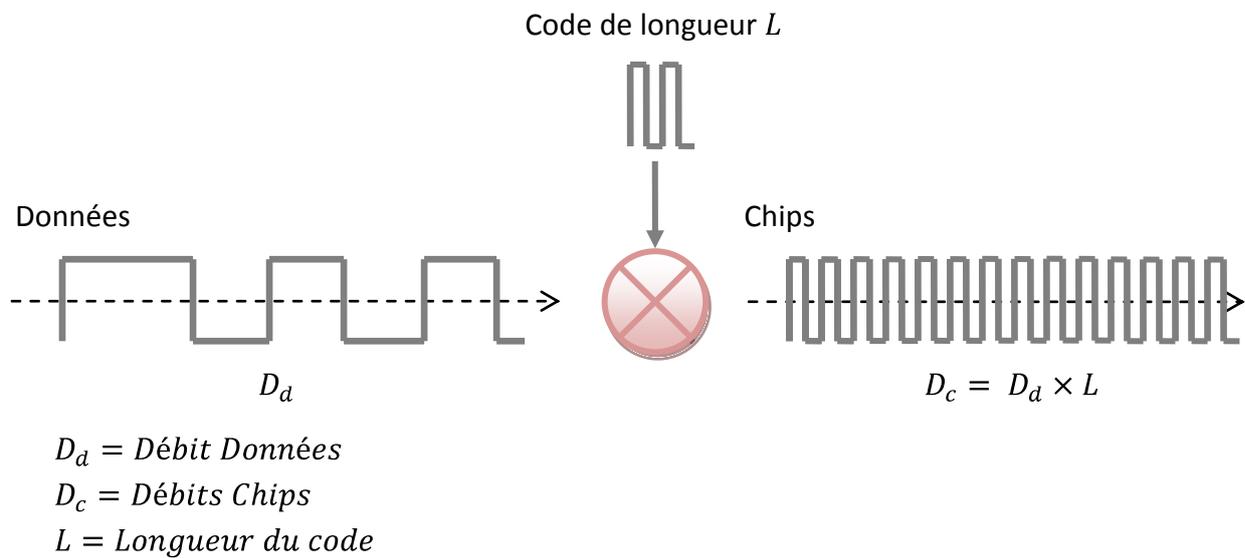


Figure 13 – Principe de l'étalement de spectre

Afin de pouvoir lire le message codé envoyé, le récepteur doit réaliser la même opération. En effet, ce dernier génère la même séquence d'étalement qu'il multiplie au signal reçu afin d'obtenir les données. Les données des autres utilisateurs (pas de multiplication avec la séquence d'étalement) restent étalées.

Codes d'étalement

Chaque utilisateur possède un code, il est donc nécessaire de n'avoir aucune interférence entre ceux-ci. Pour cela, nous utilisons des codes orthogonaux dits codes OVSF (Orthogonal

Variable Spreading Factor Code) afin de modifier le facteur d'étalement et de conserver l'orthogonalité des différents codes d'étalement.

Ces codes sont définis par un arbre OVFS où chaque nœud possède 2 fils. Les codes des 2 fils sont issus du code de leur père commun, c'est-à-dire que leur code est composé par le code du père et de son complémentaire. L'arbre des codes OVFS ainsi créé peut être représenté sous la forme de la matrice de Hadamard.

