



Introduction aux réseaux cellulaires

Dr. Tarek BEJAOUÏ

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

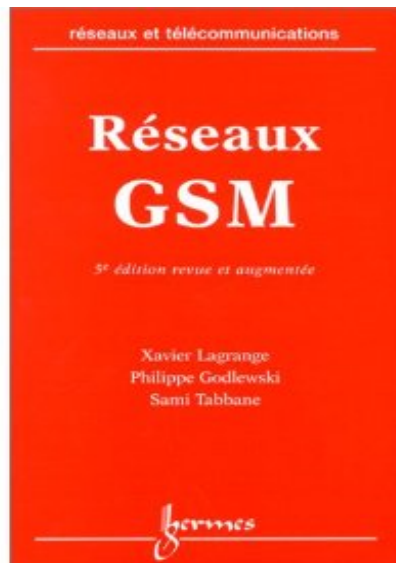


Plan

- Historique des réseaux mobiles
- Concept cellulaire
- Introduction à la propagation radio mobile
- Interface radio GSM
- Architecture réseau GSM
- Les canaux logiques
- Voie balise en GSM
- Numérotation
- Gestion de la mobilité et de la localisation

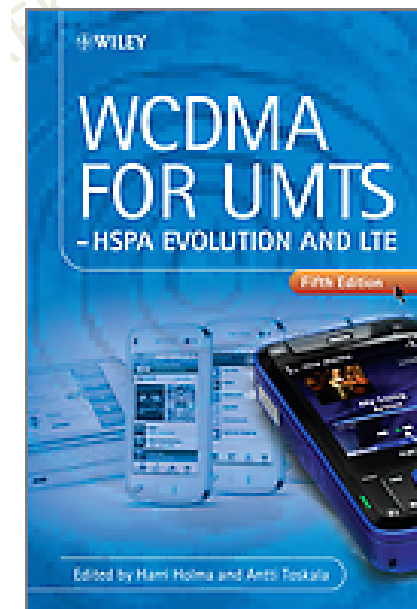
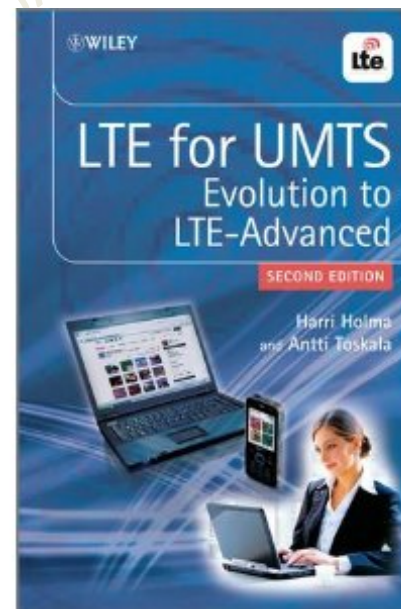


Bibliographie (1)

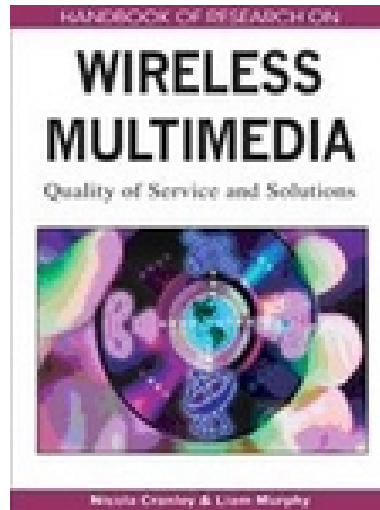




Bibliographie (2)



Bibliographie (3)



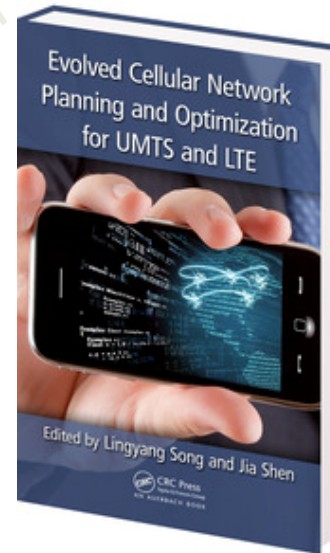
BEJAOU Tarek
(Chapitres 5 & 6)

Editeur :
Nikki Cranley & Liam Muphy
IGI Global, USA



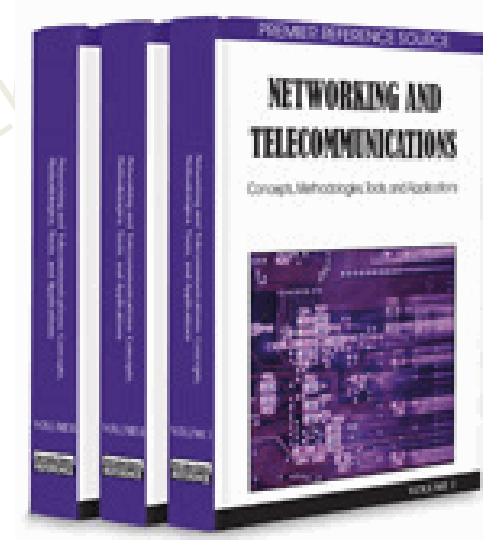
BEJAOU Tarek
(Chapitre 1)

Editeur :
J.I. Agbinya
River Publisher, Denmark



BEJAOU Tarek
(Chapitres 6 & 7)

Editeur :
Lingyang Song and Jia Shen
CRC Press, USA



BEJAOU Tarek
(Chapitres 8.2 & 17.3)

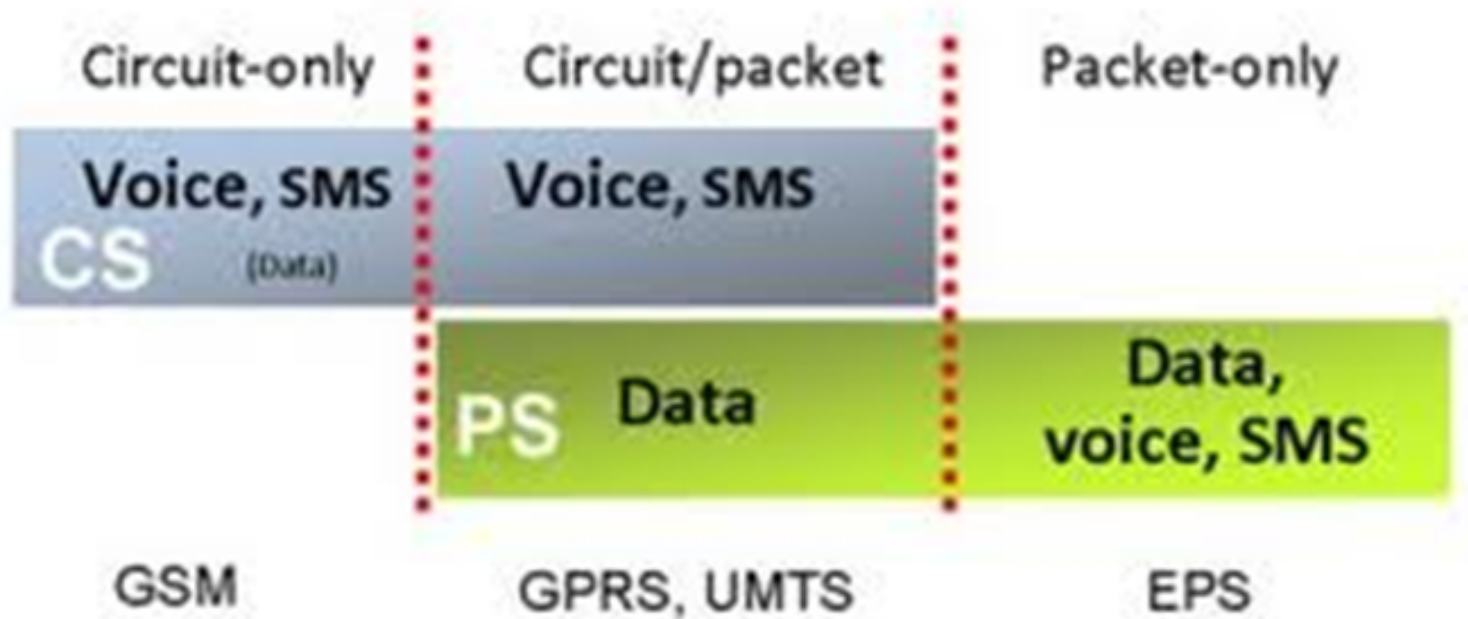
Editeur :
Nikki Cranley & Liam Muphy
IGI Global, USA



Evolution des réseaux mobiles vers les nouvelles générations

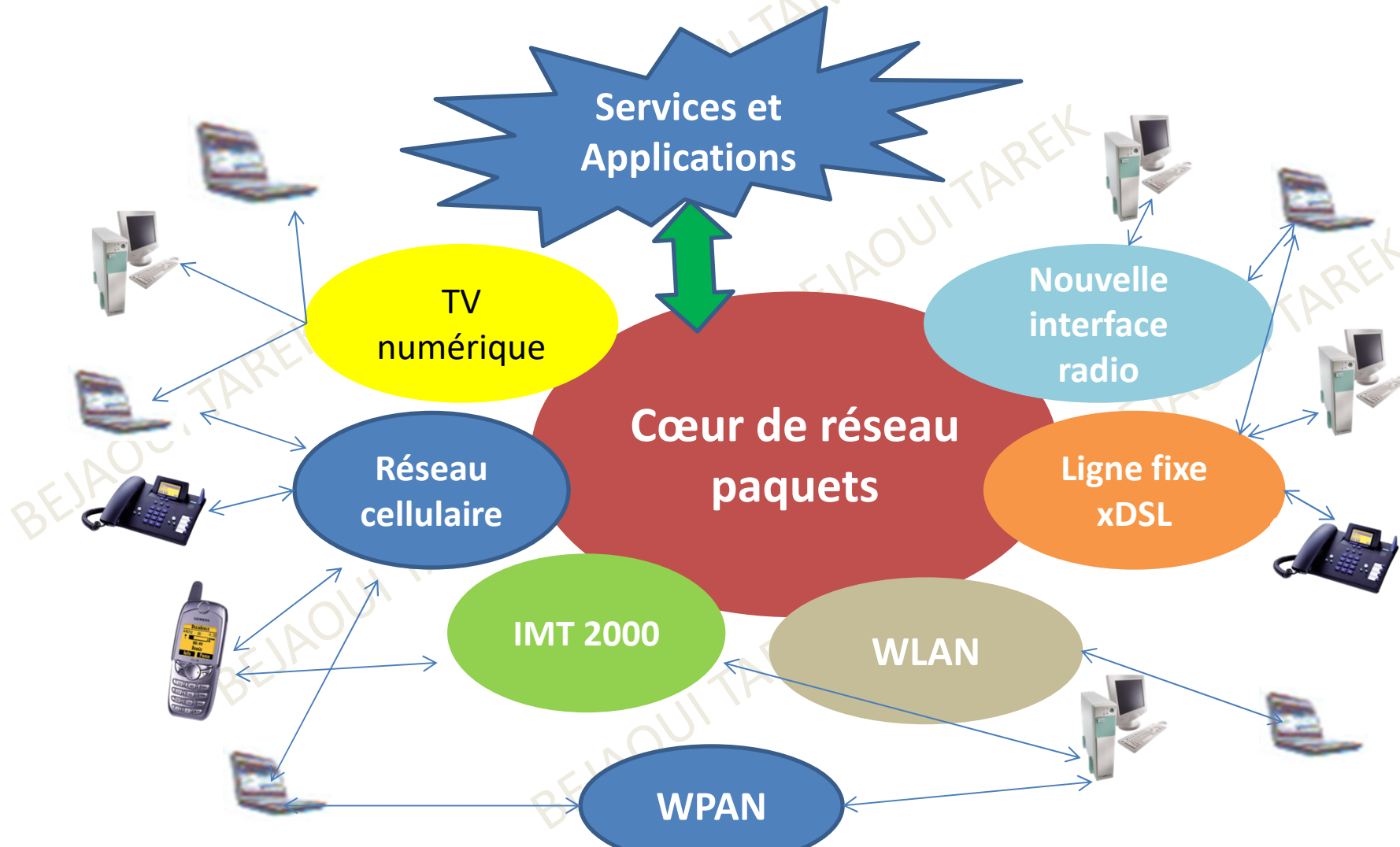


Domaines circuits et paquets

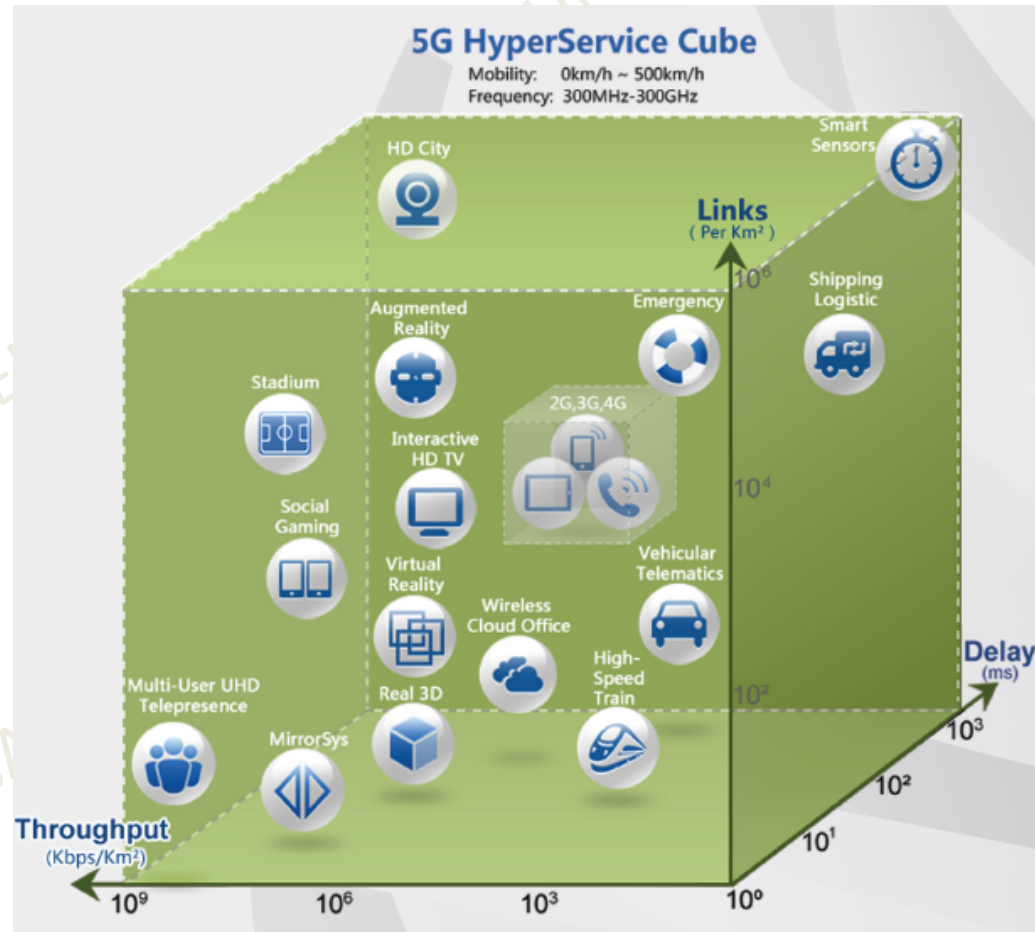




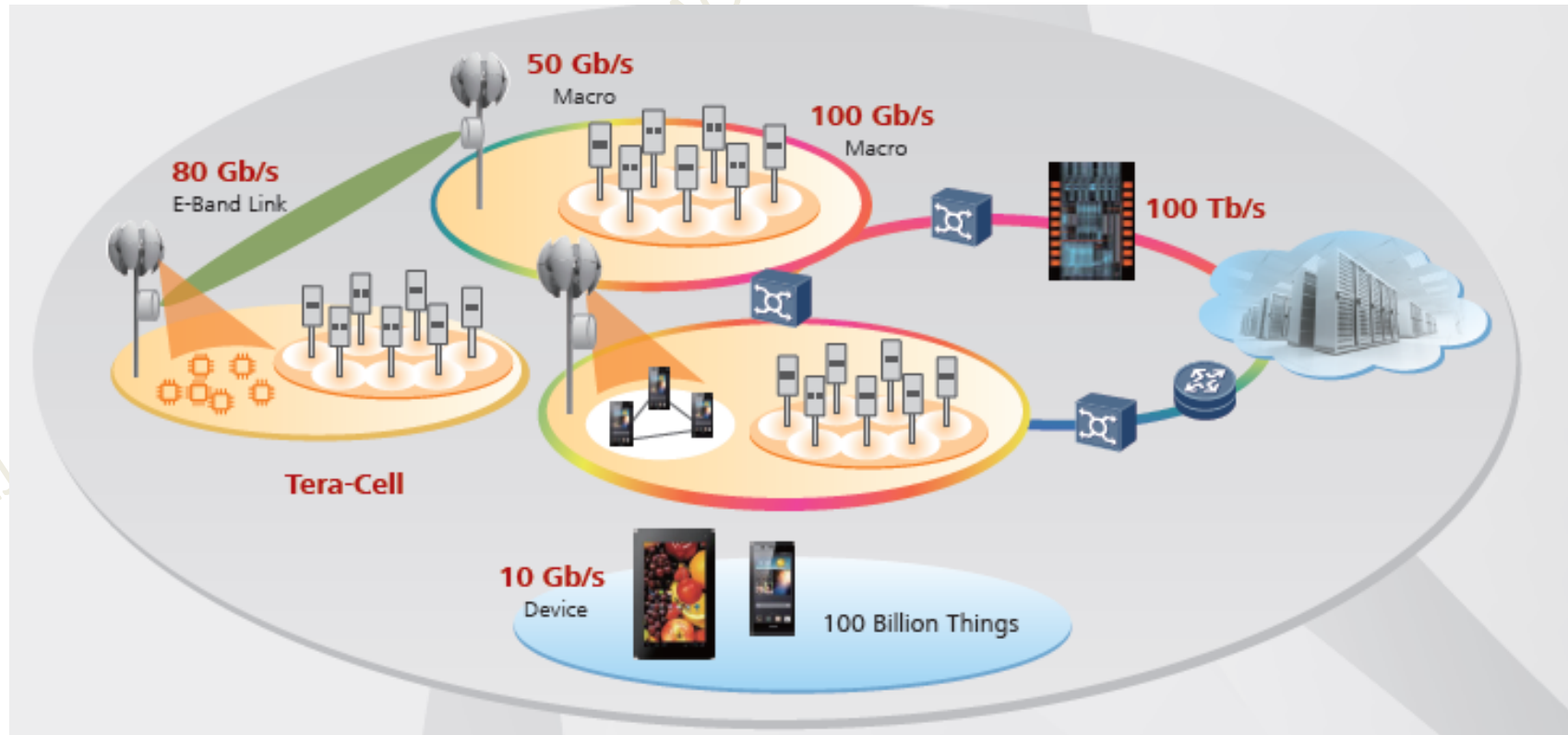
Présentation de la 4G



La 5G c'est pour quand ? (1)

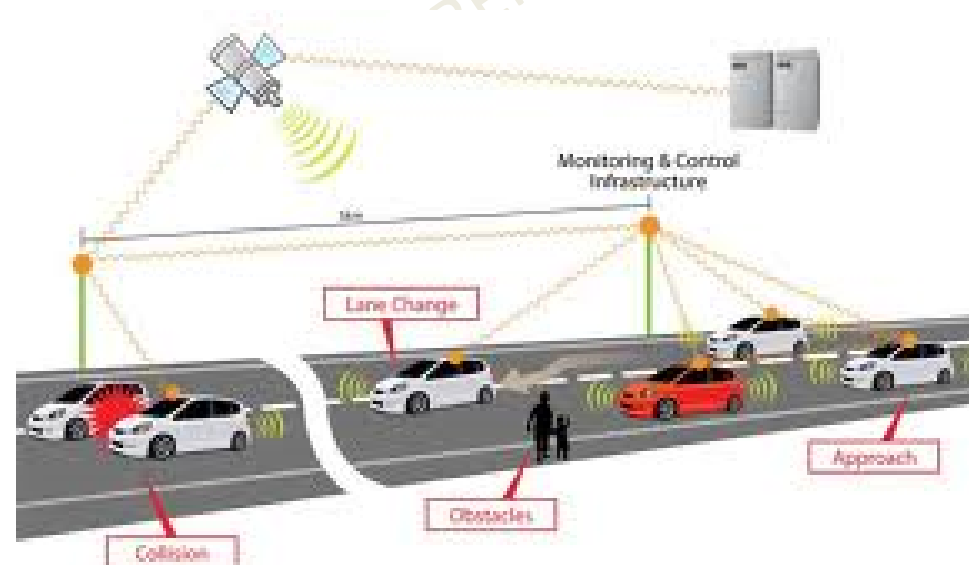


La 5G c'est pour quand? (2)

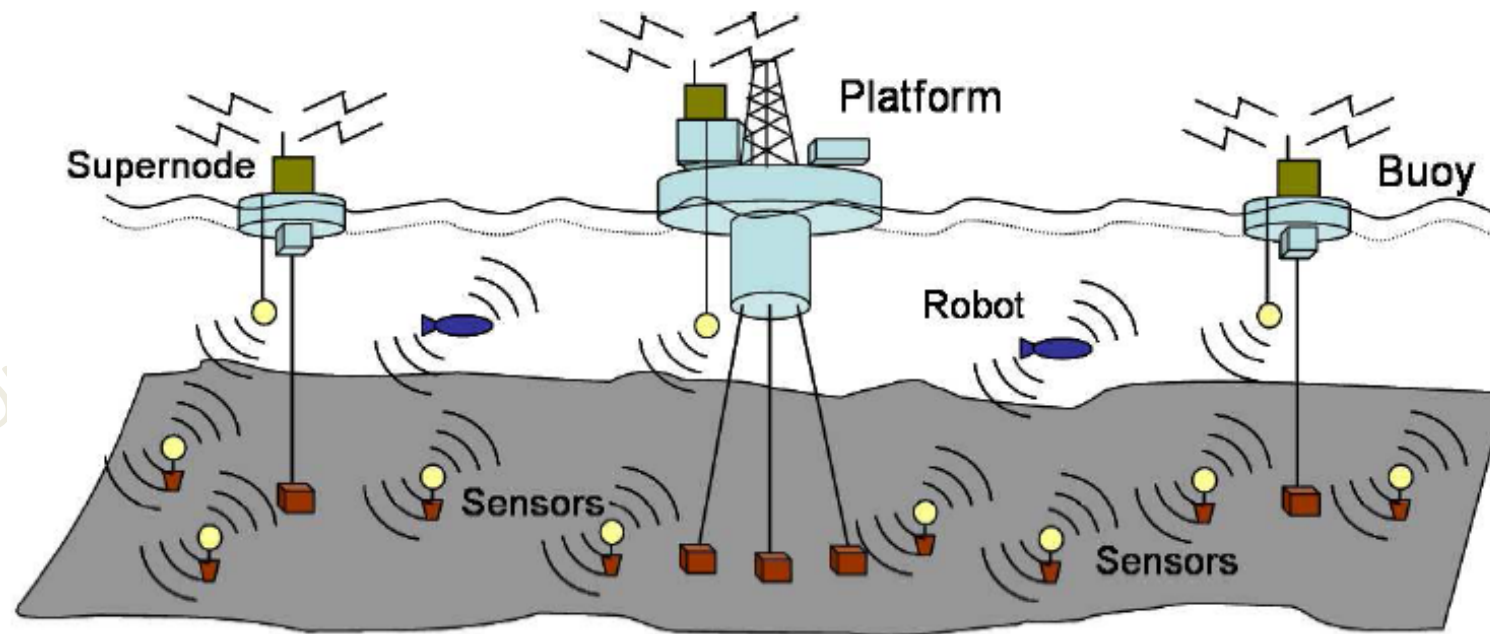


La 5G c'est pour quand ? (2)

V2V2I Communications (VANET)

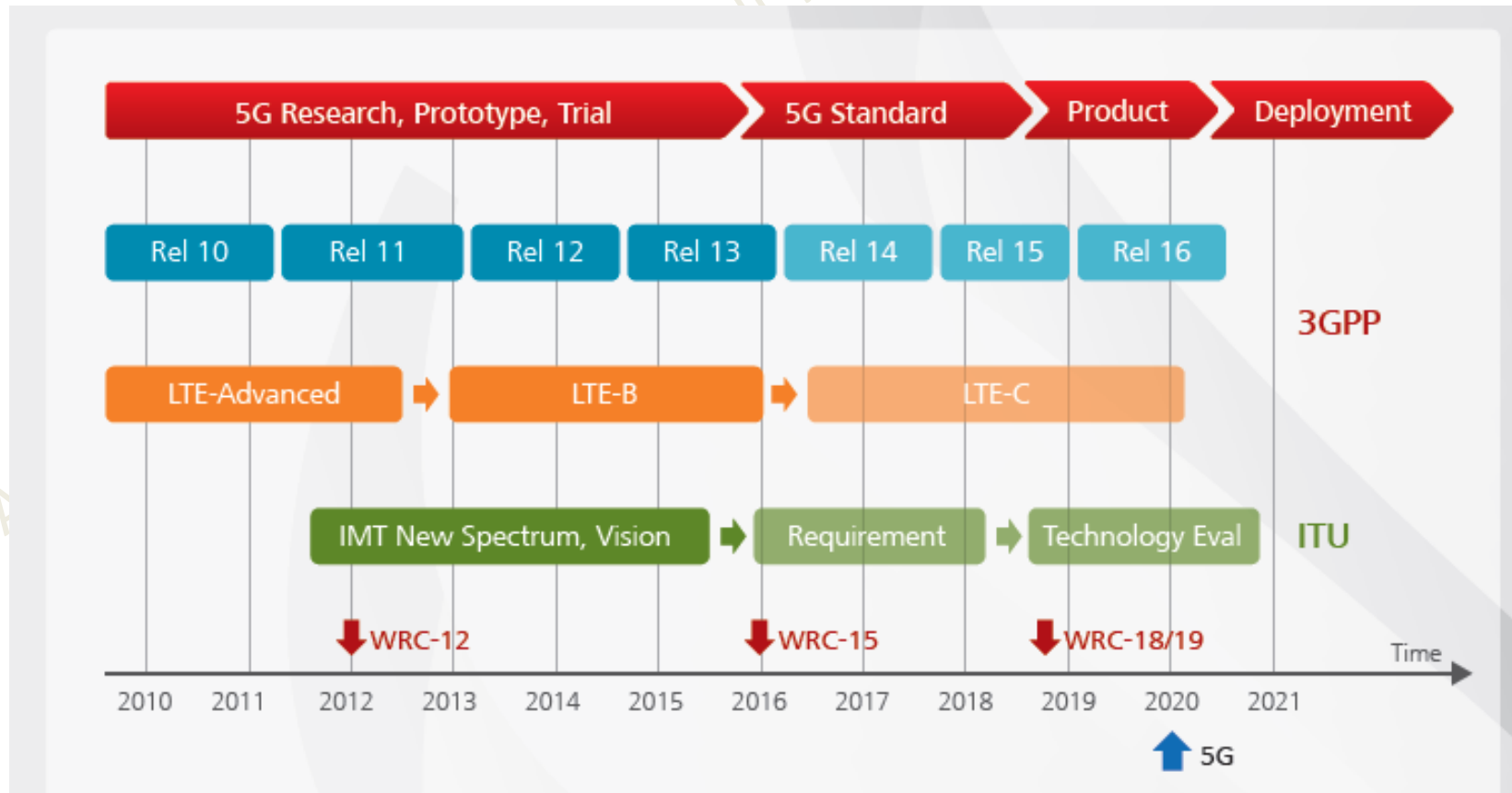


Réseaux de capteurs





La 5G c'est pour quand? (3)





Introduction aux réseaux cellulaires



Evolution des réseaux cellulaires

- 1981 : Introduction du **NMT** (Nordic Mobile Telephone)
- 1985 : Introduction du RADIOCOM 2000 en France. Démarrage du système **TACS** (Total Access Communication System) en Angleterre (version de l'**AMPS**-Advanced Mobile Phone System). **NMT 450** en Tunisie
- 1986 : Introduction du **C450** en Allemagne
- 1985 – 90 : Généralisation des systèmes cellulaires analogiques dans les principaux pays du monde. Capacité en *centaines de milliers d'abonnés*. Introduction de portatifs.



Problème : **Systèmes non compatibles**

Evolution des réseaux cellulaires (suite)



- 1985 – 90 : Etude en Europe du futur système cellulaire numérique pan-européen **GSM (Global System for Mobile Communications)**.
- 1991 : Introduction du système GSM en Europe (9,6 kbps).
 - Capacité en millions d'abonnés
 - Roaming international
 - Introduction de services de données
 - Terminaux de poche

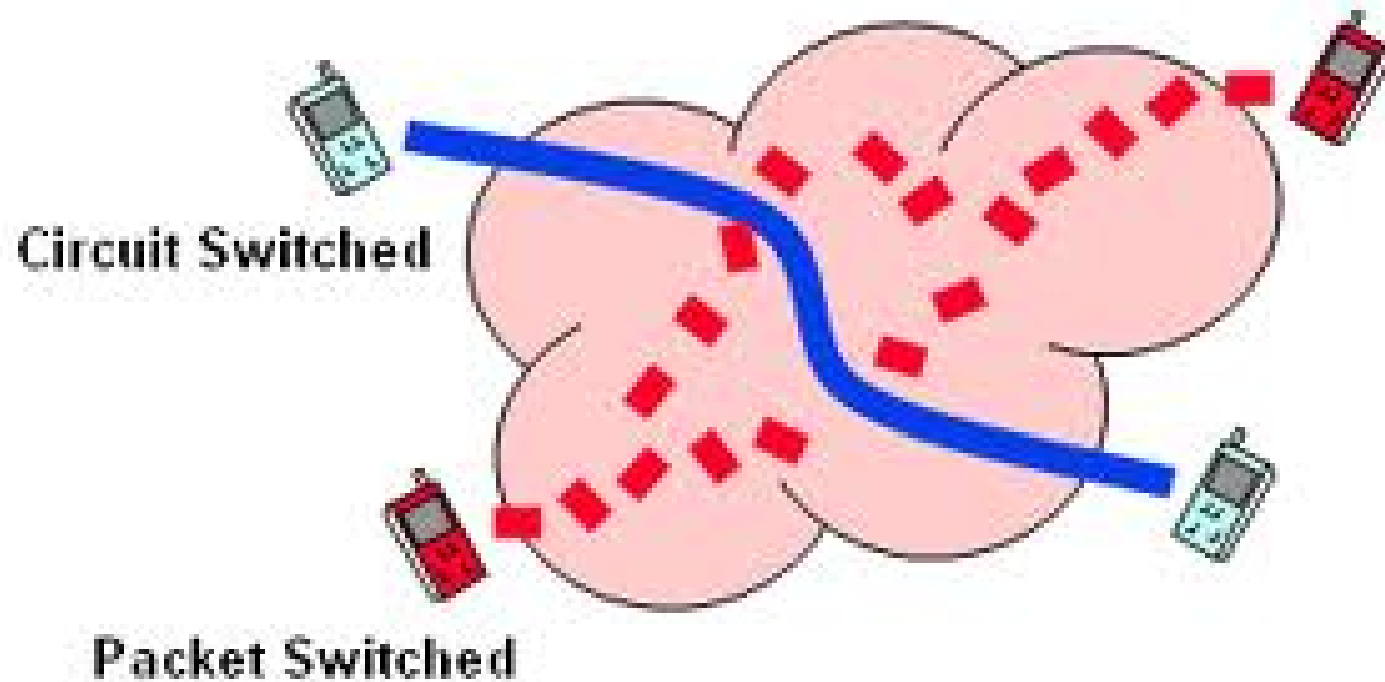


Evolution des réseaux cellulaires (suite)



- Apparition du HSCSD (High Speed Circuit Switched Data) : introduit 2 nouvelles technologies au GSM existant →
 - Augmentation du débit transporté par un time slot de 9.6 kbps à → 14.4 kbps/slot
 - avec HSCSD, 4 time slot peuvent être alloués simultanément à une session data → taux de transfert max de 38.9 kbps pour un débit de slot de 9.6 kbps et 57.6 kbps pour 14.4 kbps par time slot.

Commutation de circuits et de paquets



Evolution des réseaux cellulaires (suite)



- 1997 : GPRS (General Packet Radio Service) phase 1
- 1999 : GPRS phase 2 → débit théorique : 171.2 kbps
- 2002 : Premier déploiement
 - GPRS est considéré comme une évolution d'un réseau GSM.
 - GPRS est un système à commutation de paquets.
 - On rajoute deux type d'équipements à l'infrastructure existante et on modifie légèrement les parties logicielles.

Evolution des réseaux cellulaires (suite)



- 2004 : Apparition du standard EDGE (*Enhanced Data Rates for GSM Evolution*). C'est une évolution de la norme GSM, modifiant le type de modulation.
- Utilisé comme transition vers la troisième génération de téléphonie mobile (3G). On parle ainsi de 2.75G
- Débit théorique → 473 kbps
Débit pratique → 384 kbps (piétons et véhicules lents)
→ jusqu'à 144 kbit/s pour les véhicules rapides

Evolution des réseaux cellulaires (suite)



- 1999 - 2005 : Apparition et premiers déploiement des réseaux cellulaires de 3^{ème} génération (3G)

Exemple : UMTS (Universal Mobile for Telecommunications System), cdma2000, TD-SCDMA

→ Débit : 2 Mbps pour piétons

384 kbps pour véhicules rapides

Evolution des réseaux cellulaires (suite)

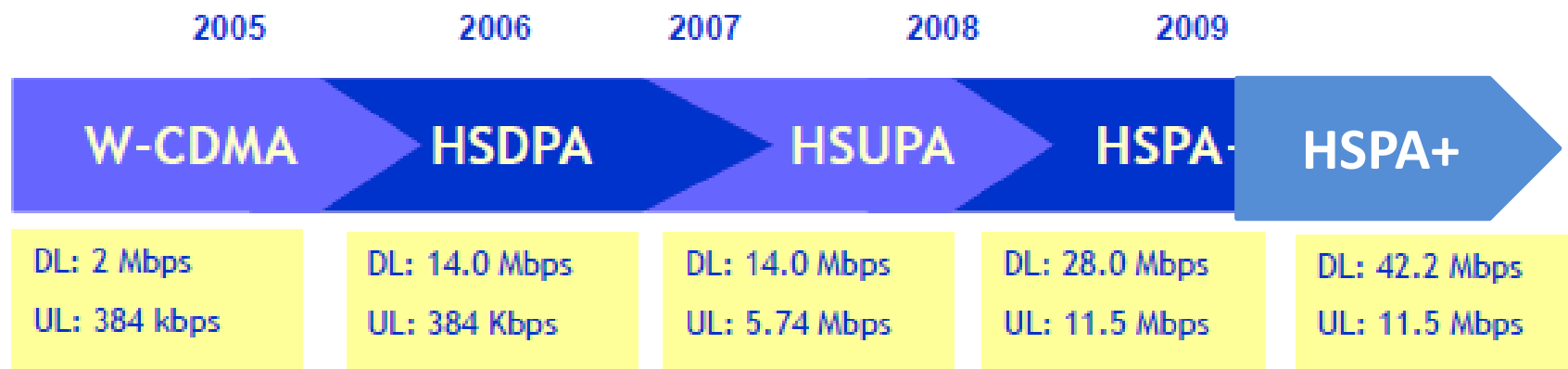


- Janv. 2008 : Standardisation et approbation des spécification du LTE (Long Term Evolution) ;
- Augmentation du débit à plus de 100 Mbps sur le sens descendant et 50 Mbps sur le sens montant
- Bande passante échelonnée de : 20 MHz, 15 MHz, 10 MHz, 5 MHz, 3 MHz et 1,4 MHz

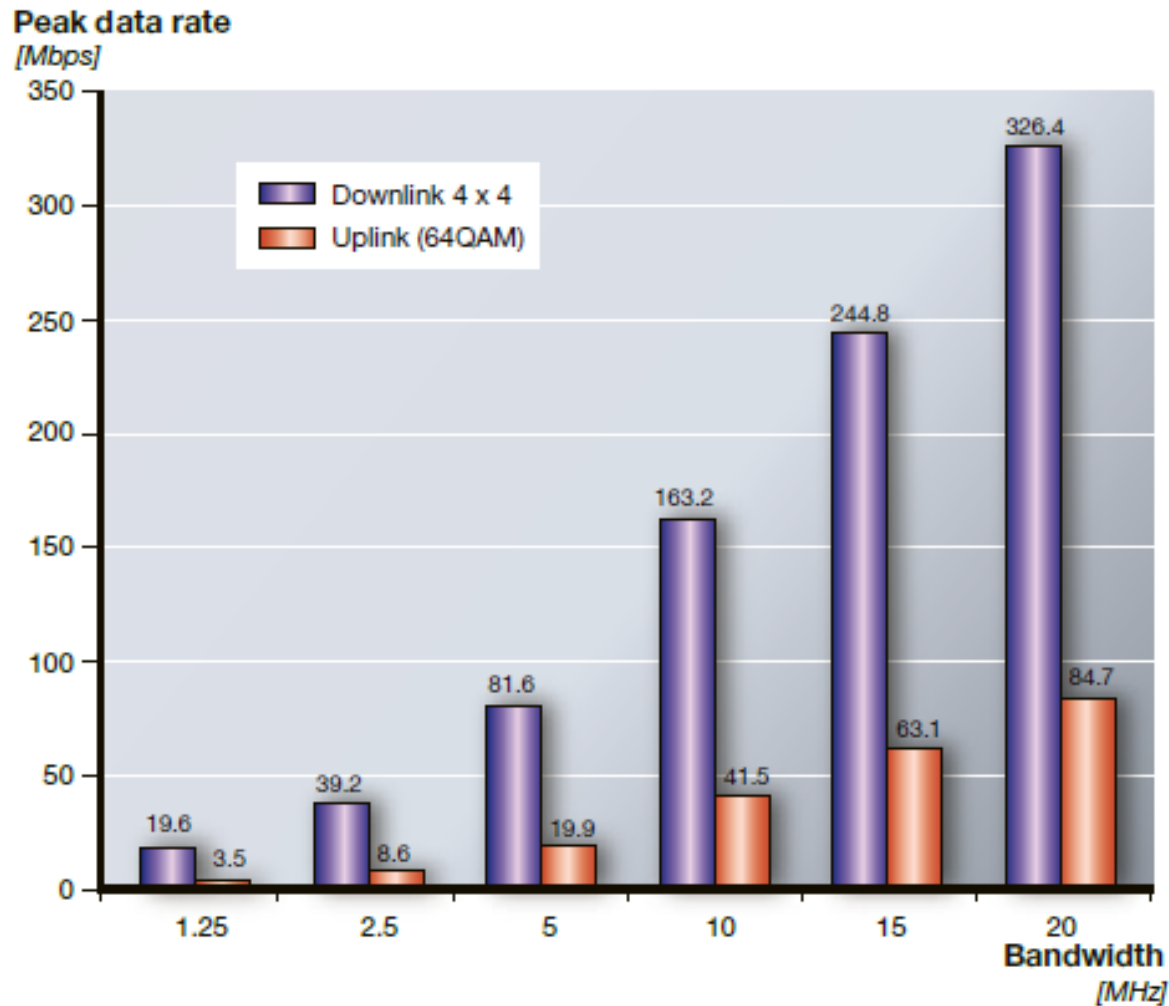
Evolution des réseaux cellulaires (suite)



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



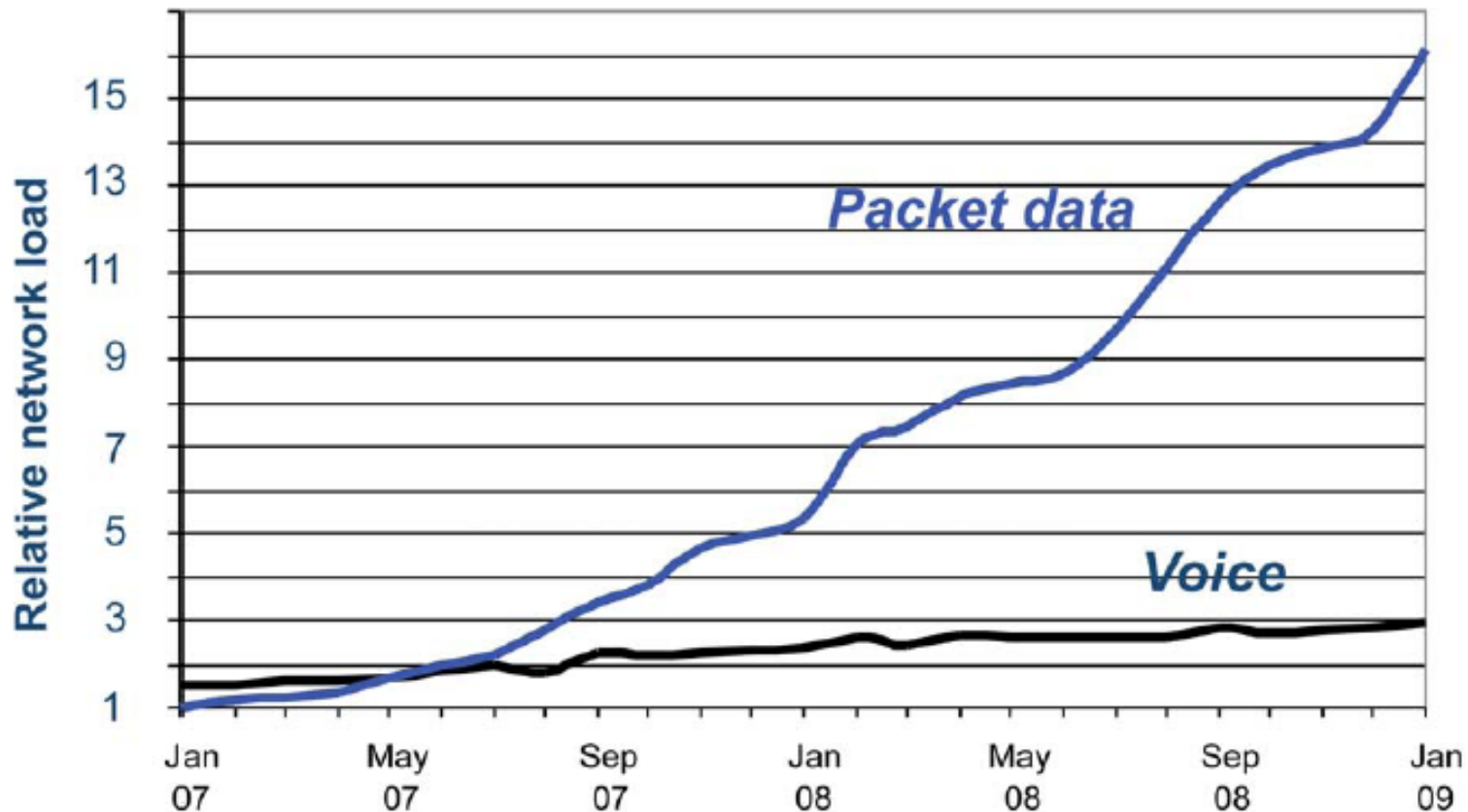
Débit offert par le standard LTE



Exemples d'équipements pouvant inclure un Chipset LTE



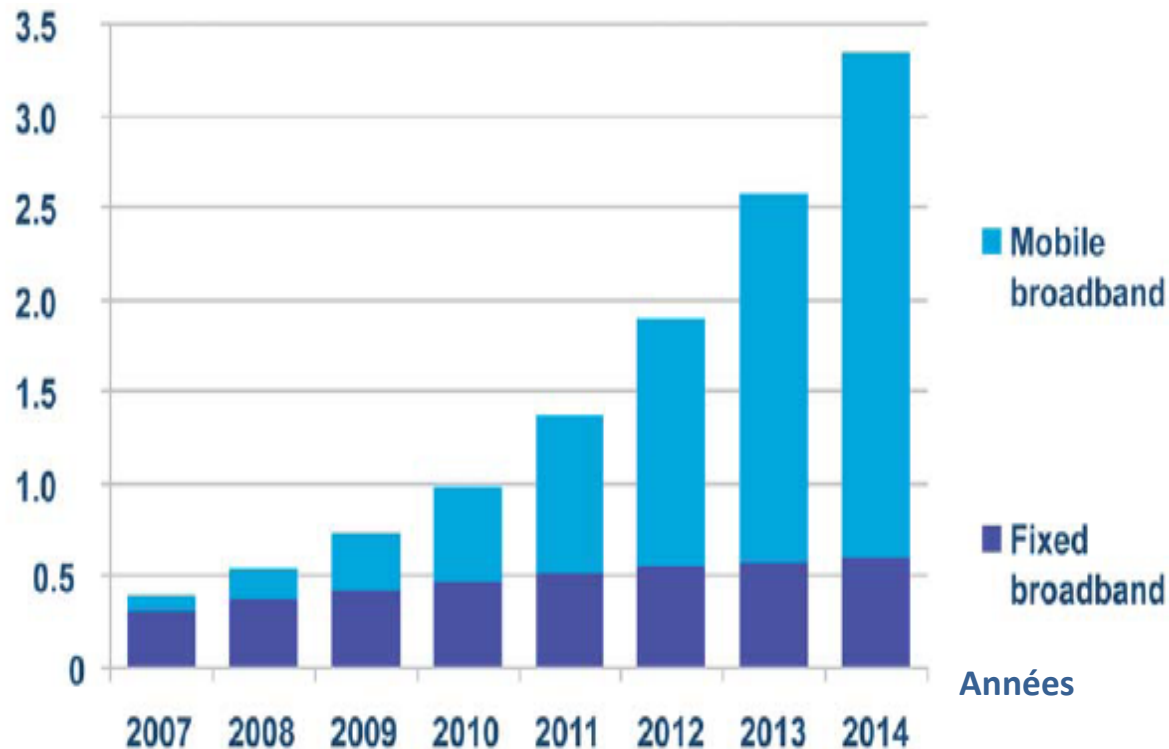
Evolution du trafic de données dans les réseaux WCDMA dans le monde





Nombre prévisionnel des abonnements large bande

Abonnements
Milliards

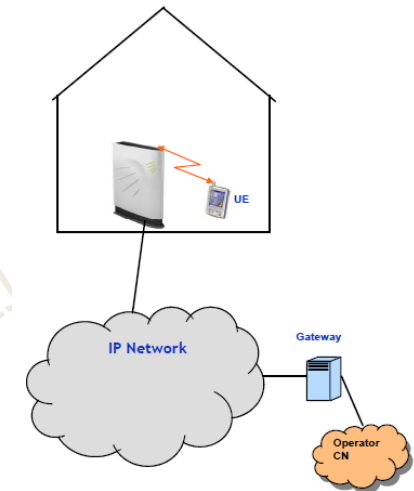


- En 2014, le nombre d'abonnés large bande est estimé à $34 \cdot 10^8$.
- 80 % sont des mobiles
- la majorité seront servis HSPA et LTE

« Femtocells » : la convergence fixe mobile chez soi



- Consistent en des points d'accès permettant de créer des mini-réseaux 3G via une connexion haut débit IP standard de type ADSL, directement au domicile des abonnés ou dans les entreprises.
- Se matérialisent sous la forme de petits appareils plug-and-play de faible puissance, qui offrent une couverture 3G localisée et une capacité dédiée en utilisant la connexion haut débit de l'abonné comme liaison.
→ ils se connectent au réseau de l'opérateur de téléphone mobile via une connexion internet HD (par un routeur câble, ADSL, etc.).
- Supporte 2 à 4 communications simultanées
- Objectifs :
 - améliorer la couverture radio en indoor des réseaux de téléphonie mobile et utiliser son téléphone cellulaire à domicile, via une ligne fixe
 - la continuité de la liaison à internet si la ligne ADSL est défectueuse, en passant par le réseau 3G



Principaux acteurs du domaine des systèmes cellulaires



- **Constructeurs**
 - Infrastructure réseau
 - Infrastructure radio
 - Terminaux
- **Opérateurs**
 - Publics
 - Privés
- **Administrateurs**
 - Attribution des fréquences (ANF)
 - Homologation (CERT)
 - Norme antipollution

Principaux acteurs du domaine des systèmes cellulaires (suite)



- Organismes de normalisation
 - Définition de la zone de couverture
 - Définition des marchés par la définition d'interfaces normalisées
- Installateurs distributeurs
 - Fortement impliqués dans la qualité du service vue du client
 - Action sur le bilan de liaison
- Service Providers ou Sociétés de commercialisation de services
 - Développement avec le GSM
 - Possibilité de subvention des terminaux par le trafic



Principes et Concepts

- Contexte de développement du concept cellulaire :
 - pénurie de fréquences
 - déploiement à l'échelle d'un pays ou d'un continent d'un système à grande capacité.

Principes et Concepts (Suite)

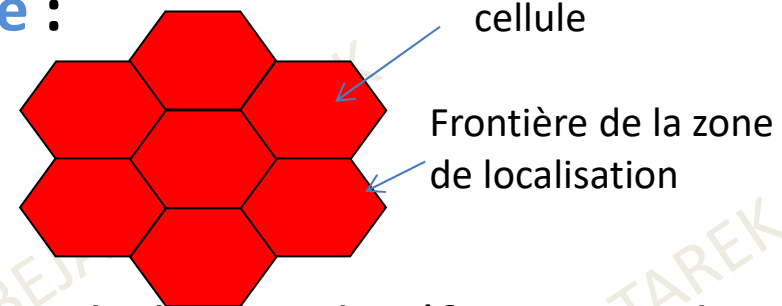
- **Principe d'un système cellulaire :**

Chaque opérateur dispose

- d'une zone à couvrir

Zone découpée en **cellules**

1 cellule ↔ plusieurs canaux de la bande (fonction du trafic).



une cellule est desservie par une station de base (BS ou Base Station) qui fait l'interface entre le réseau filaire et l'abonné mobile

- d'une bande de fréquence duplex

1 bande = plusieurs canaux duplex

1 canal = 1 communication unique



Principes et Concepts (Suite)

- **Concept cellulaire :**

Il est possible de réutiliser sans créer d'interférences, un même canal sur des cellules différentes si celles-ci sont suffisamment éloignées

→ **Réutilisation de fréquences**

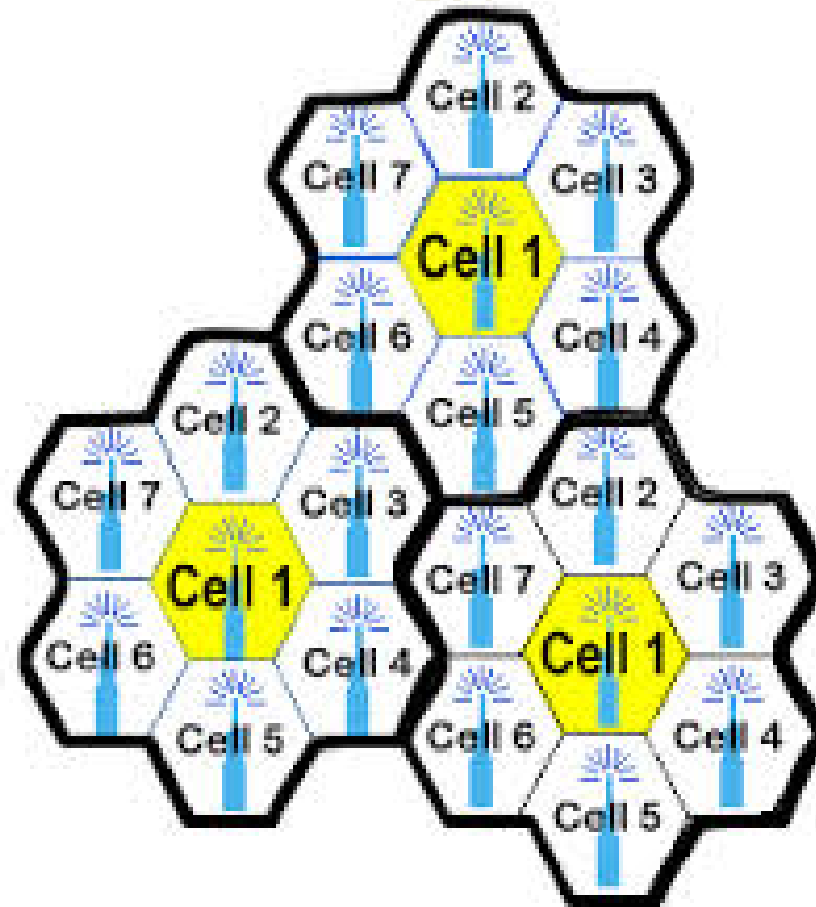
Un motif est le plus petit groupe de cellules (ou cluster) contenant l'ensemble des canaux de la bande allouée. Ce motif est répété sur toute la surface à couvrir.

