

# Les réseaux 2G/3G

## « Concepts généraux »

Rym Ouertani

Institut Supérieur d'Informatique et des Technologies de Communication

[rym.ouertani@gmail.com](mailto:rym.ouertani@gmail.com)

Septembre 2010

# Objectifs

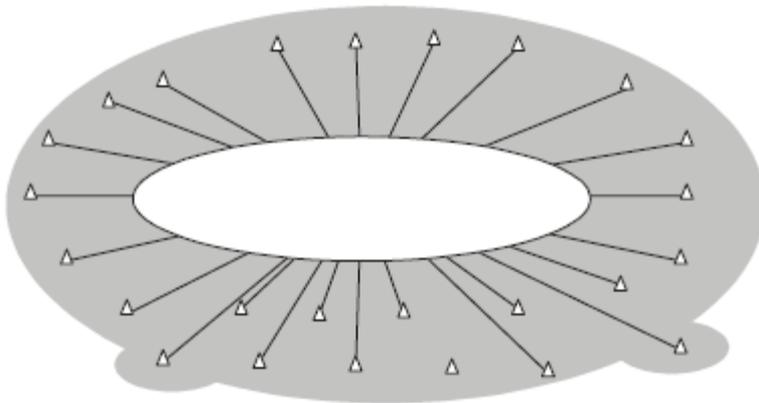
- Présenter les systèmes Radio-Mobiles cellulaires de 2G (GSM, GPRS), de 3G (UMTS) et les évolutions (WIMAX, 4G, LTE)
- Les différentes interfaces radio basées sur les techniques d'accès multiple (FDMA, TDMA, CDMA, OFDMA)
- Présenter les mécanismes des interfaces radio et fonctionnalités MAC, contrôle et gestion du médium
- Gestion de la mobilité (HO), gestion dynamique du spectre et des ressources d'accès
- Evaluation de performance en mobilité
- Les architectures matérielles, fonctionnelles et protocolaires

# Plan

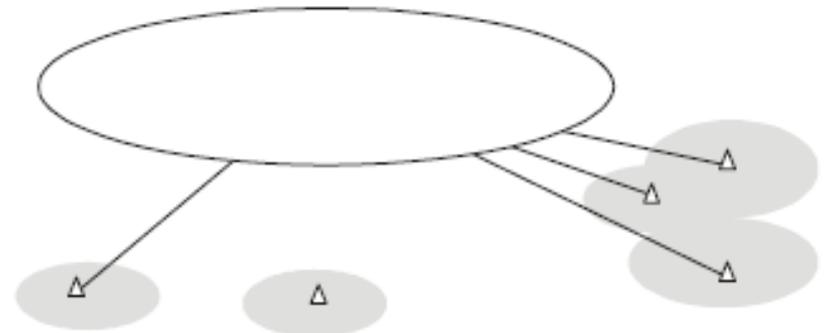
- Définitions: systèmes cellulaires, systèmes sans fils
- Canal de propagation
- Système cellulaire
- Ressources radio
- Techniques de multiplexage
- Gestion de la mobilité

# Définitions

- Réseau cellulaire:
  - ⇒ couverture continue d'un large territoire avec des stations de base
- Systèmes sans fils
  - ⇒ couverture d'îlots



Réseau cellulaire



Système sans fils

# Définitions

- Mobilité:
  - Itinérance : capacité à utiliser le réseau en tout point de la zone de service
  - Itinérance internationale (International Roaming): capacité à utiliser un autre réseau que celui auquel on est abonné
  - Mobilité radio (hand over): possibilité de déplacer le terminal en gardant la communication

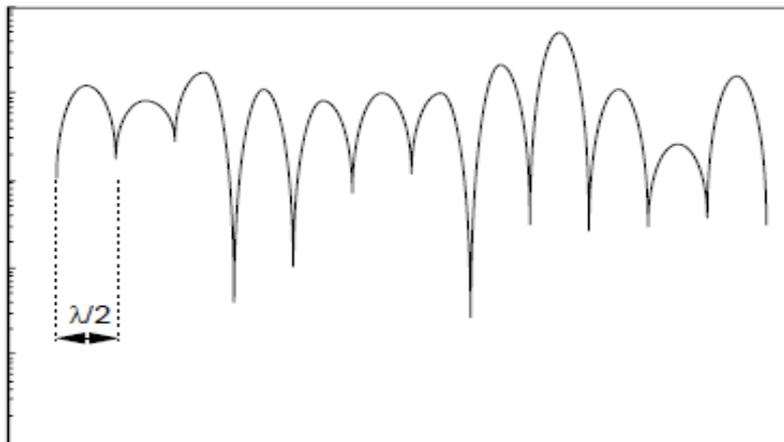
# Le canal de propagation

- Canal = l'espace
- Présence d'obstacles
- **Réflexion:** sur les parois lisses grandes devant la longueur d'onde du signal
- **Diffraction:** sur les arêtes grandes devant la longueur d'onde du signal  
⇒ permet une couverture de zones masquées
- **Diffusion**

# Le canal de propagation

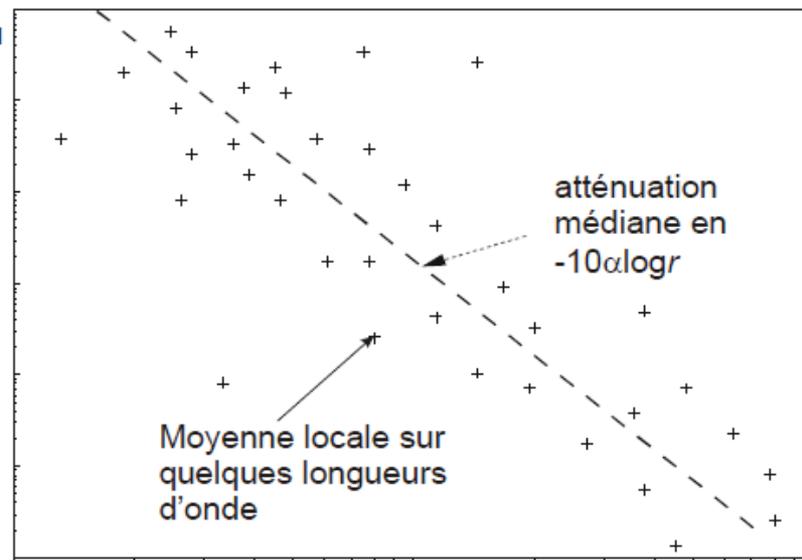
- Caractéristiques du canal
  - Absence du trajet direct
  - Effets de multi-trajets
  - Les obstacles ou réflecteurs peuvent être mobiles : réponse impulsionnelle du canal variable au cours du temps  
⇒ Canal fluctuant
  - Phénomène d'évanouissement

signal reçu  
(en dB)



distance (échelle linéaire)

signal reçu  
(en dB)



↑  
émetteur

distance (échelle logarithmique)  
récepteur →

# Le canal de propagation

- Evaluation du lien:
  - C=puissance du signal utile
  - N=puissance du bruit du récepteur
  - Rapport signal sur bruit:  $RSB = C/N$

- Sensibilité:

$$S = (C/N) + N$$

- Le rayon de couverture dépend de S.

# Le canal de propagation

- Interférence co-canal: utilisation de la même fréquence sur deux sites voisins  
  
⇒ Un deuxième paramètre est pris en compte: les interférences
- Rapport signal sur bruit et interférences  $RSBI = C / (N + I)$
- La sensibilité :  $S = RSBI + (N + I)$
- Du fait de la réutilisation des fréquences :  $N \ll I$   
  
⇒ On parle couramment de rapport  $C/I$

# Systeme cellulaire

- Découpage du réseau en cellules
- Chaque cellule est desservie par une station de base
- L'opérateur affecte **une ou plusieurs** fréquences à chaque station de base
- Les mêmes canaux de fréquence sont réutilisés dans plusieurs cellules selon la capacité du système à résister aux interférences
- La couverture d'une cellule dépend du rapport C/N tolérable et de la puissance d'émission
- La couverture du réseau dépend de la distance de réutilisation (plus petite distance entre deux cellules utilisant une même fréquence)

# Systeme cellulaire

- Un motif cellulaire est l'ensemble des cellules dans lequel chaque fréquence de la bande est utilisée une fois et une seule fois
- Exemple : réseau GSM
  - Découpage en damier hexagonal
  - Motif optimal:

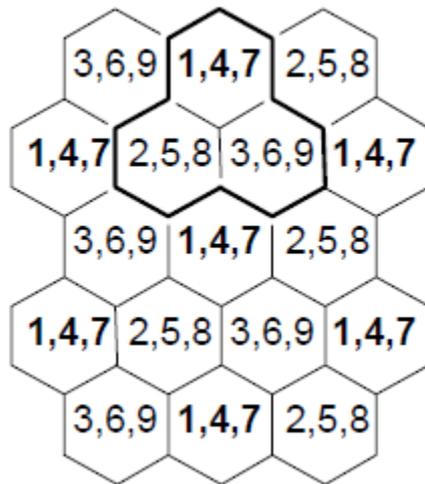
$$K=i^2+i.j+j^2 \quad ; i, j \text{ entiers naturels}$$

- Distance de réutilisation:

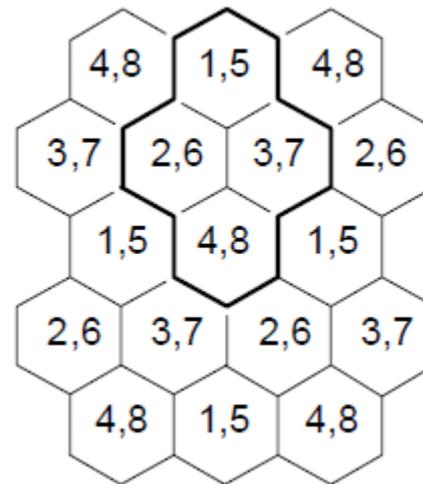
$$D=(3K)^{0.5}.R \quad ; R=\text{rayon de la cellule}$$

# Systeme cellulaire

- Exemples de motifs:



Motif à  $K=3$

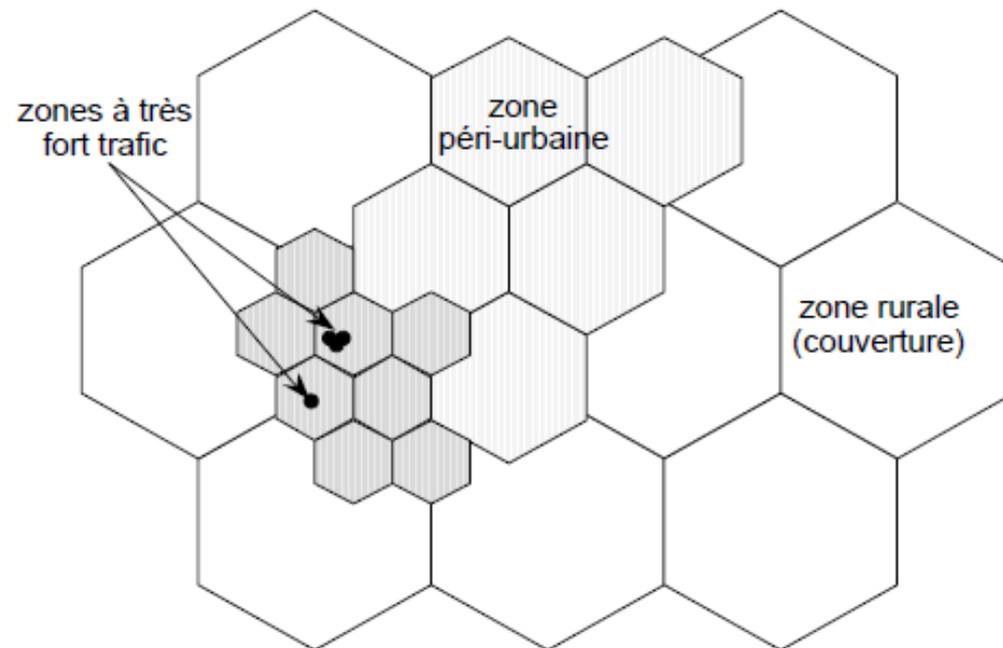


Motif à  $K=4$

- Exemple: Pour le réseau GSM,  $K=12$ .

