



Introduction aux réseaux cellulaires multimedia

Partie 1: UMTS - Universal Mobile Telecommunications System

Dr. Tarek BEJAOU

<http://sites.google.com/site/tarekbejaoui/>

Les origines de l'UMTS (1)

- **Des systèmes incompatibles :**
 - Les réseaux 2G ne sont pas compatibles entre eux
 - Des différences importantes sur le segment radio (pas d'itinérance universelle)
 - Limite des possibilités atteinte
 - Besoin d'une nouvelle technologie pour offrir de nouveaux services de couverture " Mondiale "



Nécessité de créer une 3G normalisée au plan mondial

	GSM	IS-95	IS-136	IS-1400
Modulation	GMSK	BPSK/QPSK	DQPSK	OQPSK
Méthodes d'accès	TDMA/FDMA	CDMA	TDMA	TDMA
Bande de fréquence (MHz)	900/1800/1900	800/1900	800/1900	800/1400
Espacement porteuses	200khz	1250khz	30khz	25khz
Utilisation	Mondiale	Continent américain, Asie	Amérique du nord	Japon

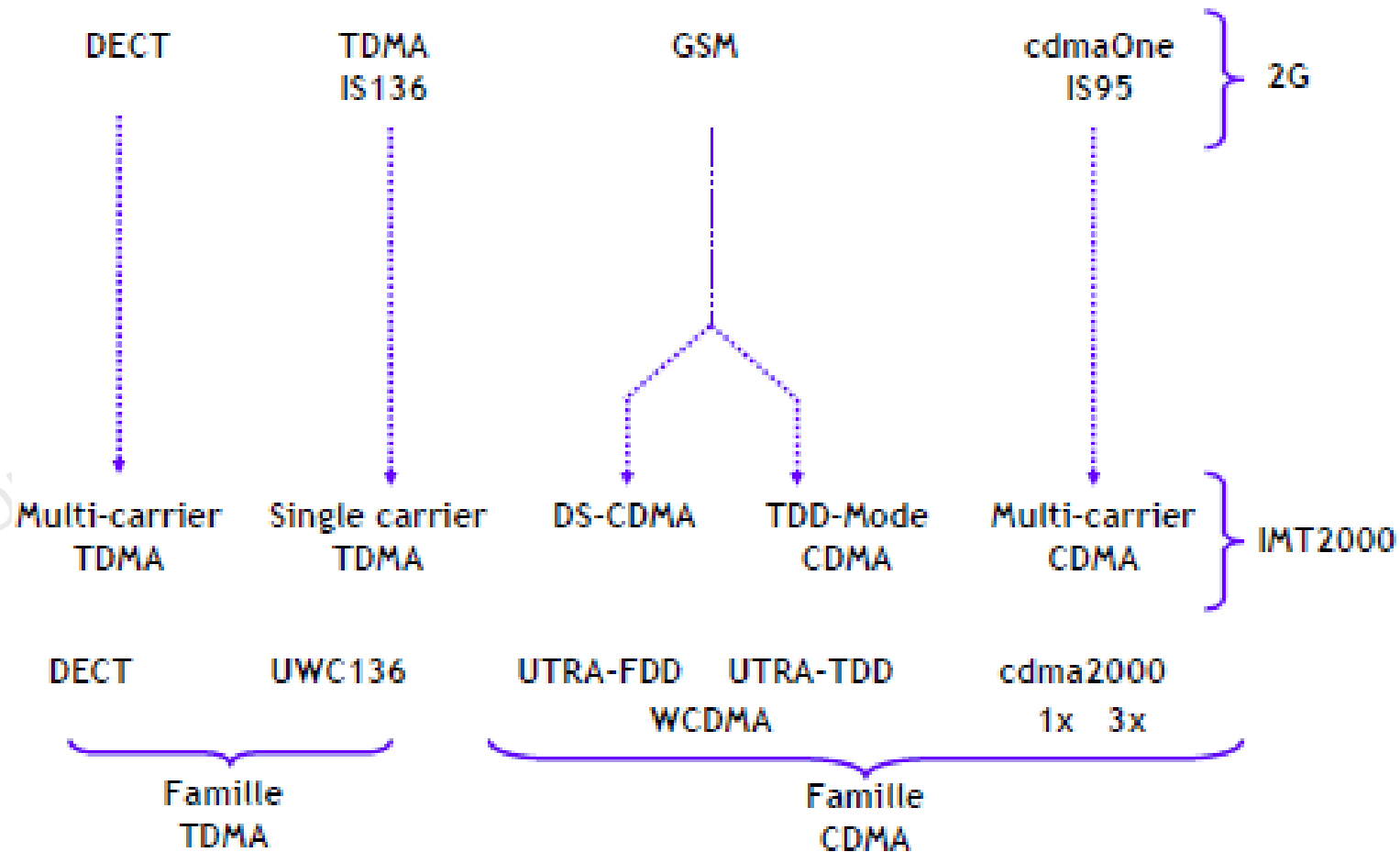
Les origines de l'UMTS (2)

- UMTS : **Universal** Mobile Telecommunication System
- Désigne une technologie retenue dans la famille dite IMT 2000 (International Mobile Telecommunications) comme norme pour les systèmes de télécommunications mobile dits de 3^{ème} génération (3G)

IMT-2000

- International Mobile Telecommunications: supporté par l'ITU
- IMT-2000 est un service développé dans le but de permettre aux souscripteurs d'utiliser des services de réseau cellulaire de partout, avec un seul terminal, utilisant une fréquence commune et un standard unifié.
- IMT-2000 fournira du haut débit, des services sans fil multimédia avec une itinérance globale plus large

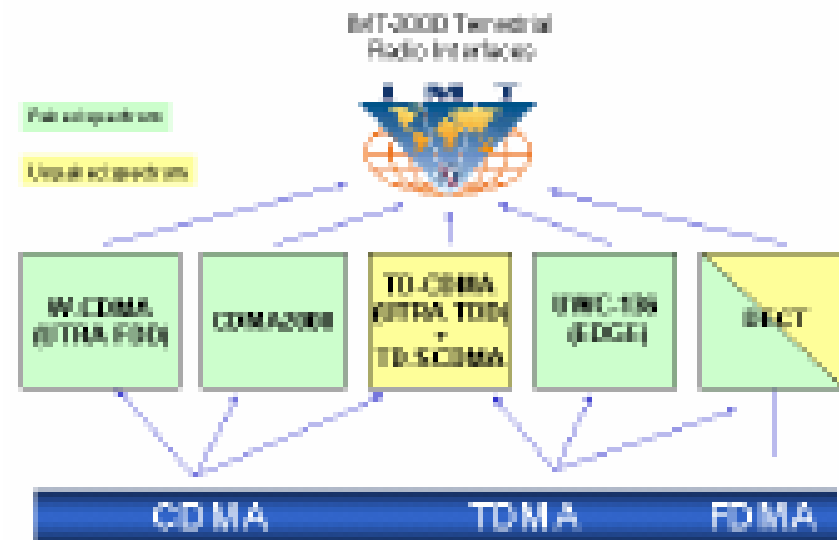
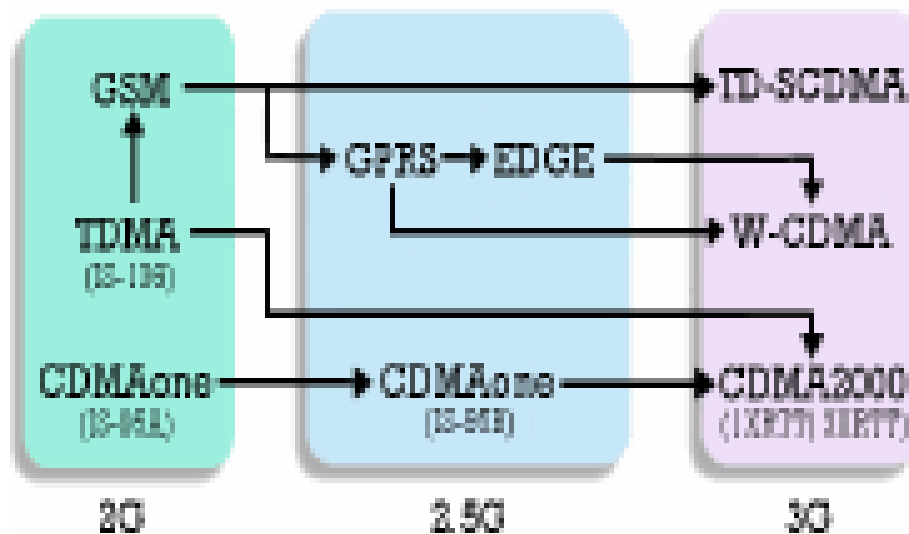
La famille IMT-2000 (1)



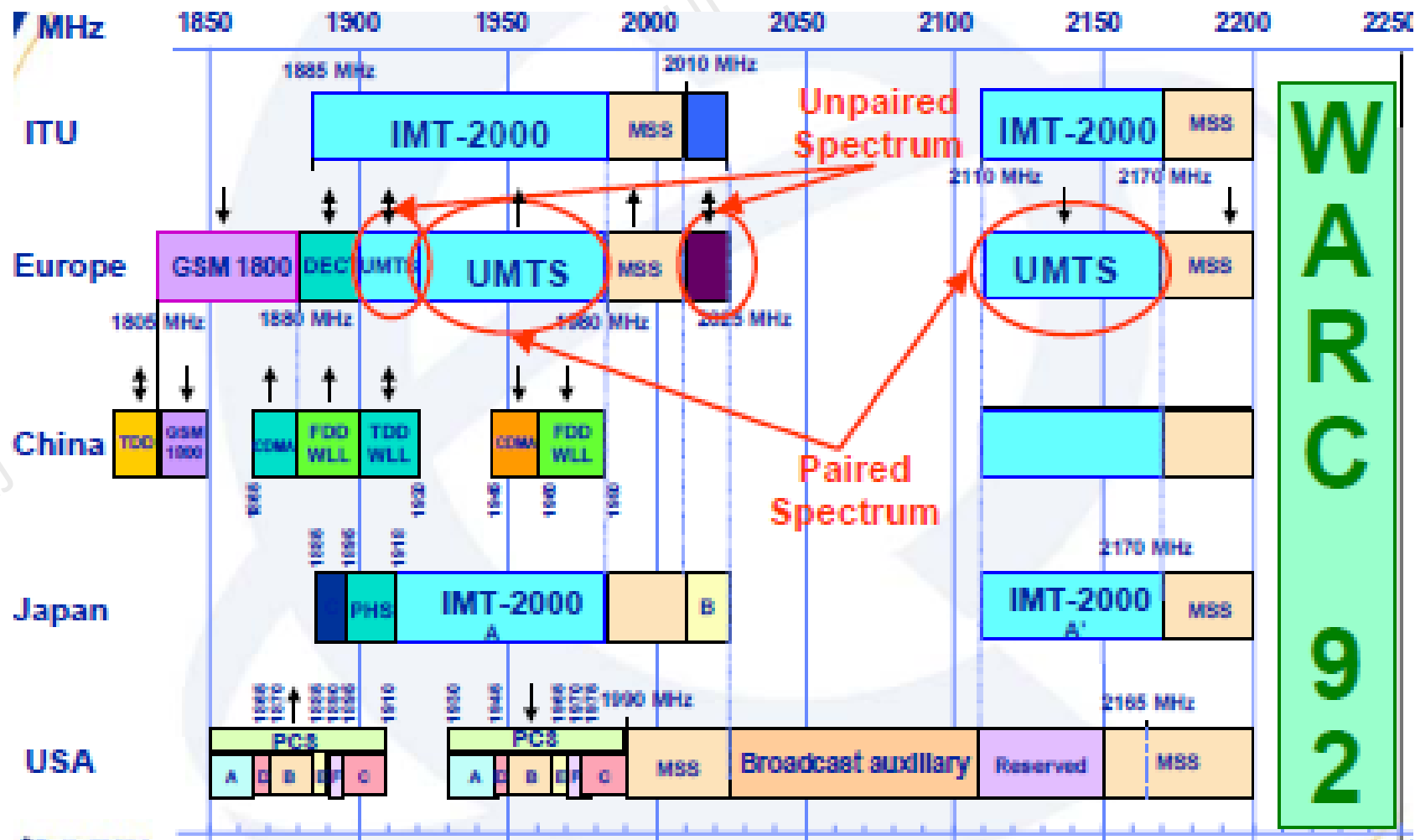
La famille IMT-2000 (2)

En 1999, UIT sélectionne 5 technologies pour service terrestre:

- CDMA à large bande (WCDMA)
- CDMA2000 (évolué de IS-95 CDMA)
- TDD-CDMA (répartition dans le temps) & TD-SCDMA (répartition dans le temps et synchrone)
- UWC-136 (évolué de IS-136)
- DECT

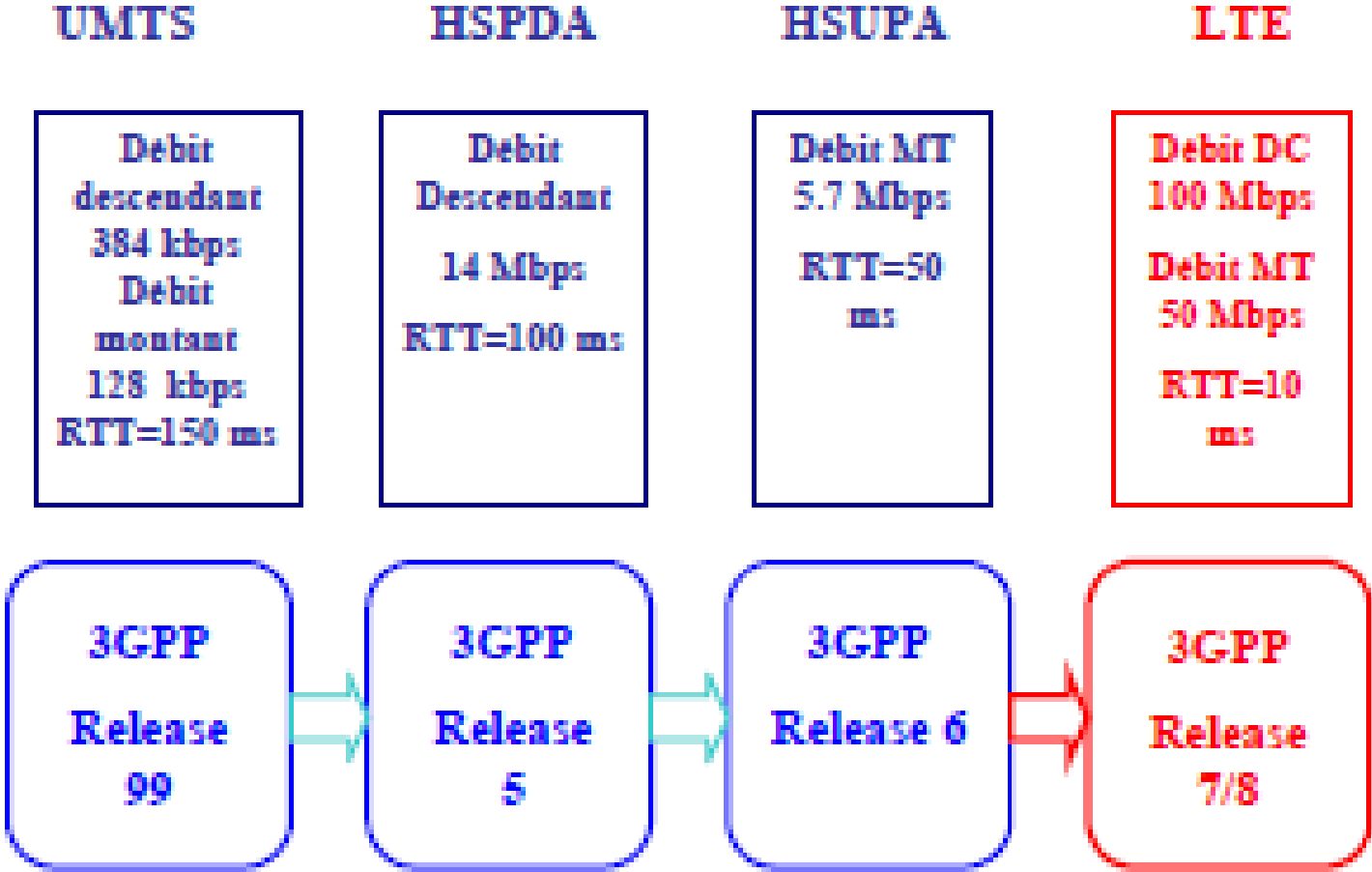


IMT-2000 : les fréquences



W
A
R
C
9
2

Evolution de 3GPP



UMTS : la création

1 ^{er} Octobre 1997	Décision de « ERC » d'utiliser la norme UMTS
1 ^{er} trimestre 1998	Identification des opérateurs et affectation des licences
31 décembre 1999	Définition du premier standard UMTS par l' « ETSI »
2001	Commercialisation au Japon
2002	Commercialisation en Europe

ETSI = European Technology Standard Institute

ERC = European Radiocommunications Committee

Pourquoi UMTS?

- **Limites de la 2G :**
 - Augmentation du nombre d'utilisateurs
=> réseaux saturés
 - Transmission à haut débit impossible
vidéo, internet, multimédia; ...
=> applications limitées
 - Systèmes 2G sont incompatibles entre eux
 - GSM en Europe
 - IS-95 et PCS aux USA
 - PDC au Japon
=> mobilité et compatibilité réduite à l'échelle mondiale (sauf GSM)
 - Taux de pénétration très élevés
=> Saturation du marché (baisse des revenus !)

Pourquoi UMTS?

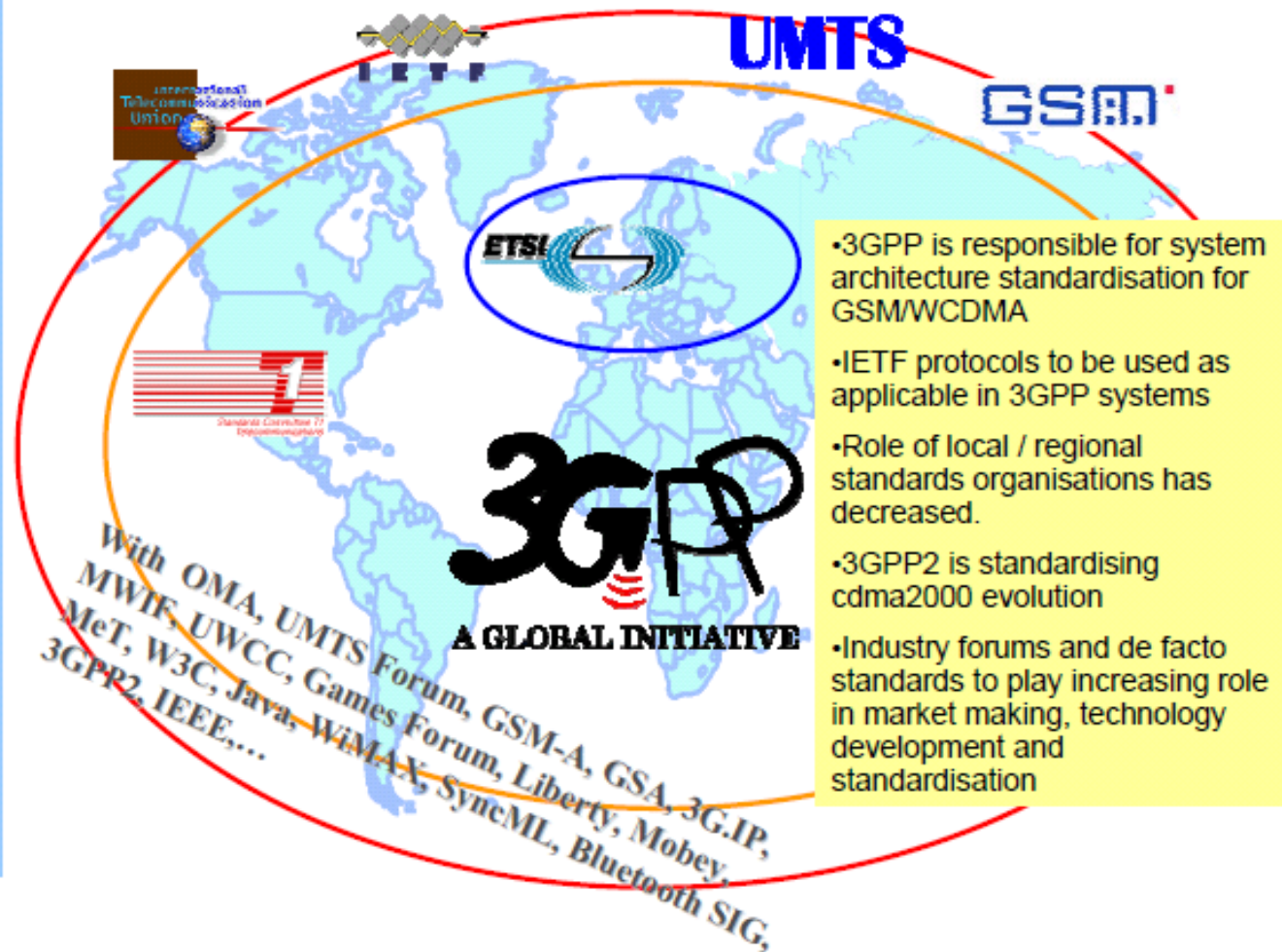
- **Nouveaux besoins :**
 - Capacité
=> Grande efficacité spectrale
 - Transmission de données à haut débit
=> BP plus large et commutations par paquets
 - Mobilité et compatibilité à l'échelle mondiale
 - Nouveaux revenus pour les opérateurs
=> Nouvelles applications et services
- **Solutions**
 - Evolution de la 2G : GPRS et EDGE
 - **Nouveau standard mondial : la 3G**
 - Gros investissements (nouveaux équipements) et à long terme
 - Débit de 2Mbits/s

La normalisation (1)