Motifs les plus courants : 3, 7, 9, 12, 21 et 27

Grâce à la réutilisation de fréquences, l'architecture cellulaire permet de fournir potentiellement une capacité illimitée avec des bandes de fréquences peu importantes



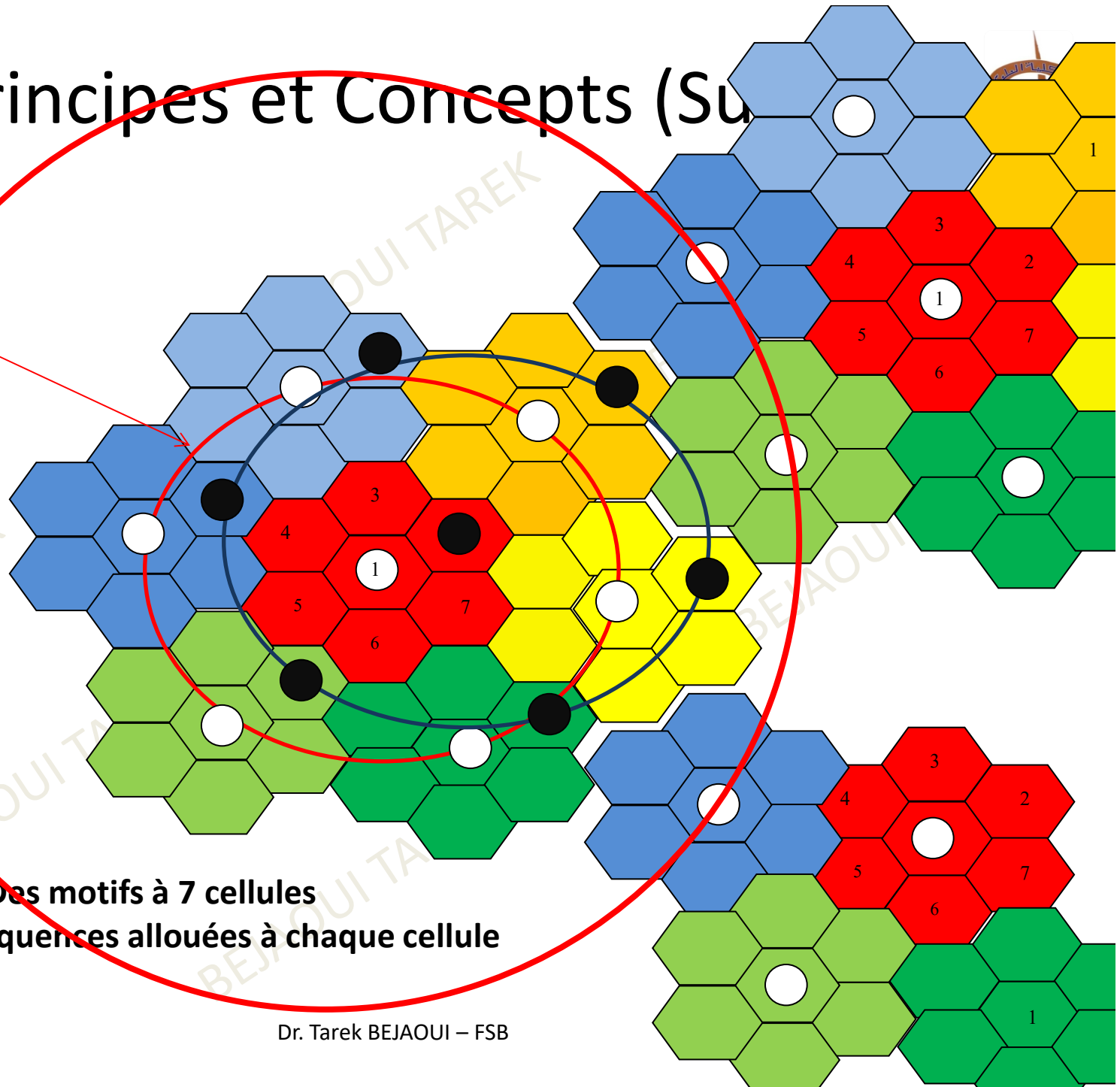
Principes et Concepts (Suite)



Principes et Concepts (Su

1ère Couronne de cellules co-canal

2ème Couronne de cellules co-canal

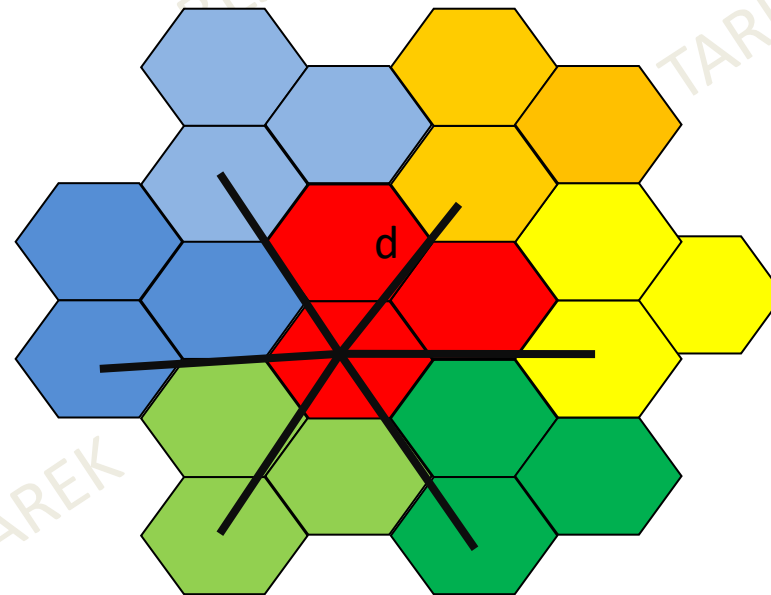


Des motifs à 7 cellules

F1, ... F7 : Fréquences allouées à chaque cellule



Principes et Concepts (Suite)



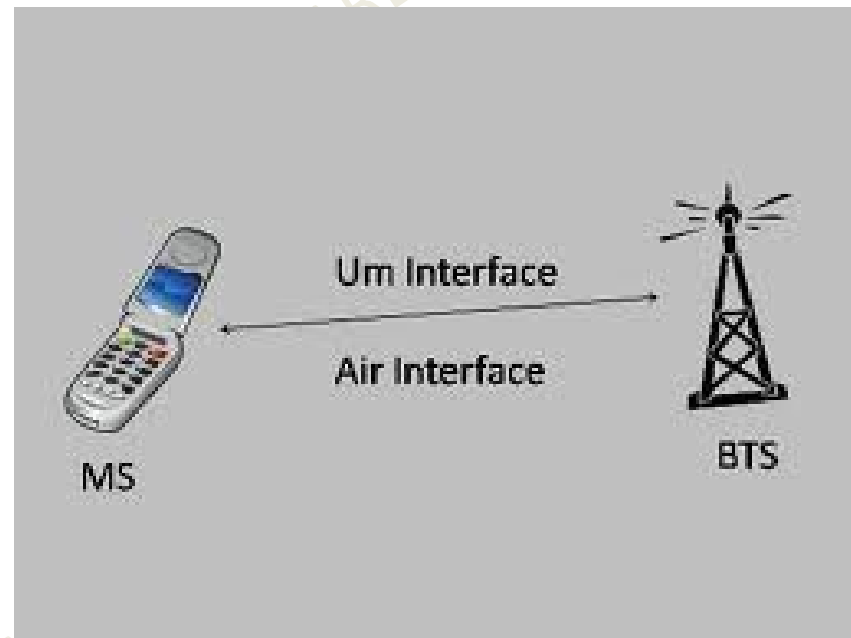
Des motifs à 3 cellules



Principes et Concepts (Suite)

- Principales fonction d'un système cellulaire :
 - Traitement d'appel
 - gestion de la localisation
 - maintien de la communication en déplacement
 - authentification
 - sécurité des informations transmises
- Services
 - Téléphonie full-duplex
 - Mobilité et itinérance
 - Transfert de données multimédia
 - Services supplémentaires

Principes et Concepts (Suite)





Organisation cellulaire

La modélisation fait appel à un motif hexagonal. Ce motif permet un pavage exhaustif et autorise les calculs sur des bases géométriques fiables.

Cependant les valeurs calculées restent indicatives pour la plupart.

La découpe en pavés hexagonaux impose, en raison des interférences, de séparer par une certaine distance deux cellules utilisant les mêmes fréquences.

Le motif doit être invariant par rotation de 120° . On montre que le nombre de cellules du motif est de la forme

$$N = i^2 + i \cdot j + j^2 \text{ avec } i \text{ et } j \text{ entiers}$$



Organisation cellulaire (suite)

$N = i^2 + i.j + j^2$ avec i et j entiers

i/j	0	1	2	3	4
0	0	1	4	9	16
1		3	7	13	21
2			12	19	28
3				27	37
4					48

Si l'on dispose de n fréquences pour le réseau, on pourra en employer n/N par cellule.

En cas de fort trafic, il y a donc intérêt à diminuer N .

La mobilité : organisation cellulaire

le modèle hexagonal

zone péri-urbaine

zone urbaine

zone rurale

Exemple théorique de couverture cellulaire



Taille des cellules

La taille des cellules n'est pas la même sur tout le territoire. Elle dépend :

- du nombre d'utilisateurs potentiels dans la zone,
- de la configuration du terrain (relief géographique, présence d'immeubles, . . .),
- de la nature des constructions (maisons, buildings, immeubles en béton, . . .) et
- de la localisation (rurale, suburbaine ou urbaine) et donc de la densité des constructions.



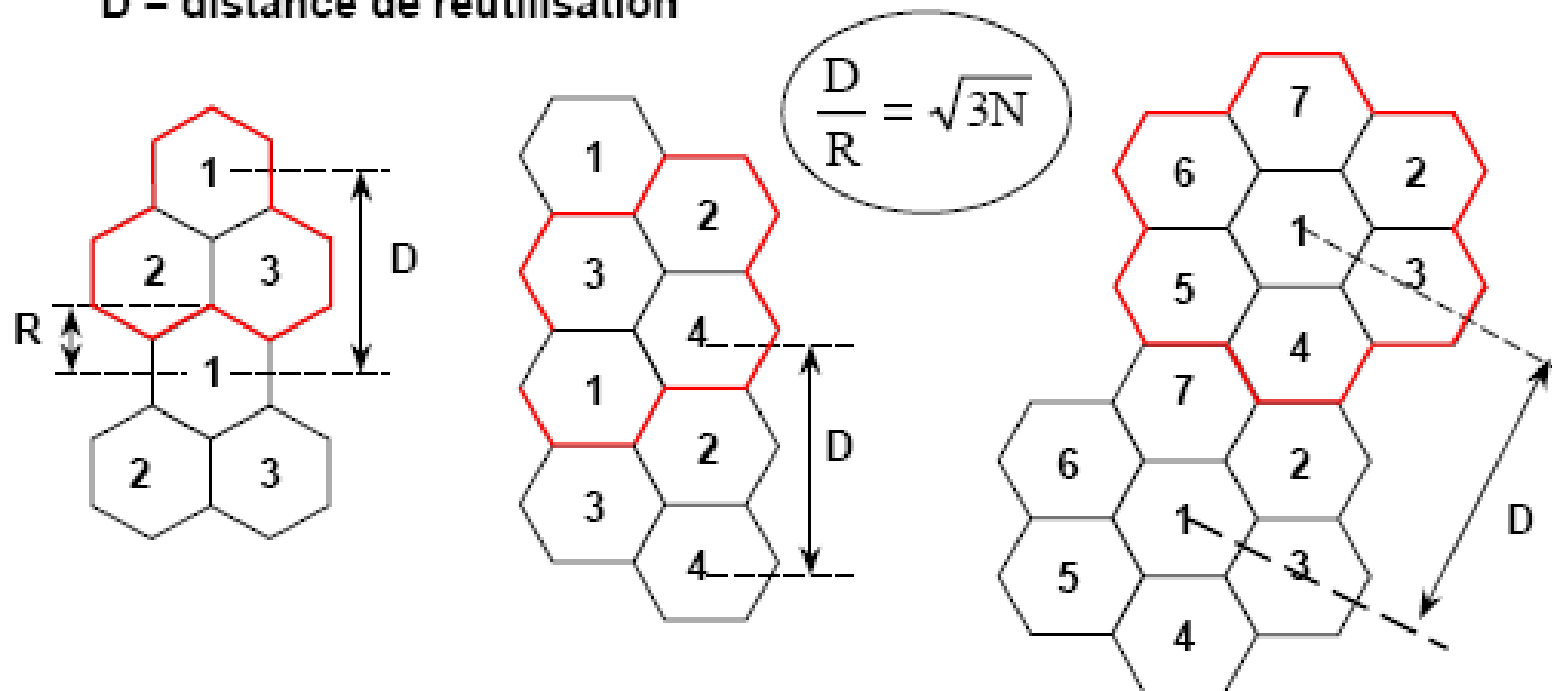
Taille des cellules (suite)

Les cellules sont de taille variable :

- macro cellule : 1 à 35 Km
- micro cellule : 100 m à 1 Km
- pico cellule : 10 à 100 m

Spectre limité/Trafic important

D = distance de réutilisation



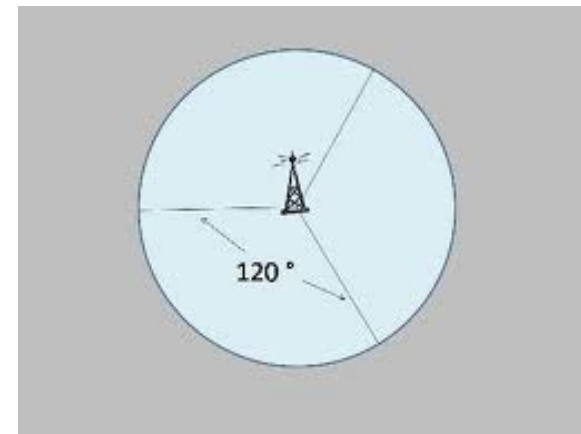
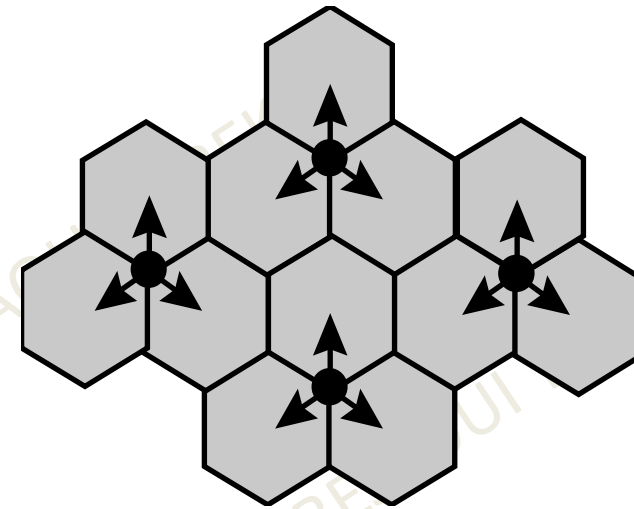
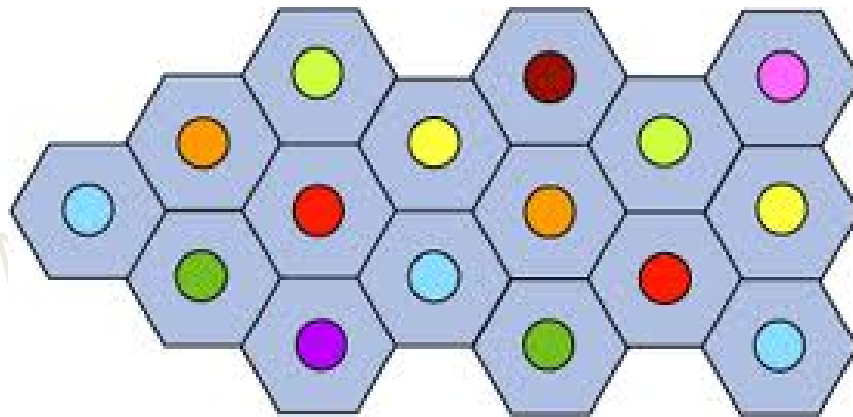
Le modèle hexagonal : exemples de motifs à 3, 4, 7 cellules



Sectorisation

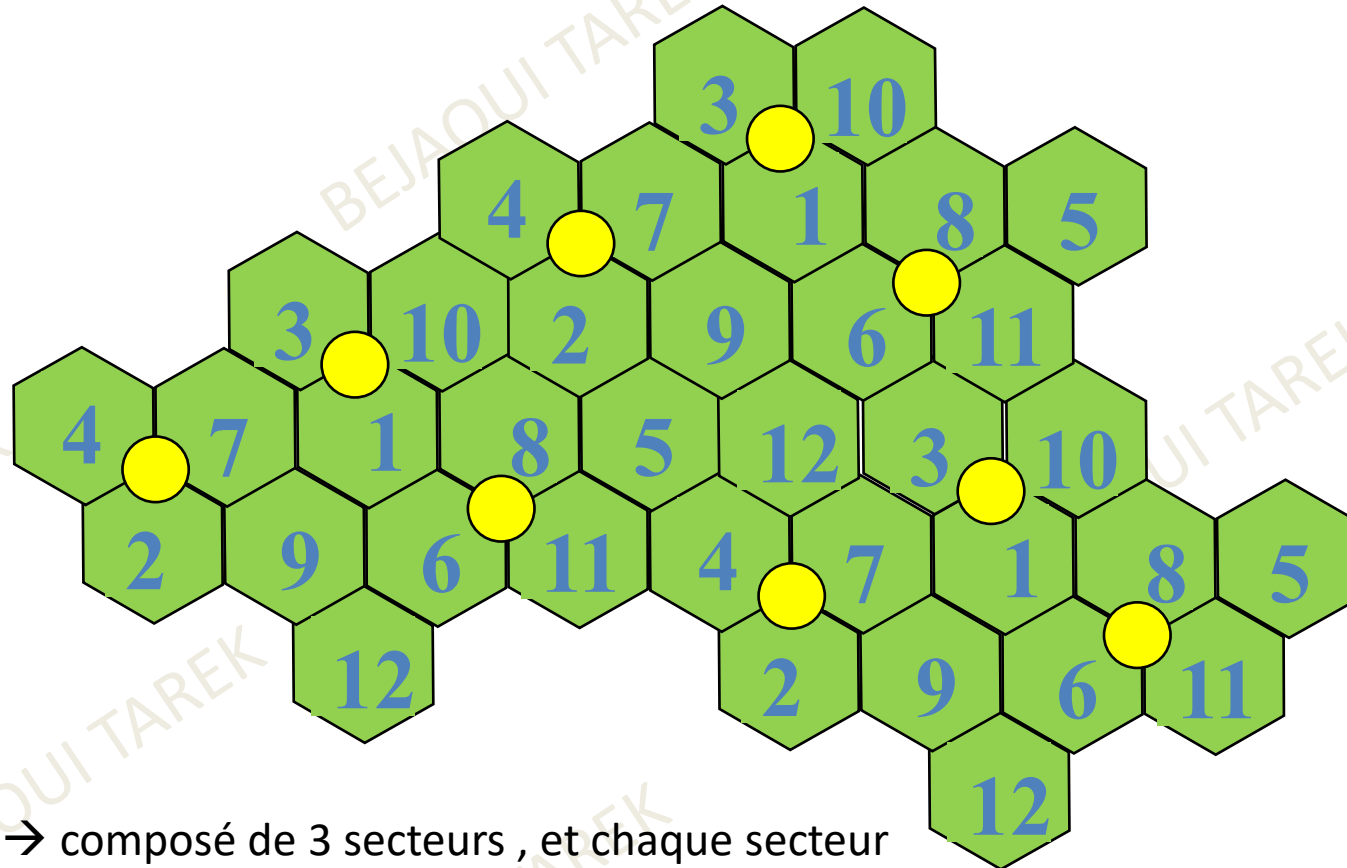
- Entretien des BTS : coût élevé
- Réduction du nombre de site
 - antenne directrice couvrant une cellule hexagonale depuis l'un des coins
 - En un coin, 3 BTS couvrant 3 cellules
- Sectorisation 120° ou 60°

Schéma de sectorisation





Motif tri-sectoriel



Exemple :

Un site **S444** → composé de 3 secteurs , et chaque secteur
Se compose de 4 TRX.

Un TRX est l'ensemble d'émetteurs-récepteurs constituant une
station de base

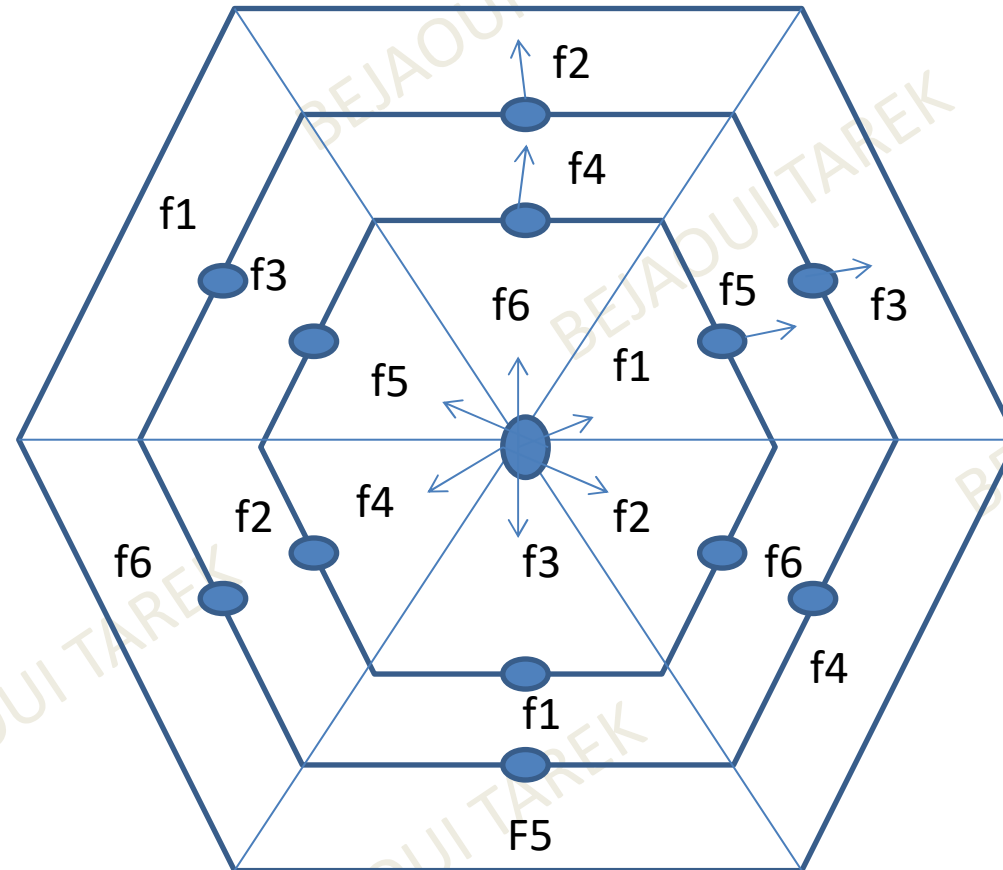


Motif de Stockholm (1)

- Motif irrégulier
- Couverture réalisée à l'aide d'antenne directives
- Couverture progressive de la zone de service : l'opérateur commence à couvrir le centre ville (hexagone central) puis étend progressivement la couverture en installant des couronnes de cellules autour du site initial

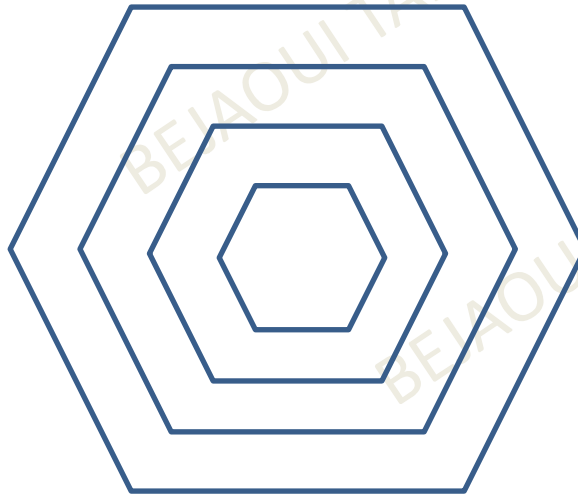


Motif de Stockholm (2)





Motifs combinés



- La combinaison de motifs (appelée *reuse partitioning*, *RP*) permet de réaliser des couvertures comprenant des motifs de tailles différentes.
- Le RP est un concept utilisé dans les systèmes cellulaires dans les zones à haute densité.
- Chaque cellule est divisée en 2 ou plusieurs sous-cellules concentriques.
- En pratique, les opérateurs combinent les plus couramment deux motifs de tailles différentes. Un motif à faible nbre de cellules est obtenu en utilisant des faibles rayons de cellules.
- Ceci est réalisé en n'autorisant l'accès aux stations de base correspondantes que pour les mobiles recevant un signal de puissance élevée. Ce premier motif est superposé à un motif « classique » à nbre de cellules plus important.

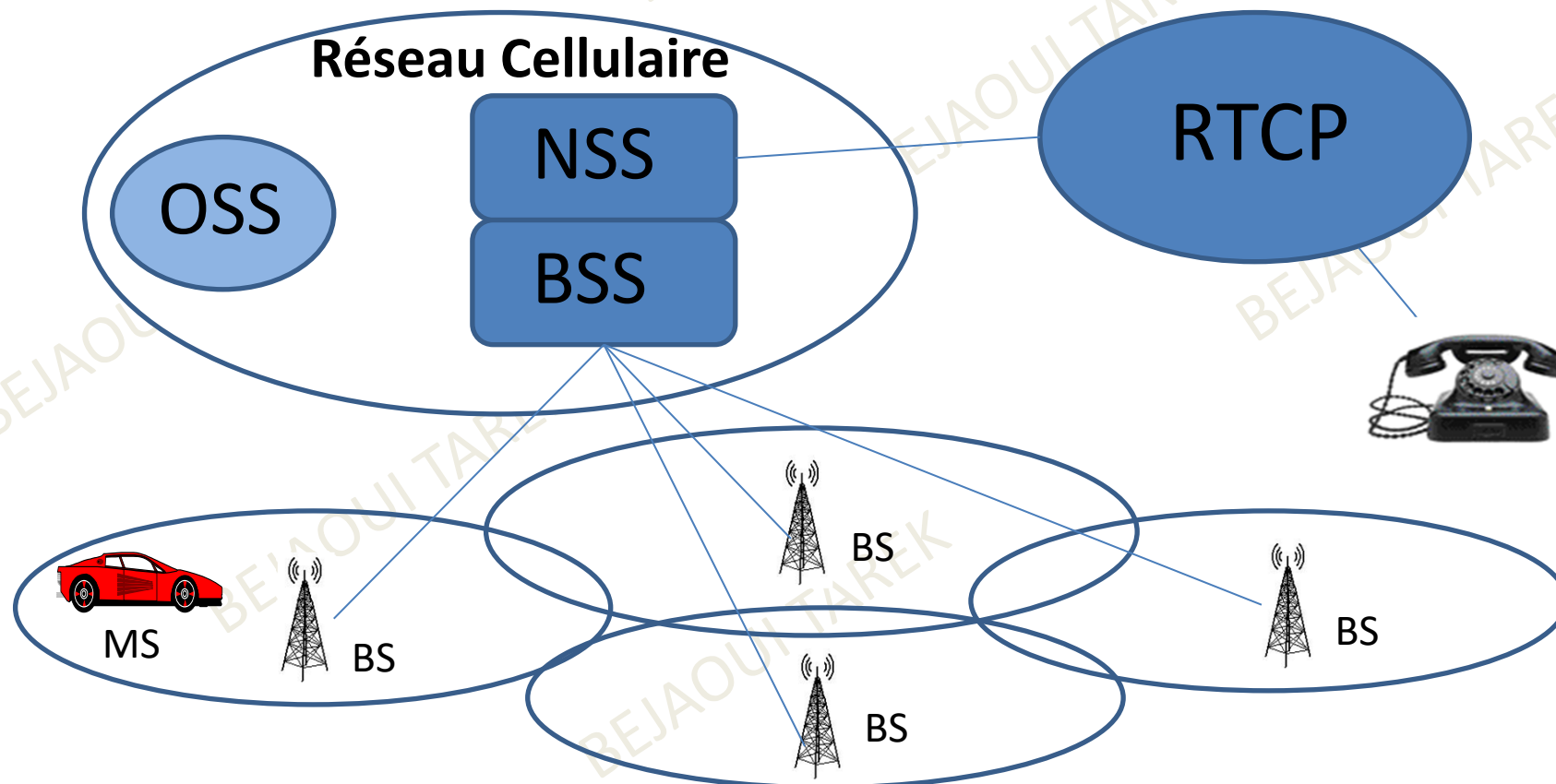


ARCHITECTURE DU RESEAU GSM

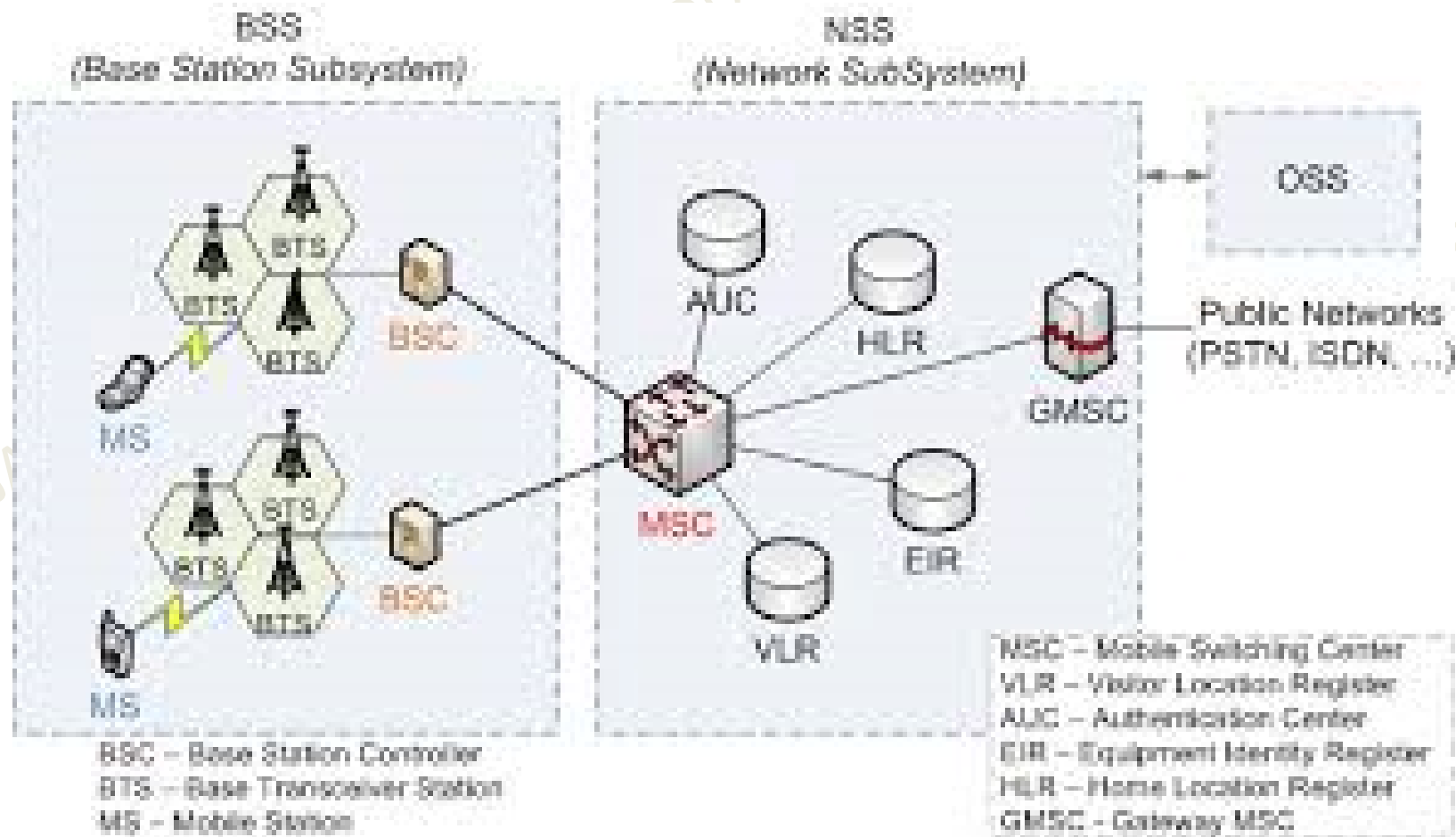


Principes et Concepts (Suite)

Structure générale d'un système cellulaire

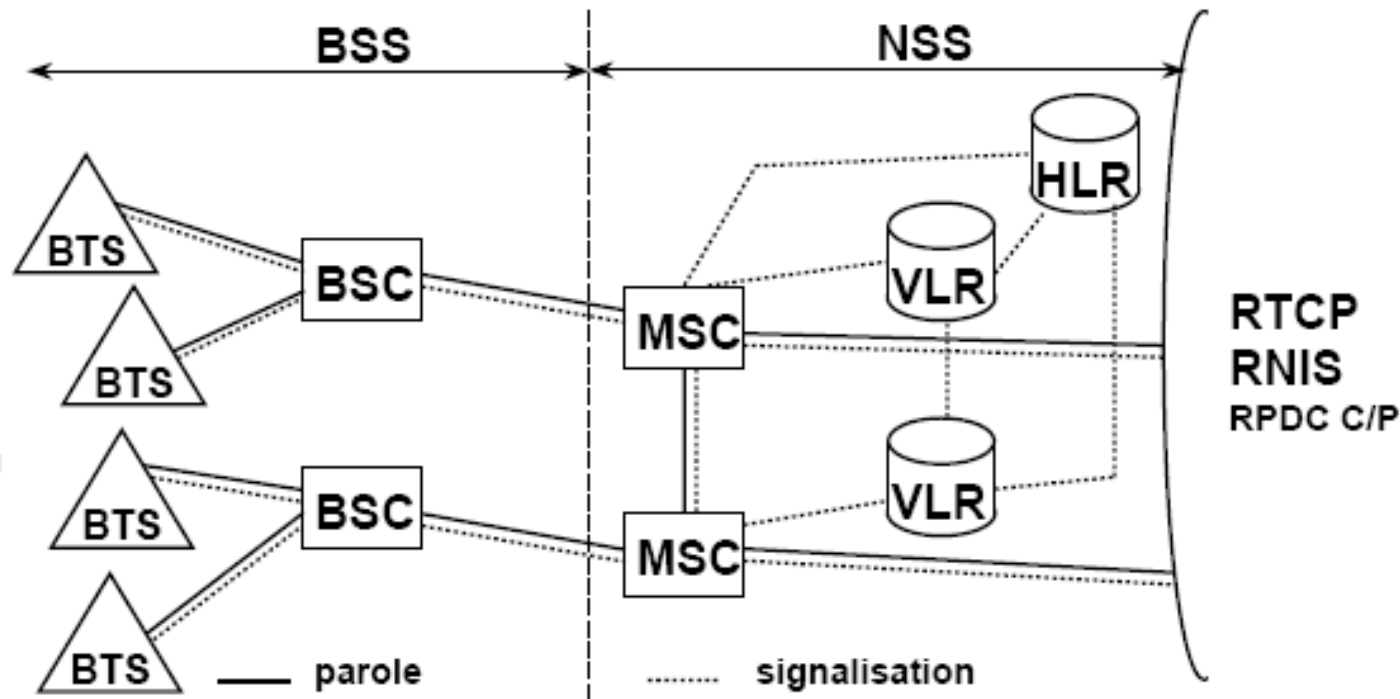


Architecture du GSM





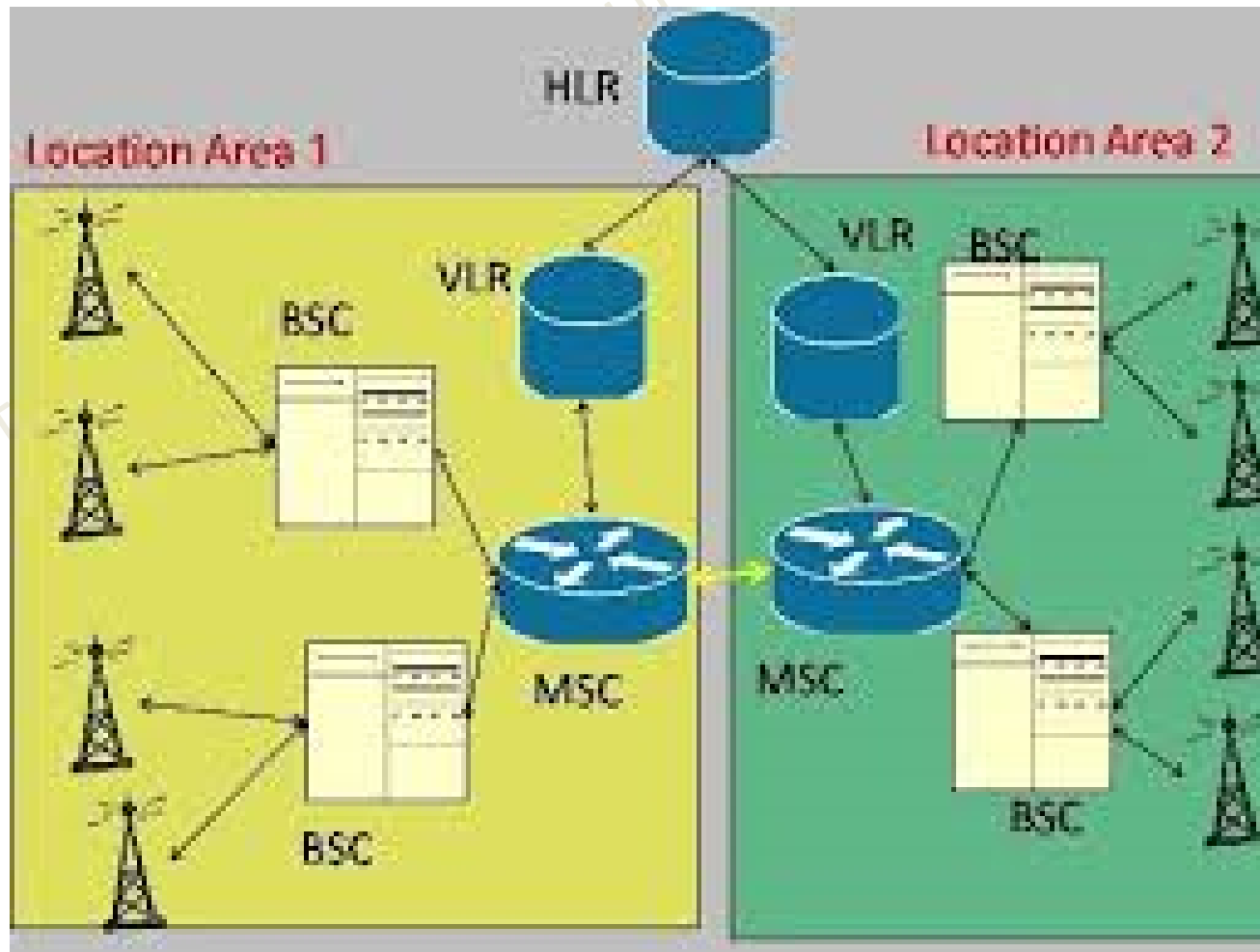
Architecture du GSM (suite)



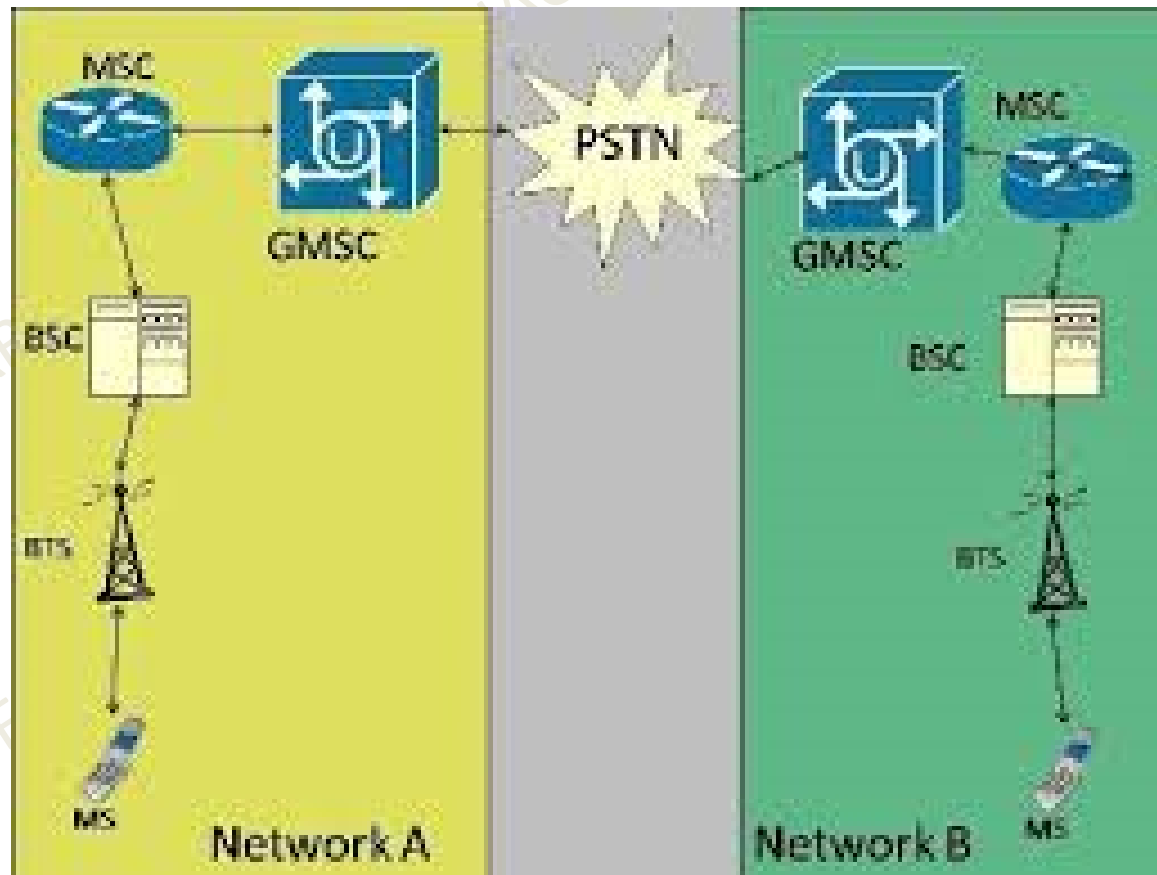
BSS : Base Station Sub system
NSS : Network Sub system
BTS : Base Tranceiver Station
BSC : Base Staion Controller

MSC : Mobile-services Switshing Center
VLR : Visitor Location Register
HLR : Home Location Register

Architecture du GSM (suite)



Architecture du GSM (suite)





Architecture du GSM (suite)

Le BSS comprend :

- **les BTS** (Base Transceiver Station) sont des émetteurs-récepteurs ayant un minimum d'intelligence.
- **le BSC** (Base Station Controller) contrôle un ensemble de BTS et permet une première concentration des circuits.

Le NSS comprend des bases de données et des commutateurs :

- **les MSC** (Mobile-services Switching Center) sont des commutateurs mobiles associés en général aux bases de données VLR (Visitor Location Register)
- **le HLR** (Home Location Register) est une base de données de localisation et de caractérisation des abonnés



Architecture du GSM (suite)

BTS :

- ***Une BTS est un ensemble d'émetteurs-récepteurs appelés TRX.***
- Modulation, démodulation, égalisation, codage, correcteur d'erreur
- Gère toute la couche physique, multiplexage TDMA, saut de fréquence, chiffrement.
- Réalisation de mesures radio pour vérifier que la communication se déroule bien.

Ces mesures ne sont pas exploitées par la BTS mais envoyées au BSC.

- Capacité maximale d'une BTS : 16 porteuses

Au plus, une centaine de communications simultanées

- En zone rurale, la BTS peut être restreinte à la gestion d'une seule porteuse écoulant jusqu'à 7 communications simultanées.
- En zone urbaine, les BTS comportent généralement de 2 à 4 TRX pouvant écouler environ de 14 à 28 communications simultanées.
- des dispositifs de couplage permettent d'avoir une seule antenne pour plusieurs TRX



Architecture du GSM (suite)

- Types de BTS :
 - BTS Standards (2,5-320 Watt)
 - Locaux techniques
 - Antennes + câble + coupleur + 1-4 TRX
 - Micro-BTS (0.01-0.08 Watt)
 - Zone urbaine dense
 - Equipement intégré
 - Coût faible



Architecture du GSM (suite)

- Exemple de BTS





Architecture du GSM (suite)

- Micro BTS



Architecture du GSM (suite) :

Photos de BTS



Photo : Bejaoui Tarek

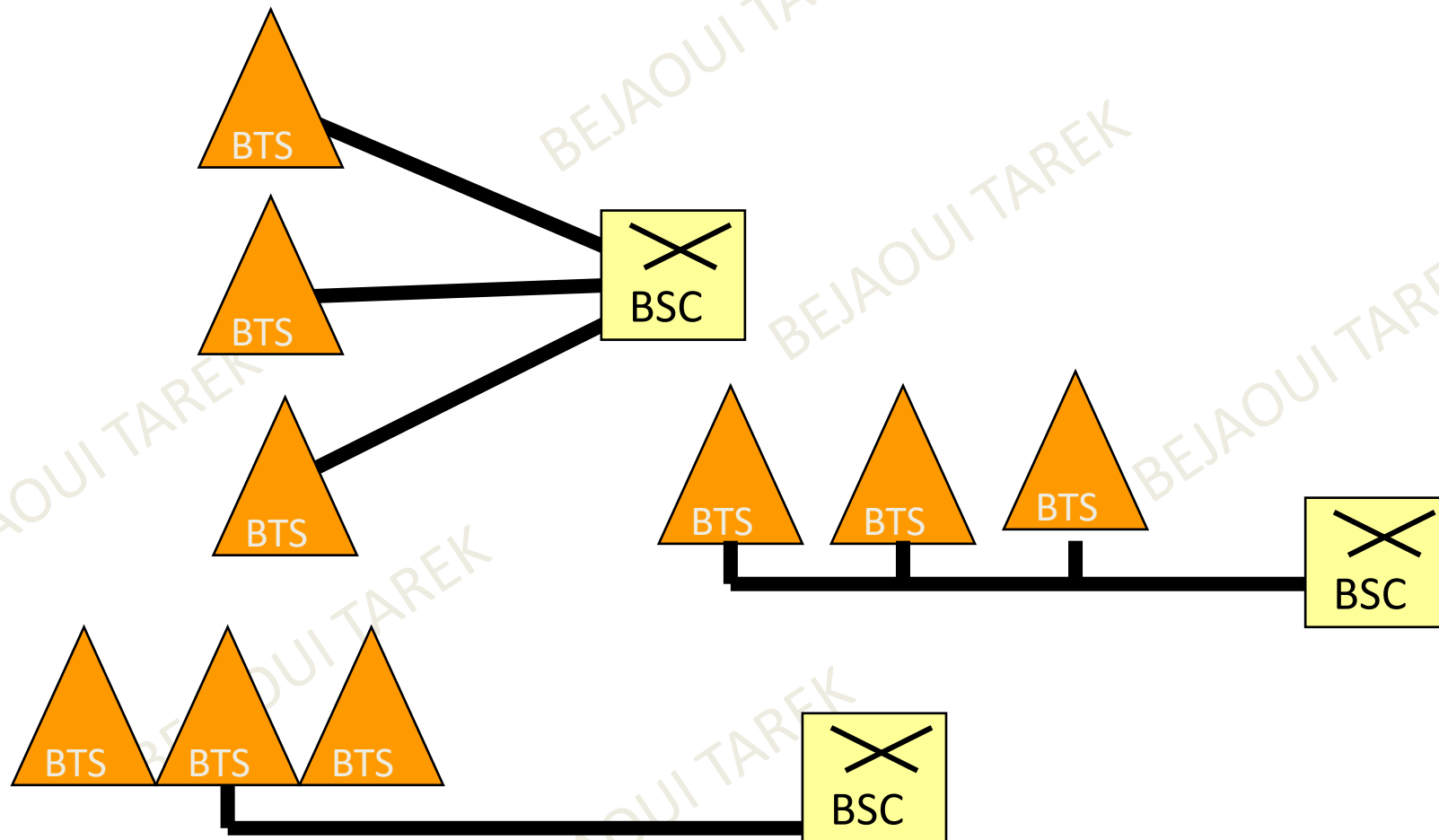


Photo : Bejaoui Tarek





Architecture du GSM (suite)





Architecture du GSM (suite)

BSC :

Contrôleur de station de base (Organe "intelligent" du BSS)

- **Commande l'allocation des canaux.**
- **Utilise les mesures effectuées par la BTS pour contrôler les puissances d'émission du mobile et/ou de la BTS.**

⇒ **Décision de handover**

Architecture du GSM (suite) : Base Station Controller



Photo : Bejaoui Tarek

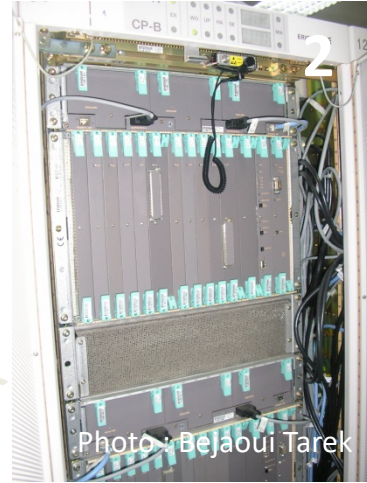


Photo : Bejaoui Tarek

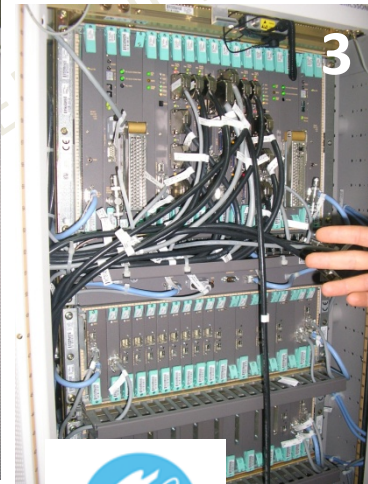


Photo : Bejaoui Tarek

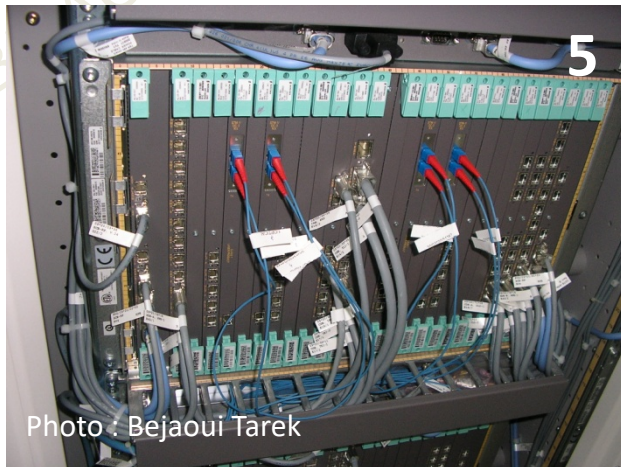


Photo : Bejaoui Tarek



Photo : Bejaoui Tarek



Photo : Bejaoui Tarek



Architecture du GSM (suite)

HLR : Enregistreur de localisation nominal

Base de données qui gère les abonnés d'un réseau GSM donné.

1 - Il mémorise les caractéristiques de chaque abonné :

- IMSI (International Mobile Subscriber Identity) Identité invariante de l'abonné
- MSISDN (Mobile Station ISDN Number)
- Profil d'abonnement

2 - HLR est aussi une base de données de localisation

- numéro de VLR où le mobile est enregistré.



Architecture du GSM (suite)

VLR : Enregistreur de localisation d'accueil

- Base de données qui mémorise les données d'abonnement des abonnés mobiles présents dans une zone géographique.
- Plusieurs MSC peuvent être reliés au même VLR, mais en général un MSC pour un VLR.
- Données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR, mais concernent seulement les abonnés mobiles présents dans la zone considérée.
- La séparation matérielle entre MSC et VLR proposée par la norme n'est pas souvent respectée.



Architecture du GSM (suite)

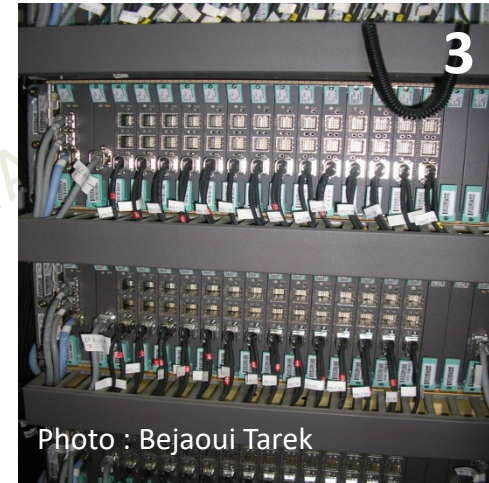
MSC

Gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC, la transmission des messages courts et l'exécution du handover.

Il dialogue avec le VLR pour gérer la mobilité des usagers : vérification des caractéristiques des abonnés visiteurs lors d'un appel départ, transfert des informations de localisation,...

Il peut posséder une fonction passerelle : GMSC

Architecture du GSM (suite) : Mobile Switching center





Architecture du GSM (suite)

GMSC (Gateway MSC)

- activé au début de chaque appel d'un abonné fixe vers un mobile.
- fonction différente de MSC pure, car la GMSC pourrait être implantée directement dans les commutateurs du RTC.
- En réalité, elle est réalisée par les MSC pour minimiser l'impact sur le RTC.

Un ensemble MSC/VLR peut gérer de l'ordre d'une centaine de milliers d'abonnés présentant un trafic moyen de 0,025 Erlang.

- Les MSC sont en général des commutateurs de transit du réseau téléphonique sur lesquels ont été implantées des fonctions spécifiques du GSM.



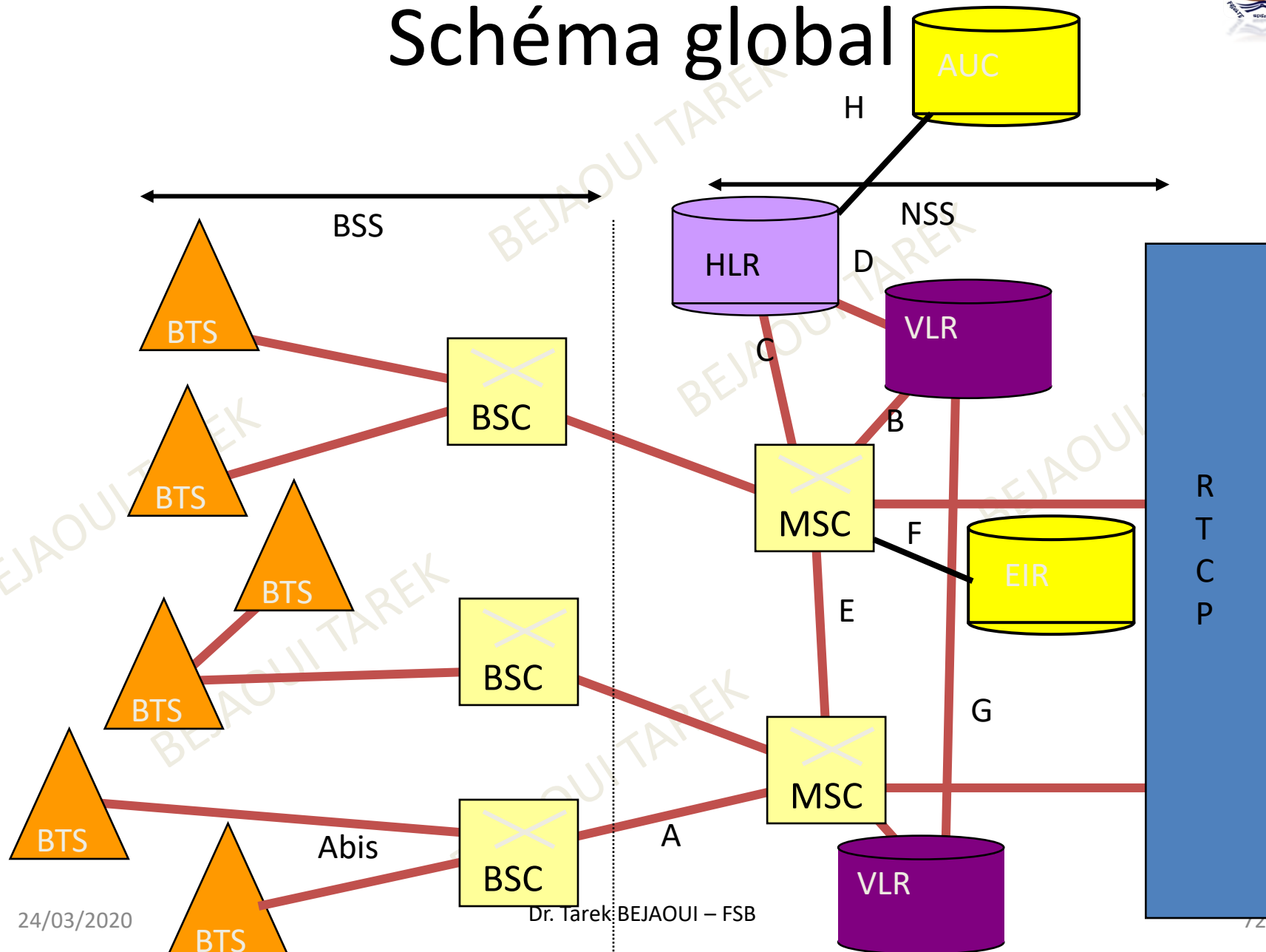
Architecture du GSM (suite)

Sous-système d'exploitation et de maintenance (OSS ou Operation Sub-System)

- Contrôle de performance
- Administration commerciale
- Gestion de la sécurité
- Maintenance
- Equipement Identity Register (EIR)
 - Base de données de l'identité des terminaux
 - Contrôle homologation, déclaration de vol...



Schéma global





Liste des interfaces

Nom	Localisation	Utilisation
Um	MS-BTS	Interface radio
Abis	BTS-BSC	Divers
A	BSC-MSC	Divers
C	GMSC-HLR	Interrogation HLR Appel entrant
	SM-GMSC-HLR	Interrogation HLR SM entrant
D	VLR-HLR	Gestion Informations abonnés
	HLR-VLR	Services supplémentaires
E	MSC-SM-GMSC	Transport SM
	MSC-MSC	Exécution de Handover
G	VLR-VLR	Gestion Informations abonnés
F	MSC-EIR	Vérification terminal
B	MSC-VLR	Divers
H	HLR-AUC	Authentification



L'interface A-bis

- Relie le BSC à la station de base
- La couche physique est déniée par une liaison MIC à 2 Mbps et la couche liaison de données est composée du protocole *Link Access Protocol D-channel (LAPD)*.