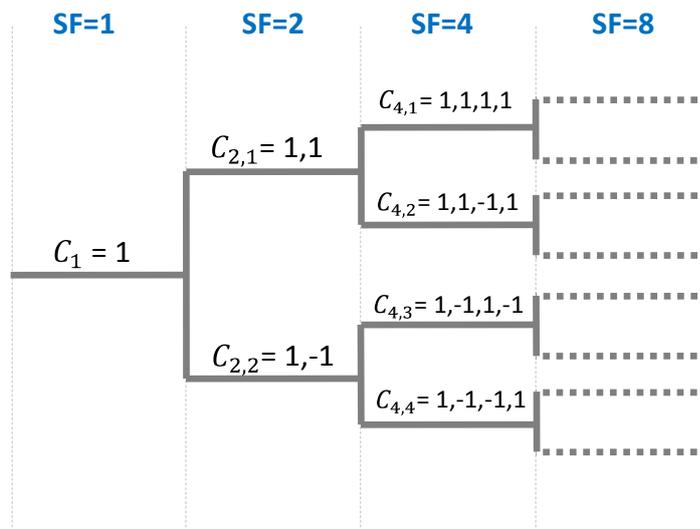


Figure 14 – Arbre des codes OVFS

L'arbre ci-dessus, nous montre la relation entre le facteur d'étalement et le nombre de codes disponibles pour un étalement donné. Il est important de savoir que le facteur d'étalement SF détermine la longueur du code.

Le nombre de bits dans les trames des canaux dédiés pour le transfert des données se trouve par l'intermédiaire de la relation suivante :

$$SF = \frac{256}{2^k} \quad \text{avec } 0 \leq k \leq 6$$

Comme k est compris entre 0 et 6, les valeurs du facteur d'étalement SF peut être égal à 7 valeurs.

k	0	1	2	3	4	5	6
SF	256	128	64	32	16	8	4

Dans un tel arbre, il n'est possible d'utiliser tous les codes OVFS simultanément. Comme nous l'avons vu, le code de chaque nœud est déterminé en fonction du code du nœud père.

Cela implique donc que pour une branche, les codes ont une relation entre eux, ce qui empêche l'utilisation d'autres codes lorsque l'un d'entre eux est utilisé.

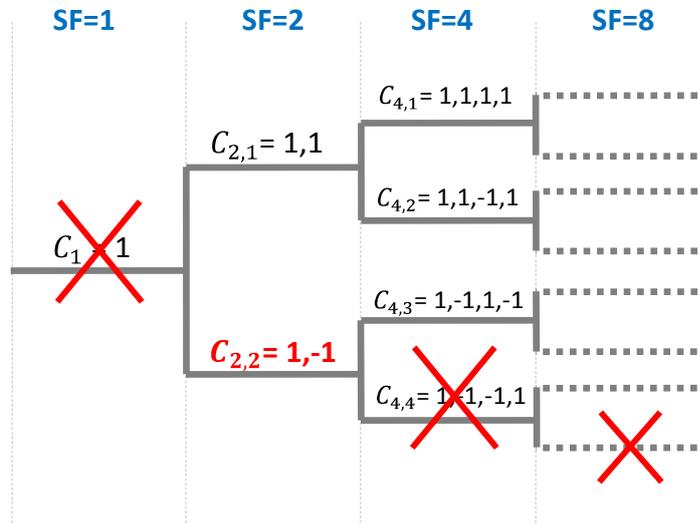


Figure 15 – Utilisation des codes OSVF

La figure ci-dessus nous indique que le code $C_{2,2}$ est utilisé, ce qui empêche tous les autres codes de la même branche d'être utilisés. Cette règle impose une contrainte forte sur les disponibilités des canaux pour le haut-débit, ce qui implique que le nombre d'utilisateurs simultanés en téléchargement de données est limité.

CONTRAINTES

Il existe certaines contraintes quant à l'utilisation de cette technologie.

L'EFFET NEAR-FAR

On parle d'effet near-far lorsqu'un appareil mobile émet à une puissance trop élevée qui empêche tous les autres appareils mobiles du voisinage. L'appareil mobile à forte puissance éblouit son entourage.

Prenons par exemple un appareil mobile émetteur se trouvant au pied de la station de bases et d'autres appareils mobiles en périphérie dont leur puissance qui arrive au pied de la station de base est affaiblie par la distance. Ces dernières seront masquées par le signal de l'émetteur puissant.

