

# Matière 1 : Réseaux mobiles

## Chapitre 1 : GSM

### 1 - Introduction

Réseau mobile : Réseau dans lequel les utilisateurs se déplacent et peuvent communiquer à l'extérieur de leur réseau d'origine. ⇒ Pose des pb d'adressage quand l'user est en dehors du réseau.

⇒ Solution de GSM : Dissocier adresse et localisation (comme pour les numéros verts). On a une BDD qui garde en mémoire la localisation des users.

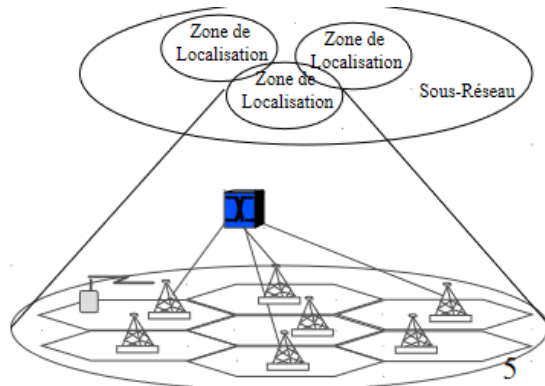
#### 1.1 - Réseaux cellulaires

Sur le territoire, on a des stations/Points d'accès. Chaque antenne a une zone de couverture (les zones de couverture se chevauchent).

Plus la puissance d'émission est faible, plus la portée d'une station est faible et donc plus on peut mettre de station ⇒ on densifie le réseau.

Architecture arborescente : les stations sont reliées à une infrastructure de réseau.

Zone de localisation : ensemble contigu de cellules. De la taille de la zone dépend la signalisation : zone petite ⇒ on change souvent de zone donc beaucoup d'échanges dans le sens montant mais zone grande ⇒ plus difficile de localiser l'user dans une zone.



Les communications se font des terminaux vers l'infra et de l'infra vers les terminaux.

Handover : protocoles qui assurent les transferts intercellulaires et assurent la continuité de la communication

Paging : fonction pour contacter un utilisateur dont on connaît la zone de localisation

Contrôle de puissance : mécanisme (boucle ouverte ou fermée) qui règle le niveau (de puissance ?) : pas trop faible pour que tout le monde puisse recevoir, mais pas trop élevé pour pas qu'il y ait des interférences.

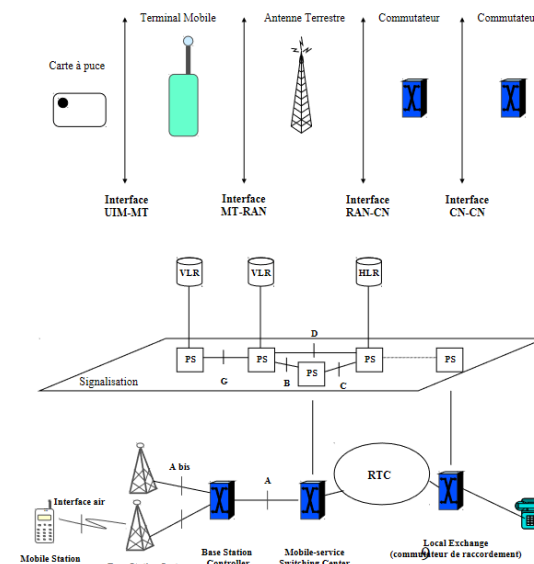
#### 1.2 - Fonctions du réseau cellulaire

Gestion de la mobilité (Mobility management) : le protocole MM met à jour la localisation : deux types d'équipements : HLR : bdd liée à l'opérateur qui gère l'abonnement et la localisation de base, et VLR : bdd de cache qui évite d'aller chercher à chaque fois dans la HLR, qui peut se retrouver parfois très loin.

HLR : unique, c'est souvent elle qui est soumise à des attaques.

Gestion des appels : Call Management (CM) : "C'est très GSM" ??

Gestion des ressources radio (RR) : allouer un débit pour la communication téléphonique + ressources de signalisation.



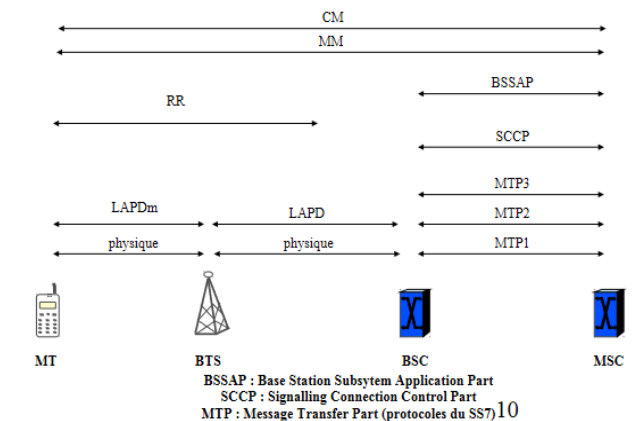
Le téléphone communique avec les stations de base (BS), qui ont chacune plusieurs antennes. Une station de base est pilotée par un contrôleur de station de base (BSC). Le BSC est raccordé à un MSC (Mobile-service Switching Center), qui est en fait un commutateur de raccordement vers le réseau téléphonique.

L'accès au réseau sémaphore se fait au niveau du MSC : il contribue à la mise en place des appels mais aussi à l'utilisation des bdd VLR ET HLR.

Fin du réseau d'accès au niveau du MSC.

### 2 - Architecture protocolaire du GSM

#### 2.1 - Principaux protocoles du GSM



Le partage du support de communication se fait sur un double découpage temporel et fréquentiel : MFTDMA (MultiFrequency Time Division Multiple Access). Les stations de base ont accès à un certain nombre de bandes de fréquence, qui sont découpées temporellement.

Un canal physique du GSM = une bande de fréquence et une plage temporelle. Le découpage des canaux est figé et chaque canal à le

droit à son débit.

Broadcast Channel (BCH) unidirectionnel en diffusion	Frequency Correction Channel (FCCH) ↓	Calage Fréquence Porteuse
	Synchronization Channel (SCH) ↓	Synchro + Identification
	Broadcast Control Channel (BCCH) ↓	Information Système
Common Control Channel (CCCH) ↑↓ accès partagé	Paging Channel (PCH) ↓	Appel du Mobile
	Random Access Channel (RACH) ↑	Accès aléatoire du mobile
	Access Grant Channel (AGCH) ↓	Allocation de Ressources
	Cell Broadcast Channel (CBCH) ↓	Messages courts diffusés
Dedicated Control Channel (DCCH)	Stand-Alone Dedicated Control Channel (SDCCH) ↑↓	Signalisation
	Slow Associated Control Channel (SACCH) ↓↑	Supervision de la liaison
	Fast Associated Control Channel (FACCH) ↓↑	Exécution du Handover
Traffic Channel (TCH)	Traffic Channel for coded speech (TCH/FS) (TCH/HS) ↑↓	Voix plein/demi débit
	Traffic Channel for data ↑↓	Données utilisateur

Les flèches = le sens de communication.

4 grands groupes :

- Canaux de données (TCH) : tmtc, ils sont bidirectionnels
- Canaux de signalisation dédiés (DCCH) : les canaux de signalisation sont attribués à un utilisateur (pas d'accès aléatoire comme sur les canaux D en Réseaux de Télécom). Envoi de mesures périodiques surtout utilisées pour le handover.

SDCCH et FACCH se partagent les mêmes ressources

- Canaux de signalisation partagés (CCCH) : Canal de paging, canaux en accès aléatoire, utilisés pour s'insérer dans le réseau (RACH). Canal pour attribuer les ressources (AGCH).

En gros, l'utilisateur envoie un message sur le RACH et si le message a bien été reçu, on lui répond sur le AGCH (sur lequel pas de risque de collision)

- Canaux de broadcast (BCH) : Présents dans le sens descendants, utilisés surtout pour la synchronisation temporelle et le calage fréquentiel.. On s'intéresse surtout aux canaux BCCH : c'est là que circulent les infos sur la localisation qui vont permettre à l'utilisateur de se mettre à jour auprès de la HLR. C'est aussi grâce à ce canal, où les utilisateurs vont pouvoir mesurer le niveau de puissance des

cellules voisines, que l'on va déclencher le handover.

2.2 - Interface Air-Couche 1

Les trames sont de durée constante (= de taille constante je suppose). Une trame = 8 slots et plusieurs fréquences en même temps.

2.3 - Interface Air-Couche 2

Les protocoles utilisés sont différents suivant les canaux.

Canaux de trafic : rien  
Canaux de Broadcast (sauf BCCH) : rien

CCCH et BCCH : transparent (on envoie direct les messages de niveau 3 sans encapsulation). Canaux unidirectionnels ⇒ pas de fiabilisation.

RACH : pas de fiabilisation

Seuls canaux à avoir du niveau 2 : DCCH ⇒ on utilise LAPDm, cousin de LAPD. Le code d'erreur est traité par la couche phy ⇒ pas de FCS en fin de trame. Taille constante et courte. Vu qu'on va faire de la segmentation (car les messages sont petits), on indique combien de trames fait le message.

On a gardé le SAPI (Service Access Point Identifier) qui peut prendre 2 valeurs : 0 pour la SIG (abréviation cheloue de signalisation) et 3 pour les SMS

Présence du mode avec et sans connexion:

- Avec : signalisation
- Sans : handover, et transfert de données sur canal SACCH

2.4 - Couche 3 : Radio

Protocoles CM, MM et RR. On utilise le protocole Q931.

Discriminateur de protocole	type de message	Champs obligatoires de longueur fixe	Champs obligatoires de longueur variable	Champs optionnels
Identificateur de transaction				

On a 3 protocoles différents au dessus de LAPDm, ils ne sont PAS encapsulés les uns dans les autres.

Identificateur de transaction : pour faire du double appel, déjà vu askip.

Couche RR : Gestion des ressources radio : alloue les canaux DCCH et TCH à l'utilisateur. Rétablit également les ressources en cas de Handover. Signalisation Usager/Réseau

Couche MM : Mise à jour de la localisation des utilisateurs et mise en oeuvre des principes de sécurité : Authentification et chiffrement. Signalisation Usager/Réseau. C'est un protocole de réseau d'accès.

Couche CM: Comprend plusieurs parties:

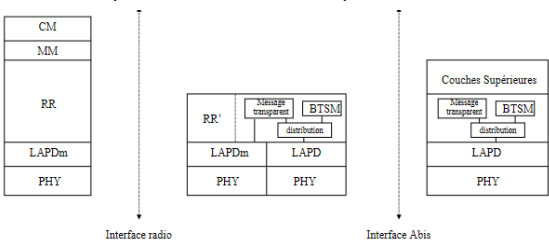
- CC : signalisation de base téléphonique
- SS : Double appel, transfert d'appel, SMS (ca devrait être sur le canal de données mais finalement, c'est des messages, qui ont des contraintes de qualité de service identiques à celles de la SIG)

2.5 - Interface Abis (BTS-BSC)

Plan de données : la parole est envoyée en mode circuit, pas de protocole en plus.

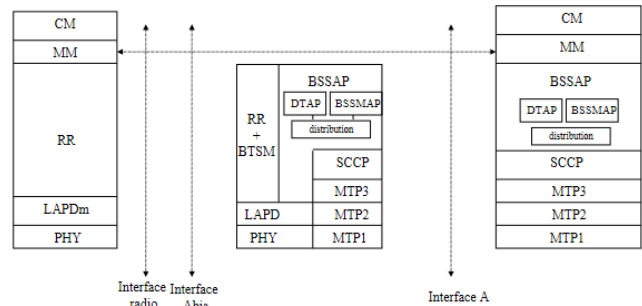
Messages de contrôle échangés entre le MSC et la station de base, notamment pour gérer les ressources. Il y aura aussi les messages venant des protocoles CM MM et RR à destination de l'utilisateur (ou dans l'autre sens). Les messages sont transportés par le protocole LAPD en mode connecté (pour fiabilisation).

Les différents flux sont distingués grâce au SAPI, et on utilise un identifiant de terminal pour regrouper les messages destinés aux utilisateurs qui sont sur la même fréquence



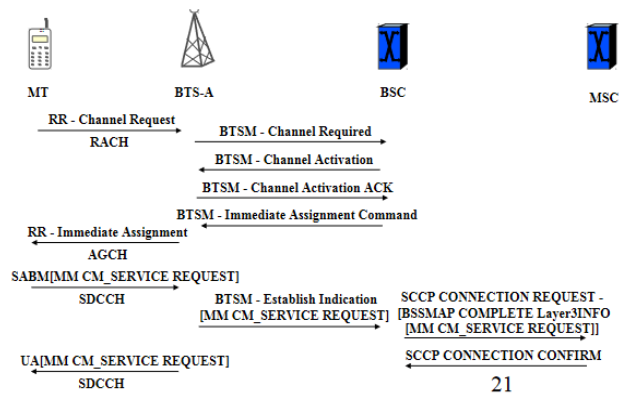
Couche BTSM : gère les communications. Les autres messages sont dans les couches supérieures dans le BSC. Pour ces messages là, la BS = pont. Elle regarde dans le message qui est le destinataire pour envoyer le message sur le bon canal (à cause du multiplexage sur le lien BSC BS).