- Le canal de liaison MIC a un débit unitaire de 64 kbps et le débit par canal radio GSM est de 13 kbps → il faut donc adapter le débit.

Cette fonction est appelée transcodage et elle est réalisée dans une unité appelée *Transcoding Rate and Adaptation Unit (TRAU)*. Deux solutions sont techniquement possibles et rencontrées dans les réseaux GSM :

1. Multiplexer quatre canaux à 13 kbps pour produire un canal à 64 kbps.
2. Faire passer le débit de chaque canal à 64 kbps.

→ affaire de compromis et de choix. L'avantage de **la première solution** est de diminuer le débit entre la station de base et le BSC où le trafic est fortement concentré. **La seconde solution** offre par contre l'avantage de banaliser les équipements du système en ramenant tous les équipements à 64 kbps. Souvent, la deuxième solution est utilisée au niveau des commutateurs et la première au niveau du BSC afin de garder l'avantage du faible débit de parole.

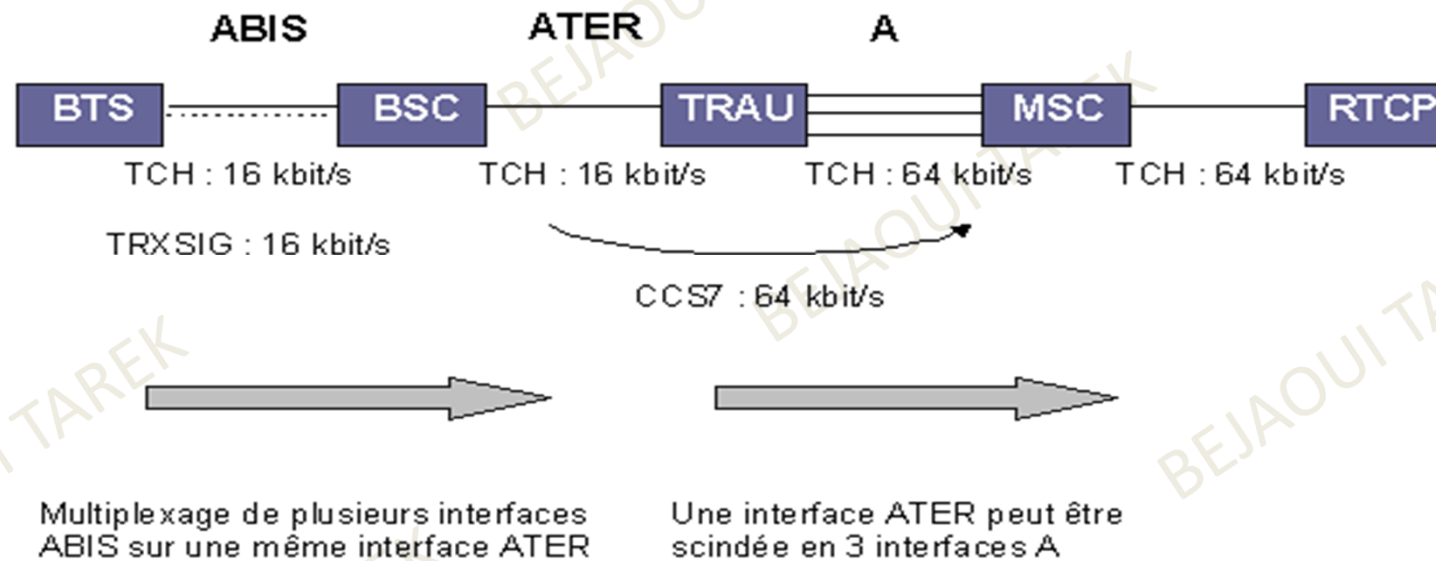


L'interface A

- La couche physique est toujours déniée par une liaison à MIC à 2 Mbps mais c'est le protocole SS7 (signalling system number 7) qui est utilisé pour la couche liaison de données.



Interfaces et débits respectifs



- Comme le MSC est relié au **RTCP** qui utilise des débits de 64 kbit/s, l'interface A doit présenter également le même débit pour être compatible.
- Or, la capacité des canaux de trafic à l'interface Abis est de 16 kbit/s. Par conséquent, il est impératif de convertir les débits : ceci est réalisé grâce au Transcodeur (TRAU) placé entre le BSC et le MSC. L'interface A est en réalité l'interface qui relie le MSC au TRAU.



Principaux aspects

- Différences avec les réseaux fixes :
 - Aspects radio :
 - ➔ Médium peu fiable : qualité des liaisons radio nettement inférieure à celle des réseaux fixes (taux d'erreur binaire sur le filaire $\approx 10^{-9}$, sur la radio $\approx 10^{-4}$).
 - ➔ Médium « diffusant » : problèmes de sécurité et de confidentialité.
 - ➔ Ressources limitée : la réutilisation cellulaire nécessite une phase de planification et des campagnes de mesures régulières afin de maintenir une qualité de service constante

L'interface radio constitue généralement le goulet d'étranglement des systèmes cellulaires



Principaux aspects (Suite)

➤ Aspects mobilité :

Les terminaux ne sont plus fixes (un abonné GSM peut se trouver n'importe où en Europe) → il faut suivre les mobiles (procédures de ***gestion de localisation, itinérance ou roaming***).

➡ Les mobiles doivent être en veille en permanence (à l'écoute des informations diffusées sur le réseau)

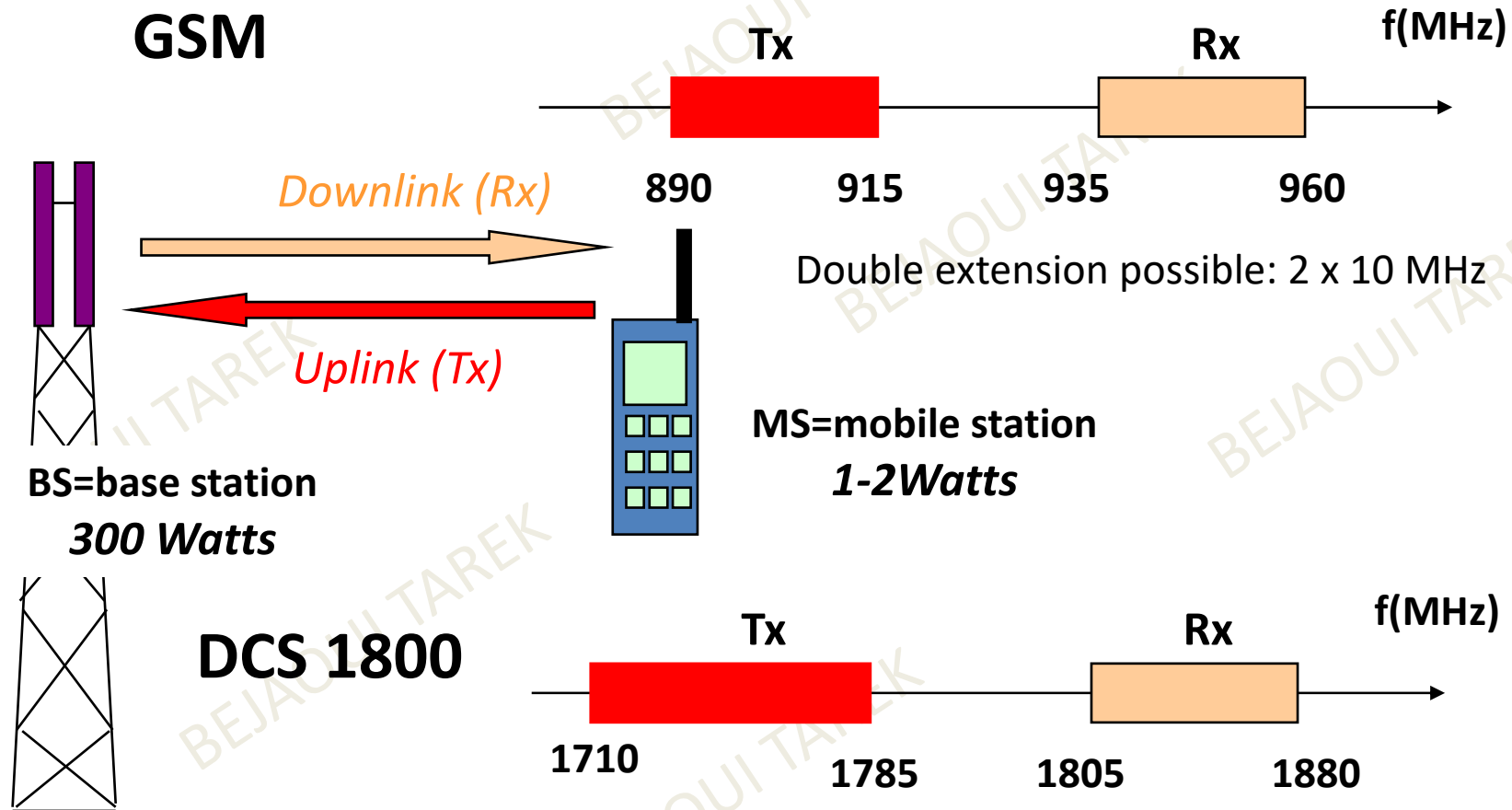
➡ La signalisation due à la gestion de localisation est importante



Interface Radio GSM



Interface Radio dans GSM



RAPPEL : Système à large bande/bande étroite



- **Bande étroite**

- La bande de fréquence allouée au système est découpée en sous-bande de petites tailles

- Frequency Division Multiple Access (FDMA)

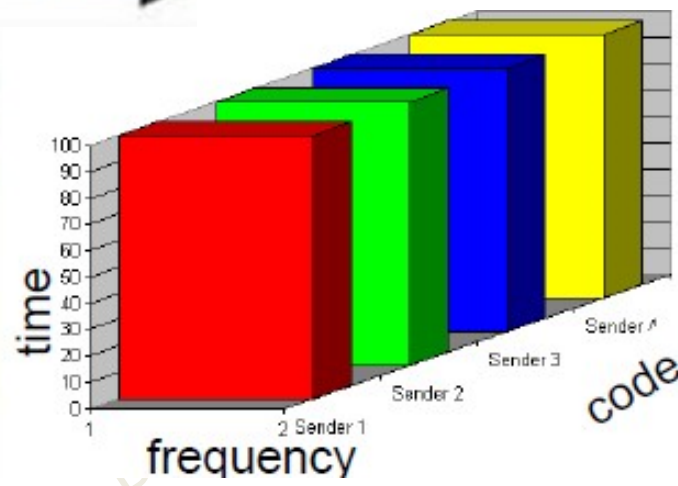
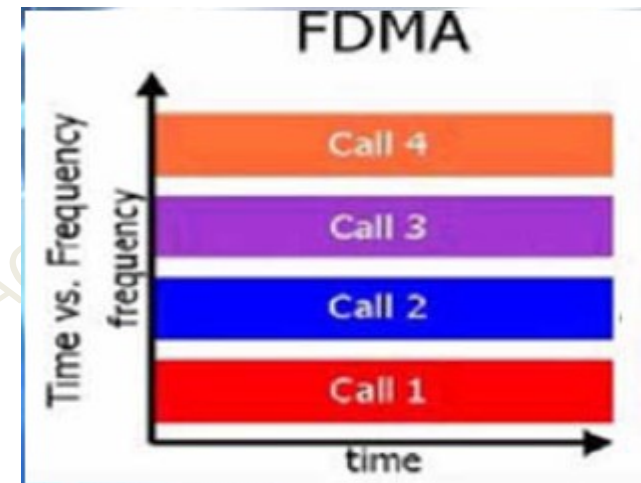
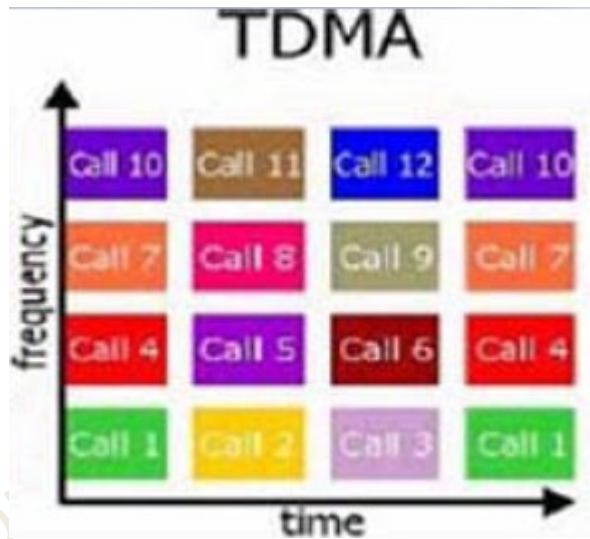
- **Bande large**

- La totalité (ou une grande partie) de la bande de fréquence est utilisée pour chaque canal

- Code Division Multiple Access (CDMA)



RAPPEL : Les méthodes d'accès





RAPPEL : Time Division Multiple Access

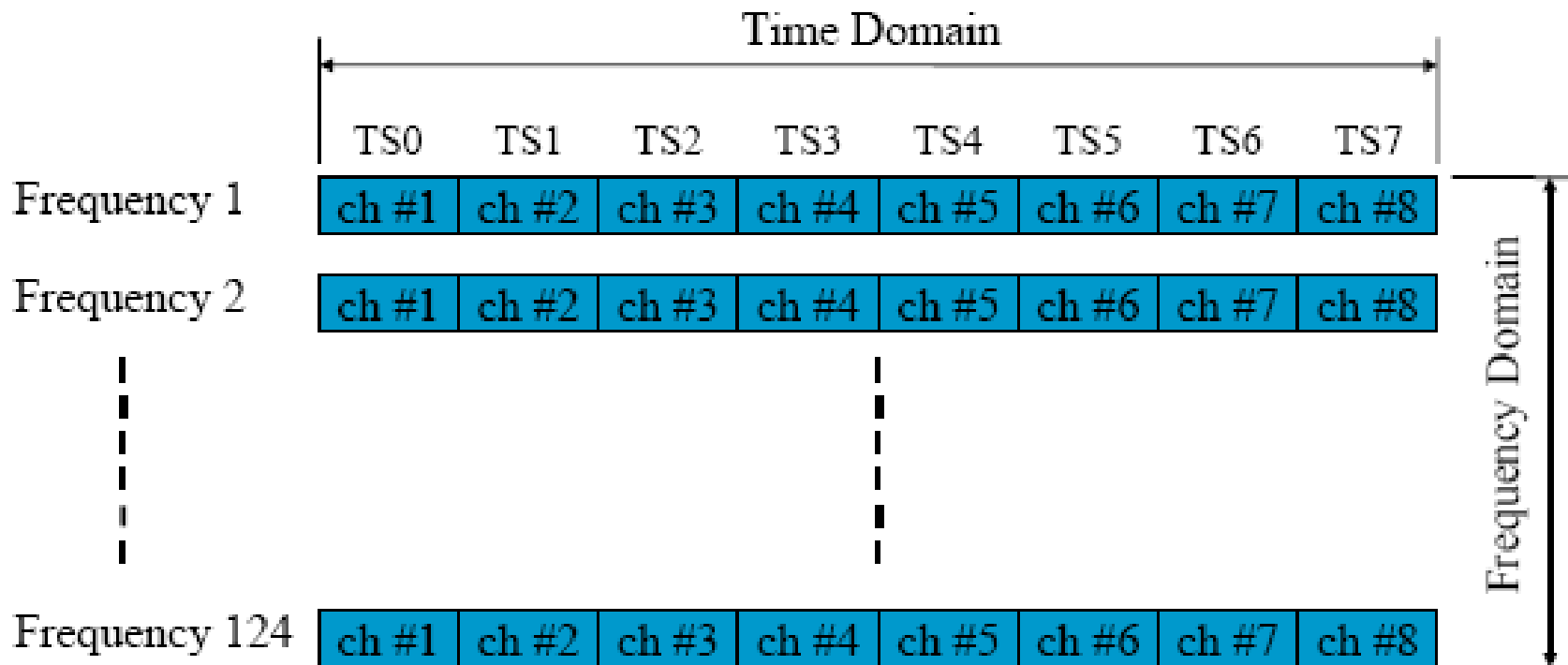
- TDMA
 - Définition d'intervalle (Slot) de temps dans une sous-bande
 - Etroite ou large bande suivant le cas

Rappel : débit utile théorique

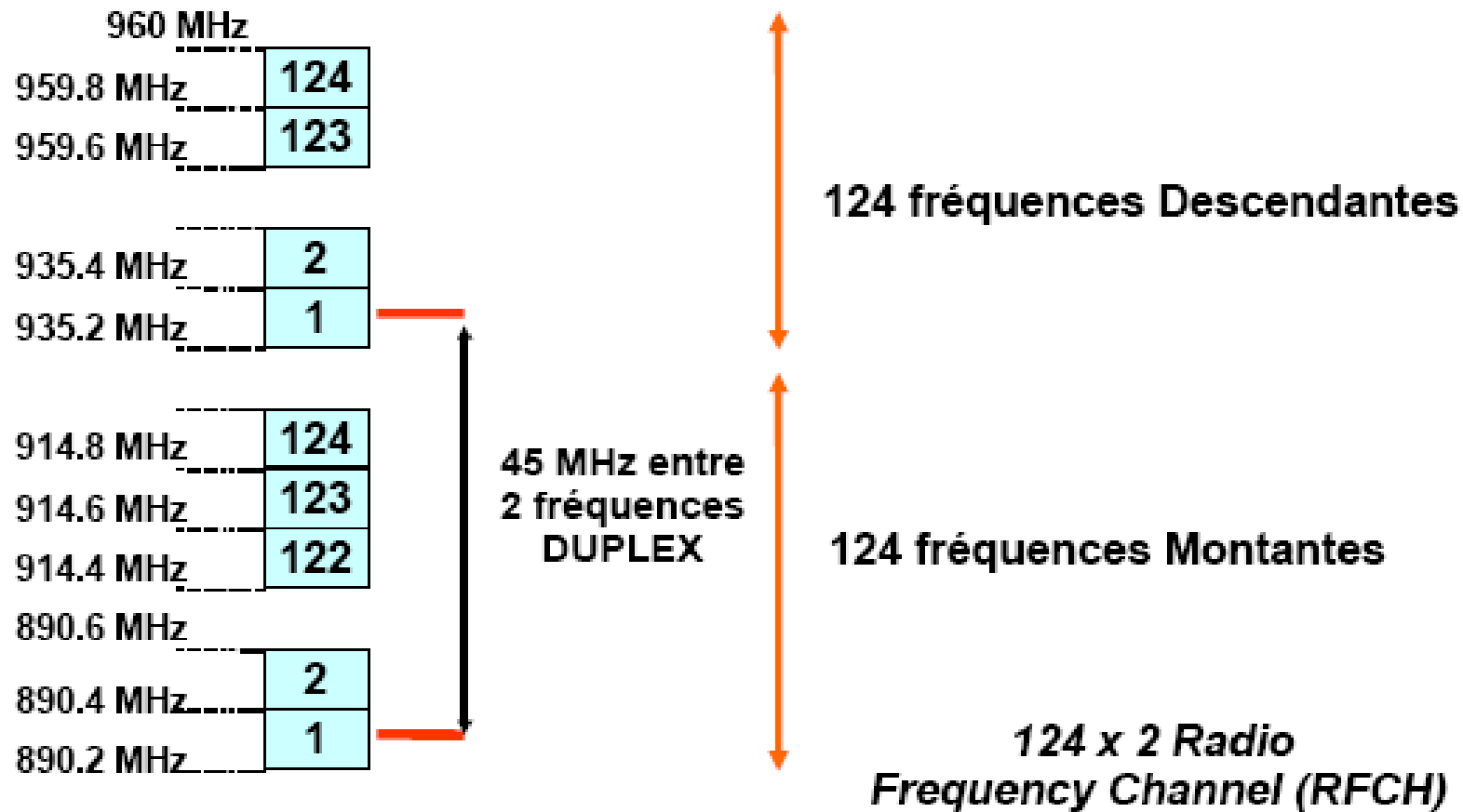
$$D = B \log_2 (1 + S / N)$$



Les canaux physiques du GSM : Division temporelle et fréquentielle



Les canaux physiques du GSM : Division temporelle et fréquentielle (suite)





Les canaux physiques du GSM (suite)

- Chaque porteuse GSM ou DCS est identifiée de manière unique par un numéro n , désigné par le sigle ARFCN, codé sur 10 bits conformément au plan suivant où la fréquence de la voie descendante est exprimée en MHz :

- Pour $1 \leq n \leq 124$ $F_d = 935 + (0.2 \times n)$ (GSM, $n=0$ est autorisé pour GSM étendu)

- Pour $1 \leq n \leq 124$ $F_d = 935 + (0.2 \times (n - 1024))$ (GSM étendu E-GSM)

- Pour $512 \leq n \leq 885$ $F_d = 1805,2 + (0.2 \times (n - 512))$ (DCS 1800)

- La fréquence de la voie montante est calculée en utilisant l'écart duplex constant pour chaque système

GSM : $F_u = 890 + (n \times 0.2)$ jusqu'à 915 MHz, $1 \leq n \leq 125$

DCS 1800 : $F_u = 1710 + (n \times 0.2)$ jusqu'à 1785 MHz, $1 \leq n \leq 375$



Les canaux physiques du GSM (suite)

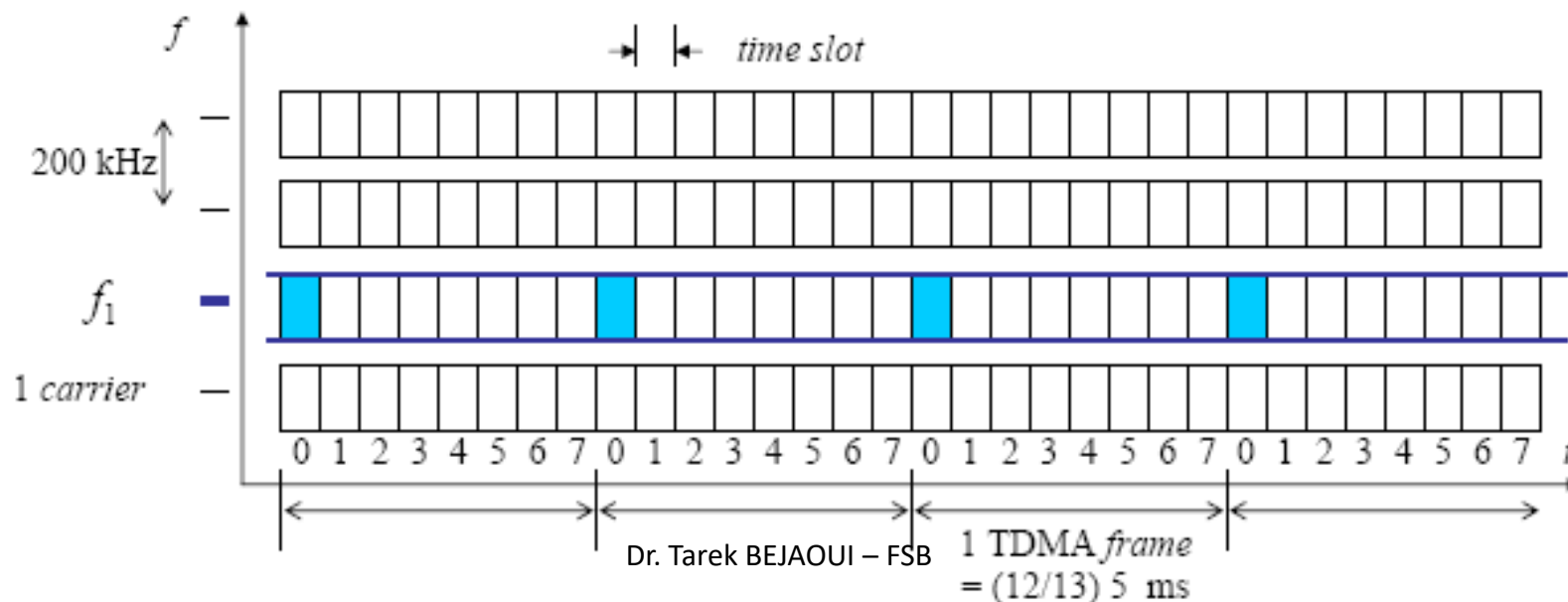
N_c le nombre de paires de porteuses pour un système :

- $N_c = 124$ dans GSM
- $N_c = 174$ dans GSM étendu
- $N_c = 374$ dans DCS 1800



Les canaux physiques du GSM (suite)

- Mode d'accès : Accès multiple par division temporel (AMRT ou TDMA)
- Nombre d'Intervalle de Temps (IT) : 8 (AMRT d'ordre 8)
- Durée d'un bit : 3,69 μ s
- Durée d'un IT : 0,5769 ms (156.25 bits, dont 2x57 utiles)
- Durée d'une trame : 8 x 0,5769 = 4,6152 ms
- Modulation GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying)





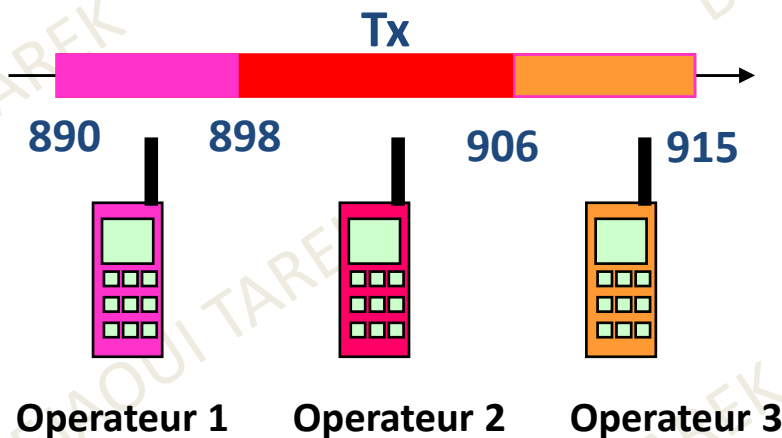
Les canaux physiques du GSM (suite)

- Durée d'un paquet \rightarrow 0.577 ms correspond à l'émission de 156.25 bits
 - \rightarrow débit max = $156.25/0.577 * 10^{-3} \approx 271$ kbps
- En pratique, débit max utile (en full duplex) ne dépasse pas 13 kbps en raison des bits nécessaires à la correction d'erreurs
- Pour transmission de données \rightarrow débit = 9.6 kbps pour la surprotection et garantie d'un taux d'erreur acceptable.



Les canaux physiques du GSM (suite)

- En théorie : 124 couples de porteuses duplex pour GSM
 - Soit $124 \times 8 = 992$ canaux physiques duplex
- Répartition entre les opérateurs
 - Porteuses perdues : garde entre opérateurs

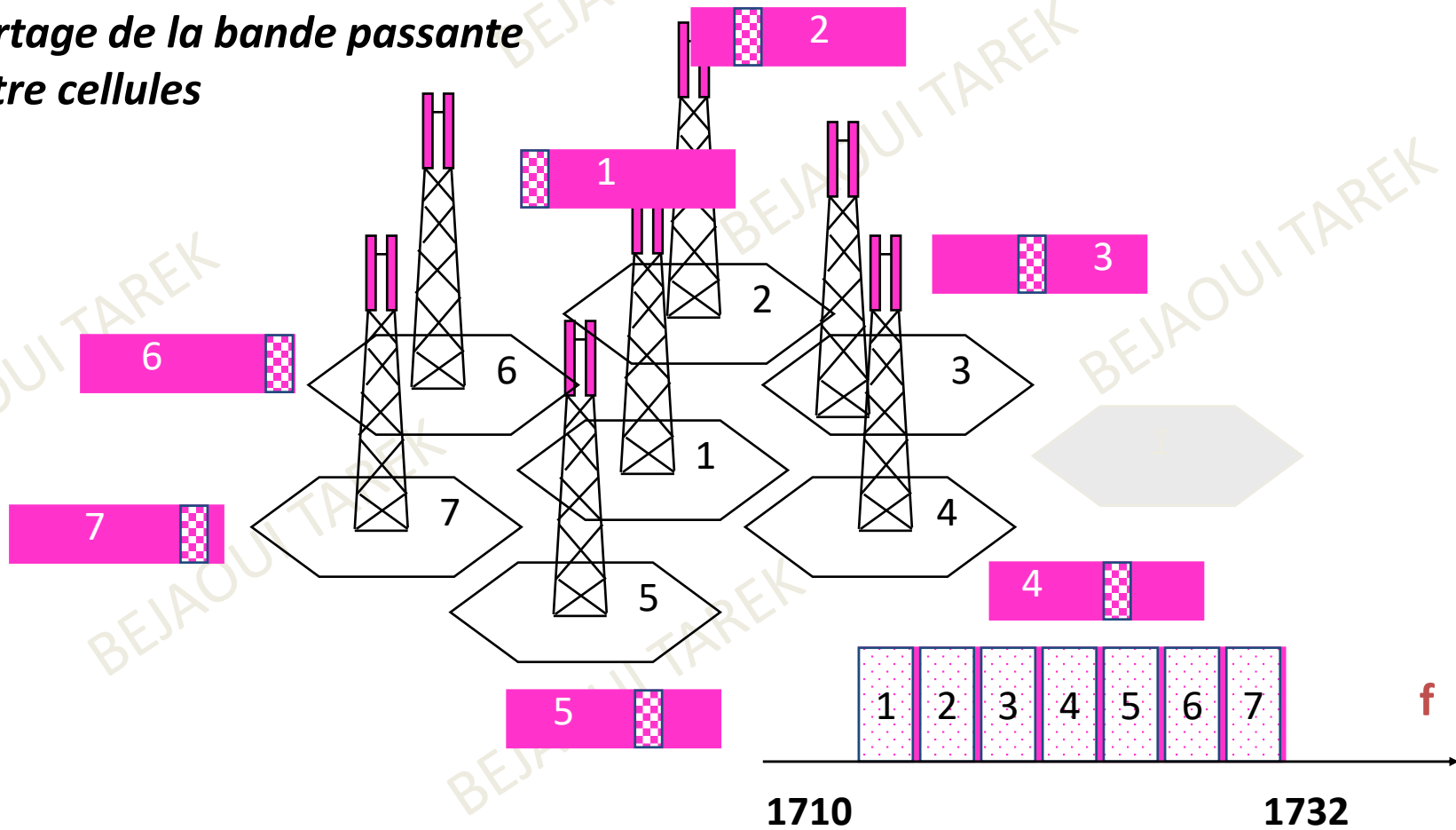


Operateurs partagent la bande passante

- Distribution entre les cellules
 - Porteuses inutilisées entre les cellules

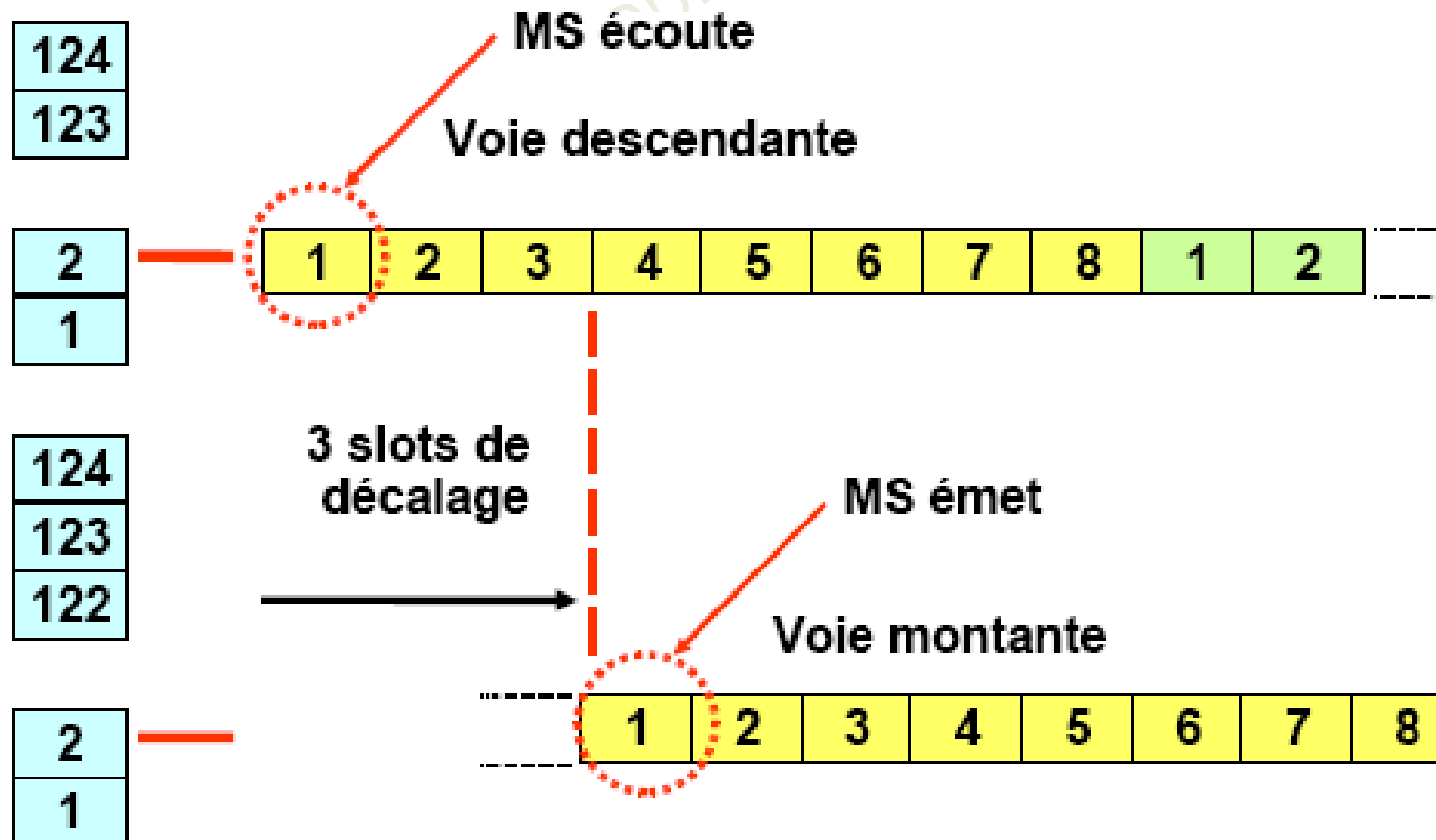
Partage de la bande

*Partage de la bande passante
 entre cellules*



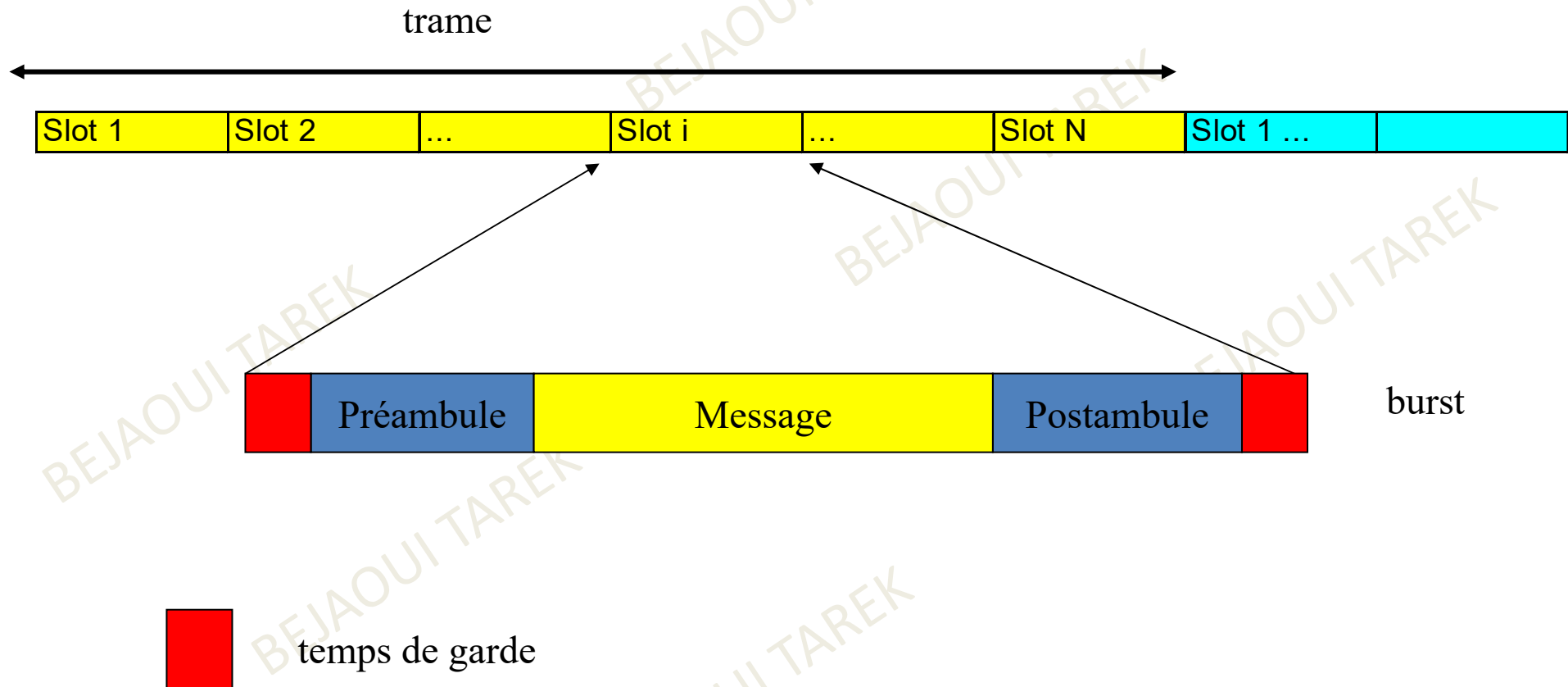


Décalage temporel entre émission et réception





Burst GSM



Comparaison des systèmes GSM et DCS-1800



	GSM	DCS-1800
Bande de fréquences (↑)	890,2 – 915 [MHz]	1710 – 1785 [MHz]
Bande de fréquences (↓)	935,2 – 960 [MHz]	1805 – 1880 [MHz]
Nombre d'intervalles de temps par trame TDMA	8	8
Débit total par canal	271 [kb/s]	271 [kb/s]
Débit de la parole	13 [kb/s]	13 [kb/s]
Débit maximal de données	12 [kb/s]	12 [kb/s]
Technique de multiplexage	Multiplexage fréquentiel et temporel	Multiplexage fréquentiel et temporel
Rayon de cellules	0,3 à 30 [km]	0,1 à 4 [km]
Puissance des terminaux	2 à 8 [W]	0,25 et 1 [W]
Sensibilité des terminaux	-102 [dB]	
Sensibilité de la station de base	-104 [dB]	



Bilan de liaison

	Sens montant	Sens descendant
Partie Réception		
Sensibilité	-104 dBm	-102 dBm
Marge de protection	3 dB	3 dB
Pertes câbles	4 dB	0 dB
Gain d'antenne	12 dBi	0 dBi
Marge de masque à 90%	5 dB	5 dB
Seuil de sensibilité	-104 dBm	-94 dBm
Partie émission		
Puissance d'émission	33 dBm	38 dBm
Pertes de couplage	0dB	3 dB
Pertes câbles	0 dB	4 dB
Gain d'antenne	0 dBi	12 dBi
PIRE	33 dBm	43 dBm
Affaiblissement maximum		
Affaiblissement maximum	137 dBm	137 dBm
Pertes dues au corps humain	3dB	3 dB
Affaiblissement de parcours	134 dB	134 dB

Marge sur le seuil de bruit

Effet de masque sur la propagation

1. L'utilisation de la diversité dans la BS permet de gagner 5 dB dans le sens montant.
2. Le budget doit être équilibré.

Portée extérieure
2 km environ
(Okumura-Hata, urbain dense)



Relation entre C/I et D/R (1)

- Rayon de la cellule $R = f(P_{eBS}, P_{eMS})$
- Pour diminuer D il suffit de diminuer P_e des Eqts
- C/I maintenu constant en ajustant la puissance des MS et BS
- La valeur minimum de D/R dépend de la valeur de C/I le plus faible que le système peut accepter
- $q = D/R =$ rapport de réutilisation co-canal
donne une indication sur la qualité de la transmission et sur la capacité du trafic



Relation entre C/I et D/R (2)

- Du point de vue transmission :
D/R indique le niveau d'interférence co-canal du système → plus q est élevé, plus faible sera le niveau potentiel d'interférence
- Du point de vue trafic :
D/R indique le niveau de performance du syst.
- L'interférence co-canal est fonction de q
- → q =facteur de réduction d'interférence co-canal
 q augmente → interférence co-canal diminue



Relation entre C/I et D/R (3)

- Le C/I est calculé dans le pire cas qui correspond aux conditions suivantes :
 - totalité des stations de base en émission à la puissance P_e
 - mobile situé à une distance R de la station de base

$$\text{Donc : } C = \alpha P_e R^{-\gamma}$$

$$I = 6\alpha P_e D^{-\gamma} \quad \text{Ainsi} \quad C/I = 1/6 (D/R)^\gamma$$



Relation entre C/I et D/R (4)

- D est fonction de K_I (nbre de cellules interférentes co-canal dans la première couronne) et de C/I

$$\frac{C}{I} = \frac{C}{\sum_{k=1}^{K_I} I_k}$$

- C et I sont respectivement proportionnels à $R^{-\gamma}$

$D^{-\gamma}$

$$\frac{C}{I} = \frac{R^{-\gamma}}{\sum_{k=1}^{K_I} D_k^{-\gamma}} = \frac{1}{\sum_{k=1}^{K_I} (q_k)^{-\gamma}} = \frac{1}{6} q_k^{\gamma}$$



Spectre limité/Trafic important (suite)

Plus on réduit le nombre de cellules dans le motif,

- plus on augmente le nombre de canaux par cellule donc le trafic est augmenté
- mais plus on réduit la distance D de réutilisation plus les interférences sont importantes

D'où un compromis à trouver

L'unité de trafic est l'ERLANG et correspond à 1 heure de communication.

Exemple : si un abonné a passé 3 communications d'une durée moyenne de 2 minutes pendant l'heure chargée, l'intensité du trafic généré par l'abonné sur une BTS est de : $(2/60) \times 3 = 0,1$ Erl

Dans le cas des réseaux GSM, le trafic moyen par abonné est d'environ 0,025 Erl.



Effacité spectrale

C'est le nombre d'Erlang par MHz et par cellule. Il donne le trafic offert par cellule et par nombre de porteuses de largeur Δ_b par MHz.

A ne pas confondre avec la capacité réseau en Erlang par MHz.km² qui donne la capacité en nombre d'abonnés sur la surface du réseau



Effacité spectrale (suite)

N étant le nombre de cellules dans le motif
 R_{\min} le rayon de la cellule
 Δ_b la largeur du canal en MHz
 k le nombre de communications par porteuse
 λ le trafic par porteuse
 T le trafic moyen par abonné

Trafic par MHz par cellule

$$BE_{\text{Eri}} = \frac{1}{N} \frac{1}{\Delta_b} k \lambda$$

Nombre d'abonnés par MHz par cellule

$$BE_{\text{Ab}} = \frac{1}{N} \frac{1}{\Delta_b} k \lambda \frac{1}{T}$$

Capacité en nombre d'abonnés par MHz et km²

$$C_{\text{Sub}} = \frac{1}{N} \frac{1}{\Delta_b} k \lambda \frac{1}{T} \frac{1}{\pi R^2}$$



Acteurs et Partage des ressources

- Bande de fréquence
 - Autorité de régulation et concepteur du système
- Définition de canaux physiques
 - Concepteur du système
- Définition du schéma cellulaire
 - Concepteur du système
- Allocation des canaux aux cellules
 - Concepteur/gestionnaire
- Allocation des canaux pour chaque connexion
 - Logiciel de contrôle d'accès

Différences entre systèmes cellulaires analogiques et numériques



	Systèmes Analogiques	Systèmes Numériques
1 canal	Une fréquence	1 IT ou 1 code sur une porteuse
Services	Voix, Données avec modem	Services multimédia
Motif de réutilisation	Important (21 dans R2000)	Faible (9 dans GSM)
Qualité des communications	Fluctuante	Stable et de bonne qualité
Débit	Faible	Important
C/I nécessaire	Important (18 dB)	Faible (9 dB)
Confidentialité et sécurité des données	Pas ou peu assurée	Quasi-parfaites
Sensibilité au fading	Importante	Faible
Signalisation	Dans la bande	Hors-bande
Transmission de la voix	Analogique	Numérique



Introduction à la propagation radio mobile



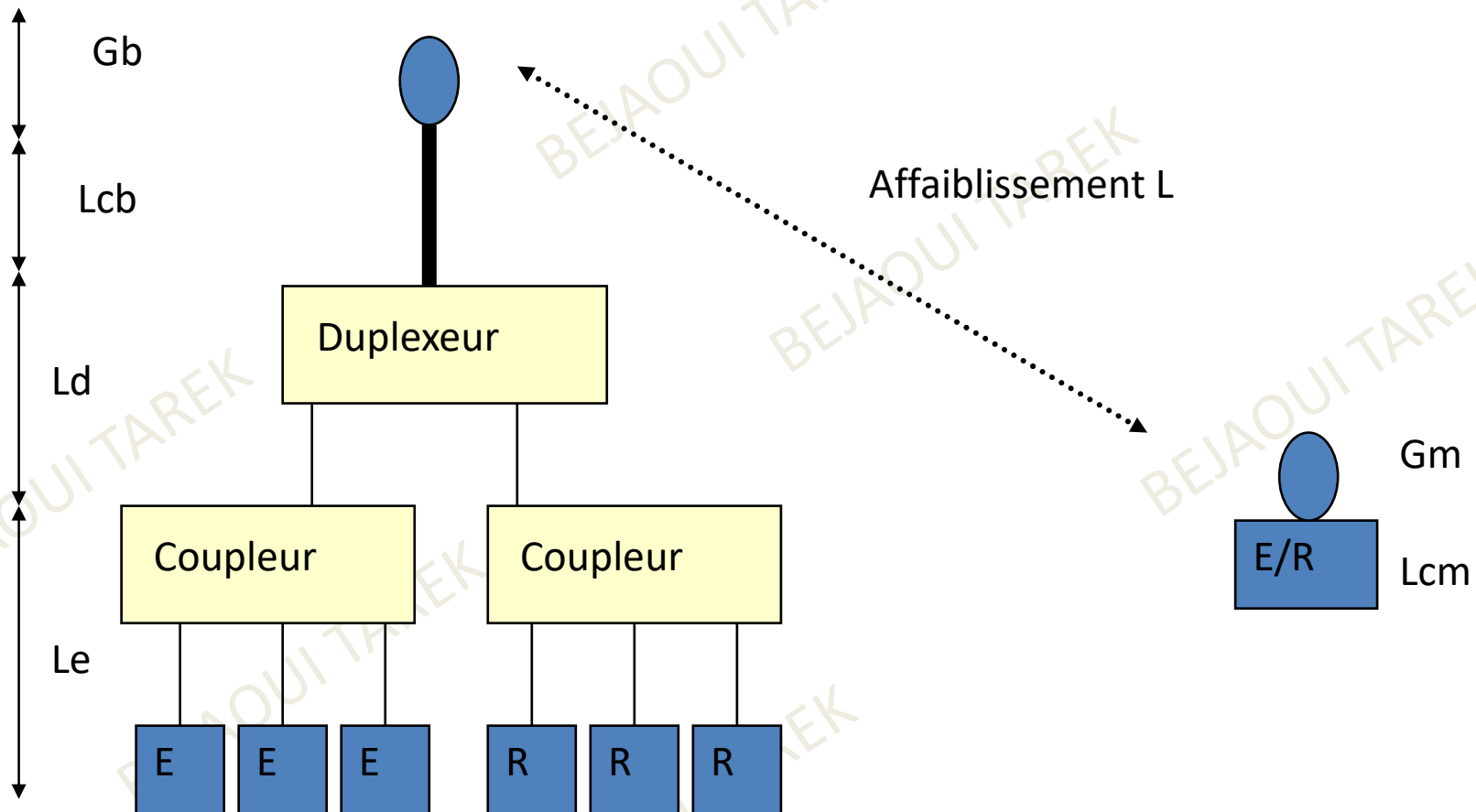
La liaison radiomobile

- Emetteurs (Puissance)
- Récepteur (Sensibilité)
- Câble
- Antenne
- Espace libre

Une modélisation complète



Schéma de la liaison





La propagation radio mobile

Trois types de phénomènes :

• **quasiment stables :**

liés, pour un système donné, essentiellement à la distance entre émetteur et récepteur

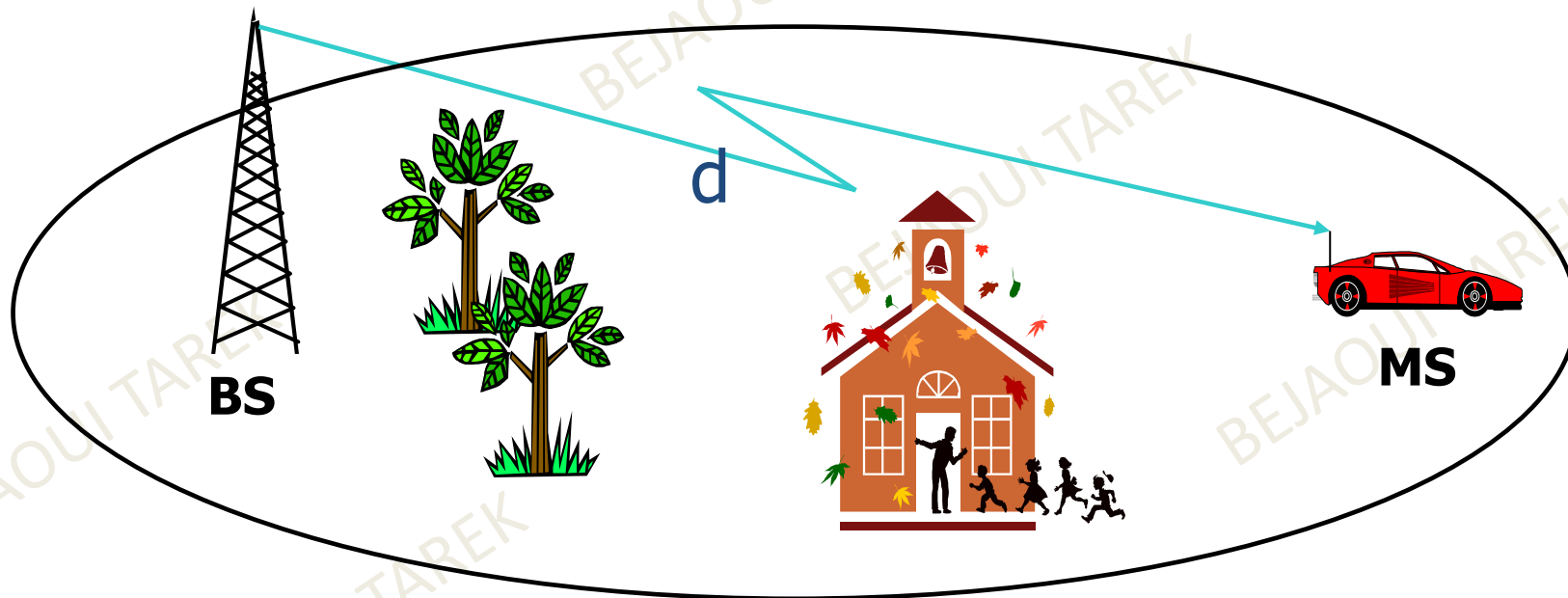
• **lents :**

liés à la présence de masques.

• **rapides :**

liés à la présence de réflexions

L'affaiblissement de parcours (path loss)



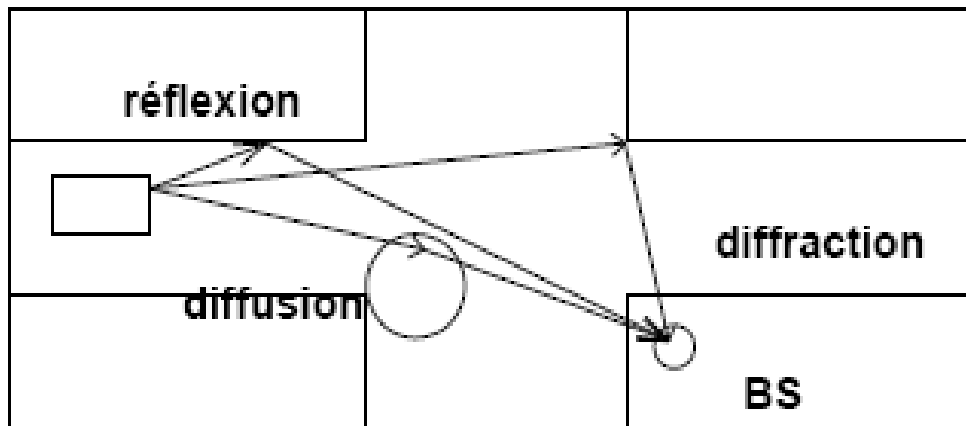
$$pl = 10 * \log(\lambda / 4\pi d)^\alpha$$

Caractérisation de l'environnement $2 < \alpha < 6$

Les multi-trajets (1)

Réception de l'onde directe + réflexions

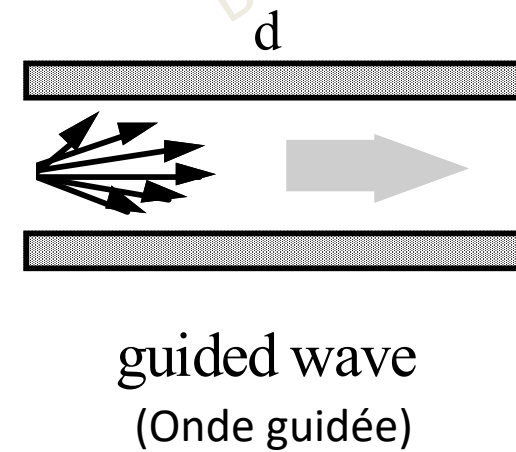
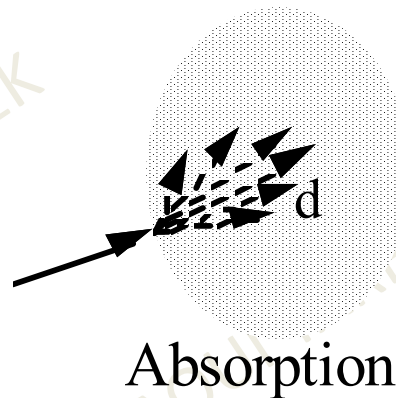
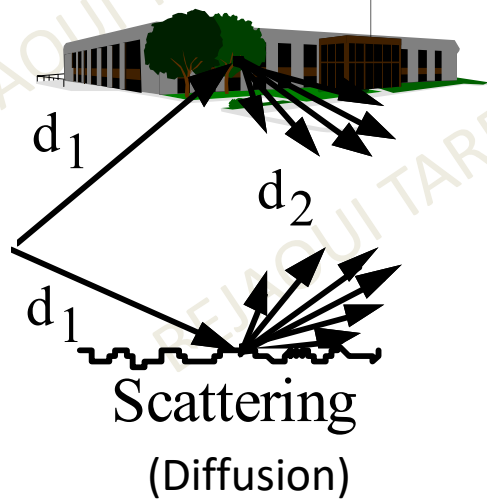
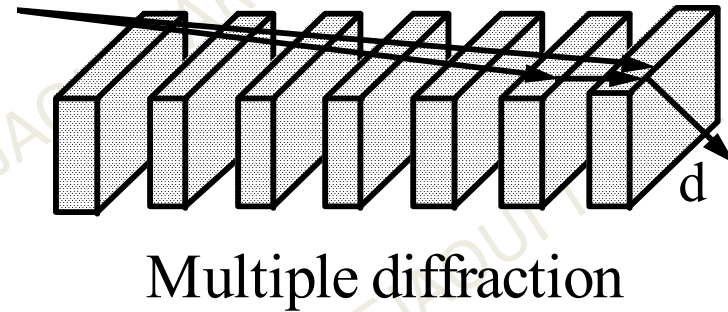
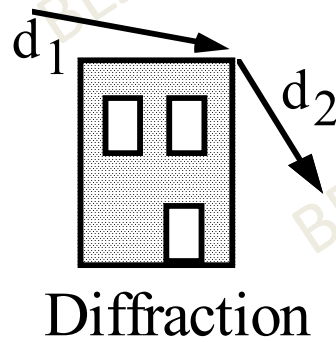
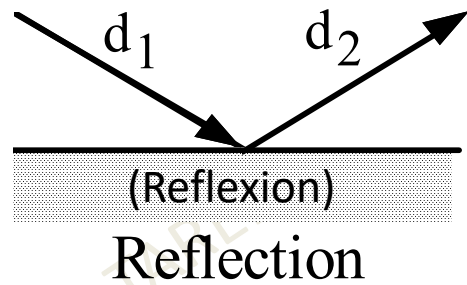
- réflexions multiples (sur les façades)
- diffraction (par les toits, par les coins des bâtiments)
- diffusion (végétation, ...)