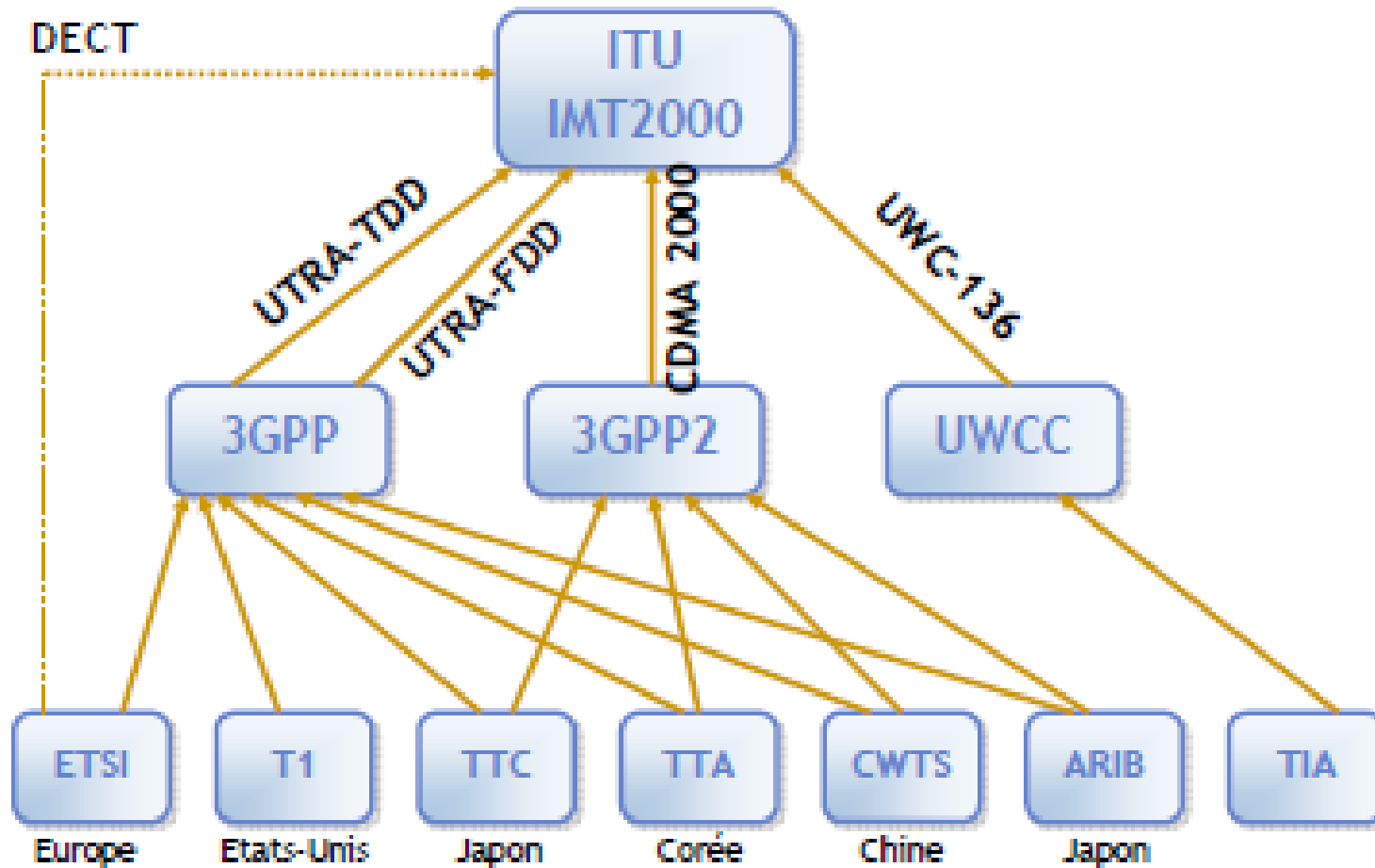
3GPP - Third Generation Partnership Project
 ARIB - Association of Radio Industries and Businesses
 CWTS - China Wireless Telecommunication Standard group
 ETSI - European Telecommunications Standards Institute
 T1 - Standards Committee T1 Telecommunications
 TTA - Telecommunications Technology Association
 TTC - Telecommunication Technology Committee

 GSM - Global System for Mobile Communications
 UMTS - Universal Mobile Telecommunications System

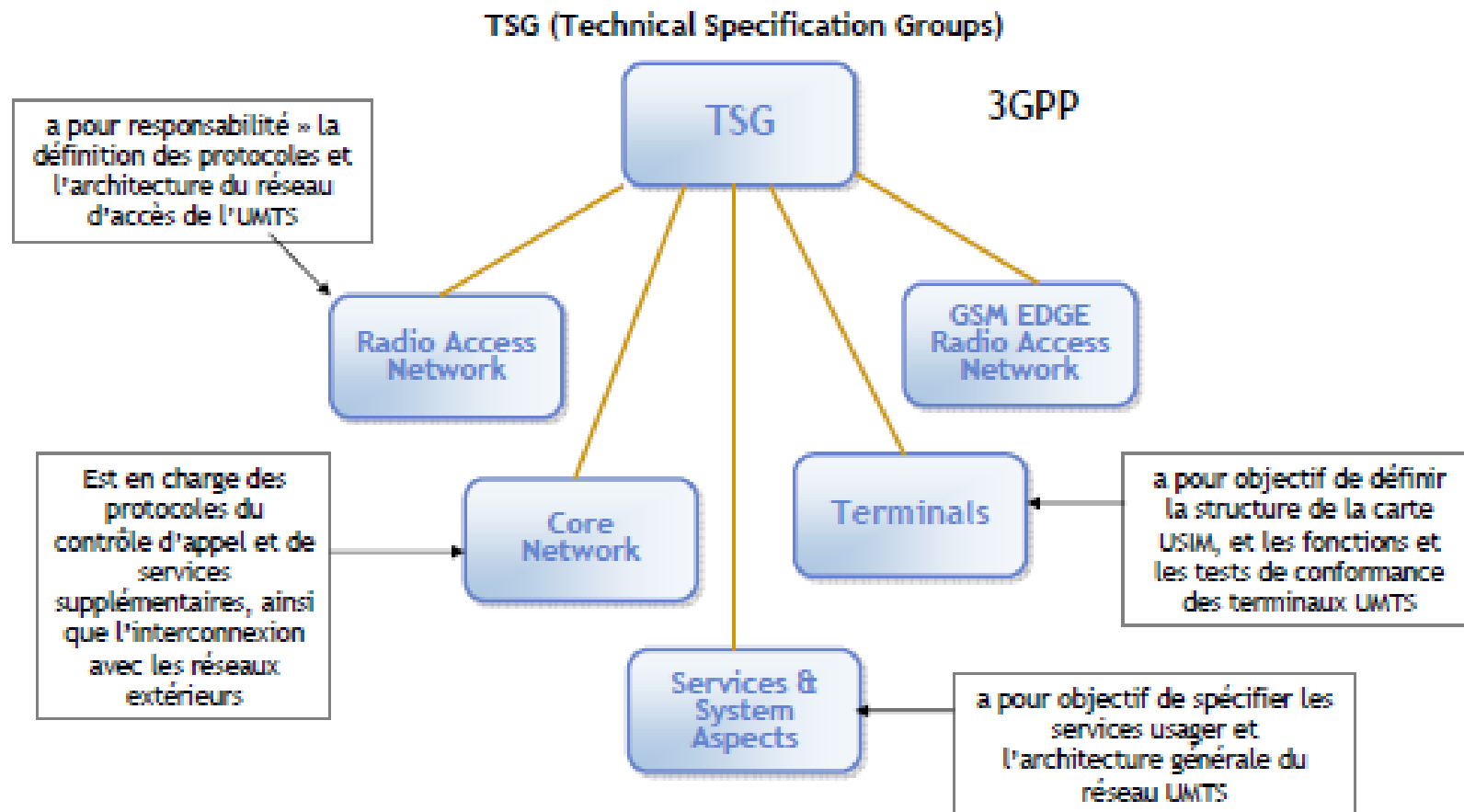
 IETF - Internet Engineering Task Force
 ITU-R - International Telecommunication Union - Radiocommunication
 ITU-T - International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization



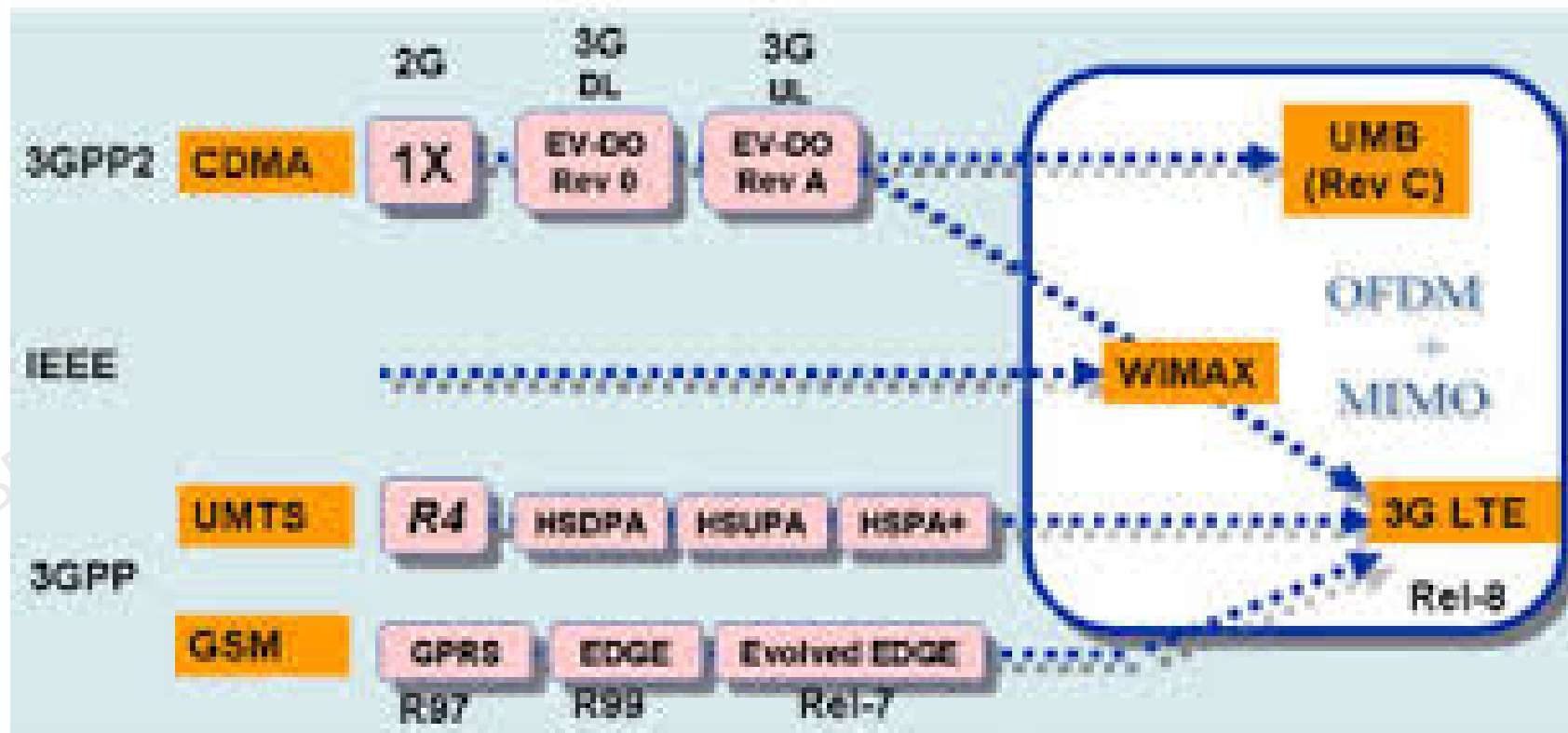
La normalisation (2)



La Structure du 3GPP



3GPP vs 3GPP2



3GPP vs 3GPP2 : Principales différences

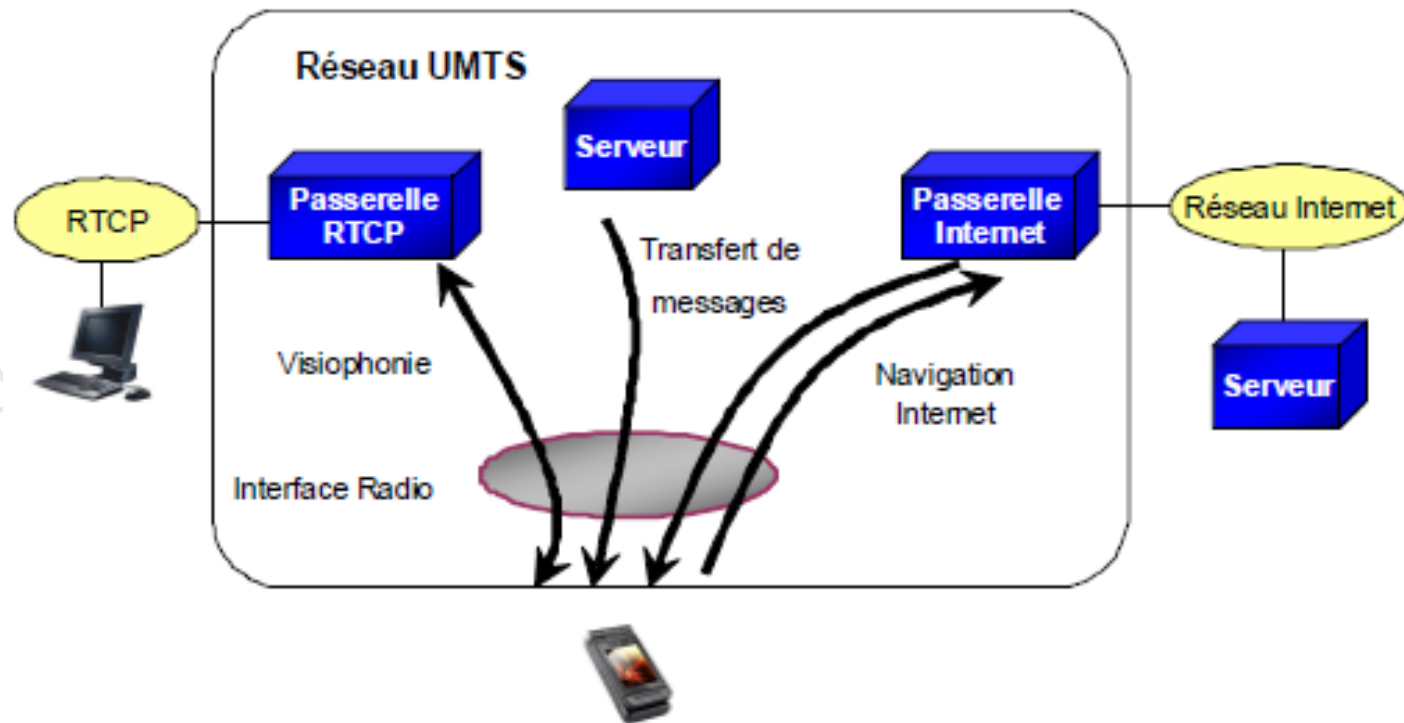
	3GPP	3GPP2
Date de création	Janvier 1999	Janvier 1999
Technologie	UMTS	CDMA2000
Organismes affiliés	ETSI (Europe) TTA (Corée) TTC (Japon) ARIB (Japon) TI (USA)	TIA (USA) TTA (Corée) TTC (Japon) ARIB (Japon) CWTS (Chine)
Type de réseau cœur	MAP (GSM)	ANSI-41
Technologie du réseau d'accès	UTRAN: DS-W-CDMA (FDD) TD/CDMA (TDD)	DS/MC-W-CDMA (IS-95)



Les objectifs de l'UMTS: Débits binaires

Environnement	Débit Max	Vitesse
Suburbain	144 kbps	$V < 500$ km/h
Urbain	384 kbps	$V < 120$ km/h
Hot Spot (local)	2 Mbps	$V < 10$ km/h

Les objectifs de l'UMTS: Support Multimédia



La qualité de service en UMTS

- **Classification de services selon**

- Sensibilité au délai de transfert
- Variation du délai
- Sensibilité aux pertes

- **4 Classes :**

- **Conversationnel (A)**

(téléphonie, visiophonie, jeux interactifs...)

- **Streaming (B)**

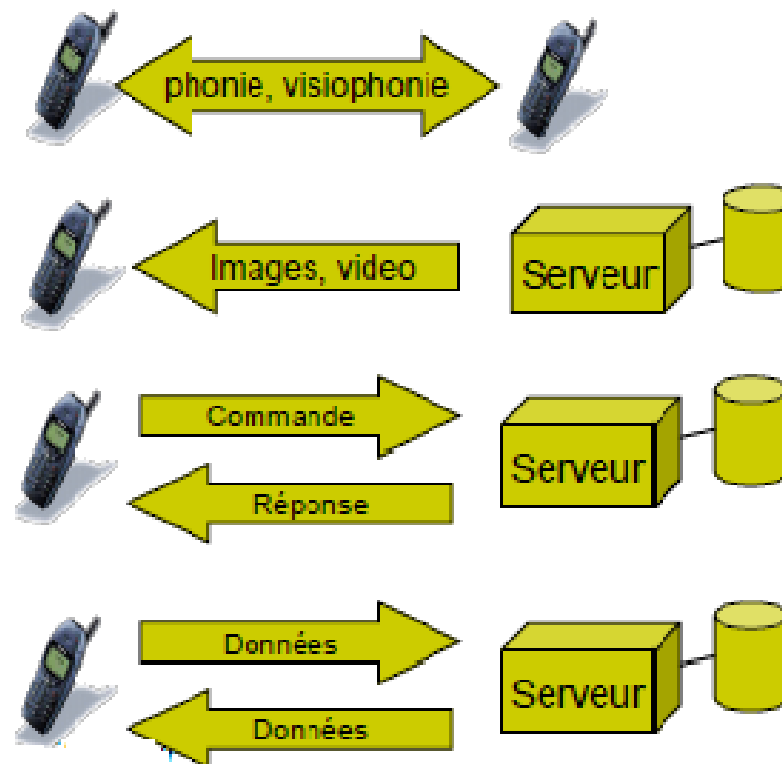
(transfert ftp, images, écoute video/audio...)

- **Interactive (C)**

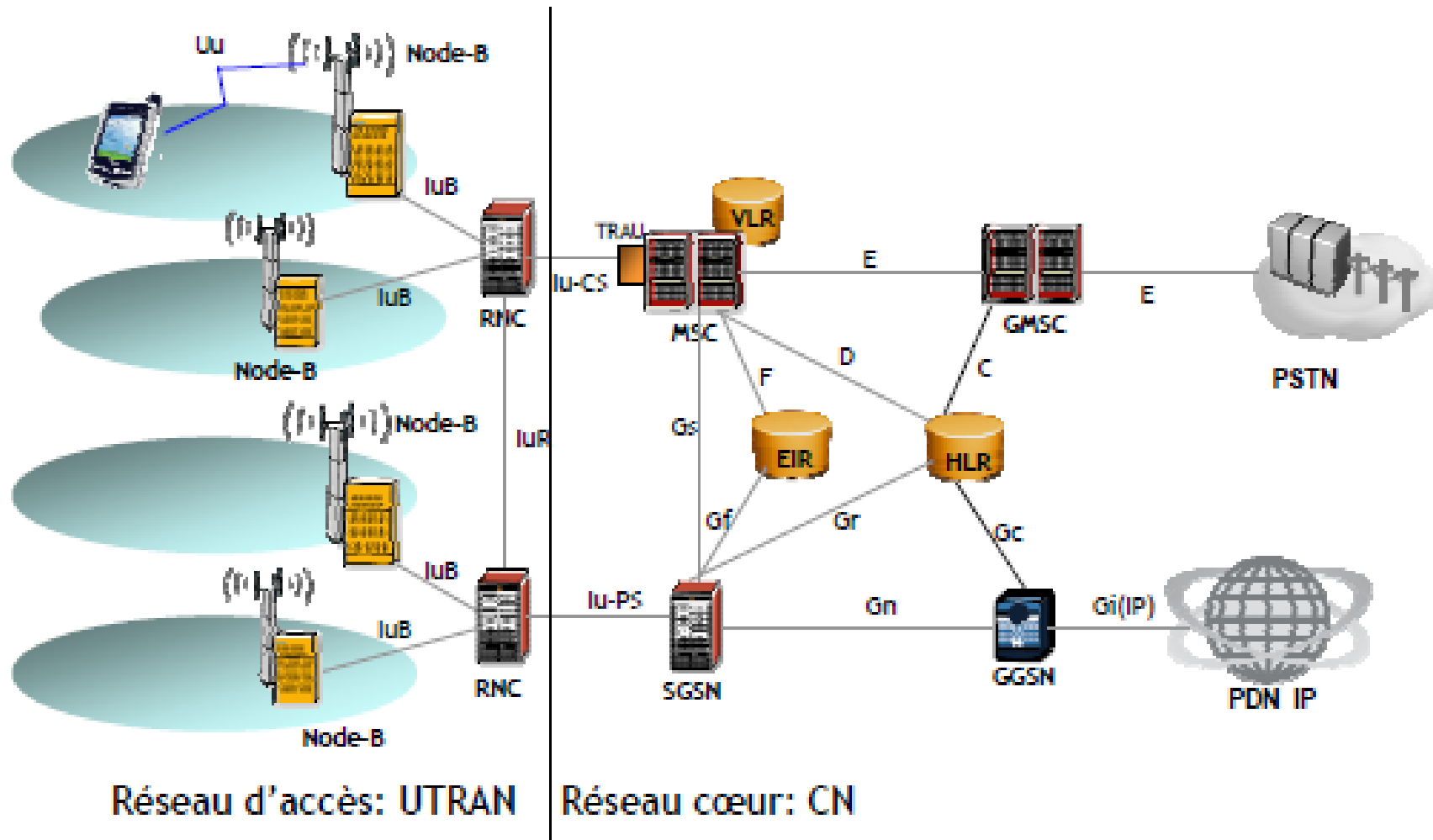
(web, e-commerce...)