Pour remédier à ce problème, il est possible de mettre en place un système de contrôle de puissance. Le système de contrôle rapide en boucle fermée (Closed-loop Power Control) a été retenu pour le W-CDMA. Ce système permet à la station de base de réaliser des estimations régulières (1500 fois par seconde pour chaque mobile) du rapport signal à interférence (Signal to Interference Ratio) en les comparant avec la valeur du rapport signal à interférence du destinataire. Si l'estimation de cette valeur est supérieure à la valeur du destinataire, la station de base demande à l'appareil mobile concerné de réduire sa puissance d'émission ou de l'augmenter.

Le contrôle de puissance permet à la station de base de recevoir les signaux de même puissance. Ce mécanisme permet de prendre en compte tout type de variation d'affaiblissement.

Le schéma ci-dessous illustre ce phénomène de near-far. En effet, nous avons 3 équipements mobiles qui sont connectés à la même station de base. Cependant, du fait de leur distance à celle-ci, leur puissance est différente à l'arrivée du signal à la station de base.

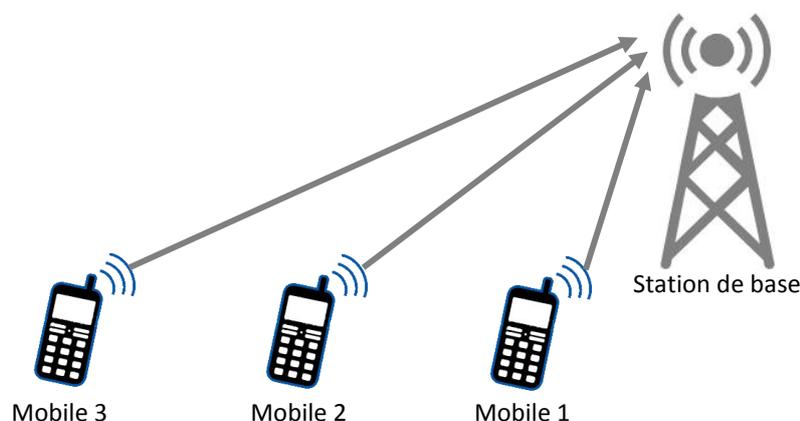
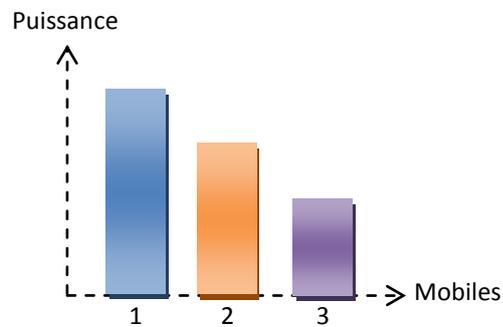


Figure 16 – Effet Near-Far

Les deux schémas ci-dessous présentent les puissances reçues par la station de base sans et avec contrôle de puissance :

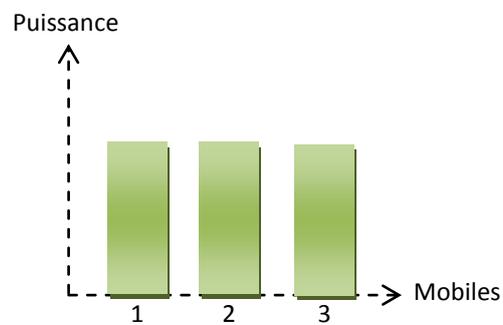
Sans contrôle de puissance



Puissance Mobile 1 > Puissance Mobile 2 > Puissance Mobile 3

Figure 17 – Comparaison des puissances sans contrôle de puissance

Avec contrôle de puissance



Puissance Mobile 1 = Puissance Mobile 2 = Puissance Mobile 3

Figure 18 – Comparaison des puissances avec contrôle de puissance

LES HANDOVERS

Les appareils mobiles permettent de communiquer en mouvement. Cela implique qu'il arrive que ceux-ci se retrouvent dans une zone de chevauchement de deux cellules. Il ne faut en aucun cas couper une communication. Il existe plusieurs sortes de handovers :

- Softer handover : lorsqu'un appareil mobile se trouve dans une zone commune de deux secteurs couverts par la même station de base.
- Soft handover : lorsqu'un appareil mobile se trouve dans une zone de couverture commune à deux stations de base. Les communications du mobile empruntent simultanément deux canaux différents pour atteindre les deux stations de base.