Différents problèmes affectant la propagation en milieu urbain

$$\mu_i(t) = \sum c_{i,n} \cos(2\pi f_{i,n} t + \theta_{i,n}), \quad i=1,2$$

Les multi-trajets (2)



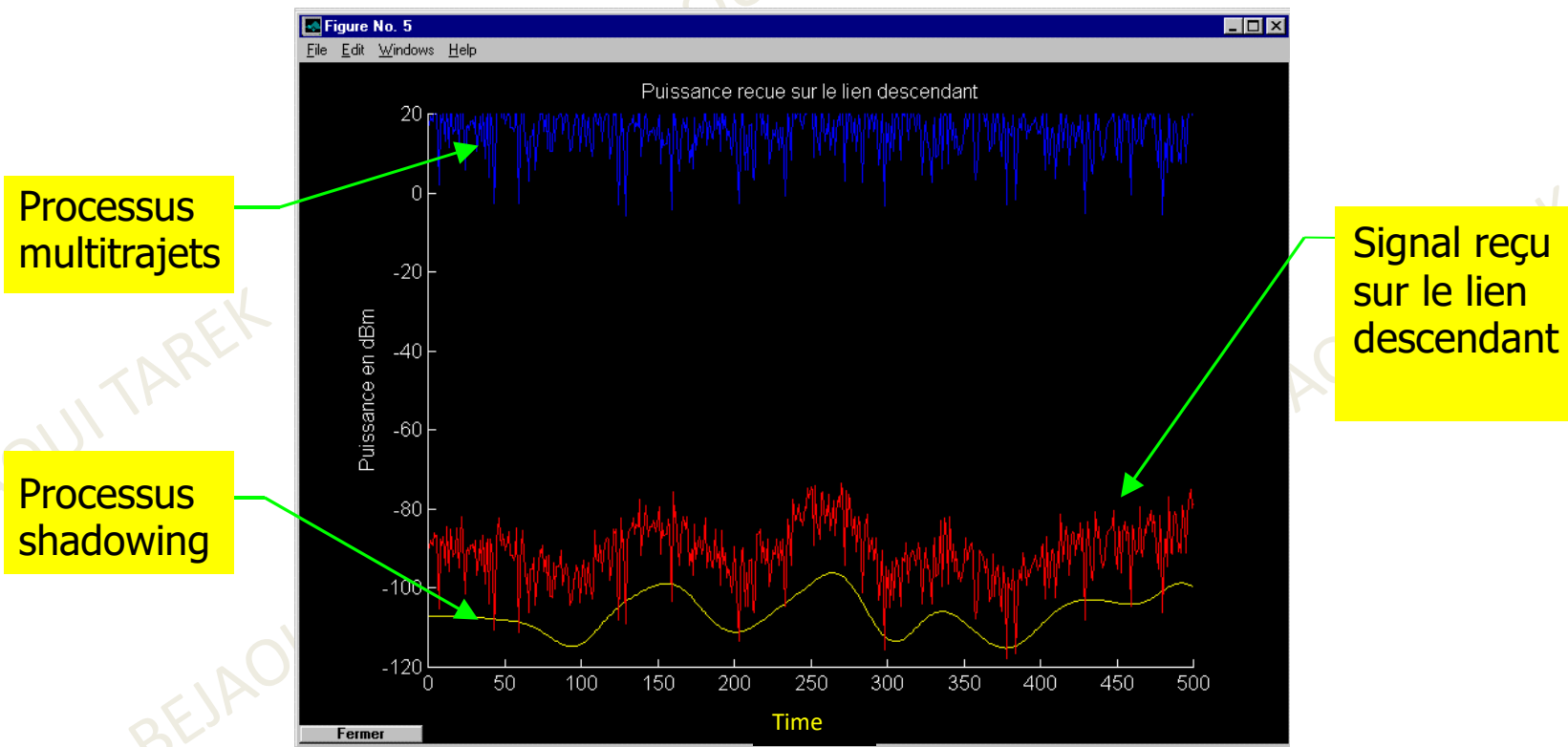
L'effet de masque



Le fading lent est représenté par une loi log-normale (gaussienne en dB)

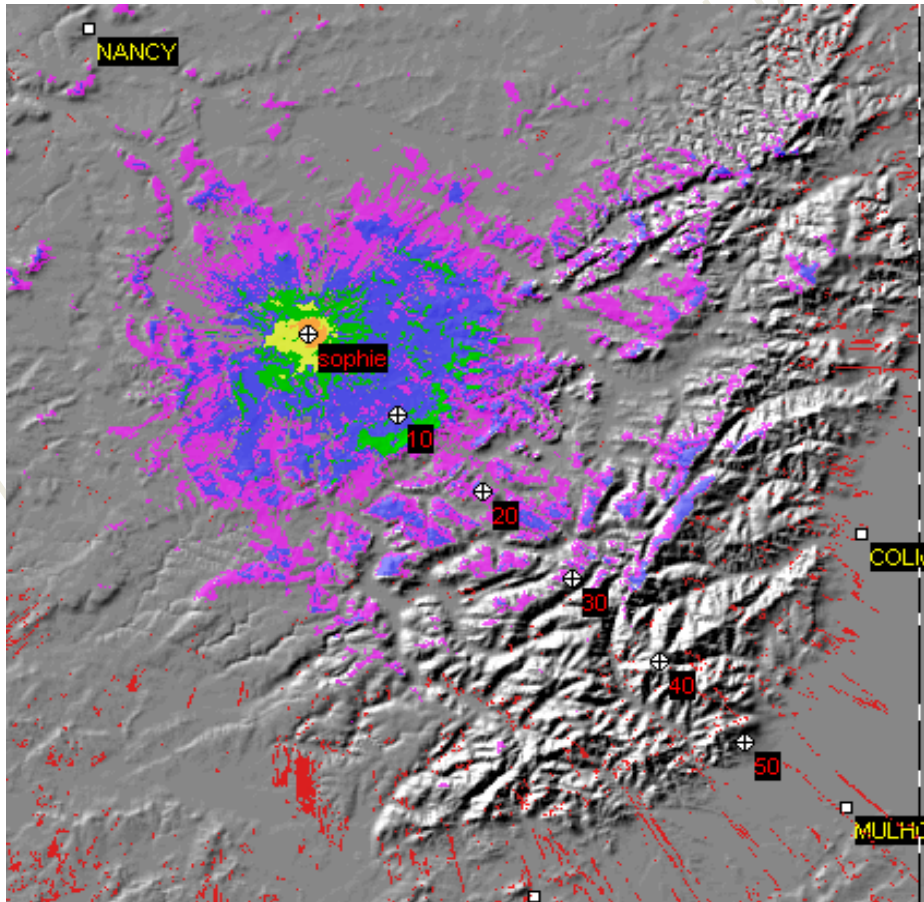
$$r(t) = e^{s \cdot v(t) + m}$$

Résultats de simulation de signaux de sortie





Outils de prédiction



Exemples :
-ARCVIEW
-SLC
-PAPADOU...



Couverture Cellulaire





Quelques lois de propagation

Modèle général à trois étages

L'atténuation du canal est fréquemment approximée par un modèle à 3 étages : une atténuation due à la distance, un terme aléatoire prenant en compte les effets de masque (présence d'obstacles) et un autre terme aléatoire décrivant les évanouissements.

Okumura-Hata :

S'applique entre 150 et 1000 MHz en milieux urbain et sub-urbain, en environnement rural ou dégagé et $d > 1$ km.

COST 231 - Hata

S'applique entre 1500 et 2000 MHz en milieux urbain et sub-urbain.

Walfish - Ikegami

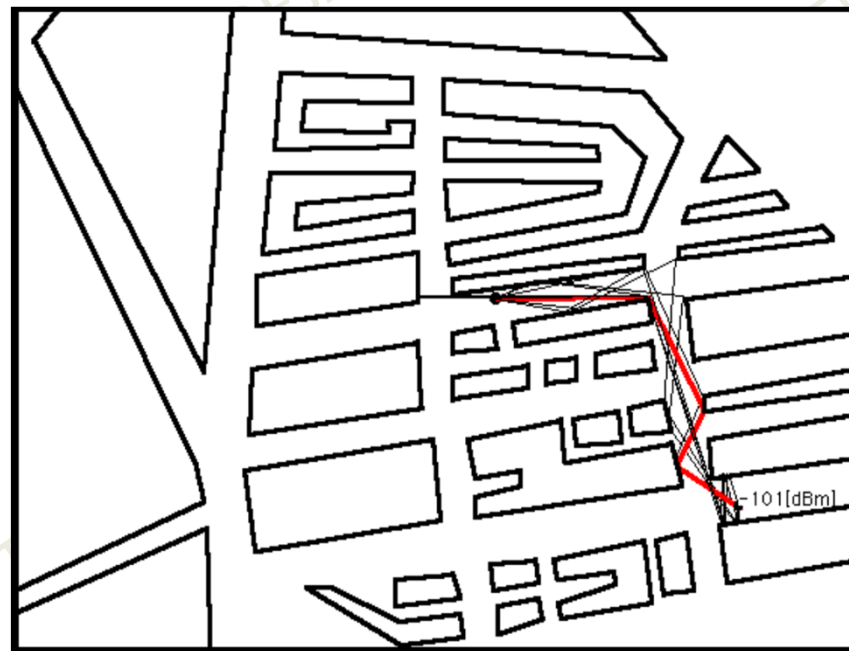
Semblable à Okumura - Hata, mais pour $d > 20$ m, donc plus précis. Il tient compte de la largeur des rues, de la hauteur des immeubles, des angles, etc.

Modèle micro-cellulaire

S'applique en milieu urbain, en visibilité pour une antenne située sous le niveau des toits.



Prédiction de la couverture



Ray tracing



Caractéristiques d'une antenne

- La bande de fréquence de fonctionnement ;
- le diagramme de rayonnement ;
- l'impédance d'antenne (en général 50 ohm);
- la puissance maximale admissible en émission ;
- Le Gain;
- la polarisation ;
- le rendement ;
- l'encombrement mécanique



Rendement d'une antenne

C'est le rapport entre la somme des puissances émises dans toutes les directions (la puissance effectivement rayonnée) et la puissance fournie par la ligne de transmission



Polarisation

La polarisation d'une antenne est celle du **champ électrique E** de l'onde qu'elle émet.



Impédance d'antenne

- C'est le rapport complexe observé entre la tension et le courant à l'entrée d'une antenne en émission.
- L'utilité de cette notion est importante pour assurer les meilleurs transferts d'énergie entre les antennes et les dispositifs qui y sont connectés grâce aux techniques d'adaptation.

Diagramme de rayonnement d'une antenne d'émission



- **Antenne isotrope** → rayonnant de la même façon dans toutes les directions : modèle théorique irréalisable dans la pratique
- En réalité, l'énergie rayonnée par une antenne est répartie inégalement dans l'espace et certaines directions sont privilégiées : ce sont les « **lobes de rayonnement** ».
- Le diagramme de rayonnement d'une antenne permet de visualiser ces lobes dans les trois dimensions, dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant le lobe le plus important.
- Un diagramme de rayonnement correspond donc à une surface dans l'espace. Pour simplifier les représentations, on indique la coupe du diagramme suivant un plan vertical et suivant un plan horizontal conformément aux coordonnées polaires classiques **θ** et **ϕ** , couramment appelés **Azimut** et **élévation**.

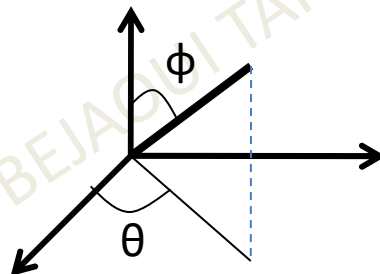




Diagramme de rayonnement (2)

- Détermine l'ouverture à 3 dB, c.a.d l'angle à l'intérieur duquel la puissance est atténuée d'au plus 3 dB par rapport à la direction principale dans le plan considéré.
- De façon très synthétique, il est possible de caractériser une antenne par l'ouverture à 3 dB, l'ouverture à 10 dB et le rapport avant-arrière, c.a.d le rapport en dB entre la puissance rayonnée dans la direction opposée à la direction principale et la puissance rayonnée dans la direction principale

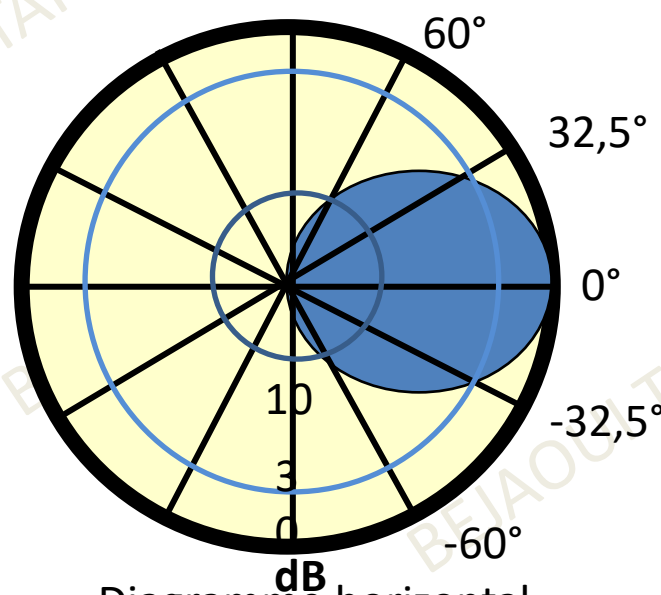


Diagramme horizontal

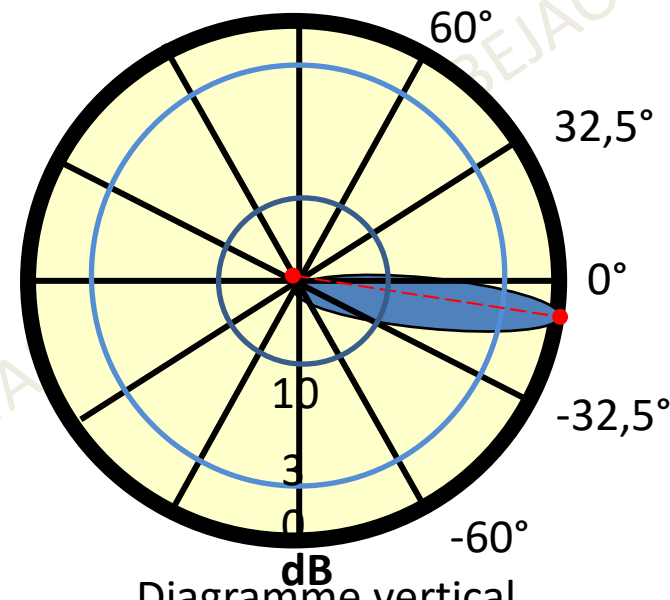


Diagramme vertical



Diagramme de rayonnement (3)

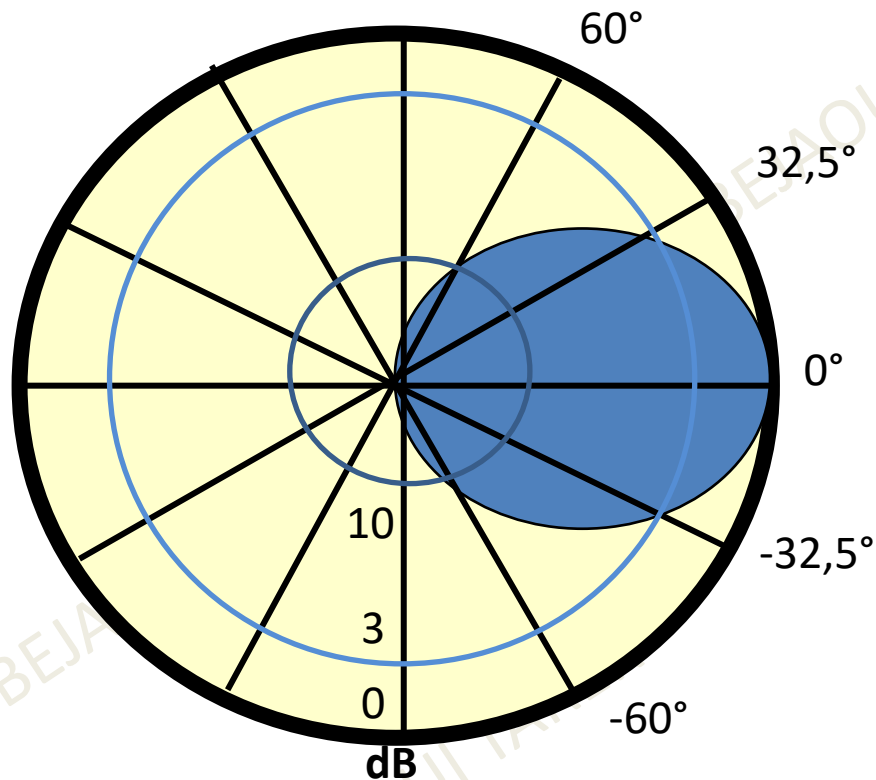


Diagramme horizontal
(θ variable, $\phi = \pi/2 + \text{tilt}$)

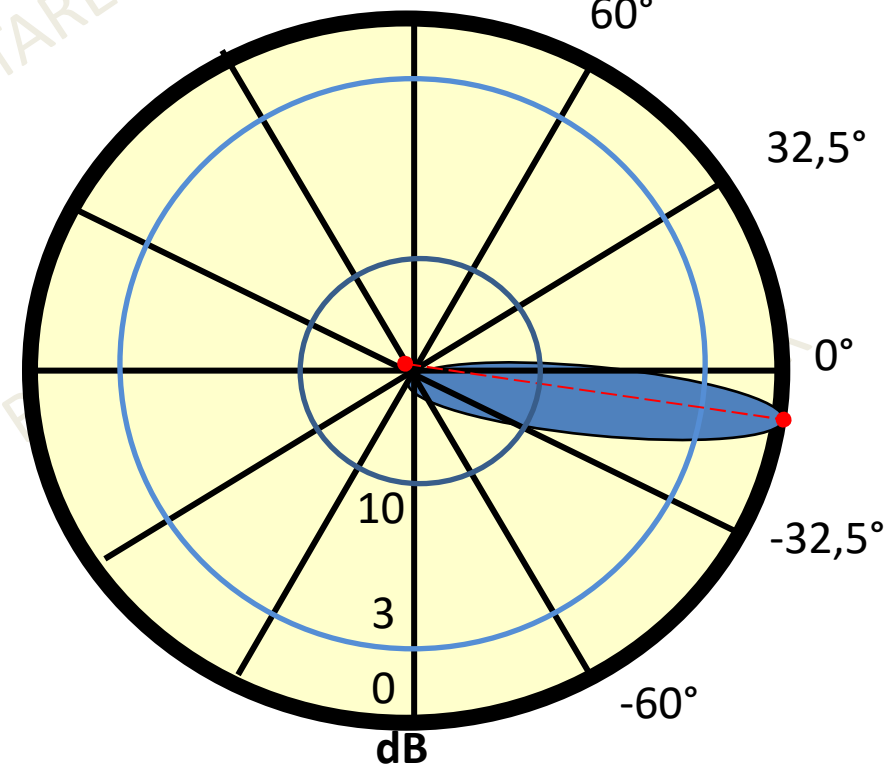


Diagramme vertical
($\theta = 0$, ϕ variable)

L'antenne représentée possède une ouverture horizontale de 65° à 3 dB, de 120° à 10 dB et un rapport avant-arrière supérieur à 25 dB. L'antenne présente un tilt électrique de 6° .

Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente



- La puissance rayonnée par une antenne est appelée **PIRE** ou **Effective Isotropic Radiated Power (EIRP)**
- Elle correspond à la puissance qu'il faudrait fournir à une antenne isotrope pour obtenir le même champ à la même distance
- Pour déterminer la puissance rayonnée $P_E(\theta, \phi)$ dans une direction définie par (θ, ϕ) , on décompose le calcul en 2 étapes en utilisant les paramètres précédents.
 - On considère une antenne isotrope fictive dont le gain G est celui de l'antenne étudiée
 - On applique une perte supplémentaire $L_r(\theta, \phi)$ dans la direction considérée en utilisant le diagramme de rayonnement donné par le constructeur.

Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente



- PIRE donnée en dB par :

$$P_E(\theta, \phi) = P + G - L_r(\theta, \phi)$$

P : Puissance fournie à l'entrée de l'antenne

G : Gain de l'antenne étudiée

$L_r(\theta, \phi)$: perte dans la direction considérée

- Pour étudier la portée d'une BS, on considère la direction de l'antenne où le rayonnement est max, c.a.d $L_r(\theta, \phi) = 0$ dB $\rightarrow P_E(\theta, \phi) = P + G$

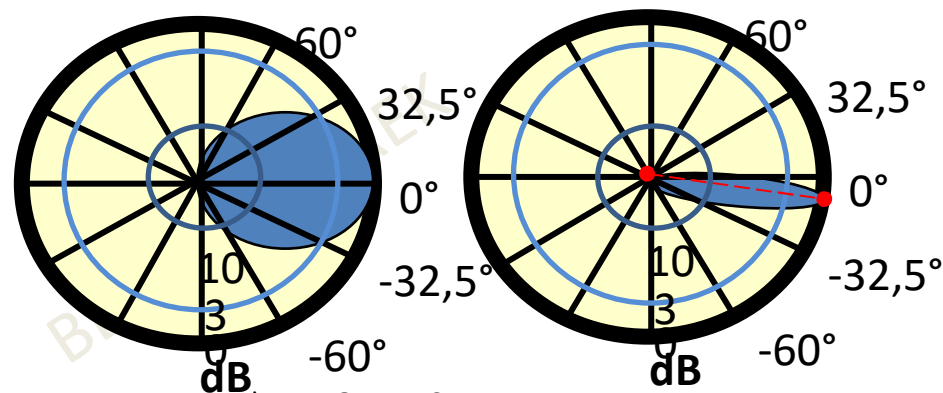


Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente : *Exemple*

Soit une antenne de gain 16 dBi (antenne de référence isotrope) et de diagramme de rayonnement ci-contre, et un émetteur de 2 W supposé branché sans perte sur l'antenne. Il fournit ainsi une puissance de 33 dBm.

$$\text{PIRE} = 33 + 16 = 49 \text{ dBm}$$

Dans une direction de $32,5^\circ$ par rapport à l'azimut, la puissance rayonnée est de **46 dBm** suivant le diagramme représenté.



Dr. Tarek BEJAOUI – FSB
Diagramme horizontal

Diagramme vertical



Antennes des terminaux GSM/DCS

- Les antennes des mobiles et des portatifs sont généralement des dipôles de longueur $\lambda/4$ appelés « antenne $\frac{1}{4}$ d'onde ».
- Ce type d'antenne repose sur l'hypothèse que la surface de support (sol, toit d'une voiture) est conductrice et qu'elle réfléchit les ondes. La longueur de l'antenne apparaît doublée.
- Dans le plan horizontal, les antennes sont omnidirectionnelles.
- Le gain théorique est de 5 dBi.
- Il est nécessaire de prendre en compte l'environnement immédiat → pour les portatifs, le corps humain situé à proximité de l'antenne induit un masque supplémentaire typique de 3 dB.
- Le rayonnement d'une antenne placée sur l'aile d'un véhicule n'est pas le même que lorsqu'elle se trouve au centre du toit.

Antennes des stations de base GSM/DCS (Digital Cellular Service) (1)



Plusieurs types d'antennes de BS disponibles suivant l'environnement à couvrir :

- antennes omnidirectionnelles à monter en extérieur et principalement destinées aux zones rurales;
- antennes directionnelles en forme de panneaux, à installer en extérieur sur des mâts et utilisées pour couvrir les zones urbaines et aussi rurales;
- antennes cylindriques omnidirectionnelles à monter en intérieur, se présentant comme un cylindre
- antennes directionnelles panneaux pour intérieur ou extérieur

Antennes des stations de base GSM/DCS (2)



- Généralement montées en hauteur pour être dégagées des obstacles proches;
- Il est donc intéressant d'incliner l'antenne de quelques degrés vers le bas afin de bien couvrir le sol → opération s'appelle **Down-tilt** ou **tilt**;
- Elle peut être mécanique ou bien obtenu électriquement en jouant sur les déphasages des signaux sur les différents dipôles constituant l'antenne;
- Les constructeurs proposent des antennes avec un *tilt* électrique de 2 à 10°;
- Rayonnement modifié par l'environnement proche de l'antenne;
- On peut trouver des antennes multi-bandes qui peuvent être utilisées à la fois pour GSM 900 et DCS 1800.



Antenne en réception (1)

- Elle recueille l'énergie d'une onde électromagnétique plane incidente pour alimenter une ligne aboutissant au récepteur;
- La puissance recueillie est proportionnelle à la densité surfacique de puissance au point de l'antenne avec un coefficient appelé « aire équivalente » ou « surface de captation »;

$$P_r = s a(\theta, \phi)$$

avec $\vec{s} = \vec{e} \wedge \vec{h}$ le vecteur de Poynting des champs électriques et magnétiques et (θ, ϕ) les angles d'incidence de l'onde



Antenne en réception (2)

- Une antenne est donc caractérisée par son :
 - Gain en émission
 - son aire équivalente en réception
- La même antenne peut être utilisée soit à l'émission soit à la réception
- Selon le principe de réciprocité, gain et aire équivalente sont liés : $g(\theta, \phi) / a(\theta, \phi) = 4\pi/\lambda^2$
- Antenne isotrope de référence $\rightarrow g=1$ et donc $a = \lambda^2/4\pi$



Antenne en réception (3)

- La puissance P_r captée par l'antenne isotrope de référence est donc :

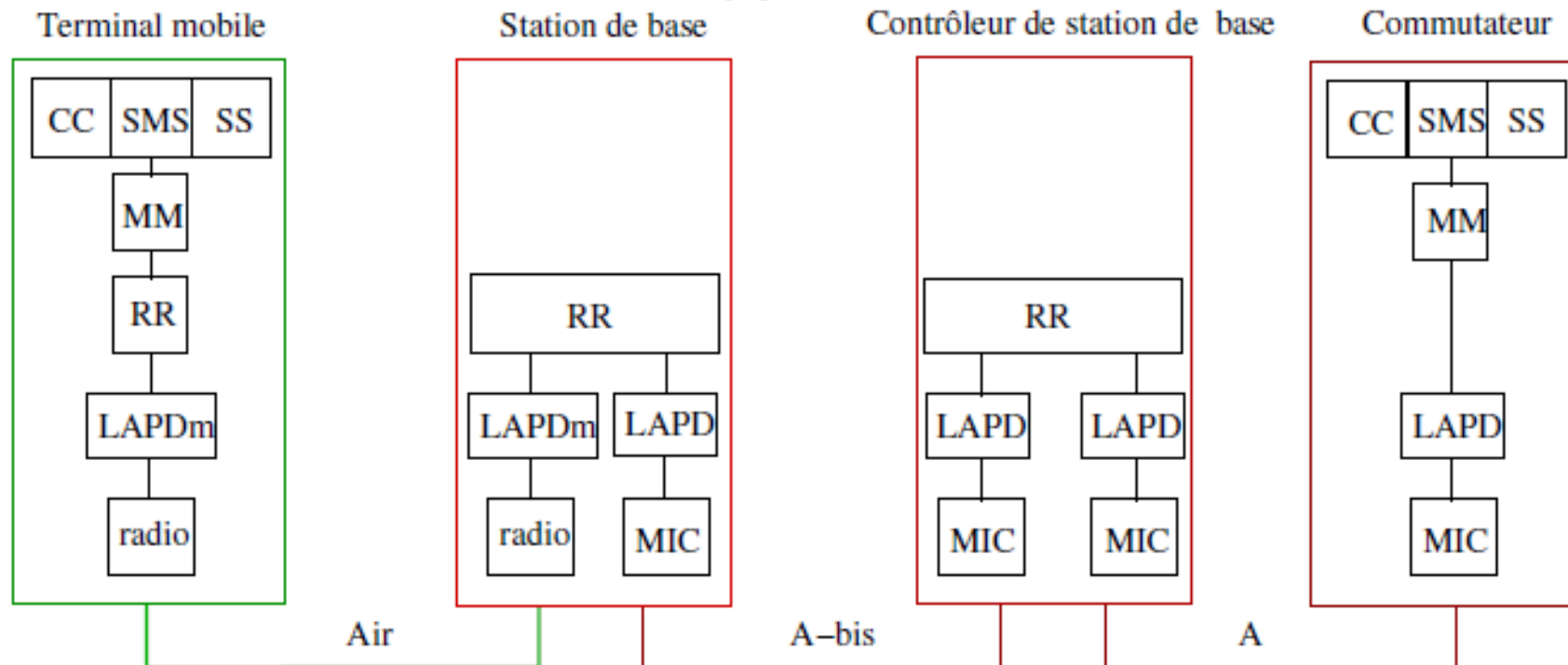
$$p_r = s (\lambda^2/4\pi) = p (\lambda/4\pi d)^2 \quad (*)$$

avec $s = p/(4\pi d^2)$ la densité surfacique de puissance à une distance d ;

- (*) permet de calculer la puissance reçue en fonction de la puissance émise et de la distance entre les antennes isotropes
- Dans le cas de 2 antennes de gain respectifs g_e et g_r , la puissance reçue par l'antenne de réception est : $p_r = p g_e g_r (\lambda/4\pi d)^2$



Piles de protocoles GSM





Piles de protocoles GSM (suite)

Protocoles reliant un mobile à un centre de communication (MSC) :

1. Le protocole *Call Control (CC)* prend en charge le traitement des appels tels que l'établissement, la terminaison et la supervision.
2. Le protocole *Short Message Service (SMS)* qui permet l'envoi de courts messages au départ d'un mobile. La longueur d'un SMS est limitée à 160 caractères de 7 bits, soit 140 bytes.
3. Le protocole *Supplementary Services (SS)* prend en charge les compléments de services. Exemple, le *Calling Line Identification Presentation (CLIP)*, le *Calling Line Identification Restriction (CLIR)* et le *Call Forwarding Unconditional (CFU)*.
4. Le protocole *Mobility Management (MM)* gère l'identification, l'authentification sur le réseau et la localisation d'un terminal. Cette application se trouve dans le sous-réseau de commutation (NSS) et dans le mobile car ils doivent tous deux connaître la position du mobile dans le réseau.
5. Le protocole *Radio Ressource management (RR)* s'occupe de la liaison radio. Il interconnecte une BTS et un BSC car ce dernier gère l'attribution des fréquences radio dans une zone.



Piles de protocoles GSM (suite)

- Les trois premiers protocoles applicatifs (CC, SMS et SS) de la sous-couche réseau « Connection Management (CM) » ne sont implémentés que dans les terminaux mobiles et les commutateurs ; leurs messages voyagent de façon transparente à travers le BSC et le BTS.
- **La couche de liaison de données** permet de fiabiliser la transmission entre deux équipements.
- Sur l'interface Abis, on utilise, pour le support de la signalisation, le protocole LAPD (*Link Access Protocol for the D Channel*) basé sur le protocole HDLC (numérotation des trames, mécanisme de correction d'erreurs...).
- Sur les interfaces Um et A, on utilise respectivement le LAPDm spécifique au GSM (*Link Access Protocol for the D Channel modified*) et le MTP niveau 2 (*SS7, Signalling System number 7*).



LES CANAUX LOGIQUES



Canaux logiques (1)

- Mapping canaux logiques sur canaux physiques
- Canal montant/descendant
- Canaux de données/trafic
- Canaux de signalisation/contrôle
 - Signalisation Out-band
 - Signalisation In-band



Canaux logiques (2)

- Canaux logiques « dédiés »
 - Affecté une communication particulière
- Canaux logiques « non dédiés »
 - Affecté à la cellule pour l'ensemble des MS



Groupes de Canaux logiques

- Broadcast Channel BCH
 - Descendant (voie balise)
- Common Control Channel CCCH
 - Montant & descendant
- Dedicated Control Channel DCCH
 - Montant & descendant
- Traffic Channel TCH
 - Montant & descendant



Broadcast Channel BCH

- Groupe de canaux logiques non dédiés
 - Frequency Correction Channel **FCCH**
 - Synchronisation Channel **SCH**
 - Broadcast Control Channel **BCCH**
- Emis sur la voie balise
 - Uniquement sur la voie descendante
 - Présente dans toutes les cellules



Broadcast Channel BCH :

Frequency Correction Channel FCCH

- Consiste en un burst particulier
 - Emis toutes les 50 ms environ
 - 148 bits à zéro
- Emis sur la fréquence de la voie balise
 - Signal sinusoïdale parfait
 - Permet le calage du mobile en fréquence



Broadcast Channel BCH :

Synchronisation Channel SCH (I)

- Objectif : fournir aux mobiles les éléments pour une synchronisation complète
- Caractérise la voie balise : possède un marquage de 64 bits (séquence d'apprentissage)
- Deux types de synchronisations
 - Fine : détermination du Timing Advance (TA)
 - Logique : détermination du Frame Number (FN)



Broadcast Channel BCH :

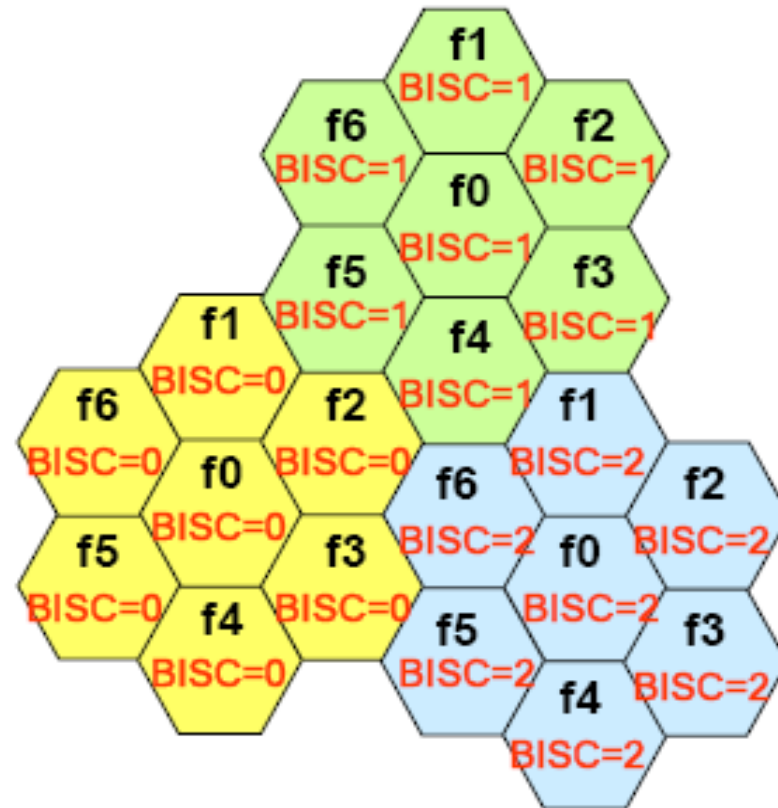
Synchronisation Channel SCH (II)

- Format du Burst
 - La séquence d'apprentissage est identique dans tout le Public Land Mobile Network (PLMN) car c'est le premier burst qu'un mobile décode !
- Données transportées
 - Reduced Frame Number RFN (19 bits)
 - BSIC : numéro permettant de distinguer

Code de couleur BSIC (Canal SCH)

- **BSIC (Base Station Identity Code)**

La même fréquence pour une voie balise pouvant être utilisée par plusieurs cellules suffisamment éloignées, elles peuvent être distinguées par le code BSIC (le mobile à mi-distance peut très bien recevoir les deux cellules !)





SCH : Code de couleur BSIC

– Identité « locale » de la station de base

~ « code de couleur » (*color code*)

le couple (f , *BSIC*) permet de déterminer (localement) une cellule

– Comprend 6 bits, BSIC = [BCC, NCC]

- 3 bits (8 valeurs) de BCC (*BTS Color Code*), un code représentant une station de base

- 3 bits de NCC (*Network Color Code*), un code représentant un PLMN ... ~ « coloriage de carte »

SCH : rôle du BSIC - partie BCC (1)

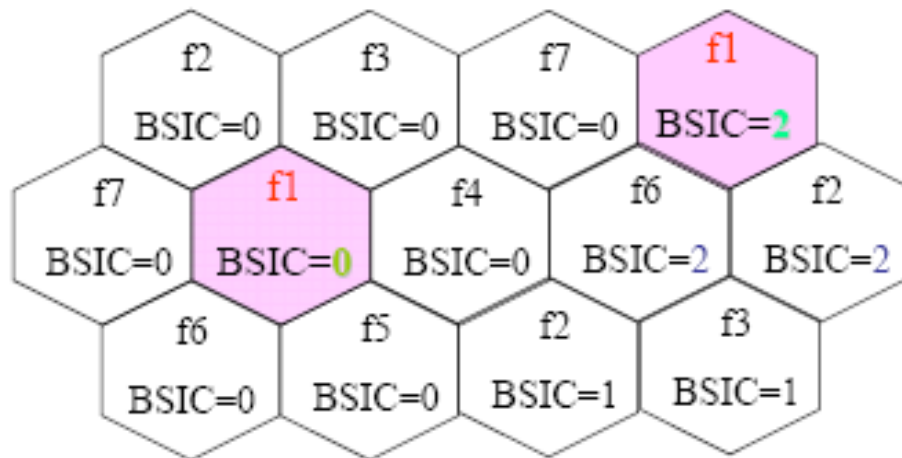


Fig. Utilisation du BSIC sur la même porteuse

- Dans l'exemple, les 2 cellules grisées ont leur voie balise sur la même porteuse $f1$.
- Pour les différencier, on leur attribue 2 BSIC différents quant au BCC (**BCC= 0 et BCC= 2 sur la fig.**).
- A ces 2 valeurs de BSIC, correspondent 2 séquences d'apprentissage différentes (de 26 bits) pour les *bursts* dits « normaux ».

SCH : rôle du BSIC - partie BCC (2)

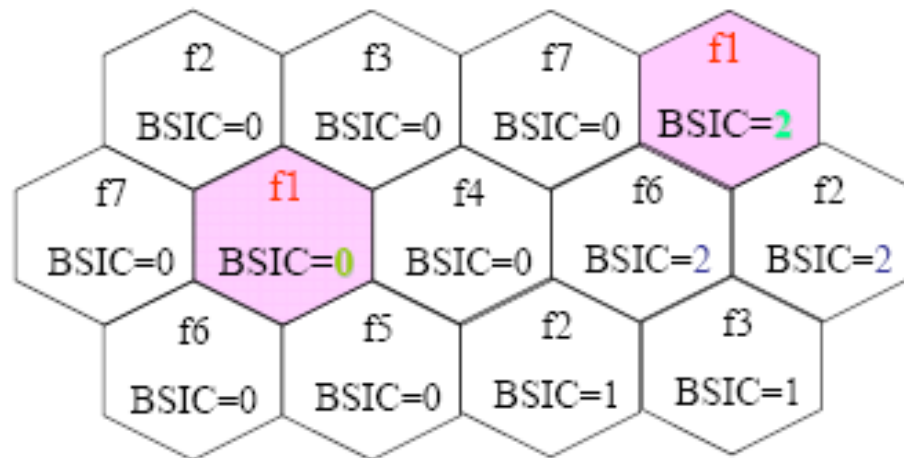


Fig. Utilisation du BSIC sur la même porteuse

- Sans le BSIC (en fait la partie BCC du BSIC) le mobile ne connaît pas la séquence d'apprentissage TSC (sur 26 bits) de la cellule.
=> Il ne peut pas démoduler correctement les autres slots (supportant les autres canaux BC-, P-, T-CH).
- Le mobile accroché à une BS (avec un certain BCC) ne peut pas s'accrocher insidieusement à une autre BS proche (même si elle utilise les mêmes fréq.)

SCH : rôle du BSIC (partie NCC)

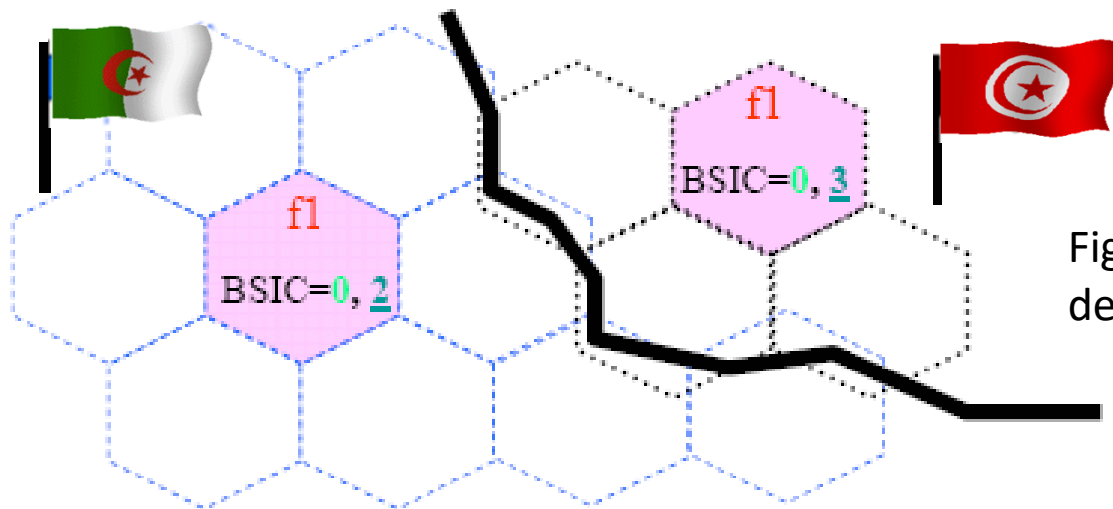


Fig. Utilisation du BSIC sur deux PLMN différents

- La partie **NCC du BSIC permet de distinguer** « logiquement » 2 opérateurs GSM de deux pays limitrophes utilisant les mêmes fréquences
 - même si il y a une double "collision" : (1) de fr. BCCH et (2) de la partie **BCC du BSIC.**



Broadcast Channel BCH :

Broadcast Control Channel BCCH (I)

- Permet la diffusion d'informations sur les caractéristiques de la cellule
- Plusieurs types d'informations émises à des périodes différentes suivant la rapidité avec laquelle on désire qu'un mobile les apprenne
- Chaque information
 - Mot de 23 octets, 184 bits, après codages 456 bits divisés en 8 blocs de 57 bits
 - Emission en blocs entrelacés sur 4 bursts normaux

Broadcast Channel BCH :



Broadcast Control Channel BCCH (II)

- Paramètres de sélection de la cellule permettant au mobile de savoir s'il peut se mettre en veille
- Numéro de la zone de localisation
- Paramètres du mode d'accès aléatoire (éventuellement interdire cette cellule aux mobiles qui n'arrivent pas par Handover)
- Description de l'organisation des canaux logiques
- Description de l'organisation du CBCH
- Description des cellules voisines
 - Fréquences des voies balises
- Divers : paramètres pour certains algorithmes, identification de la cellule



Common Control Channel CCCH

- Groupe de canaux non dédiés
- Random Access Channel RACH
 - Voie montante
- Access Grant Channel AGCH
 - Voie descendante
- Paging Channel PCH
 - Voie descendante
- Cell Broadcast Channel CBCH
 - Voie descendante

Common Control Channel CCCH :

Random Access Channel RACH



- Uniquement sur la voie montante
- Permet l'accès aléatoire au réseau
 - Lorsqu'un mobile désire accéder au réseau
 - Emission d'un burst « court »
 - Parce que le délai de propagation n'est pas connu !
 - Ne doit pas chevaucher des slots voisins : d'où une garde de 252 μ s soit 37,8 Km (cellule max rayon 35 km !)
 - Mode Slotted ALOHA
 - Informations : catégorie de service demandé, code BSIC de la station à laquelle on s'adresse, un nombre aléatoire

Common Control Channel CCCH :



Access Grant Channel AGCH

- Lorsqu'une BTS reçoit une demande d'un mobile
 - Elle lui alloue un canal de signalisation dédié (SDCCH)
- Message d'allocation du SDCCH envoyé sur le AGCH
 - Numéro de porteuse, numéro de slot
 - Description du saut en fréquence si celui-ci est activé
- Message de 23 octets codé sur des bursts
- classiques en 8 blocs de 57 bits (4 bursts)

Common Control Channel CCCH :



Paging Channel PCH

- Lorsque le réseau désire communiquer avec un mobile
 - Appel, SMS ou authentification
- Elle diffuse l'identité du mobile sur le PCH
 - Le mobile réalisera un demande d'accès sur le RACCH
- Plusieurs messages d'appel peuvent être diffusés simultanément dans un mot de 23 octets
 - 8 blocs de 57 bits envoyés sur 4 bursts classiques

Common Control Channel CCCH :

Cell Broadcast Channel CBCH



- Canal permettant de diffuser à l'ensemble des mobiles de la cellule des informations spécifiques
 - Météo
 - Informations routières etc...
- A la discrétion de l'opérateur



Dedicated Control Channel DCCH

- Groupe de canaux dédiés
 - bidirectionnels
- Standalone Dedicated Control Channel SDCCH
- Slow Associated Control Channel SACCH
- Fast Associated Control Channel FACCH
 - Ce canal logique se met place à partir d'un canal SACCH en « volant » de la bande passante au canal de trafic auquel il est associé



Dedicated Control Channel DCCH : Standalone Dedicated Control Channel SDCCH

- Les informations provenant des couches applicatives du système sont des données, transportées par des canaux TCH ou de la signalisation transportée par des canaux SDCCH
- 184 bits utiles, codés en 456 bits, soit 8 sous blocs de 57 bits, émis sur 4 bursts classiques
- Canal bidirectionnel



Dedicated Control Channel DCCH : Slow Associated Control Channel SACCH

- La liaison radio étant fluctuante, elle doit donc être instrumenté en permanence
 - Mesures/ajustement des paramètres radio
- Les canaux TCH et SDCCH constituent les deux canaux bidirectionnels constants qui peuvent être établis entre un mobile et une station
 - Ils sont instrumentés par un canal SACCH spécifique qui leur ait attribué



Dedicated Control Channel DCCH : Slow Associated Control Channel SACCH (suite)

- Le canal transporte les informations suivantes :
 - Contrôle de puissance d'émission du mobile
 - Contrôle de la qualité du lien radio
 - Rapatriement des mesures effectuées sur les stations voisines
- Update : Timing advance et niveau de puissance
- 184 bits utiles, codés sur 456 bits, soit 8 sousblocs de 57 bits transmis sur 4 bursts classiques



Dedicated Control Channel DCCH : Fast Associated Control Channel FACCH

- Le SACCH associé à un canal dédié (TCH ou SDCCH)
 - débit très faible : 380 bit/s
 - Délai de maj : 0.5 secondes
- En cas de Handover le SACCH n'est pas suffisant
 - Associé à un SDCCH, celui-ci est pleinement utilisé pour la signalisation nécessaire au Handover
 - Associé à un TCH, on « vole » le débit du TCH pour créer le canal FACCH



Traffic Channel TCH

- Canaux dédiés au transport de l'informations utilisateur
 - En provenance des couches « applicatives »
- Existent en plusieurs débits

Channel type	Throughput (kbit/s)	Block length (bit)	Block distance (ms)
TCH Speech Full rate	13	260	20
TCH Speech Half rate	5.6	112	20
TCH Data 9.6	12	60	5
TCH Data 4.8	6	60	10
TCH Data 2.4	3.6	72	20



VOIE BALISE EN GSM



Voie balise

- La fonction de “voie balise” permet au mobile d’un usager en "errance"
 - de découvrir un service
 - de se repérer dans un système
- La fonction de “voie balise” est indispensable
 - dans un système cellulaire pour gérer le *roaming* (« l’errance », l’itinérance),
 - dans un WLAN, pour montrer la présence du réseau (~ « *resource discovery* »).
 - Elle facilite les *handovers* (transferts inter cellulaires).



Questions que se pose un nomade

- Puis-je téléphoner (de quels services je peux disposer) ? ...
 - De mon réseau “nominal” (*home*) ?
 - D’un réseau visité (*visited*)? ... *Par quel opérateur* vais-je me faire dévorer ?
 - Dois-je me réinscrire?
(le mobile le fait automatiquement)

Concept de “voie balise”

La station de base comme “phare” ou “balise” :

- balise analogique / balise logique
- fréquence BCCH (= fréquence balise)
- ...

BS (relais GSM), phare





Notion de « balise »

- Un système radio mobile a besoin d'un "signal" de référence
 - Ce "signal" permet au mobile
 - de détecter la présence du système ;
 - de choisir la meilleure BS (en français : station de base ou relais) ; on parle de la meilleure serveuse (*best server*) ;
 - de se synchroniser (en temps, en fréquence) ;
 - de connaître le paramétrage local du système.
 - Ce "signal" est diffusé (*broadcast*) et sert au contrôle du système
 - il ne véhicule pas, a priori, d'information utilisateur



Fonction de « voie balise »

- Une fonction “voie balise” présente
 - des aspects “analogique”
 - par exemple, détection de signaux témoignant d’un certain type d’activité
 - synchronisation sur des impulsions
 - positionnement
 - des aspects plus “logiques”
 - acquisition d’horloge, de paramètre,
 - d’adresse ou identités,

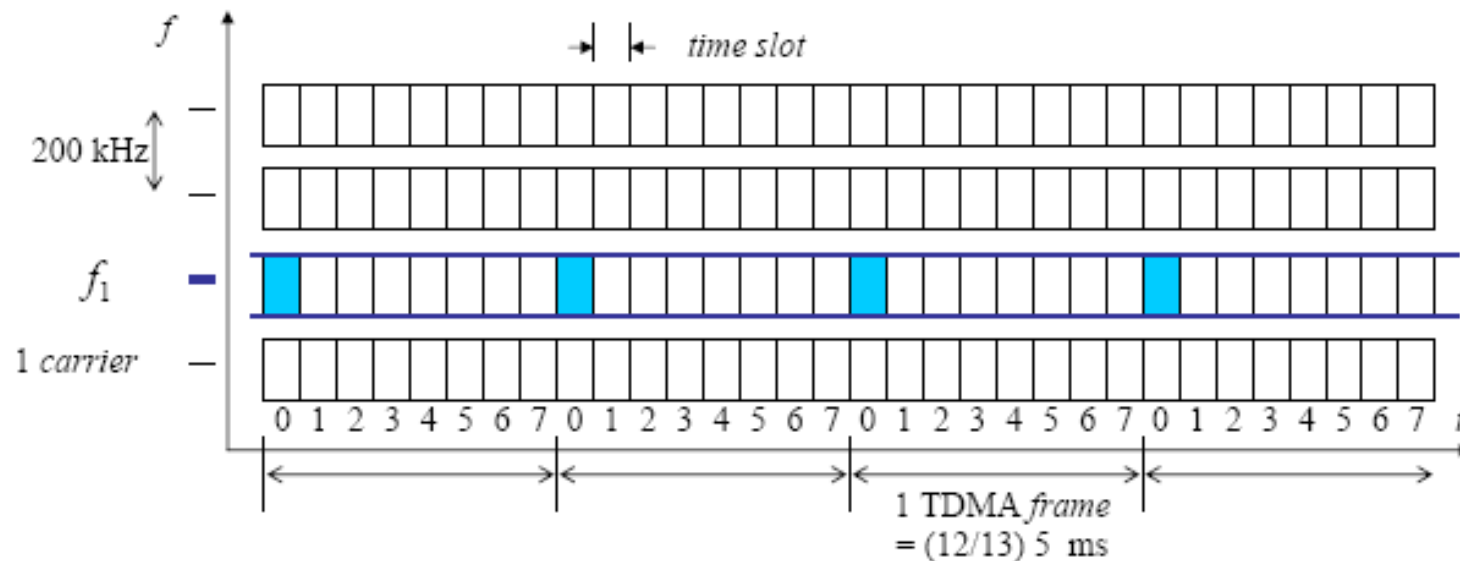


Fonction « voie balise » en GSM

- La fonction de “balise” présente plusieurs aspects dans GSM
 - **Phare**, détection de ressources, synchronisation,
 - Diffusion de **paramètres « système »**
- Elle est réalisée dans GSM via
 - **Une porteuse (par cellule)**, qui réalise la fonction « phare »
 - « fréquence-balise » = « BCCH *frequency* »
 - **Un canal physique (sur un slot n° 0)** de cette porteuse qui supporte différents canaux logiques dont le BCCH
 - éventuellement d'autres canaux phy peuvent être utilisés pour réaliser la voie balise en supplément du slot « 0 »)



Fonction « voie balise » en GSM (suite)



- Pour réaliser la voie balise sur une cellule, on distingue une porteuse (*carrier*) spécifique (ici f_1) et le canal physique qu'elle supporte sur le slot 0.