# Systeme cellulaire

- La taille des cellules n'est pas fixe  
⇒ Découpage non régulier
- Dépend du trafic



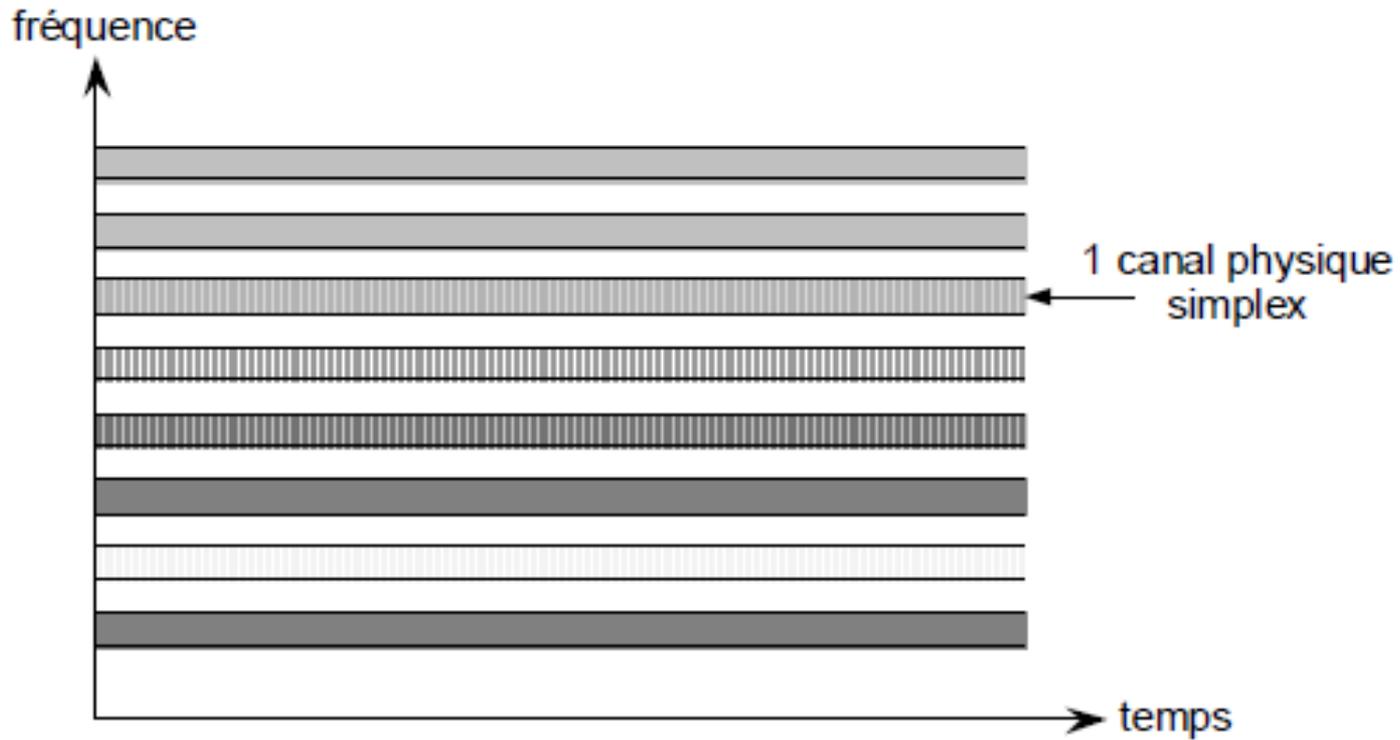
# Ressources radio - Duplexage

- **Duplexage en fréquences *FDD* (*frequency division duplex*)**
  - sens montant et sens descendant sur des fréquences différentes
  - bien adapté aux cellules de grande dimension
    - Exemple: GSM
      - Sens montant sur la bande 890-915 MHz
      - Sens descendant sur la bande 935-960 MHz
- **Duplexage en temps *TDD* (*time division duplex*)**
  - sens montant et sens descendant à des instants différents sur la même fréquence
  - possibilité d'allocation dissymétrique
  - bien adapté aux cellules de petite dimension

# Ressources radio – Accès multiple

- **Accès Multiple à Répartition en fréquence AMRF**  
*(FDMA frequency division multiple access)*
  - Partage de la ressource hertzienne en fréquences (ou porteuses)
  - 1 utilisateur par fréquence (ou couple de fréquences)
  - Un canal physique simplex : 1 fréquence
  - Allocation des fréquences en fonction de la charge des cellules (*Cell Load*)
    - en ville : cellules de faible taille pour partager la bande passante entre plusieurs usagers
    - en campagne : cellules de grande taille

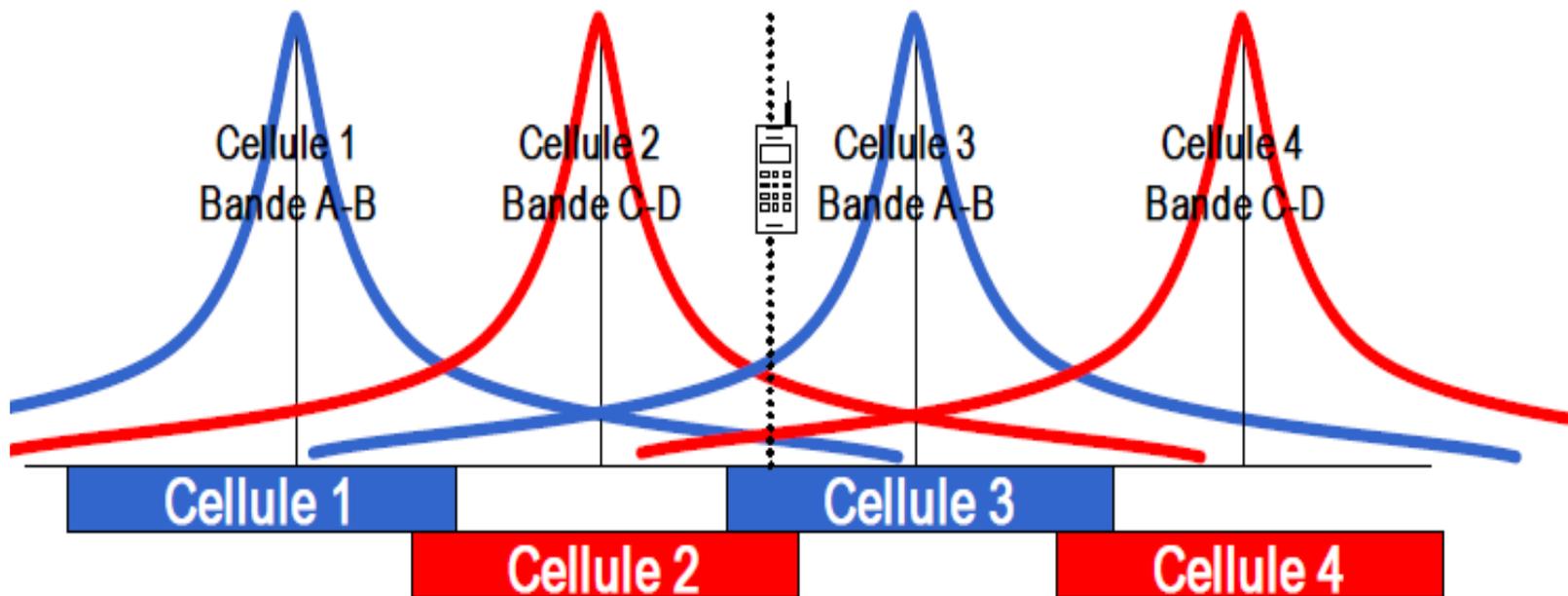
# Ressources radio – Accès multiple



FDMA

# Ressources radio – Accès multiple

- Configuration des fréquences des cellules afin d'éviter les interférences



# Ressources radio – Accès multiple

- **Accès Multiple à Répartition en temps AMRT (*TDMA time division multiple access*)**
  - PFDMA: partage du spectre en porteuses
  - TDMA: partage d'une porteuse en intervalles de temps ou slots
  - Les systèmes TDMA **sont de fait FDMA/TDMA**
- Pour éviter les collisions, allouer un slot de temps à chaque utilisateur
- Possibilité de débits différents (transmission pendant plus d'un slot par trame)

# Ressources radio – Accès multiple

- **MAIS!**

- Augmentation du débit

⇒ Interférence entre symboles due aux trajets multiples

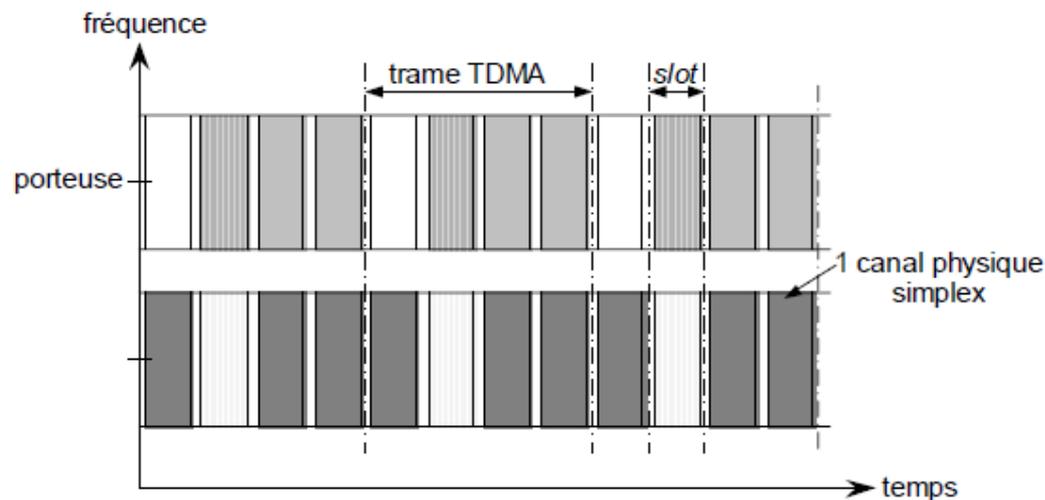
⇒ Mise en place d'un algorithme d'égalisation



# Ressources radio – Accès multiple

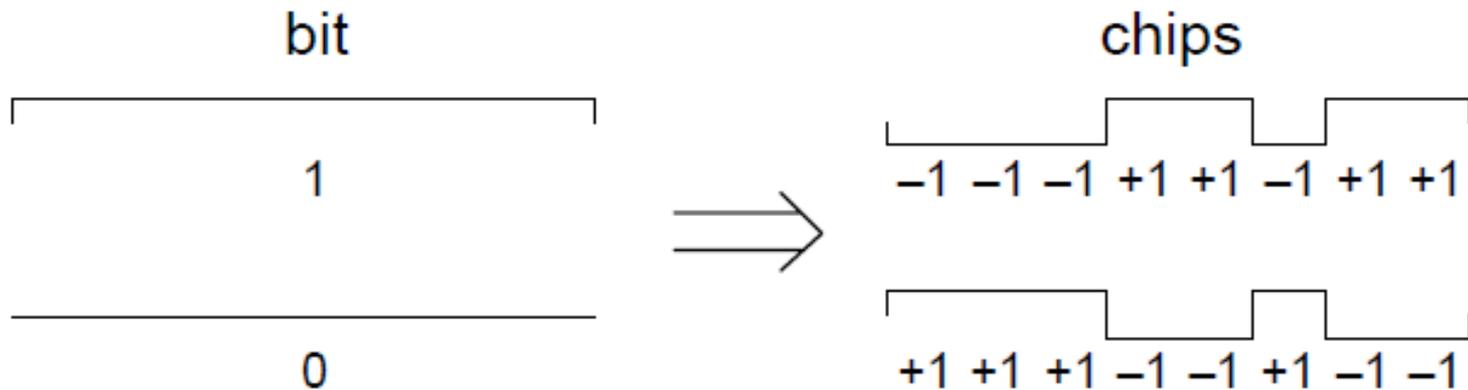
- Exemple: Le GSM

- Utilise les techniques FDMA+TDMA
- Porteuses espacées de 200 kHz
- Trame TDMA à 8 intervalles de temps (577  $\mu$ s par intervalle de temps)
- Duplex de type FDD