Figure 19 – Exemple de soft handover

- Hard handover inter-fréquences : permet à un appareil mobile de passer d'une fréquence à une autre.
- Hard handover inter-systèmes : permet à un appareil mobile de passer d'un système à un autre

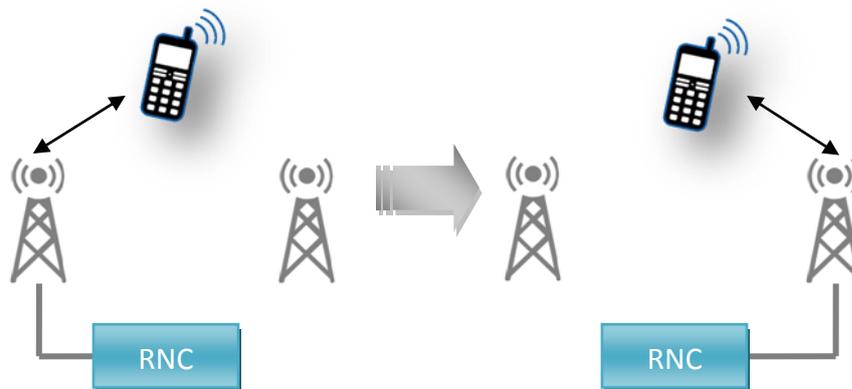


Figure 20 – Exemple de hard handover

LE FAST-FADING

On appelle Fast-Fading l'annulation de deux ondes déphasées d'une demi-longueur et ayant emprunté plusieurs parcours.

Prenons comme exemples deux ondes ayant une différence de longueur égale à une demi-longueur d'onde ; elles arrivent pratiquement au même moment au récepteur. Leur déphasage d'une demi-longueur fait qu'elles s'annulent à cet instant. Cela est dû aux différents parcours empruntés par les ondes. L'autre facteur d'une telle annulation est le fait que le récepteur soit immobile ou se déplace à faible vitesse.

Cependant, il est possible de remédier à ce problème par l'intermédiaire de protocoles de codage, d'entrelacement et de retransmission qui ajoutent de la redondance et de la diversité temporelle au signal. Ainsi, malgré les atténuations des signaux, le récepteur sera apte à récupérer les données envoyées. De plus, il est possible de recombinaison l'énergie du signal en utilisant de multiples récepteurs à corrélation. Ces derniers corrigent tous les changements de phase ou d'amplitude.

LES TRAJETS MULTIPLES

La transmission des signaux dans un canal est caractérisée par de multiples réflexions, diffractions et atténuations du signal. Ces phénomènes sont provoqués par les obstacles rencontrés par les signaux. C'est pour cette raison que ces derniers empruntent des trajets multiples afin d'atteindre leur cible. Il en résulte que le signal réalise des temps de trajet variables en fonction du chemin emprunté ; il en est de même pour la puissance du signal qui peut varier. Le récepteur peut recevoir plusieurs fois le même signal décalé. Ce temps de décalage peut varier de 2 μ s en ville à 20 μ s dans des zones vallonnées. Il est donc impératif que le récepteur sache identifier et séparer les différentes composantes dans le but de reconstituer les données.

W-CDMA

Le W-CDMA se base sur le CDMA mais utilise une bande passante plus large ce qui implique des débits supérieurs.

MULTIPLEXAGE

Le W-CDMA propose deux types de multiplexage : le FDD (Frequency Division Duplex) et le TDD (Time Division Duplex).