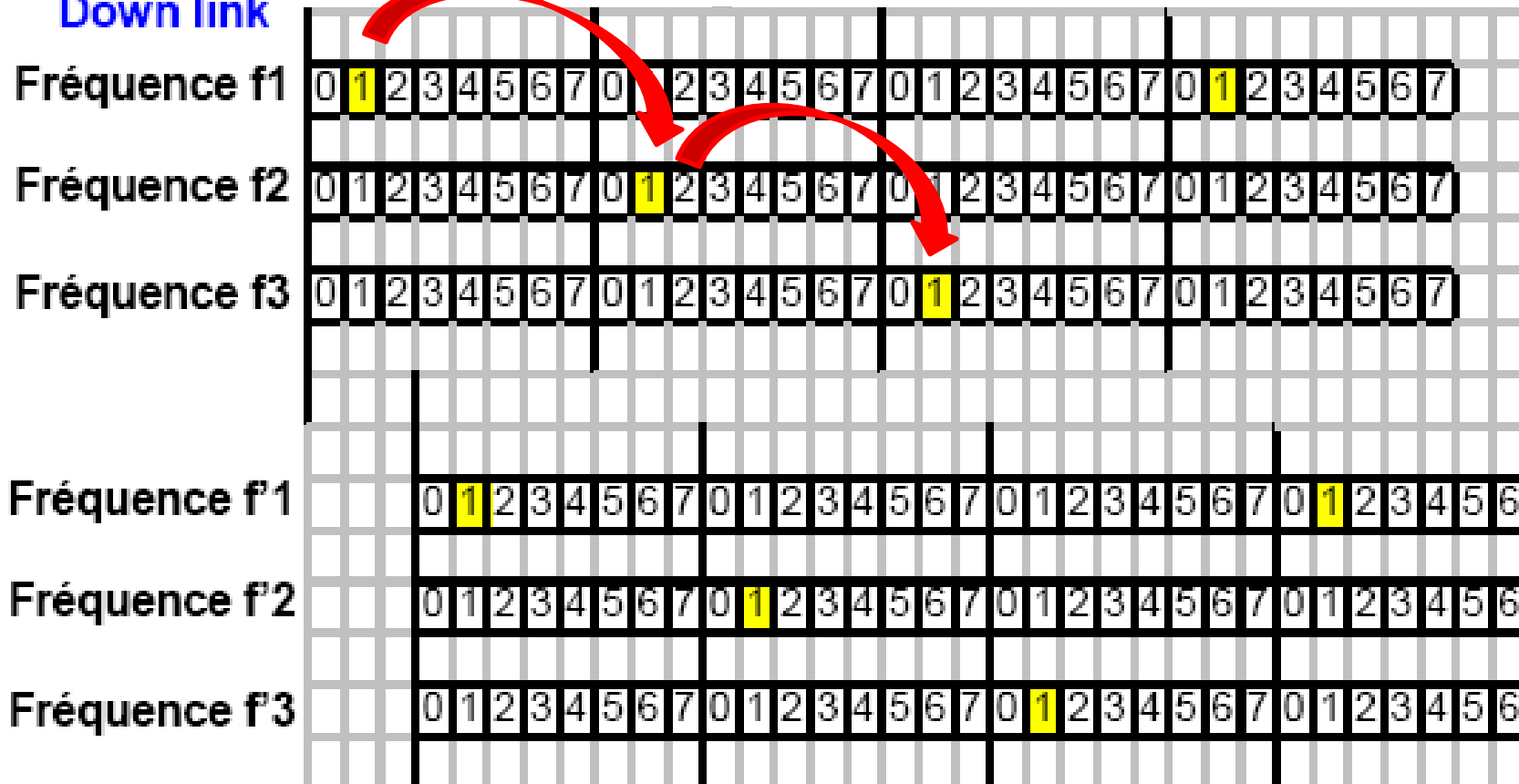
Le saut en fréquences

- Implantation optionnelle
- Lutte contre les évanouissements sélectifs
 - Signal-to-Noise de 9 db au lieu des 11 db sans SFH
- SFH Slow Frequency Hopping (car au niveau Slot)
- Un « canal physique » n'est plus bloqué sur une unique porteuse, mais parcourt l'ensemble des porteuses suivant un séquence prédéfinie
- Sauts cycliques ou pseudo-aléatoire
 - Utilisation de différents paramètres obtenus du SCH



Le saut en fréquences (suite)

Down link



Up link



Organisation des canaux logiques

- Les canaux logiques n'ont pas besoin du même débit
 - Multiplexage des canaux logiques sur un même canal physique
- Organisation hiérarchique des trames
 - En multitrames, supertrames et hypertrames
 - Nécessiter d'introduire un compteur de trame
 - FN = Frame Number



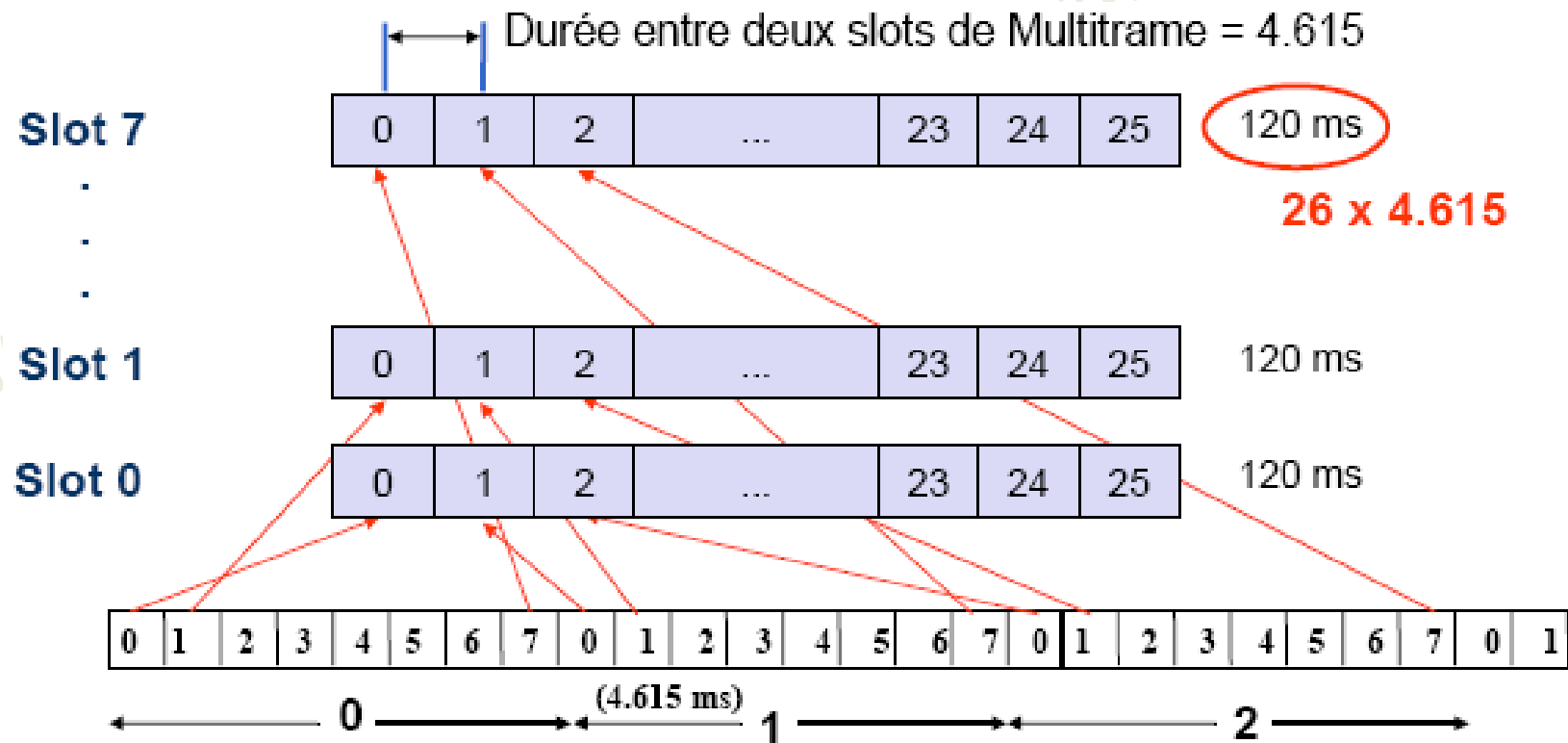
Numérotation des trames

- Numérotation des Trames
 - Modulo $26 \times 51 \times 2^{11} = 2\,715\,648$
 - Une Hypertrame dure 2 715 648 trames
- Chaque BTS transmet régulièrement
 - RFN Reduced Frame Number
 - Sur le canal SCH (Synchronization channel)



Organisation des multitrames

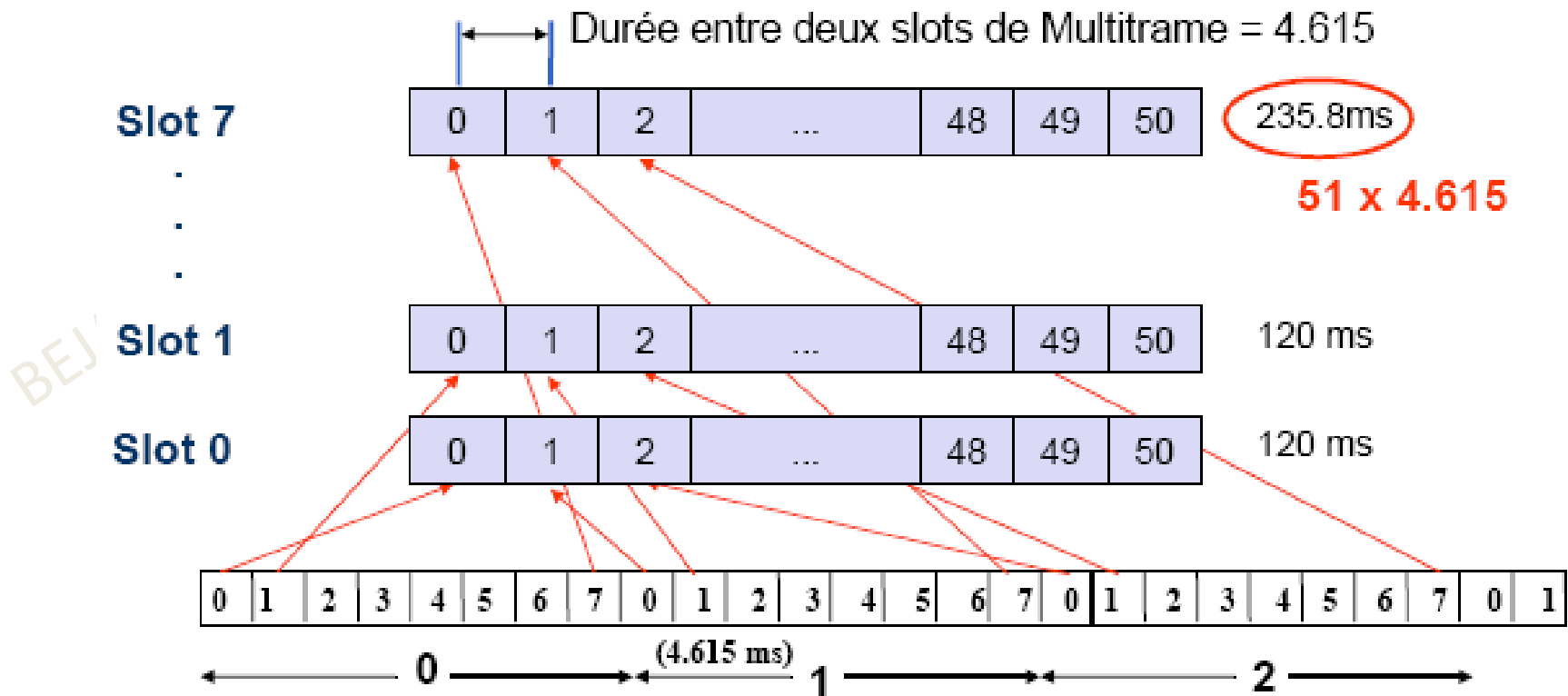
On regroupe les slots suivant leur numéro : donc 8 multitrames !





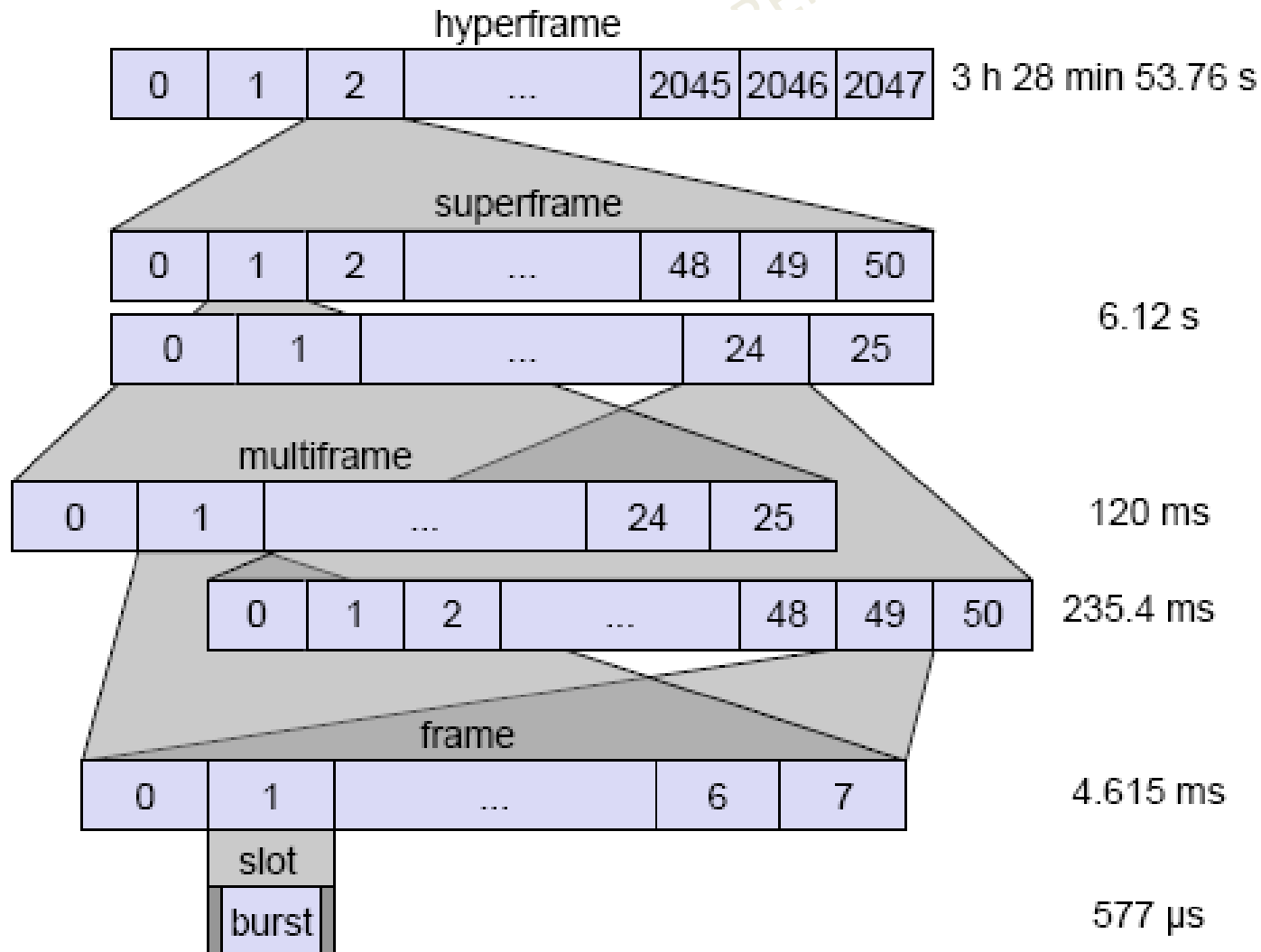
Organisation des multitrames (suite)

On regroupe les slots suivant leur numéro : donc 8 multitrames !





Tramage hiérarchique



BEJAOUI

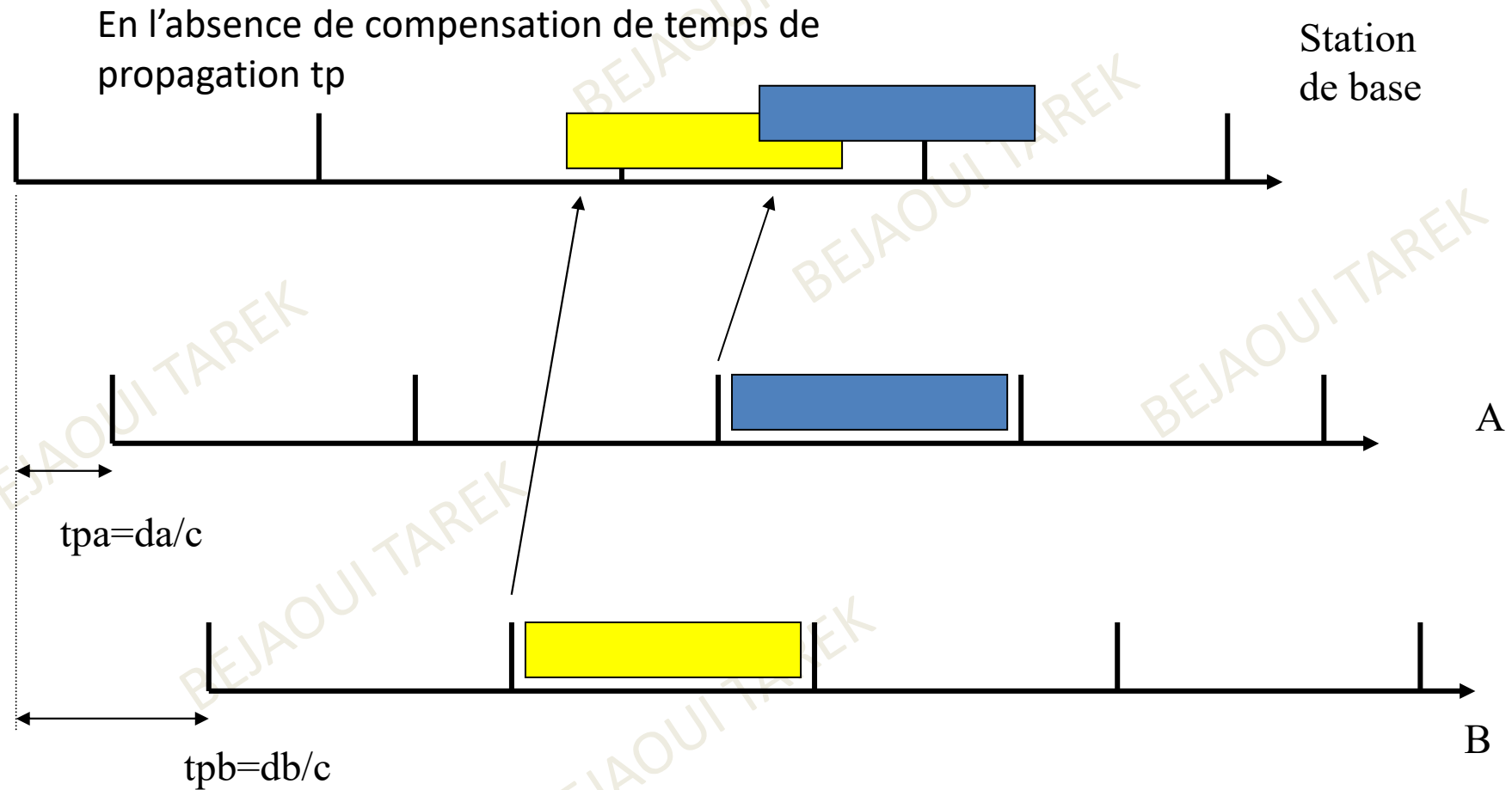
REK



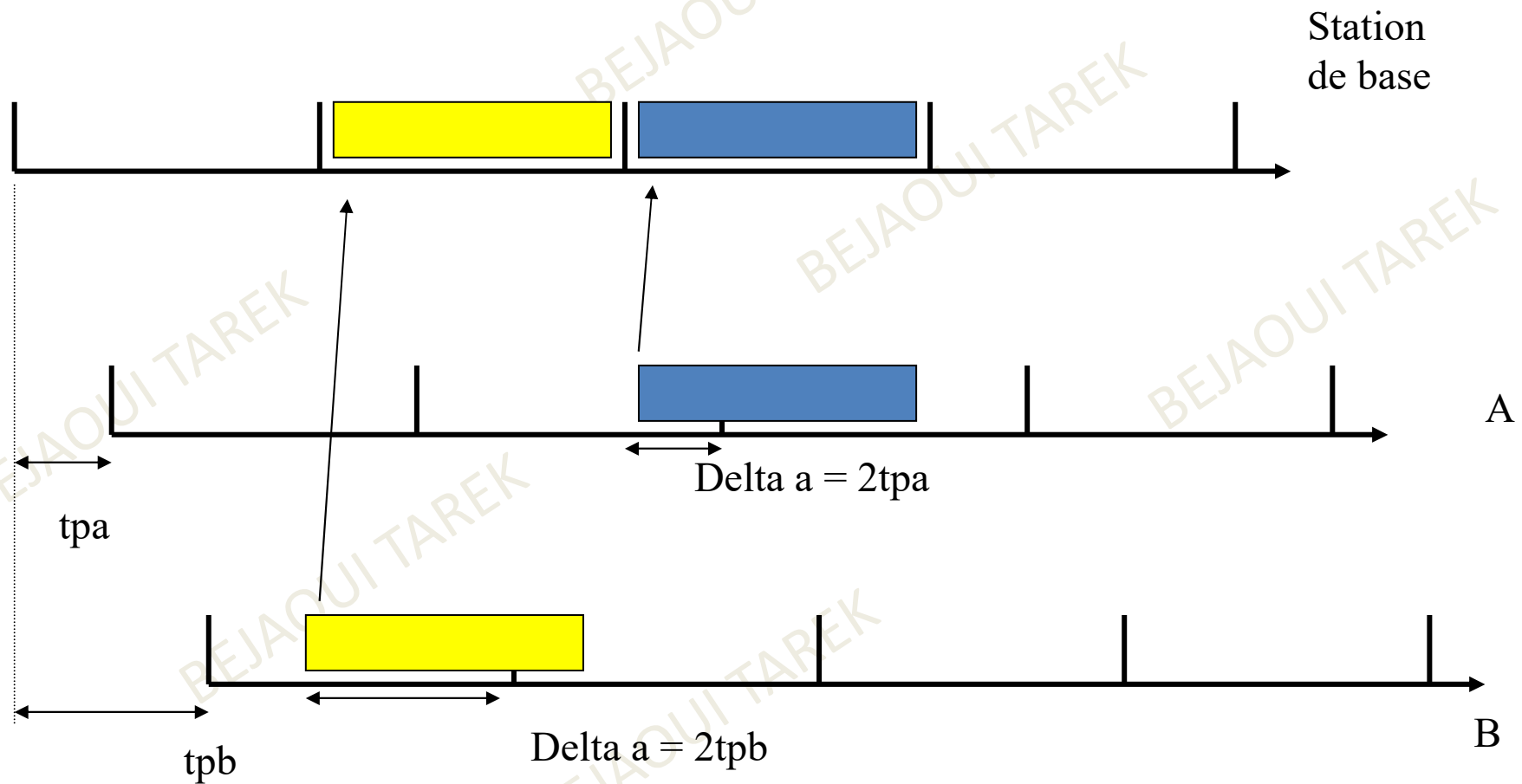
Compensation du temps de propagation aller-retour

- Les différents utilisateurs sont à des distances variables de leur BS et endurent des délais τ_p de propagation variables (30 km parcourus en 100 μ s)
- Dans le contexte TDMA, il faut veiller à ce que 2 mobiles utilisant 2 slots consécutifs n'envoient pas des *bursts* qui se chevauchent au niveau du récepteur de la BS. 2 solutions sont envisageables :
 1. augmenter le temps de garde, temps de silence entre la fin d'un *burst* synchronisé et la fin d'un slot pendant lequel il n'y a pas de transmission
 2. compenser en gérant un paramètre TA (Time Advance) correspondant au temps de propagation aller-retour. Le mobile éloigné doit avancer l'émission de chacun de ses slots d'une durée τ_p par rapport à l'instant nominal de début de *slot* (c.a.d $2\tau_p$ par rapport à l'horloge *Slot* telle qu'il la perçoit)

Compensation du temps de propagation aller-retour : Avance en temps (1)



Compensation du temps de propagation aller-retour : Avance en temps (2)



Le mobile le plus éloigné avance l'émission de chacun de ces slots d'une durée t_p par rapport à l'instant de début de slot, c'est à dire $2t_p=TA$



Compensation du temps de propagation aller-retour (suite)

- Si la solution (1) avait été adoptée seule, il aurait fallu prévoir des intervalles de garde de $200 \mu\text{s}$ environ, durée correspondant à plus d'un tiers de la durée *slot*.
- Le système compense le délai de propagation en gérant le paramètre TA (Solution 2)



Avance de temps et accès

- GSM utilise pour l'accès un *burst* court
 - 77 bits au lieu de 156,25
 - Intervalle de garde de 68,25 bits à la fin
- Cellule de taille maximale
 - 233 μ s de garde

$$233 \cdot 10^{-6} \times 3 \cdot 10^5 / 2 \approx 35 \text{ km}$$



NUMEROTATION



Numérotation liée à la mobilité

Le système GSM utilise 4 types d'adressages liés à l'abonné :

- IMSI (International Mobile Subscriber Identity)
 - identité invariante de l'abonné, n'est connue qu'à l'intérieur du réseau GSM. Cette identité doit rester secrète autant que possible, aussi GSM a-t-il recours au TMSI.
- TMSI (Temporary Mobile Station Identity)
 - identité temporaire utilisée pour identifier le mobile lors des interactions station mobile-BTS
- MSISDN (Mobile Subscriber Integrated Services Digital Network)
 - numéro d'abonné, c'est le seul identifiant de l'abonné mobile connu à l'extérieur du réseau GSM
- MSRN (Mobile Station Roaming Number)
 - attribué lors de l'établissement d'un appel. Sa principale fonction est de permettre l'acheminement des appels par les commutateurs (MSC et GMSC)



Numérotation liée à la mobilité (suite)

L'IMSI stocké dans la carte SIM (Subscriber Identity Module) comprend différentes parties :

- **Mobile Country Code (MCC):** 3 chiffres décimaux selon standard international.
- **Mobile Network Code (MNC):** 2 chiffres décimaux, pour identification unique du réseau mobile dans le pays.
- **Mobile Subscriber Identification Number (MSIN):** 10 chiffres décimaux au maximum, numéro d'identification de l'abonné dans le réseau.



Numérotation liée à la mobilité (suite)

- Temporary Mobile Station Identity (TMSI)
 - Zone gérée par un VLR
 - Uniquement MS-MSC/VLR
 - Le HLR ne le connaît pas
 - Taille réduite (4 octets)
 - Changement de VLR changement de TMSI



Numérotation liée à la mobilité (suite)

MSISDN : C'est le numéro de téléphone réel d'un MS

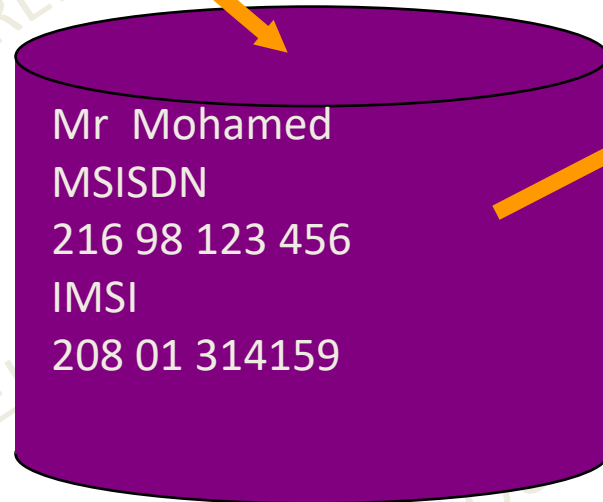
- Attribué à la carte SIM de l'abonné, de façon à ce qu'un MS peut avoir plusieurs MSISDN, tout dépend du SIM.
- Le MSISDN suit la norme internationale suivante:
- **Country Code (CC)** : Jusqu'à 3 chiffres décimaux.
- **National Destination Code (NDC)**: Typiquement 2-3 chiffres décimaux.
- **Subscriber Number (SN)**: 10 chiffres décimaux au maximum .



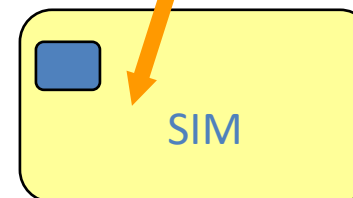
Numérotation liée à la mobilité (suite)

- MSRN - Mobile Station Roaming Number
Numéro ISDN temporaire qui dépend de la localisation.
 - Permet le routage du GMSC vers le MSC courant
 - Attribué par le VLR du mobile
 - Numéro de téléphone «classique»
 - Possède la même structure que le MSISDN

Numéro et Identité



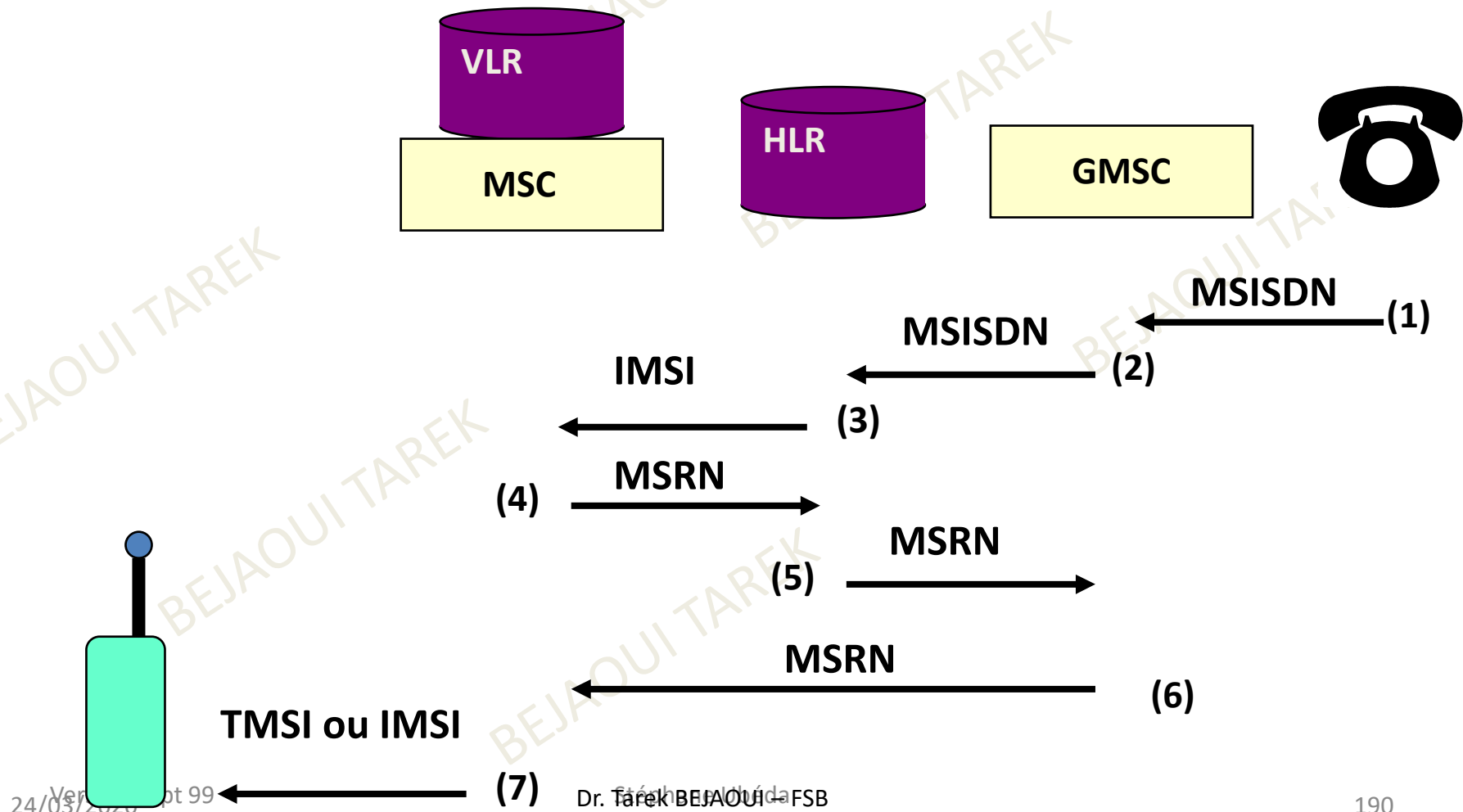
IMSI 208 01 314159





Numérotation liée à la mobilité (suite)

Echange lors d'un appel





Numérotation liée à la mobilité (suite)

International Mobile Station Equipment Identity (IMEI) :

- Identifie de manière unique dans le monde une station mobile.
- Une sorte de numéro de série
- Attribué par le concepteur du terminal
- Enregistré par l'opérateur et stocké dans le **EIR**
- Grâce au IMEI, on peut reconnaître un équipement obsolète, volé ou non fonctionnel.
- Les opérateurs n'implémentent pas une telle base de données

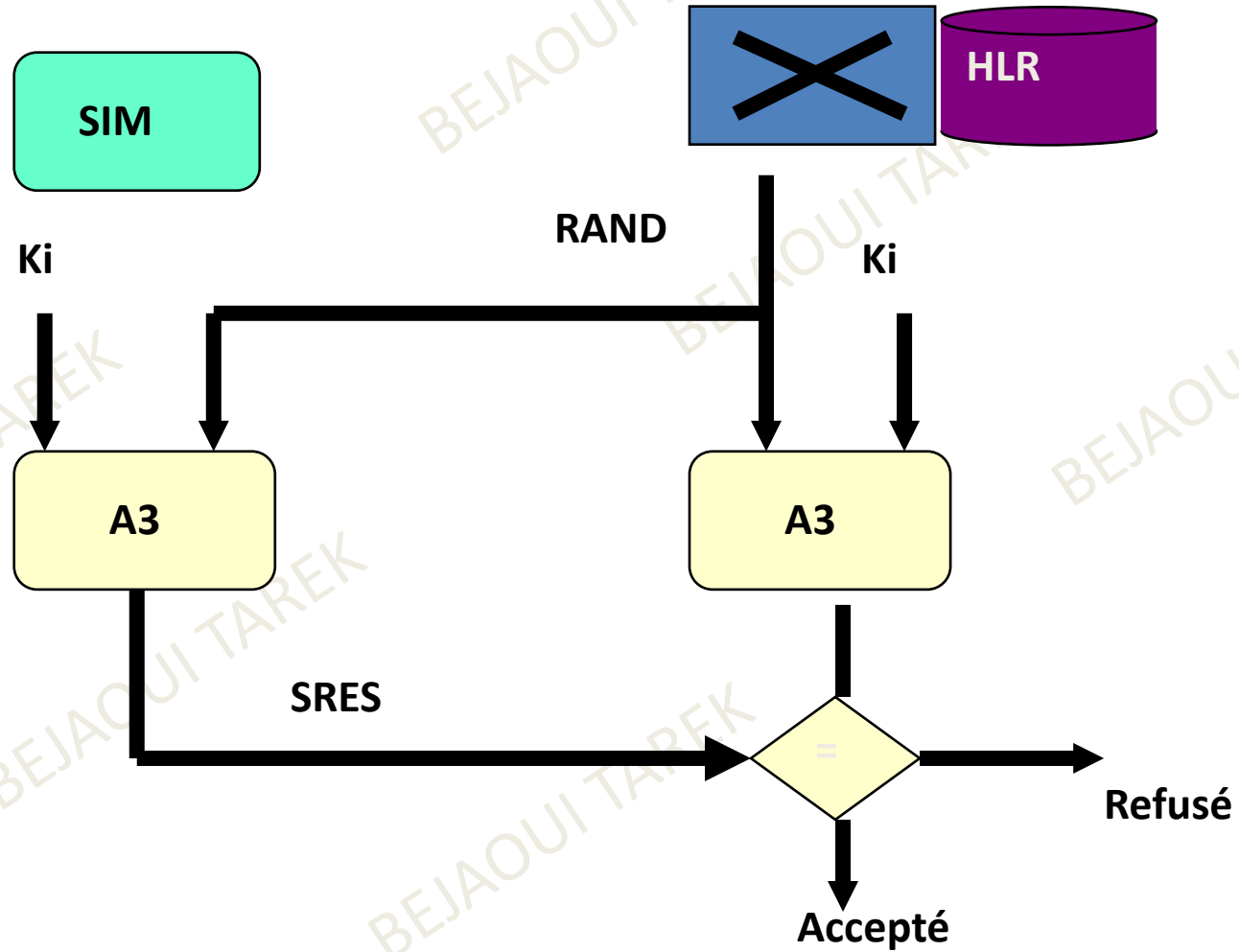


Authentication et chiffrement

- Des nombres aléatoires RAND
- Une clé d'authentification K_i
 - Secrète et attribué à l'usagé (jamais transmise)
- Une clé de chiffrement K_c
- Un algorithme $SRES = A3(RAND, K_i)$
- Un algorithme $K_c = A8(RAND, K_i)$
- Un algorithme A5 de chiffrement/déchiffrement (K_c)



Authentication



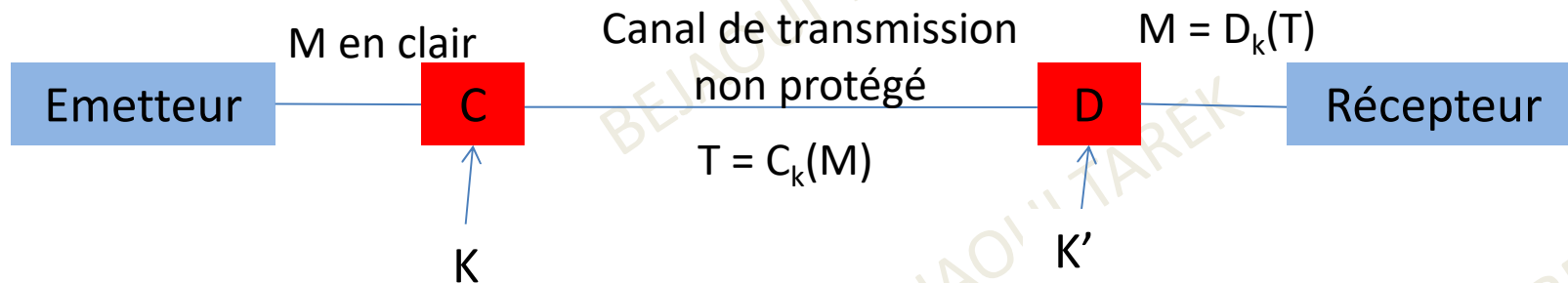


Le chiffrement (1)

- La confidentialité permet à un abonné de communiquer sans faire l'objet d'écoutes indiscretes
- Les écoutes peuvent avoir 2 objectifs:
 - Connaître le contenu des info des messages échangés
 - Suivre les déplacements de l'utilisateur
- Le chiffrement est la meilleure technique utilisée pour éviter l'interception des messages par écoutes indiscretes



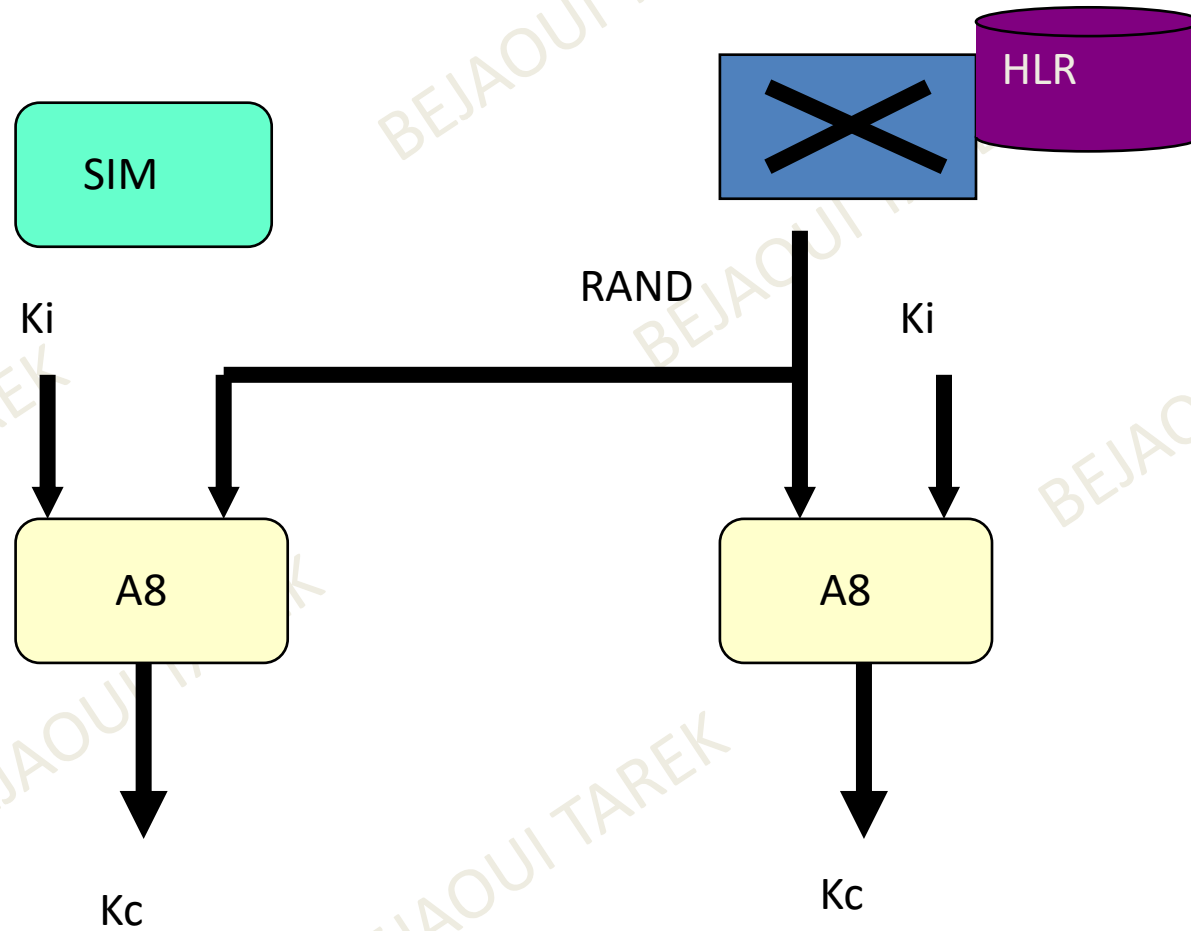
Le chiffrement (2)



- Les systèmes de chiffrements peuvent être divisés en 2 grandes familles :
 - les systèmes à clé partagée ou symétrique (clé de chiffrement/déchiffrement identiques)
 - les systèmes à 2 clés ou asymétriques
 - systèmes à clé publique

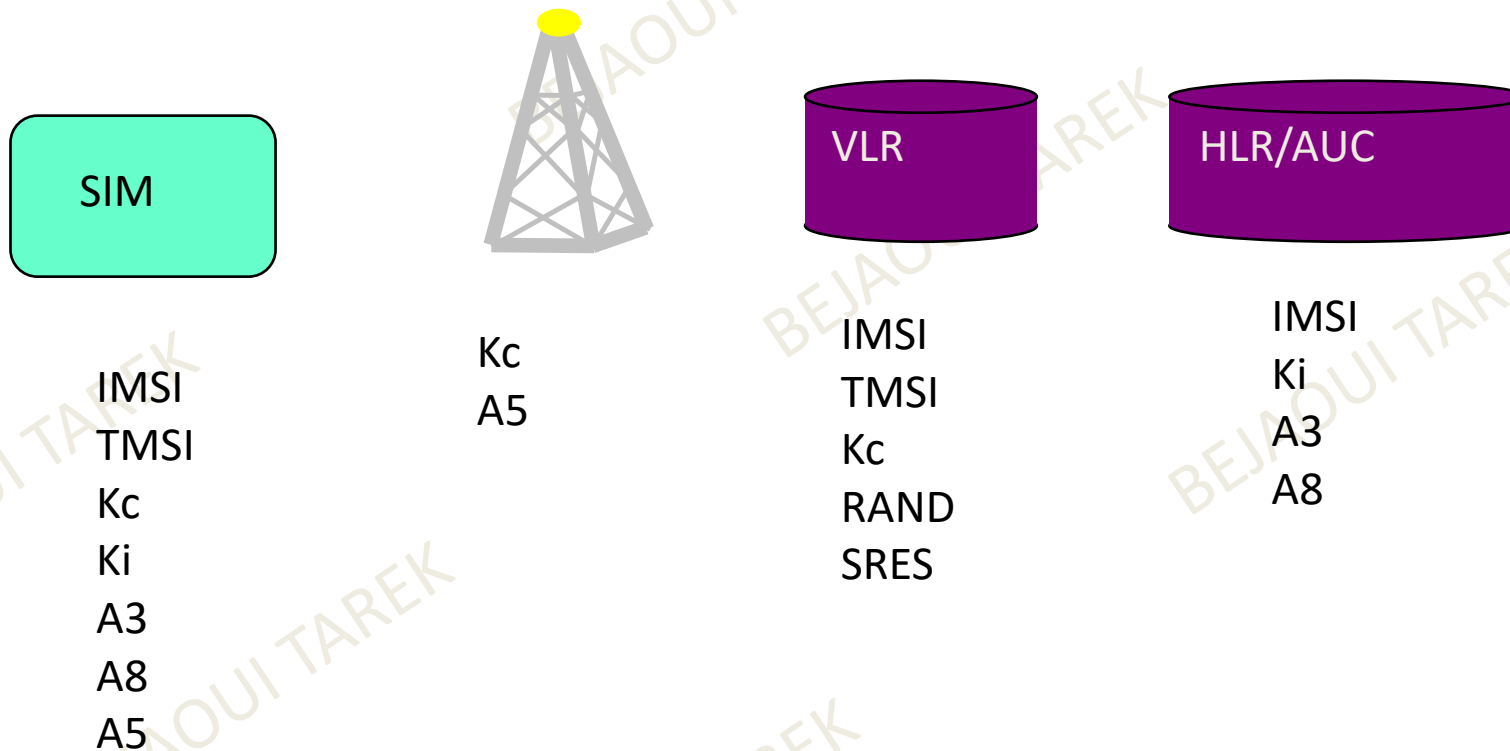


Chiffrement (3)





Données de sécurité



Synthèse des paramètres liés au mobile



Paramètres	Commentaires
<i>Données administratives</i>	
PIN/PIN2	Mot de passe demandé à chaque connexion
PUK/PUK2	Code pour débloquer une carte
Language	Langue choisie par l'utilisateur
<i>Données liées à la sécurité</i>	
Clé K_i	Valeur unique, connue de la seule carte SIM et du HLR
CKSN	Séquence de chiffrement
<i>Données relatives à l'utilisateur</i>	
IMSI	Numéro international de l'abonné
MSISDN	Numéro d'appel d'un téléphone GSM
<i>Données de "roaming"</i>	
TMSI	Numéro attribué temporairement par le réseau à un abonné
Location updating status	Indique si une mise à jour de la localisation est nécessaire
<i>Données relatives au réseau</i>	
Mobile Country Code (MCC), Mobile Network Code (MNC), etc	Identifiants du réseau mobile de l'abonné
Numéros de fréquence absolus	Fréquences utilisées par le PLMN



GESTION DE LA MOBILITE ET DE LA LOCALISATION

Gestion de mobilité : objectifs et problèmes



- **Objectifs de la gestion de mobilité :**
 - Assurer la continuité de la session en cours
 - Réduire les délais et le trafic de signalisation
 - Fournir une meilleure qualité de service
 - Optimiser l'utilisation des ressources
- **Problèmes de gestion de mobilité :**
 - Utilisateurs sont de plus en plus mobiles
 - Garantir la continuité de la session en cours
 - Réduire le délai de relève, le délai de bout-en-bout, la gigue et la perte de paquets
 - Fournir une bonne qualité de service aux usagers
 - Minimiser le coût de signalisation
 - Optimiser l'utilisation des ressources du réseau



Quelle mobilité ?

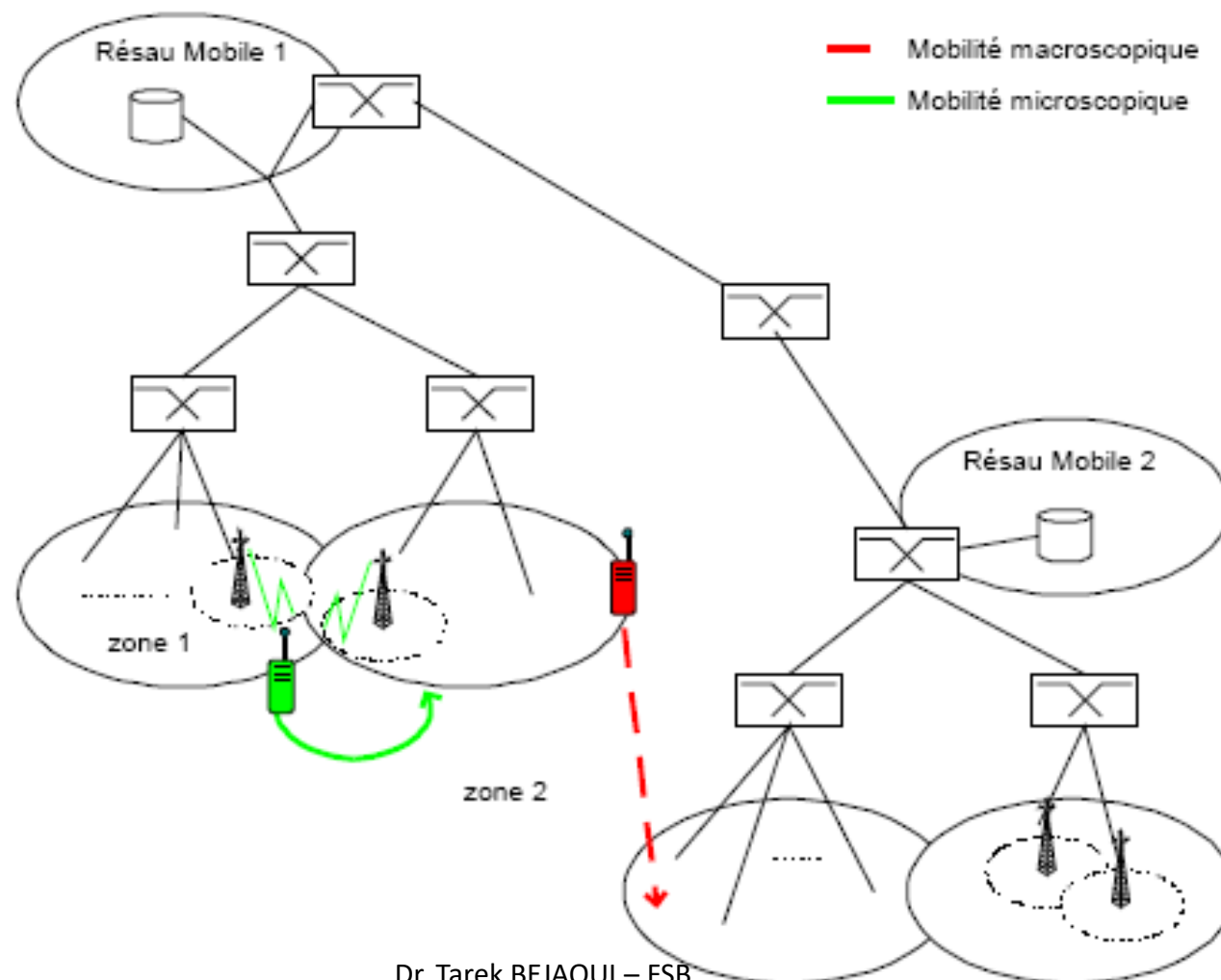
- **Micro-mobilité = mobilité radio**

permettre à un abonné de changer de cellule tout en maintenant sa communication avec le réseau

- **Macro-mobilité = mobilité réseau**

permettre à un abonné de bénéficier des services auxquels il a souscrit sur toute une zone de couverture

Quelle mobilité ? (suite)



Gestion de la mobilité: niveau de gestion



- **Gestion de la mobilité radio**

- Radiorecherche (paging): détermine la cellule exacte de l'unité mobile appelée.
- Relève (handoff): gère le déplacement de l'unité mobile ayant un appel en cours entre les cellules.

- **Gestion de la mobilité réseau**

- Sélection/re-sélection de cellules: permettre à l'unité mobile de choisir une cellule particulière dans la zone de localisation.
- Gestion de localisation: consiste essentiellement à diviser la zone de couverture du système en plusieurs zones géographiques appelées zone de localisation.



Gestion de la mobilité radio

- **Procédure de radiorecherche (paging):**
 - Consiste à identifier la cellule actuelle d'une unité mobile afin d'établir une communication.
 - Radiorecherche dans les réseaux à couverture et densité importantes peut être catastrophique à cause du volume de signalisation.
 - Pour optimiser l'utilisation des ressources, il faut regrouper plusieurs cellules du réseau **en zone de localisation**.
 - Chaque zone de localisation est contrôlée par un serveur de zones de localisation.



Quels mécanismes en jeu ?

- Handover ou transfert inter/intra-cellulaire
- Mécanisme de sélection/resélection de cellule et mécanisme de gestion de la localisation

→ impact sur la QoS :

- proba (rejet d'appel)
- proba (interruption d'appel)
- durée « d'interruption »



Comment ?

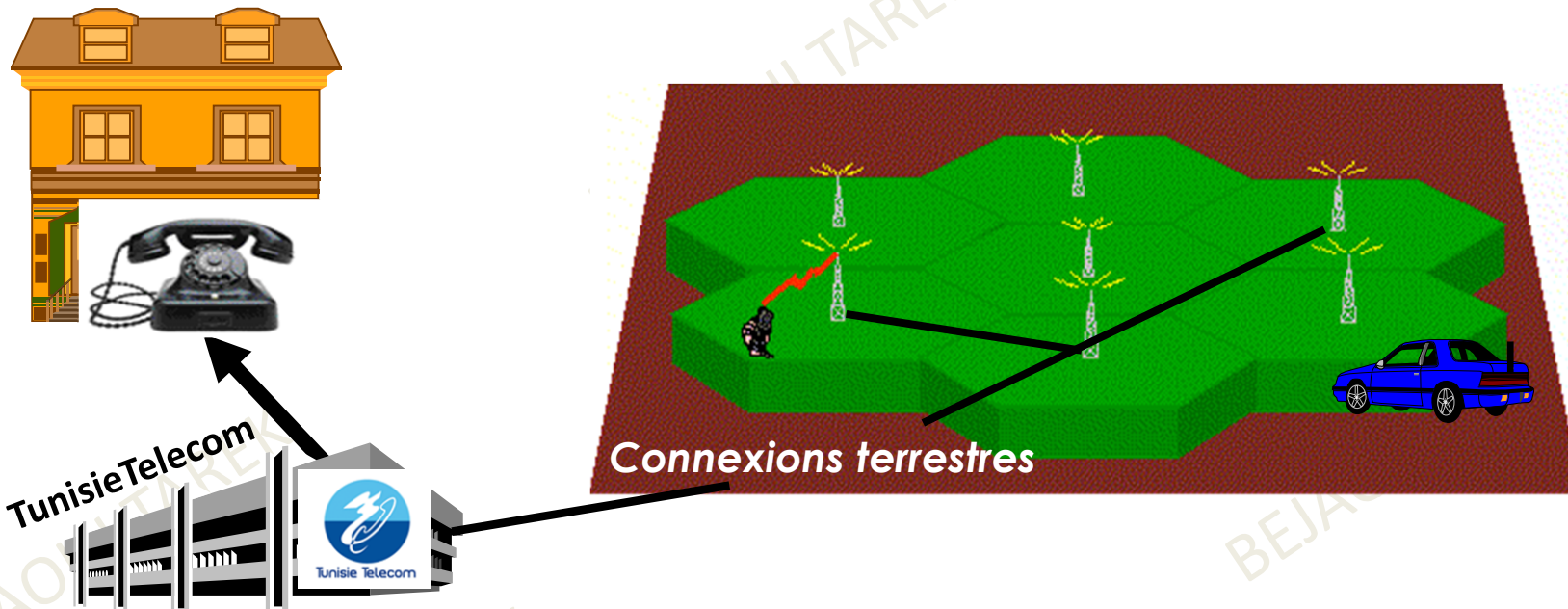
- Via le contrôle de l'interface radio :
Radio Subsystem Link Control
- Mesure de la qualité du lien descendant pour :
 - Handover
 - Mécanismes de sélection/resélection de cellules
 - Contrôle de puissance
- Utilisation du canal SACCH



Mesures du lien radio

- Effectuées sur BCCH courant et canaux dédiés (TCH ou SDCCH)
 - Grâce au BCCH : mesure du lien radio de la cellule courante et des cellules voisines (BSIC)
- Deux mesures sont pertinentes :
 - RXLEV : Received Signal Level (dBm)
 - 64 valeurs (RXLEV_i compris entre -110 dBm et -48 dBm)
 - RXQUAL : Received Signal Quality (BER)
 - 8 valeurs (RXQUAL_i compris entre 0.2% et 12.8%)

Gestion de la micro-mobilité



- Handover = assure les transferts de communications en cours entre les cellules (mobile allumé uniquement)
- Objectif : maintenir une qualité de communication suffisante entre le mobile et le réseau à travers un changement de fréquence ou de cellule



Handover inter vs intra-cellulaire

- Handover inter-cellulaire
se produit quand l'unité mobile se déplace d'une cellule à une autre appartenant à la même zone de localisation, alors, la relève est contrôlée par le serveur de zone.
 - Mesures physiques montrent qu'il existe une meilleure cellule (conséquence de la mobilité)
 - Équilibrage du trafic : transfert de cellules vers des cellules voisines (directed retry)
- Handover intra-cellulaire
se produit quand l'unité mobile se déplace d'un BTS (émetteur-récepteur) à une autre dans la même cellule, ne concerne que la station de base de la cellule.
 - Lorsque la dégradation du signal est due aux interférences et non pas à l'éloignement de la BTS
 - Ne modifie le circuit de parole qu'au niveau BTS et éventuellement BSC



Fonctions du Handover

- Permettre aux usagers de se déplacer en cours d'appel
- Eviter la rupture du lien (rescue handover)
- Minimiser les interférences (global et par rapport à un lien)
- Optimiser l'utilisation des ressources radio
- Equilibrer la charge de trafic entre les cellules
- Baisser la consommation d'énergie des mobiles



Principe de base

- Pendant la communication : mesure et évaluation périodique du lien radio
- Situation anormale
 - ⇒ alarme BSC MSC
- MSC identifie une cellule cible et/ou un nouveau canal sur des critères de trafic :
 - si ok : handover déclenché
 - sinon : communication continue sur le même canal et des handovers sont périodiquement tentés
- Après handover, l'ancien canal est libéré
- Attention : il existe des handovers sur demande explicite du MSC (sur-charge BSC)



Les 3 phases du handover

- Prise de mesures et supervision du lien
- Choix de la cellule cible et déclenchement du handover
- Exécution du handover (i.e. transfert effectif des liens)



Contraintes temporelles

- Période des mesures $<$ durée de traversée d'une cellule \Rightarrow fortes contraintes en environnement pico et micro-cellulaires
- Durée de traitement des critères de décision d'exécution du handover et choix de la cellule cible courte \Rightarrow sinon réalisation trop tardive
- Exécution très rapide afin de minimiser la proba de perte d'un lien et les dégradations de qualité dues au changement de lien



Phase 1 : Prises de mesures

- Evaluation qualité du lien
- Mesure périodique des canaux et cellules candidates si besoin d'établir un nouveau lien physique
- Gestion d'une liste de cellules candidates
- Par le réseau et le terminal (GSM)
- Déclenchement du handover contrôlé par le terminal ou assisté par le mobile (GSM) en se basant sur les mesures



Phase 1 :

Indicateurs de déclenchement

- Puissance du signal reçu (RXLEVEL)
- Qualité du signal de la cellule courante (RXQUAL)
- Taux d'erreur binaire BER (témoin du C/I)
- Distance(mobile, BS)
- etc.