# Ressources radio – Accès multiple

- **Accès Multiple à Répartition en Code AMRC (*CDMA code division multiple access*)**
  - Coder chaque bit du message utilisateur sur un ensemble de  $n$  chips



# Ressources radio – Accès multiple

- Pour un bit, transmission d'une séquence de *chips de longueur  $n$* 
  - Exemple : 1 bit  $\Rightarrow$  1 séquence de 8 *chips*
- Associer une séquence différente pour chaque utilisateur
  - $\Rightarrow$  multiplexage de codes
- Utilisation de codes orthogonaux (les séquences de chips sont orthogonales entre elles)
- Tous les utilisateurs transmettent sur la même fréquence

# Ressources radio – Accès multiple

- Exemple de séquences de code:

$S_1$	-1	-1	-1	+1	+1	-1	+1	+1
$S_2$	-1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1
$S_3$	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	-1
$S_4$	-1	+1	-1	-1	-1	-1	+1	-1

- Principe d'orthogonalité:

$$\forall i, \forall j, S_i \cdot S_j = 0 \text{ si } i \neq j \quad S_i \cdot S_i = n$$

# Ressources radio – Accès multiple

- **A l'émission:** Multiplexage de tous les utilisateurs sur la même fréquence

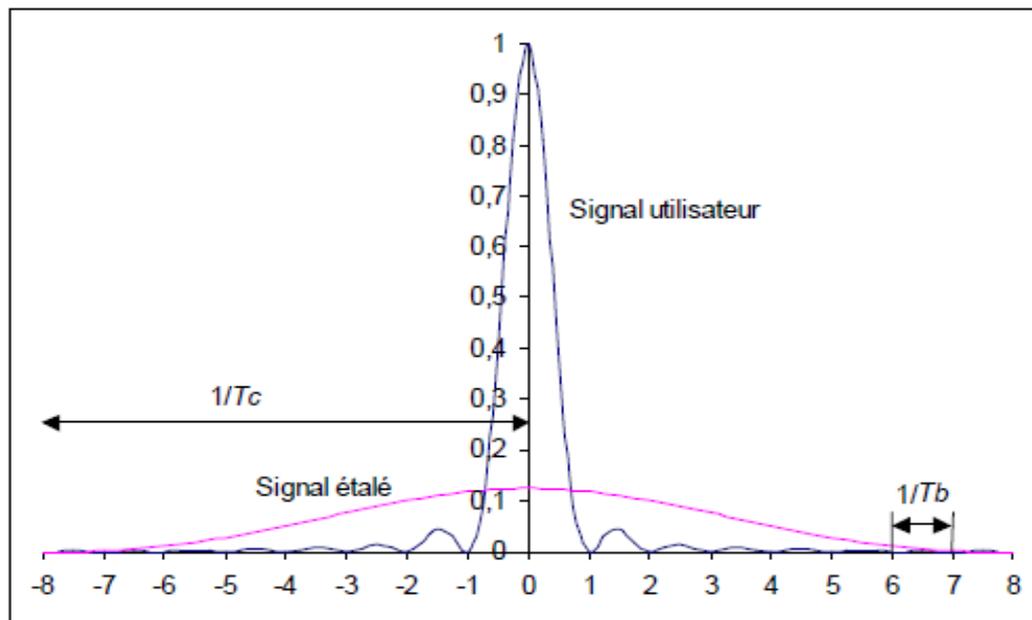
$$\Rightarrow S(kT) = \sum_j b_j(kT) S_j$$

- **A la réception:** Dissociation de l'utilisateur en question grâce au principe de l'orthogonalité

$$S_i \bullet S(kT) = \sum_j b_j(kT) S_i \bullet S_j = b_i(kT) \eta$$

# Ressources radio – Accès multiple

- **Conséquence: Etalement de spectre**
    - Débit en bits :  $b \text{ bit/s}$  (durée d'un bit  $T_b$ )
    - Rythme chips :  $nb \text{ chips/s}$  (durée d'un chip  $T_c = T_b/n$ )
- ⇒ Etalement de spectre



# Ressources radio – Accès multiple

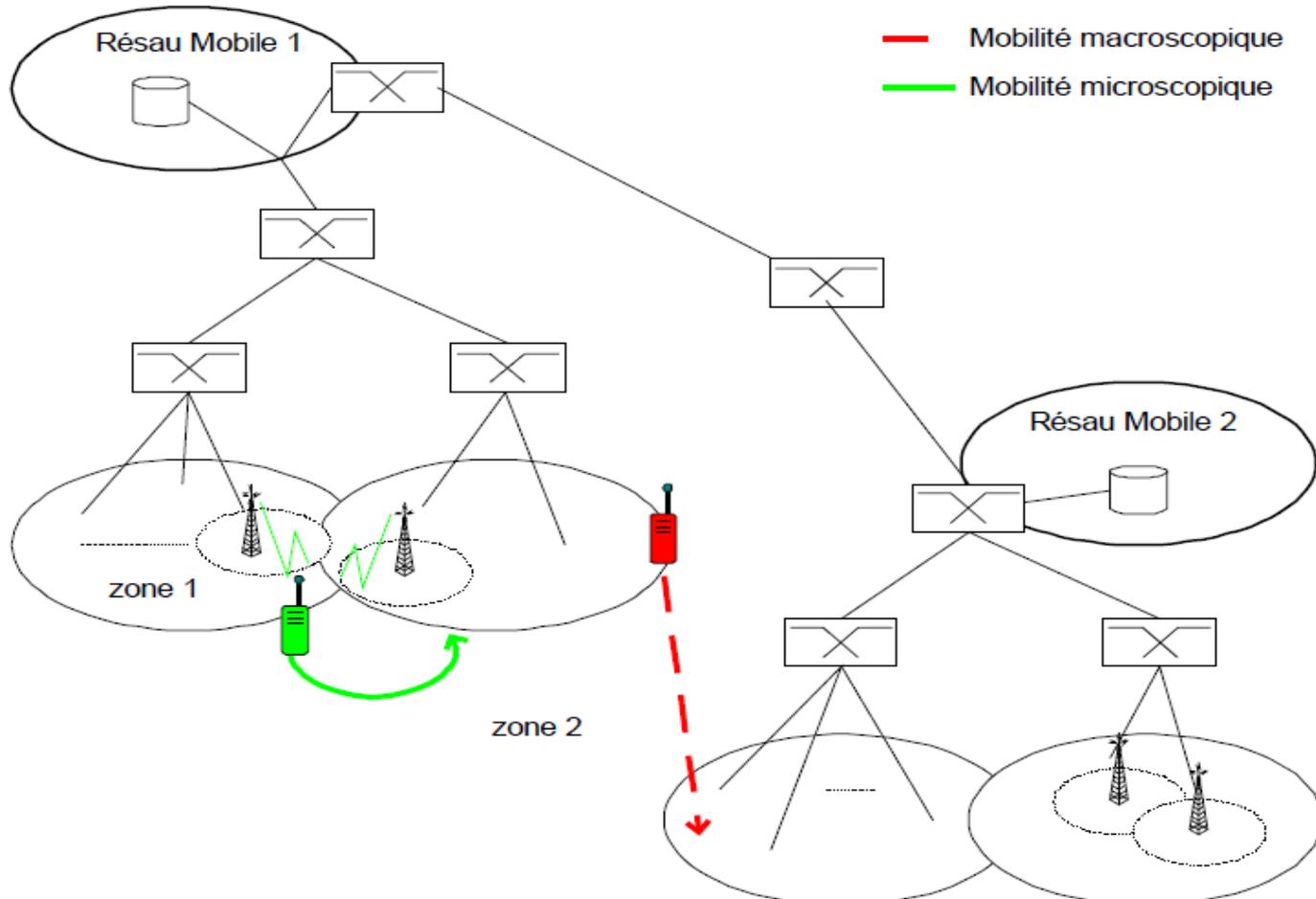
- Exemple d'utilisation des techniques de duplexage et d'accès multiple

	FDMA	(FDMA-) TDMA	(FDMA-) CDMA	(FDMA-) TDMA-CDMA
FDD	AMPS, R2000, NMT, ...	GSM	UTRA-FDD CDMA 2000	
TDD	CT2-CAI	DECT		UTRA-TDD

# Mobilité

- **Mobilité radio**
  - micro-mobilité ou hand over
  - permettre à un abonné de changer de cellule tout en maintenant sa communication avec le réseau
- **Mobilité réseau**
  - Macro-mobilité
  - Permettre à un abonné de bénéficier des services auxquels il a souscrit sur toute une zone de couverture

# Mobilité



# Hand over

- Conséquences sur la QoS  $\Rightarrow$  interruption d'appel
- Défi  $\Rightarrow$  maintenir une qualité de communication entre l'utilisateur mobile et le réseau
- Fonctions du hand over:
  - Permettre aux usagers de se déplacer en cours d'appel
  - Eviter la rupture du lien (rescue hand over)
  - Minimiser les interférences
  - Optimiser l'utilisation des ressources radio
  - Equilibrer la charge de trafic entre les cellules

# Phases de hand over

## 1. Prise de mesure et supervision du lien

- Pendant la communication: mesure périodique des canaux et des cellules courante et voisines (*Périodicité = 480 ms pour GSM*)
- Paramètres de mesure:
  - RxLev: Received Signal Level (mesuré en dB)
  - RxQual: Received Signal Quality (calculé en TEB)
- Gestion d'une liste de cellules candidates (6 pour GSM)
  - 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, on retire celle dont le temporisateur est le plus avancé

# Phases de hand over

## 2. Décision

- Choix de la cellule cible et/ou un nouveau canal
  - Si ok : hand over déclenché
  - Sinon: la communication continue sur le même canal

## 3. Exécution du hand over

- Après un hand over, l'ancien canal est libéré

⇒ Selon la procédure de l'exécution d'un hand over, on en distingue 3 types.

# Types de hand over

- 1<sup>er</sup> type: Hard hand over

- L'ancien lien est libéré **avant** l'établissement du nouveau lien avec la BTS cible
- Suspension de toutes les opérations sauf pour la couche gestion des ressources radio, déconnexion du lien de signalisation et du canal de trafic éventuel
- Un seul canal radio à la fois
- Une interruption de la communication: quelques centaines de *ms*

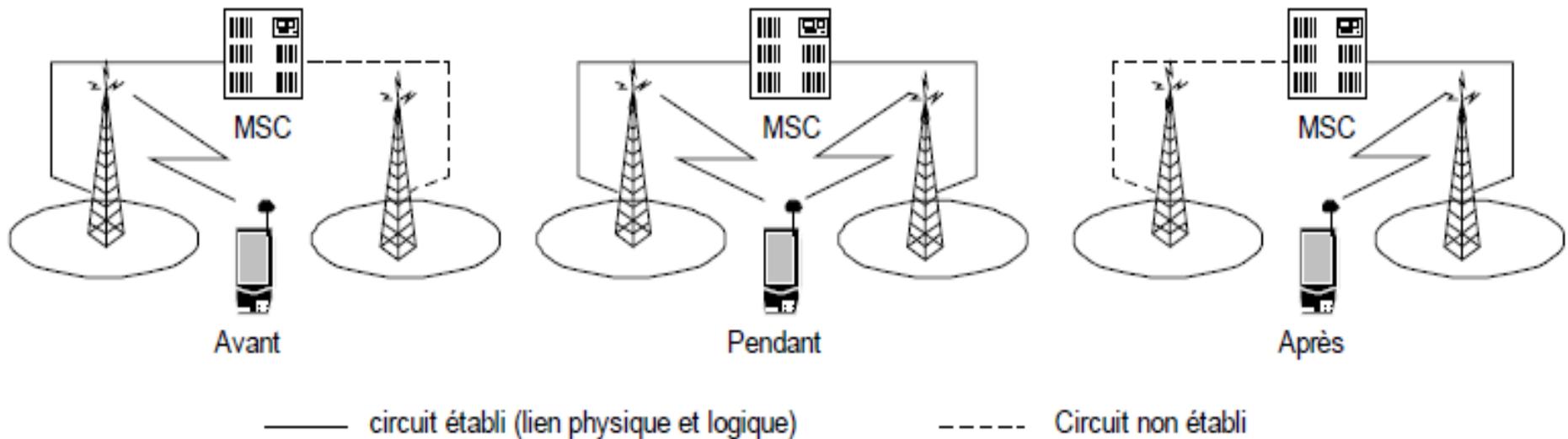
# Types de hand over

- 2<sup>ème</sup> type: Seamless hand over
  - L'ancien lien est libéré **pendant** l'établissement du nouveau lien avec la BTS cible
  - La probabilité de coupure est donc minimisée
  - La QoS est maintenue (confort d'utilisation pour les communications vocales)
  - Pas de perte d'information pour les transmissions de données en mode circuit
  - Mais consommation de ressources