- **Background (D)**

(e-mail, fax)

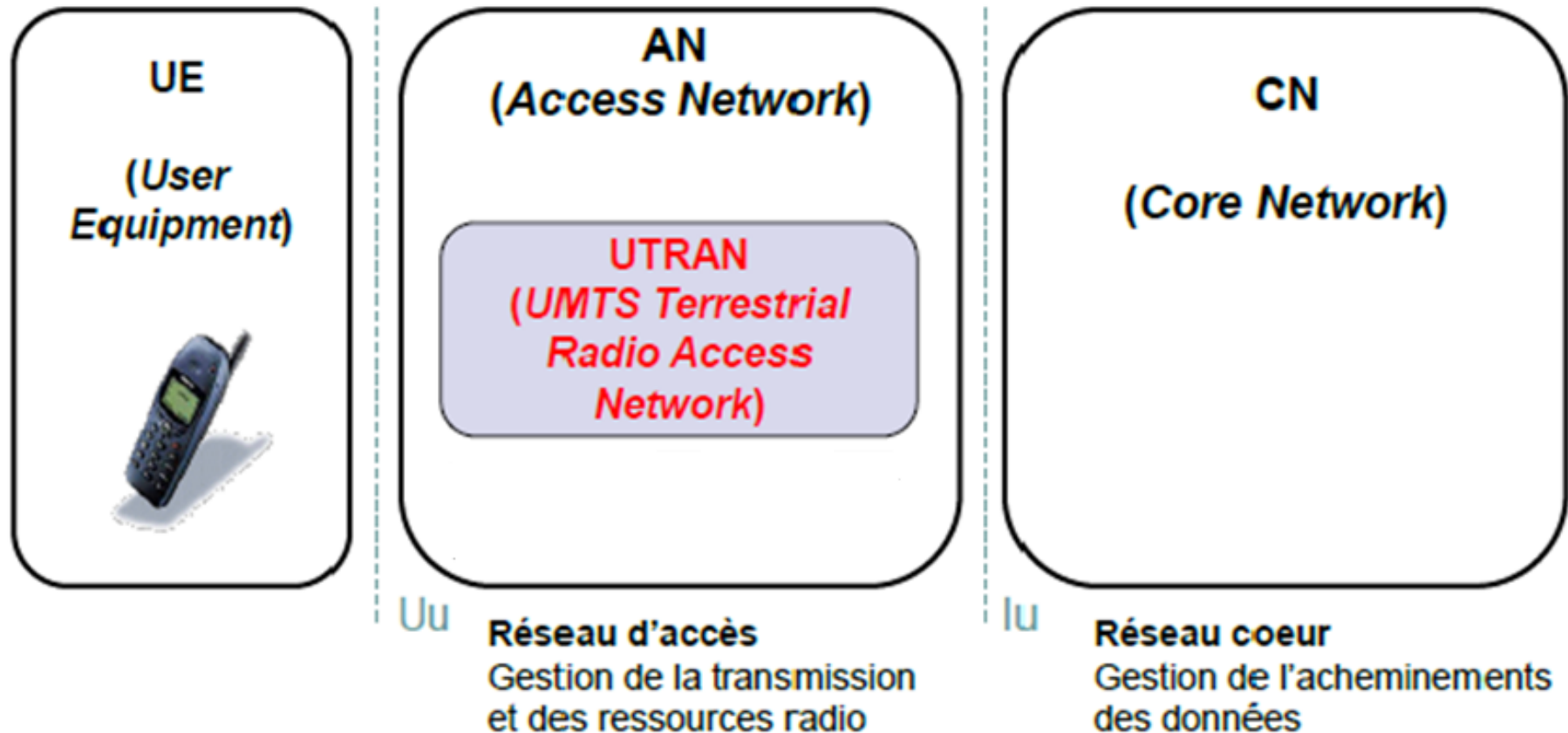


L'architecture de l'UMTS (Release 99)

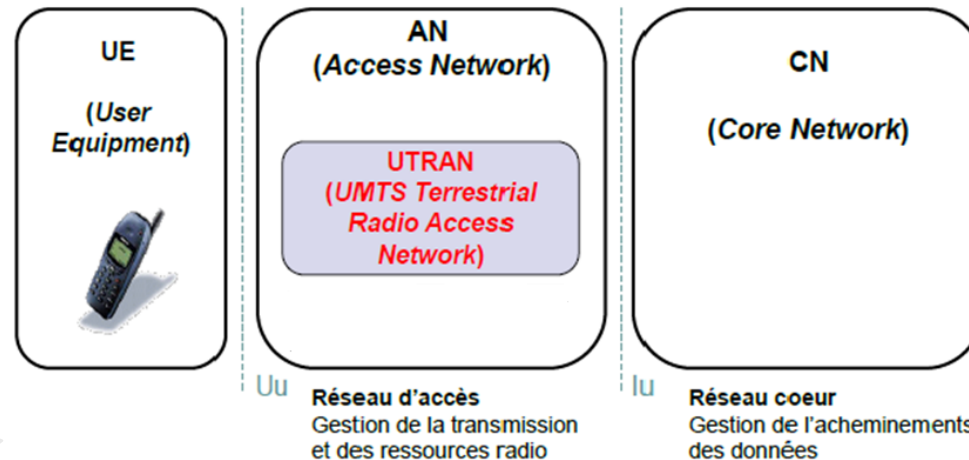


Architecture globale de l'UMTS

- Particularité UMTS : Indépendance de la couche d'accès radio
- Schéma général



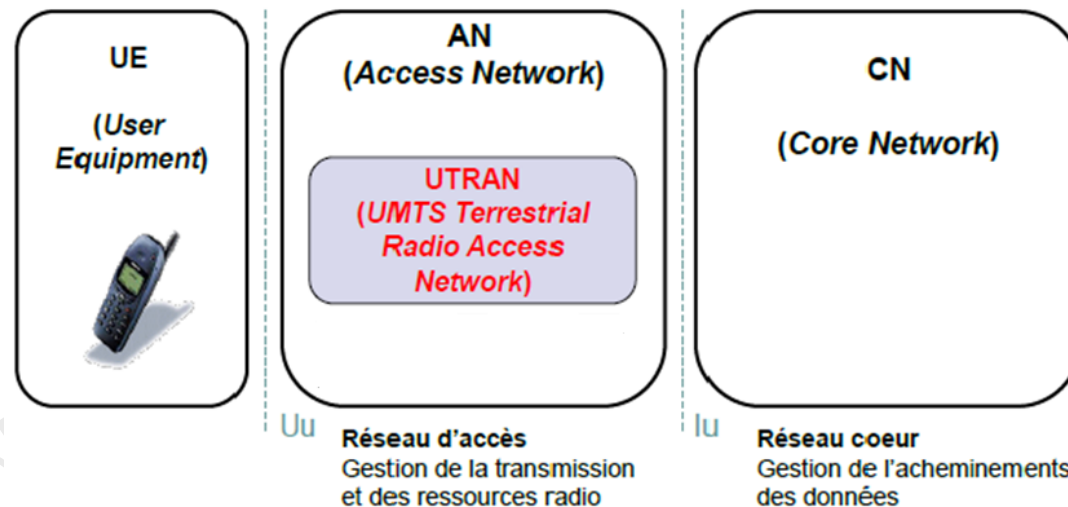
Architecture globale de l'UMTS (2)



Selon 3GPP, un réseau UMTS est divisé en 3 entités principales :

1. **Équipement Utilisateur**
2. **Réseau UTRA (UTRAN, UTRA Network):** c'est le réseau d'accès radio au réseau fixe de l'UMTS. Cette partie du réseau UMTS assure la gestion de l'accès au réseau fixe et des ressources sur l'interface radio (handover, sélection de cellules, ...);
3. **Réseau cœur (Core Network):** permet l'interfaçage de l'UTRA avec les réseaux distants tels que RTCP, réseaux Internet et LAN distants.
 - Les fonctionnalités de base de cette entité est la commutation et le routage des données d'utilisateurs et de signalisation entre les terminaux mobiles et les réseaux distants via l'interface radio.
 - le réseau cœur intègre également des fonctions de gestion de localisation et de contrôle des paramètres du réseau.

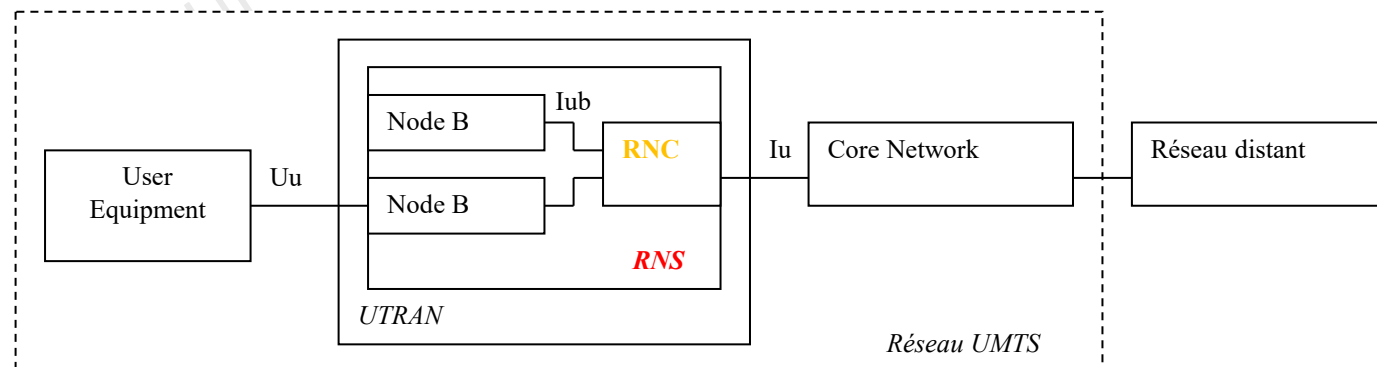
Architecture globale de l'UMTS (4)



- Le réseau UTRA et le réseau cœur constituent ensemble l'infrastructure du réseau UMTS à installer par un opérateur donné.
- L'opérateur a le choix entre plusieurs types de réseaux de cœur non nécessairement spécifiques à l'UMTS, en l'occurrence le sous-système GSN du GPRS.
- Les interfaces du réseau UTRA avec les autres entités sont normalisées, à savoir l'interface Iu avec le réseau fixe et l'interface Uu avec le terminal mobile.

Réseau UTRA (1)

- Le réseau UTRA est formé de plusieurs sous-systèmes **RNS** (**Radio Network Subsystem**) interconnectés par des interfaces de type **Iur**.
- Chaque **RNS** est composé d'un **contrôleur de stations de base RNC** (**Radio Network Controller**) et de plusieurs stations de base (portant la nomination spécifique à l'UMTS, node B) raccordés au RNC via des interfaces **Iub**.
- L'interface radio **Uu** a lieu effectivement entre la station de base et le terminal mobile



Réseau UTRA (2)

Notion de réseau coeur intégré

- **Principe**

- MSC/VLR (CS) et SGSN (PS) regroupés en une seule entité appelée **UMSC** (UMTS MSC)

- **Avantages**

- Optimisation des procédures ou les deux entités devaient échanger des informations
 - mises à jour de la localisation (ZL, ZR)
 - Utilisation simultanée de services dans chaque domaine

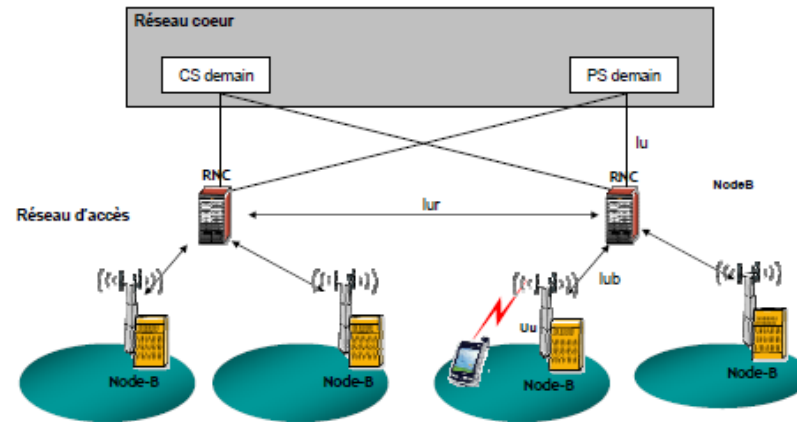
L'USIM

(Universal Subscriber Identity Module)

L'application USIM contenue dans le UICC (Universal Integrated Circuit Card) contient toutes les données relatives à l'abonné, parmi lesquelles on trouve :

- l'IMSI (International Mobile Subscriber Identity),
- le MSISDN (Mobile Station International ISDN Number),
- la langue préférée, utilisée pour l'affichage des informations sur le terminal,
- les clés de chiffrement et d'intégrité,
- la liste des réseaux interdits,
- les identités temporaires de l'utilisateur vis-à-vis des domaines Cs et Ps (TMSI et P-TMSI) ;
- les identités des zones de localisation courantes du mobile pour les domaines Cs et Ps.

Le réseau d'accès UTRAN



- **Principale innovation par rapport à la 2G**
 - Nouveaux équipements
 - Nouvelles interfaces
 - Gestion de soft handover (macrodiversité)
- **Entités**
 - **Node B**
Station de base UMTS
 - **RNC (Radio Network Controller)**
Contrôleur des stations de base UMTS
- L'UTRAN est divisé en RNS (Radio Network sub-system)
 - 1 RNC + 1 ou plusieurs Node B

Nœud B (Node B)

- **Fonction**

- **Gestion de l'émission/réception sur l'interface radio (couche physique) pour une ou plusieurs cellules :**

- codage
- étalement du spectre
- modulation...

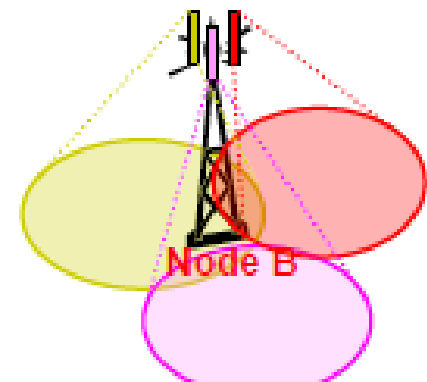
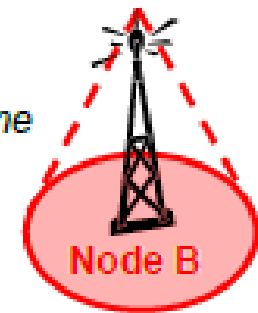
- **Diffusion d'informations systèmes**

- Identité du PLMN
- caractéristiques des canaux communs de la cellule
- paramètres de sélection des cellules...

- **Participation au contrôle de puissance**

- **Intervient dans le mécanisme de soft handover**

Noeud B avec antenne omnidirectionnelle



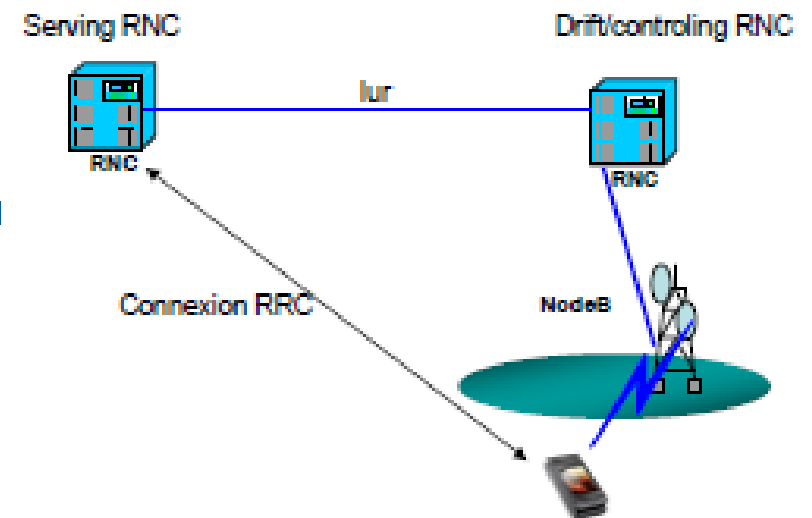
La cellule UMTS

- Pour l'UMTS, comme pour le cas des réseaux de génération 2 et 2.5, on distingue trois classes de cellules: macrocellules, microcellules et picocellules,
- la distinction faite principalement sur la base :
 - de l'ordre de grandeur du rayon moyen de la cellule (relatif au type de la zone de service),
 - de la vitesse maximale de l'utilisateur
 - de la marge de débit de données transmises.

Contrôleur de réseau radio (RNC)

- **Fonction**

- **Supervise les noeuds B**
- **Gestion de l'accès au réseau**
 - admission et contrôle de congestion du réseau
- **Gestion de la ressource radio**
 - Allocation/libération des bearers radio
 - Contrôle des liaisons radio
 - Contrôle de puissance
- **Gestion de la mobilité**
 - Intervention durant le soft handover
 - Décision d'exécuter un handover (soft ou hard), et une relocalisation de SRNC



Contrôleur de réseau radio (RNC)

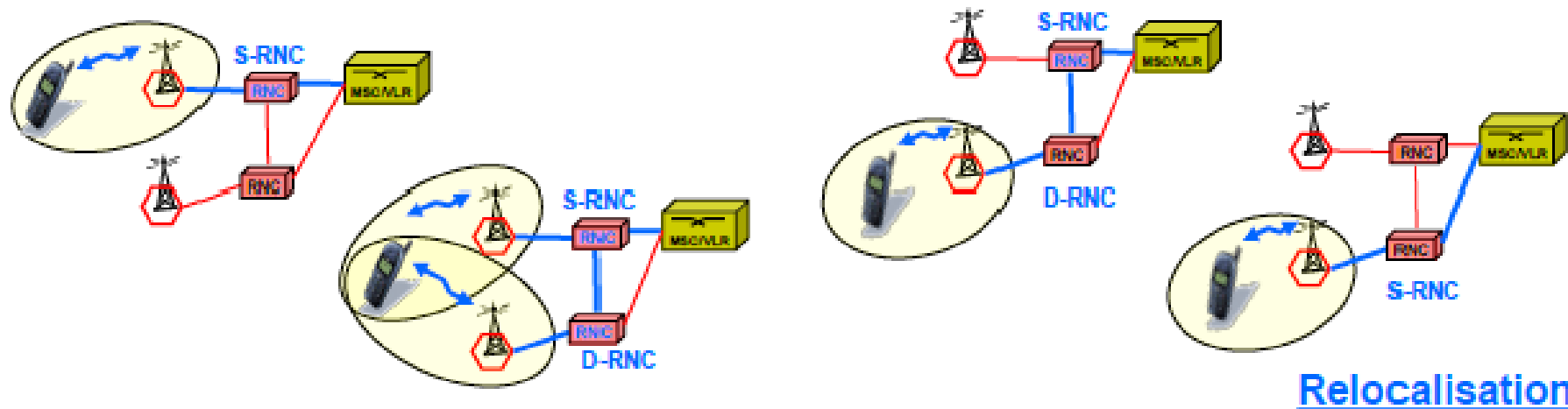
- **Différentes appellations suivant son rôle**

- **S-RNC (Serving RNC)**

- Un RNC est dit "serveur" lorsqu'il gère une connexion RRC (échange de signalisation pour contrôler la ressource radio), et le raccordement au CN.

- **D-RNC (Drift RNC)**

- Un RNC est en dérivation lorsqu'il se trouve impliqué dans une connexion RRC lors d'un **soft handover** inter-RNC



Découpage en Strates

Le découpage en strates (niveaux) permet de séparer des niveaux de services indépendants dans le réseau UMTS

Le réseaux UMTS est constitué de deux niveaux:

- ✓ AS: Access Stratum
- ✓ NAS: Non Acces Stratum

Access Stratum:

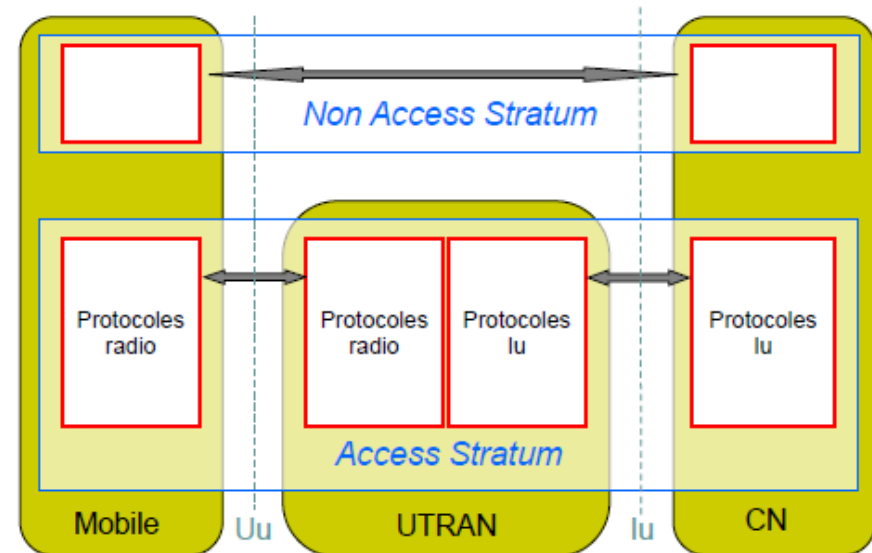
Regroupe toutes les fonctions liées au réseau d'accès
Les fonctions de gestion des ressources radio
L'UTRAN entièrement inclus dans l'AS
L'AS comprend une partie de l'équipement mobile,
Ainsi une partie du réseau cœur (l'interface Iu)

Non Access Stratum

NAS regroupe toutes les autres fonctions
du réseau UMTS comme:

Les fonctions d'établissement d'appel: CC (call control) pour les appels circuit, et SM (session mangement) pour les appels paquet.

Les fonctions de gestion de la mobilité en mode veille



Découpage en Strates

- **Intérêt**

- Conservation des mêmes protocoles que les réseaux fixes
- Spécification de ces protocoles indépendamment des technologies utilisées sur les interfaces Uu et Iu
=> UTRAN le plus transparent possible

- **Description des strates**

- **Access Stratum**

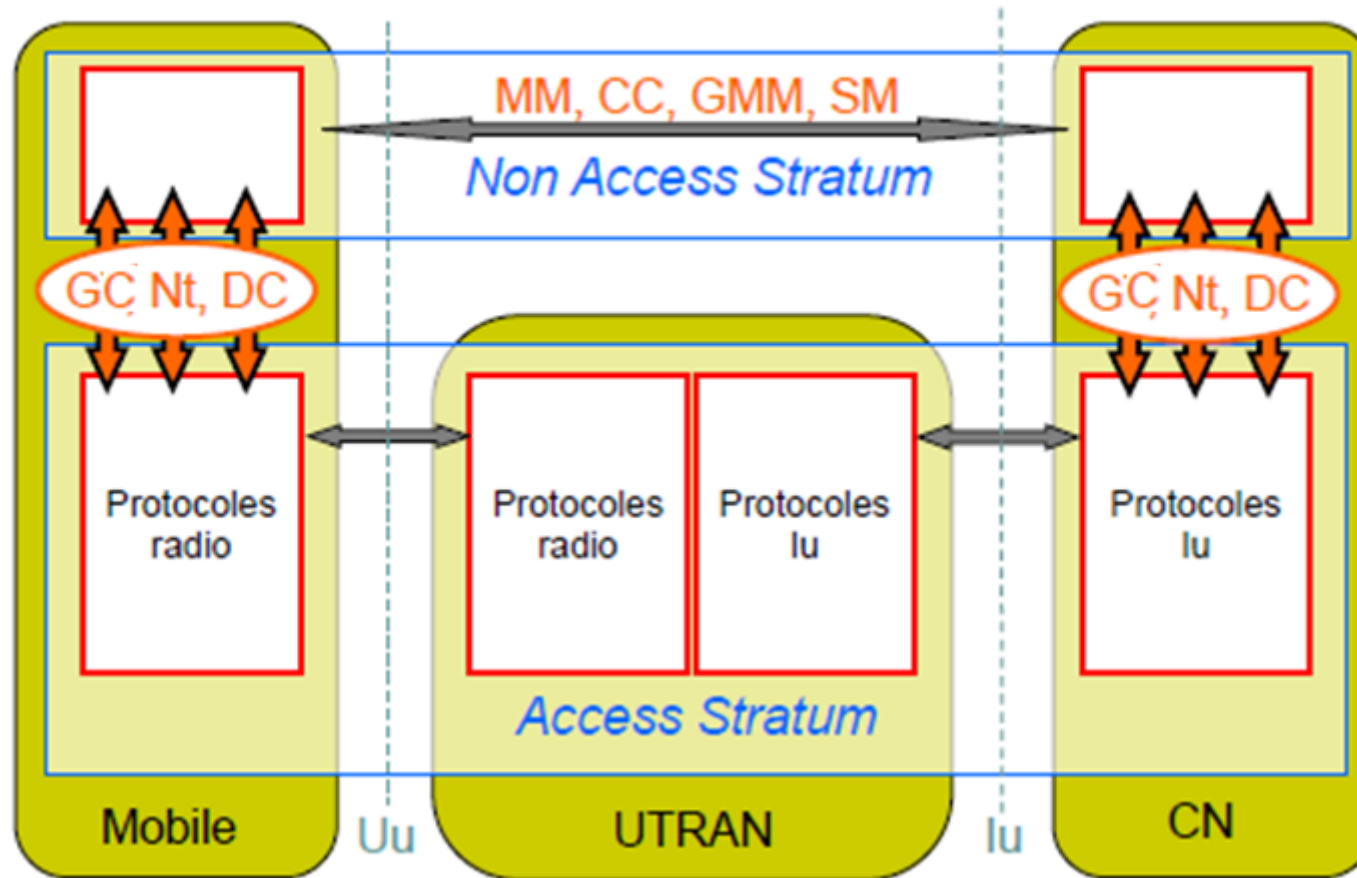
- Fonctions liées au réseau d'accès (gestion ressources radio, handover...) :
~Fournisseur de service pour le NAS
- UTRAN entièrement inclus dans cette strate, ainsi qu'une partie du mobile et du CN aussi (protocoles gérant Uu et Iu)

- **Non Access Stratum**

- Toutes les autres fonctions indépendantes des technologies du réseau d'accès : établissement d'un appel (Call Control, Session Management), mise à jour localisation (Mobility Management, GPRS Mobility Management)...