Rq:

→ Entre 3 et 10 types de mesures

→ Périodicité = 480 ms (GSM)



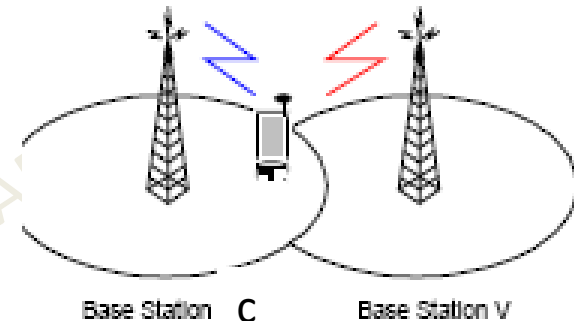
Phase 1 : liste de cellules candidates

- Liste de 6 fréquences gérée par le mobile (RXLEVEL, fréquence)
- Le mobile mesure la puissance des canaux pilotes des BTS
- Si le mobile reçoit l'identité d'une BTS et que son signal est suffisant, elle entre dans la liste (un temporisateur est associé)
- A expiration du temporisateur : la BTS est retirée de la liste
- Si la liste est pleine (6 pour GSM), on retire celle dont le temporisateur est le plus avancé.

Phase 2 :

Déclenchement du handover

- (1) Puissance relative des signaux
 - $P(\text{Signal}_v) > P(\text{Signal}_c)$
- Idem(1) + utilisation d'un seuil
 - $P(\text{Signal}_c) < \text{Seuil}$ et $P(\text{Signal}_v) > P(\text{Signal}_c)$
- Idem(1) + hystérésis
 - $P(\text{Signal}_v) > P(\text{Signal}_c) + \text{marge d'hystérésis}$
- Idem(1) + Seuil + hystérésis
 - GSM
- Prédiction du signal reçu

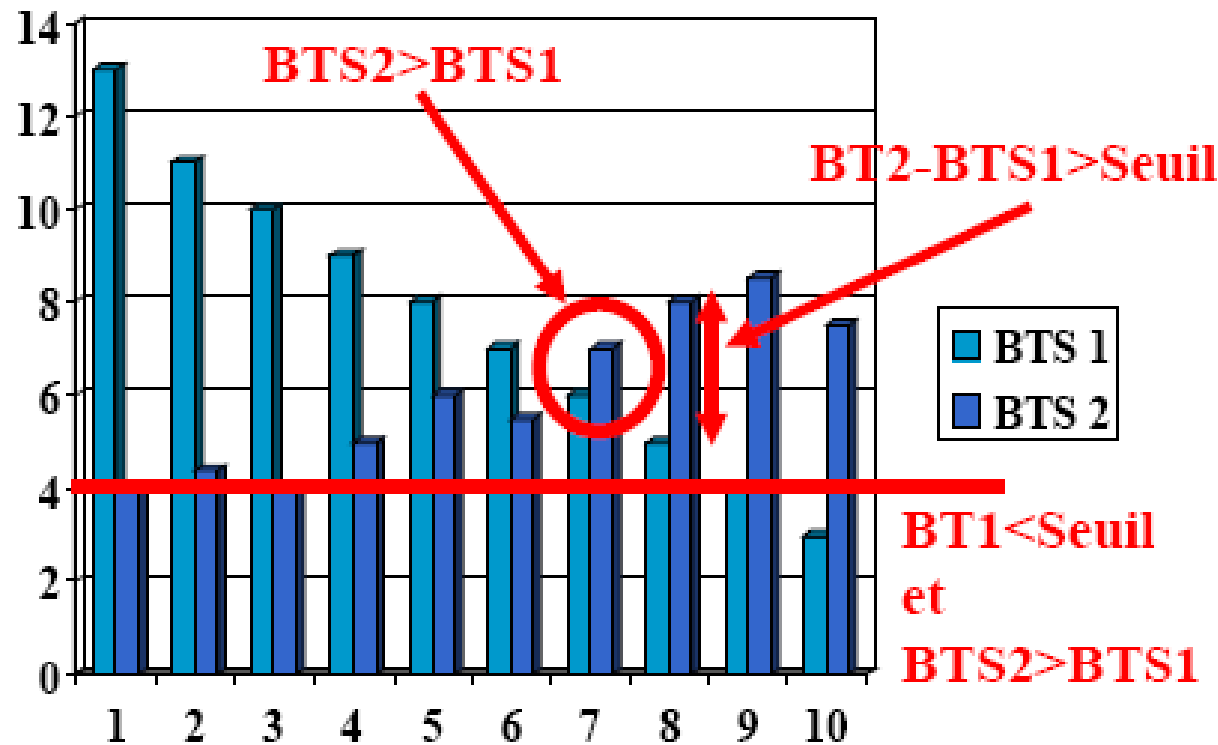




Phase 2 :

Déclenchement du handover (suite)

- Evaluation après chaque phase de mesures

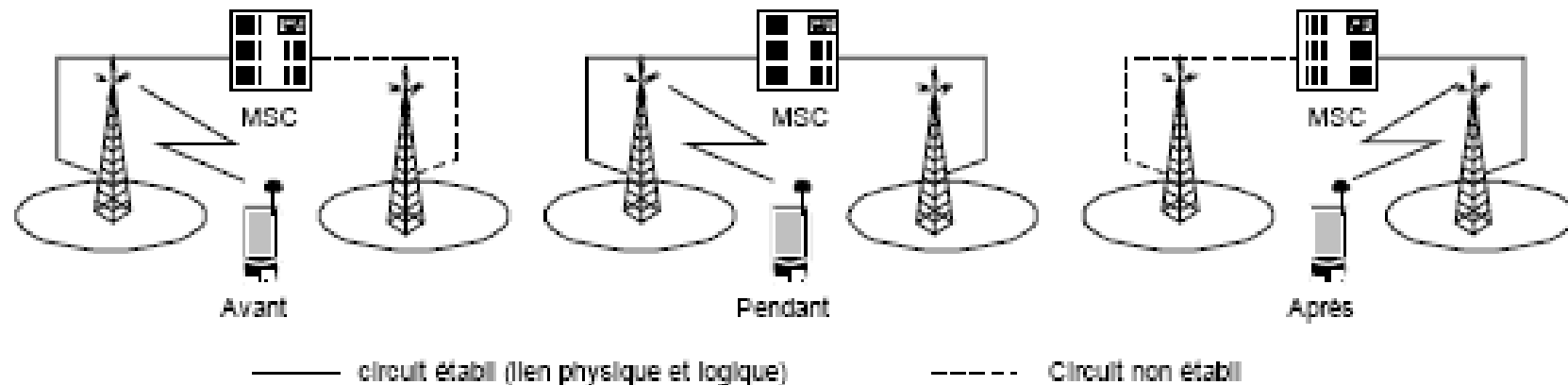




Phase 3 : Procédure d'exécution

- Hard handover
ancien lien libéré *avant* l'établissement du nouveau lien avec la BS cible
- Seamless handover
... pendant ...
- Soft handover
... après ...

Hard handover



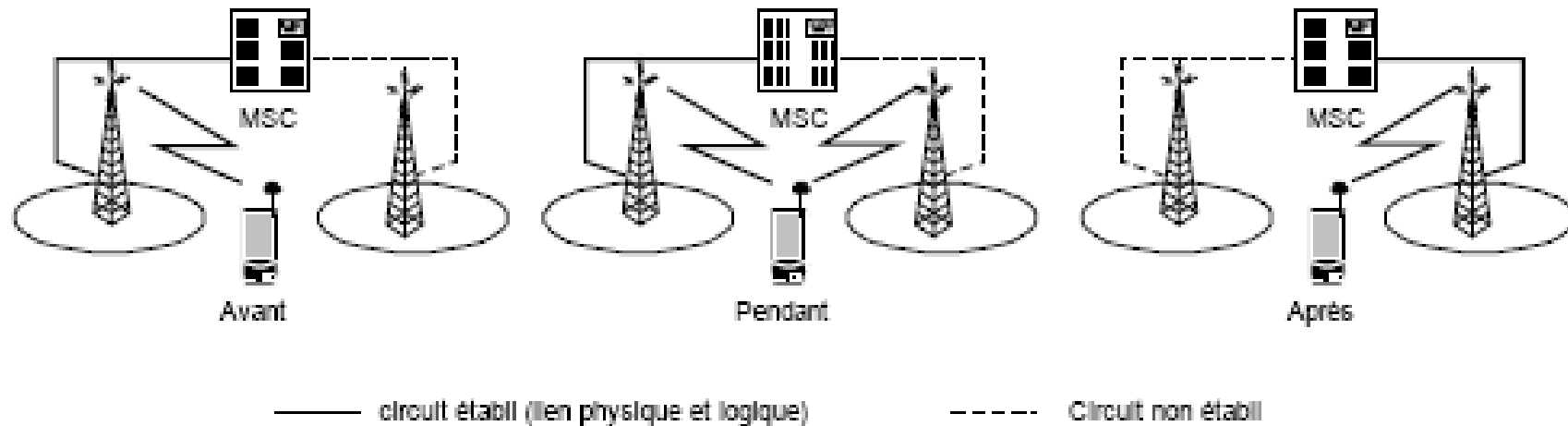
- Commutation + routage des infos vers le nouveau lien : simultanément
 - Un seul canal radio à la fois
 - Légère interruption de la communication
- GSM

Principes du déroulement du hard Handover



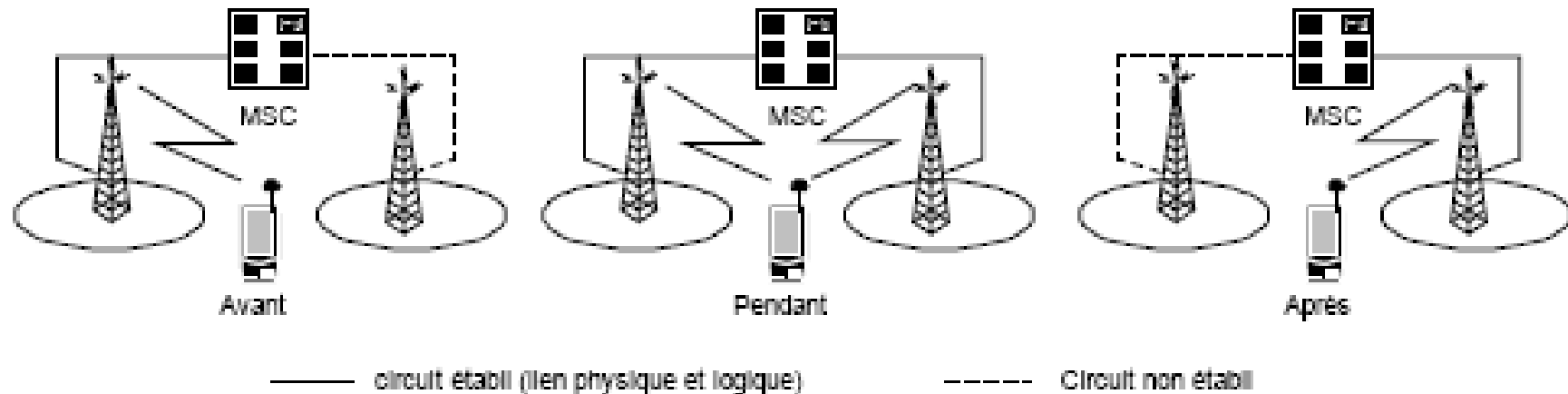
- Suspension des opérations normales sauf pour la couche gestion des ressources radio
- Déconnexion du lien de signalisation et du TCH éventuel
- Déconnexion et désactivation des canaux alloués précédemment et leur libération
- Activation de nouveaux canaux et leur connexion si nécessaire
- Déclenchement de l'établissement d'une connexion de liaison de données sur les nouveaux canaux

Seamless handover



- Qualité de service maintenue
 - Probabilité de coupure minimisée
 - Consommation supérieure des ressources
- ➔ DECT

Soft handover



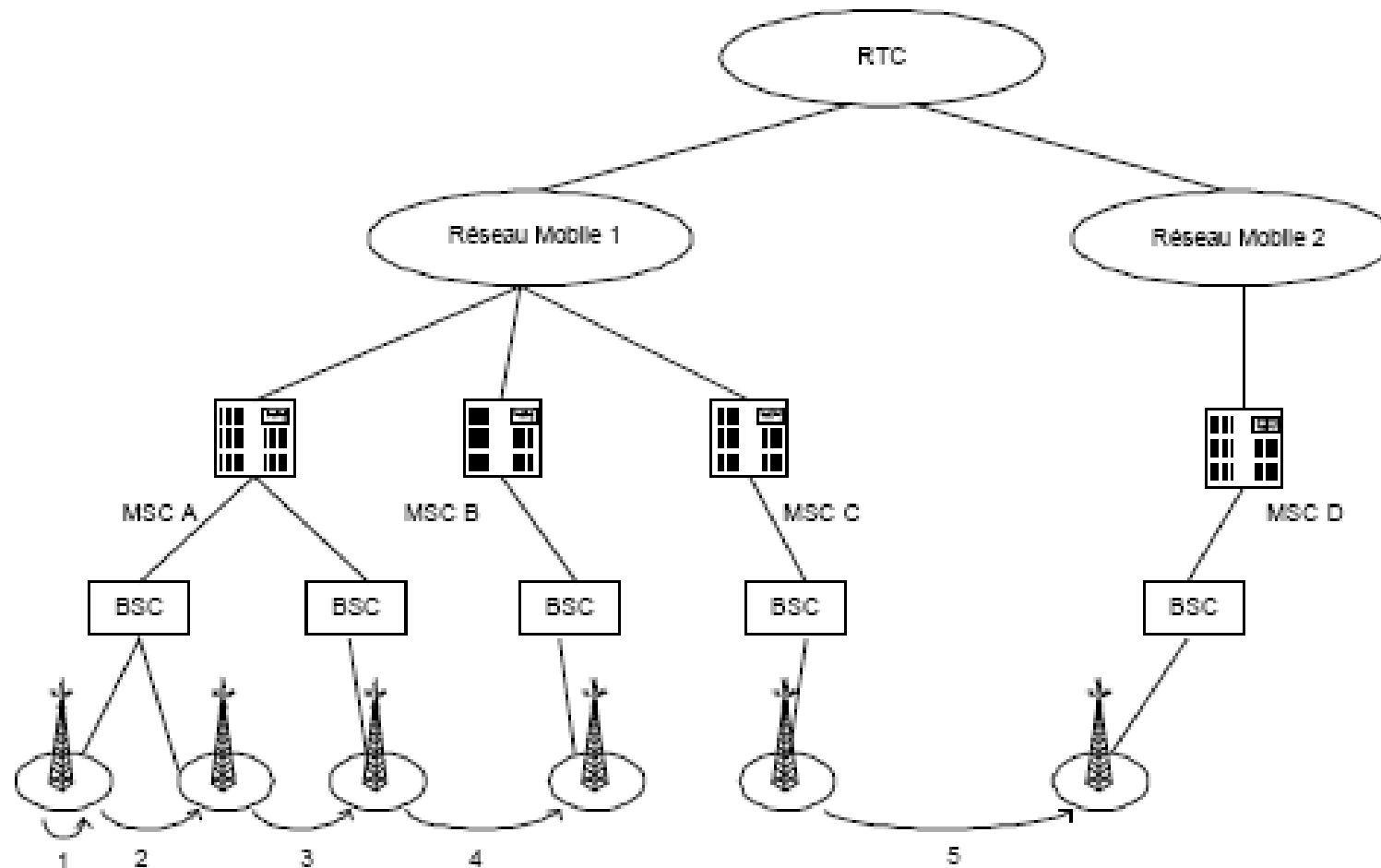
- Les 2 liens et les 2 flux sont actifs simultanément pendant un court laps de temps
 - Qualité de service offerte à l'utilisateur
 - Charge élevée au niveau réseau
 - Charge élevée sur l'interface radio
- Système CDMA et 3ème génération (UMTS)



Backward/Forward Handover

- Etablissement nouveau lien = messages entre mobile et BS cible
 - échange via ancien lien : backward handover
 - i.e. lien établi à partir de l'ancienne BS
 - moins rapide que la solution suivante
 - gestion plus optimale des ressources radio
 - GSM
 - échange vers la BS cible : forward handover
 - i.e. lien établi depuis la nouvelle BS
 - nécessité pour le mobile de contrôler le handover
 - DECT

Différents handovers



- 1: HO Intra-cellulaire 2: HO Intra-BSC 3: HO Intra-MS-C
 4: HO Inter-MS-C 5: HO Inter-Réseau



Evaluation - procédure de HO

- Nombre de tentatives de handover
- Probabilité d'échec
- Handovers ping-pong
- Durée de déroulement de handover
- Lieu de déclenchement du handover
- Nombre de handovers
- Quantité de ressources consommées



Gestion de la mobilité réseau

- Processus de **sélection/resélection de cellules**
 - réception par le mobile d'infos venant du réseau et choix d'une cellule d'accès
- **Gestion de la localisation (itinérance)**
 - connaître plus ou moins précisément la position des mobiles



Sélection/resélection de cellules

- Choisir une cellule du réseau pour
 - enregistrer les infos diffusées par le réseau aux mobiles
 - signaler ses mouvements au réseau
 - être prêt à se connecter au réseau en cas de communication
 - nécessité d'être en état de veille
 - Processus optimisé car utilisation du terminal impossible simultanément



Sélection/resélection... (suite)

- infos diffusées + mesures des signaux reçus
→ choix d'une station de base privilégiée

Remarque:

- Sélection = à la mise sous tension du mobile
- Resélection = lors du déplacement
 - Mais la même procédure de choix de cellule



Étapes du processus

- Écoute de toutes les voies balises
- Sélection d'un certain nombre de cellules parmi les plus puissantes
- Recueil des infos diffusées : état des cellules, paramètres d'accès, de handovers, info de synchronisation, localisation, PLMN, etc.
- Enregistrement éventuel dans la zone de localisation
- Choix d'une cellule (suitable cell)



Paramètres utilisés

- Mesure périodique chaque porteuse BCCH (moyenne sur 5 mesures) :
 - Niveau de signal reçu
 - État de la cellule
 - Identité du réseau
 - Zone géographique
 - Temporisation



Activités du mobile

- Pendant l'état de veille et une fois la localisation effectuée :
 - Calage sur voie balise
 - Attente d'un éventuel appel (PCH)
 - Prêt à émettre (RACH)
 - Surveillance constante pour détecter une sortie de cellules



Resélection

- Sur événements :
 - Mobile ne reçoit plus de messages de signalisation de la cellule sélectionnée
 - Existe une meilleure cellule
 - Cellule sélectionnée passe dans l'état barrée
 - PLMN non détecté
 - Changement de zone de localisation
 - Echec lors d'une tentative d'accès au réseau



Gestion de la localisation

2 points sont abordés :

- ❑ la localisation : permet au système de connaître la position d'un mobile à chaque instant

- ❑ la recherche d'abonné qui permet au système de retrouver un mobile

→ Mécanismes antagonistes du point de vue consommation des ressources !



Références

- [1] Sami Tabbane, “Réseaux mobiles”, HERMES 1997, ISBN 2-86601-622-X
- [2] Réseaux GSM-DCS, Xavier Lagrange, Philippe Godlewski, Sami Tabbane, Edition Hermes
- [3] Cegetel : GPRS - General Packet Radio Service, Présentation détaillée, 12/98



Les réseaux cellulaires multimédia : Introduction au GPRS & EDGE

Dr. Tarek BEJAOU

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



INTRODUCTION

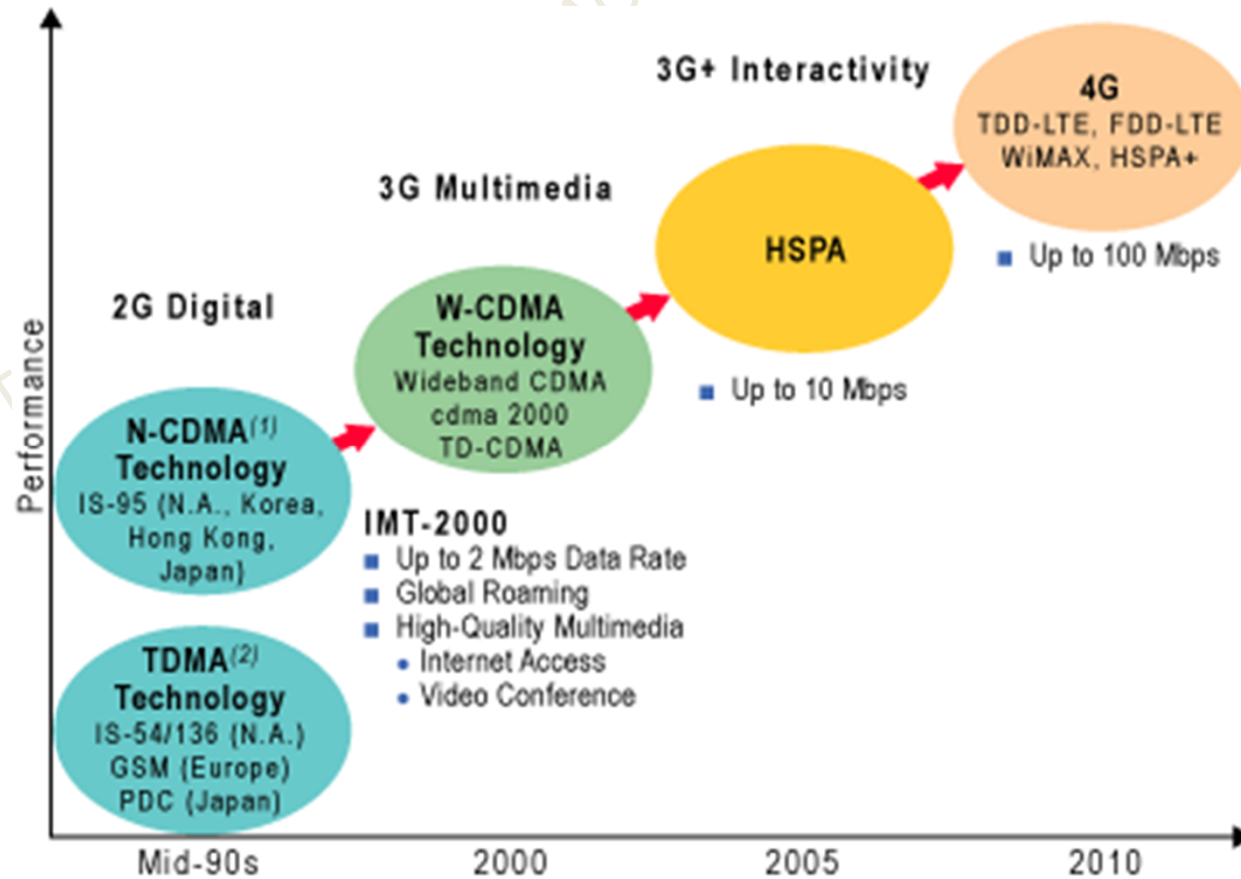


Evolution vers le 3G

Technology	Contents	W@P	E-mail	Web browsing	Images	Music (MP3)
GSM (9.6-14.4 kbps)		+	□	□	No	No
GPRS (30-60 kbps)		+++	+	+	+	□
EDGE (60-180 kbps) **		+++	++	++	++	+
UMTS (384 kbps)		+++	+++	+++	+++	++
		□	available	++	very good	
		+	good	+++	excellent	



Evolution des réseaux cellulaires





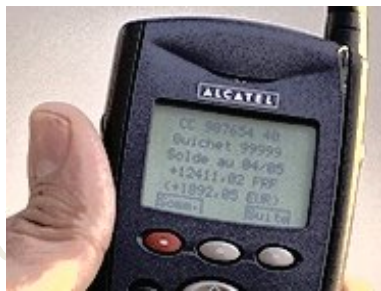
Les classes de trafic

- Conversational class
 - *temporal relation preserved*
 - *weak and rigorous delays*→ **Telephony, videotelephony, real time video games**
- Streaming class
 - *temporal relation preserved*→ **Multimedia services**
- Interactive class
 - *demand of response*
 - *data integrity preserved*→ **Internet (web browsing)**
- Background class
 - *no restraint on delays*
 - *data integrity preserved*→ **Email**



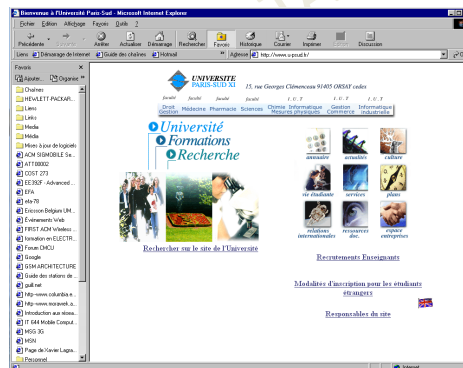
Les services (1)

- Pour avoir votre solde en compte (WAP) (1kbytes)



**< 1 s mais
10/20 s pour un établissement d'appel
avec GSM**

- Pour télécharger une page Web (100 kbytes)



**GSM
GPRS (50 Kbps)
UMTS (2 Mbps)**

**85 s
17 s
0.5 s**

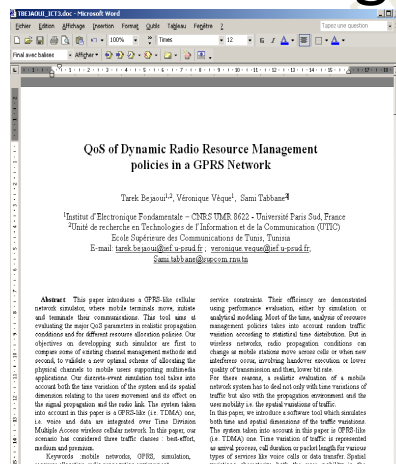
Les services (2)

- Pour télécharger une image JPEG (5 kbytes)



GSM	4 s
GPRS	0.8 s
UMTS	0.02 s

- Pour télécharger un document Word (500 kbytes)



GSM	7 mn
GPRS	82 s
UMTS	2 s



Les services (3)

- MP3 music file of 2 1/2 minutes (2.4 Mo)



GSM	35 min
GPRS	7 min
EDGE	134 s
UMTS	10 s

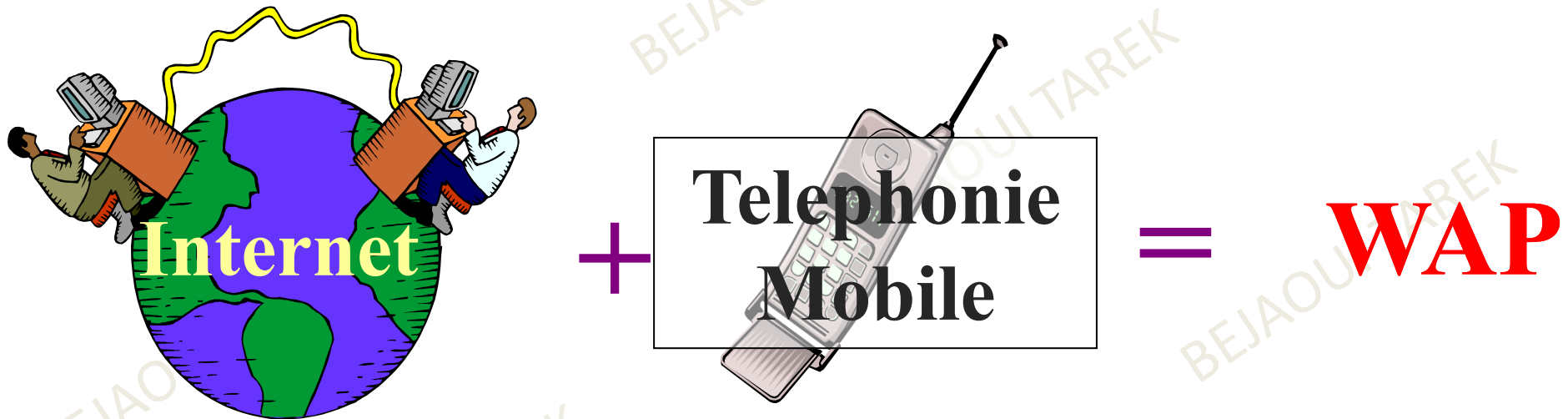
- **interactive Audio and Video**



Interactivité avec toutes les technologies à l'exception du GSM



Les services WAP : Convergence Internet / Mobilité



WAP = Wireless Application Protocol

WAP est basé sur une architecture Client/Serveur



WAP c'est quoi?

- WAP est l'acronyme de **Wireless Application Protocol**
- WAP est un **protocole de communication sans fil**
- WAP est utilisé pour accéder aux **services et aux informations**
- WAP est hérité des standards Internet
- WAP est développé pour **les équipements portatifs** comme **les téléphones**
- WAP est un **protocole** conçu pour les **micro navigateurs**
- WAP permet de créer des **applications web** pour des appareils mobiles.
- WAP utilise le langage **mark-up WML** (non HTML)
- WML est défini comme une application **XML 1.0**

Le **WAP** était en compétition avec le standard japonais **I-MODE**.



WAP Architecture

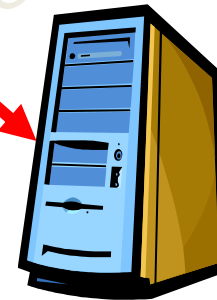
L'architecture est basée sur le modèle Internet :

- Le terminale WAP sans fil contient un micro-navigateur,
- Contenu et applications sont hébergés sur des serveurs Web (HTTP/WAP).



HTTP Server
WAP Server

INTERNET



WAP Gateway



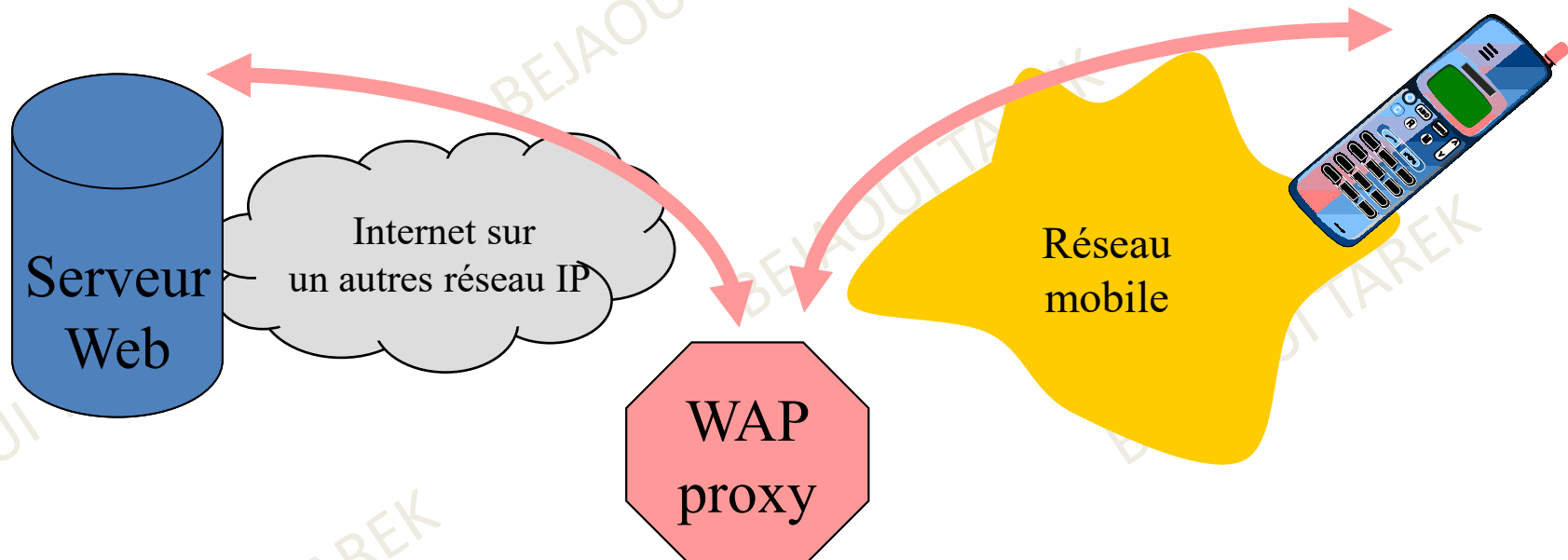
WAP Terminal



Technologie WAP

WML embedded in HTML - (JAVA)

WML over WAP



- **Implémentations WAP :**
- WAP sur GSM,
- WAP sur GPRS,
- WAP sur terminaux personnels (Palm, etc...),
- WAP-on-a-SIM (nouveaux services sur anciens téléphones ...)



WAP pre-requisite: « Mark-Up » Languages

- Définition:
 - Les langages Mark-Up sont utilisés sur le web pour isoler l’affichage du contenu d’un document.
- Types:
 - **HTML** = Hypertext mark-up language (controls the formatting of a document), écrit en JavaScript
 - **XML** = Extensible mark-up language (marks sections of the data as objects that can be managed by associated databases)
 - **HDML** = Handheld device mark-up language (proprietary technique)
 - **WML** = Wireless mark-up language (XML adapted for WAP technology and mobile handsets), écrit en WMLScript.



Introduction au GPRS



Les opérateurs GPRS

« tout opérateur disposant d'une licence GSM peut faire évoluer son réseau vers le GPRS. »





GPRS – Généralités (1)

- **GPRS = nouveau service du GSM :**
dédié à la transmission de données en mode paquet dans le PLMN et interconnecté à des réseaux de données (IP, X25).
- **Applications :**
 - **point à point (PTP) :** consultation de serveurs type web browsing, Email, Telnet, bureau intelligent, commerce électronique, remote access,...
 - **ou point à multipoint (PTM) :** applications verticales type gestion de flotte de taxi, applications “broadcast”, services de communication multidirectionnelles, ... (PTM Multicast - PTM-M, PTM Groupcast - PTM-G, IP multicast - IP-M)
- **Particulièrement adapté aux :**
 - transmissions de données intermittentes et non périodiques
 - transactions fréquentes de petits volumes de données
 - transmission de “gros” volumes de données de qq kBytes plusieurs fois par heure.
 - ➔ Les ressources ne sont allouées que lorsque des données s'échangent



GPRS – Généralités (2)

GSM

- Architecture à commutation de circuit
- Accès indirecte au réseau IP
- Connexion très sensible aux données
- Solution qui coûte chère pour le réseau de données (HSCSD)



GPRS

- Architecture à commutation de paquets
- Service IP End to End
- Réutilisation de l'architecture BSS
- Nouvelle architecture du réseau cœur
- Débit binaire théorique ~ 170 kbps



Les services

INFORMATION	NEWS	BANKING & FINANCIAL SERVICES	LOCAL SERVICES (CITY GUIDE)		BUY & SELL	TRAVEL	Special Interest		
	<ul style="list-style-type: none"> General Headlines Financial & Business Politics Tabloids Culture & Entertainment Sports Lottery 	<ul style="list-style-type: none"> Stock indexes Stock prices Metal prices Stock alert Currency rates Interest rates Account balance Credit/debit balance Cheque balance Money transfers Bill payments Automatic call Account status flash Stock purchase Financial products purchase 	<ul style="list-style-type: none"> Taxi Restaurants Cinema Theatres Concerts Exhibitions Night Clubs Emergency services Pharmacies Household assistance Weather Time Directory services ATM Locator 	<ul style="list-style-type: none"> Classifieds <ul style="list-style-type: none"> Cars Properties Jobs Auctions Shopping <ul style="list-style-type: none"> Small daily items Specific promotions Tickets 	<ul style="list-style-type: none"> Traffic (traffic jams, radar, control,...) Public transportation Navigation services Train schedules Flight schedules Hotels Holiday packages 	<ul style="list-style-type: none"> Mobile telephones Internet sites and services Computers and hardware Automobile 			
COMMUNICATION	SMS		E-MAIL		FAX		BULLETIN BOARDS		
	<ul style="list-style-type: none"> Send/receive SMS messages SMS to postcard 	<ul style="list-style-type: none"> Send/receive e-mails E-mail to voice (IVR) 	<ul style="list-style-type: none"> Send/receive fax Special features (delivery and receipt report, storage for later delivery) 	<ul style="list-style-type: none"> Groups with common interest Messages, News, etc 					
PRODUCTIVITY	ORGANIZERS		PERSONAL ASSISTANT		TOOLS		MISCELLANEOUS	FAMILY	
	<ul style="list-style-type: none"> To do lists Calendar Address book Agenda 	<ul style="list-style-type: none"> Reminders 	<ul style="list-style-type: none"> Call management Correspondence management Voice to SMS, E-mail and fax Translation services 	<ul style="list-style-type: none"> Calculator Dictionary Translator Currency converter 	<ul style="list-style-type: none"> Activating domestic appliances Paying at vending machines Identity verification 	<ul style="list-style-type: none"> Family VPN Synchronised 			
ENTERTAINMENT	MUSIC	TV	LIFESTYLE	FUN	CHATS	PICTURES	GAMES	ASTROLOGY	DATING
	<ul style="list-style-type: none"> Ringtones Short clips (e.g. MP3) 	<ul style="list-style-type: none"> Programme schedules Highlights 	<ul style="list-style-type: none"> Gastronomy Hobbies Fashion Parties 	<ul style="list-style-type: none"> Jokes Sayings Dream analysis 	<ul style="list-style-type: none"> Topic specific Private 	<ul style="list-style-type: none"> Icons Logos Photos Postcards 	<ul style="list-style-type: none"> Puzzles Quizzes "Tamagotchi" Games Gambling/Betting 	<ul style="list-style-type: none"> Horoscopes Astrolove Biorhythm Specific Horoscopes 	<ul style="list-style-type: none"> Chats Dating services



Technologie (1)

- Principe Fondamental: transmission des données en **mode paquet**
 - IP sur voie radio (routage, fragm / défragm)
 - En utilisant les techniques de commutations de circuits, les charges sont mesurées à travers le temps d'appel, alors qu'avec les techniques de commutations de paquets les charges sont mesurées en fonction du volume de données transmis. Ce qui rend possible d'avoir une connectivité toujours active
 - ⇒ **Connectivité « Always On »**



Technologie (2)

⇒ Changements importants pour l'utilisateur:

- Réseau utilisé seulement si transmission de données
(- d'interruptions et de saturation dans grandes villes, débit)
- accès immédiat, facturation au volume
- Le terminal a une @IP (meilleure gestion de la mobilité)
- Les canaux UL et DL sont réservés séparément
- Les services GPRS et circuit GSM peuvent utiliser alternativement le même Timeslot



Technologie (3)

Autre nouveauté: **optimisation des canaux**

Idée: Répartition des paquets d'une communication sur les 8 slots d'un canal (+ le terminal dispose de slots, + il peut recevoir et envoyer des données)
⇒ Débit théorique 8x supérieur

Mais: + il a de slots, + il consomme d'énergie et cellules GSM saturées
=> pas concevable qu'une seule personne dispose des 8 slots d'un canal

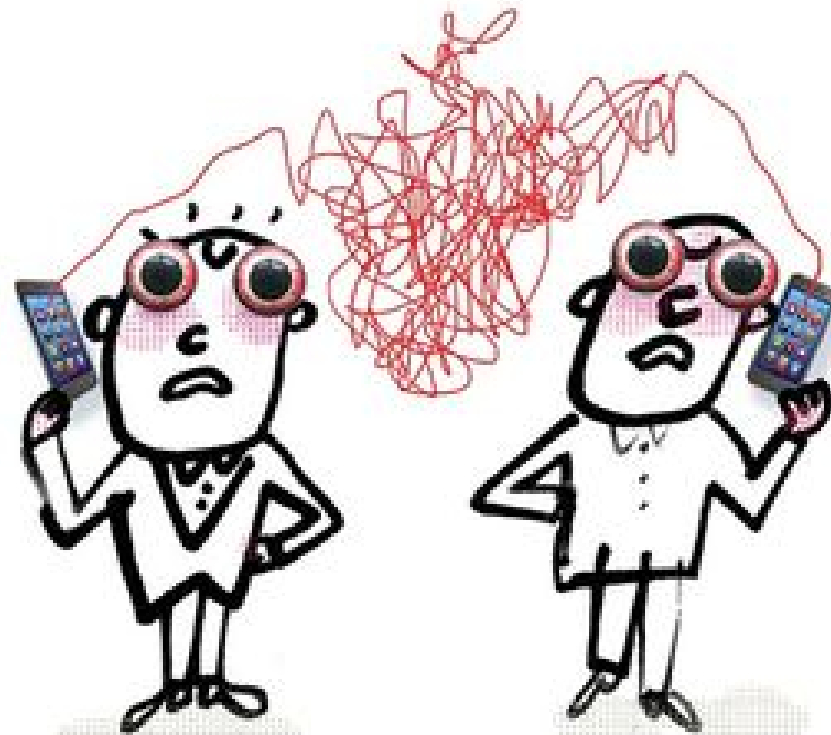
Donc: les terminaux GPRS qui existaient à l'époque sur le marché (Ericsson, Motorola, Nokia) disposaient de 2 slots pour la voie descendante et d'un slot pour la voie montante

Motorola avait lancé un appareil avec 4 slots en voie descendante et 1 en montante.



Technologie (4)

- Le niveau d'interférence GPRS est différent -> **Codages** différents selon les conditions





Le Codage en GPRS

Codage	Principe	Débit prévisible par slot
CS-1	Protection identique au GSM	9,05 kbits/s
CS-2	Protection légèrement inférieure à la transmission de données circuit (GSM)	13,4 kbits/s
CS-3	Protection réduite	15,6 kbits/s
CS-4	Détection d'erreurs sans correction	21,4 kbits/s

Remarque : les débits indiqués ne sont pas les débits utilisateurs ; le débit utilisateur dépend du C/I, de la charge du réseau et des overheads de la couche protocolaire.

• **Temps d'accès** :

- Etablissement d'une communication < 5 s
- Temps de transit d'un paquet : qq 100 ms

• **La qualité d'une communication** peut être assurée, suivant le QOS - ou Quality of Service - négocié (à chaque appel, éventuellement pendant l'appel).



Accès anonyme

- Le MS peut échanger anonymement des paquets avec un serveur identifié :
 - Le nombre d'adresses de serveurs est limité
 - L'IMSI et IMEI restent inchangés
 - La communication se fait en clair (pas de cryptage)



Quel(s) débit(s)?

- **Opérateurs** (publicité, théorie): **171,2 kbits/s.**
conditions optimales , 8 slots pour un terminal,
codage CS4

$$8 * 21,4 = 171,2 \text{ kbits/s}$$

- **Fabriquants** de terminaux (Nokia par ex): **115 kbits/s.**

4 slots, codage CS-3

$$8 * 15,6 = 124,8 \text{ kbits/s} - \text{bits de protection} = 115 \text{ kbits/s}$$



Quel(s) débit(s)?

En pratique:

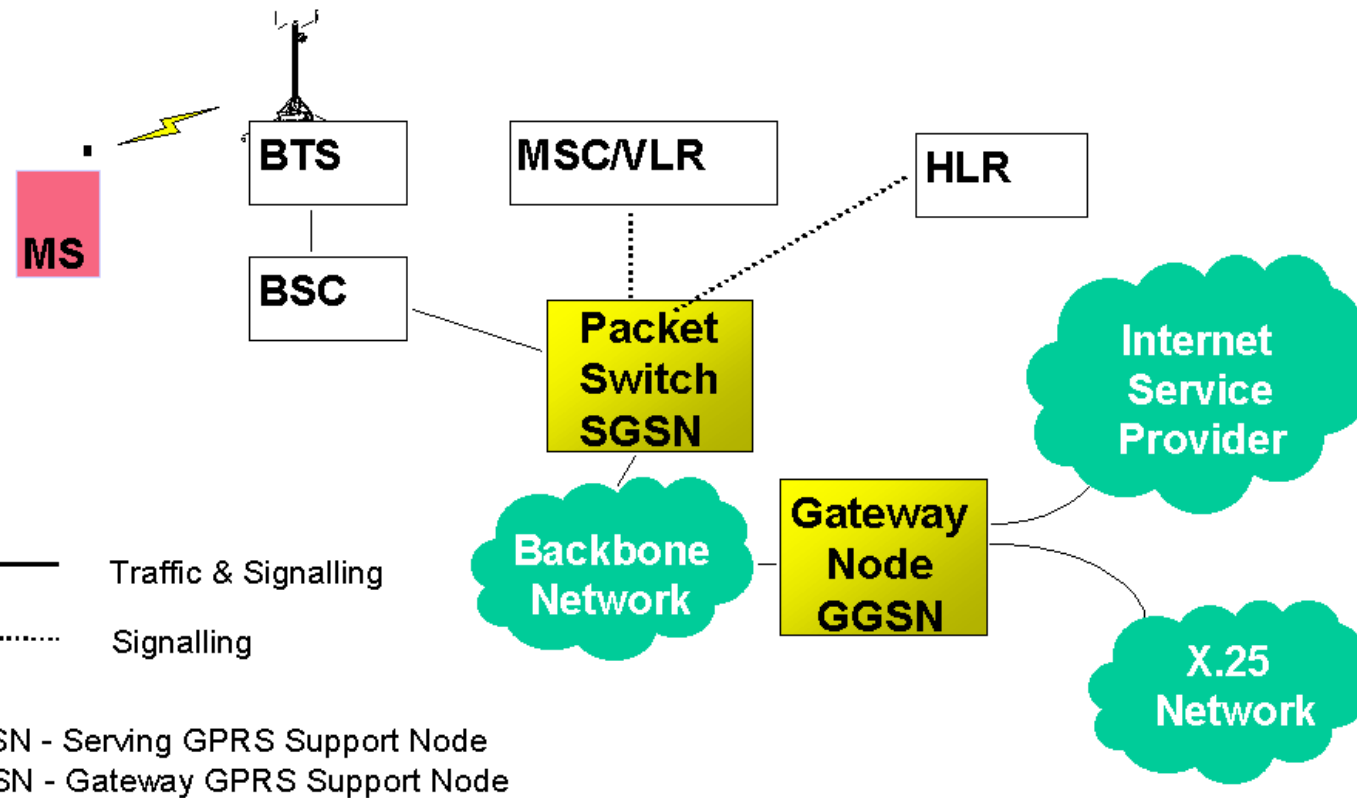
- Perturbations
- encombrement du réseau
- nécessité d'un codage performant
- débit maximum pas disponible sur toute la couverture

Tests avec 4 slots:

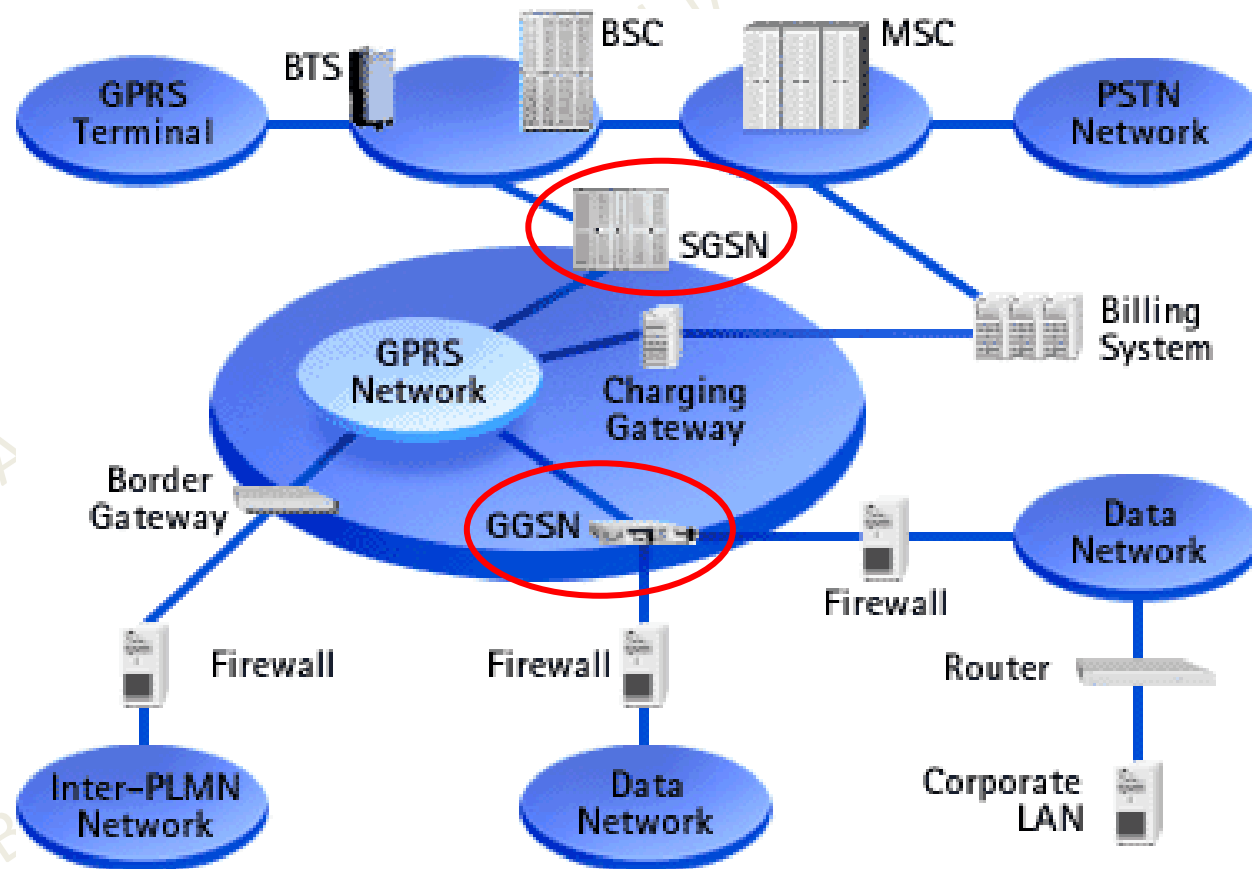
Mauvaises conditions de propagation ou forte interférence	30 kbits/s
Conditions moyennes	44 kbits/s
Bonnes conditions	56 kbits/s



Architecture du réseau (1)

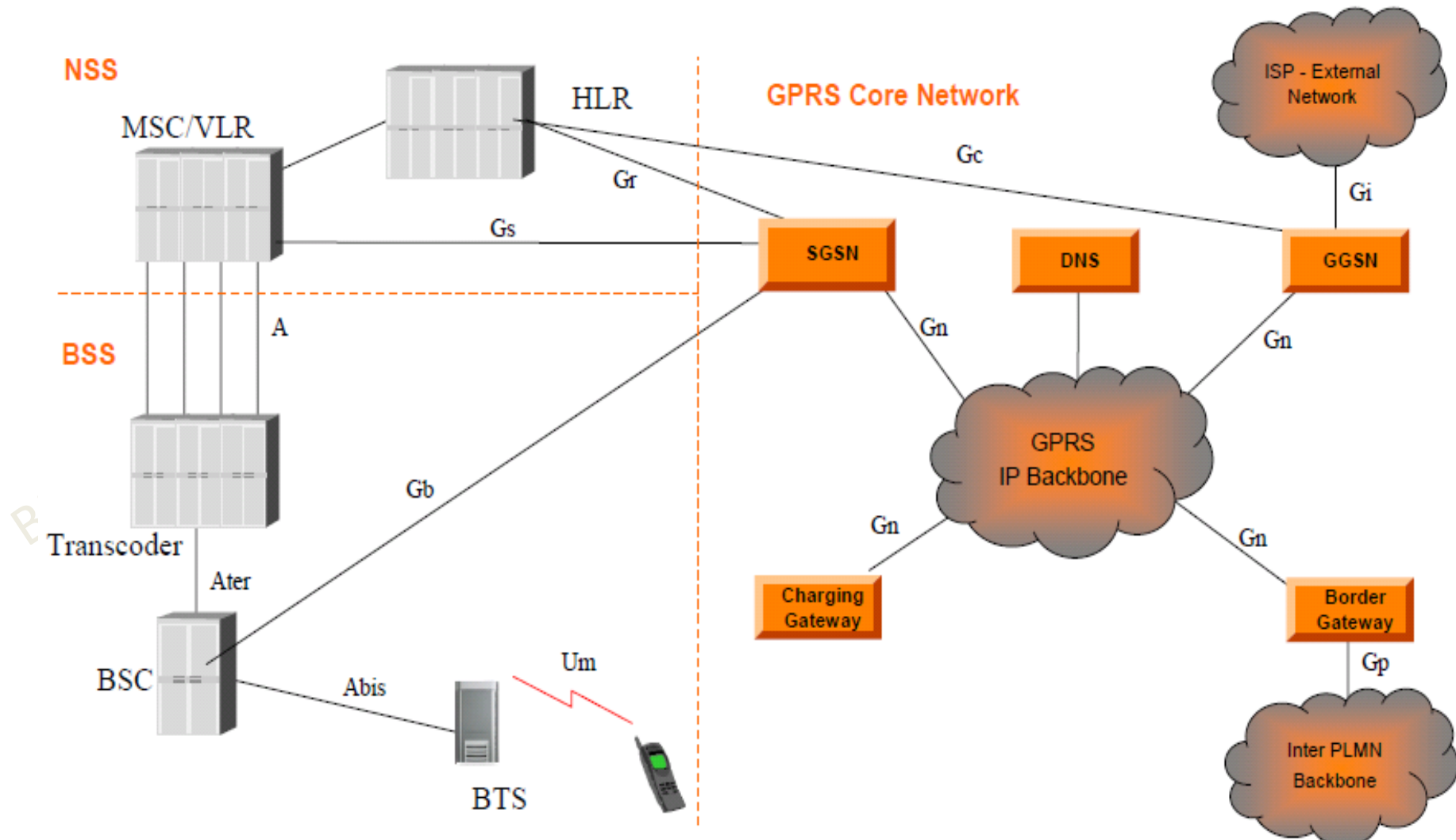


Architecture du réseau (2)



Introduction de 2 nouveaux éléments à l'architecture GSM déjà existante : le SGSN et le GGSN.