# Types de hand over

- 3<sup>ème</sup> type: Soft hand over
  - L'ancien lien est libéré **après** l'établissement du nouveau lien avec la BTS cible
  - Les 2 liens et les 2 canaux sont actifs simultanément pendant une courte durée
  - Continuité de la comm  $\Rightarrow$  qualité de service offerte à l'utilisateur
  - Charge élevée au niveau réseau
  - Appliqué pour les systèmes CDMA et 3<sup>ème</sup> génération (UMTS)

# Types de hand over



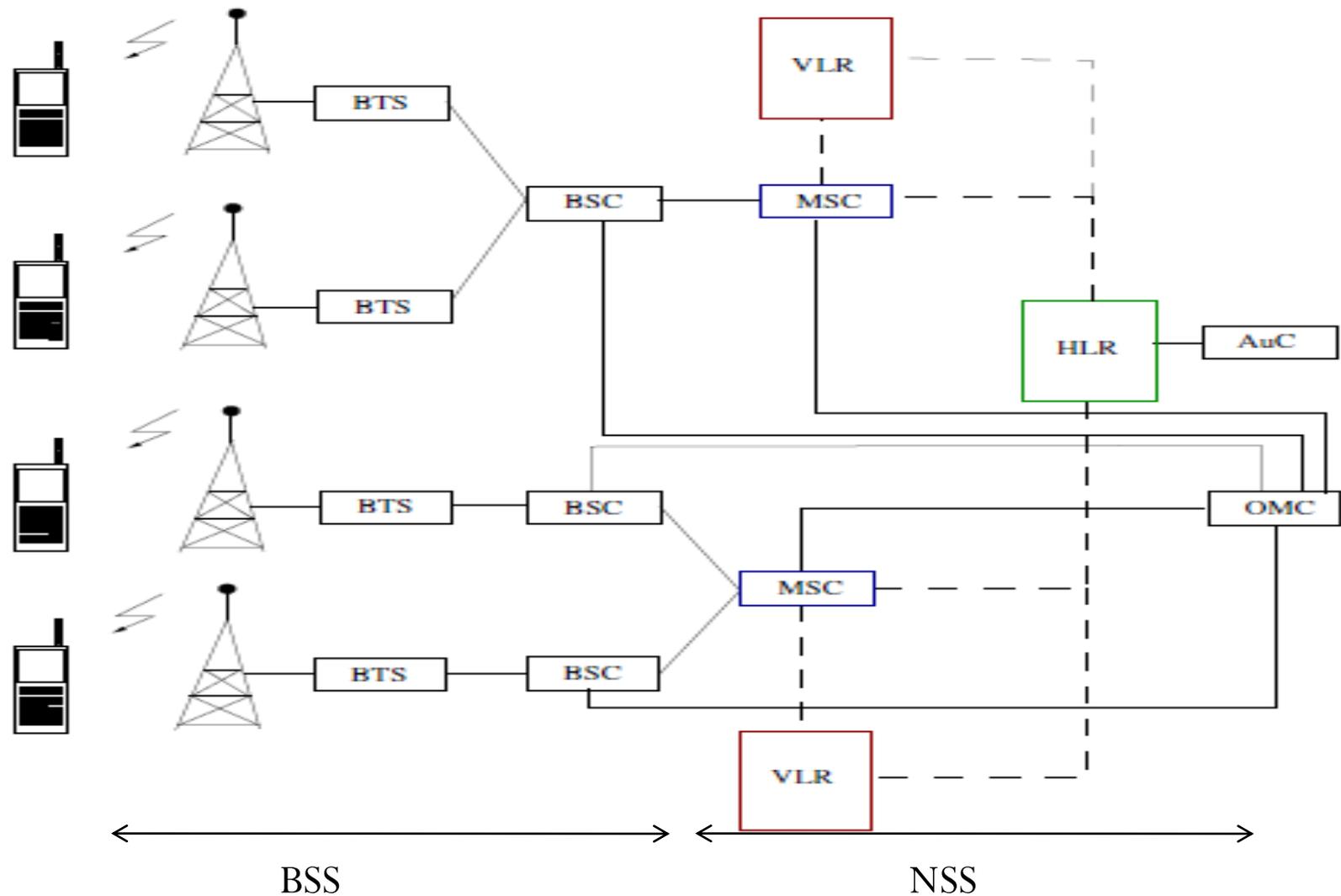
# Contraintes du hand over

- Evaluation: on évalue un processus de hand over selon:
  - Le nombre de tentatives du hand over
  - Le nombre des hand overs effectués
  - La probabilité d'échec d'un hand over
  - Les hand overs ping-pong
  - La durée de déroulement du hand over
  - Le lieu du déclenchement du hand over
  - La quantité des ressources consommée

# Contraintes du hand over

- Contraintes temporelles:
  - La période de mesure doit être inférieure à la durée de traversée d'une cellule  
⇒ fortes contraintes en environnement pico et micro-cellulaires
  - La durée de traitement des critères de décision/d'exécution du hand over et choix de la cellule cible doit être minimale  
⇒ sinon réalisation trop tardive
  - Exécution très rapide afin de minimiser la probabilité de perte d'un lien et les dégradations de qualité

# Infrastructure GSM (2G)



# Infrastructure GSM (2G)

- L'architecture d'un réseau GSM peut être divisée en *trois sous-systèmes* :
  1. Le sous-système radio BSS (*Base Station System*) contenant la station mobile, la station de base et son contrôleur:  
MS+BTS+BSC.  
Entre la BTS et la BSC: une liaison fixe MIC à 2Mb/s ou faisceau hertzien.
  2. Le sous-système réseau ou d'acheminement NSS (*Network Switching System*) : MSC+VLR+HLR+AuC.
  3. Le sous-système opérationnel ou d'exploitation et de maintenance OMC (*Operation and Maintenance Center*).

# Infrastructure GSM

- **BTS: *Base Transceiver Station***
  - Le placement et le type des BTS déterminent la forme des cellules.
  - Rayon de cellule 300 m à 30 Km.
  - La capacité maximale d'une BTS est de 16 porteuses (au plus une centaine de communications simultanées)
  - Gère les problèmes liés à la transmission radio (modulation, démodulation, égalisation, codage correcteur d'erreur...).
  - Réalise des mesures radio (évaluation de la distance au MS, la puissance du signal), ces mesures sont transmises à la BSC.

# Infrastructure GSM

- **BSC (Base Station Controller)**
  - Réalise une concentration vers le MSC
  - Alimente la base de données des BTS
  - Commute les données en les dirigeant vers la bonne BTS
  - C'est l'organe intelligent du sous système radio: gère la ressource radio et commande l'allocation des canaux
  - Gère et décide de l'exécution du hand over
  - Contrôle les puissances d'émission du mobile
  - Remplit le rôle de relais pour les différents signaux d'alarme destinés au centre d'exploitation et de maintenance

# Infrastructure GSM

- **MSC (Mobile Switching Controller)**
  - Correspondant à quelques centaines de cellules (30000 communications simultanées)
  - Assurer la commutation entre les abonnés du réseau mobile et ceux du réseau commuté public RTC ou du réseau RNIS
  - Les commutateurs MSC d'un même opérateur sont reliés entre eux pour la commutation interne des informations.
  - Des GMSC (*Gateway Mobile Switching Center, GMSC*) sont utilisés pour assurer une inter-opérabilité entre réseaux d'opérateurs (entre autres réseau mobile-réseau fixe).

# Infrastructure GSM

- **HLR (Home Location Register)**
  - Registre les abonnés attachés à une région donnée. Il stocke les données suivantes:
    - l'identité internationale de l'abonné utilisée par le réseau (IMSI)
    - le numéro d'annuaire de l'abonné (MSISDN ou numéro d'appel)
    - le profil de l'abonnement (services supplémentaires autorisés, autorisation d'appel international...)
  - Chaque abonné est associé un HLR unique, de façon indépendante de la localisation momentanée de cet abonné
  - C'est une base de données de localisation: il mémorise pour chaque abonné le numéro du VLR où il est enregistré
  - Peut être implémenté de façon centralisée ou décentralisée.

# Infrastructure GSM

- **VLR (Visitor Location Register)**
  - C'est une base de données qui mémorise les informations des abonnés présents dans la cellule raccordé à son MSC
  - Plusieurs MSC peuvent être reliés au même VLR, mais en général, il y en a un seul par VLR
  - Les données mémorisées par le VLR sont similaires aux données du HLR, mais concernent seulement les abonnés mobiles présents dans la zone considérée.
  - Vient se rajouter l'identité temporaire TMSI. Le VLR a une information de localisation plus précise que le HLR.
  - Certains constructeurs intègrent le VLR dans le MSC

# Infrastructure GSM

- **AuC (Authentication Center)**

- Remplit la fonction de protection des communications
- Mémoire pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer les communications.
- Un AuC est en général associé à chaque HLR

- **Autres éléments du NSS**

- **EIR (*Equipment Identity Register*)**: base de données des terminaux
- Chaque terminal reçoit un identifiant unique (*International Mobile Station Equipment Identity*)
- En fonction de données au sujet d'un terminal, un opérateur peut décider de refuser l'accès au réseau (liste noire).

# Gestion de la localisation

- Dans les réseaux de télécommunications fixes, l'abonné est toujours associé à son terminal et son terminal est associé au point d'accès réseau.
- Dans les réseaux de télécommunications mobiles, les terminaux n'ont pas de point d'attache fixe.
- L'association entre le terminal et le point d'accès réseau est dynamique.
- La connaissance de la localisation de chaque mobile est l'une des caractéristiques spécifiques des systèmes cellulaires.
  - ⇒ Ceci est mis en œuvre grâce aux procédures de gestion de localisation
  - ⇒ Découpage du réseau en zones de localisation (Location Area *LA*)

# Utilisation de LA

- Une LA est formée de quelques cellules ou quelques dizaines de cellules.
- Le réseau doit connaître en permanence l'identifiant de la LA courante de l'abonné mobile.
- Cet identifiant est stocké dans les bases de données avec les informations des abonnés (HLR et VLR) dans un pointeur de localisation.
- Les messages de paging (recherche) ne sont émis que dans les cellules appartenant à la LA.

⇒ Les ressources consommées sont limitées.

# Méthodes de localisation

## 1. Mise à jour de localisation périodique

- Le mobile envoie périodiquement au réseau son identité
- Consommation de ressources indépendamment de la mobilité de l'utilisateur

## 2. Mise à jour de localisation sur changement de zone

- Chaque BTS diffuse périodiquement le numéro de la LA à laquelle elle appartient
- Le mobile présent dans cette BTS enregistre ce numéro
- Si celui-ci est différent du dernier numéro stocké, une mise à jour de localisation est donc engendrée par le mobile
- Une mise à jour n'est signalée qu'en cas d'un déplacement effectif de l'utilisateur

# Méthodes de localisation

## 3. Mise à jour de localisation sur un réseau de signalisation séparé du réseau usager

- La recherche de l'abonné est effectuée par un réseau à part (réseau de paging).
- Utilisée dans les systèmes sans fils de radiomessagerie.
- Chaque réseau (signalisation et transmission) est géré indépendamment de l'autre.
- Le trafic de mise à jour de localisation ne perturbe pas le trafic de transmission de données.
- L'infrastructure nécessaire à la gestion de la mobilité est éliminée (HLR et VLR).