2.6 - Interface A



2.7 - Exemples

2.7.1 - Allocation canal signalisation



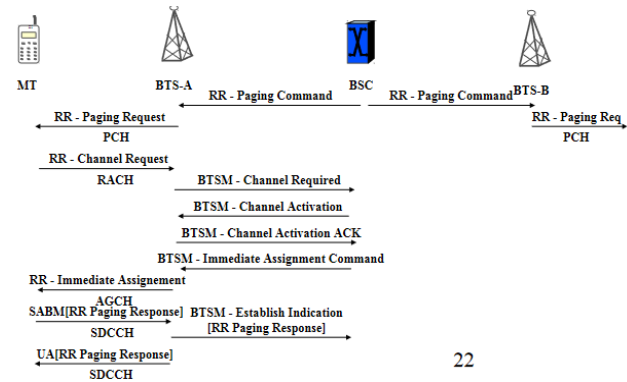
L'utilisateur "lève le doigt" sur le canal RACH. Il envoie un message RR, pas de protocole de niveau 2.

Si il gagne l'accès aléatoire, on lui donne un canal SDCCH. La BS demande un canal au contrôleur, qui lui accorde ou non. Utilisation du protocole BTSM.

On répond à la trame RR de l'utilisateur par une trame RR sur le canal AGCH

L'utilisateur ouvre une connexion sur LAPDm sur le canal, en précisant le service qu'il veut utiliser.

2.7.2 - Paging

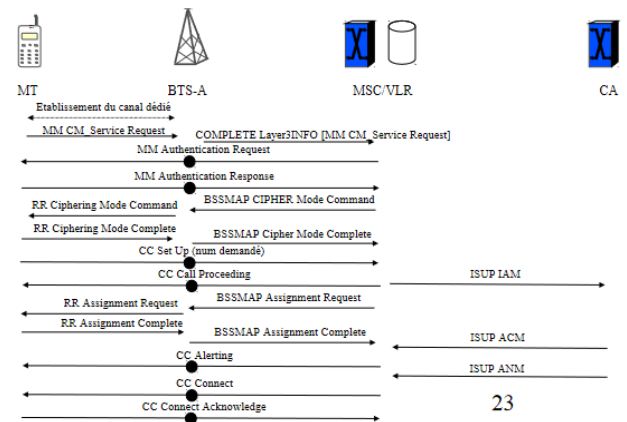


L'utilisateur est repéré dans sa zone de localisation mais pas dans sa cellule. Quand on cherche à le joindre, on diffuse le message à toutes les cellules dans sa zone de localisation (donc tous les BSC et BS).

Le message de paging est relayé à toutes les BS sur le canal PCH.

L'utilisateur qui se reconnaît va chercher à répondre, en levant le doigt sur le canal RACH, puis on lui attribue un canal etc...

2.7.3 - Appel Sortant



Appel d'un mobile vers un fixe.

On établit le canal (cf diapos d'avant), l'utilisateur dit qu'il veut téléphoner.

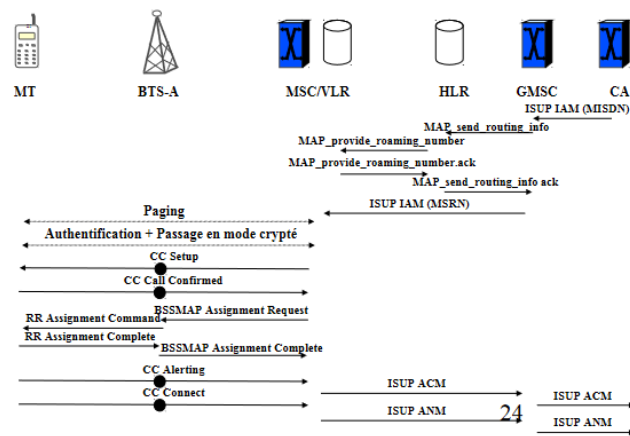
Authentification de l'user. On utilise des clés publiques (un nombre aléatoire donné à l'utilisateur et dont lui seul peut répondre correctement, mais j'ai pas compris comment il répond).

Ensuite, tout est chiffré avec des clés privées. C'est la même clé qui est utilisée entre le MSC et l'user, et elle ne circule pas. Elle est déduite au vu du nombre aléatoire envoyé. La VLR ne fait pas le calcul de la clé de déchiffrement. Elle stocke : nombre aléatoire, réponse à apporter et clé de déchiffrement

Ensuite, signalisation, Q931 et tout le bordel.

Remarquez l'attribution du canal TCH à l'utilisateur (Qui utilise le protocole RR).

2.7.4 - Appel entrant



On compose le numéro de téléphone du destinataire. L'appel est routé dans le pays en fonction du numéro de téléphone composé. C'est en arrivant dans le bon pays qu'on découvre que c'est un mobile. On doit donc trouver le bon opérateur et la bonne HLR.

On interroge la HLR avec le protocole MAP (Mobile Application Protocol).

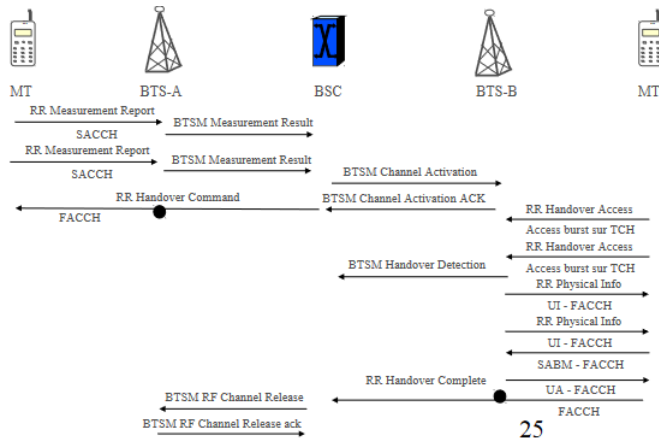
En fait, on fournit à l'utilisateur mobile un num de téléphone temporaire qui est lié au MSC dans lequel l'utilisateur se trouve à l'instant t.

La VLR donne ce num temporaire à la HLR qui la donne à la GMS.

On relance la mise en place de l'appel avec ce nouveau numéro, qui nous permet d'atteindre le MSC.

Paging et après c'est très similaire à l'appel sortant.

### 2.7.5 - Handover



Ici, on ne détaille que le changement de station de base.

C'est un algorithme qui décide quand changer de station de base. Souvent, ça dépend de la qualité des signaux reçus sur les différentes stations de base à portée.

L'utilisateur qui est en communication, envoie régulièrement des messages sur le canal SACCH. Quand le BSC décide que c'est le bon moment il déclenche le handover.

Le BSC prévient l'utilisateur (canal FACCH) et lui attribue les ressources dans la nouvelle cellule. Problème : l'utilisateur n'est pas calé temporellement dans la nouvelle cellule : il envoie des messages sur le canal TCH mais sur le milieu du slot pour pas déborder sur les autres users.

La nouvelle BS détecte la distance qui la sépare de l'utilisateur et envoie une estimation de la distance au terminal (trames UI et FACCH). Quand l'utilisateur réussit à en exploiter une, il met en place une connexion sur FACCH et envoie un message de fin de handover.

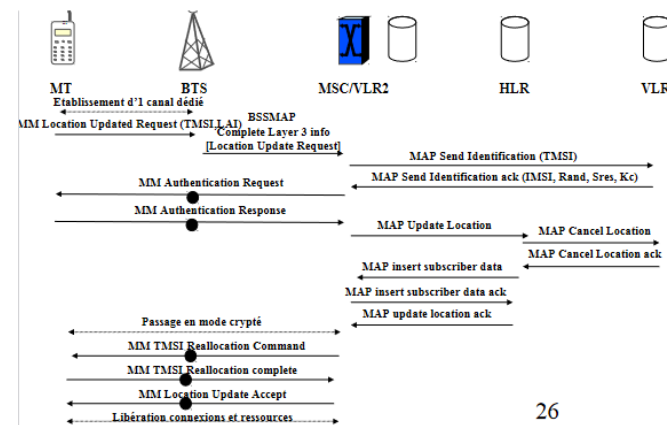
Au niveau du plan de données il se passent rien, pendant un court instant la voix est perturbée mais l'oreille humaine s'en accommode.

Dans le cas où on doit aussi changer de contrôleur, il y aura, en plus, de la signalisation envoyée entre les contrôleurs. Et vu qu'ils ne sont pas reliés directement, ça remonte par le MSC.

Handover avec changement de MSC : On va devoir changer la signalisation au niveau du réseau sémaphore. On peut pas juste annuler l'appel et en relancer un nouveau, ça prend trop de temps. Ce qu'on fait, c'est qu'on prolonge l'appel à partir de l'ancien MSC vers le nouveau ⇒ on les lie par des liens. Toujours rien dans le plan de données.

ATTENTION à éviter les boucles (si par exemple on fait MSC1 → MSC2 → MSC1) ⇒ il faut défaire les liens.

### 2.7.6 - Mise à jour de la localisation



Le terminal stocke l'identifiant de la dernière zone où il s'est enregistré. Si les id qu'il reçoit ne sont pas les bons, il faut les mettre à jour.

L'utilisateur demande un canal cf avant.

On authentifie l'utilisateur auprès de la VLR.

Ensuite on envoie les infos à la HLR qui demande aux VLR de mettre l'info à jour.

NB : Pour les exemples, j'ai mis les photos avec les messages exacts échangés, mais si y'a besoin de place on peut les enlever sans problème je pense

## Chapitre 2 : GPRS

### 1 - Introduction

GPRS = General Packet Radio System

GPRS créé parce que GSM marchait bien pour la voix mais avait un débit pourri pour les données. Le but était de rajouter GPRS sur les infrastructures déjà existantes de GSM, en les faisant coexister.

### 2 - Architecture et protocoles de 1

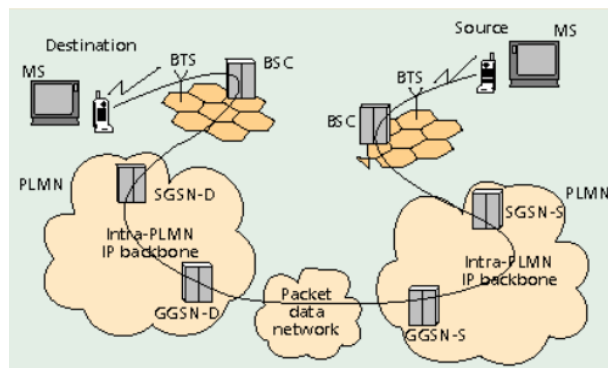
Architecture de base = celle de GSM + rajout d'un réseau de transmission de données (qui fonctionne sur IP) pour se raccorder aux internets.

Point d'entrée au réseau d'internet : SGSN (Serving GRPS Support Node)

Point de sortie (côté réseau internet) : GGSN (Gateway GRPS Support Node)

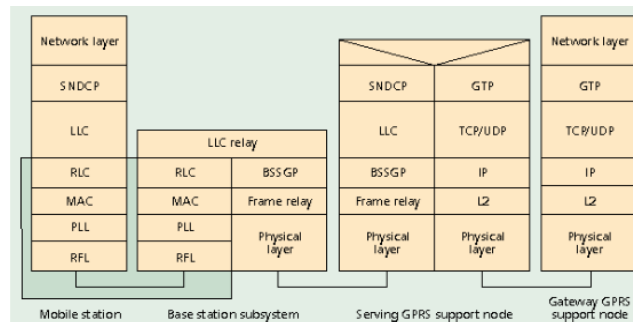
Les données seront véhiculées dans des tunnels entre le SGSN et le GGSN. Il y aura autant de tunnels que de nombre de MSC. GGSN peu nombreux (qqes GGSN pour Orange par exemple).

Les SGSN et GGSN dialoguent avec la HLR (pour vérifier l'abonnement tout ça).



Remarque : on ne COMMUNIQUE PAS entre utilisateurs du GPRS.

## 2.1 - Architecture protocolaire - Plan de données



Paquets transportés : IP ou X25.

L'utilisateur bouge mais le point de sortie ne bougera pas au cours d'une communication.

### Au niveau SGSN/GGSN :

On transporte les paquets IP dans des tunnels mis en place au début de la communication. En cours de route on peut être amené à changer de SGSN (et donc de tunnel).

GTP : se charge de l'encapsulation et de la gestion des tunnels.

Couche 2 et 1 pas spécifiées.

Le SGSN ne route pas.

### Au niveau du terminal mobile

On voit apparaître le protocole SNDCP. Objectif : Faire de la compression sans perte de données.