Découpage en Strates

- Schéma



Découpage en Strates

- Répartition des fonctions UMTS dans les strates

	Access Stratum	Non Access Stratum
Gestion signalisation appel		X
Authentification		X
Gestion Handover	X	
Gestion Services supplémentaires		X
Gestion ressources radio	X	
Chiffrement / Compression	X	(x)
Mécanisme facturation		X

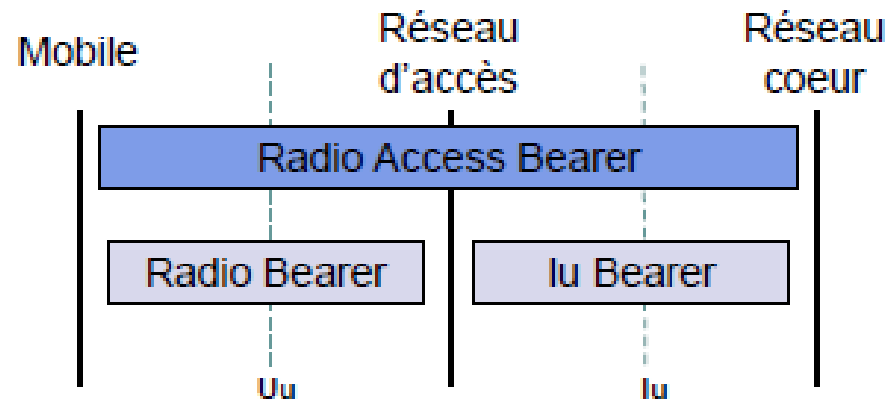
- Lien entre les strates : les **SAP (Service Point Access)**

- **GC (General Control)** : services liées à la diffusion d'informations pour tous mobiles
- **Nt (Notification)** : idem mais pour un nombre restreint d'abonnés (paging, notification d'appel de groupe...)
- **DC (Dedicated Control)** : destinées à un seul utilisateur (établissement/libération des connexions de signalisation, émission/réception de messages supportés par ces connexions (signaux MM, CC SMS...))

Support d'accès radio – Radio Access Bearer (RAB)

- **Définition**

- Unique vision qu'a la Non Access Stratum du canal de communication établi par l'Access Stratum



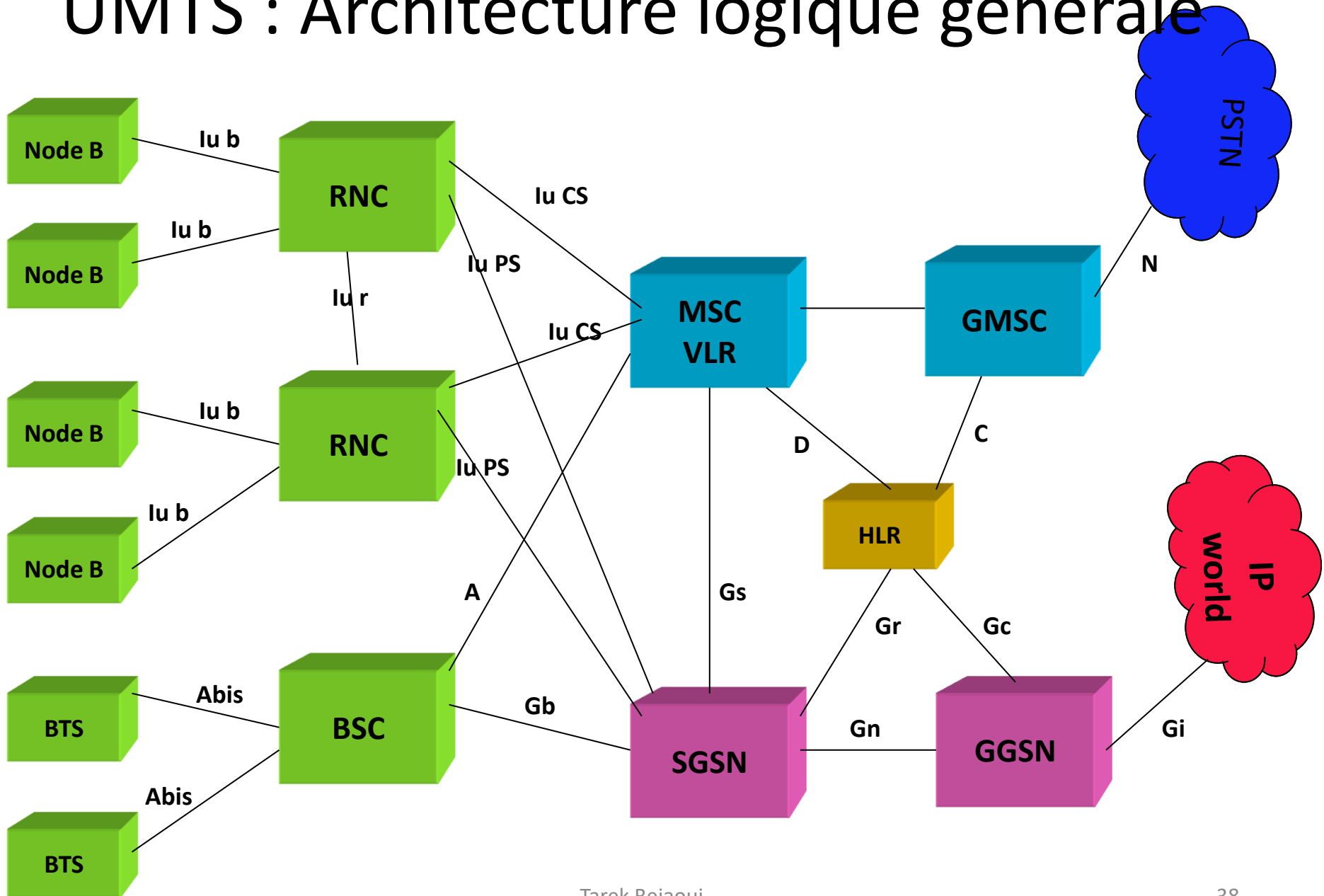
- **Principe**

- La strate NAS ne connait pas précisément les caractéristiques pour les RAB
- Les seules caractéristiques du RAB négociées entre l'utilisateur et le réseau coeur seront des **attributs de qualité de service**.
- Le réseau d'accès déterminera les caractéristiques du RAB nécessaires sur Uu et Iu (en fonction des besoins en qualité de service).

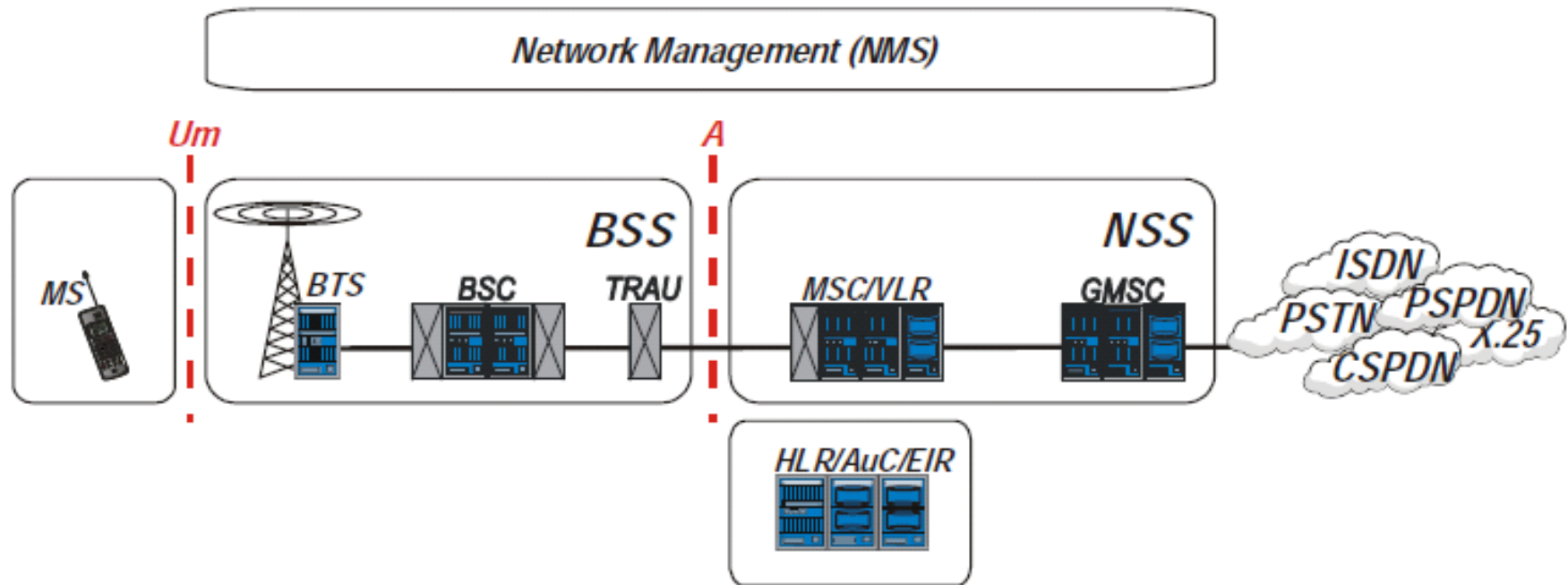
Radio Access Bearer (RAB)

- **Attributs du RAB: il définit les caractéristiques d'une communication**
 - Classe de service (conversational, streaming, interactive, background)
 - Débit max et garanti
 - Taille des SDU, et taux de SDU erronés
 - taux d'erreur résiduel
 - Priorité
 - Attribut de préemption (capacité et vulnérabilité)
- **Choix de l'UTRAN selon ses attributs (non normalisés)**
 - Codage canal (% taux erreurs)
 - Dimensionnement de la ressource sur l'interface radio pour ce RAB (% attributs débits, codage canal, type de classe)
 - Allocation des bearers en cas de congestion du trafic (% priorité et attribut de préemption) : préemption ou mise en liste d'attente
 - Config des protocoles radio (% paramètres SDU)

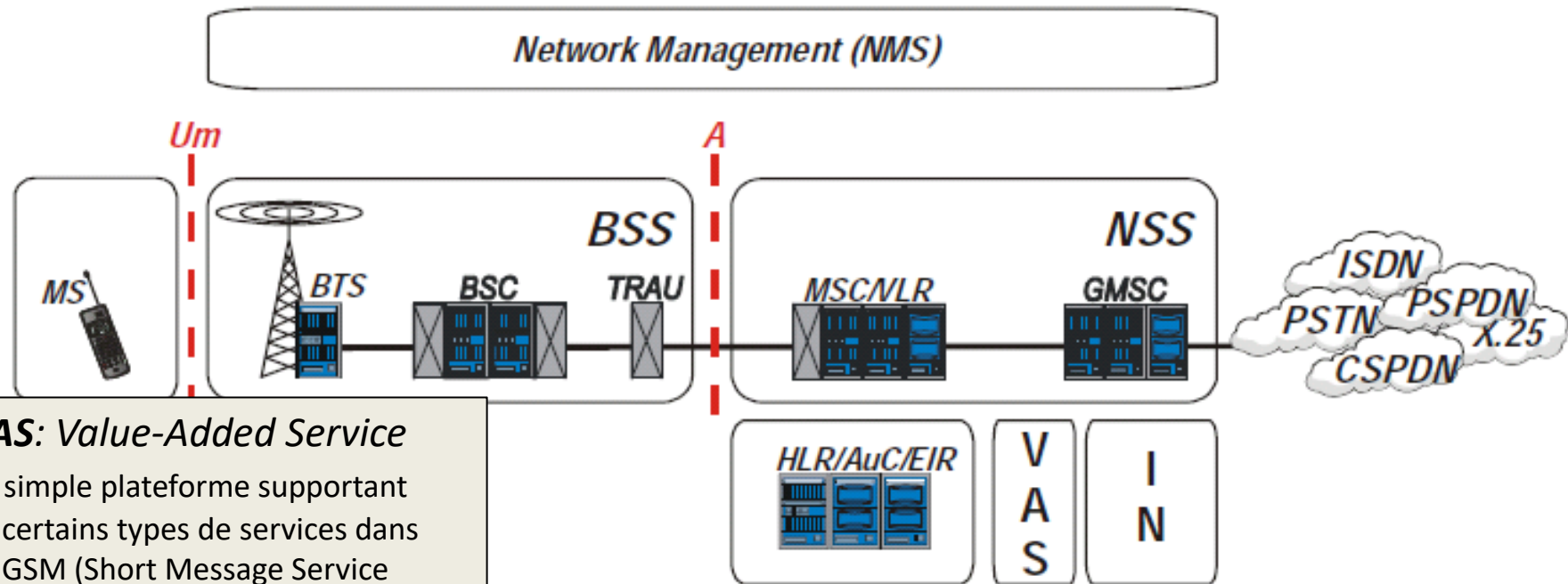
UMTS : Architecture logique générale



De l'analogique au numérique : le système GSM



Accessibilité de service en GSM



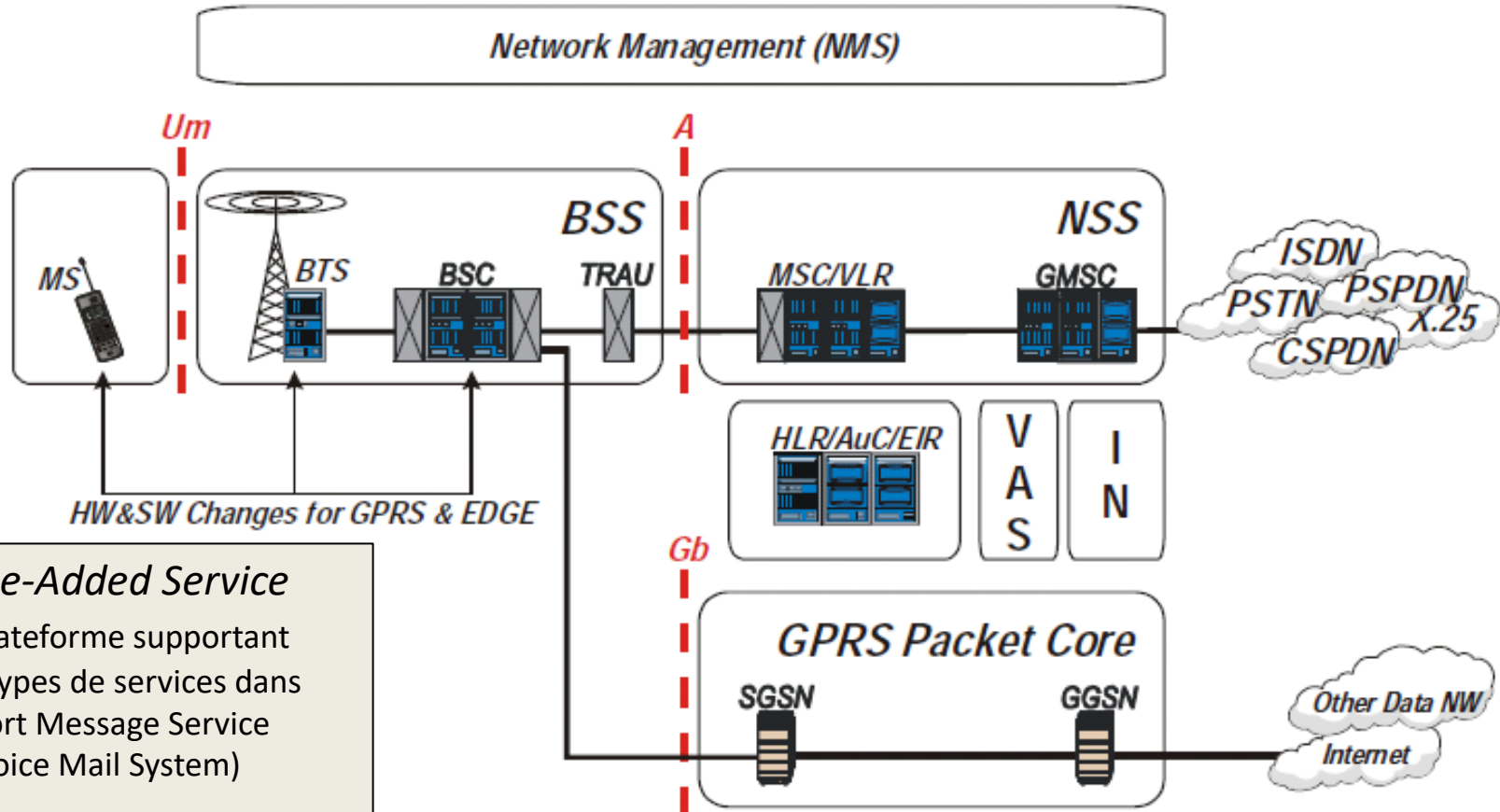
VAS: Value-Added Service

simple plateforme supportant certains types de services dans GSM (Short Message Service Center, Voice Mail System)

IN: Intelligent Network

Plateforme pour créer et fournir des services additionnels comme les abonnements pré-payés.

Paquets de donnée et haut débit en GSM



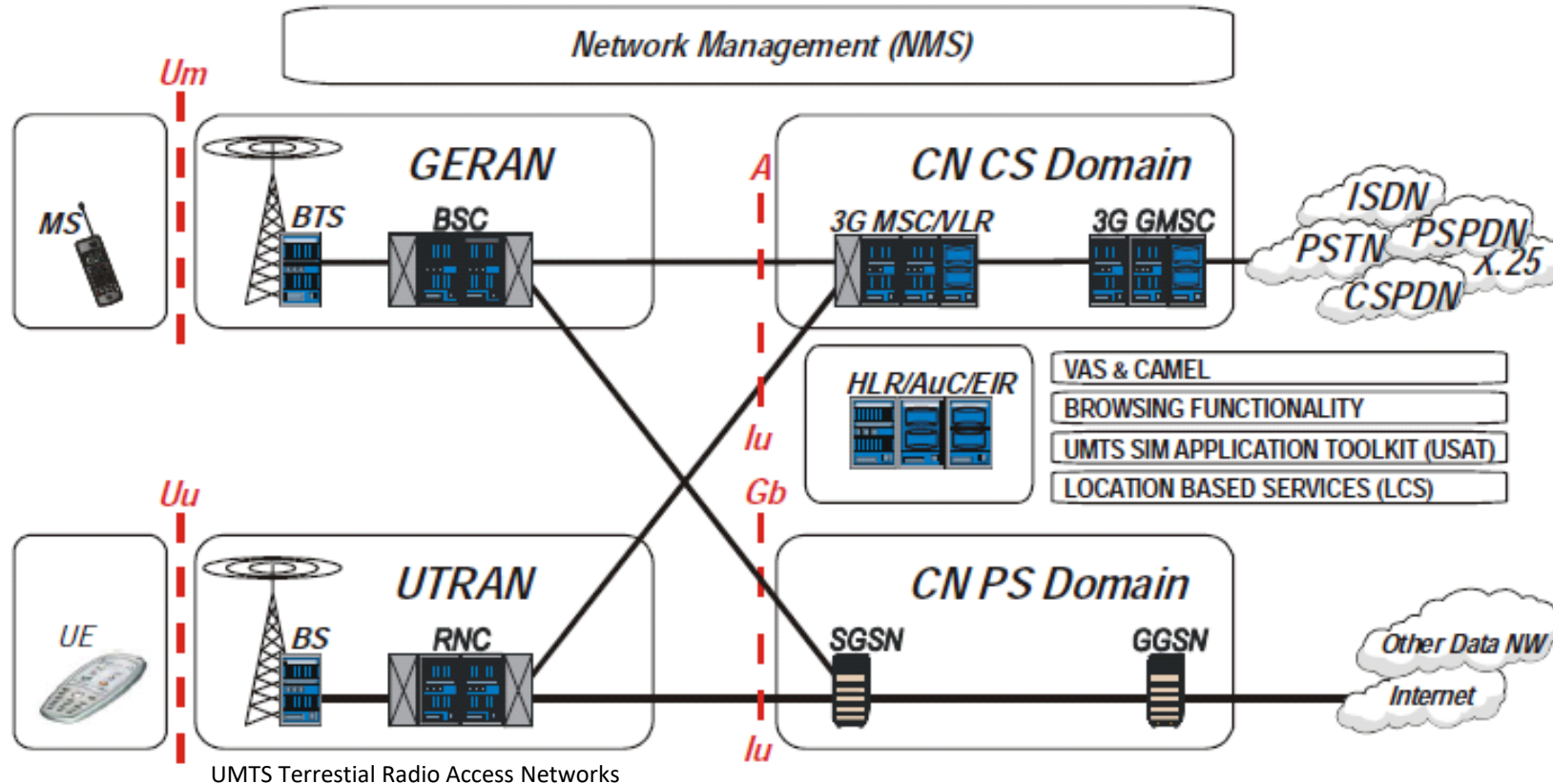
VAS: Value-Added Service

simple plateforme supportant certains types de services dans GSM (Short Message Service Center, Voice Mail System)

IN: Intelligent Network

Plateforme pour créer et fournir des services additionnels comme les abonnements pré-payés.