# Méthodes de localisation

## 4. Méthode hybride

- Combine la méthode de localisation sur changement de zone et la localisation périodique.
- Méthode utilisée le plus souvent dans les systèmes cellulaires.
- Le mobile effectue sa mise à jour à chaque changement de zone, mais si aucun changement n'a été effectué pendant un délai déterminé, le mobile déclenche une mise à jour pour signaler qu'il est toujours présent et sous tension.
- Méthode très utile si le réseau perd les données de localisation de l'abonné ou en cas de panne d'un équipement.
- Méthode utilisée dans le GSM.

# Les BDs de localisation

- **Les HLRs:**

- Base de données utilisée pour stocker les informations de tous les abonnés (nom, numéro, droits d'accès, données de sécurité, ...) et la localisation courante.
- La recherche d'un abonné mobile commence par consulter cette BD.

- **Les VLRs:**

- BD utilisée pour stocker les informations de tous les abonnés enregistrés dans la LA dont dépend ce VLR.
- Cette BD est une copie partielle des informations contenues dans le HLR . Ces informations sont importées soit directement à partir du HLR soit à partir du dernier VLR visité.

# Organisation des BDs

- **Architecture centralisée**

- Basée sur une structure en étoile
- Les informations de localisation sont regroupées au niveau du HLR (pas de VLR)
- Convient bien aux petits réseaux cellulaires

- **Architecture distribuée**

- Basée en la répartition des données dans des BDs différentes (plusieurs HLRs)
- Adaptée aux réseaux de grande taille (GSM mondial) obtenu par l'interconnexion de tous les réseaux GSM (pour fournir le service de roaming international)

# Organisation des BDs

- **Architecture hybride**
  - Un HLR centralisé utilisé pour stocker toutes les informations des abonnés. Les VLRs existent sur tout le réseau pour stocker temporairement les informations d'abonnés itinérants.
  - Utilisée pour le réseau GSM.

# Sécurité

- Le problème de la sécurité dans les systèmes mobiles se pose à cause de:
  - Leur large étendue (exemple le GSM)
  - L'accès au système par un nombre de plus en plus croissant d'abonnés (risque d'intrusions)
  - L'interconnexion de plusieurs systèmes entre eux provenant de constructeurs différents
  - L'interconnexion de réseaux hétérogènes et d'opérateurs différents

# Exemples d'attaques

- **La reprogrammation:** reprogrammer la puce du terminal contenant le numéro de série (*ESN: Electronic Serial Number*) en introduisant un numéro de série différent.
- **Le clonage:** fabriquer un nouveau terminal utilisant l'identité d'un terminal déjà existant (IMSEI).
- **Le vol du combiné:** le réseau permet de retrouver le terminal grâce à son identifiant unique même si la carte SIM a été détériorée.
- **L'espionnage:** le but est de s'emparer ou de modifier des informations confidentielles (comme les transactions bancaires). On distingue:
  - Les attaques passives
  - Les attaques actives

# Sécurité

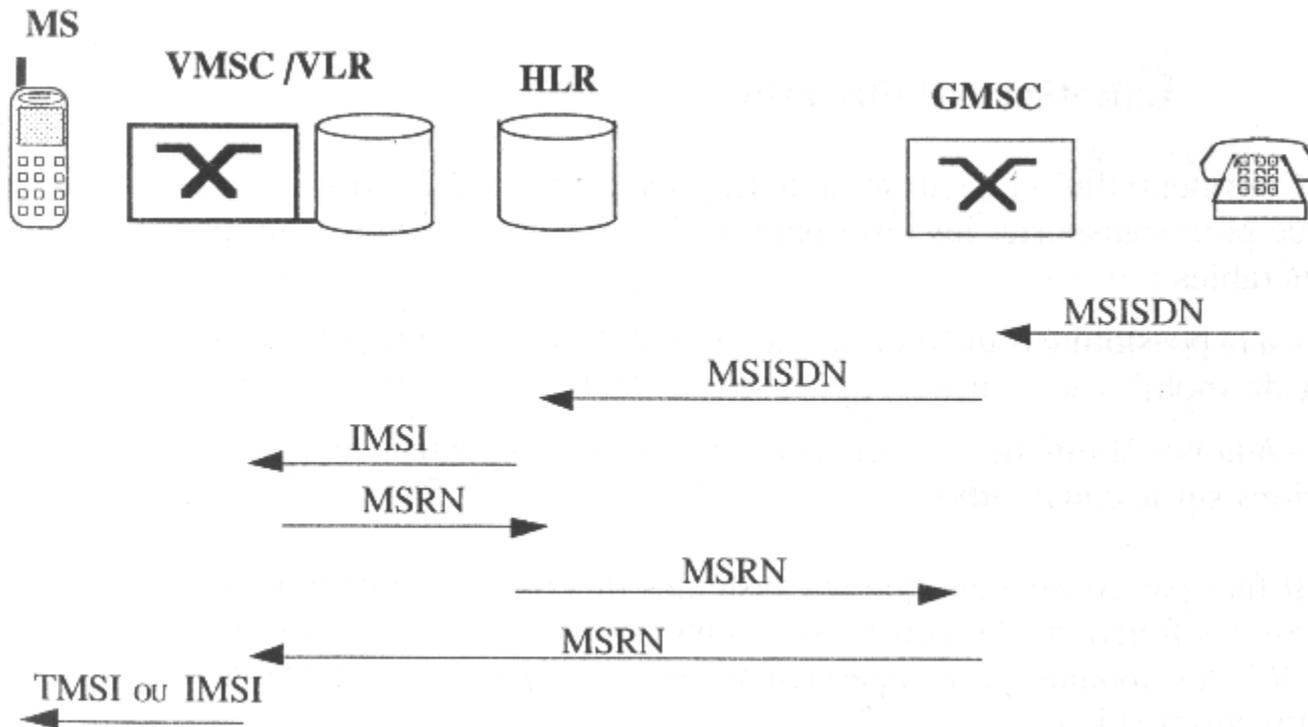
- La sécurité couvre 4 aspects principaux:
  - **L'authentification:** assurer que la personne connectée est celle qui prétend l'être.
  - **La confidentialité:** assurer que les informations concernant une personne ne pourront pas être interceptées par des tiers.
  - **L'intégrité:** les informations échangées ne subissent pas d'altération pendant la transmission.
  - **La non répudiation:** prouver qu'une personne a bien envoyé ou reçu un message.

# Authentification

- Authentifier l'abonné avant de lui autoriser l'accès à un service.
- Pour cela, le système utilise quatre types de numéros:
  - **IMSI**: identité invariante de l'abonné, connue seulement à l'intérieur du réseau. Elle doit rester secrète autant que possible.
  - **TMSI**: identité temporaire attribuée au mobile de façon locale. Dans la zone gérée par le VLR en cours.
  - **MSISDN**: numéro de l'abonné. C'est le seul identifiant de l'abonné mobile connu à l'extérieur du réseau GSM.
  - **MSRN**: numéro attribué lors de l'établissement d'un appel. Sa principale fonction est de permettre l'acheminement des appels par les commutateurs (MSC et GMSC).

# Authentication

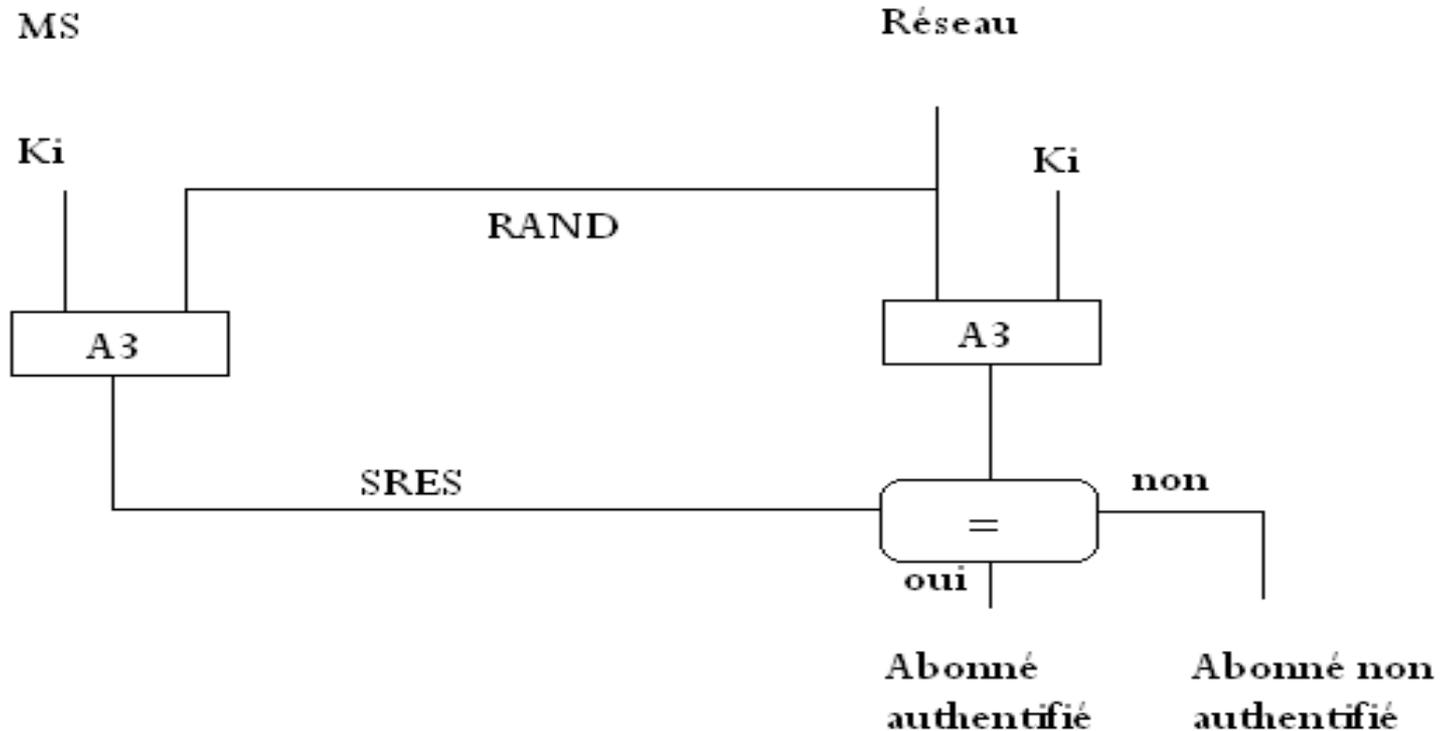
- Attribution des numéros



# Authentification

- L'authentification est exigée à chaque : mise à jour de localisation, établissement d'appel et avant d'activer ou désactiver certains services.
- Si l'authentification de l'abonné échoue, l'accès au réseau est refusé au mobile.
- L'algorithme d'authentification de l'abonné se fait comme suit:
  - le réseau transmet un nombre aléatoire **RAND** (128 bits) au mobile.
  - la carte SIM du mobile calcule la signature de **RAND** grâce à l'algorithme A3 et la clé  $K_i$  ( $\leq 128$  bits). Le résultat calculé, noté **SRES** (32bits), est envoyé par le mobile au réseau.
  - le réseau compare **SRES** au résultat calculé de son côté. Si les deux résultats sont identiques, l'abonné est identifié.