LLC : PAS LE LLC DES RESEAUX LOCAUX. Cousin d'HDLC, il s'occupe de gérer la fiabilité en cas de handover pendant une communication.

RLC : fiabiliser les communications avec les BS

MAC : Attribue les ressources radio.

Doublon RLC LLC.

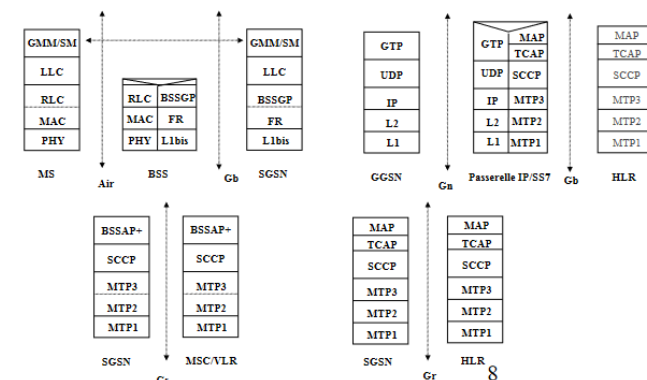
### Au niveau BSC/SGSN

BSSGP qui fait du contrôle de flux et de la QoS, en dessous c'est Frame Relay (le prof il a mis un smiley pas content là mais je sais pas pk).

Pas de plan de contrôle FR donc on utilise des connexions FR permanentes et je crois que c'est pour ça qu'il est pas content.

La pile est la même pour BS / BSC. Les communications sont en mode circuit.

## 2.2 - Architecture protocolaire - Plan de Contrôle



On est en mode paquet.

Sur la partie réseau d'accès c'est pareil d'en bas jusqu'à LLC. Au dessus, avant on avait RR CM et MM. Maintenant RR est gérée par MAC. CM disparaît parce que y'a plus de communications

téléphoniques. Le seul qui reste c'est MM qui doit gérer aussi la mobilité ⇒ nouveau protocole GMM.

### Gestion de la mobilité

Deux aspects :

- Principes protocolaires : GMM sur le réseau d'accès et GTP sur SGSN/GGSN
- Partie transmission de données : on a besoin que tous les paquets passent pendant le handover (contrairement à la voix où on s'en battait les couilles). Partie accès : c'est LLC qui s'en occupe. Tant qu'on ne change pas de SGSN, LLC se débrouille. Si on change de SGSN, on purge l'ancien tunnel et on en établit un nouveau. Purge : sens montant : on termine d'envoyer les paquets entre le SGSN et le GGSN. Sens descendant : on termine de recevoir les paquets et on les fait transiter de l'ancien SGSN vers le nouveau. ⇒ c'est GTP qui s'occupe de ça (enfin je crois).

### Communication avec les BDD

Les SGSN ont besoin de communiquer avec la VLR (sécu, abonnement) et la HLR (maj localisation). Les GGSN doivent communiquer avec la HLR (localisation de l'utilisateur).

Globalement tout va bien sauf pour le GGSN qui n'a pas la pile SS7 ⇒ mise en place d'une passerelle qui fait le lien entre les deux.

### Acheminement des données

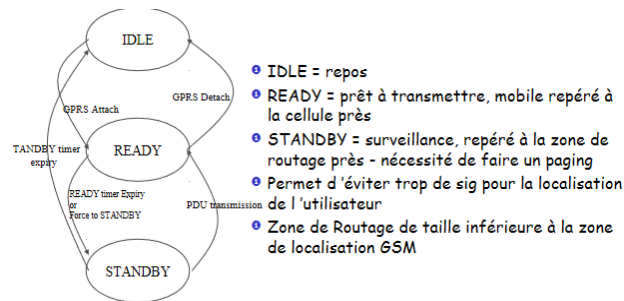
Quand on est couvert par notre opérateur pas de soucis, on a bien un tunnel entre le SGSN et le GGSN de l'opérateur. Quand on est pas couvert par notre opérateur, le SGSN appartient à l'opérateur courant alors que le GGSN c'est notre opérateur ⇒ Traversée longue, encapsulation des paquets.

### Contexte de transmission de données

Quand l'utilisateur se raccorde au réseau GPRS, il active son contexte de transmission de données (adresses du terminal, du SGSN, un niveau de QoS). C'était pas foufou car c'était vraiment le début de la QoS (pas de MPLS par exemple).



### Activité d'un terminal :



L'état STANDBY, c'est pour éviter de devoir repasser toutes les étapes d'authentification et d'établissement de tunnel. Si l'utilisateur décide d'émettre ou de recevoir, tout est prêt.

### 2.3 - Fonctionnement général sur l'interface Radio

Le plan de données et le plan de contrôle utilisent des piles protocolaires différentes jusqu'au niveau LLC, puis les couches en dessous c'est pareil.

Canaux GPRS communs avec GSM. Allocation de ressources : 4 slots consécutifs du même canal  $\Rightarrow$  messages plus grands.

La quantité de données envoyées dépend du taux de codage.

Taille des paquets encore très faible par rapport à IP. RLC peut concaténer des messages ou les segmenter pour optimiser l'espace.

EDGE : amélioration de GPRS : on fait évoluer le taux de codage et de modulation avec le temps en fonction de l'état du canal de communication.

4 niveaux de QoS offerts par LLC.

### 2.4 - Protocole SNDCP

Multiplexage de PDUs venant de plusieurs réseaux sur une seule LLC.

Utilisation de LLC selon plusieurs modes : Connecté avec acquittement et sans connexion ni acquittement

Pas de mécanisme de reprise sur erreur.

### 2.5 - Protocole LLC

3 types de fonctionnement en fonction des besoins

- Sans connexion avec contrôle de l'erreur sur toute la trame : utilisé dans le plan de contrôle (car les protocoles des niveaux d'au dessus fiabilisent déjà) (trames UI)
- Sans connexion avec contrôle de l'erreur sur l'en-tête seule : pour les flux avec contraintes temporelles (VoIP, vidéo)
- Connexion, contrôle de flux et reprise sur erreur (les trames I de HDLC).

Par rapport à HDLC, on a des trames de supervision en plus pour la reprise sur erreur. Au lieu de dire "on renvoie tout à partir de telle trame", on a en plus ACK(n+1) qui permet de rejeter une trame (en l'occurrence la trame n), et SACK qui permet de préciser dans la fenêtre d'émission quelles trames ont bien été reçues (et donc lesquelles sont manquantes).

Avec LLC, le piggybacking peut se faire avec n'importe laquelle des trames S (avant c'était forcément un accusé de réception positif).

### 2.6 - Interface Air

L'opérateur choisit quels canaux sont dédiés à GSM et lesquels à GPRS (ils peuvent le faire évoluer au fil du temps).

Le partage de débit entre les canaux va être fait dynamiquement (contrairement à GSM)

Canal physique partagé entre plusieurs utilisateurs.

On alloue à chaque fois 4 slots consécutifs = 1 bloc



C'est le BSC qui choisit à qui sont donnés les blocs.

Pb : N émetteurs et 1 récepteur (montant) et 1 émetteur N récepteurs (descendant) :

- Descendant : problème d'ordonnancement pour choisir l'ordre d'émission des messages
- Montant : plus compliqué, car les terminaux ne prennent pas de décision.

$\Rightarrow$  2 types d'allocation : MF-TDMA pour partager le support en canaux (niveau couche physique) et une deuxième pour le partage entre les utilisateurs (on a pas trop d'infos sur comment c'est fait, juste pas aléatoire) (niveau MAC).

### Format des trames :

On forme des blocs qui serviront indifféremment pour les deux couches protocolaires.

1 bit qui indique si on est sur une RLC PDU ou une MAC PDU

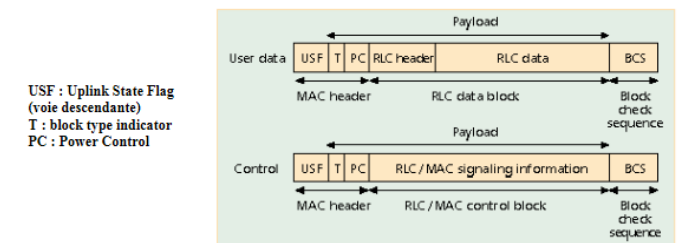
C'est la couche physique qui fait le contrôle d'erreur.

Couche RLC en mode connecté uni-directionnel.

Quand la couche LLC veut émettre elle regarde si y'a un flux (=canal ?) qui ouvert qui convient. Si oui, on s'en sert, sinon on ouvre un flux.

Après la transmission de la LLC PDU-RLC SDU on ferme la connexion, sauf si autre demande de transmission entre temps.

C'est RLC qui s'occupe de sectionner la trame LLC en plusieurs RLC PDU.



### 2.7 - Envoi des données, utilisation des blocs

Blocs de données et de contrôle (MAC : allocation et RLC : ACK).

Sens descendant : la BSC envoie un message sur le canal PAGCH indiquant quel canal GPRS on va utiliser. On donne un numéro au flux et un numéro d'USF relatif au canal GPRS et c'est réglé.

Sens montant : le terminal fait une requête sur le canal PRACH (accès aléatoire). On lui donne un réseau et une ressource. On donne un bloc au terminal qui va soit envoyer tout sur le bloc (si le message est petit), soit utiliser le bloc pour demander plus de volume (couche MAC). La BSC détermine le taux de codage et le nombre de blocs à utiliser. Elle lui attribue des blocs en échange (couche MAC).

Erreurs de transmission : la BSC combien de blocs étaient alloués au terminal. Elle élimine les blocs en erreur et lui réattribue le bon nombre de blocs, en même temps qu'elle enverra les accusés de réception.

Envoi des ACK du sens descendant par le terminal : dans les données du sens descendant on prévient l'utilisateur du bloc qu'il peut utiliser dans le sens montant pour faire l'ACK.

Dernier cas (chélou) : en cours de transmission des blocs qui ont été nécessaires pour transporter une LLC-PDU, une nouvelle LLC-PDU survient : dans le canal GPRS, on a des blocs qui sont laissés en accès aléatoire dans le sens montant pour demander de nouveaux blocs.

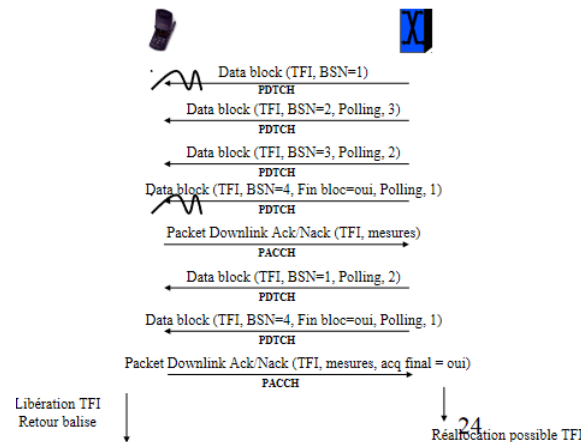
USF : utilisé dans le sens descendant. 6 USF disponibles (donc 6 terminaux sur un même canal GPRS) :

- $1 \leq \text{USF} \leq 6$
- 0 : bloc déjà réservé par un utilisateur, pour envoyer un bloc RLC disant ce qu'il a reçu ou pas
- 7 : le bloc est laissé en accès aléatoire

Problème de EDGE : en cas d'erreur de transmission, on doit recalculer le couple modulation/codage ce qui fait qu'on doit recalculer combien de bloc on a besoin, et en plus la numérotation ne convient peut être plus (avec le nouveau couple, il va peut être falloir 2 blocs pour envoyer ce qui s'envoyait avant en 1 blocs  $\Rightarrow$  solution on découpe en mini blocs (qui eux changent pas avec la modulation) et c'est eux qui sont numérotés.

### 3 - Exemples

#### 3.1 - Sens descendant

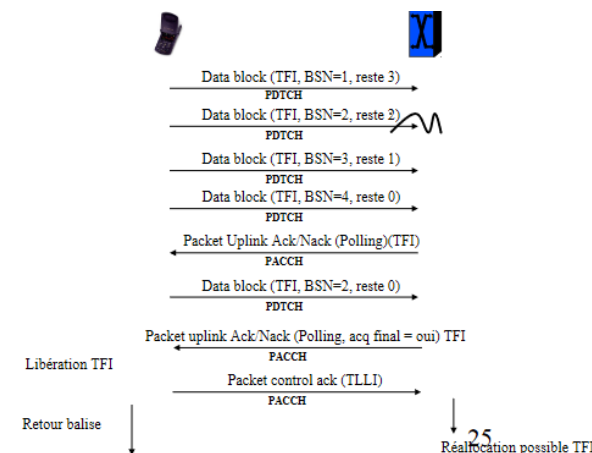


4 messages envoyés, deux sont erronés.