Le multiplexage de type FDD utilise une bande passante de 5 Mhz pour le débit descendant, et une bande passante de 5 Mhz pour le débit montant. Le débit maximal supporté par un seul code est de 384 kbit/s. Afin de pouvoir supporter un débit de 2 Mbit/s, plusieurs codes sont nécessaires.

Le multiplexage de type TDD n'utilise qu'une seule bande passante de 5 Mhz divisée en portions de temps (time slot) utilisables aussi bien pour le débit montant que pour le débit descendant. Elle comprend donc une composante TDMA (Time Division Multiple Access) en plus de la séparation par code. Cela permet d'obtenir une large gamme de débits de services en allouant plusieurs codes ou plusieurs intervalles de temps à un utilisateur.

SCRAMBLING

Le scrambling, réalisé par l'émetteur, permet de séparer les différents signaux d'une même station de base ou d'un même terminal sans modifier ni le débit, ni la bande passante. Cela permet d'étaler un signal par plusieurs émetteurs avec le même code d'étalement sans compromettre la détection des signaux par le récepteur. Il existe un arbre de codes d'étalement pour chaque code de scrambling, ce qui permet aux émetteurs d'utiliser leurs arbres de codes indépendamment.

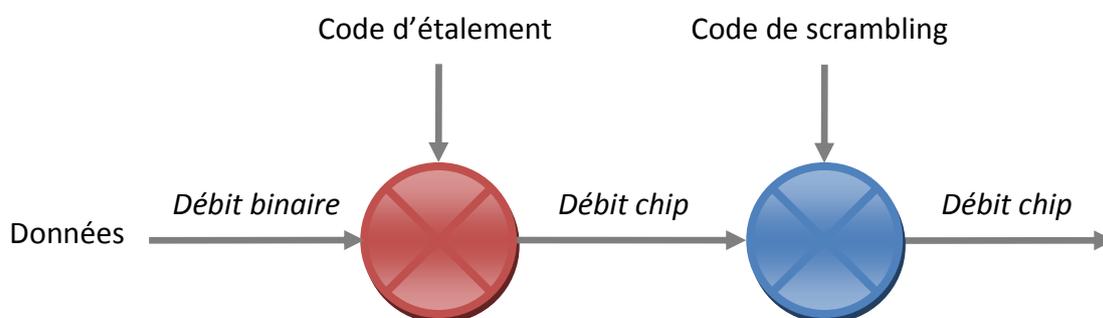


Figure 21 – Le mécanisme de scrambling

Relations entre le code d'étalement et le code de scrambling :

Fonctionnalités	Code d'étalement	Code de scrambling
Famille de codes	OVSF	Gold
Utilisation	<p>Débit montant : Séparation des canaux de données d'un même terminal.</p> <p>Débit descendant : Séparation des connexions des différents utilisateurs d'une même cellule.</p>	<p>Débit montant : Séparation des terminaux.</p> <p>Débit descendant : Séparation des cellules.</p>

COMPARAISON DU W-CDMA AVEC LA 2G

Le W-CDMA est doté de nombreux avantages par rapport aux technologies utilisées dans la seconde génération (2G) de télécommunications mobiles.

La sécurité est nettement améliorée. En effet, le signal, perçu comme un bruit, est codé par une séquence connue uniquement par l'émetteur et le récepteur.

La sensibilité aux interférences extérieures est réduite puisque les brouilleurs sont réduits lors du désétalement.

Plusieurs émetteurs peuvent partager la bande passante. Cela permet d'obtenir des débits supérieurs, en plus d'être variables. De plus, ce partage évite le multiplexage existant en 2G.

QUALITE DE SERVICE

L'UMTS propose 4 classes de qualité de services selon les applications :

- La classe Conversational qui permet aux conversations vocales de proposer une bande passante contrôlée avec échange interactif en temps réel avec un minimum de délai entre les paquets.
- La classe Streaming qui permet aux services de streaming de fournir une bande passante continue et contrôlée afin de pouvoir transférer la vidéo et l'audio dans les meilleures conditions.
- La classe Interactive destinée à des échanges entre l'équipement usager et le réseau comme la navigation Internet qui engendre une requête et une réponse par le serveur distant.
- La classe Background, qui affiche la plus faible priorité, permet des transferts de type traitements par lots qui ne demandent pas de temps réel et un minimum d'interactivité (envoi et réception de messages électroniques).