# Authentification



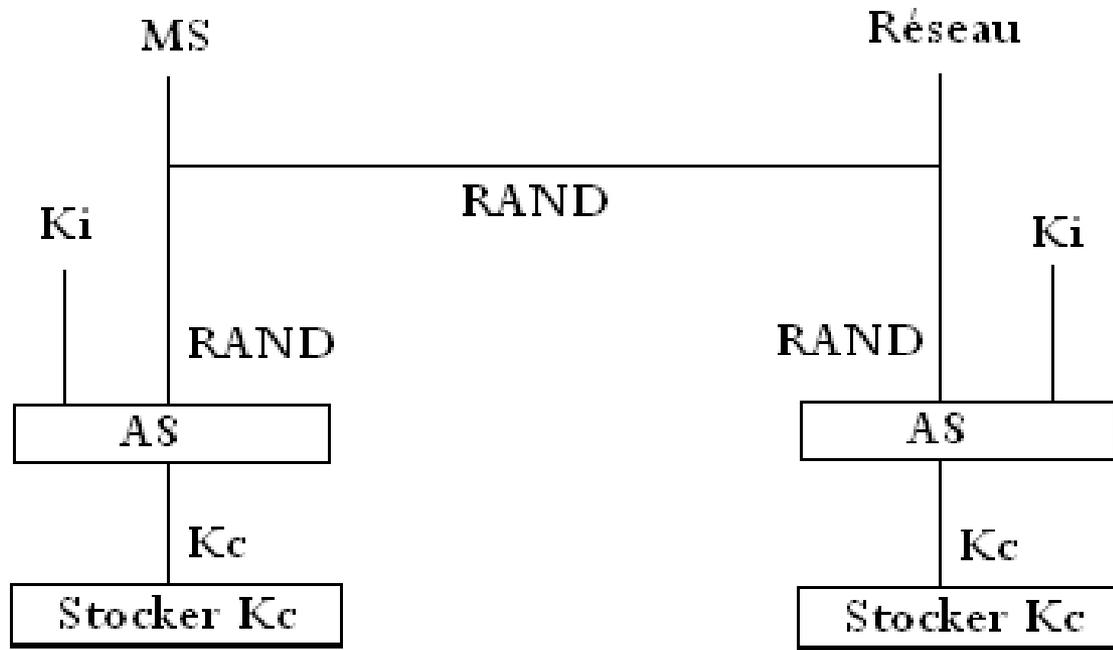
- La clé  $K_i$  est attribuée à l'utilisateur, lors de l'abonnement, avec l'IMSI et stockée dans la carte SIM de l'abonné et dans l'AuC.
- La clé  $K_i$  n'est jamais transmise sur le réseau, ni sur l'interface radio, ni entre les équipements fixes.

# Chiffrement

- La confidentialité est obtenue grâce au chiffrement des données entre le mobile et la station de base
- Pour chiffrer les informations, le réseau utilise:
  - des nombres aléatoires **RAND**
  - une clé  $K_i$  propre à chaque utilisateur
  - un algorithme A3 pour l'authentification utilisant **RAND** et  $K_i$
  - un algorithme A8 pour le calcul d'une clé  $K_c$  (64 bits) à partir de **RAND** et  $K_i$
  - un algorithme A5 pour le chiffrement des données à partir de  $K_c$
  - Les algorithmes A 3, A5 et A8 sont similaires pour tous les abonnés d'un même opérateur.

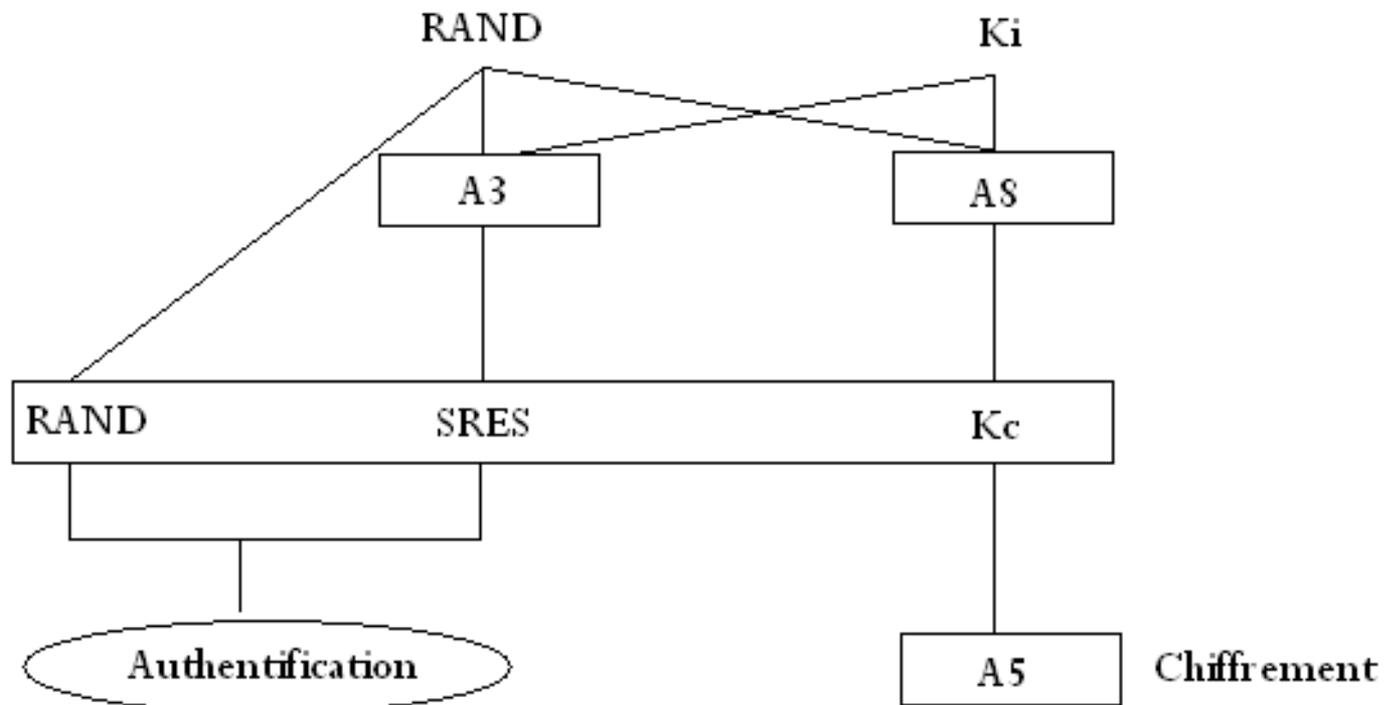
# Chiffrement

- Figure: Algorithme de génération de la clé  $K_c$



# Chiffrement

- L'algorithme A5 de chiffrement est implanté dans la BTS.
- Le chiffrement se fait après une procédure d'authentification.



# Gestion des paramètres de sécurité

- Le centre AuC stocke les algorithmes A3, A8 et les clés  $K_i$ .
- Le HLR peut stocker plusieurs triplets ( $K_c$ ,  $RAND$ ,  $SRES$ ).
- Le VLR enregistre plusieurs triplets ( $K_c$ ,  $RAND$ ,  $SRES$ ), TMSI ou IMSI.
- Le BTS peut stocker l'algorithme de chiffrement A5 pour les données utiles et pour les données de signalisation.
- Le terminal mobile contient les algorithmes A3, A5, A8, la clé  $K_i$ , la clé  $K_c$  et le TMSI. Ces informations sont stockées dans la carte SIM.

# Les canaux logiques

- On distingue deux grandes catégories de canaux :
  - les canaux physiques: un intervalle de temps donné dans des trames TDMA successives
  - les canaux logiques: suite d'intervalles de temps dédiés à une fonction spécifique
- Les canaux logiques
  - Les canaux dédiés
    - Canaux de trafic (TCH)
    - Canaux de contrôle (FACCH, SDCCH, SACCH)
  - Les canaux non dédiés
    - Canaux de contrôle diffusés (BCCH, FCCH, SCH)
    - Canaux de contrôle partagés (AGCH, PCH, RACH)

# Les canaux dédiés

- Un canal logique dédié fournit une ressource réservée à un seul mobile.
- Ce mobile se verra réserver une paire de time slots (un en émission, un en réception) dans laquelle il est le seul à transmettre et à recevoir.
- Dans la même cellule, aucun autre mobile ne peut transmettre ni recevoir dans un même slot à la même fréquence.
- Les canaux dédiés sont duplex (sens montant, sens descendant).

# Les canaux dédiés

- **TCH :Traffic Channel**

- transporte des informations utilisateur (voix, données) ou en provenance des couches hautes (applicatives) du système.

- **SDCCH: Stand-Alone Dedicated Control Channel**

- débit plus faible que celui des TCH ( $800 \text{ bits/s} = 1/12^{\text{ème}}$  de la capacité du TCH)
- peut être vu comme un TCH de taille réduite dédié à la signalisation
- supporte la signalisation d'établissement d'appel, mise à jour de localisation

# Les canaux dédiés

- Un TCH ou SDCCH ont un canal associé à faible débit SACCH (380 bit/s)
- **SACCH: Slow Associated Control Channel**
  - contrôle de la puissance d'émission du mobile et de la qualité du lien radio
  - renvoi des mesures effectuées sur les cellules voisines
  - compensation du délai de propagation aller-retour (*round trip delay*) par le mécanisme de TA (*timing advance*)

# Les canaux dédiés

- **FACCH (*Fast Associated Control Channel*)**
  - Le SACCH est trop lent et induit un retard de l'ordre de 0.5 s impropre à traiter les actions rapides comme l'exécution d'un hand over.
  - Si le canal alloué est un TCH, on suspend la transmission des informations usagers et on récupère cette capacité libérée pour découler la signalisation. Ce nouveau canal est le FACCH.
  - Si le canal dédié alloué est un SDCCH, ce dernier peut écouler tous les types de signalisation, en particulier la signalisation rapide. Dans ce cas, le FACCH est inutile.

# Les canaux non dédiés

- Un canal logique non dédié est simplex et partagé par un ensemble de mobiles.
- Dans le sens descendant, cela signifie que les données sont diffusées et tous les mobiles dans la cellule sont à l'écoute du canal.
- Ces données peuvent concerner le système dans son ensemble ou des mobiles qui doivent être réveillés (appel entrant) et qui ne disposent pas encore de canaux dédiés.
- Dans le sens montant, la fonction remplie par un canal non dédié est la fonction d'accès multiple.

# Les canaux non dédiés

- On distingue:
  - Les canaux de contrôle diffusés **BCCH**: *Broadcast Control Channel*
    - BCCH
    - FCCH
    - SCH
  - Les canaux de contrôle commun **CCCH**: *Common Control Channel*
    - PCH
    - RACH
    - AGCCH

# Les canaux de contrôle diffusés

- **BCCH: *Broadcast Control Channel***
  - Le canal BCCH permet la diffusion des données caractéristiques de la cellule (*Cell Identity*). C'est par ce canal que le mobile peut identifier la cellule (la zone) sur laquelle il se trouve.
  - Le BCCH (TS0 de la trame TDMA) contient les informations d'accès à la cellule:
    - LAI (Location Area Identity)
    - les paramètres RACH (accès aléatoire)
    - la description des canaux logiques de la cellule
    - permet aussi de prélever des mesures des fréquences des cellules voisines

# Les canaux de contrôle diffusés

- **FCCH: *Frequency Control Channel***
  - Composé de 148 bits à '0'.
  - permet un calage sur la fréquence du BCCH (fréquence pilote).
- **SCH : *Synchronisation Channel***
  - Fournit une synchronisation au mobile :
    - la synchronisation fine : aide à la détermination du TA
    - la synchronisation logique : détermination du FN (Frame Number)
  - Comporte le BSIC (*Base Station Identity Code*) qui permet d'identifier localement la cellule et différencier deux canaux en diffusion venant de deux BTS sur la même fréquence.

# Les canaux de contrôle communs

- Ils sont impliqués dans toutes les procédures d'accès du mobile au réseau. On distingue:
- **PCH: Paging Channel**
  - utilisé pour rechercher et avertir un mobile lors d'un appel en provenance du réseau.
  - Le VLR diffuse le message de paging PCH dans la zone de localisation.
  - L'identité, du mobile est diffusée sur l'ensemble de cellules appartenant à la LA via le PCH.
  - Possibilité d'appeler jusqu'à 4 mobiles dans le même message en utilisant le TMSI.

# Les canaux de contrôle communs

- **RACH: *Random Access Channel***
  - Contient un seul message: demande d'accès d'un mobile avec le type de requête (*Channel Request*) .
  - Envoi d'une requête vers la BTS.
  - Accès en mode **ALOHA** pour s'enregistrer dans une cellule ou passer un appel.
  - Le protocole d'accès ALOHA consiste à émettre un appel sur le canal d'accès sans précaution particulière. Si un autre mobile utilise le même canal au même moment, il y a risque de collision et de perte des messages émis. Au bout d'un temps aléatoire, il y a réémission, de manière non simultanée, donc sans collision (protocole est peu performant en cas de forte charge).
  - Le VLR diffuse le message de paging PCH dans la zone de localisation
  - Réponse paging du mobile : demande d'ouverture de canal via RACH

# Les canaux de contrôle commun CCCH

- **AGCH: *Access Grant Channel***
  - Canal réseau vers mobile utilisé pour allouer des ressources dédiées (SDCCH ou TCH) au mobile qui les a demandées via un canal d'accès aléatoire RACH.
  - En réponse à un RACH, l'AGCH vise à attribuer un canal dédié.
  - Le message d'allocation décrit complètement la ressource allouée (n° de la porteuse, le numéro de slot, paramètre TA...)