La BS prévient dans le sens descendant du bloc réservé dans le sens montant. Même si le premier est pas reçu correctement, il suffit que une des trames soit bien arrivée pour que l'user aie l'info et puisse faire remonter quelles trames sont pas là.

BS renvoie 1 et 4, tout va bien.

#### 3.2 - Sens montant



Le terminal envoie ses blocs. La station de base répond quand elle peut avec ce qu'elle a bien reçu et lui indique quel bloc utiliser. Le terminal renvoie, c'est fini.

## Chapitre 3 : UMTS

GSM : Réseau d'accès mobile pour la téléphonie. Mais niveau internet c'était pas ouf, surtout pour prendre en charge plein de nouveaux services différents

### 1 - Introduction à UMTS

Pour le réseau d'accès on devait choisir entre paquet et circuit  $\Rightarrow$  paquet. Inconvénients de paquet : la gestion des flux est complexe. On prend en charge tous types de trafic (par exemple voix, qu'on doit envoyer sur un réseau téléphonique par exemple).

UMTS permet de se raccorder indifféremment à un réseau paquet ou circuit.

Objectif : que les protocoles puissent évoluer avec le temps sans avoir à tout changer.

Avec UMTS, on essaye d'introduire plus la QoS, notamment pour préserver la QoS de la voix, mais aussi pour pouvoir ajouter de nouveaux services facilement.

### 2 - Les classes de services

Comme pour ATM, on a 4 classes, mais elles ne sont pas distinguées de la même manière : Chez UMTS, c'est surtout basé sur le délai dont on a besoin

- Conversationnel : temps réel : voix, facetime, VoIP. Le débit n'est pas forcément constant, mais il peut l'être.
- Streaming : quasi temps réel, sans dialogue entre les extrémités
- Interactif : navigation web : délai faible, dialogues entre les extrémités mais pas beaucoup (échanges client-serveur).
- Trafic de fond : transfert de fichiers, SMS, mail t'as compris pas de délai particulier

Chose à retenir : les critères et paramètres de QoS sont beaucoup plus nombreux que pour le GPRS. Tous les critères ne s'appliquent pas pour chaque flux

3 - Vision IMT2000

Idée : des cellules plus grandes pour la campagne et de plus en plus petites pour les villes.

La 3G doit prendre en charge la mobilité plus rapidement.

4 - Architecture protocolaire et Interfaces

L'architecture ressemble à la 2G. Réseau d'accès : Terminaux, Stations de Base et contrôleurs de stations de base puis raccordement au RTC ou à Internet.

MAIS

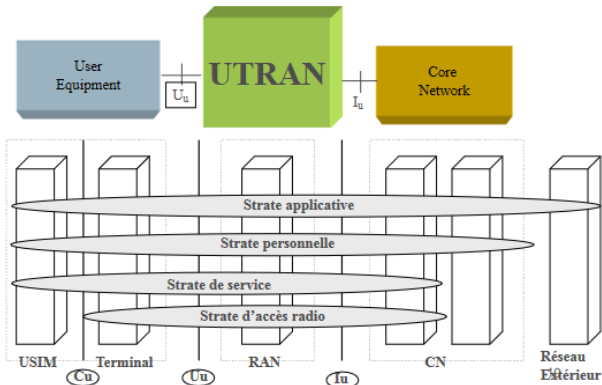
Tous les noms des équipements ont été redéfinis LOL

Grande nouveauté : lien direct entre les BSC

GSM-GPRS	UMTS
BSC : Base Station Controller	RNC : Radio Network Controller
MS : Mobile Station	UE : User Equipment
BTS : Base Transceiver Station	Node-B
MSC : Mobile-services Switching Center	U-MSC : UMTS - MSC
BSS : Base Station Subsystem	RNS : Radio Network Subsystem
GGSN : Gateway GPRS Support Node	3G-GGSN
SGSN : Serving GPRS Support Node	3G-SGSN
Interfaces : BTS-BSC : Abis BSC-MSC : A BSC-BSC : non définie	Interfaces : NodeB-RNC : Iub RNC-CN : Iu RNC-RNC : Iur

BSS : Ensemble BS + BSC

Pour le modèle, on a fait une définition fonctionnelle de l'UMTS, et pour chaque fonction, on définit une strate (qui recense tous les équipements et interfaces qui s'occuperont de la fonction).



Strate applicative : Communications des utilisateurs. Extrémités : terminal utilisateur et terminal ou serveur dans un réseau extérieur. L'UMTS s'occupe pas de ce qui se passe dans le réseau extérieur donc on s'arrête à la passerelle vers le réseau.

Strate personnelle : L'utilisateur, son abonnement, sa protection, sa mobilité. Les échanges sont entre l'utilisateur et son opérateur (HLR tout ça, échanges HLR/VLR)

Strate de service : L'utilisateur active des services en fonction de ses besoins. La signalisation se fait entre le terminal utilisateur et le point d'entrée du réseau de coeur (avec qui il dialogue pour dire ce qu'il veut faire).

Strate d'accès radio : gestion des ressources radio : allocation, gestion du handover.

On retrouve les mêmes choses quasiment que dans le GSM, mais les protocoles ne sont pas fixés.

4.1 - Caractéristiques couche physique (pour la radio)

Méthode d'accès : CDMA : Accès Multiple à Division par Code : on donne des codes orthogonaux (???) à chaque utilisateur, en jouant sur la longueur du code et la puissance d'émission.

On a des canaux physiques de communication, et des canaux logiques qui correspondent au flux de données et de contrôle des utilisateurs.

On a en plus la notion de canal de transport, pour masquer le fait que la qualité du canal de transmission est très variable.

4.2 - Handover

Avant, on avait que du Hard Handover : on enlève toutes les ressources et on les réattribue dans la nouvelle cellule, avec des décisions prises par le réseau.

Nouveauté : possibilité de "soft handover" : au lieu de tout supprimer avant de réallouer, on alloue avant de supprimer. C'est bien pour éviter de se préoccuper de données potentiellement perdues. TOUTEFOIS, ça consomme des ressources.

Autre problème : Quand on change de contrôleur de station de base, on va être connecté à deux RNC en même temps, donc à chaque fois qu'on envoie des données ça va être envoyé deux fois : un à l'ancien BSC (Serving RNC) et un au nouveau (Drift RNC). Lequel on garde ? Le meilleur des deux. C'est à ce moment-là que le lien entre BSC est utile. On l'utilise pour ne pas avoir à faire remonter les infos jusqu'au MSC (quelles infos ??). Le fait d'avoir plusieurs chemins ça s'appelle la macro-diversité.

4.3 - Couche 2 de l'UTRAN

Une couche MAC qui s'occupe du partage de ressources et une couche RLC qui s'occupe du contrôle et des retransmissions.

4.3.1 - Couche MAC

Traite les canaux logiques et les fait correspondre avec les canaux de transport (qui sont proposés par la couche physique). On a des canaux logiques de données (en point à point ou point à multipoint (sens descendant uniquement)) ou de contrôle.

MAC gère les priorités entre les différents flux.

Plusieurs entités MAC selon le type de canal.

Localisation de la couche MAC : sur les BSC et pour les canaux de diffusion : sur les BS. Tout MAC aussi sur les terminaux utilisateurs.



#### 4.3.2 - Couche RLC

Fusionnage de la couche RLC et LLC de GPRS.

Utilisée entre le terminal utilisateur et le BSC

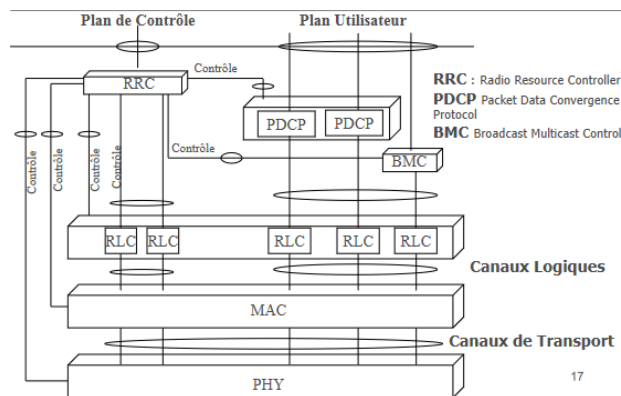
Fonctions : segmentation, concaténation, reprise sur erreur et chiffrement. On a aussi 3 modes de fonctionnement, comme dans LLC (transparent, non ACK mais pas de reprise sur erreur, ACK + retransmission).

#### 4.4 - Couche 2/3 de l'UTRAN

Les protocoles PHY/MAC/RLC s'appliquent à tous les flux, mais au dessus ca va changer :

- Parole Téléphonique : plus rien
- Données utilisateurs, paquets IP : on les compresse ⇒ je crois que c'est PDCP (Packet Data Convergence Protocol)
- Plan de contrôle : RRC (Radio Resource Controller) : il reçoit des infos de tous les autres protocoles et il prend des décisions. C'est lui qui crée les tuyaux pour les communications. Au dessus de la couche RRC, on a la signalisation CM et MM de GSM (réseau circuit) et GMM de GPRS (réseau paquet).

PDCP et RRC entre BSC et terminal utilisateur.

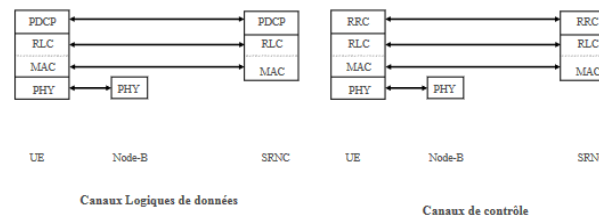


Architecture de l'interface Usager-Réseau Uu.

Ellipses : point d'accès entre des couches non adjacentes (PHY et RRC par exemple). Inconvénient : difficile d'enlever une couche et de la remplacer par une autre. Avantages : plus rapide d'échanger des infos entre RRC et PHY ou MAC. On appelle ça une architecture cross-layer.

Protocole BMC : Protocole permettant de faire du multicast (a été créé spécialement pour la télé). Dès qu'il y a un abonné télé dans une cellule, on envoie le flux à la BS de la zone, pour éviter d'avoir à envoyer le flux individuellement aux utilisateurs.

#### 4.5 - Interface Uu - Canaux Logiques

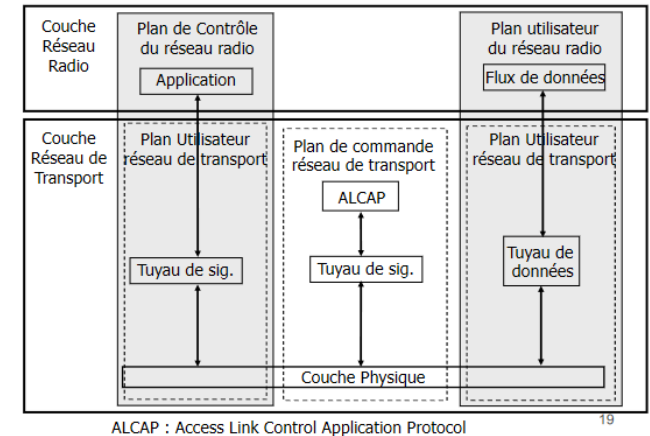


#### 5 - Modèle générique des interfaces de l'UTRAN

On voulait pas reproduire l'erreur de GPRS où on est resté avec les mêmes protocoles et équipements pendant 10 ans ⇒ nécessité de généralité des interfaces et protocoles

On différencie les flux de données (envoyés sur l'interface radio) et de contrôle ⇒ partie haute du schéma, qui elle est fixe.

Ce qui varie, c'est comment ces flux vont être véhiculés (partie basse du schéma). La pile de protocole est différente pour les flux de données et de contrôle, mais tout le monde se rejoint à la couche physique.



Le tuyau de sig de gauche, c'est le tuyau qui pilote les BSC etc...

Au milieu, c'est une pile de protocole de contrôle qui gère 1 lien de données.

#### 5.1 - Interface lu-b

Interface entre la station de base et le BSC.

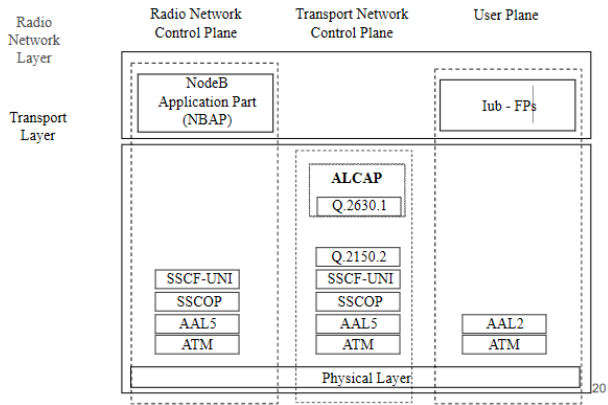
Côté station de base (à droite) : juste la couche physique. On récupère les messages (voix, signalisation, flux de données) sur le réseau de transport et on veut les envoyer à la BSC par la couche MAC. On utilise le protocole Frame Protocol pour faire ça. En fait c'est plusieurs protocoles normalisés. On a un protocole par type de canal.