1^{er} système UMTS : 3GPP R99 (1)

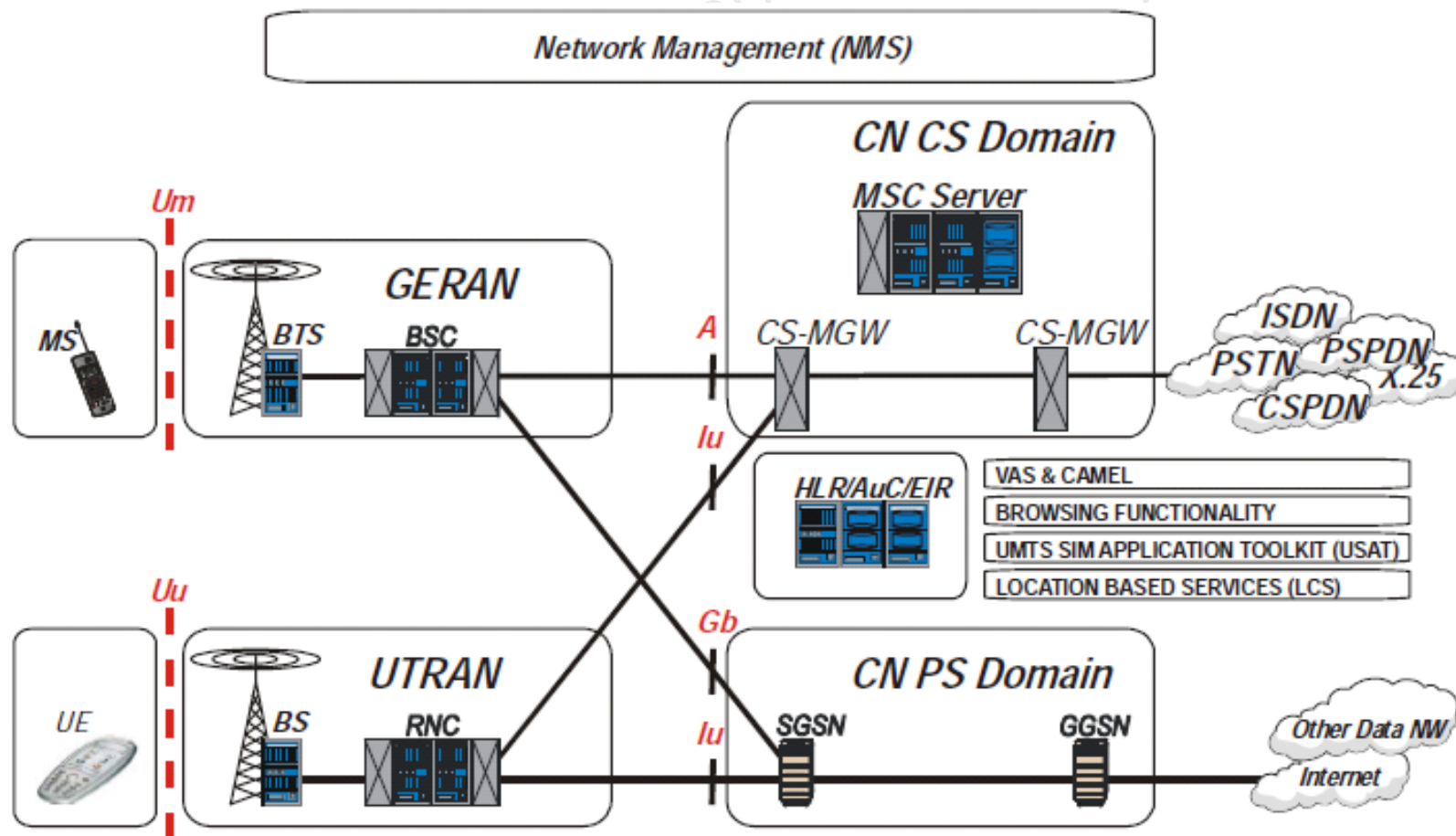


CAMEL: Customized Application for Mobile network Enhanced Logic
- Possibilité de transférer les informations de service entre réseaux

1^{er} système UMTS : 3GPP R99 (2)

- Nouvel interface radio
- Plus adapté au support des paquets de données.
- Interopérabilité avec GSM:
 - interface radio GSM modifié pour diffuser les informations du système CDMA. Les réseaux WCDMA Transfèrent aussi les données GSM.
 - Possibilité de configurer le 2G MSC/VLR pour supporter l'accès radio large bande UTRAN.
- Customised applications for Mobile network Enhanced Logic (CAMEL):
 - Possibilité de transférer des informations de service entre réseaux
 - Dans le futur, CAMEL sera introduit dans presque toutes les transactions entre réseaux.
- Les éléments du domaine CS sont capable de supporter les abonnés 2G et 3G.
 - Changement (mise à niveau) dans MSC/VLR et HLR/AUC/EIR.
 - par exemple SGSN
 - 2G responsable de la gestion de la mobilité (MM) pour la connexion de paquets
 - 3G MM partagée entre RNC et SGSN.
- Services
 - Initialement 3G offre les mêmes services que 2G.
 - Services transformés dans le domaine PS.
- Tendances
 - Separation des connexions entre contrôle et services.
 - Migration du réseau vers le tout IP.
 - Services multimedia fournis par le réseau.

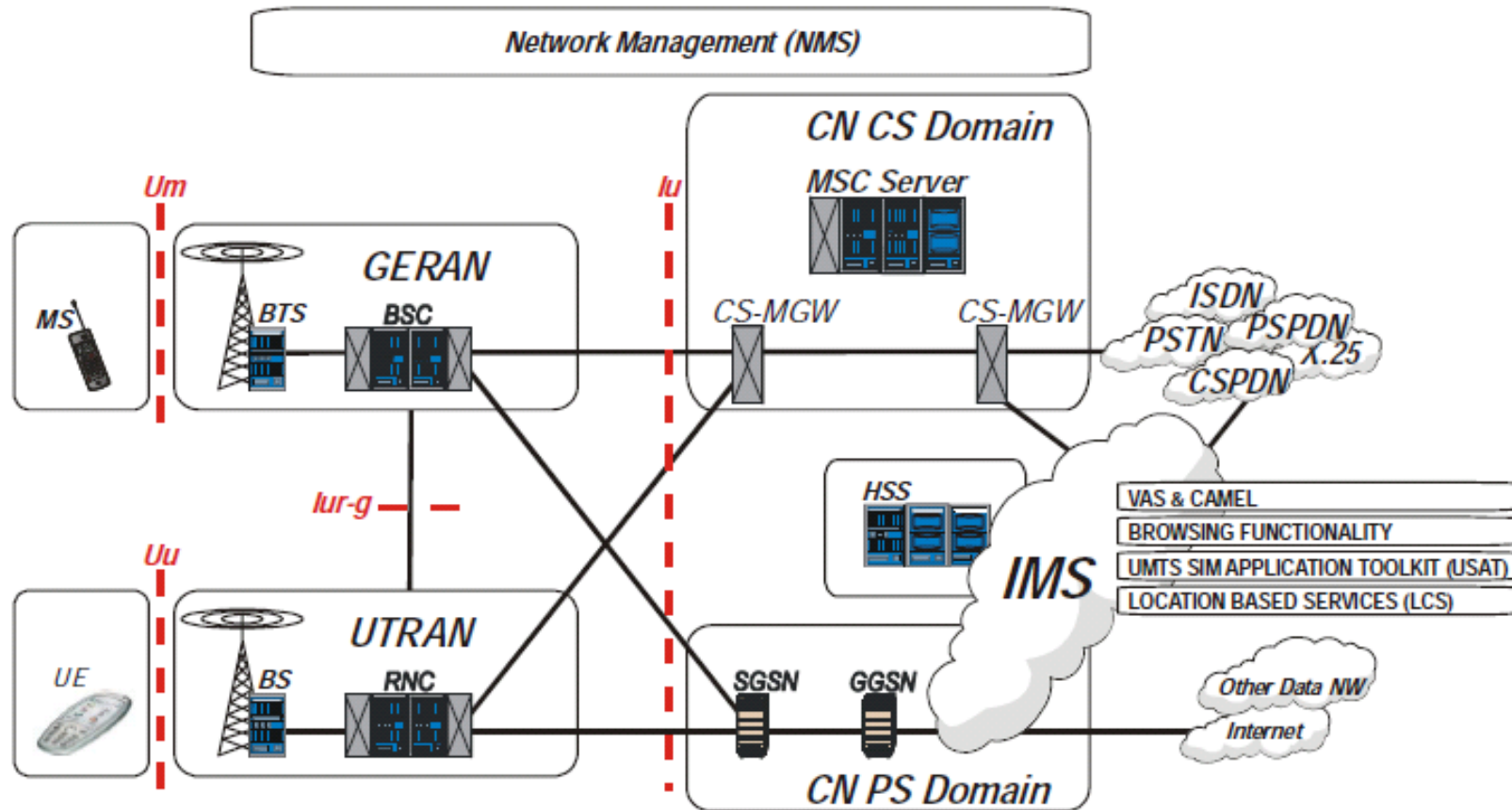
2^{ème} système UMTS : 3GPP R4 (1)



2^{ème} système UMTS : 3GPP R4 (2)

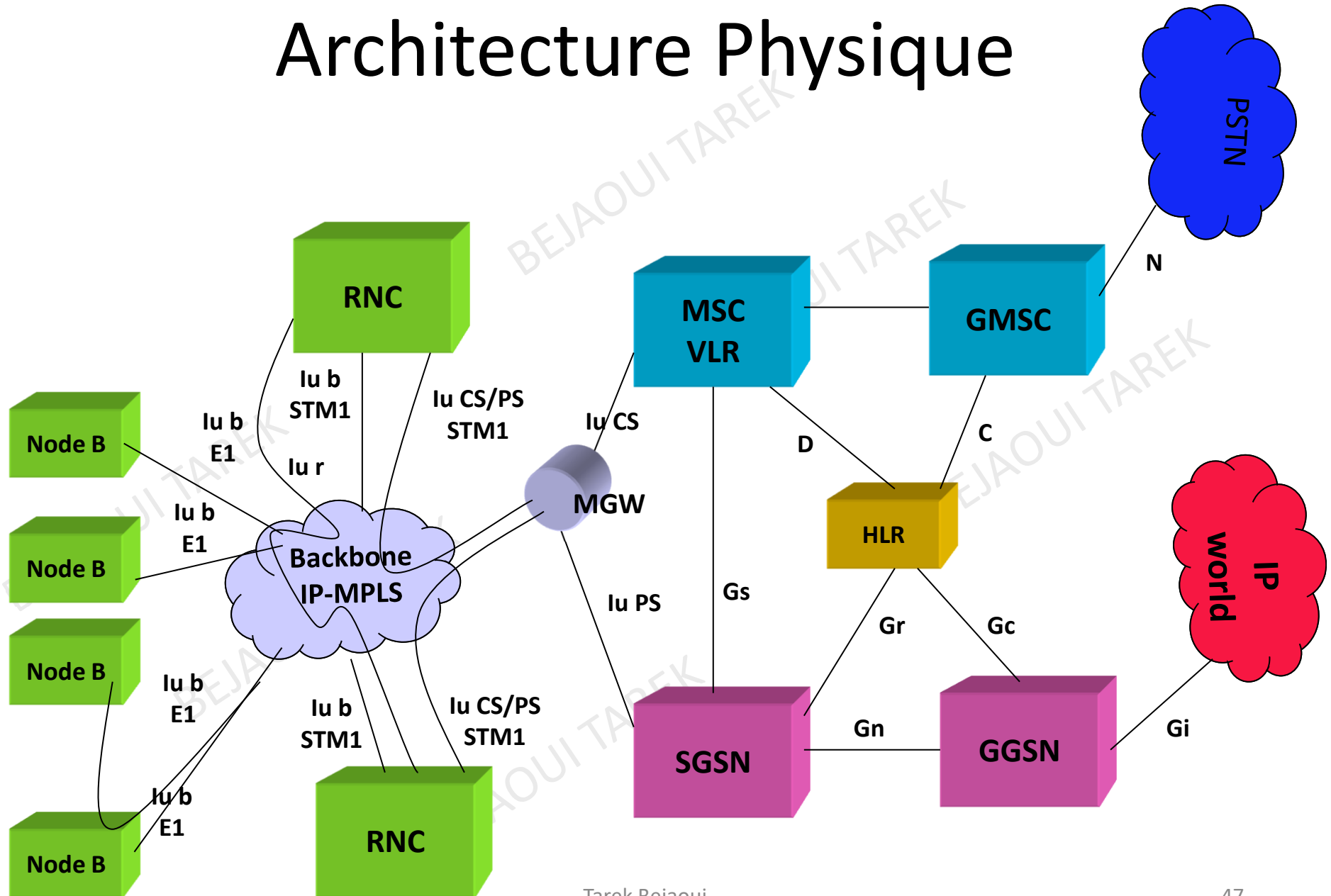
- 3GPP R4 introduit la séparation des connexions, son contrôle et des services pour le domaine Cs du CN.
- Media Gateway (MGW): un élément pour maintenir la connexion et assurer la fonction commutation lorsqu'elle est requise
- MSC server: contrôle le MGW.
- Voix en mode paquets commutés (Voice Over IP).
 - l'appel en commutation de circuit est transformé en appel en mode commutation de paquets dans le MGW.
 - pour une plus grande uniformité les domaines CS et PS sont supportés par le IP Multimedia Subsystem.
- CAMEL aura une connexion aux éléments du domaine paquets (PS).

UMTS en 2005: 3GPP R5 (All IP)



- Le réseau paraît toujours le même aux utilisateurs
 - Développement à l'intérieur du réseau
 - Nouvelle technologie de transport: R99 basée sur ATM; R4, R5 IP based.
- Tout trafic de UTRAN est supposé basé sur l'IP

Architecture Physique



Interface Radio

Modes d'accès en UMTS (1)

2 évolutions de la technique CDMA :

W-CDMA (Wide Band CDMA) et

TD-CDMA (Time Divison CDMA)

Modes d'accès en UMTS (2)

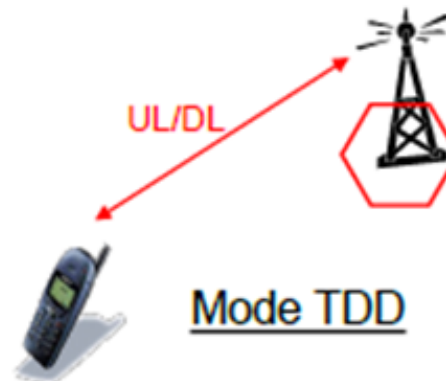
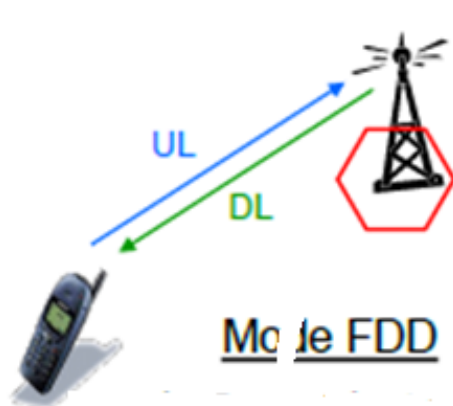
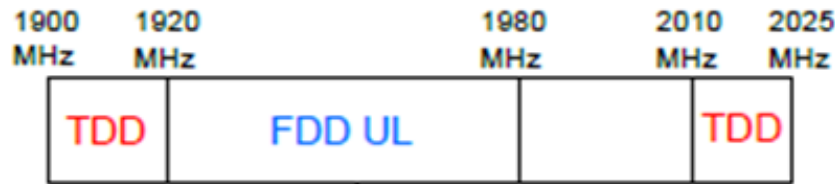
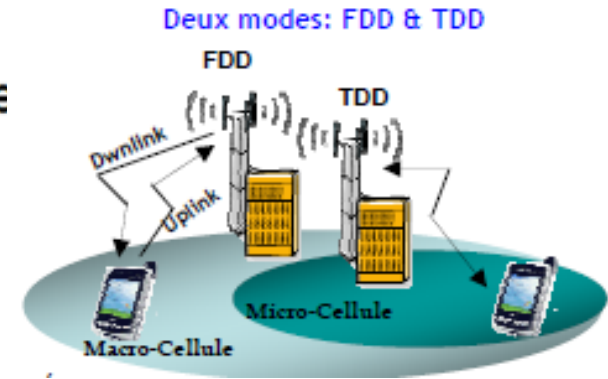
- Bande de fréquences retenue pour l'interface radio WCDMA autour de la fréquence 2 GHz et est partagée en canaux (porteuses) de 5 MHz de largeur de bande.
 - Bande de fréquence organisée de manière à être exploitée en deux modes d'accès radio basés sur des variantes de la technique CDMA avec possibilité d'interopérabilité
 - UTRA-FDD (Frequency Division Duplex based UTRA)
 - UTRA-TDD (Time Division Duplex based UTRA).
- l'ensemble de ces deux interfaces constitue l'UTRA

Modes d'accès en UMTS (3)

- Le choix dépend du :
 - Taux du trafic asymétrique par référence au trafic global dans la zone à servir
 - En terme de services supportés, **W-CDMA** est adapté aux services symétriques (voix et services de données à bas et moyen débit en mode symétrique) , **TD-CDMA** est approprié pour les services de données en mode paquet, à haut débit et asymétrique.
 - La nature des cellules planifiées
 - le **mode FDD** est préconisé pour les **cellules macro et micro** alors que le **mode TDD** est plutôt réservé aux **cellules micro et pico**.

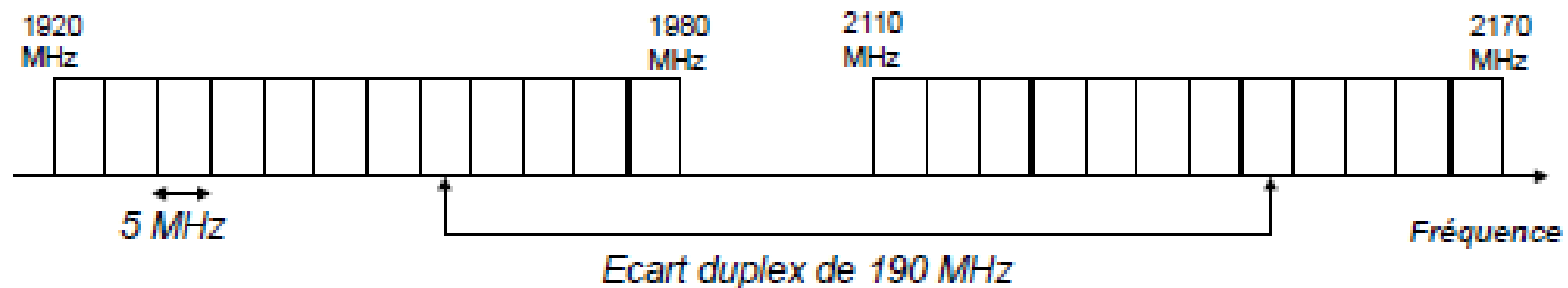
Bandes de fréquences UMTS (1)

- 2 Modes de duplexage => 2 bandes de fréquence
 - Mode FDD (Frequency Division Duplex)
 - Mode TDD (Time Division Duplex)
- En Europe



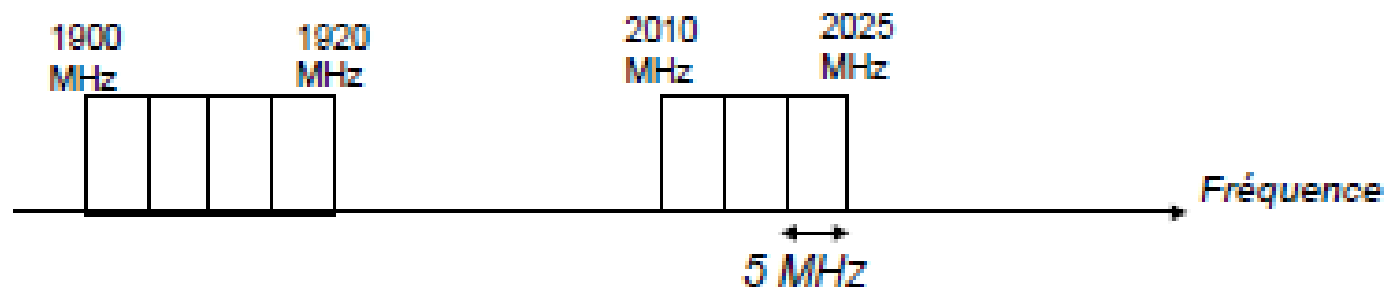
Bandes de fréquences UMTS (2)

- **Mode FDD (Frequency Division Duplex)**
 - 12 porteuses FDD de largeur 5MHz
 - Ecart duplex de 190 MHz
 - Adaptée à un trafic symétrique sur les 2 voies (phonie)



Bandes de fréquences UMTS (3)

- **Mode TDD (Time Division Duplex)**
 - 7 porteuses TDD de largeur 5MHz
 - Le mobile et le Noeud B émettent et recoivent sur la même porteuse, à des instants différents
 - Adaptée à un trafic asymétrique sur les 2 voies (multimédia)
 - Flexibilité dans l'attribution des TS en UL ou en DL



Inconvénients de l'UTRA-TDD

- Interférence entre la voie montante et la voix descendante
- Nécessité de synchroniser les stations de bases entre elles
- Couverture plus restreinte et plus faible mobilité qu'en UTRA-FDD

Les Principes du WCDMA (1)

- WCDMA (Wideband Code Division Multiple Access)
 - => Accès multiple à répartition par code large bande
 - Attribution d'un code spécifique par utilisateur
 - Transmission en simultanée un même porteuse