# Au-delà de la 2G

- **1G**

- 1970s, technologie analogique.
- Débit de l'ordre de 2.4kb/s.
- Une variété de systèmes incompatibles.

- **2G**

- 1980s, technologie numérique.
- Utilisation plus efficace du spectre (accès multiple).
- Amélioration de la sécurité par le chiffrement.
- Commutation de circuits à débit limité.
- La compétitivité à implémenter des réseaux numériques a également mené à des réseaux incompatibles (comme le GSM en europe, IS et CDMA aux USA).
- Débit à 64kb/s.

# Au-delà de la 2G

- **2.5G**

- Etape intermédiaire entre 2G et 3G.
- Amélioration des réseaux 2G pour fournir plus de capacité et accroître le débit des données (jusqu'à 384 kb/s).
- Les canaux sont découpés en paquets ce qui permet d'introduire des services telles que l'accès à l'internet.

- **3G**

- Réseaux conçus en 1990s et améliorés en 2000s.
- Augmentation de débit à 2Mb/s.
- Insertion de plusieurs services comme le roaming global et une qualité supérieure pour la transmission de la voix.

# Au-delà de la 2G

- **4G**
  - International Mobile Telecommunications-Advanced (IMT Advanced) ou encore la 4G.
  - Garantie de fournir des services IP comme la voix, données et flux multi-média "*n'importe quand et n'importe où*" à débits plus élevés.
  - Débit pouvant atteindre théoriquement 1Gb/s.
- En attendant la **5G** ...

# Le GPRS: Contexte

- Besoin clientèle: fournir des services d'Internet mobile. Or:
  - Une ligne GSM utilise le mode connecté (mode circuit)
  - La commutation de circuit nécessite l'établissement d'une communication au sein de la cellule GSM monopolisant un canal de communication qui ne peut être utilisé par un autre utilisateur.
  - La consultation d'informations sur Internet est constituée à 75 % de temps morts.  
⇒ La monopolisation du canal de communication est inadaptée.

# Le GPRS : Contexte

- La monopolisation du canal convient en mode vocal et se paye en terme de durée de connexion.
- Pour la transmission de données, on devrait ainsi payer le canal de communication et non ce qui est transporté.  
⇒ facturation élevée
- Débits limités à 9.6 Kb/s (débits réels  $\leq 7$  kb/s): insuffisant pour télécharger des pages web.
- Trafic sporadique pour les applications de données (consultation de bases de données, interactifs, ...).  
⇒ Besoin de débits instantanés importants mais débits moyens modérés.

# Le GPRS : Principe

- GPRS: General Packet Radio Service: norme intermédiaire entre GSM et UMTS.
- Dérivé du GSM (appelé aussi GSM 2+).
- Permet d'étendre l'architecture de GSM pour le transport de la voix.
- Autorise le transfert de données en commutation de paquets, avec des débits théoriques maximums de l'ordre de 171,2 kbit/s (en pratique jusqu'à 114 kbit/s).
- Propose d'accéder à des réseaux de données (internet) utilisant le protocole IP ou le protocole X.25.

# Le GPRS : Principe

- Réseau GPRS = réseau IP où l'abonné peut être mobile.
- Grâce au mode de transfert par paquets, les transmissions de données n'utilisent le réseau que lorsque c'est nécessaire.
- Le GPRS permet de facturer l'utilisateur au volume échangé plutôt qu'à la durée de connexion (il peut rester connecté sans surcoût).
- Le GPRS permet de nouveaux usages que tels que:
  - Services de transmission point à point (PTP): la capacité à se connecter en mode client/serveur à une machine d'un réseau IP
  - Services point à multipoint (PTM): la capacité à envoyer un paquet à un groupe de destinataires (Multicast).

# Le GPRS : Principe

- Services de messages courts (SMS).
- QoS : c'est la capacité à adapter le service aux besoins d'une application:
  - Fiabilité
  - Priorité
  - Délai
  - Débit
- Possibilité d'accès anonyme.

# Le GPRS : Débits

- GPRS utilise la même technique pour transmettre les données que dans GSM, à savoir la technique TDMA.
- GSM n'utilise qu'un time slot par trame TDMA, tandis que GPRS peut utiliser plusieurs time slots (jusqu'à 8) sur une seule trame.
- GPRS définit quatre schémas de codage : CS1, CS2, CS3 et CS4, chacun d'entre eux fournit un niveau de correction d'erreur différent et une bande passante différente sur le même canal radio.

	CS1	CS2	CS3	CS4
1 slot	9,05 kb/s	13,4 kb/s	15,6 kb/s	21,4 kb/s
8 slots	72,4 kb/s	107,2 kb/s	124,8 kb/s	171,2 kb/s

# Le GPRS: QoS

- Le réseau GPRS définit différents profils de qualité de services:
  - Precedence class : 3 valeurs de priorité possibles (grande, normale et basse).
  - Delay class : 4 valeurs possibles dont celle qui correspond au Best Effort.
  - Reliability class : 5 valeurs possibles dont la probabilité de perte de données, probabilité de données corrompues, etc...
  - Peak throughput class : 9 valeurs possibles comprises entre  $8\text{ kbits/s}$  et  $2048\text{ kbits/s}$ .
  - Mean throughput : 19 valeurs possibles.

# Terminaux GPRS

- Classes des terminaux GPRS:
  - **Classe A:** le terminal peut être en communication simultanément sur le service GPRS et sur d'autres services GSM.
  - **Classe B:** le terminal peut être déclaré sur les réseaux GPRS et GSM, et écouter simultanément les deux signalisations. Le terminal ne peut être en communication que sur le service GPRS ou le service GSM.
  - **Classe C:** le terminal ne peut être utilisé que pour les services GPRS.

# Terminaux GPRS

- **Classe A:**

- Peuvent émettre et recevoir des appels de type circuit voix ou données et fax de façon simultanée avec un transfert de données par paquet.
- Le téléchargement d'un programme n'est pas interrompu par une communication téléphonique, qu'elle soit émise ou reçue par le terminal.

- **Classe B:**

- Constituent un compromis entre les deux types de terminaux A et C.
- Peuvent gérer à la fois, les demandes de données circuit et paquet.
- Ils peuvent également effectuer l'une ou l'autre des connexions, mais une seule à la fois (Un transfert des données est suspendu au cours d'un appel voix).

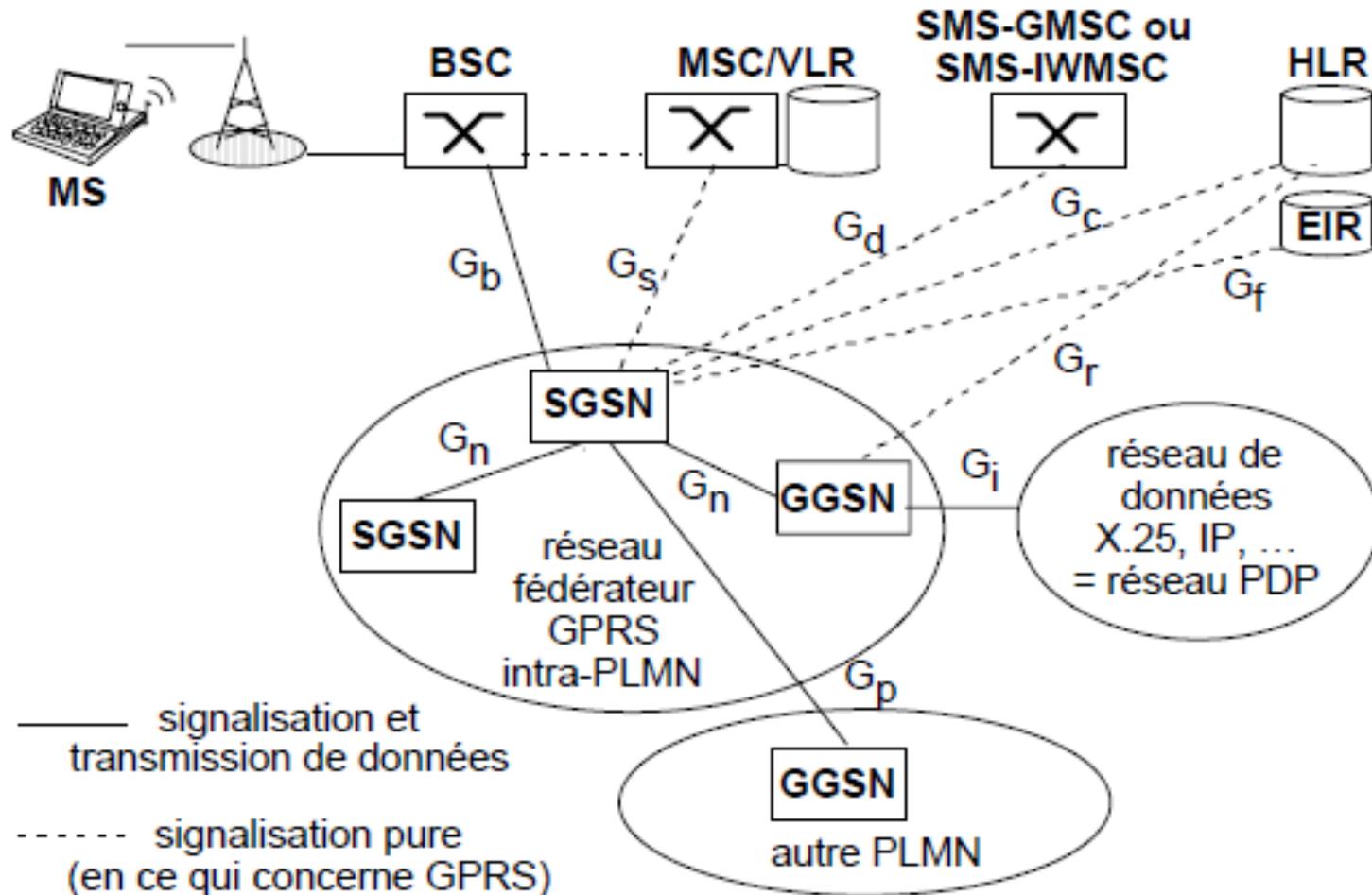
# Terminaux GPRS

- **Classe C:**
  - Gère uniquement les données par paquet et ne possèdent pas de capacité pour supporter les appels voix.
  - Idéal pour les ordinateurs portables ou les assistants personnels.
  - Exemple: ce terminal est très utile dans le contexte de télétravail dans une zone où la couverture filaire classique est inexistante.

# Architecture GPRS

- Reprise de BSS mais pas de NSS.
- L'intégration du GPRS dans l'architecture GSM nécessite l'ajout de nouveaux nœuds réseau appelés GSN (*GPRS Support Nodes*) situés sur un réseau fédérateur.
  - **SGSN** (Serving GSN): Nœud de support GPRS de service, routeur permettant de gérer les terminaux présents dans une zone donnée et de réaliser le transit des paquets au MS. Equivalent du MSC dans l'architecture GSM.
  - **GGSN** (Gateway GSN): Nœud de support GPRS passerelle, passerelle s'interfaçant avec les autres réseaux de données (internet). Le GGSN est chargé de fournir une adresse IP aux terminaux mobiles pendant toute la durée de la connexion. Equivalent du GMSC dans l'architecture GSM.

# Architecture GPRS



# Architecture GPRS

- Réutilisation des bases de données de GSM (HLR, EIR).
- Evolution du réseau d'accès BSS.
- Déploiement d'un réseau fixe spécifique : réseau fédérateur GPRS.
- Le réseau fédérateur GPRS est un réseau IP.
- Deux niveaux d'existence d'un terminal:
  - existence au niveau GSM : gestion de localisation par l'IMSI dans le HLR.
  - existence(s) au niveau GPRS: adresse(s) GPRS, qualité de service négociée,...