Entre la station de base et le BSC : D'abord ATM puis plus tard IP (ATM mieux pour la voix). Avec ATM on a besoin d'une couche d'adaptation ⇒ on a choisi l'AAL-2 qui est capable de traiter des flux à débit variable contraint temporellement. On a carrément défini une nouvelle AAL2, qui permet de faire du multiplexage sur une seule connexion ATM-AAL2.

L'utilisation de AAL2 implique qu'il fallait renormaliser le plan de contrôle de ATM (c'est ce qu'on a sur la colonne du milieu). On utilise une variante de AAL5 pour la signalisation. On a défini un nouveau protocole pour gérer les connexions ATM-Q.2931 car celui d'avant ne permettait pas de faire du multiplexage ⇒ Q.2630.1.

Pile de gauche : Toujours de la signalisation donc pas besoin d'AAL2 qui ne traite que les données. ⇒ on utilise ATM-AAL5. ATTENTION : On considère des connexions permanentes entre BS et BSC. Fonctions prises en charge par NBAP : config de la cellule, supervision + gestion du lien radio, mesure de ressources.

On aurait pu mettre différents types d'AAL pour les différents flux mais c'était trop complexe, car cela implique différents types de piles de protocole au niveau du contrôle.



Solution IP :

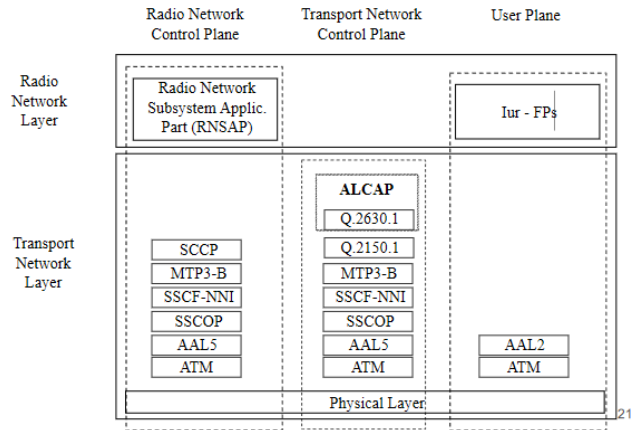
- Pile de gauche
- IP sur PPP
- TCP (pour la fiabilisation)
- Pile de droite
- Couche 1 SDH ou PDH
- Couche 2 PPP
- Couche 4 UDP

5.2 - Interface Iu-

Interface entre les contrôleurs de station de base pendant les soft handovers.

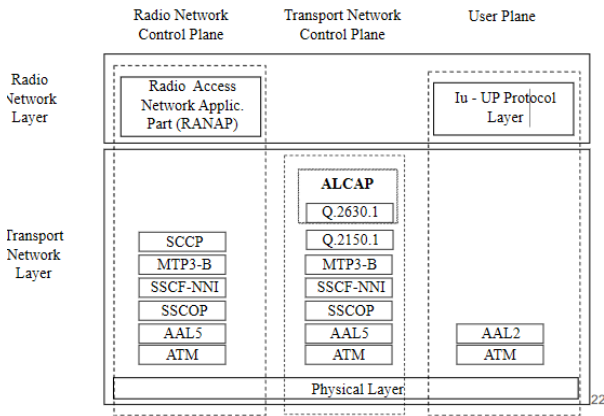
Les raisonnements sont similaires à juste avant, juste cette fois on a pas accès à un réseau ATM donc la pile du milieu est différente

RNSAP : Gestion/Supervision du lien radio, transfert de la signalisation, paging et relocalisation.



5.3 - Interface Iu-CS

Interface entre le BSC et le commutateur téléphonique de raccordement.



On a de base les couches RLC et MAC dans le BSC, et on a récupéré la parole téléphonique et la signalisation.

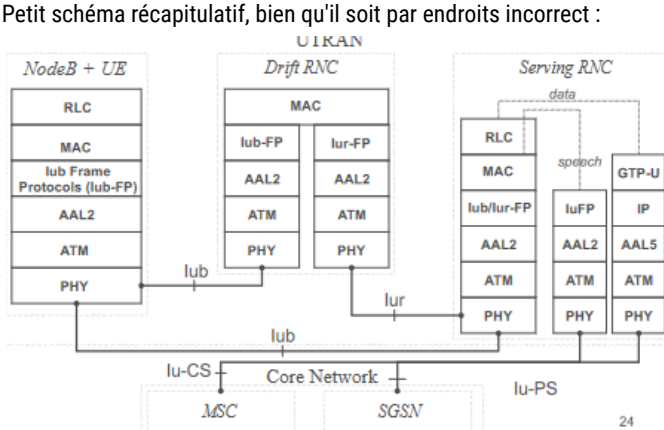
On reste sur une philosophie paquet ⇒ on réutilise les mêmes protocoles que juste avant.

5.4 - Interface Iu-PS

Interface entre le BSC et le SGSN. On n'a plus de voix à envoyer (puisque elle est dans le réseau téléphonique).

On a toujours les couches MAC RLC et PDCP (mais elles sont pas sur le schéma). Sinon on a du GTP-U sur de l'UDP sur de l'IP. GTP-U c'est le protocole qui permet aux opérateurs de gérer les déplacements des utilisateurs. Il permet notamment de mettre en place des tunnels entre le SGSN et le BSC.

Sur la pile de gauche pas trop de changement (parce qu'on ne transporte pas des paquets IP mais des messages de contrôle), mais surtout on remarque qu'il n'y a pas de pile au milieu ⇒ on ne gère pas la mise en place des connexions ATM ⇒ on considère des connexions permanentes.



Il manque la représentation du lien entre nodeB et UE, et il manque la couche PDCP sur le drift RNC.

6 - Architecture protocolaire de l'AAL2

On a une partie basse qui va faire de la concaténation pour créer des ATM-SDU (coucou l'interco).

Sur la partie Haute, on va avoir différents services, qui vont dépendre de l'utilisation de l'AAL.

La partie basse ( de la partie Haute) fait de la segmentation et du réassemblage. Au dessus on a de la détection d'erreur et encore au dessus un mécanisme de retransmission.

On a une seule AAL par canal de transport.

Objectif de la segmentation et de la concaténation : remplir au mieux les cellules ATM avec des paquets de voix qui sont très petits. On indique donc dans les cellules ATM leur composition pour chaque petit paquet un champ de numéro de communication et un champ de données.

Problème de délai : Est-ce qu'on attend que la cellule soit pleine avant de l'envoyer ? Non ⇒ au bout d'un certain temps on envoie la cellule, qu'elle soit pleine ou pas.

#### 6.1 - Positionnement de l'ATM/AAL2

Les flux récupérés sur les réseaux de transports passent par l'ATM/AAL2

Frame Protocols : niveau liaison de donnée et AAL2 : niveau transport.

### 7 - La qualité de service dans l'UMTS

On décompose la qualité de service en plusieurs morceaux.

Pour le lien radio : les canaux de transports qui sont entre les canaux logiques et les canaux physiques permettent d'adapter les ressources attribuées. La couche RRC permet de gérer les priorités entre les flux au niveau MAC

Sur l'UTRAN : c'est ATM AAL2 qui fait la QoS (ordonnancement de niveau ATM) et les Frame Protocols qui permettent de matérialiser plusieurs niveaux de QoS.

Sur le réseau de collecte, on a la QoS du monde IP.

Attention : ce qui se passe au-delà du GGSN est en dehors du périmètre 3G !

### 8 - Coexistence avec les anciens réseaux

Quand on a installé l'UMTS y'avait déjà GSM/GPRS/EDGE ⇒ il faut assurer l'interopérabilité.

Coeur de réseaux : commun à tout le monde

## **Chapitre 4 : HSPA**

### 1 - Introduction

Durée d'une génération de réseaux mobiles = **10 ans**. C'est le temps nécessaire pour amortir les investissements pour les opérateurs.

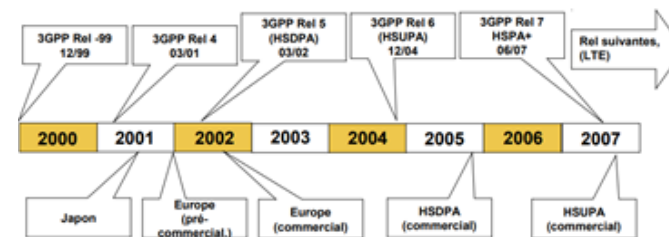
En revanche, le **monde télécoms ne peut plus se contenter d'évoluer à ce rythme** :

- Pour le GSM, le succès n'était pas connu à l'avance et c'est seulement devant l'ampleur du succès finalement très rapide, que l'ETSI s'était penché sur la solution GPRS. Ces technologies étaient toutefois sans réelle concurrence pour ce type de services.
- A partir de la 3G, les opérateurs/équipementiers se sont faits à l'idée que les standards allaient évoluer sur une base quasi annuelle – quelques aménagements – et tous les 4/5 ans de vraies évolutions.

C'est donc le cas avec HSPA : High Speed Packet Access qui rentre dans les standards 3G+.

L'introduction justifiera les motivations profondes de ces évolutions. Elles ont commencé sur le downlink au travers de la solution HSDPA puis sur l'uplink avec HSUPA puis quelques nouvelles améliorations.

### 2 - Évolutions de l'UMTS



**Avec UMTS, succès des efforts faits sur la voix** (on arrive à faire de la voix sur le réseau UMTS sans que ce soit visible de l'utilisateur qu'il

fonctionnait plus en mode circuit sur le réseau d'accès mais en mode paquet).

→ On veut **continuer à faire évoluer UMTS** avec les différentes releases et qui se concentrent sur la **transmission de données**.

### 3 - HSPA : idées et améliorations

#### 3.1 - Idée générale et travaux d'amélioration

##### Idée générale de la création de HSPA :

- UMTS = Solution commune d'architecture protocolaire pour le raccordement au réseau...
- En parallèle de ça, **si ça marchait bien pour la voix**, ce n'était **pas satisfaisant pour les autres flux** (en termes de débits, 2Mbps max théorique, insuffisant pour la transmission de données) à besoin d'**amélioration du débit et du délai**.

UMTS s'était posé la question du streaming, mais avait mal dimensionné son utilisation (80% du débit descendant).

+ WIMAX : standard IEEE (et son successful Wifi) qui a lorgné sur le marché télécom avec plus de service à moindre coût comparé aux coûts faramineux du UMTS.

*C'est comme pour GPRS où on avait déployé une nouvelle solution sur l'infrastructure GSM pour pouvoir faire de la transmission de données en mode paquet.*

→ Solution HSPA (High Speed Packet Access) : réseau d'accès, mode paquet, à haut débit.

Deux principaux travaux d'amélioration :

- Pour augmenter les débits, le sens descendant est le **plus urgent à traiter** (les seuls types de flux qui sont assez largement bidirectionnels c'est les flux de voix, et éventuellement le P2P mais c'est négligeable) à HSDPA (High Speed Downlink Packet Access).
- Ensuite, des travaux ont été faits sur l'amélioration de la voie montante à HSUPA (High Speed Uplink Packet Access).

#### 3.2 - Caractéristiques

Principales caractéristiques des solutions HSPA :

Amélioration de la couche physique :

- Amélioration de la **modulation** (ordres de modulation supérieurs) et du **codage** (taux de codage plus favorable) pour une meilleure efficacité spectrale. En restant en CDMA.
- C'était aussi la base de l'effort entre GPRS et GSM, et entre Edge et GPRS.
- Déploiement des solutions **MIMO (Multiple Input Multiple Output)** : plusieurs antennes en émission et en réception pour pouvoir augmenter les débits

#### Amélioration de la partie réseau / couches supérieures :

##### Amélioration des **techniques d'ordonnancement**

- Dans le contexte de l'UMTS de base, les canaux sont attribués aux utilisateurs (un peu à la mode du GSM) et leurs sont dédiés. Ça marche bien mais pour des flux qui ont un débit constant. Pour améliorer les performances, il faut partager les ressources : dans le sens descendant on a un seul émetteur et plusieurs destinataires, plutôt que découper les canaux de données en ayant des canaux en parallèle attribués à chacun des utilisateurs, il vaut mieux **effectuer le partage à l'échelle d'un ensemble d'utilisateurs**.
- Aussi (pour l'ordonnancement rapide), la localisation de **la couche MAC dans le contrôleur de station de base induit un délai non négligeable**. Si on veut tirer profit au mieux de l'état courant du support de communication, il vaut mieux **mettre la décision d'ordonnancement plus près de l'utilisateur ie dans la station de base** (ça évite l'aller-retour entre la décision sur le contrôleur et l'implantation sur la station de base) càd **déplacement de la couche MAC vers la station de base** pour ces flux
- Sur la partie couche physique, il s'agit de généraliser les **techniques de modulation et de codage adaptatif en fonction des conditions courantes du canal de transmission** – si l'on prend ces décisions plus rapidement, on peut être moins prudent sur le choix retenu car il aura une durée de vie plus faible et s'adaptera plus vite en fonction de la variation de la qualité du canal.