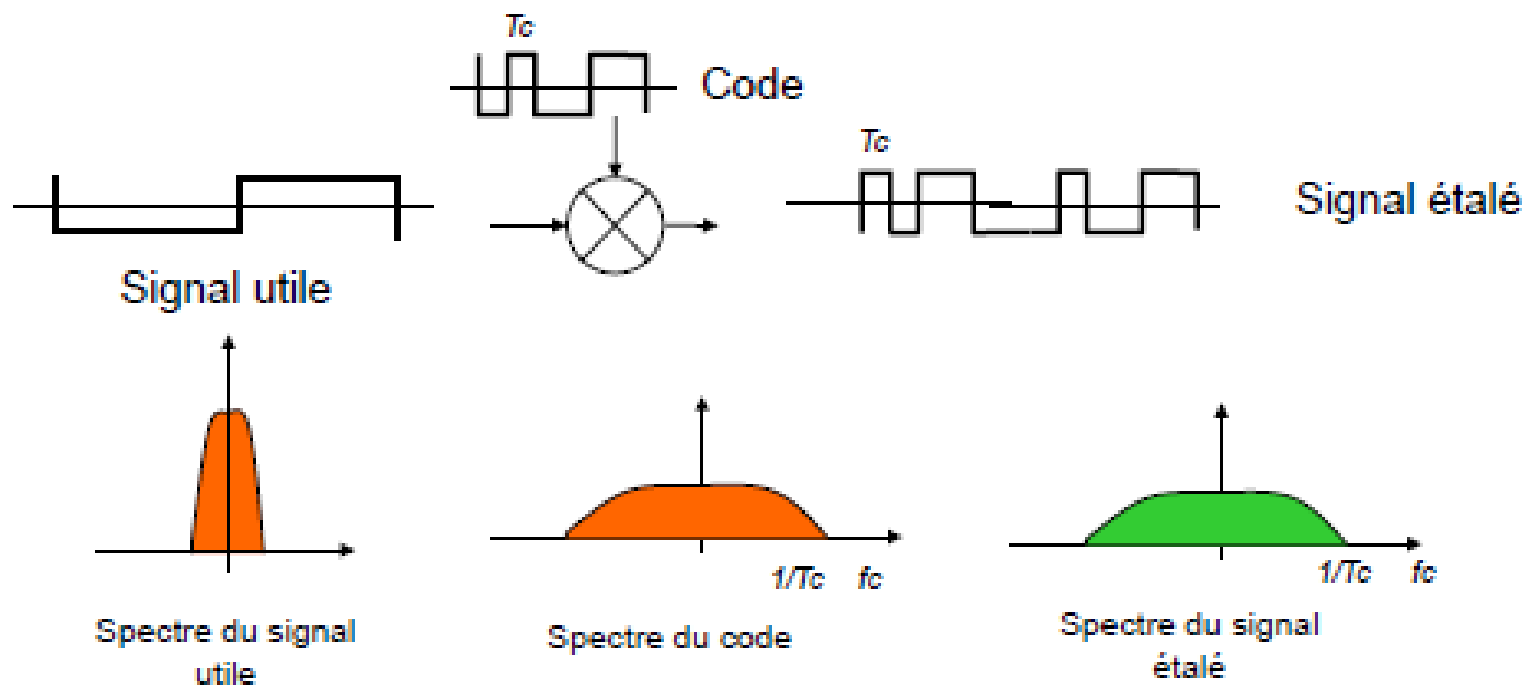


Les Principes du WCDMA (2)

- Le WCDMA se base sur une technique plus ancienne qui est le CDMA
- CDMA permet d'avoir plusieurs utilisateurs sur une même porteuse
- Les transmissions sont numérisées dites à étalement de spectre
- L'étalement de spectre rend le signal moins sensible aux fluctuations sélectives en fréquences
- Le signal est transmis sur une bande de fréquences beaucoup plus large que la bande de fréquences nécessaire

Étalement de spectre (1)

- A l'émission : étalement du spectre par multiplication du signal utile par un code

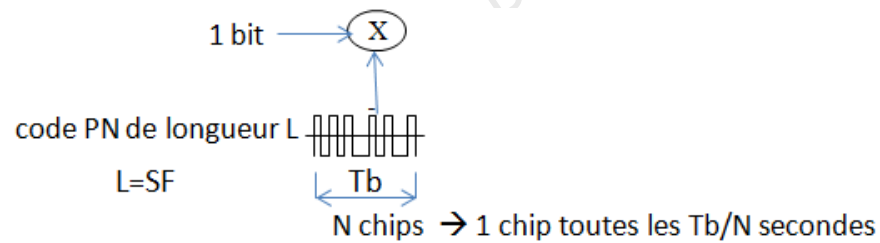


Étalement de spectre (2)

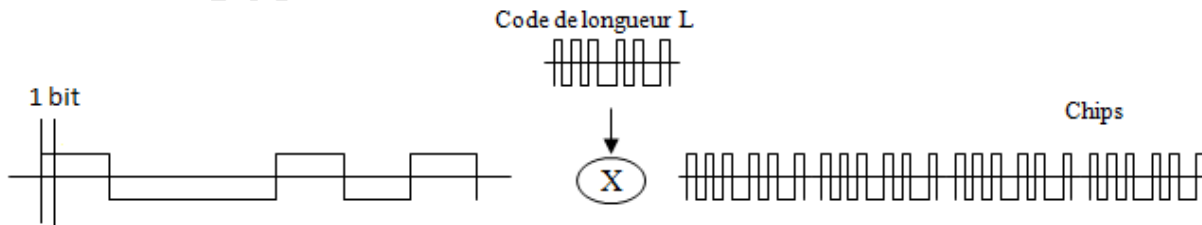
- WCDMA réalise un étalement de spectre selon la méthode de répartition par séquence directe (Direct Sequence)
- Chaque bit de l'utilisateur à transmettre est multiplié (OU exclusif) par un code pseudo aléatoire PN (Pseudo random Noise code) propre à cet utilisateur.
- La séquence du code, constituée de N éléments appelés « Chips » est unique pour chaque utilisateur, et constitue la clé de codage
- La longueur L du code est appelée « Facteur d'étalement SF (Spreading Factor) »

Le facteur d'étalement (1)

- Si chaque symbole a une durée T_b , on a 1 chip toutes les T_b/SF secondes. Le nouveau signal modulé a un débit SF fois plus grand que le signal initialement envoyé par l'utilisateur et utilisera donc une bande de fréquence SF fois plus étendue. La relation entre les débits initial et final est donc :



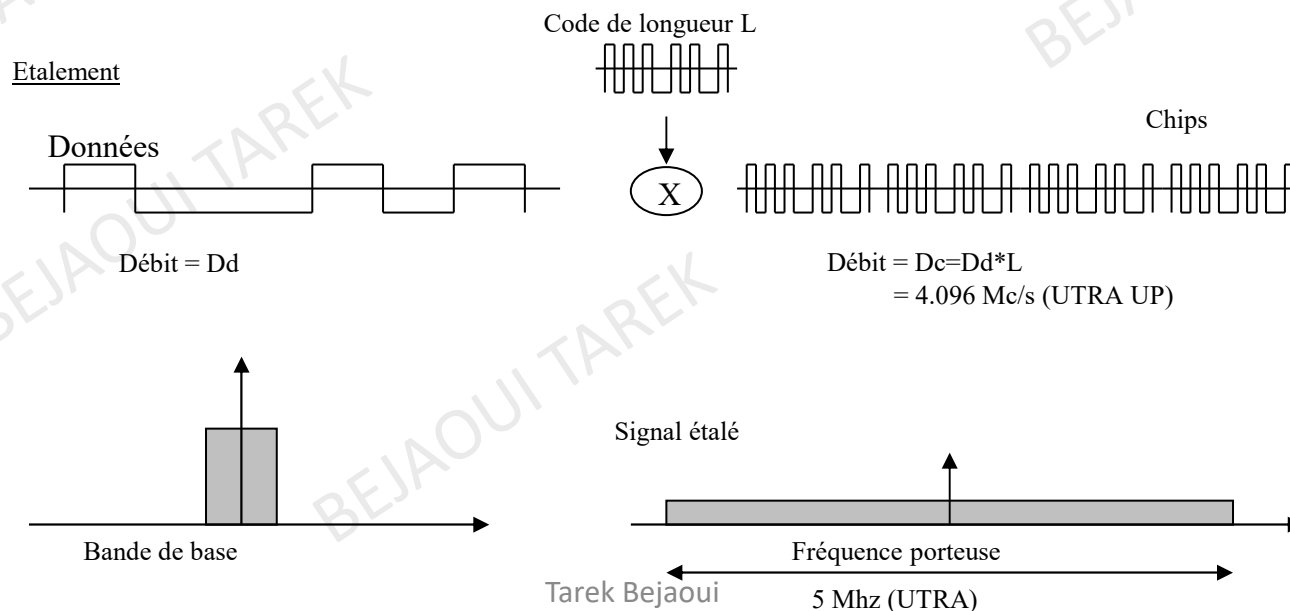
a	b	a⊕b
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0



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

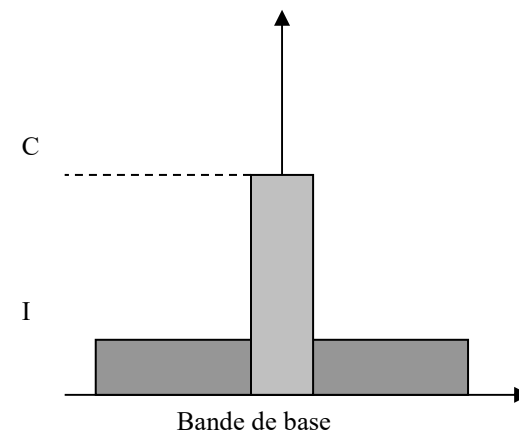
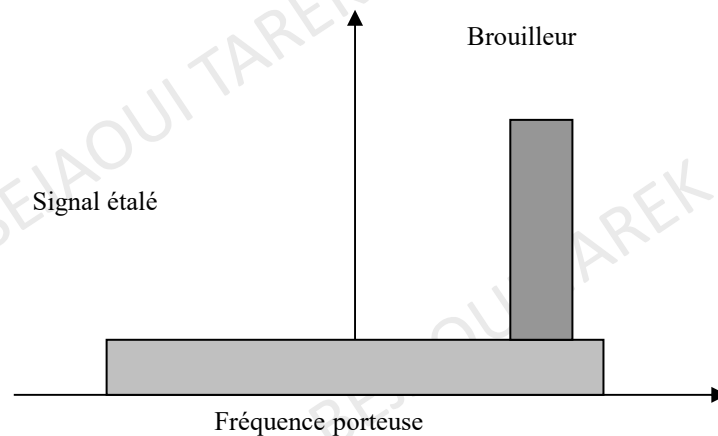
Le facteur d'étalement (2)

- Le canal de communication est composé d'une fréquence et d'un code.
- Plus SF est grand, plus le débit chip (de l'ordre de 3.84 Mcp/s pour le WCDMA utilisé en UMTS) est grand, et plus le débit de données du canal sera élevé → Cela permet de libérer des canaux à débits variables selon les besoins des utilisateurs (bandwidth on demand).



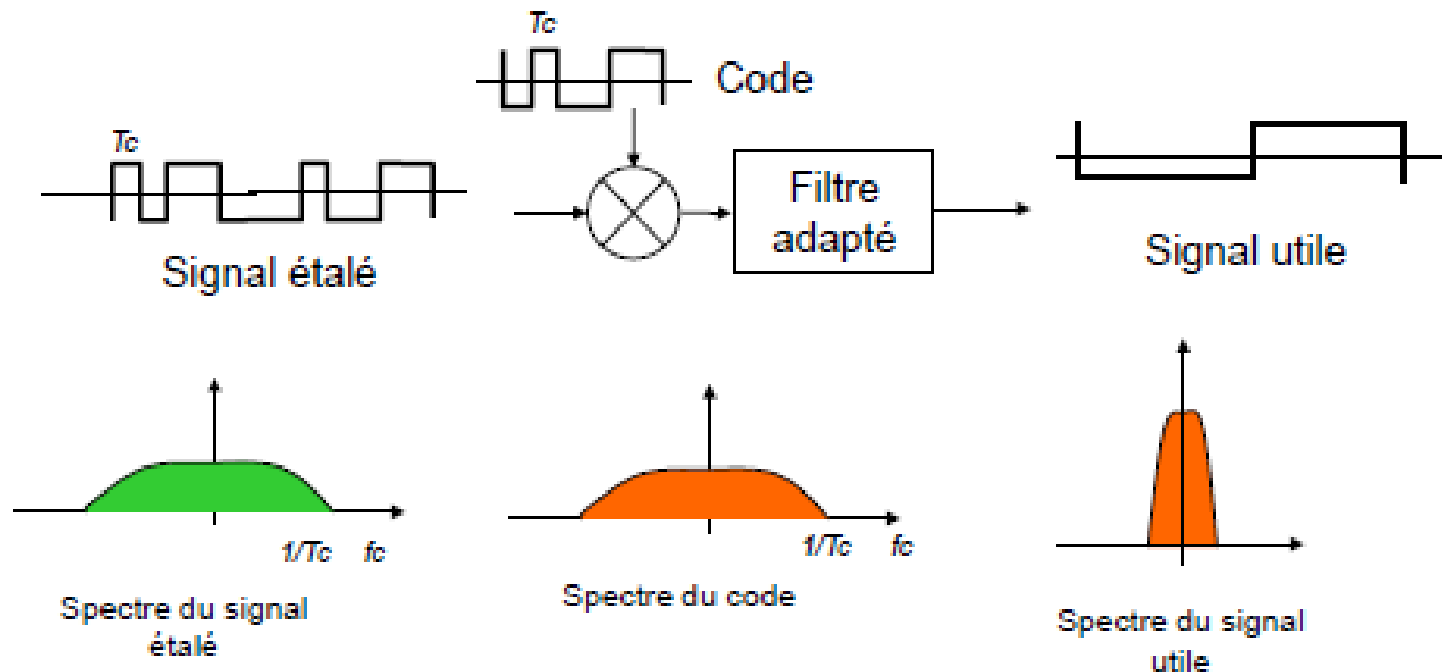
Désétalement de spectre (1)

- Pour récupérer l'information, le récepteur doit effectuer la même opération: il génère la même séquence d'étalement et la multiplie au signal reçu; les données codées par cette séquence sont restaurées (puissance spectrale augmentée) alors que les données des autres utilisateurs restent étalées et les brouilleurs dus au canal sont étalés, non corrélés au signal utile.
- Ceci permet de diminuer le niveau de bruit pour le signal en bande de base : plus l'étalement est important, plus les interférences sont éliminées.



Désétalement de spectre (2)

- A la réception : désétalement par un filtre adapté

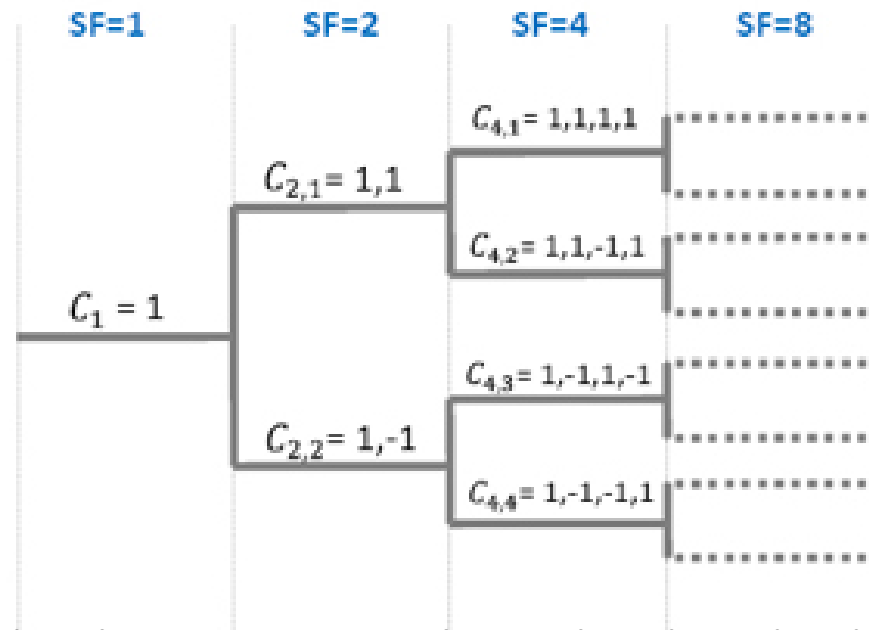


Les codes d'étalement (1)

- 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 CDMA ou codes OVVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor Code) afin de modifier le facteur d'étalement et de conserver l'orthogonalité des différents codes d'étalement.

Les codes d'étalement (2)

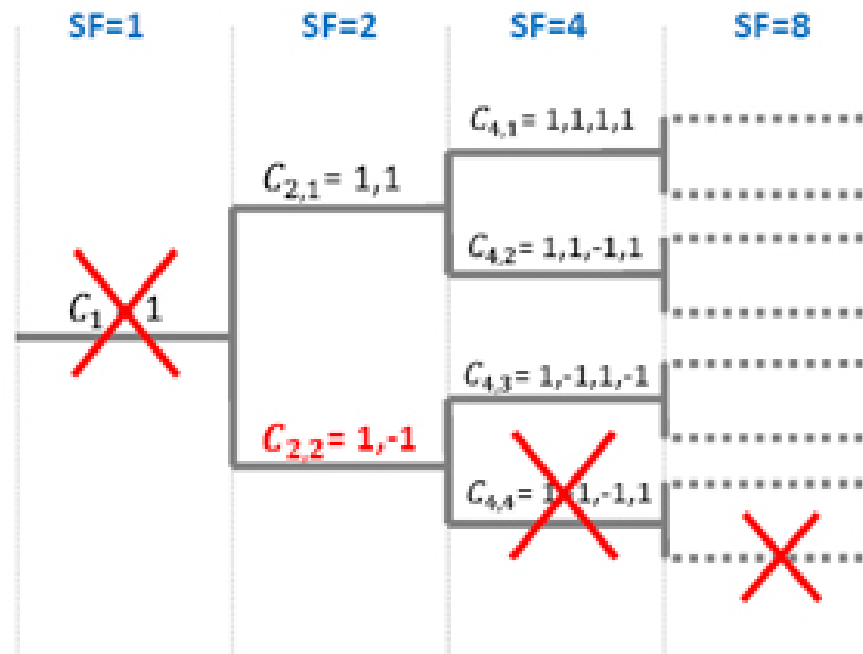
- Ces codes sont définis par un arbre OVSF où chaque nœud possède 2 fils. Les codes des 2 fils sont issus du code de leur père commun, c'est-à-dire que leur code est composé par le code du père et de son complémentaire. L'arbre des codes OVSF ainsi créé peut être représenté sous la forme de la matrice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



- L'arbre montre la relation entre SF et le nombre de codes disponibles pour un étalement donné.

Les codes d'étalement (4)

- Exemple: Le code en rouge 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.



Les codes d'étalement (2)

SF=256/2^k (avec k de 0 à 6) (lien montant)

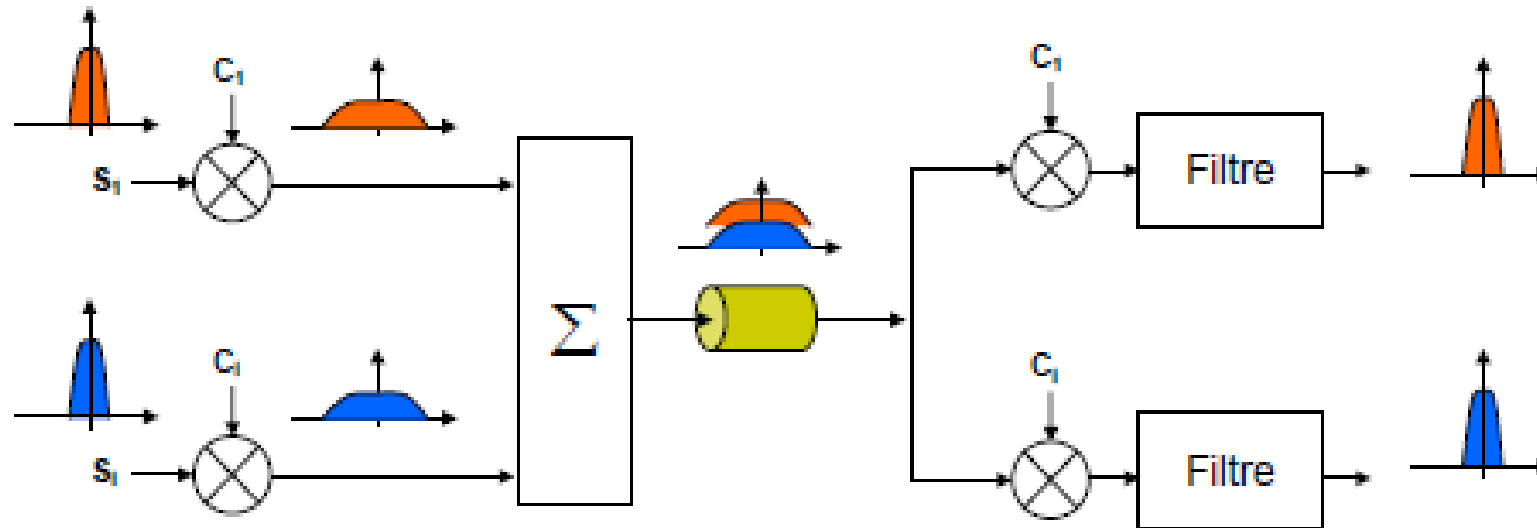
SF=512/2^k (avec k de 0 à 6) (lien descendant)

k = nombre de bits dans les trames des canaux
dédiés au transfert de données

SF ∈ {4, 8, 16, 32, 64, 128, 256, 512}

- le facteur SF détermine simultanément la longueur du code mais également le nombre de codes disponibles pour un étalement SF.

Accès multiple en WCDMA (1)



- **Transmission :**

- Interférences entre tous les signaux émis simultanément par tous les utilisateurs

- **Réception :**

- annulation des interférences par filtrage : le signal utile est récupéré pour chaque utilisateur

Accès multiple en WCDMA (2)

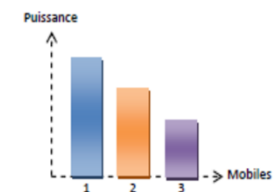
- **Avantages**

- **Transmission à haut débit**
 - 5 MHz par bande
 - => suffisant pour atteindre le débit Max prévu (2 Mbits/s)
- **Simplification de la planification cellulaire**
 - GSM : communications différenciées par fréquences porteuses
 - CDMA : communications différenciées par les codes
 - => des cellules voisines peuvent utiliser les même fréquences.
- **Grande capacité d'accès multiple**

- **Inconvénients**

- **Effet proche-lointain**
 - tous les mobiles doivent être reçus à la même puissance
 - => **contrôle de puissance performant nécessaire**

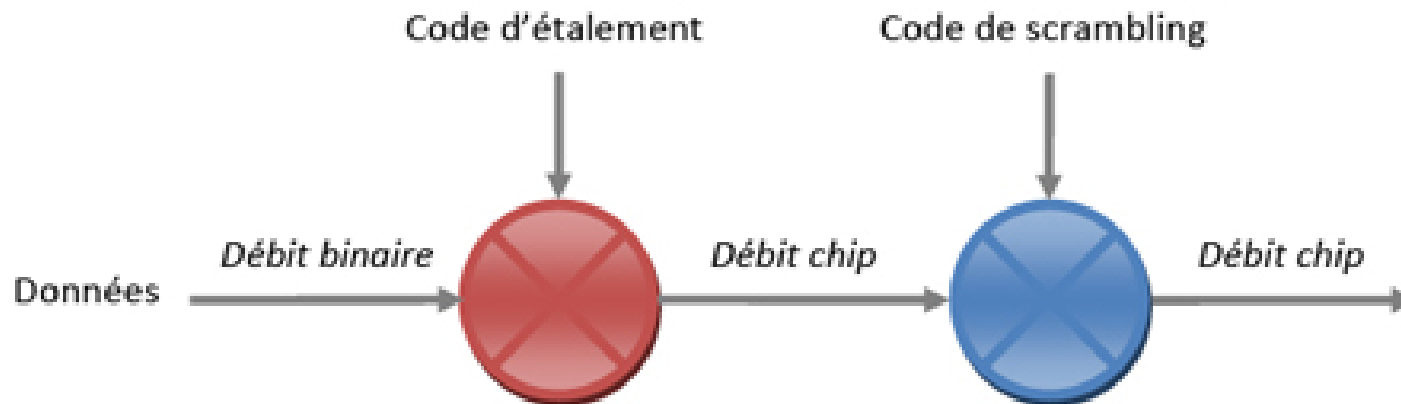
Sans contrôle de puissance



Puissance Mobile 1 > Puissance Mobile 2 > Puissance Mobile 3

Codes d'étalement et d'embrouillage (1)

- W-CDMA utilise le mode de duplexage FDD (Frequency Division Duplex) → on parle alors de UTRA FDD
- Outre l'étalement (channelisation), le WCDMA applique une autre opération essentielle, l'embrouillage (scrambling).