Architecture du réseau (3)





De nouveaux interfaces

Interface	elements	Main usage	Protocol type
Um	MS – BTS	Radio interface	RLC/MAC
Abis	BTS – BSC	Standard GSM if.	RLC/MAC
Gb	BSC – SGSN	GPRS data	LLC/FR
Gc	GGSN – HLR	HLR queries for PDP context activation	(IP)/SS7
Gd	SGSN – SMS GMSC	Short Messages exchange	SS7
Gf	SGSN – EIR	Terminal identity check	SS7
Gi	GGSN – Data Network	Data transfer	IP
Gn	SGSN – SGSN	Mobility management	IP
	SGSN - GGSN	PDP context activation Data transfer	
Gp	BG – BG	Inter-operator link	IP
Gr	SGSN – HLR	Location management	SS7
Gs	SGSN – MSC/VLR	GSM/GPRS mobility Management	SS7



De nouveaux éléments ...

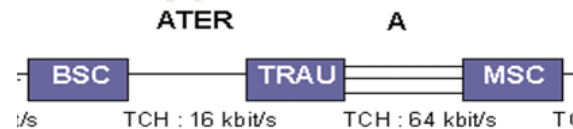
•Ce qu'il faut pour disposer d'un réseau GPRS :

- Evolution du BSS :
 - Retrofit et/ou upgrade d'éléments existants :
BTS, BSC, O&M, Network planning, liens (Abis, Ater,... ?)
 - Nouveaux éléments du réseau :
PCU (Packet Controller Unit)
- Evolution de la partie "NSS" :
 - Un GSS ou NSS dédié au GPRS :
 - nouveau réseau utilisant IP,
 - nouveaux packet network nodes (SGSN, GGSN)
 - de nombreux internet "stuff" (routers, DSN Servers, Firewalls,...)
 - Evolution des éléments du réseau : HLR, MSC/VLR, réseau SS7
- De nombreuses nouvelles interfaces de signalisation avec les s/s existants
- Evolution du « système de facturation » (Billing system)
- De nouveaux mobiles
- ... et une nouvelle approche marketing orientée services. !

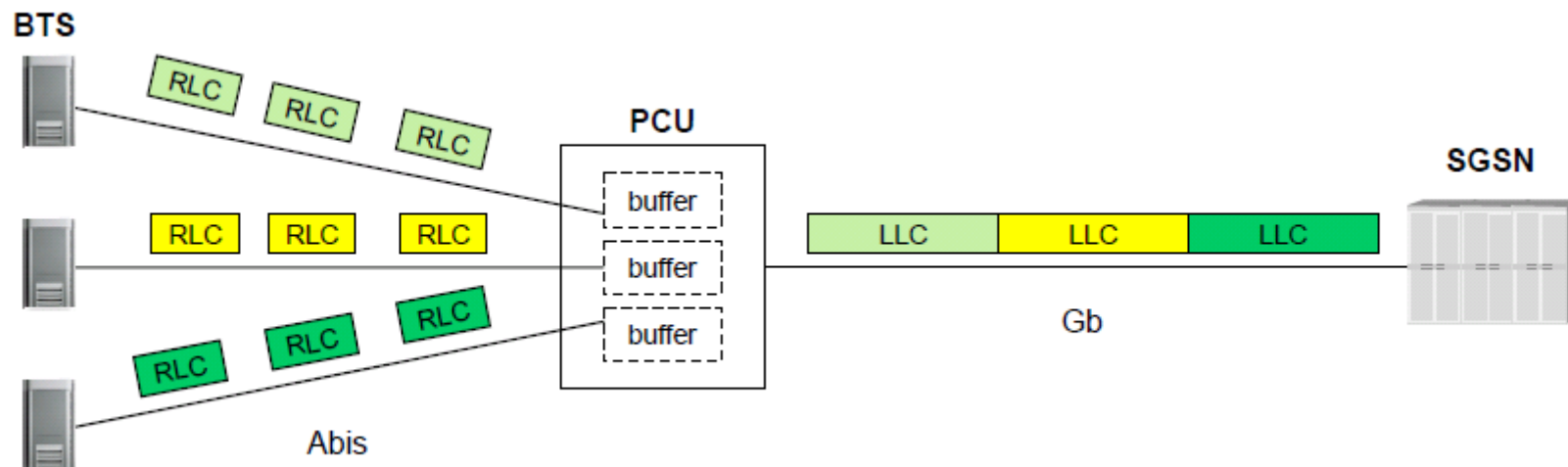


Evolution du réseau BSS

- Nouveau hardware dans le BSS : Packet Controlling Unit (PCU)
 - Peut être comparé à la fonction du TRAU du GSM



- Le cœur de la transmission de paquet dans le réseau BSS
- Permet l'allocation dynamique du trafic
- Fournit le mécanisme de gestion des ressources radio (RRM) adapté au transfert de paquets



Répartition des fonctions entre BTS et BSC



- La répartition des fonctions n'est pas explicitement spécifiée dans la norme : 3 architectures ont été proposés :
 - PCU co-localisé avec la BTS
 - PCU co-localisé avec le BSC
 - PCU co-localisé avec le SGSN
- L'implémentation varie d'un constructeur à l'autre :
 - Nokia et Motorola : le PCU est co-localisé avec le BSC
 - Alcatel : le PCU est co-localisé avec le SGSN
- Note : A compléter en fonction des données fournisseurs.



Role du PCU et du CCU

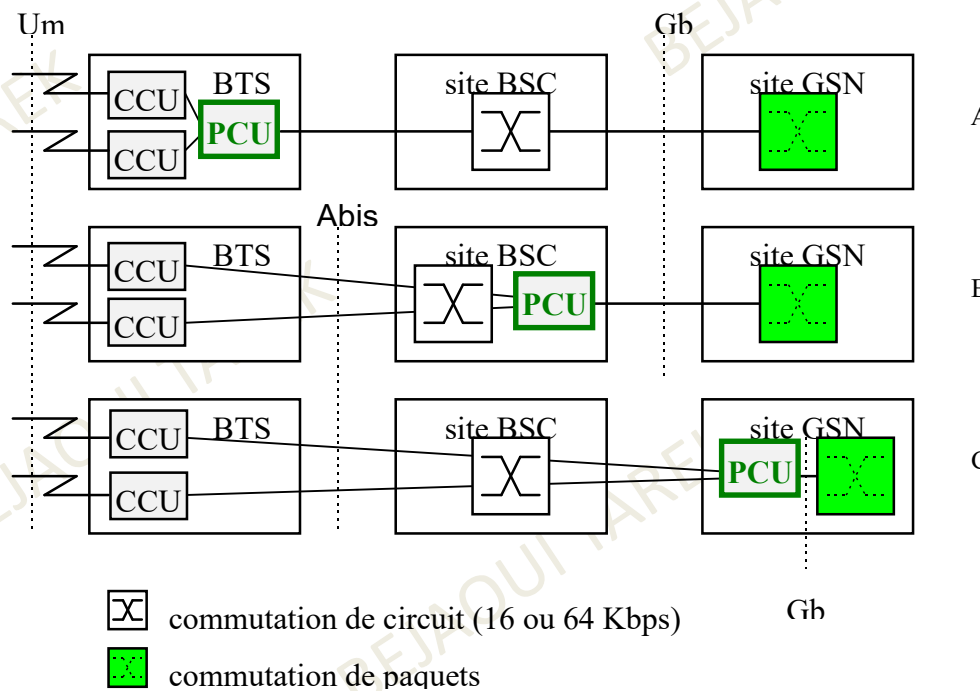
- **PCU** (Packet Controller Unit)
 - LLC to RLC segmentation/combination
 - Channel access handling
 - Data channel allocation UL & DL
 - ARQ (Automatic Repeat reQuest) handling and retransmission handling
 - Radio channel management (power control, broadcast info, congestion control)
- **CCU** (Channel Control Unit) - in BTS
 - Channel coding, Forward Error Correction (FEC), interleaving (entrelacement)
 - Radio measurement (Rx quality, power level, timing advance)



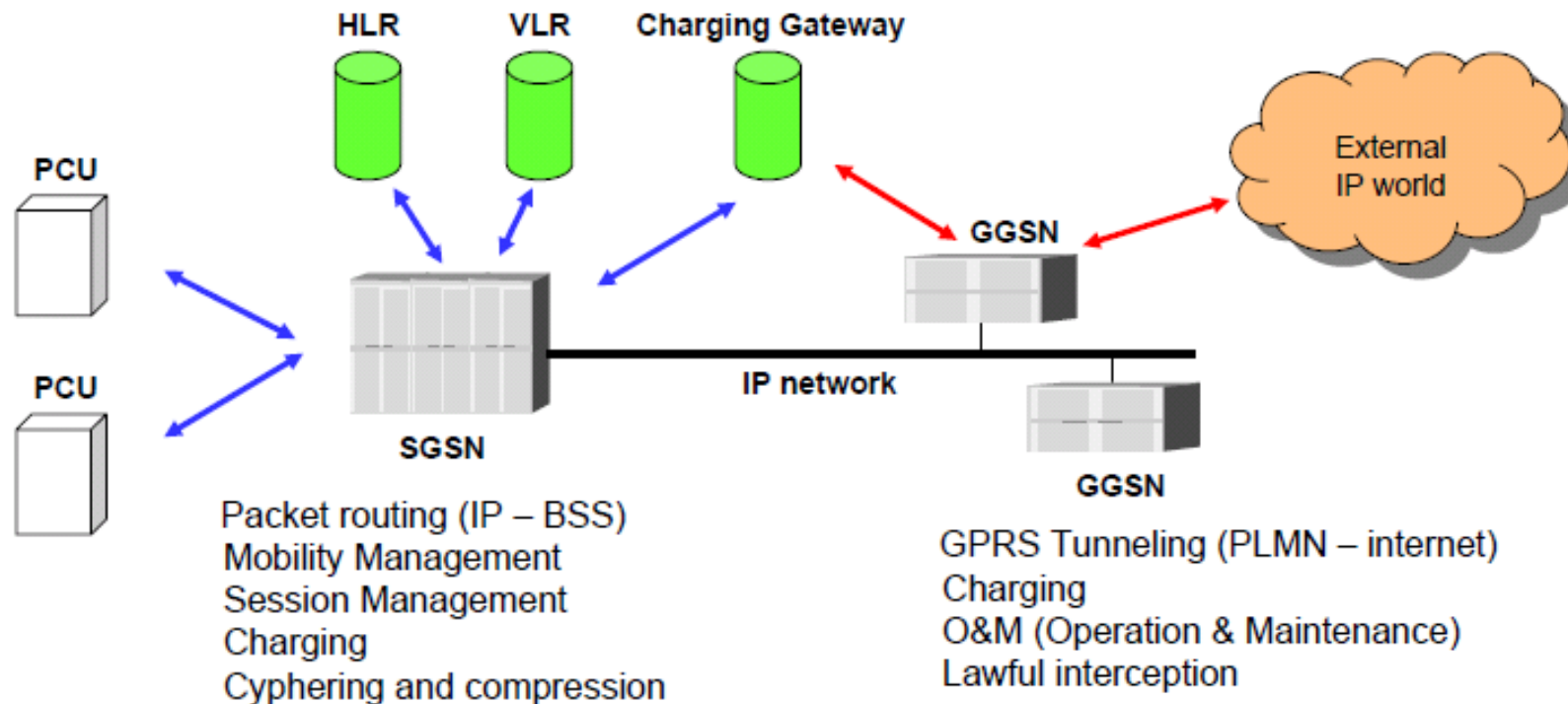
Le PCU au sein du BSS

- **PCU = Packet Controler Unit**

- Cas B : 1 PCU par BSC = solution Nokia et Motorola
- Cas C : 1 PCU par SGSN = solution Alcatel



Nouveaux équipements du réseau coeur



Autres équipements :

Passerelles de bord, Passerelle de charge, DNS, Firewalls



SGSN (Serving GPRS Support Node)

- SGSN : Un routeur IP gérant les terminaux pour une zone,
- assure la fonctionnalité du service dans le centre de commutation (MSC), qui permet de gérer les services offerts à l'utilisateur.
- Représente l'interface logique entre l'abonné GSM et un réseau de données externe.

Missions principales :

- La gestion des abonnés mobiles actifs (mise à jour permanente des références d'un abonné et des services utilisés) et le relais des paquets de données.
- Quand un paquet de données arrive d'un réseau PDN (Packet Data Network) externe au réseau GSM, le GGSN reçoit ce paquet et le transfère au SGSN qui le retransmet vers la station mobile.
- Le SGSN transmet les paquets sortants vers le GGSN.
- Il est responsable de la gestion des handovers entre BSCs, allouant la QoS et gère les ressources radio.



GGSN (Gateway GPRS Support Node)

- GGSN : un Routeur IP qui fait l'interface avec les autres réseaux.
- Assure la fonctionnalité d'interconnexion dans le centre de commutation (MSC), qui permet de communiquer avec les autres réseaux de données par paquets extérieurs au réseau GSM.
- Masque au réseau de données les spécificités du GPRS. Il gère la taxation des abonnés du service de données et doit supporter le protocole utilisé sur le réseau de données avec lequel il est interconnecté.
- Les protocoles de données supportés en standard par un GGSN sont IPv4, IPv6.



SGSN & GGSN

- Ces nouveaux équipements intègrent des fonctions de routeur IP et constituent un réseau backbone de type réseau IP privé.
- Cette épine dorsale en IP peut être déployée de manière indépendante du réseau fixe NSS constitué par les commutateurs MSC existants.
- La gestion des abonnés GPRS pourra utiliser les HLR GSM existants. Les HLR sont visibles de tous les SGSN du réseau GPRS.
- Le "NSS GPRS" appelé souvent "GSS", offre ainsi une interconnexion vers les réseaux fixes à commutation de paquets (IP ou X.25), via des passerelles GGSN.

Supporting Nodes – Les principales fonctions



- **2G/3G (serving node)**
 - Authentification/Autorisation
 - Contrôle d'admission
 - Encapsulation/tunneling
 - Gestion de la mobilité
 - Chiffrement
 - Compression
- **GGSN (gateway node)**
 - Screening
 - Taxation
 - Encapsulation/tunneling
 - Gestion de la mobilité
 - Connexions à des réseaux IP externes
 - Réseaux coopératifs
 - Internet
 - Services (WAP etc)



L'interface radio GPRS

- S'appuie sur celle du GSM
- Mêmes bandes de fréquences, même modulation, mêmes canaux physiques
- La structure multitrame est légèrement différente
- Introduction de canaux logiques avec plus de souplesse dans le codage protecteur d'erreur
- Introduit une couche MAC pour partager dynamiquement les ressources radio entre plusieurs utilisateurs
- Introduit une couche RLC pour la fiabilisation du lien radio



La couche physique

- GPRS utilise un accès radio en FD-TDMA
- Un canal occupe une bande de 200 KHz
- La trame TDMA dure 4.615 ms, constituée de 8 TS de 577 μ s
- Modulation GMSK offrant un débit brut de 271 kbps
- Les canaux physiques GPRS portent le nom de PDCH (Packet Data Channel)
- Un utilisateur GPRS peut lui être alloué plusieurs slots d'une même trame



Le canal Physique (1)

- Il est constitué par la répétition périodique d'un slot dans une trame TDMA et chaque slot accueille un élément de signal radioélectrique appelé burst.
- **Structure Multitrame/Supertrame/Hypertrame: afin de repérer physiquement les canaux logiques dans les slots et les trames**
 - ex: - le canal logique SCH occupe toujours les Slots 0,10,20,30,40,50 d'une multitrame à 51.**
 - **Multitrame26 supporte le TCH avec leur SACCH et FACCH**
 - **Multitrame51 supporte les canaux SDCCH et les canaux communs**
- Un ensemble de slots dans une multitrame va donc permettre de transporter, avec une périodicité bien définie, un certain type d'information de contrôle ou de signalisation.
- Cet ensemble de slots forme un « canal logique »

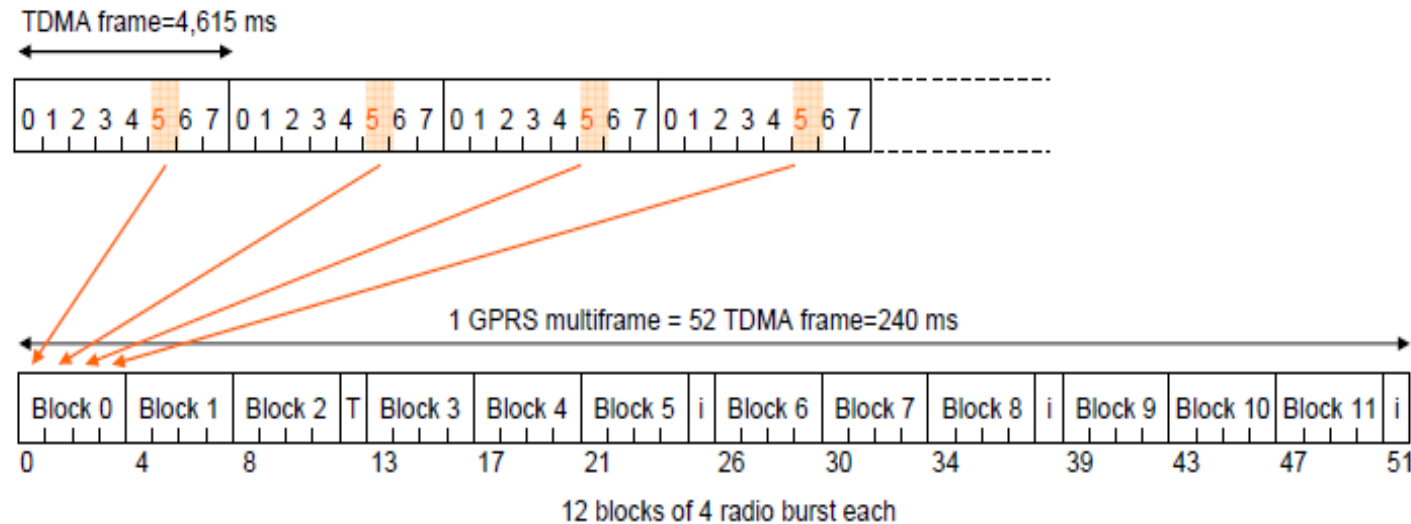


Le canal Physique (2)

- La multitrame de base du GPRS est définie par l'occurrence d'un même canal physique dans 52 trames successives
- La multitrame est organisée comme suit:
 - en 12 blocs de 4 slots et permet donc la transmission de 12 PDU physiques. $12 \times 4 = 48$ TS radio pour le transport des données + signalisation
 - 2 TS pour transmettre les informations d'avance en temps (slots PTCCH)
 - 2 TS idle permettent au mobiles de scruter les voies balises des cellules voisines



Le canal Physique (3)



- Les 48 TS radio sont divisés en 12 blocs radio
- Chaque bloc contient 4 TS, qui sont pris dans 4 trames successives
- Contrairement au GSM, l'unité élémentaire allouée en GPRS est un bloc, soit 4 slots GSM
- Cette unité correspond à la taille des blocs RLC-MAC
- Un bloc RLC-MAC se transmet donc exactement dans un bloc de la multitrane GPRS, soit 4 PDCH sur 4 trames successives.



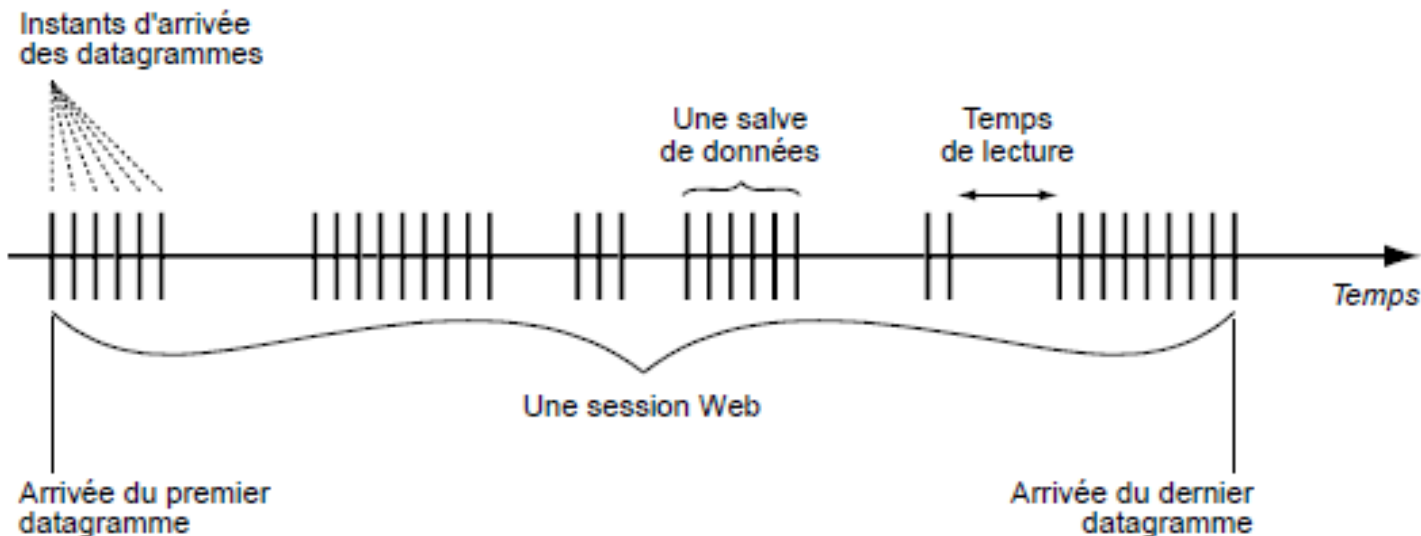
Le canal Physique (4)

- Un bloc radio peut transporter un bloc RLC-MAC *de données ou de signalisation*, indépendamment du bloc RLC-MAC transporté par le bloc précédent.
- Les messages RLC-MAC de contrôle de l'avance en temps, ou PTCCH sont transmis **dans 4 slots répartis sur 2 multitrames** (slots des trames 12 et 38)
- Un slot fait une taille de 156.25 bits dont 114 sont des données, un bloc contient donc $114 * 4 = 456$ bits de données.



La couche MAC (1)

- Elle est à l'origine du partage dynamique des canaux physiques entre les utilisateurs en fonction de leur trafic pouvant être sporadique



- Le GPRS associe à chaque salve de données un TBF (Temporary block Flow)



La couche MAC (2)

- Chaque flux de données est appelé TBF (Temporary Block Flow). Un TBF représente un flux de données unidirectionnel entre un MS et le réseau
- Un flux (TBF) existe tant que l'émetteur a en mémoire des données à transmettre même si, par manque de ressource, il n'y a pas de transmission en cours.
- Transmission MS → BS : TBF Uplink
- Transmission BS → MS : TBF Downlink



La couche MAC (3)

- Un TBF est refermé lorsque l'émetteur n'a plus de données en mémoire à transmettre, mais entre 2 salves le TBF est maintenu ouvert
- Une transmission de données se fait en 3 temps
 1. Etablissement d'un TBF
 2. Transfert de données
 3. Fermeture du TBF



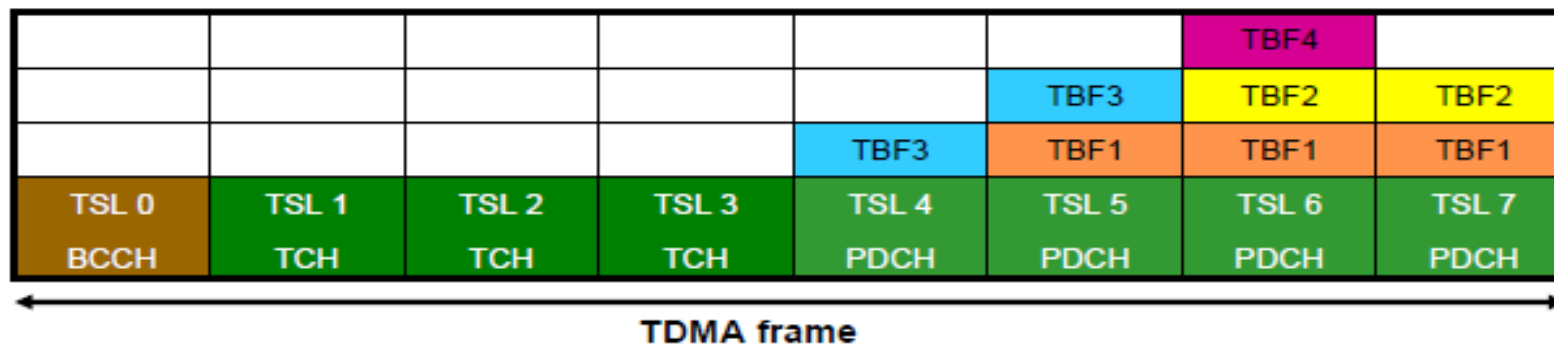
La couche MAC (4)

- Pour identifier les TBF, le réseau peut leur associer des TFI (Temporary Flow Identity)
- TFI (uplink ou downlink) est codé sur 5 bits (32 TBF max par PDCH)
- Lorsque 2 flux différents se partagent la même ressource, ils doivent avoir un TFI propre pour les différencier.
- Possibilité d'avoir une même valeur de TFI pour identifier 2 TBF (montant et descendant)
- Un flux (TBF) est identifié par le PCU de façon unique sur une cellule par son TFI et le ou les canaux physiques alloués pour transporter ce flux (PDCH)
- L'allocation d'un flux se fait en adressant le mobile à l'aide du Temporary Link Layer Identity (TLLI) qui lui fournit une identité temporaire.



La couche MAC (5)

- 1 TBF = 1 user (with a given TFI, TLLI, USF)
- 1 TBF can be transferred onto several radio timeslots



- USF (Uplink Status Flag) : c'est la clé de l'allocation dynamique des ressources dans GPRS → permettent de partager un même canal physique montant entre plusieurs utilisateurs (7 max -USF est sur 3 bits – une valeur réservée au PRACH) → 8 différents TBF dynamiques sur un PDCH



La couche MAC (6)

- Chaque bloc RLC-MAC descendant contient un USF désignant l'utilisateur autorisé à transmettre dans le prochain bloc radio montant associé
- Lors de l'ouverture d'un TBF montant, le réseau alloue au mobile une liste de PDCH, ainsi qu'un numéro USF
- Le mobile scrute les PDCH associés descendants qui contiennent les USF et attend sa valeur
- Lorsque l'USF pointe sur sa valeur, le mobile sait que le prochain PDCH montant associé lui est dédié
 - optimisation de l'utilisation de la ressource radio
 - une grande flexibilité offerte à l'opérateur qui peut tenir compte des différents niveaux de priorité



La couche MAC (7)

- Pour identifier le destinataire des blocs transmis, **l'entête RLC-MAC de chaque bloc contient le TFI du destinataire** → information indispensable sur la voie descendante puisque tous les mobiles cherchent les paquets qui leur seraient destinés sur tous les PDCH qui leur ont été assignés
 - Sur la voie montante, le TFI est redondant puisque l'allocation des PDCH est connue par le réseau et que c'est lui qui décide de l'allocation
- Avant d'être émis, les blocs RLC-MAC sont protégés par codage contre les erreurs de transmission (Schémas de codage CS-1 à CS-4).

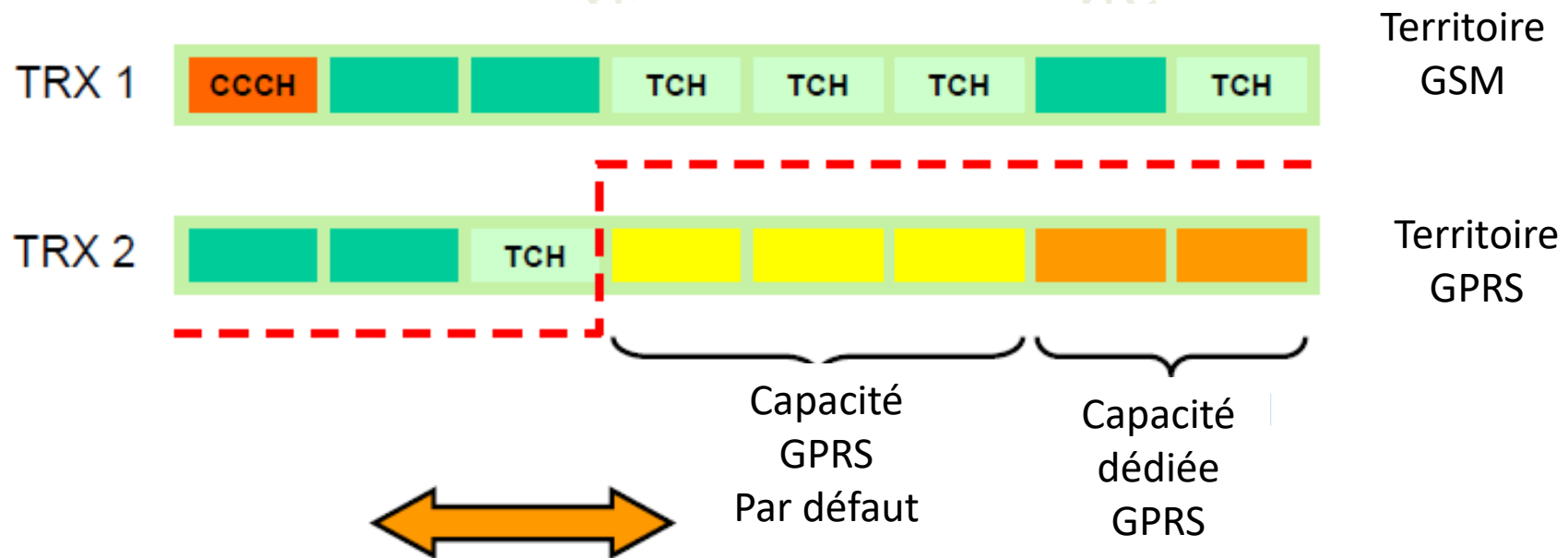


La couche MAC (8)

- Vu du SGSN, le mobile est identifié par son Temporary Link Layer Identity (TLLI)
- GGSN n'a pas connaissance du TLLI qui est local au SGSN.
- Pour se référer à un contexte PDP, le GGSN utilise le couple (International Mobile Subscriber Identity - IMSI/NSAPI – Network Service Access Point Identity)
 - IMSI → identité Int. de la carte SIM du mobile
 - NSAPI → point d'accès au service réseau utilisé
- (IMSI/NSAPI)=TID ou Tunnel Identifier
- Le SGSN fait la correspondance entre le TLLI et le IMSI et identifie sans ambiguïté le contexte PDP.



Notion de territoire GPRS



Limite du territoire change en fonction de l'évolution du trafic GSM et GPRS



Les canaux logiques (1)

- Parmi les 12 blocs de la multitrame, chacun peut supporter un canal logique GPRS différent du suivant ou du précédent.
- Les canaux logiques permettent de séparer les différents types d'information transmise : signalisation, données, synchronisation, message de diffusion, etc
- Sensiblement identiques à ceux du GSM
- Pour passer du canal logique GSM au canal logique équivalent GPRS il suffit d'ajouter un «P » à l'acronyme



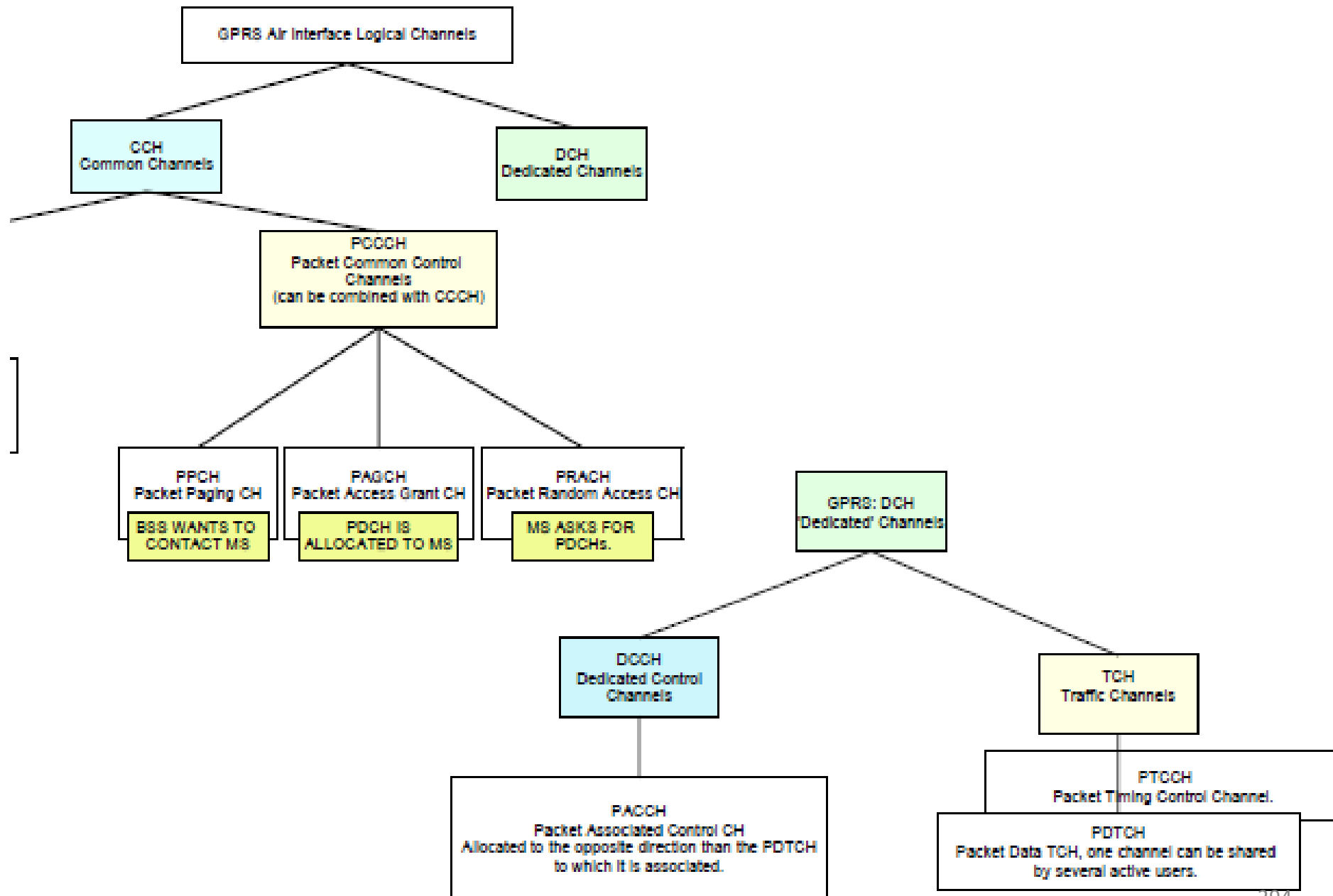
Les canaux logiques (2)

Catégorie	Nom	GSM	Sens	Rôle
Trafic	PDTCH (Packet Data Traffic CHannel)	TCH	Bidirectionnel	Transmission de données
Diffusion (commun)	PBCCH (Packet Broadcast Control CHannel)	BCCH	Descendant	Diffusion d'information système propre à la cellule
Contrôle (commun)	PRACH (Packet Random Access CHannel)	RACH	Montant	Accès initial du mobile
	PAGCH (Packet Access Grant CHannel)	AGCH	Descendant	Réponse du réseau à l'accès initial
	PPCH (Packet Paging CHannel)	PCH	Descendant	Appel du mobile
	PNCH (Packet Notification CHannel)		Descendant	Appel du mobile pour les communications de groupe
Contrôle (dédié)	PACCH (Packet Associated Control CHannel)	~FACCH	Bidirectionnel	Contrôle associé à un PDTCH
	PTCCH (Packet Timing Advance Control CHannel)	~SACCH	Bidirectionnel	Contrôle du Timing Advance



Les canaux logiques (3)

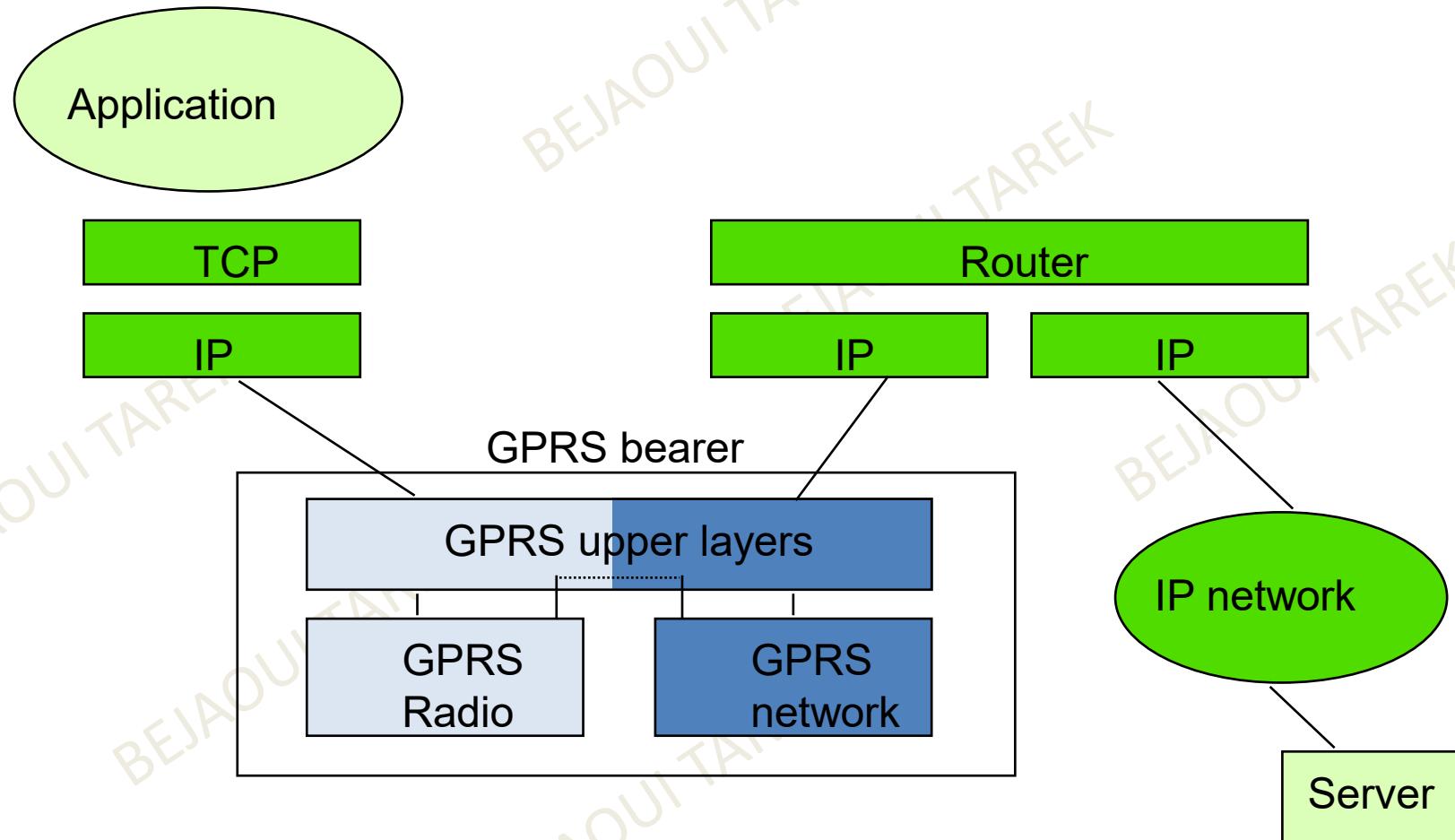
- GSM et GPRS se partagent la même interface physique
→ les canaux logiques GSM permettant les synchronisations fréquentielle et temporelle ne sont pas dupliqués en GPRS
- De même pour les canaux de Broadcast et les canaux de contrôle commun → PBCCH (regroupe à la fois les informations concernant le GSM et celles dédiées au GPRS), PRACH-RACH, PAGCH-AGCH, PPCH-PCH
- Apparition d'un canal logique spécifique du GPRS, le « PNCH » permettant la communication point à multipoint





GPRS - Les couches protocolaires

Le réseau GPRS : vision simplifiée (GPRS bearer)



Monde des services
 GPRS - BSS

Univers TCP/IP et internet
 GPRS - GSS



Adressage statique ou dynamique (?)

- Même problématique que la gestion des adresses IP dans un intranet.
- Adressage dynamique
 - Une adresse provisoire, interne au réseau, est donnée à chaque abonné et renouvelée à chaque PDP.
 - En cas de mobilité sur le réseau Internet, le GGSN attribue une adresse IP provisoire au MS.
 - Il permet de limiter le nombre d'adresses IP dédiées aux abonnés GPRS.
- Adressage statique : l'adresse GPRS est la même que celle du réseau Internet
 - Inconvénient : si le MS ne va pas surfer sur Internet, des ressources rares sont gaspillées.
En effet, tant que les réseaux IP fonctionnent avec IPv4, les adresses IP sont rares et doivent être distribuées de façon optimale.



Adressage statique ou dynamique (?)

- Il existe deux modes d'allocation des adresses PDP. Le premier, statique, consiste à associer de façon permanente une ou plusieurs adresses PDP au mobile. Ces adresses peuvent être stockées dans la carte SIM du mobile avec les autres informations relatives à l'abonnement souscrit par l'utilisateur. Le deuxième mode d'allocation d'adresse est dynamique : le réseau mobile alloue des adresses PDP à chaque demande d'activation de contexte PDP.

- Dans le cadre de l'accès à Internet, l'attribution d'une adresse IP au mobile peut se faire directement par le fournisseur d'accès, c'est-à-dire à l'extérieur du réseau de l'opérateur mobile.

Cette dernière possibilité permet à l'opérateur d'économiser ses adresses IP, en nombre limité dans IPv4. Dans IPv6, il est vraisemblable que chaque terminal mobile sera doté de sa propre adresse permanente.



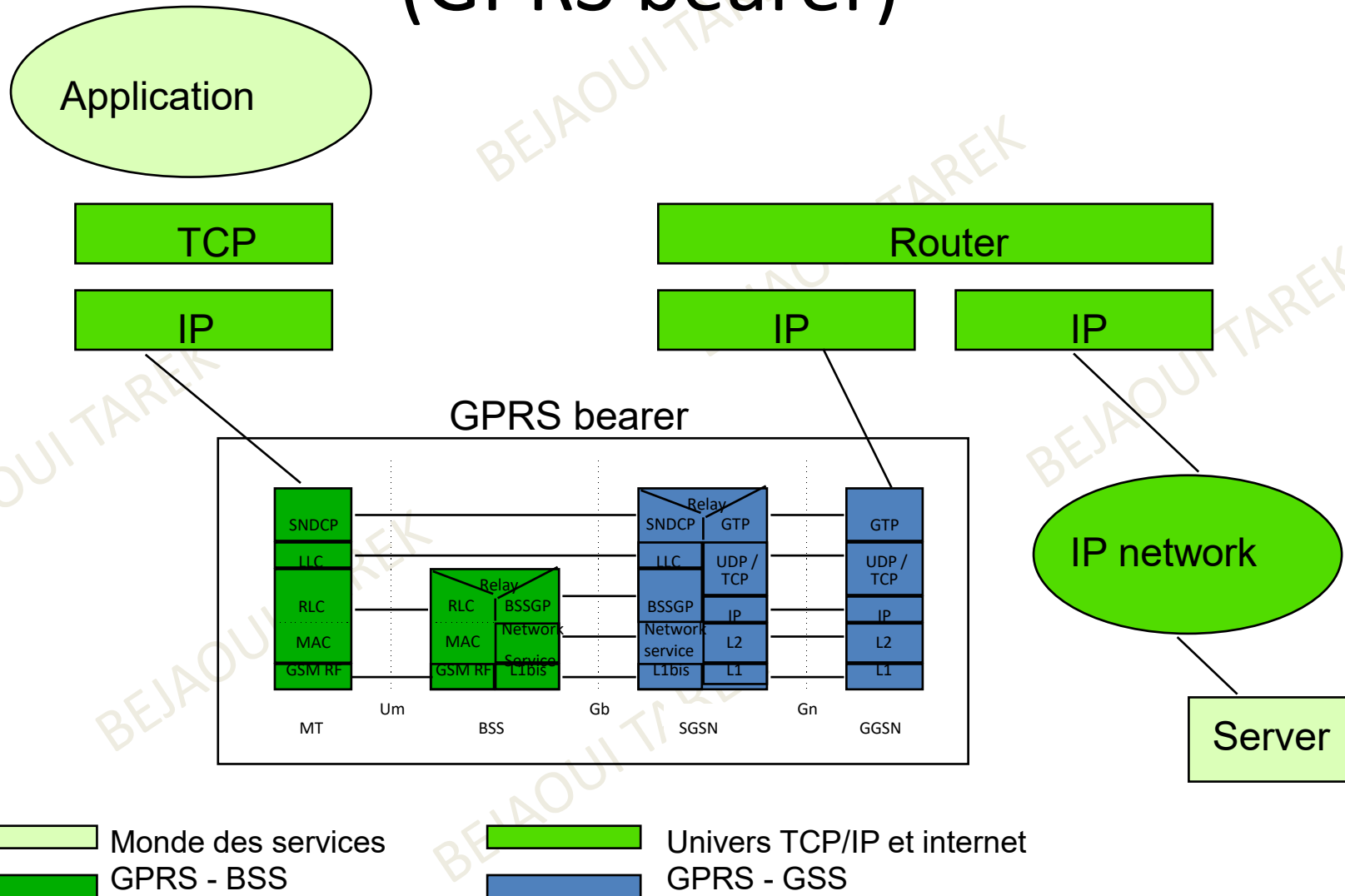
Gestion de session :

Notion du contexte PDP

- Contexte **P**acket **D**ata **P**rotocol :
Ensemble d'informations stockées au niveau du mobile, du SGSN et du GGSN pour permettre l'échange de données avec un réseau PDP.

Main Field	Description
type of PDP network	IP, X25
Mobile address	IP address or X.121 address for X25 network
SGSN address	IP address of the serving SGSN
NSAPI	Network Service Access Point
QoS Profile	Quality of service negotiated for this PDP context
Access Point Name	APN (service) requested by the mobile (ie WAP, internet...)

Le réseau GPRS : vision simplifiée (GPRS bearer)

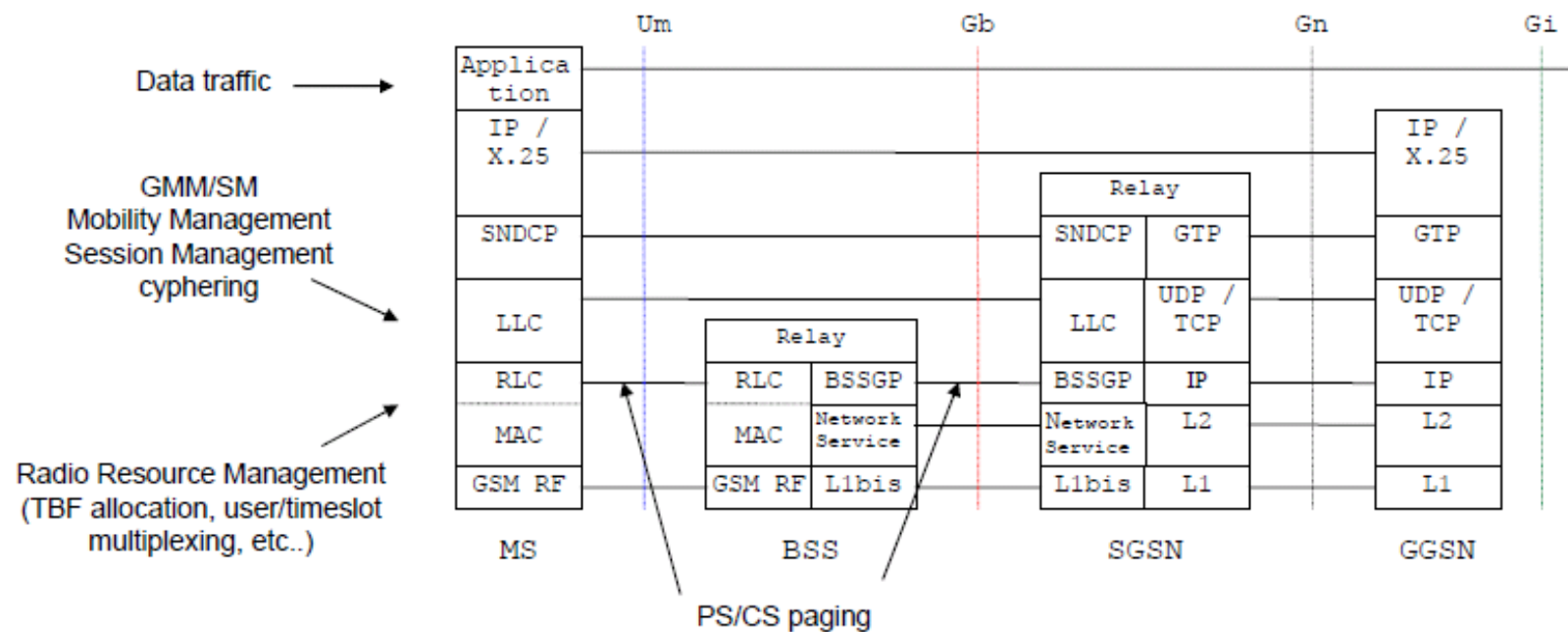




Les protocoles : le tunneling

•Principe :

- entre TE et le réseau de données, application reposant sur les protocoles IP
- au sein du réseau GPRS, un ensemble de protocoles GPRS



Les couches protocolaires : leur rôle

(1/2)



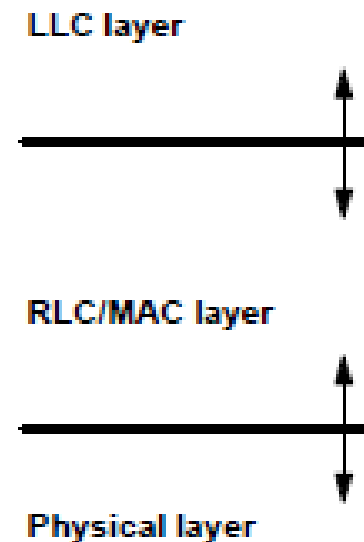
- **SNDCP - Subnetwork Dependent Convergence Protocol**
 - transmission des données Ack/Nack
 - transmission de paquets de taille variable (segmentation, assemblage)
 - protocole de multiplexage des données utilisateur
 - compression des entêtes et des données
- **LLC - Logical Link Control**
 - transfert de "data user" (PTP, PTM, Ack, Nack), signalisation, SMS
 - cryptage
 - détection de trames perdues et erronées
 - controle de flux des transmissions données
- **GSM RF, RLC et MAC** : voir partie "Interface Um"
- **BSSGP - BSS GPRS protocol**
 - Informations de routage (cell identity, MS identification,...) et de QoS
 - Pas de correction d'erreur
- **Network service** : Frame Relay network (dans un premier temps)

Gestion des ressources radio :

Couche RLC/MAC



- RLC/MAC est la couche la plus importante pour la communication entre le MS et le BSC :
 - RLC/MAC contrôle le flux de données sur l'interface air et l'interface Abis
 - Les performances du BSS sont basées sur les blocs RLC de transmission et de retransmission
 - * RLC : fourni des fonctions de contrôle (mode ack/unack)
 - * MAC : mode d'accès au médium → permet d'avoir une allocation dynamique des times slots au mobile



Les couches protocolaires : leur rôle



(2/2)

- **GTP - GPRS Tunelling Protocol**

- Protocole de niveau 5 - session - : contrôle de flux, échange de données utilisateur et signalisation

- **UDP - Associé à IP** pour les liaisons peu fiables et

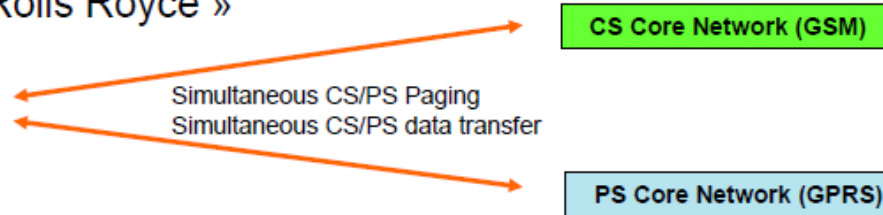
- TCP - Associé au FR/MPLS...** pour les liaisons fiables

- détection des trames corrompues et répétition
 - protection contre les pertes de trames
 - contrôle de flux

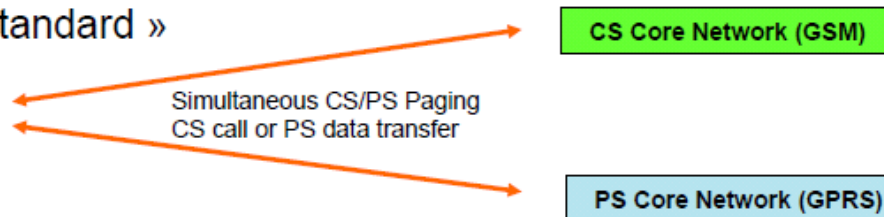


Equipement mobile

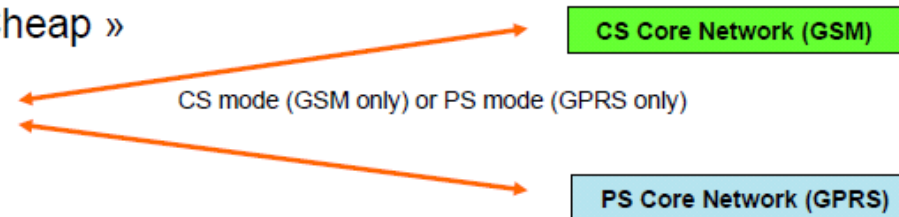
➤ CLASS A: « Rolls Royce »



➤ CLASS B: « Standard »



➤ CLASS C: « Cheap »



Classe A : Utilisation simultanée des services GPRS et GSM.

Classe B : Utilisation alternée des services GPRS et GSM.

Classe C : Services GPRS uniquement. Possibilité de réception de services GSM.



GPRS – Gestion des états



Classes de mobiles GPRS

La couche MM (Mobility Management) définit trois états pour un abonné GPRS :

- IDLE : Utilisateur non attaché au GPRS.
- READY : Utilisateur prêt à recevoir ou envoyer des données.
- STANBY : Utilisateur attaché au GPRS.