Introduction d'un nouveau mécanisme de fiabilisation (retransmission) au niveau PHY intitulé **HARQ (Hybrid Automatic Repeat Request)**.

Au niveau de la couche PHY, **il y a déjà du FEC pour essayer de corriger automatiquement** – se déroule sur le terminal et sur la station de base. On **ajoute aussi un mécanisme ARQ sur la couche PHY qui se déroule donc entre le terminal et la station de base**. C'est de **type send and wait (accusés de réception)**. Au bout d'un certain nombre de tentatives, on arrête ; ce sera alors le mécanisme ARQ de la couche RLC qui prendra le relais (cette fois entre le terminal et le contrôleur de station de base). Cela **ajoute un délai faible mais permet de traiter une bonne partie des erreurs de transmission**.

- Réduction de la taille des trames de la couche PHY. On **réduit donc aussi les TTI (Transmission Time Intervals)** ce qui va faire que **les décisions d'ordonnancement vont se faire sur des durées beaucoup plus faible** – on **augmente la fréquence des décisions de transmission dans le sens descendant**.

#### 4 - Introduction à HSDPA

**HSDPA = High Speed Downlink Packet Access** (HSPA est la combinaison des deux protocoles HSDPA et HSUPA). HSDPA arrive lors de la Release 5 et HSUPA lors de la Release 6.

Dans l'UMTS (Release 99) **coexistaient des canaux de données dédiés (DCH) et des canaux communs (DSCH Downlink Shared Channel ; sens descendant - pour faire du multicast)**. Ces derniers ont été peu utilisés (cf. cours UMTS).

Idée HSDPA : C'est toujours trouver des solutions pour **partager des ressources**. Dans le sens descendant, on introduit la **notion de canal partagé à haut débit**. L'idée va être de **partager ce canal entre les utilisateurs** et de s'adapter rapidement en fonction de la qos attendue et de la qualité du support de communication.

On partage les canaux dans le sens descendant (sur ces canaux HS-DSCH) de façon à réaliser un meilleur multiplexage des flux sur le sens descendant. C'est bien évidemment plus simple dans ce sens-là (un émetteur plusieurs destinataires). à pb classique d'ordonnancement.

Les canaux partagés sont appelés **HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel)** et les anciens DSCH ont été supprimés en raison de leur manque d'intérêt pour les implantations réelles.

Améliorations de HSDPA (pour les performances en termes de capacité et de débit utile) :

- **Modulation et codage adaptatif** (Adaptive Coding Modulation) de manière à être moins conservateur vis-à-vis de la qualité instantanée du support de communication.
- **Ordres supérieurs de modulation**
- **Ordonnancement rapide**
- **Présence de la couche PHY et MAC sur la station de base** : les prises de décisions sont faites au niveau de la station de base et non pas du contrôleur à **prises de décisions plus rapide**.
- **Taille de trames PHY plus petites**
- **Retransmissions de niveau couche PHY**.

Le soft handover n'est plus possible car la **couche MAC est maintenant sur la station de base** (et des décisions y sont prises donc pas possible de prendre des décisions concertées entre les contrôleurs de station de base comme en UMTS).

Pas de contrôle de puissance rapide non plus.

#### 5 - Canaux HSDPA

Dans un premier temps

- Les **canaux de signalisation, les canaux destinés au réseau téléphonique et les canaux montants sont restés des DCH (Dedicated Channel)**
- **Seuls les canaux de données dans le sens descendant pour les trafics non-temps réel sont passés sur ces fameux canaux partagés**.

Dans un deuxième temps

- Les **canaux de signalisation sont aussi passés sur des canaux partagés** (à partir de la Release 6 ; on se rend compte que la qos attendue sur des flux de signalisation est assez semblable à des flux « interactifs »).

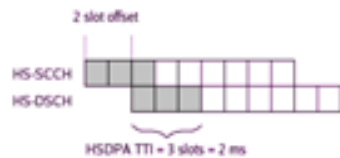
L'idée sous-jacente est que **pour des trafics temps réel et destinés au réseau à commutation de circuit, c'est là que l'on a le moins à gagner à partager des ressources**. Tenir compte de la qualité instantanée du canal pour savoir quelle communication faire passer en premier peut

permettre de gagner en efficacité spectrale mais va surtout se traduire par de la gigue !

A partir de HSUPA, de **nouveaux canaux de données seront utilisés dans le sens montant (Enhanced-DHC) mais ne pourront pas être partagés** (multiplexage plus compliqué que dans le sens descendant où on avait un émetteur pour plusieurs destinataire / qui parle et quand ?) ; le CDMA permettait de faire ce partage.

Au final :

- **Données utilisateurs** envoyées dans un canal HS-DSCH (High Speed Downlink Shared Channel)
- **Données de contrôle** envoyées dans un canal HS-SCCH (High Speed Common Control Channel)
- **Les décisions d'ordonnancement** sont signalées sur le canal de signalisation HS-SCCH deux slots avant HS-DSCH.



ie en HSDPA (descendant) des canaux de contrôle communs et des canaux de données également partagés.

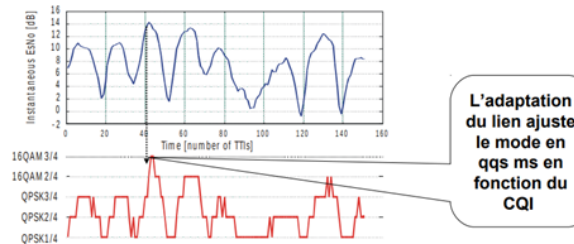
## 6 - Adaptation du lien

Illustration du codage et de la modulation adaptative en fonction des remontées de mesure et le mécanisme HARQ (combiné avec ARQ).

Le principe repose sur le fait que **l'utilisateur renvoie régulièrement des informations sur la qualité du canal à la station de base**. Ces informations vont permettre de

- **choisir la modulation et le codage** en fonction des conditions de réception du terminal
- **déclencher potentiellement des handover**

**Ici, les ordres de modulation ont évolué avec HSDPA (16QAM et 64QAM) pour un débit par symbole bcp plus élevé donc un débit binaire bcp plus élevé, donc on va s'adapter au mieux en fonction des conditions instantanées.**



## 7 - Fast Retransmissions

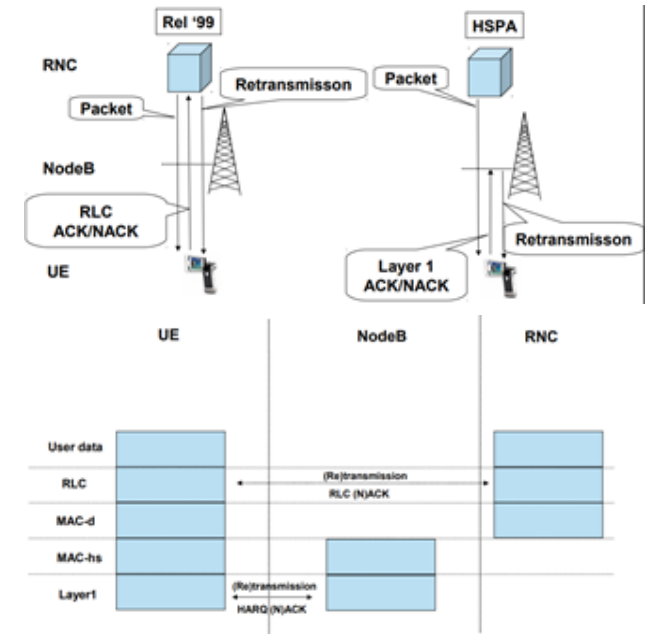
Mécanismes de retransmission à plusieurs niveaux.

Dans l'UMTS, la couche RLC était située sur le contrôleur de station de base : le terminal utilisateur recevait des msgs, il allait avoir la possibilité d'émettre sur son canal dédié des informations de contrôle qui étaient remontées via la station de base au **contrôleur qui allaient décider des retransmissions**.

Pas déclenché pour tous les types de flux (pour la voix on s'en fiche, mais important pour la data).

Inconvénient : extrêmement lente à déclencher.

Dans HSPA, on intercale (entre le « rien » qui est dédié à la voix et le mécanisme de retransmission qui est pris en charge par la couche RLC sur le contrôleur de station de base) un **mécanisme de niveau couche PHY (HARQ) qui est pris en charge par la station de base**. Le msg est envoyé par le contrôleur (couche RLC), encapsulé MAC puis PHY, et les PHY-PDU qui donnent lieu à des mécanismes de **type stand and wait** permettant de **retransmettre directement depuis la station de base**.



Retransmissions identiques/différentes (redondance incrémentale).

## 8 - Ordonnancement

Pour la première fois, une **vraie réflexion a été menée sur l'ordonnancement sur le lien descendant**. En effet, en UMTS, on jouait sur les codes et le contrôle de puissance mais les utilisateurs avec des canaux dédiés. Cette fois **le réseau va jouer sur l'ordonnancement dans ce canal de données partagé**.

Plusieurs métriques/paramètres, potentiellement contradictoires, sont pris en compte pour l'ordonnancement :

- **qualité du support** de communication **instantanée**
- **équité** entre les utilisateurs et/ou les flux (potentiellement un grand nombre d'utilisateurs qui se partagent le canal)
- **qualité de service** des flux attendue.

Comment trouver un compromis entre tous ces paramètres ?

Les spécialistes de couche physique sont souvent concentrés sur l'optimisation de l'efficacité spectrale (ce n'est pas ça qu'on retient !!). Cela revient à dire qu'à tout moment, on **choisirait la trame à émettre qui correspond à l'utilisateur qui est dans les meilleures conditions**



**de réception** car pour lui, on pourra choisir les ordres de modulation et les taux de codage les plus favorables.

Le problème de cette technique est qu'elle est **inéquitable entre les utilisateurs** (ceux qui sont dans de mauvaises conditions de réception seront durablement pénalisés – on comprend bien que les flux de voix en provenance du RTC ne pouvaient pas être traités ainsi par exemple).

L'équité entre les utilisateurs / entre les flux peut se traduire

- **par exemple par un Round Robin**. Bon tout le monde ne reçoit pas le même débit utile car les taux de modulation et de codage dépendent des conditions de réception.
- On peut aussi essayer de **donner le même débit à tout le monde...**
- ...

Toutes ces solutions visant l'équité risquent de conduire à une forte détérioration de l'utilisation du support.

La **prise en charge de la qualité de service** peut également être prise en compte en **favorisant les trafics dans l'ordre décroissant des contraintes de délai**.

## 9 - Round Robin

On a un certain nombre de flux/utilisateur, on les sert les uns après les autres (les allocations aux utilisateurs sont faites cycliquement sans priorité).

Est-ce que c'est équitable ? Ça peut l'être en temps mais pas en débit (qui dépend des conditions puisque couche PHY adaptative).

Les **conditions du canal ne sont pas prises en compte** ce qui peut se traduire par une **perte de ressources** (déteriorations, pertes...).

## 10 - Proportional Fairness

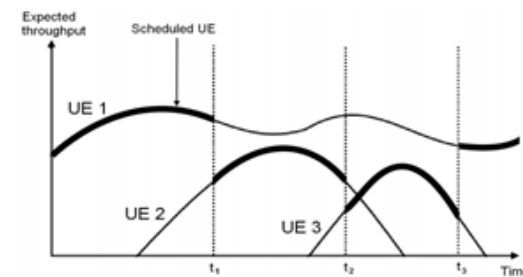
Une famille d'algorithmes a commencé à voir le jour qui vise à **trouver un compromis entre utilisation des ressources et équité**. Repose donc sur l'équilibre entre deux volontés antagonistes :

- **Maximiser le débit du réseau** en servant les utilisateurs ayant la meilleure qualité de canal
- Permettre aux utilisateurs de recevoir un **niveau de service minimal**

Idee : **comparer les conditions instantanées du récepteur par rapport à ses conditions moyennes de réception** (rapport entre le débit utile

instantané auquel on peut lui envoyer des données par rapport à son débit moyen). Les conditions moyennes peuvent être faire comme une moyenne des dernières conditions de réception, des moyennes glissantes (filtre)...

L'idée est la suivante. **La qualité du canal varie pour tout le monde** et on va **envoyer les données vers l'utilisateur dont le rapport entre les conditions instantanées et les conditions moyennes sont les meilleures**. L'espoir est que du coup tout le monde sera servi... Une UE qui a déjà été bien servie aura une priorité faible et laisse sa place aux autres.



En général, la priorité est définie de la façon suivante :

**Priorité =  $d/r$**  où **d** est le **débit instantané** en tenant compte de la modulation/codage utilisé et **r** le **débit moyen** mesuré par une moyenne.