LE HSDPA

Depuis quelques temps, une évolution de l'UMTS se développe : l'HSDPA (High Speed Downlink Packet Access). Nous pouvons comparer cette évolution à celle du GPRS avec l'EDGE réalisée pendant la seconde génération de téléphonie mobile.

79 des 105 opérateurs de téléphonie mobile sont déjà équipés. Actuellement, déjà 15 réseaux sont opérationnels en Allemagne, Autriche, Portugal, Finlande, etc. En ce qui concerne les opérateurs français, le lancement commercial d'Orange et SFR a commencé depuis la fin 2006. Bouygues, quant à lui, proposera des offres courant avril 2007.

SIMPLE EVOLUTION DE L'UMTS

Les réseaux supportant le HSDPA (dits 3.5G) sont dotés d'équipements W-CDMA upgradés pour de meilleures performances. Le coût de l'investissement est moindre puisqu'il s'agit de mises à jour logicielles. Les fréquences utilisées en HSDPA sont les mêmes que pour l'UMTS.

Les canaux de communication sont partagés. Nous avons 14 codes en HSDPA contre un seul en UMTS. Le HSDPA propose une répartition dynamique des capacités par les stations de base en fonction des besoins de transmission à un instant t donné. Rappelons qu'en UMTS cela est réalisé en fonction d'un schéma d'émission statique.

HSDPA VS WIMAX

Le tableau ci-dessous présente les avantages principaux des deux technologies :

HSDPA	WiMax
Evolution naturelle des réseaux GSM et UMTS	Idéal pour les zones non couvertes par le DSL
Télévision mobile Haute-Définition	Haut-débit pour les zones denses

Nous pouvons constater que ces deux technologies ne sont pas nécessairement en concurrence. Nous pouvons parler de complémentarité puisque suivant le besoin de l'utilisateur l'une des deux technologies est plus adaptée.

APRES LA 3G, LA 4G ?

Les réseaux de quatrième génération de téléphonie mobile combineront différentes technologies. Rien n'est réellement déterminé, mais il semblerait que le WiMax ferait éventuellement partie de ces technologies constituant la quatrième génération. De plus, le réseau sera entièrement IP. Les réseaux WiFi et les réseaux mobiles de troisième génération sont largement déployés. Cette optique de développement sera poursuivie.

Le service réseau radio sera unifié. Cela va permettre d'avoir un handover transparent entre deux réseaux hétérogènes.

SIGLES

AuC : Authentication Center
BMC : Broadcast/Multicast Control
CS : Circuit Switched
E-CSD : Edge Circuit Switched data
E-GPRS : Enhanced GPRS
EIR : Equipment Identity Register
FDD : Frequency Division Duplex
GGSN : Gateway GPRS Support Node
GMSC : Gateway MSC
HLR : Home Location Register
HSCSD : High Speed Circuit Switched Data
IMEI : International Mobile station Equipment Identity
LA : Location Area
MAC : Medium Access Control
MSC : Mobile-services Switching Center
N-PDU : Network PDU
OSI : Open Systems Interconnection
OVSF : Orthogonal Variable Spreading Factor Code
PDCP : Packet Data Convergence Protocol
PS : Packet Switched
PSTN : Public Switched Telephone Network
RA : Routing Area
RLC : Radio Link Control
RNC : Radio Network Controller
RRC : Radio Resource Control
SF : Spreading Factor
SGSN : Serving GPRS Support Node
SRNC : Serving RNC
TDD : Time Division Duplex
UTRAN : UMTS Terrestrial Radio Access Network
VLR : Visitor Location Register