Les états du GPRS

- **3 états :**

- **Idle**

- Le MS n'est pas attaché à la couche GPRS MM
 - Les opérations de PLM selection et GPRS cell selection sont effectuées par le MS
 - Le MS peut recevoir des appels PTM-M
 - Le MS ne peut émettre ou recevoir des appels PTP ou PTM-G
 - Si le MS le souhaite, il peut initier une procédure ATTACH

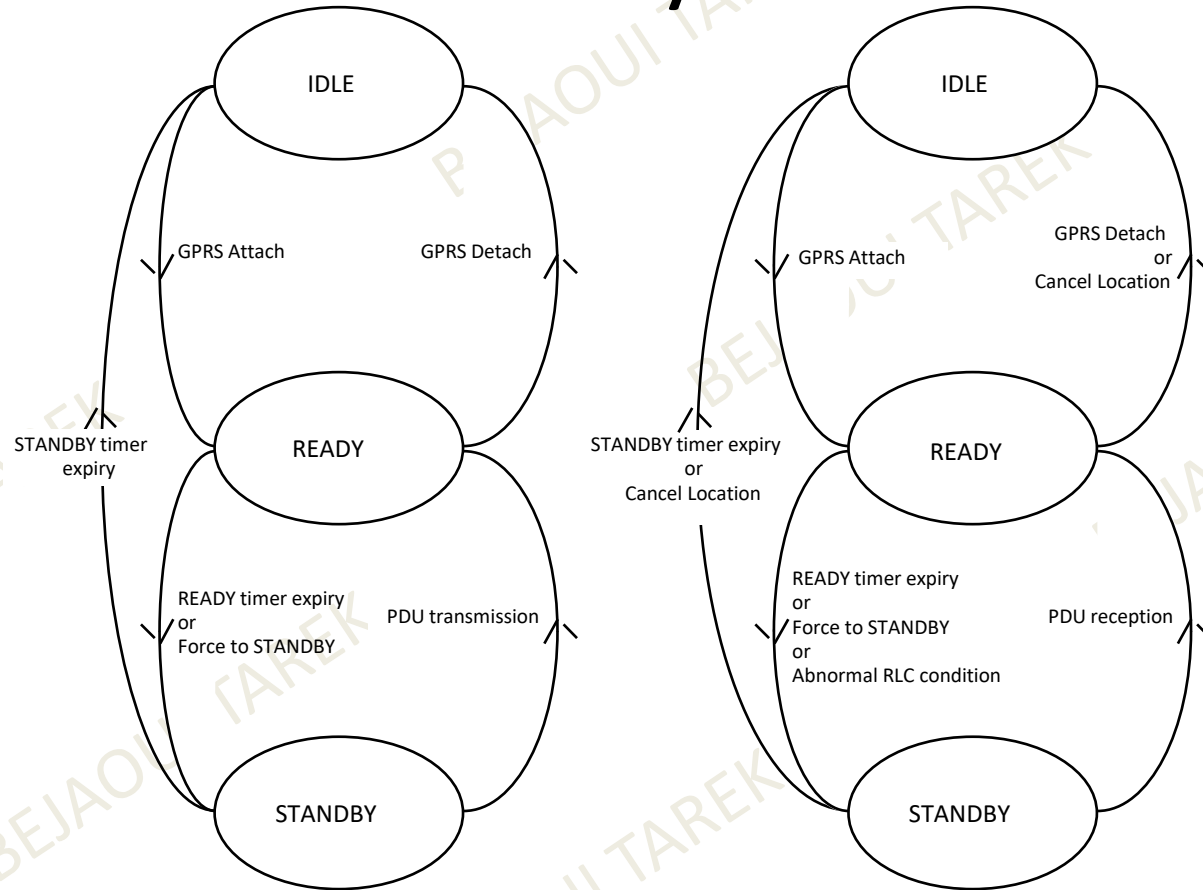
- **Stand-by**

- Le MS est attaché à la couche GPRS MM
 - Le contexte de mobilité est établi dans le MS et le SGSN
 - Le MS peut recevoir des appels PTM-G ou M, et des paging PTP et CS via le SGSN.
 - Le MS ne peut émettre ou recevoir d'appel PTP ou PTM-G
 - Le MS fait le GPRS RA, cell selection, cell reselection et le signale au SGSN

- **Ready talk**

- Toutes les fonctions sont accessibles au MS (handover pendant communication, localisation à la cellule, tout type de PDP,...)
 - Limité par timer

Les états au sein du GPRS – MS non anonyme

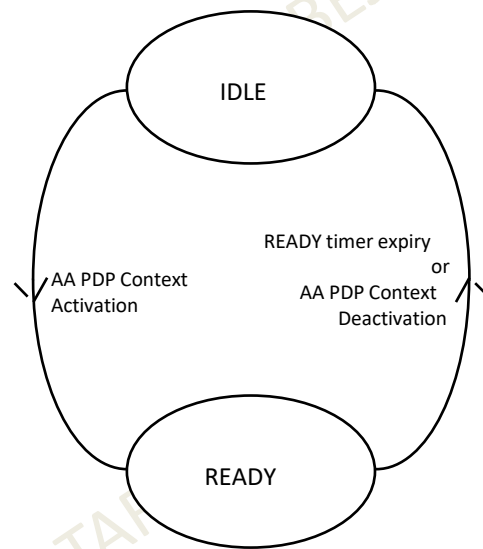


MM State Model of MS

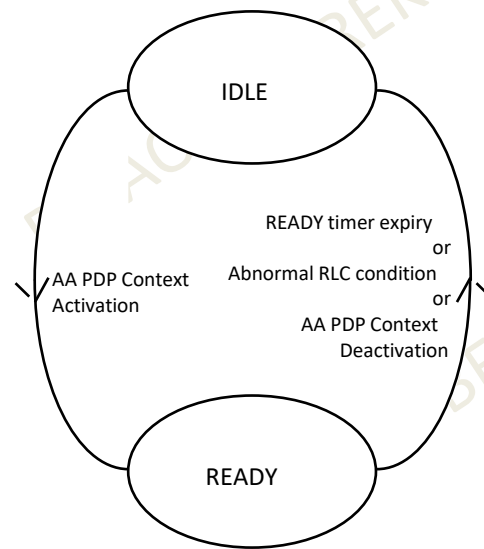
MM State Model of SGSN

Functional Mobility Management State Model

Les états au sein du GPRS – MS anonyme



AA MM State Model of MS



AA MM State Model of SGSN

Functional Anonymous Access Mobility Management State Model



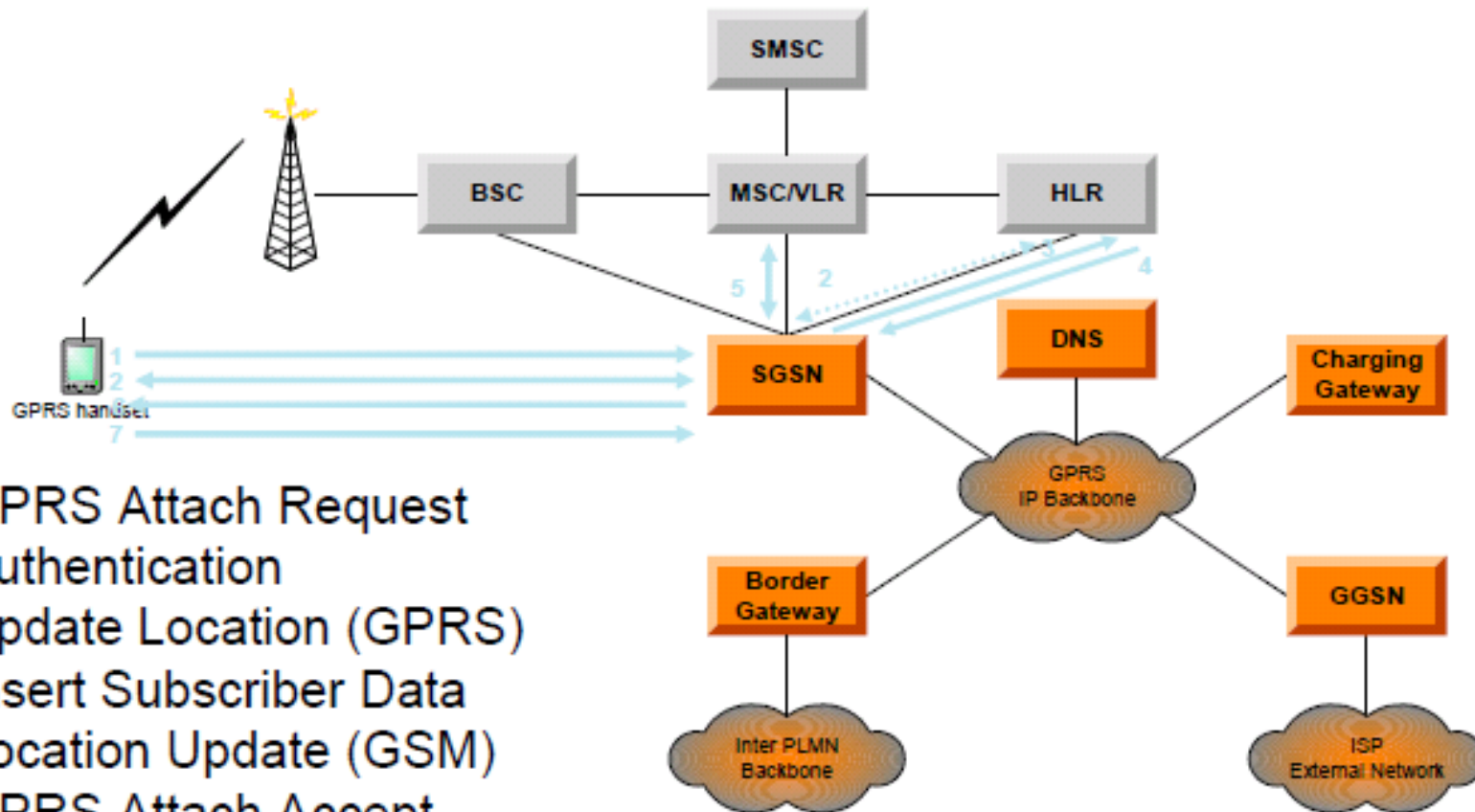
Gestion de la mobilité: Identité temporaire

- Notion de P-TMSI (Packet Temporary Mobile Subscriber Identifier)
 - Identificateur temporaire pour distinguer un mobile dans un SGSN
 - P-TMSI+signature transféré à chaque mise à jour de localisation
- Notion de TLLI (**Temporary Logical Link Identifier**)
 - Utilisé entre un MS et le SGSN avant connexion (attachment)
 - Sélectionné aléatoirement par un mobile lors d'une requête UL (risque de collision)
 - Après connexion (attach) : TLLI=P-TMSI
 - Utilisé pour identifier un MS sur l'interface air

l'IMSI n'est jamais transféré



Gestion de la mobilité: Connexion GPRS ou « GPRS Attach »





Sécurité et authentification (1)

• Sécurité

- Les données utilisateur sont cryptées entre le MS et le SGSN, vu la nature du trafic. L'algorithme est nouveau (A5). Il peut crypter des blocs LLC de taille variable (jusqu'à 1523 octets).

Pour crypter ou décrypter, il faut :

- la clé Kc (64 bits)
 - la direction (1 bit : UL ou DL)
 - Les données inputs (par bloc de 32 bits)
- Des firewalls sont intégrés dans le réseau GSS afin de se prémunir d'attaques extérieures.

• Procédure d'authentification

- Même procédure que celle du GSM phase 2 :
 - Le HLR génère des triplets
 - Le SGSN conduit la procédure d'authentification
- Algo. A3 pour le calcul de SRES à partir de RAND
- Algo. A8 pour le calcul de Kc à partir de RAND



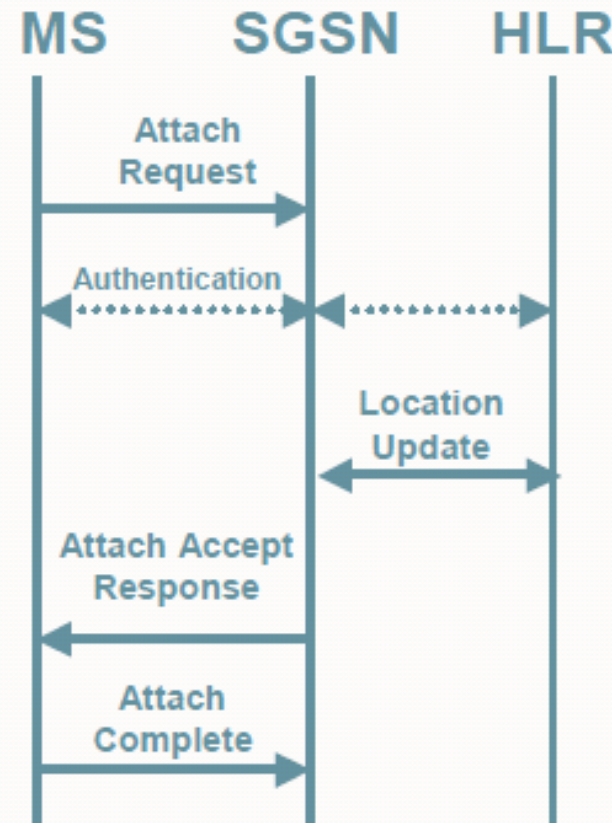
Sécurité et authentification (2)

- A3 : Algorithme mis en œuvre dans la procédure d'authentification (il permet de calculer SRES à partir de K_i et du RAND).
- A38 : Algorithme réunissant les algorithmes A3 et A8.
- A5 : Algorithme de chiffrement/déchiffrement de l'ensemble des informations transmises sur la voie radio (signalisation, voie ou données) utilisant la clé K_c et le numéro de trame courante. Plusieurs algorithmes A5 sont prévus (A5.1, A5.2, A5.3, ...).
- A8 : Algorithme utilisé pour calculer la clé de chiffrement K_c à partir des arguments d'entrée RAND et K_i .

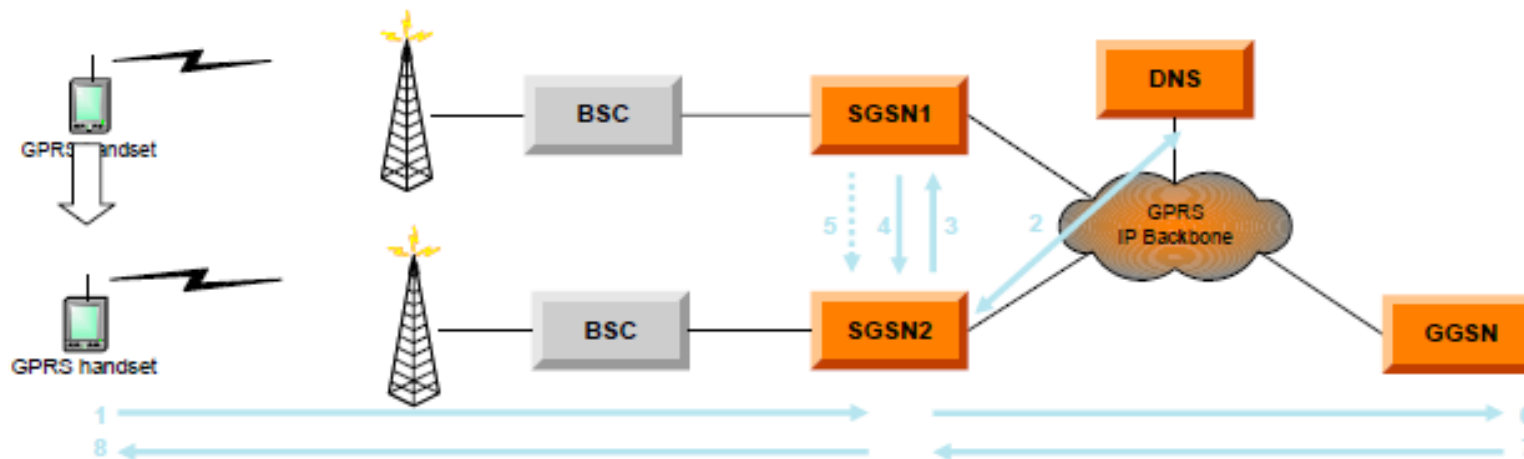


Localisation et routage

- Le GPRS définit le concept de Routing Area (RA) qui est en fait une subdivision des zones de localisation GSM.
- Une zone RA est desservie par un seul SGSN.
- Routing Area Identity :
 $RAI = MCC + MNC + LAC + RAC$



Gestion de la mobilité: Mise à jour de l'aire de routage

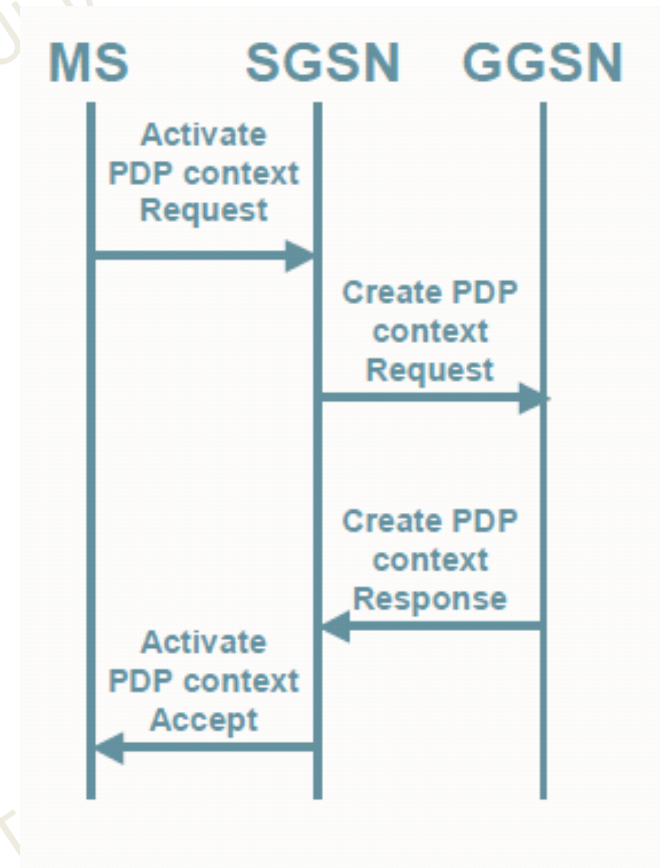


1. RA Update Request (old RAI)
2. DNS Query: IP @ for old RAI
3. SGSN Context Request
4. SGSN Context Response
5. Forward Packets
6. Update PDP Context Request: IP @ of new RAI
7. Update PDP Context Response
8. RA Update Accept



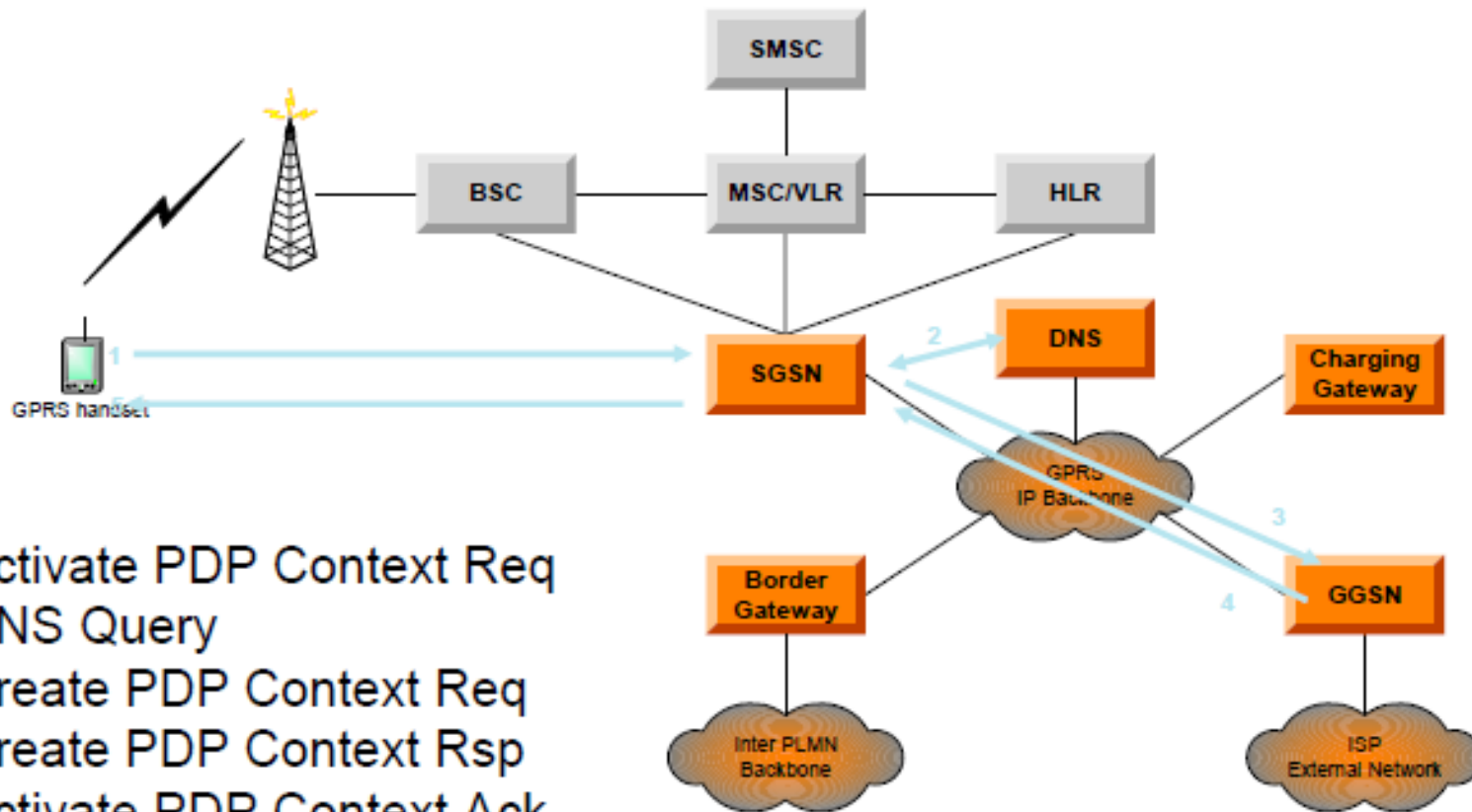
Adresses GPRS

- Un abonnement GPRS contient une ou plusieurs adresse PDP (Packet Data Protocol).
 - Adresse IPv4 ou IPv6.
 - Adresse X.121.
- Chaque adresse est décrite par un contexte PDP qui peut être actif ou inactif.



Gestion de session :

Activation du contexte PDP



1. Activate PDP Context Req
2. DNS Query
3. Create PDP Context Req
4. Create PDP Context Rsp
5. Activate PDP Context Ack



Le contrôle de puissance

• **Objectifs** : améliorer l'efficacité spectrale et réduire la consommation d'énergie du MS N'est pas applicable dans le cas des "point to multipoint multicast services".

- **DownLink** : le "power control" est piloté par la BTS, suite à la transmission d'infos du MS (Channel Quality Report to the BTS avec interference signal level pendant les trames idle)
- **UpLink** : le MS applique un algorithme flexible, qui peut être optimisé par le réseau par la transmission de paramètres.

• **Output power**

- **MS** : calculé sur chaque PDCH UpLink individuellement.

Paramètres pour le calcul : Rx signal level, infos. cell (P_{max} , α_n , Γ_{ch} , Γ_0)

Note : le MS est à P_{max} sur les PRACH ou RACH.

- **BTS** :
- Emet à puissance constante sur les "PDCH radio blocks" qui contiennent les PBCCH ou peuvent contenir les PPCH
 - Sur les autres "PDCH radio blocks", le DL Power Control peut être utilisé.



Applications

Le GPRS ouvre un nouveau champ d'applications:

- Accès radio aux réseaux IP (*internet et intranet*)
- Recherches dans des bases de données (*restaurants, stations service, bourse...*)
- Télématicque, télésurveillance (*ascenceurs, distributeurs*)
- Diffusion d'informations (*publicité, guidage cartographique...*)
- Messagerie électronique



Prix - facturation

- Pour la première fois, « *le client ne paye pas pour le temps pendant lequel il a occupé la ligne, mais pour la quantité de données ayant réellement été acheminées par la ligne* ».
=>mode de paiement au koctet ou forfait mensuel fixe



La QoS



La qualité de service : QoS

- **L'opérateur peut définir des classes de qualité de service, spécifiques pour chaque utilisateur ou négociées au début de chaque appel (éventuellement en cours de communication).**
 - **Principaux paramètres :**
 - Precedence class (définit une priorité à maintenir le service dans des conditions extrêmes de fonctionnements - ex : congestion)
 - Reliability (probabilité de perte SDU variant de 10^{-2} à 10^{-9})
 - Delay (délai de transit moyen entre 0.5 s et 75 s)
 - Mean throughput (débit moyen mesuré aux points de référence R et Gi, de "Best Effort" à 111 kb/s)
 - Peak throughput (débit maximum de transfert des données à travers le réseau pour un contexte PDP - de 8 kb/s à 2048 kb/s)
- Un nombre de combinaisons importantes (> 50) ; l'opérateur doit définir des profils adaptés à ses abonnés afin de limiter les combinaisons**



Négociation de la QoS

- MS :
 - Vérifie que le MS n'utilise pas plus de ressources que ce qui a été négocié (paquets en plus : retardés)
- SGSN :
 - Distribue les ressources au plus juste pour tous les mobiles
 - Contrôle de flux avec la couche LLC
 - Up/down grade la QoS autorisée au MS suivant le trafic
- GGSN :
 - Le GGSN peut limiter le débit avec le MS en fonction de la QoS
- Backbone :
 - QoS- OD : Quality of Service en over-dimensionning (Qualité de service en sur-dimensionnement)!



QoS - Precedence Class

Precedence Classes

Precedence	Precedence Name	Interpretation
1	High priority	Service commitments shall be maintained ahead of precedence classes 2 and 3.
2	Normal priority	Service commitments shall be maintained ahead of precedence class 3.
3	Low priority	Service commitments shall be maintained after precedence classes 1 and 2.



QoS - Reliability

Reliability Classes

Reliability Class	GTP Mode	LLC Frame Mode	LLC Data Protection	RLC Block Mode	Traffic Type
1	Acknowledged	Acknowledged	Protected	Acknowledged	Non real-time traffic, error-sensitive application that cannot cope with data loss.
2	Unacknowledged	Acknowledged	Protected	Acknowledged	Non real-time traffic, error-sensitive application that can cope with infrequent data loss.
3	Unacknowledged	Unacknowledged	Protected	Acknowledged	Non real-time traffic, error-sensitive application that can cope with data loss, GMM/SM, and SMS.
4	Unacknowledged	Unacknowledged	Protected	Unacknowledged	Real-time traffic, error-sensitive application that can cope with data loss.
5	Unacknowledged	Unacknowledged	Unprotected	Unacknowledged	Real-time traffic, error non-sensitive application that can cope with data loss.

NOTE: For real-time traffic, the QoS profile also requires appropriate settings for delay and throughput.



QoS - Reliability

Reliability class	Lost SDU probab. (a)	Duplicate SDU prob	Corrupt SDU prob (b)	Example of application characteristics
1	10^{-9}	10^{-9}	10^{-9}	Error sensitive, no error correction capa. limited error tolerance capability
2	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	Error sensitive, limited correction capa. good error tolerance capability
3	10^{-2}	10^{-5}	10^{-2}	Not error sensitive, error correction capa. and/or very good error tolerance capabil.

- (a) To protect against buffer overflow or a protocol malfunction, there is a max. holding time for each SDU in the GPRS network after which the SDU is discarded. The maximum holding time depends on the protocol used (eg : TCP/IP)
- (b) Corrupt SDU probability : the probability that a SDU will be delivered to the user with an undetected error.



QoS - Delay

Delay class	Packet size			
	128 octets		1024 octets	
	Mean transfer delay(sec)	95 percentile delay(sec)	Mean transfer delay(sec)	95 percentile delay(sec)
1- Predictive	0.5	1.5	2	7
2- Predictive	5	25	15	75
3- Predictive	50	250	75	375
4- Best effort	Unspecified			



QoS - Mean throughput

Mean Throughput Classes

Mean Throughput Class	Mean Throughput in octets per hour
1	Best effort.
2	100 (~0.22bit/s).
3	200 (~0.44bit/s).
4	500 (~1.11 bit/s).
5	1 000 (~2.2bit/s).
6	2 000 (~4.4 bit/s).
7	5 000 (~11.1 bit/s).
8	10 000 (~22 bit/s).
9	20 000 (~44 bit/s).
10	50 000 (~111 bit/s).
11	100 000 (~0.22kbit/s).
12	200 000 (~0.44kbit/s).
13	500 000 (~1.11 kbit/s).
14	1 000 000 (~2.2 kbit/s).
15	2 000 000 (~4.4 kbit/s).
16	5 000 000 (~11.1 kbit/s).
17	10 000 000 (~22 kbit/s).
18	20 000 000 (~44 kbit/s).
19	50 000 000 (~111 kbit/s).



QoS - Peak throughput

Peak Throughput Classes

Peak Throughput Class	Peak Throughput in octets per second
1	Up to 1 000 (8 kbit/s).
2	Up to 2 000 (16 kbit/s).
3	Up to 4 000 (32 kbit/s).
4	Up to 8 000 (64 kbit/s).
5	Up to 16 000 (128 kbit/s).
6	Up to 32 000 (256 kbit/s).
7	Up to 64 000 (512 kbit/s).
8	Up to 128 000 (1 024 kbit/s).
9	Up to 256 000 (2 048 kbit/s).



Mise en Place pratique

IMPLEMENTATION CONSTRAINTS

NETWORK DIMENSIONING & PLANNING

NETWORK PERFORMANCE

ANALYSIS AND OPTIMISATION

TOOLS FOR GPRS

Contraintes d'implémentation : Mise à niveau du réseau GSM



- New Core Network
 - GPRS backbone is an IP network
 - **New approach in Mobile Telecommunication**
 - **First interaction between IT and mobile telecom network dept.**

- Multi-supplier solution
 - Interoperability problems
 - **Interface Gb, Gs, Gr are standardised by ETSI but multi-vendor solution always leads to complexity.**
 - **Mobile and network compatibility over the air interface is another source of problems**
 - **Different mobiles = different performances**



Contraintes d'implémentation : Versions Hardware et Software

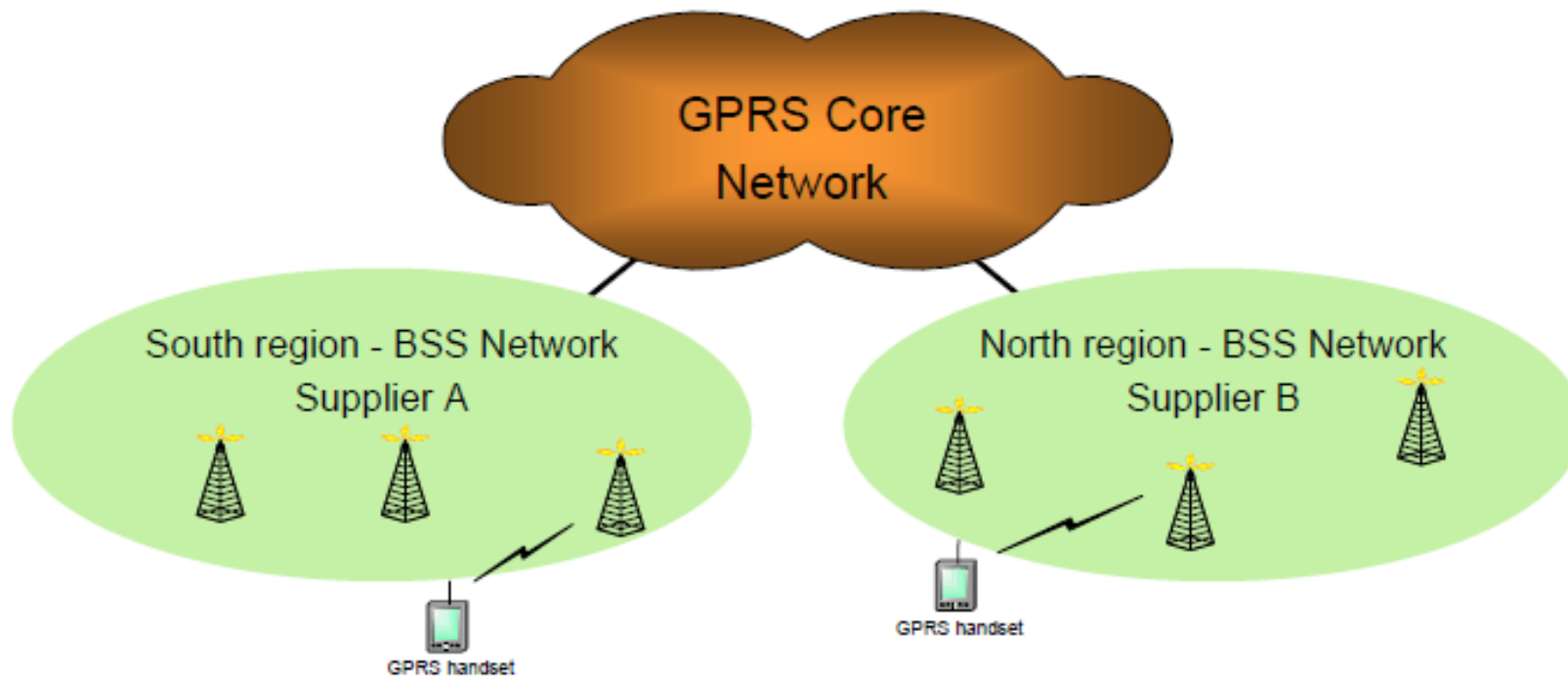
- HW & SW Release management
 - **Network is often heterogeneous**
 - Different generation of base stations, BSC and MSC
 - **Software Releases are delivered at different times**

- Incomplete GPRS features
 - **QoS not fully implemented**
 - **Radio enhancement (PBCCH) not fully implemented**

- immature ETSI specifications
 - **Suppliers follow different versions**



Contraintes d'implémentation : BSS hétérogènes



- **Problem of uniform Quality of Service (different SW/HW, different problems)**
- **Complex network evolution (i.e. new feature cannot be implemented country wide)**

Contraintes d'implémentation : Terminaux et services



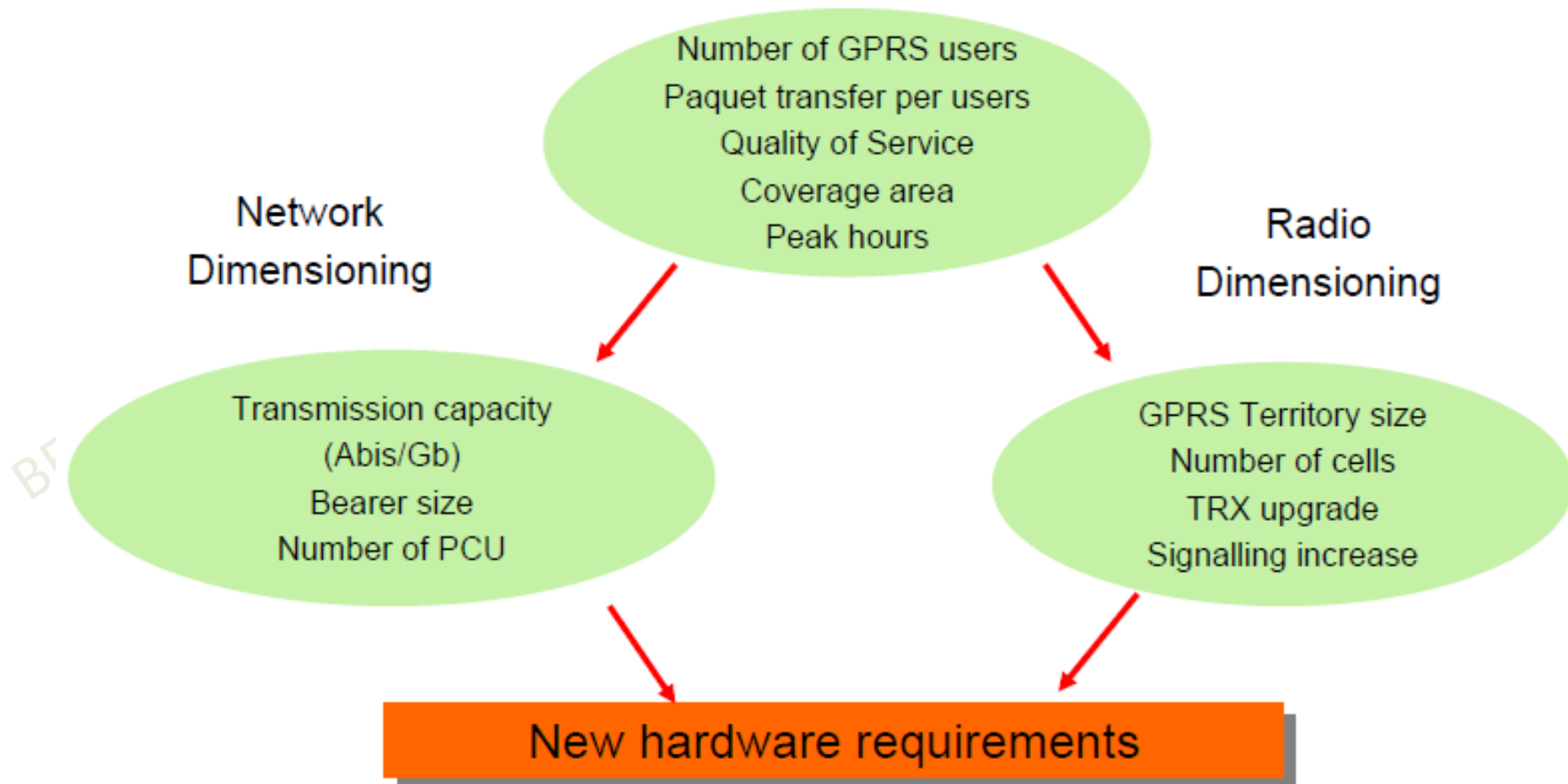
- Limitation in mutlislot & coding scheme capability:
 - **First handsets: 2+1 (i.e. 2 TSL DL / 1 TSL UL)**
 - 24 kbps DL / 12 kbps UL
 - **Current handsets: 4+1**
 - 48 kbps DL / 12 kbps UL

- ETSI specifications problems
 - Lots of change request
 - **PBCCH not supported by network and first GPRS mobiles**

- Poor content for GPRS Services
 - Lack of «adapted» phones
 - Lack of «killer» applications

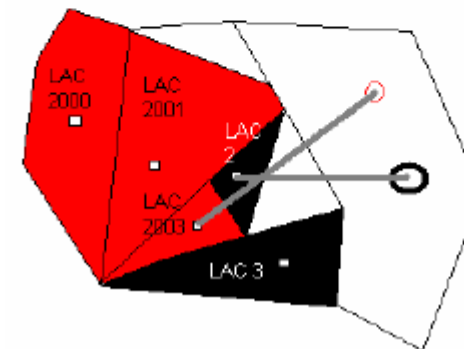
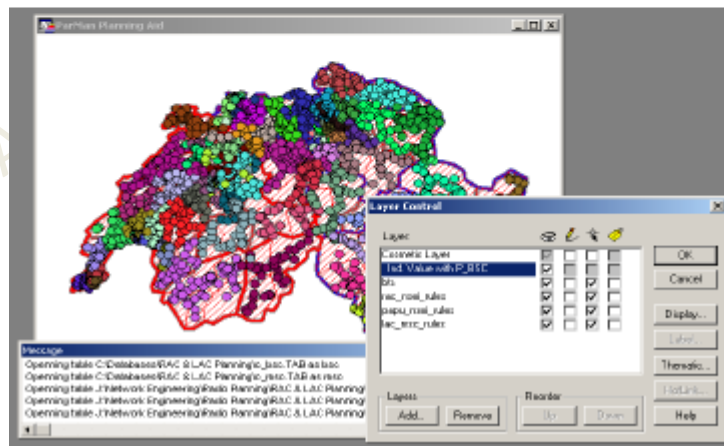
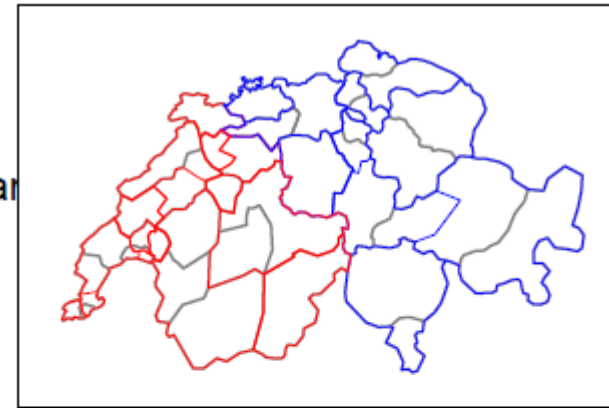


Dimensionnement du réseau GPRS



Planification de réseau

- Reuse existing GSM coverage
- Reuse of GSM signalling and traffic plan
- New core network planning
- New Routing Area Planning



Performances du réseau : les contraintes radio



- Cell reselections
 - GPRS phase 1:
 - Network doesn't control cell re-selection process
 - Based on GSM cell re-selection of MS in idle mode
 - Risk of ping-pong effect
 - Critical decrease of user data throughput

- C/I (carrier/interference) criteria
 - GPRS is very sensible to interferences
 - Data throughput drops quickly with interferences

- Capacity
 - GSM traffic has priority over GPRS
 - « Best effort » mode
 - Low throughput in peak hours

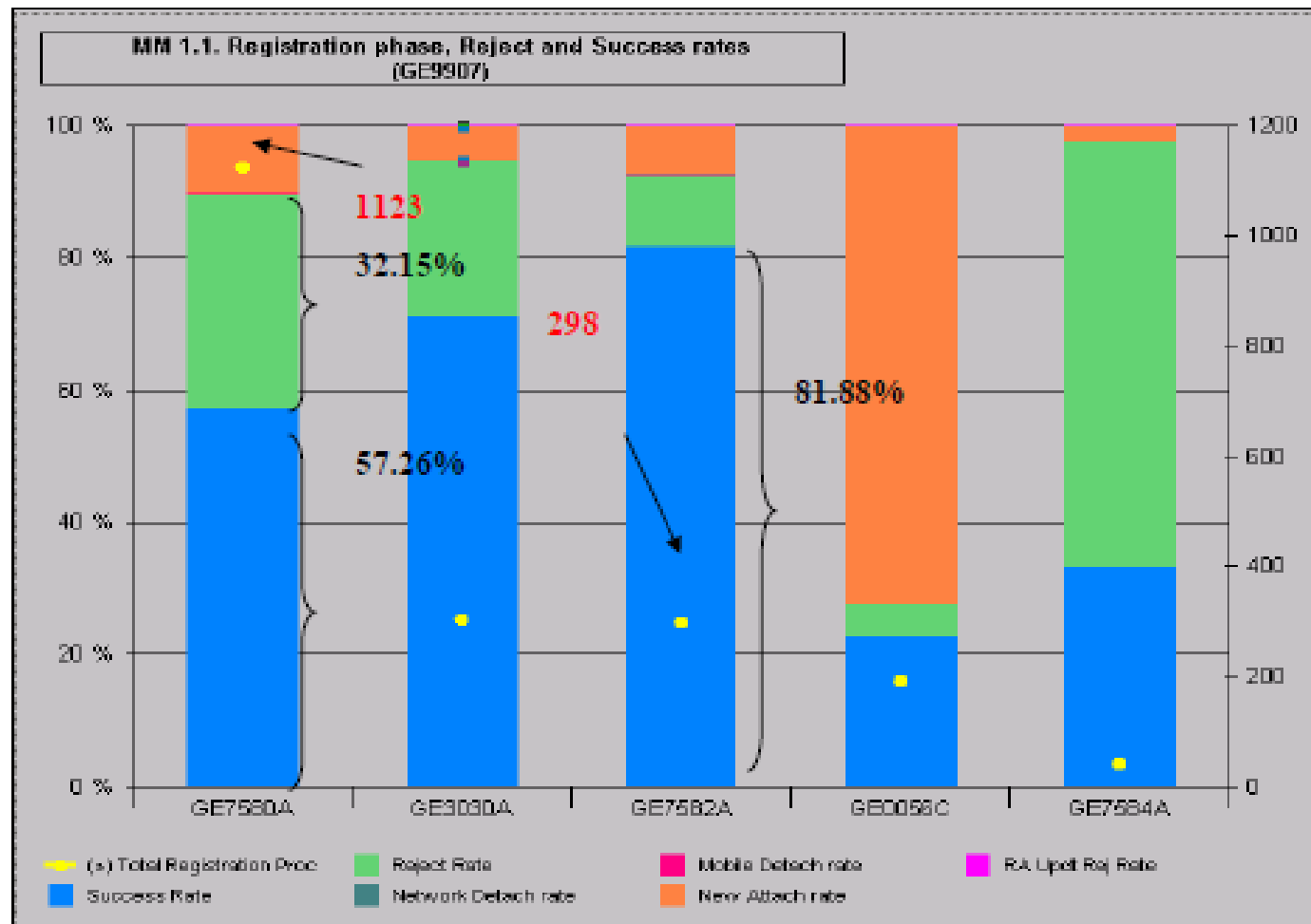


Analyse et optimisation : Objectifs

- Full network supervision
- Access to QoS information
- Information that can be shared accross mainy actors:
 - Radio optimisation team
 - Maintenance team
 - Quality team
 - Traffic team
- High level of detail
 - Info per session
 - Info per user
 - Info per cell/PCU
 - Info per network area

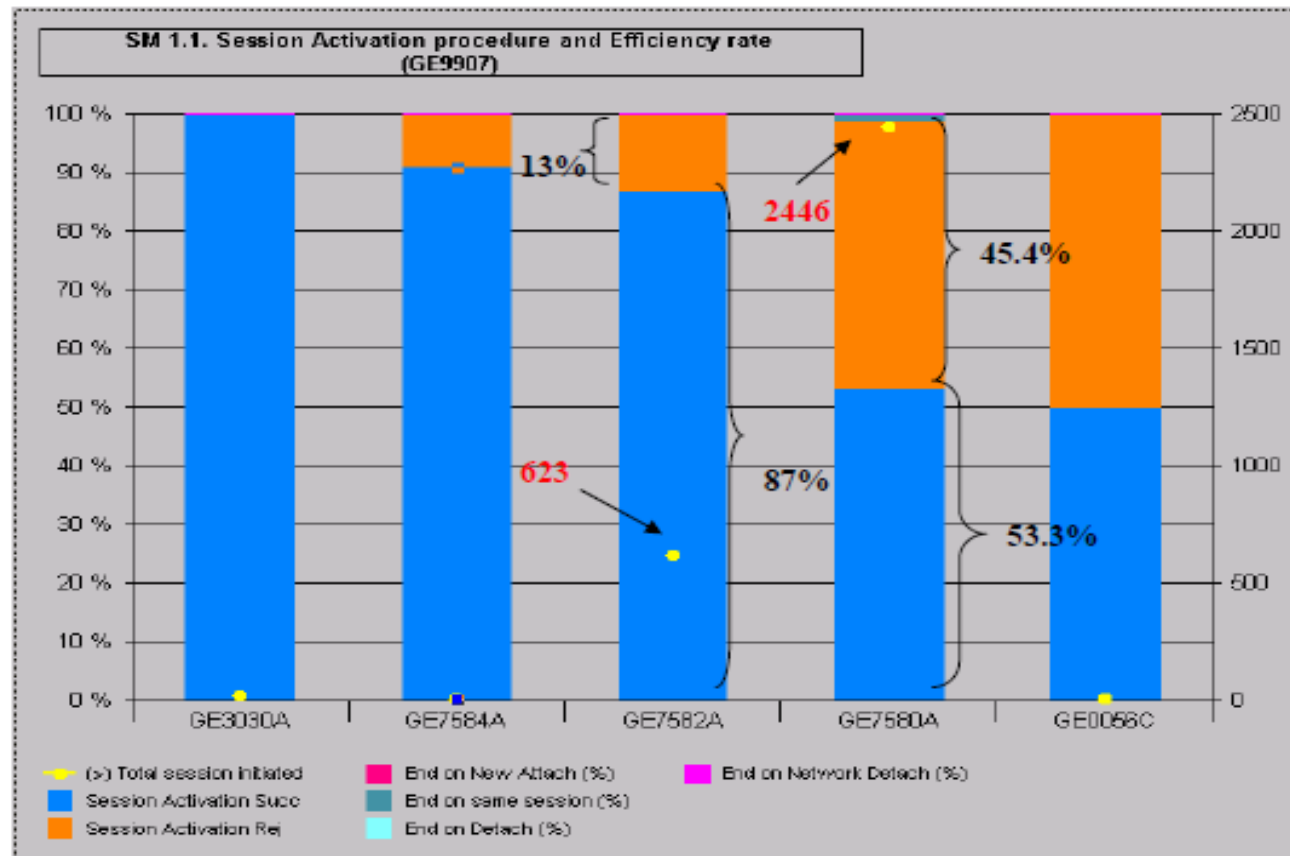
Analyse et optimisation

➤ Performance Analysis – Access to Network resource



Analyse et optimisation

➤ Performance Analysis – Session success





Analyse et optimisation : Outils pour le GPRS

Protocol analyser

» In depth signalling study

The screenshot shows a protocol analyzer window with a menu bar (File, Edit, View, Monitor, Pipeline Elements, Tools, Options, Window, Help) and a toolbar. Below the toolbar is a control panel with buttons for 'Recording File', 'Filter', and 'Monitor No. 1'. The main area displays a list of captured packets with columns for 'Long Time', 'From', '2. Prot', '2. MSG', '3. Prot', '3. MSG', '4. Prot', '4. MSG', '5. Prot', '5. MSG', and '6.'. A packet at 15:16:38.103.075 is selected, showing details in the 'Packet View' pane.

Long Time	From	2. Prot	2. MSG	3. Prot	3. MSG	4. Prot	4. MSG	5. Prot	5. MSG	6.
15:16:05,018,508	1:C (Rx):21:(640Kbit)	NS620_X	UDT	BSSGP640	UDDT	LLC630	UI	GMNSM642	ATRQ	
15:16:05,137,795	1:D (Rx):21:(640Kbit)	NS620_X	UDT	BSSGP640	UDDT	LLC630	UI	GMNSM642	ATAC	
15:16:26,372,950	1:C (Rx):21:(640Kbit)	NS620_X	UDT	BSSGP640	UDDT	LLC630	UI	GMNSM642	ATRQ	
15:16:26,401,554	1:D (Rx):21:(640Kbit)	NS620_X	UDT	BSSGP640	UDDT	LLC630	UI	GMNSM642	IDRQ	
15:16:28,058,805	1:C (Rx):21:(640Kbit)	NS620_X	UDT	BSSGP640	UDDT	LLC630	UI	GMNSM642	IDRP	
15:16:36,142,400	1:D (Rx):21:(640Kbit)	NS620_X	UDT	BSSGP640	UDDT	LLC630	UI	GMNSM642	ATAC	
15:16:38,013,501	1:C (Rx):21:(640Kbit)	NS620_X	UDT	BSSGP640	UDDT	LLC630	UI	GMNSM642	ACDN	
15:16:38,103,075	1:D (Rx):21:(640Kbit)	NS620_X	UDT	BSSGP640	UDDT	LLC630	UI	GMNSM642	PTRM	
15:16:39,433,415	1:C (Rx):21:(640Kbit)	NS620_X	UDT	BSSGP640	UDDT	LLC630	UI	GMNSM642	PTRP	

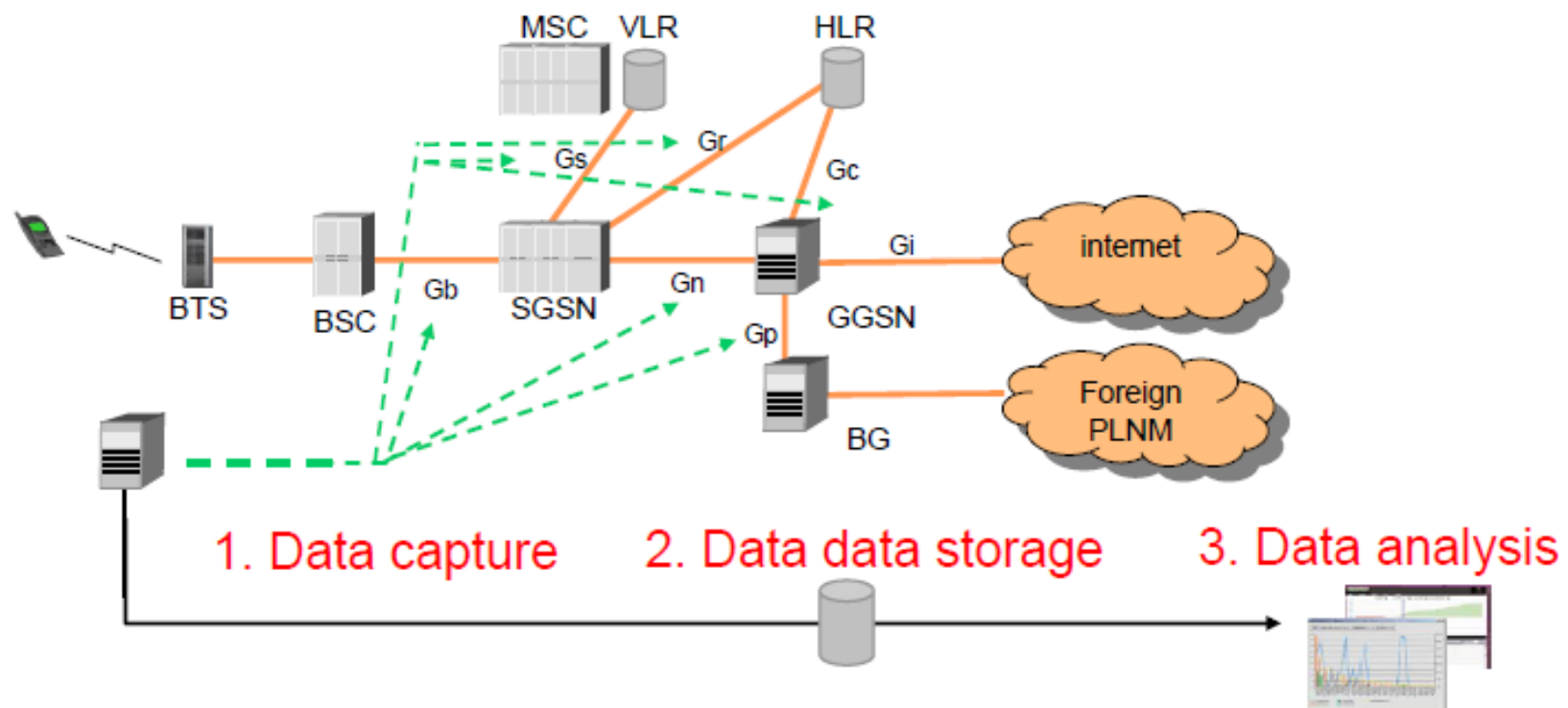
BITMASK	ID Name	Comment or Value
	GPRS Mobility/Session Management, SMG29 V6.4.2 (GMNSM642) PTRM (= P-TMSI reallocation command)	
	P-TMSI reallocation command	
----1000	Protocol Discriminator	Mobility management for GPRS
0000----	Skip Indicator	Skip Indicator
00010000	Message Type	16
Mobile Identity		
00000101	IE Length	5
----100	Type of identity	TMSI/P-TMSI
----0---	Odd/Even Indicator	Even no of digits
1111----	Filler	15
04	NID TMSI	c8 10 49 0b
Routing Area Identification		
012*	NCC number	'228'
1111----	Filler	15
----0000	NAC (init 1)	0



Analyse et optimisation : Outils pour le GPRS

➤ Probe System

» Data capture across all GPRS network interfaces





Introduction à EDGE



EDGE

- C'est une évolution de l'interface air qui autorisera des débits jusqu'à 59.2 Kbps par time slot.
- C'est la modulation 8 PSK qui sera utilisée.
- Les coûts de déploiements pour les opérateurs sont donc beaucoup plus importants que pour HSCSD ou GPRS.
- EDGE est intéressant pour les opérateurs n'ayant pas investi dans une licence UMTS (3^{ième} génération).



Slots EDGE

- Modulation 8PSK : 3 bits par symbole.
- Taux de modulation 270,833 Kbaud/s.
- Taille Burst : 156,25 symboles = 577 μ s.
- Le débit utile est de $3 \cdot (2.58) / 577 \cdot 106$ soit environ 600 Kbps.



ECSD et EGPRS

- CSD et GPRS sur EDGE sont appelés :
 - Enhanced CSD et Enhanced GPRS.

Schéma	Taux de codage	Famille	Débit (Kbps)
MCS-9	1.0	A 8PSK	59.2
MCS-8	0.92	A 8PSK	54.4
MCS-7	0.76	B 8PSK	44.8
MCS-6	0.49	A 8PSK	29.6 / 27.2
MCS-5	0.37	B 8PSK	22.4
MCS-4	1.0	C GMSK	17.6
MCS-3	0.80	A GMSK	14.8 / 13.6
MCS-2	0.66	B GMSK	11.2
MCS-1	0.53	A GMSK	8.8



Références

- [1] Sami Tabbane, “Réseaux mobiles”, HERMES 1997, ISBN 2-86601-622-X
- [2] Réseaux GSM-DCS, Xavier Lagrange, Philippe Godlewski, Sami Tabbane, Edition Hermes
- [3] Cegetel : GPRS - General Packet Radio Service, Présentation détaillée, 12/98