Pleins de **variantes sont possibles pour tenir compte des ressources que l'on a déjà attribuées**. Attention, ce n'est **toujours pas une prise en compte des paramètres de qualité de service**.

## 11 - Gestion de la mobilité

Gestion des handovers : viser à **permettre la continuité de la communication lorsque l'utilisateur se déplace ou lorsque ses conditions de réception se détériorent**.

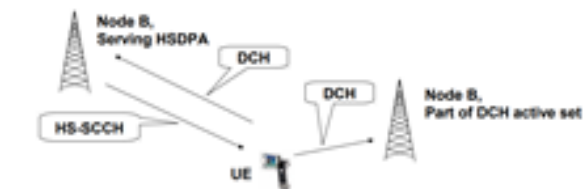
Les handovers constituent un compromis entre deux facteurs :

- Quand le canal se détériore, on veut changer pour la meilleure cellule (qui va se traduire par la meilleure condition de réception des paquets)
- Quand l'utilisateur change de station de base, on va supprimer les paquets du buffer du node B, et il va falloir relancer les retransmissions par la couche RLC qui elle est toujours située sur le contrôleur de la station de base.

Différence fondamentale avec l'UMTS : la **couche MAC est désormais située sur la station de base et donc tout changement de cellule ne peut plus être traité à la mode de ce que l'on faisait en UMTS avec le soft handover** (duplication du chemin et transmission des messages sur les deux chemins). **On fait du hard handover ; un utilisateur n'est connecté qu'à une station de base à la fois**. Les retransmissions sont prises en charge par la couche RLC située sur le contrôleur de station de base.

Pour les canaux DCH, attention, **on peut toujours utiliser les soft handover** : attention, **les canaux montants sont de type DCH et les canaux de signalisation dans le sens descendant l'ont aussi été pendant un certain temps...**

Du coup, il faut bien regarder au cas par cas pour chaque type de canal...



Procédure de handover de HSDPA :

- Changement de Serving HS-DSCH dès que les conditions de réception depuis une cellule voisine est significativement supérieure pendant une certaine durée
- Information remontée par l'UE au node B qui fait suivre au RNC
- Si le contrôle d'admission est réussi (assez de ressources dans cette nouvelle cellule) le RNC autorise l'UE à effectuer son handover en utilisant le Bearer de signalisation.

Tout ça est ridiculement compliqué et c'est pourquoi tout sera simple avec la 4G...

## 12 - Introduction à HSUPA

Le **sens montant était moins vital que le sens descendant**. Les trafics ne sont symétriques que pour les applications conversationnelles (la voix notamment) qui n'ont pas été visées dans un premier temps par HSDPA.

Dans le sens montant, attention c'est comme toujours **plus compliqué à gérer que dans le sens descendant car c'est celui où il y a N émetteurs et 1 récepteur + c'est le réseau qui attribue les ressources car on veut toujours éviter l'accès aléatoire sur les données utilisateur.**

Amélioration de HSUPA par rapport à Rel 99, on a repris ceux de HSDPA qui sont possible en sens montant :

- HARQ
- Ordonnancement au niveau de la station de base en remplacement du contrôleur
- Trames couche PHY plus courtes pour recalculer plus fréquemment les allocations de ressources

Mais il y a bcp de mécanismes qui se basent sur UMTS.

Ce qui n'est pas amélioré : en revanche, **les ressources, ce sont des codes CDMA et des niveaux de puissance** et pas un découpage temporel qui diraient qui, parmi les terminaux, parle et quand. Donc **le partage et le gain seront moins efficaces que dans HSDPA.**

### 13 - Canaux HSUPA

Canaux de transport : **E-DCH (Enhanced Dedicated Channel)** pour permettre HARQ et ordonnancement rapide, mais c'est un canal dédié et pas partagé.

Comme pour les canaux DCH, les E-DCH sont mis en correspondance avec des canaux physiques de données et de contrôle (données véhiculées sur un nouveau canal physique E-DPDCH et information de contrôle véhiculées sur des canaux E-DPCCH).

Canaux de contrôle : les **canaux physiques** de contrôle de Rel99 (DPCCH) sont **inchangés**.

**Deux nouveaux canaux sont créés pour l'ordonnancement** :

- E-DCH relative grant channel donne des valeurs absolues pour l'ordonnancement
- E-DCH relative grant channel donne des valeurs relatives (augmentation/diminution)

**De nouveaux canaux sont créés pour la retransmission** : dans le sens descendant, la station de base annonce si elle a reçu correctement au non les paquets dans le sens montant (canal E-DCH HARQ indicator channel).



### 14 - Ordonnancement sens montant

Cet ordonnancement est moins important car les débits et volumes sont moins importants dans le sens montant.

Avec HSDPA, toute la puissance d'une cellule peut être dédiée à un seul utilisateur sur une courte période de temps (on a un canal commun, quand on émet à un utilisateur c'est à fond).

Avec HSUPA, un **même ordonnancement n'est pas possible car de type n vers 1**. La puissance de transmission est utilisée par les UE et ne peut donc pas être partagée. **La ressource est partagée sur le lien montant ici ce sera de la puissance de transmission que le récepteur du Node B verra.**

Cet ordonnancement est en qqes sortes un ordonnancement très rapide de DCH.

### 2 types d'ordonnancements :

- **Transmissions ordonnancées par Node B** (ajout de délai et de signalisation) : une requête demande un débit et la réponse donne la puissance, le niveau de codage... qu'il faut.
- **Transmissions non ordonnancées** directement contrôlé par la station de base qui va définir un débit minimum auquel l'utilisateur va pouvoir transmettre.

### Règles pour les transmissions ordonnancées :

- L'ordonnanceur mesure le niveau de bruit et décide si un débit supplémentaire peut être alloué et si d'autres doivent réduire leur débit
- L'ordonnanceur gère aussi les retours sur le lien montant

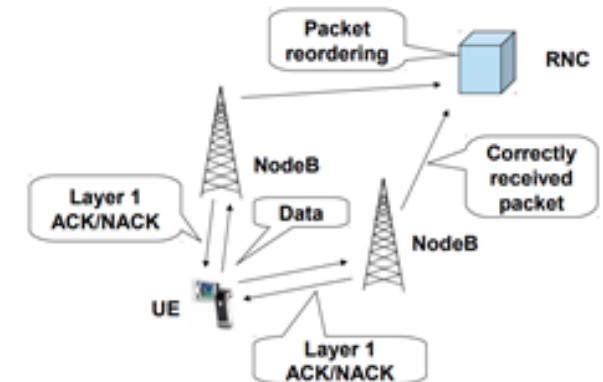
- Peut dépendre sur des priorités qui sont gérées par le RNC : l'ordonnanceur peut choisir un utilisateur ou plusieurs utilisateurs pour ajuster les débits.

### 15 - Mobilité en HSUPA

Procédure semblable à celle de l'UMTS.

Canaux dédiés à on continue à pouvoir faire du **soft handover**.

Gestion un peu spéciale du HARQ – il suffira que ce soit validé sur l'un des deux liens pour que la couche MAC en soit informée (sur le terminal utilisateur). La couche RLC située sur le RNC recevra donc une des copies et ne lancera pas la reprise potentielle ultérieurement. (Si l'un des Node B envoie un ACK, l'information est communiquée à la couche MAC qui considérera la transmission comme effective)



### 16 - Continuous Packet Connectivity

A partir de là on voit les améliorations qui ont été apportées à HSPA.

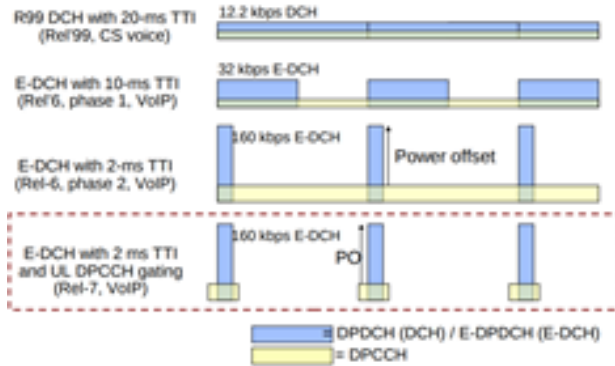
Objectif : améliorer les performances de services contraints temporellement et avec un débit faible (typiquement VOIP).

Élimine l'obligation de transmission/réception en continu.

3 caractéristiques principales : transmission discontinue UL, transmission discontinue DL, HS-SCCH less pour HSDPA VoIP.

Avantages :

- Les utilisateurs inactifs ont besoin de moins de ressources ce qui crée moins d'interférences globales : on peut accepter plus de connexions simultanées.
- Réduction de la consommation énergétique des UE
- Ressources de l'UTRAN mieux utilisées



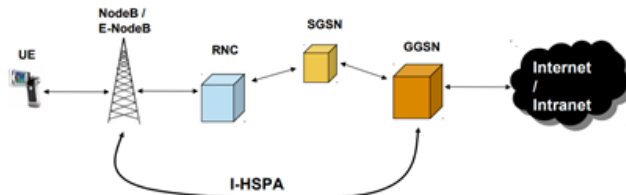
Les UE peuvent s'éteindre.



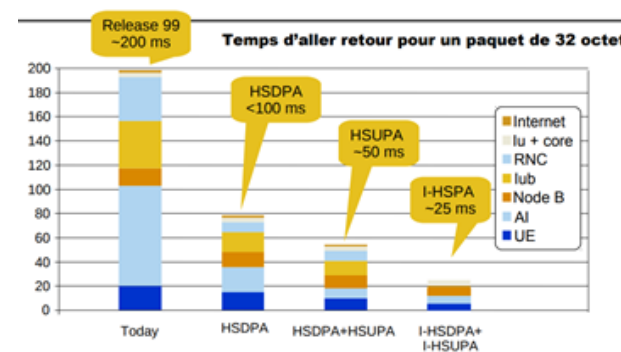
Avec Rel 7+ VoIP, la capacité est doublée par rapport au mode circuit CS de Rel 99.

## 17 - I-HSPA

Idée : simplifier l'architecture de l'UMTS.



On réduit release après release les délais de transmission



## 18 - Conclusion

- HSPA : évolution de l'UMTS introduite dans les release 5 et 6 pour le sens descendant et montants respectivement
- Débits bien supérieurs (surtout dans le sens descendant) avec une réduction des délais
- Principes clés :
  - Retransmission rapide PHY : HARQ
  - Ordonnancement fait par la station de base
  - Trames plus courtes (2ms DL et 2-10ms UL)
  - Modulation et codage améliorés, adaptation dynamique dans le sens descendant
- HSPA améliore aussi les performances des apps de type VOIP.
- Continuous Packet Connectivity introduit dans la version 7
- I-HSPA introduit pour les accès internet des débits plus grand et délais plus faible tout en réduisant les coûts
- Femtocells proposées.

## HSPA vs UMTS

Feature	UMTS	HSUPA	HSDPA
Soft handover	Oui	Oui	Non (sauf DCH associé)
Modulation Adaptative	Non	Non	Oui
ordonnancement BTS	Non	Oui	Oui
HARQ	Non	Oui	Oui

## Débits Max HSPA

- |                                      |                                     |
|--------------------------------------|-------------------------------------|
| <b>Downlink HSDPA</b>                | <b>Uplink HSUPA</b>                 |
| • Théoriquement jusqu'à 14.4 Mbit/s  | • Théoriquement jusqu'à 5.76 Mbit/s |
| • Capacités observées 1.8-3.6 Mbit/s | • Capacité observée 1.46 Mbit/s     |

## Chapitre 5 : LTE

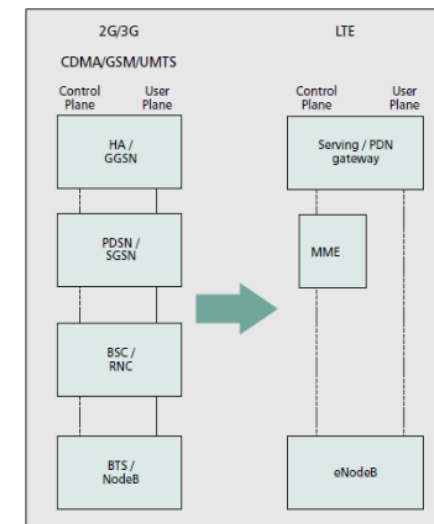
LTE = Long Term Evolution

Motivé par l'augmentation des besoins de débit (streaming vidéo, trafic démultiplié), LTE s'accompagne d'une simplification des architectures notamment avec la suppression du raccordement vers le réseau téléphonique commuté.