Codes d'étalement et d'embrouillage (2)

- Le Scrambling effectué par l'émetteur permet de séparer les différents signaux d'un même terminal ou d'une même station de base.
- Le Scrambling ne modifie pas la bande passante ni le débit;
- L'étalement peut ainsi être effectué par plusieurs émetteurs avec le même code d'étalement sans compromettre la détection des signaux par le récepteur.
- L'embrouillage fait appel aux codes de « Gold » qui sont une combinaison linéaire de plusieurs séquences. N
- Il existe un arbre de codes d'étalement pour chaque code d'embrouillage. Cela signifie que différents émetteurs peuvent utiliser leurs arbres de codes indépendamment.

WCDMA : Relations entre le code d'étalement et le code d'embrouillage (3)

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

WCDMA (4)

- W-CDMA utilise deux bandes passantes de 5 Mhz, l'une pour le sens montant, l'autre pour le sens descendant.
- Le débit maximal supporté par un seul code est de 384 kbit/s.
- Pour les services à haut débit, plusieurs codes sont nécessaires pour supporter un débit de 2 Mbit/s.

Avantages du W-CDMA

De nombreux avantages par rapport aux technologies utilisées 2G:

- Sécurité nettement améliorée, 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.

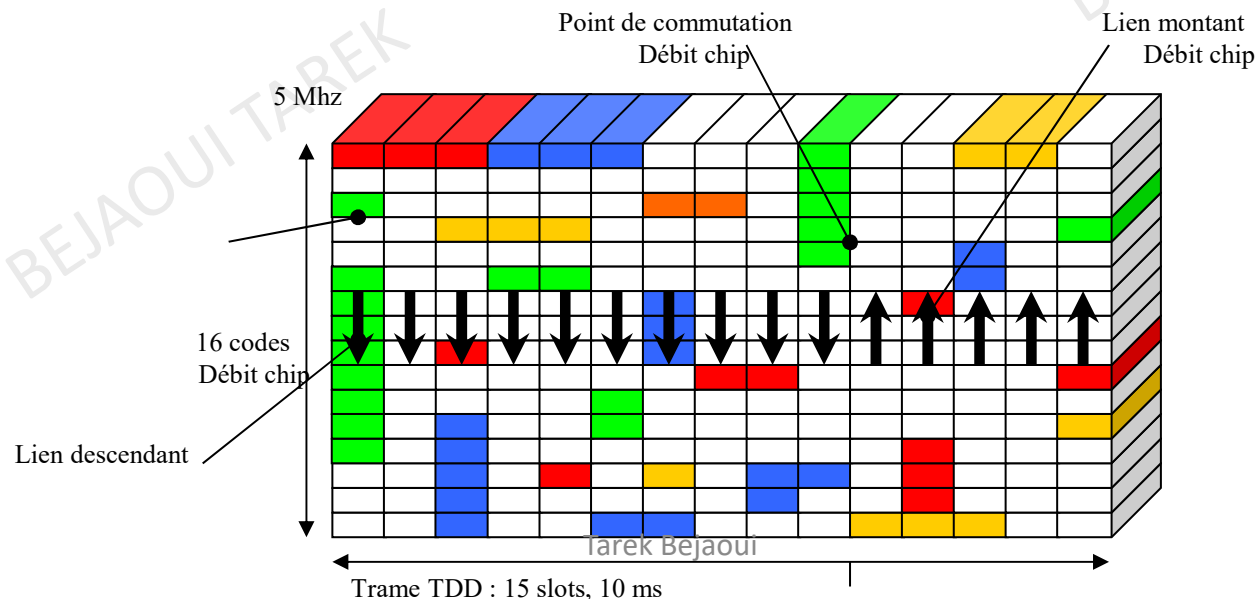
Plusieurs émetteurs peuvent partager la bande passante. Cela permet d'obtenir des débits supérieurs, en plus d'être variables. De plus, ce partage évite le multiplexage existant en 2G.

Mode UTRA-FDD

- UTRA-FDD basé sur la technique WCDMA qui correspond à la technique DS-CDMA (ou DSSS-Direct Sequence Spread Spectrum) avec un étalement sur une bande de 5 MHz → un canal physique est complètement défini par la fréquence de la porteuse et par les codes CDMA affectés au canal.
- En mode FDD, la distinction entre les liens montant (UL) et descendant (DL) est assurée par l'utilisation d'une paire de porteuses séparées par un décalage constant. La séparation entre les liens montant et descendant n'est pas très adaptée au transport de trafic asymétrique.
- Duplex fréquentiel FDD :
 - 1920 à 1980 MHz entre mobile et station de base
 - 2110 à 2170 MHz entre station de base et mobile

Mode UTRA-TDD (1)

- Le mode UTRA-TDD ou TD-CDMA est basé sur la combinaison des deux modes d'accès multiples TDMA et DS-CDMA (à étalement sur une bande de 5 MHz).
- Le mode d'accès TDMA permet un multiplexage temporel par l'usage des timeslots par référence à une structure de trame. La trame s'étale sur un intervalle de 10 ms et est constituée de 15 timeslots.
- Un canal physique ou unité de ressource, est défini par la connaissance de la fréquence de la porteuse, les codes CDMA et le timeslot attribués au canal en question.

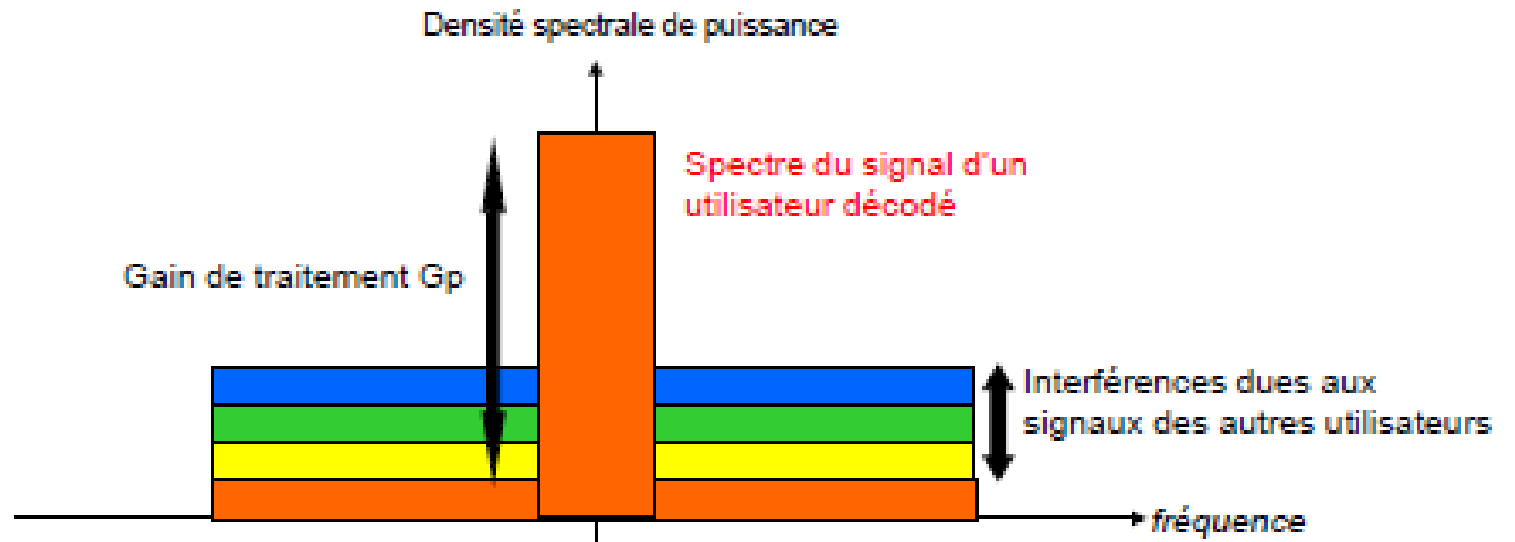


Mode UTRA-TDD (2)

- La BP est utilisée pour les deux sens. Elle comprend donc une composante TDMA fondée sur la trame GSM en plus de la séparation par code.
- Contrairement au mode FDD, le mode TDD ne nécessite qu'une seule porteuse pour supporter les deux liens (montant et descendant), la distinction entre les deux liens étant assurée par la partition de la trame en deux groupes de timeslots.
- Cette technique de duplexage est très adaptée au transport de trafic d'asymétrie variable et permet d'optimiser les ressources par la mise à jour de la partition entre les deux liens.
- Duplex fréquentiel TDD :
 - 1885 à 1920 MHz (bande de 35 MHz) et
 - 2010 à 2025 MHz (bande de 15 MHz)

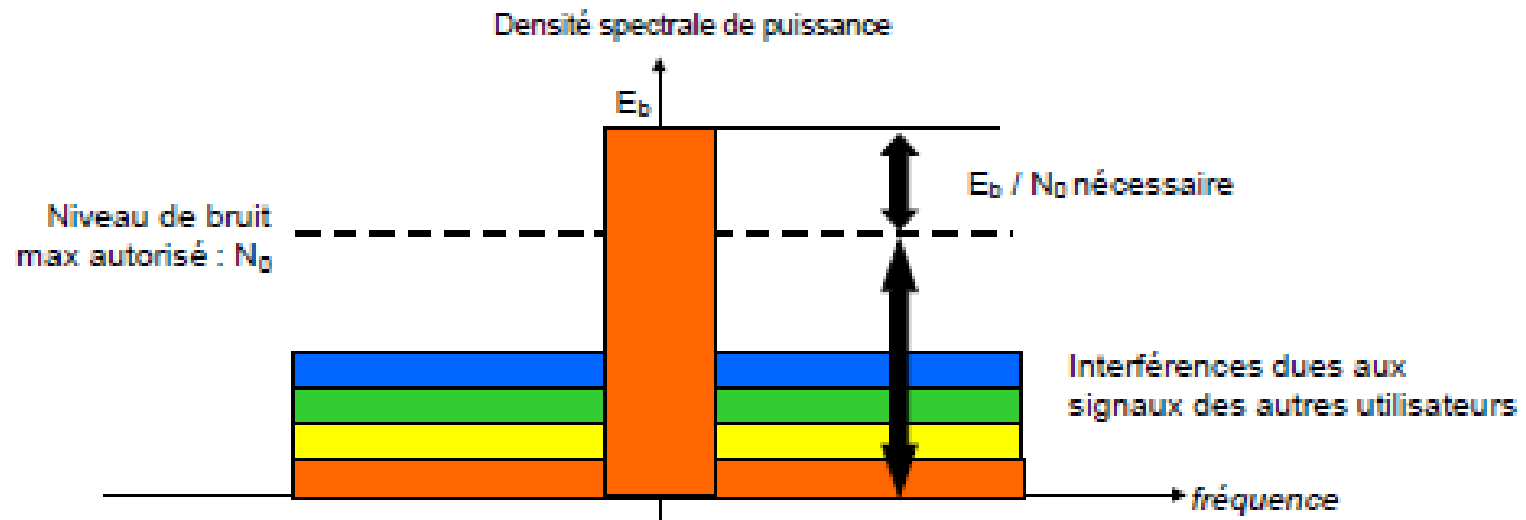
Couverture et capacité d'un système WCDMA (1)

- Spectre obtenu à la réception avant et après désétalement d'un utilisateur



Couverture et capacité d'un système WCDMA (2)

- **Condition nécessaire au décodage**
 - le signal doit être à un certain seuil E_b / N_0 au dessus du niveau de bruit total N_0 .
 - Ce seuil dépend du service demandé et de la vitesse du mobile)



Couverture et capacité d'un système WCDMA (3)

- **Limites de couverture**

- Considérons deux mobiles situés à la même distance d'une station de base
 - L'utilisateur 1 (U1) transmet des données à 144 kbits/s
 - L'utilisateur 2 (U2) téléphone à 12,2 kbits/s

=> La puissance de U1 reçue avant désétalement est plus importante

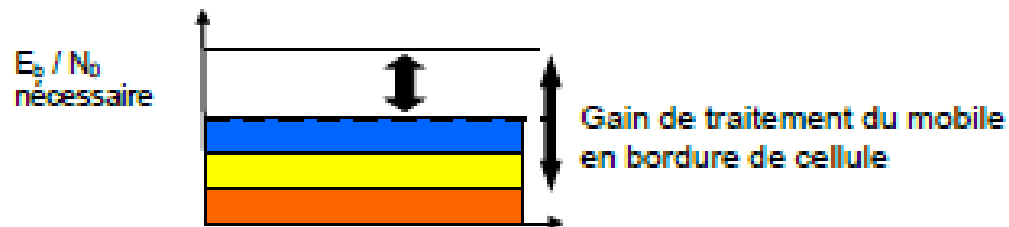
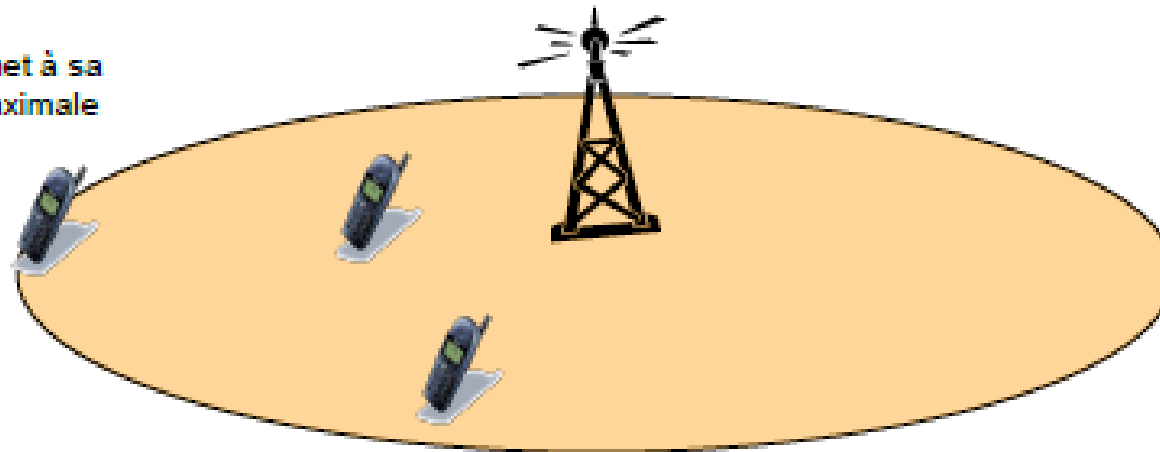
- Si les mobiles s'éloignent, U1 sera le premier à atteindre son niveau maximal d'émission

=> en UMTS, la taille de la cellule dépend du débit et donc du service utilisé : la cellule sera plus petite pour les forts débits que les bas débits.

Couverture et capacité d'un système WCDMA (4)

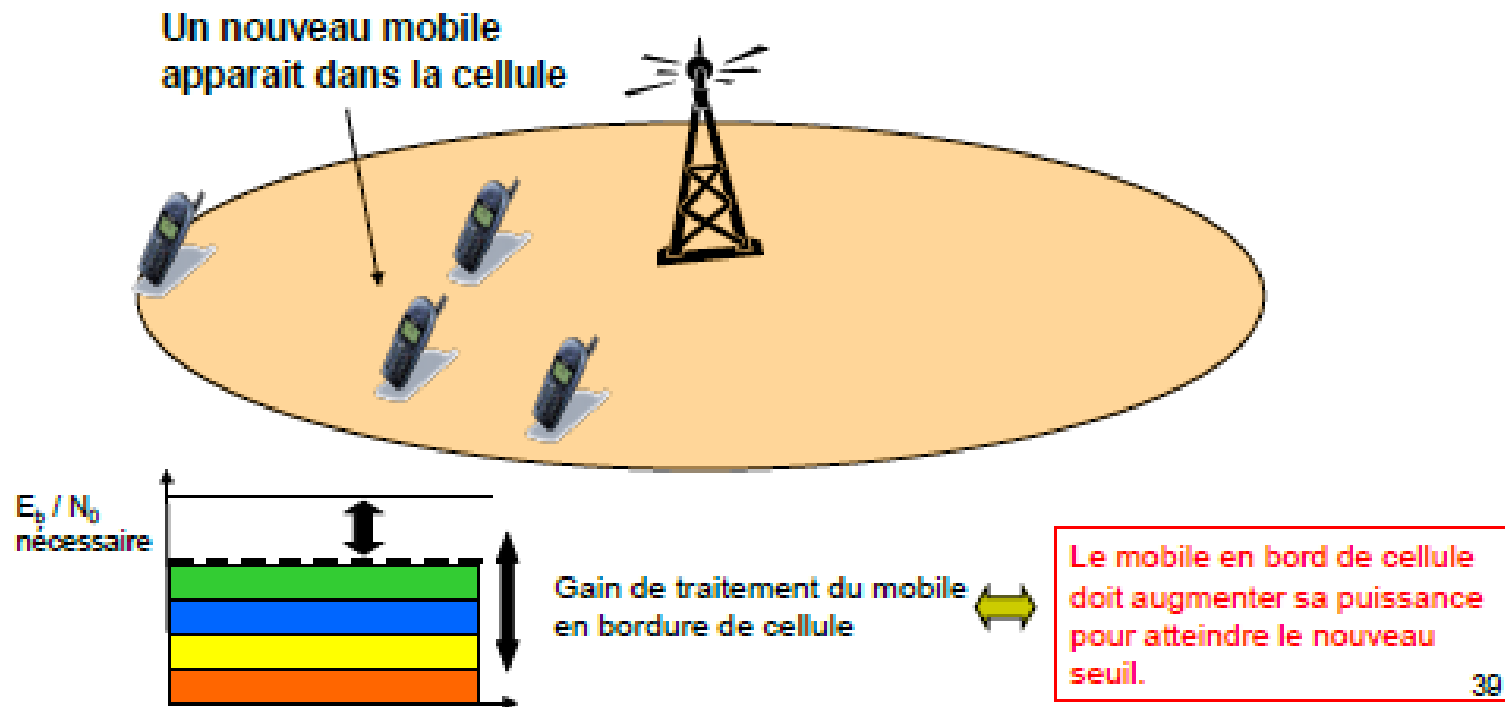
- **Respiration de cellules**

Ce mobile emet à sa puissance maximale



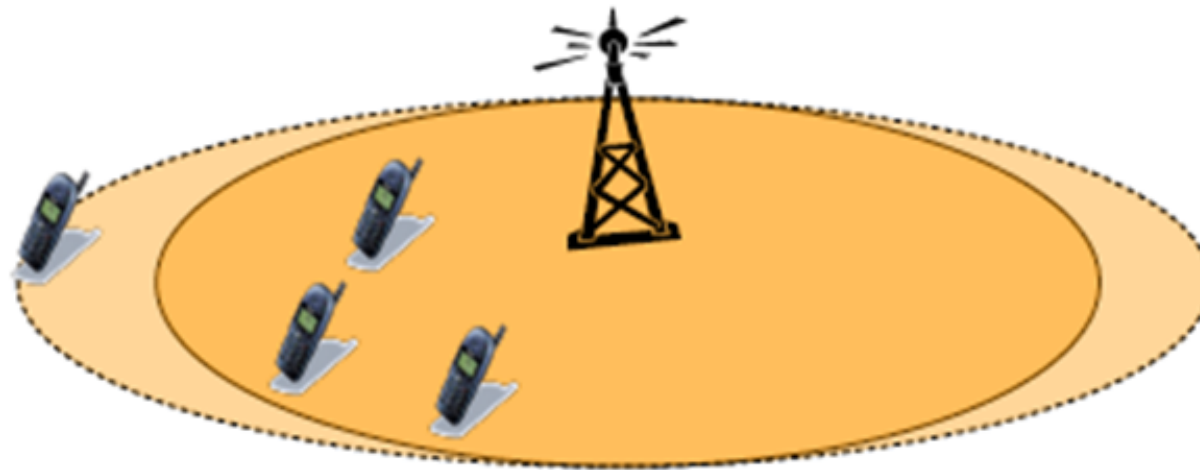
Couverture et capacité d'un système WCDMA (5)

- **Respiration de cellules**



Couverture et capacité d'un système WCDMA (6)

- **Respiration de cellules**



Comme il ne peut augmenter sa puissance, la communication est perdue => le mobile est rejeté, et la cellule rétrécit !

=> En UMTS, la taille de la cellule est dynamique, et dépend de sa charge (respiration cellulaire).

Paramètres de l'interface radio : Seuils d'interférence

- Tous les utilisateurs se partagent la même fréquence pour établir les liaisons radio pour communication → l'effet d'interférence qui se traduit pour le cas du WCDMA par le rapport (E_b/N_0) prend une importance primordiale dans la définition des stratégies de gestion des liaisons radio entre les nœuds B et les terminaux mobiles (contrôle de puissance, en particulier).
Eb : énergie par bit, N0 : densité de bruits (Interf+Br)
- Pour une valeur de BER et débit spécifiques le rapport E_b/N_0 ne doit pas descendre au dessous d'une valeur critique (E_b/N_0)seuil pour garantir une réception correcte.

Paramètres de l'interface radio :

Contrôle de puissance (1)

- La procédure de contrôle de puissance constitue une procédure critique qui influe beaucoup la QoS et la capacité du réseau.
- Objectif : minimisation de l'interférence sur les liens montant et descendant.
- Il est configuré au niveau de l'interface radio en fonction du mode d'accès (TDD ou FDD) et en fonction des canaux mis en jeu (canaux communs ou dédiés et canaux de contrôle ou bien de trafic) - (Dans la suite du cours, nous nous limitons au contrôle de puissance appliqué aux canaux dédiés au transport de données (canaux DPDCH)).

Paramètres de l'interface radio :

Contrôle de puissance (2)

- **Sur le lien montant**, le contrôle de puissance est du **type boucle fermée pour le mode FDD** et du **type boucle ouverte pour le mode TDD**.
 - En mode FDD, la station de base estime le SIR à partir du signal reçu sur le DPCH et commande la puissance d'émission du mobile (à l'aide des messages TPC commands).
 - En mode TDD, c'est le mobile qui contrôle sa puissance d'émission en faisant référence au SIR seuil (fixé à l'avance par les couches hautes) et à la valeur d'interférences mesurée au niveau de la station de base et diffusée au mobile concerné.
- **Sur le lien descendant**, la procédure est la même pour les deux modes TDD et FDD et est du type boucle interne (fermée) basée sur le SIR (SIR-based inner loop). La mesure du SIR est effectuée au niveau du mobile et la commande de mise à jour de la puissance d'émission est diffusée vers la station de base qui exécute la commande.