### 1 - Normalisation et exigences (3GPP)

- Services :
  - voix sur **IP uniquement** (mais les standards sont arrivés plus tard, en pratique la voix a été rebasculée dans un premier temps sur les réseau 2G/3G).
  - débits crête améliorés (100 Mbit/s descendant et 50 Mbit/s montant)
  - délais réduits dans le plan de contrôle & de données
- Radio :
  - Amélioration de l'efficacité spectrale
  - Réseau de coeur **tout IP**
  - Compatibilité avec les réseaux 3G, WIFI, WiMax

### 2 - Architecture système

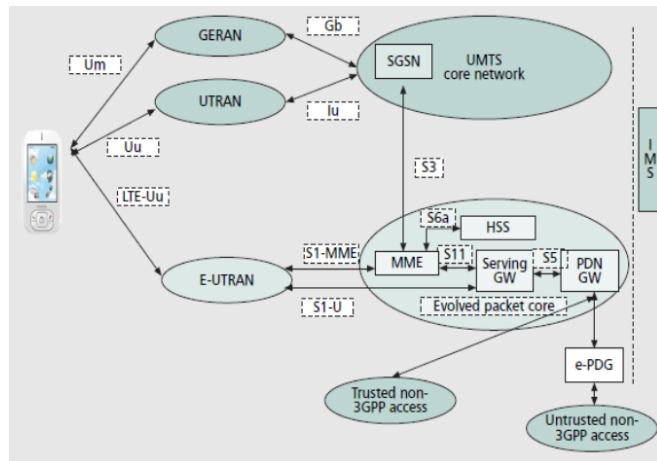


-> **Station de base + contrôleur de station de base** => 1 seul **e-NodeB**, donc forte baisse de la complexité

-> Rationalisation des passerelles vers le réseau de collecte de l'opérateur: **Serving Gateway (SGW)** en entrée (passerelle régionale) et **PGW** (Packet Data Network Gateway) en sortie (vers internet).

-> Nouvelle passerelle **MME** (Mobile Management Entity) : gestion de la mobilité

### 3 - Principales Interfaces normalisées



Connexion du terminal à GERAN / UTRAN vers le réseau de collecte 3G ou à LTE vers le nouveau réseau de collecte **Evolved Packet Core (EPC)** comprenant la MME, SGW, PGW. L'architecture standardisée **IMS (IP multimedia subsystem)** est nécessaire pour des services multimédias unifiés peu importe le réseau d'accès.

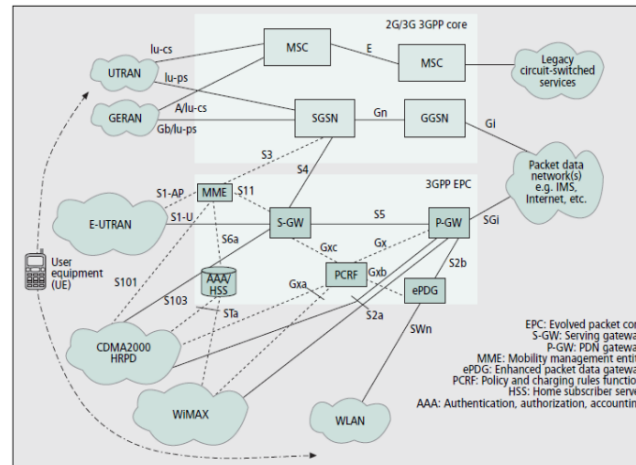
Équivalents avec la 3G:

-> Interface S1: LTE-Uu au lieu de lu-PS dans le monde 3G

-> HSS au lieu de HLR

-> Interface MME / SGSN pour la compatibilité

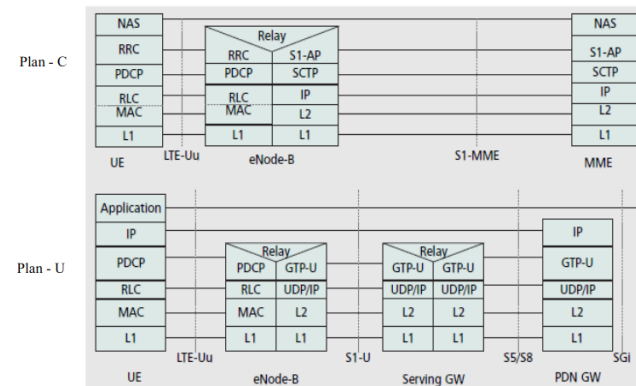
L'accès au réseau EPC se fait en mode Trusted (réseaux d'accès opérés CDMA2000, WiMax) / Untrusted (Wifi)



Très grande diversité des accès à l'EPC et nombre d'entités +++

Mobilité : solutions de type Mobile IP

### 4 - Architecture protocolaire



Plus simple que 3G :

- 1 interface entre e-NodeB (station de base) et SGW sur IP dans des tunnels GTP (UDP)
- Les 2 tunnels GTP entre SGW / PGW, et entre e-NodeB / SGW ne changent pas => gestion de la mobilité sans changement d'adresse en cours de route

Noms des protocoles radios inchangés

PDCP => compression dans le plan de données, mais aussi plan de contrôle

RRC => gestion du réseau d'accès dans le plan de contrôle

Pas de problème de localisation des fonctions car BS et BSC fusionnés.

NAS => apparition pour gérer mobilité, sécurité, sessions

S1AP => transport des messages NAS et messages de gestion (contexte utilisateur)

SCTP => petit nombre de messages de signalisation, fiable, contrôle de congestion (comme TCP) mais orienté message (comme UDP)

Overhead de la pile LTE: compression très efficace pour les ACK TCP (mais dans ce cas on a un surcoût RLC plus fort) et pour la voix.

### 5 - Couche PHY

Bande passante adaptable en TDD (alternance sens montant / descendant) ou FDD (fréquences spécifiques)

Découpage temporel / fréquentiel:

Lien descendant => OFDM / OFDMA

Lien Montant => SC-FDMA (Single Carrier -Frequency Division Multiple Access)

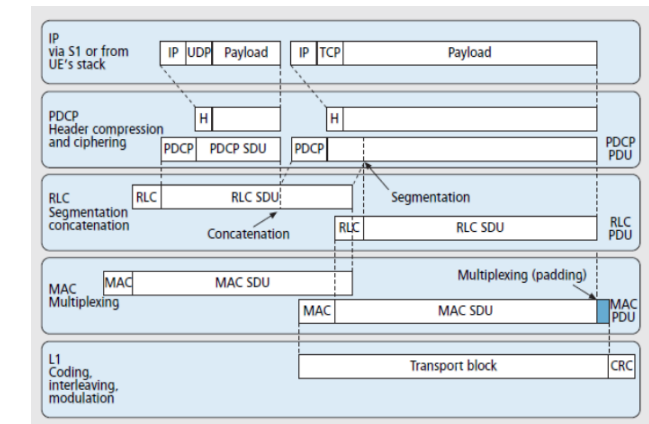
### 6 - Protocoles interface Uu - Plan U

Tout passe par PDCP => compression des en-têtes, chiffage

RLC => segmentation et concaténation

MAC => multiplexage flux + bourrage si besoin

PHY => code d'erreur, entrelacement, codage canal



## 7 - Canaux & partage

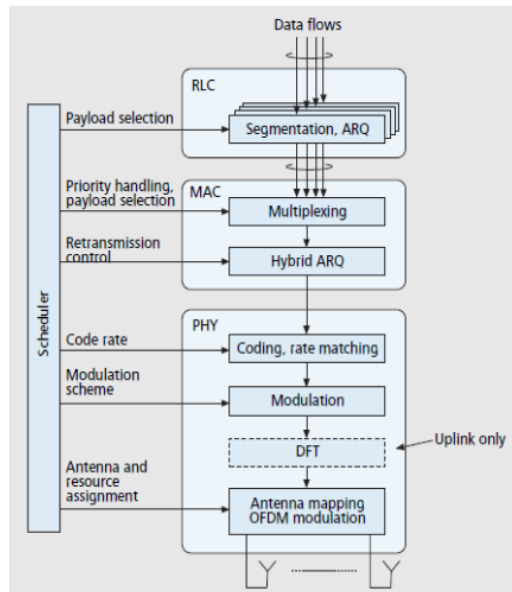
Canaux de Transport => nombre réduit, plus de canaux dédiés (cf. HSPA)

Canaux de transport : voie descendante

- Broadcast Channel (BCH)
- Downlink Shared Channel (DL-SCH)
- Paging Channel (PCH)
- Multicast Channel (MCH)

Canaux de transport : voie montante

- Uplink Shared Channel (UL-SCH)
- Random Access Channel (RACH)



Abandon de CDMA => partage des canaux de données aussi dans le sens montant (partage plus fort que dans GPRS ou HSPA). Les canaux logiques restent aussi nombreux.

Le partage est dynamique, avec un ordonnancement cross-layer pour prendre en compte plus de paramètres (QoS, qualité support, équité), cf. HSDPA.

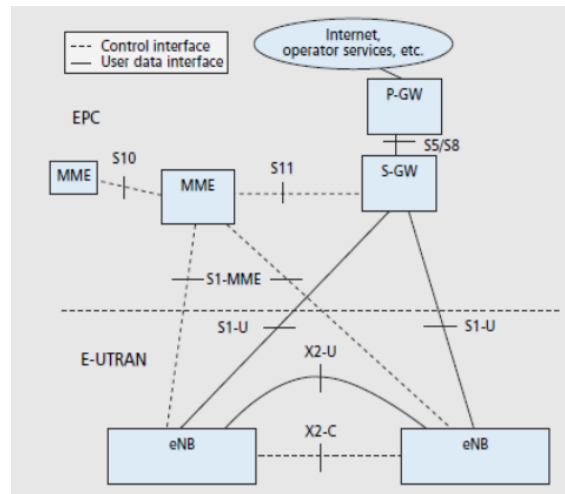
La granularité choisie est celle de l'utilisateur (allocation de ressources, donc ordonnancement avant choix du flux servi), plutôt que celle du flux (optimisation globale) qui a des algos plus complexes.

## 8 - ARQ et HARQ

Utilisation FEC + ARQ:

1. send-and-wait HARQ (couche MAC) avec plusieurs retransmissions possibles
2. si échec : reprise par ARQ (fenêtre coulissante) sur couche RLC (située au niveau du eNode-B donc retransmission plus rapide car pas de lien BS/BSC)

## 9 - Gestion de la mobilité



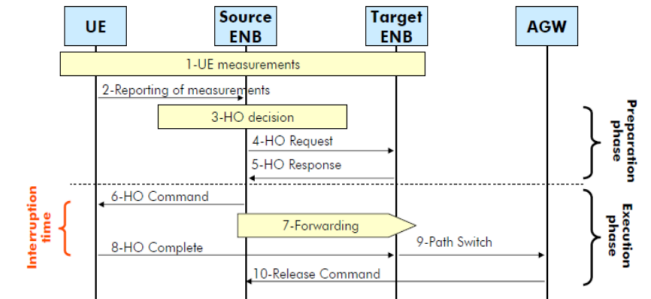
Interface S1 divisé en 2:

- plan de contrôle : dialogue eNode-B / SGW
- plan de données : dialogue BS / MME

Interface X2: changement de station de base (via lien physique ou logique dans le réseau)

Handover piloté par MME (dans plan de contrôle, fonctionnellement dans l'EPC). Intra-LTE, décision prise par eNode-B source avec une approche **break before make**.

Mise en place : relayage temporaire entre les 2 eNode-B puis changement de chemin au niveau de la GW après connexion entre l'UE et l'eNodeB cible. Performance : ~30ms d'interruption.



## 10 - EPS et QoS

QoS plus pragmatique qu'en UMTS.

Compensation de la gigue directement au niveau des terminaux (ou d'une passerelle vers RTC), hors des protocoles 3GPP.

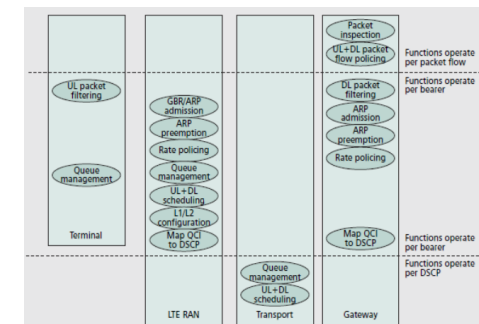
Moins d'équipements dans le réseau d'accès => Moins de prise de décision, de gigue

QoS à moindre frais sauf contrainte temps réel forte. 1er niveau de diff selon l'abonnement, 2ème sur la nature des flux.

EPS Bearer (tuyaux) : agrégation de flux ayant les mêmes contraintes et le même traitement. Distinction débit garanti (GBR) ou non.

QCI indique la classe de QoS, Allocation & Retention Policy dans le plan de contrôle. L'inspection de paquets peut permettre de déduire le besoin en débit (selon le codec utilisé par ex).

Mécanismes selon les équipements:



## 11 - Possibles améliorations

- Couche PHY: MIMO (multi antenne pour améliorer les débits), agreg. de porteuses
- Relay Nodes: amélioration de la couverture avec des répéteurs (mais nous ramène un peu aux stations de base qu'on avait avant...)