Remarque : Les commandes de contrôle de puissance sont exécutées sur tous les codes se ramenant au même canal logique

Paramètres de l'interface radio :

Contrôle de puissance (3)

- Dans les spécifications de l'UTRA, la procédure de contrôle de puissance en mode TDD , diffère d'un sens à l'autre
 - Pour le lien descendant, le contrôle de puissance rapide en boucle fermée, et fondé sur le CIR est utilisé après l'émission initiale du terminal mobile.
 - Cette procédure est exécutée **1500 fois par seconde (1500 Hz)** et par **pas de 1 dB** , pour laquelle la station de base réalise de fréquentes estimations du CIR et les compare à la valeur du CIR cible.
 - Si le CIR estimé est supérieur au CIR cible alors la station de base demande au mobile de réduire sa puissance d'émission. Cette puissance sera augmentée si le CIR estimé est inférieur au CIR cible.

Paramètres de l'interface radio :

Contrôle de puissance (4)

→ Pour le contrôle de puissance sur le sens montant, exécuté en boucle ouverte, permet de réaliser une estimation des pertes du canal (path loss et fast fading) au niveau du sens descendant.

- Sur le lien montant, le contrôle de puissance est de type lent et conformément aux spécifications de l'UTRA TDD, il est exécuté **100 fois par seconde, par pas de 1 dB.**
- Lors d'un établissement d'un appel, la valeur du CIR pour chacun des time slots est estimé selon :

$$CIR_i = P_i - I_i - L_{PCCPCH} + FastFading - C$$

Paramètres de l'interface radio :

Contrôle de puissance (5)

- Après l'initiation de l'appel, le rapport E_b/N_0 est relié au C/I par la formule :

$$(E_b/N_0) = (W/D) \times (C/I)$$

- Il dépend du débit par classe de service, de la puissance montante P_i issue de chaque terminal, de l'affaiblissement de parcours, du fading rapide et des interférences.
- Le seuil minimal et maximal auxquels est comparé le rapport E_b/N_0 relatif à chaque terminal dépend du type de service considéré.
 - Pour le service voix, $2.5 \leq E_b/N_0 \leq 5$,
 - Pour les services de données temps réel, $0.5 \leq E_b/N_0 \leq 1.5$
 - Pour les services de données NRT, $0.25 \leq E_b/N_0 \leq 1$

Paramètres de l'interface radio :

Contrôle de puissance (3)

- Dans 3GPP relatives aux procédures de mesures effectuées par l'équipement terminal, ce dernier peut être en liaison avec 32 cellules au maximum (y compris la cellule courante) utilisant la même fréquence (intra-frequency TDD cells), ou 32 cellules utilisant jusqu'à 2 porteuses TDD différentes (inter frequency cells) → La différence se manifeste au niveau du temps de remontée de mesures.
- Un terminal dans l'état « CELL_DCH », pour lequel un canal dédié lui est alloué, devrait être capable de réaliser des mesures du RSCP (Received Signal code Power), qui correspond à la puissance reçue sur un code après « désétalement ».
- Cette mesure se fait sur le canal physique PCCPCH (Primary Common Control Physical Channel) qui transporte le canal de diffusion BCH (Broadcast Channel) utilisé pour transmettre des informations spécifiques au réseau d'accès ou à une cellule donnée.

Paramètres de l'interface radio :

Contrôle de puissance (4)

- Le temps de mesure du RSCP pour le cas du TDD à 3,84 Mcps, en intra fréquences est de **200 ms** et est de **480 ms** en inter fréquences, en considérant 6 cellules dans le "***monitoring set***" du mobile.
- Les cellules de la liste "***monitored set***" sont les cellules que les mobiles mesurent constamment mais pour lesquelles la valeur du rapport puissance reçue sur interférence n'est pas suffisamment importante pour être ajoutées à la liste "***active set***".
- Les cellules de la liste "***active set***" sont celles qui sont impliquées dans une situation de ***handover***, c'est à dire que toutes ces cellules supportent une ou plusieurs connexions avec un même mobile.

Paramètres de l'interface radio :

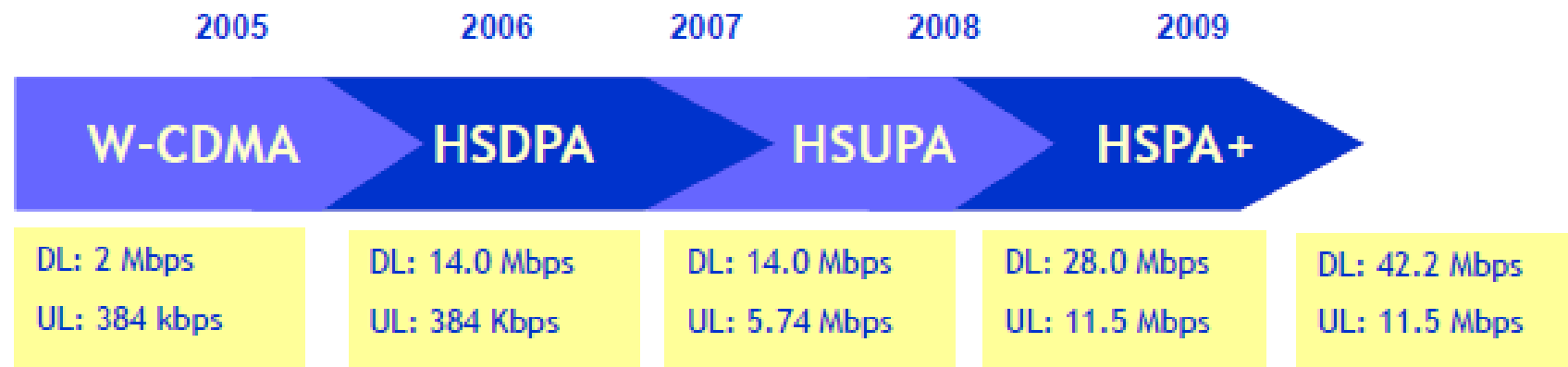
Contrôle de puissance (5)

- L'identification d'une nouvelle cellule dans le "**monitoring set**" se fait dans un délai de **800 ms** .
- Dans cet état CELL_DCH du terminal (pour lequel un canal dédié lui est alloué), la mesure du ISCP (Interference Signal Code Power) qui correspond à l'interférence reçue sur un code après désétalement est faite sur un time slot du lien descendant toutes les **400 ms**.

EVOLUTION DU RÉSEAU UMTS

Evolution du réseau UMTS

- 2006 – 2009 : Etude et déploiement des réseaux High Speed Packet Access



High Speed Downlink Packet Access (HSDPA)

- Réseaux dits 3.5G, dotés d'équipements W-CDMA mis à niveau 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 → 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.

High Speed Uplink Packet Access (HSUPA)

- Créé par Nokia / EUL pour 3GPP
- Variante de HSDPA sur la voie montante
- Débit sur lien montant jusqu'à 5.76 Mbps

Technologie eHSPA ou HSPA+

- Technologie définie par les spécifications 3GPP v7 et v8
- **Objectif :**
doubler la capacité de transmission pour les données et de tripler la capacité de communication pour la voix sans devoir modifier de manière conséquente les réseaux mobiles actuellement en place, tout en garantissant la qualité des différents services.
- Débits annoncés sont de 28 à 42 Mbps en voie descendante et de 11 Mbps en voie montante

Technologie eHSPA ou HSPA+

- HSPA+ est une évolution de HSDPA et HSUPA définie dans 3GPP V5 et V6.
- Pour ce faire, le canal de base du réseau UMTS de 5 MHz est conservé, mais il offre de nouvelles fonctionnalités en employant les techniques :
 - MIMO 2x2 pour le canal descendant;
 - HOM (High Order Modulation) mode 64QAM pour le canal descendant et en mode 16QAM pour le canal montant;
 - CPC (Continuous Packet Connectivity pour la Gestion de l'autonomie) mode DTX/DRX et Enhanced CELL_FACH;
 - MBSFN (Multicast/Broadcast Single Frequency Network) qui permet une transmission MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service) sur plusieurs cellules de manière synchronisée et transparente sur l'interface client (appareil mobile).

Introduction à MIMO (1)

- En GSM, GPRS, UMTS, HSPA, IEEE 802.11a/b/g, la communication entre les mobiles et les points d'accès utilise une seule émission spatiale et une seule antenne;
- Le MIMO introduit la possibilité d'utiliser deux (ou plus) émissions spatiales et de recevoir les signaux sur plusieurs antennes;
- Le signal d'origine est recomposé en utilisant des techniques de multiplexage radio avancées;

Introduction à MIMO (2)

- On parle de MIMO 2x3 (300Mbps) ou 3x3 (450 Mbps) ou 4x4 (600 Mbps)
- L'état actuel des composants électroniques du marché ne permettant pas de dépasser les 2x3 sur les produits pour l'entreprise, nous sommes au 300 Mbps → permet donc d'envoyer 2 fois plus de données (2x72 Mbps=144Mbps) grâce à ses 2 émetteurs

HSPA+ et MIMO (1)

- Permet d'utiliser 2x2 liens descendants en employant 2 transmissions parallèles sur 2 antennes
- Permet d'obtenir dans 3GPP v7 un débit de 28 Mbps avec modulation 16QAM (Quadrature Amplitude Modulation)
- Pour la voie montante un débit de 5.76 Mbps en mode QPSK (Quadrature Phase-Shift Keying) ou de 11 Mbps en mode 16QAM

HSPA+ et MIMO (2)

- Technique qui requiert un usage intensif du SNR → facilement réalisable en milieu urbain mais plus difficile en milieu rural vu l'éloignement des cellules
- En cas de non usage de MIMO :
 - le lien descendant peut atteindre 14 Mbps en mode 16QAM et 21 Mbps en mode 64QAM
 - la capacité de la voie montante reste la même
- Dans 3GPP v8, une nouvelle méthode sera introduite sous le nom de D-TxAA (Dual Transmit Adaptive Array), qui permettra d'atteindre une vitesse encore plus élevée.

Higher Order Modulation

- Permet d'augmenter les débits des données pour les utilisateurs qui ont un SNR intense
→ il est possible de les desservir plus vite et de laisser plus de temps à des ressources pour les utilisateurs ayant un moins bon SNR.
- Le principe étant de passer d'une modulation QPSK (moins bonne qualité de transmission) à une modulation 64QAM (meilleure qualité de transmission), lorsque le SNR le permet.

Gestion économique des batteries

- La technique CPC (Continuous Packet Connectivity) permet de contrôler l'interface de l'utilisateur lorsqu'il n'y a pas de transmission de données montante (DTX Discontinuous Transmission) ou descendante (DRX Discontinuous Reception).
- Cette technique consiste à couper l'émetteur ou le récepteur en utilisant le mode «Enhanced CELL_FACH», ce qui améliore de manière significative la capacité de transmission et l'autonomie des batteries de l'appareil mobile.

Multicast/Broadcast Single Frequency Network

- MBSFN permet une transmission MBMS (Multimedia Broadcast Multicast Service) sur plusieurs cellules de manière synchronisée et transparente sur l'interface client (appareil mobile).

Intégration des différents réseaux (1)

- La qualité de la voix sur IP est l'objectif clé de cette nouvelle technologie.
- Si actuellement, il est nécessaire d'utiliser deux types de connexions, soit une en mode circuit commuté pour la voix et une en mode paquet pour les données, avec la technologie HSPA+, la voix et les données sont transmises en mode paquet dans un même canal, ce qui permet de passer de 68 communications vocales simultanées à 182 dans une bande de fréquence de 5 MHz.

Intégration des différents réseaux (2)

- Un autre aspect de cette technologie est la convergence des réseaux par l'intégration de tous les services (voix, vidéo, jeux, musique, etc.) en mode IP.
- Permettra également à l'avenir de faire converger les réseaux fixes vers les réseaux mobiles et vice-versa, en utilisant un protocole de transport unique, ouvrant ainsi la porte à de nouvelles applications comme le passage d'une communication vocale entre les deux réseaux ou encore l'usage de fonctions identiques entre un poste téléphonique fixe et mobile, ce qui réduira les coûts d'intégration et de maintenance.

Long Term Evolution (LTE) :

Motivations

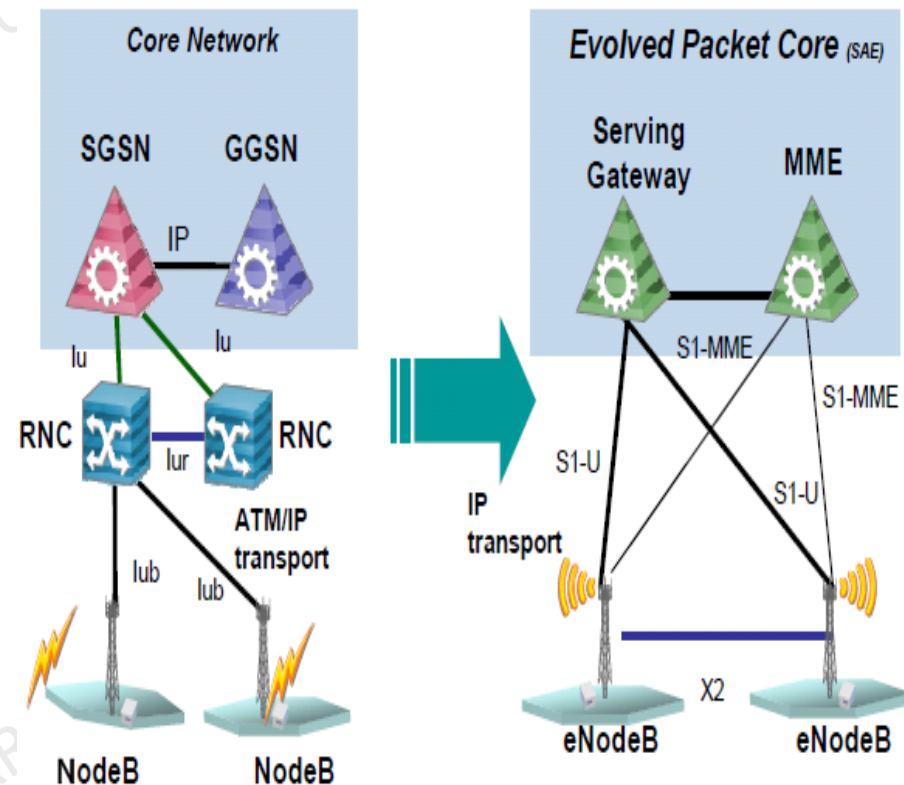
- Etudes focalisées sur l'amélioration de la technologie d'accès radio (UTRA) et l'optimisation et la simplification du réseau d'accès radio (UTRAN).
- Facteurs motivants pour LTE:
 - Utilisation spectrale efficace
 - Allocation spectrale flexible
 - Coût réduit pour l'opérateur
 - Capacité et couverture du système améliorées
 - Débit plus élevé avec latence réduite

LTE : Objectifs spécifiques

- Augmentation du débit binaire : + que 300Mbps pour DL avec 20MHz (2 Antennes de Rx à UE), 50Mbps pour UL avec 20MHz
- Efficacité spectrale améliorée : 5bps/Hz pour DL et 2.5bps/Hz pour UL
- Performance cellulaire améliorée (en terme de taux binaire)
- Latence réduite

LTE : Architecture générale (1)

- Le “E-UTRAN” utilise une architecture simplifiée composée de eNBs (E-UTRAN Node B)
- Le “eNB” communique avec le “Evolved Packet Core (EPC)” ou “Système Architecture Evolution (SAE)” utilisant l’interface “S1”, spécifiquement avec l’entité “MME” (Mobility Management Entity) et le “UPE (User Plane Entity)” identifié comme “S-GW” (Serving Gateway) utilisant “S1-C” et “S1-U” respectivement pour le plan de contrôle et le plan utilisateur.
- Le “MME” et le “UPE” sont implémentés de préférence comme des noeuds de réseaux séparés pour faciliter la mesure du plan de contrôle et le plan utilisateur de manière indépendante.
- Le eNB communique avec d’autres eNB en utilisant l’interface “X2” (X2-C et X2-U pour le plan de contrôle et le plan utilisateur respectivement).



LTE : Architecture générale (2)

- LTE supporte une option de “Multicast/Broadcast over a Single Frequency Network (MBSFN)”, où un signal est transmis de cellules multiples avec un temps de synchronisation approprié.
- Le eNB devient l'unique entité de l'E-UTRAN qui supporte toutes les fonctions dans un réseaux mobile typique comme le contrôle radio, la gestion de la mobilité, le contrôle d'admission et l'ordonnancement

LTE : Couche PHY

- La couche physique LTE est basée sur OFDM ou “Orthogonal Frequency Division Multiplexing” pour atteindre l’objectif du taux binaire élevé et efficacité spectrale améliorée.
- Les ressources spectrales sont allouées/utilisées comme une combinaison d’unités de temps et de fréquence
- Des options MIMO avec 2 ou 4 antennes sont supportées.
- MIMO Multi-utilisateur est supporté en UL et DL
- Les modulations supportées en DL et UL sont QPSK, 16QAM et 64QAM.

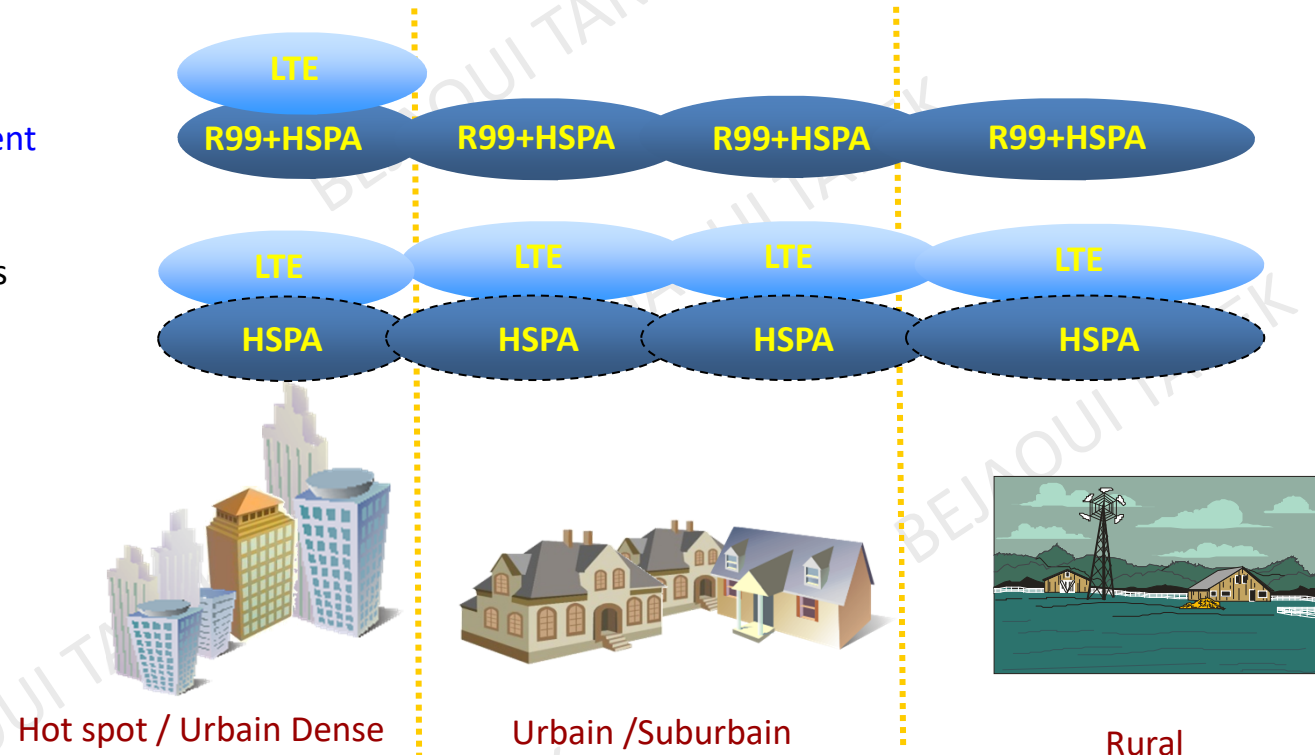
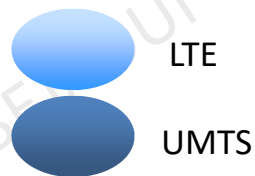
OFDM : c'est quoi?

- multiplexage par répartition en fréquences sur des porteuses orthogonales : Méthode de Multiplexage par modulation pour les communications sans fil à large bande
- Technique consistant à transporter le signal sur de multiples fréquences porteuses. Celles-ci sont modulées individuellement et transmises de manière orthogonale pour limiter les interférences générées entre elles.
- Transforme un canal multi-trajet large bande en un ensemble de sous-canaux mono-trajet très simples à égaliser

Déploiement du réseau LTE

- Pour les opérateurs avec un investissement lourd en UMTS

- Pour les opérateurs qui préfèrent LTE à l'UMTS



- Pour les opérateurs avec un investissement lourd en UMTS, LTE peut être déployé comme complément dans les **hot spots pour une** capacité élevée et une meilleure expérience utilisateur
- Pour les opérateurs avec moins ou pas d'investissement UMTS; qui préfèrent LTE, LTE peut être déployé dans une **large zone ensemble avec le réseau UMTS.**

ANNEXE

Symbole et bit

- Nous utilisons le système décimal (base 10) dans nos activités quotidiennes. **Ce système est basé sur une logique à dix symboles, de 0 à 9**, avec une unité supérieure (dizaine, centaine, etc.) à chaque fois que dix unités sont comptabilisées. C'est un système *positionnel*, c'est-à-dire que l'endroit où se trouve le symbole définit sa valeur. Ainsi, le 2 de 523 n'a pas la même valeur que le 2 de 132. En fait 523 est l'abréviation de $5 \cdot 100 + 2 \cdot 10 + 3$. On peut selon ce principe imaginer une infinité de systèmes numériques fondés sur des bases différentes.
En informatique, outre la base 10, on utilise très fréquemment *le système binaire* (base 2) puisque la logique booléenne est à la base de l'électronique numérique. **Deux symboles suffisent: 0 et 1**. Cette unité élémentaire ne pouvant prendre que les valeurs 0 et 1 s'appelle un bit (de l'anglais *binary digit*). Une suite de huit bits s'appelle un octet.
On utilise aussi très souvent *le système hexadécimal* (base 16) du fait de sa simplicité d'utilisation et de représentation pour les mots machines (il est bien plus simple d'utilisation que le binaire). Il faut alors six symboles supplémentaires: A, B, C, D, E et F.