# Architecture GPRS: Les interfaces

- Nécessaires pour interconnecter les deux réseaux.
- Coexistence des interfaces GSM et GPRS.
- Interfaces GSM:
  - **Interface Um** : c'est l'interface radio entre le terminal et le sous-système radio BSS (appelée aussi interface air).
  - **Interface A bis** : relie les deux organes BTS et BSC.
  - **Interface A** : relie le sous-système radio via la BSC, et le sous-système réseau GSM via le MSC/VLR.

# Architecture GPRS: Les interfaces

- Interfaces GPRS:
  - **Interface Gb** : définie entre le sous-système réseau GSM et le sous-système réseau GPRS.
  - **Interface Gn** : définie entre deux nœuds SGSN ou GGSN appartenant au même réseau GPRS.
  - **Interface Gs (optionnelle):**
    - Définie entre le SGSN et le MSC/VLR.
    - Elle permet au SGSN d'envoyer des informations de localisation au MSC/VLR et d'éviter des échanges redondants de signalisation de la mobilité entre le MS et le SGSN et entre le MS et le MSC.
    - Le SGSN peut aussi recevoir des requêtes de paging émises par le MSC/VLR pour le service GSM.

# Architecture GPRS: Les interfaces

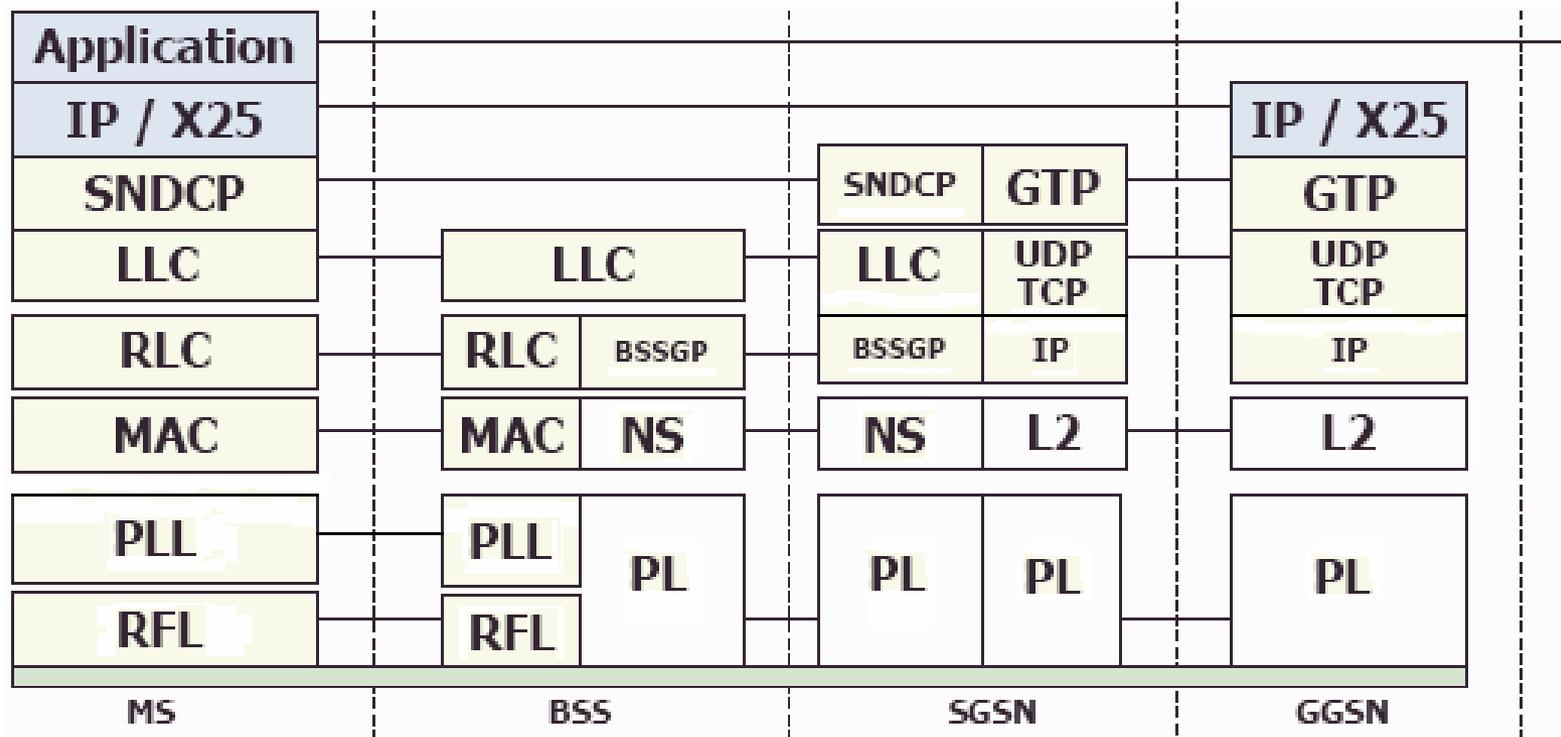
- **Interface Gd (optionnelle):** définie entre les entités fonctionnelles qui permettent d'acheminer des SMS à un MS (appelés SMS-GMSC et SMS-IWMSC), et le SGSN pour offrir à un terminal mobile GPRS la possibilité d'émettre et de recevoir des SMS via des canaux radio GPRS.
- **Interface Gr :** définie entre le SGSN et le HLR pour des échanges de données liés aux profils de données des abonnés et à la gestion de la mobilité.
- **Interface Gc (optionnelle):** définie entre le GGSN et le HLR. Elle sert au GGSN pour demander des informations de localisation concernant un MS.

# Architecture GPRS: Les interfaces

- **Interface Gf (optionnelle):** relie un SGSN et un équipement de type EIR pour l'identification d'un terminal.
- **Interface Gi (optionnelle):** définie entre le GGSN et les réseaux de données par paquets externes, permet les échanges entre le réseau GPRS et le monde extérieur.
- **Interface Gp (optionnelle):** définie entre deux réseaux différents est équivalente à l'interface Gn avec, en plus des fonctions de sécurisation entre les deux réseaux.

# Protocoles GPRS

- Plan pour le transport des données



# Protocoles GPRS

- Couche Physique
  - RFL (*Physical Radio Frequency Layer*)
    - Modulation/démodulation.
  - PLL (*Physical Link Layer*)
    - Lien entre la couche MAC et le modem.
    - Transporte les paquets RLC/MAC.
    - Réalise le codage.
    - Surveille et évalue la qualité du signal radio.
    - Contrôle la puissance de transmission.
    - Détecte la congestion sur le canal

# Protocoles GPRS

- Couche MAC (*Medium Access Control*)
  - Contrôle l'accès aux canaux radio (demande et allocation de canaux).
  - Fournit le multiplexage des données (TDMA).
  - Permet à un terminal mobile d'utiliser plusieurs canaux physiques (PDCH : Packet Data CHannel) en parallèle.
  - Fournit les procédures de file d'attente et d'ordonnancement pour un trafic entrant vers le mobile.
  - Contrôle les débits.

# Protocoles GPRS

- Couche RLC (*Radio Link Control*)
  - Transmet les paquets LLC entre les couches LLC et MAC.
  - Segmente et réassemble les paquets LLC en blocs RLC/MAC.
  - Fonctionne en mode acquitté et non acquitté selon la qualité de services demandée.
  - Détecte les paquets erronés.
  - Retransmet des paquets RLC erronés si mode acquitté.

# Protocoles GPRS

- Couche NS (*Network Service*)
  - Transporte les paquets BSSGP.
- Couche BSSGP (*Base Station System GPRS Protocol*)
  - Relais les trames LLC sans garantie d'intégrité.
  - Transporte les informations de routage et de la qualité de service entre le BSS et le SGSN.
  - Gère le trafic entre les cellules et le SGSN.
  - Indique la cellule courante.

# Protocoles GPRS

- Couche LLC (*Logical Link Control*)
  - Transporte les paquets de données utiles (SNDCP) ou la signalisation.
  - Réalise le chiffrement, contrôle le flux de données.
  - Fonctionne en mode acquitté et non acquitté.
  - Fournit la détection et la correction des erreurs si mode acquitté.
  - Fournit la détection des erreurs si mode non acquitté.
  - Permet de faire une distinction de QoS entre les différents types d'utilisateurs.

# Protocoles GPRS

- SNDCP (*Sub Network Dependent Convergence Protocol*)
  - Gère la compression/décompression des en-têtes.
  - Gère la compression/décompression des données.
  - Assure la segmentation et la reconstitution des paquets de données pour fournir des blocs de données de taille acceptable pour le protocole LLC.
- Couche GTP (*GPRS Tunnelling Protocol*)
  - Entre le SGSN et le GGSN. GTP s'appuie sur TCP (mode avec acquittement) ou sur UDP (mode sans acquittement).

# Protocoles GPRS

- Dans le plan signalisation, on trouve:
  - la couche GMM (*GPRS Mobility Management*)
  - la couche SM (*Session Management*)
  - la couche GSMS (*GPRS SMS*)

# Mobilitéé GPRS

- De nouveaux identifiants sont définis pour être utilisés dans les différents protocoles GPRS:
  - P-TMSI (*Packet TMSI*)
    - C'est l'équivalent du TMSI pour GSM. Il est défini parce que le mobile peut être à la fois actif en GPRS et en GSM.
  - TLLI (*Temporary Logical Link Identity*)
    - Identité temporaire qui identifie un mobile particulier pour le SGSN.
    - Il est choisi aléatoirement par le mobile à l'initialisation d'un flux de données s'il n'a pas encore de P-TMSI. Si le mobile possède déjà un P-TMSI valable, le TLLI est égal au P-TMSI.

# Bilan GPRS

- Débit :  $171,2 \text{ kbit/s}$ .
- Commutation de paquets: premier protocole à commutation par paquets dans le monde de l'Internet mobile.
- Tarification au volume.
- Débit réel inférieur au débit annoncé (en moyenne 50 kbits/s et 115 kbits/s dans des conditions optimales).
- Coût élevé de l'infrastructure GPRS. Avec l'arrivée des nouvelles technologies (3G par exemple), les opérateurs de hésitent à investir dans une technologie intermédiaire.

# UMTS (3G)

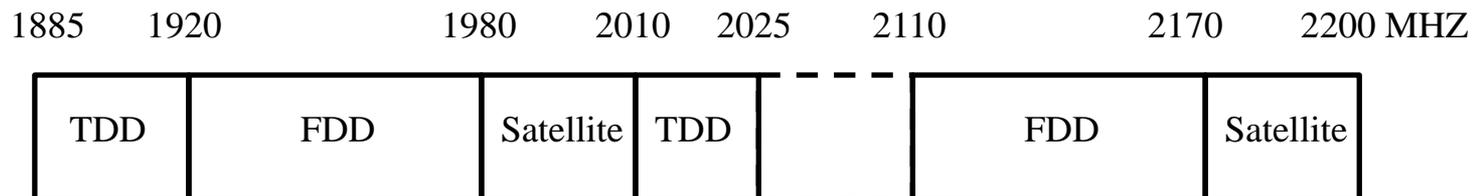
- UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*) désigne une technologie de IMT 2000 pour les systèmes 3G.
- C'est une norme définie par la WARC (*World Administrative Radio Conference*) de l'ITU (*International Telecommunications Institue*).
- Cette technologie permet la convergence d'Internet, de la téléphonie mobile et la télévision.
- Architecture: mode circuit pour le temps réel, mode paquet pour les autres services.
- Assure les communications terrestres et satellitaires.

# Services UMTS

- Visiophone de poche, communicateur personnel (agenda).
- Accès à l'Intranet et Internet.
- Services sur demande (vidéo, audio, journaux, cours de bourse..).
- Services automatisés (télésurveillance, télécommande des appareils...).
- Une plus grande mobilité et une plus grande couverture.
- Un service adaptable à la vitesse de transmission (par exemple l'utilisateur peut définir des paramètres pour perdre la vidéo mais conserver le son lorsqu'il est en vidéo conférence).

# Principe UMTS

- Débits
  - 144 kb/s en environnement extérieur.
  - 384 kb/s en environnement urbain extérieur.
  - 2 Mb/s proche de la cellule et en mobilité réduite.
- Utilisation des deux modes de duplexage.
- Fréquences
  - Nouvelles bandes

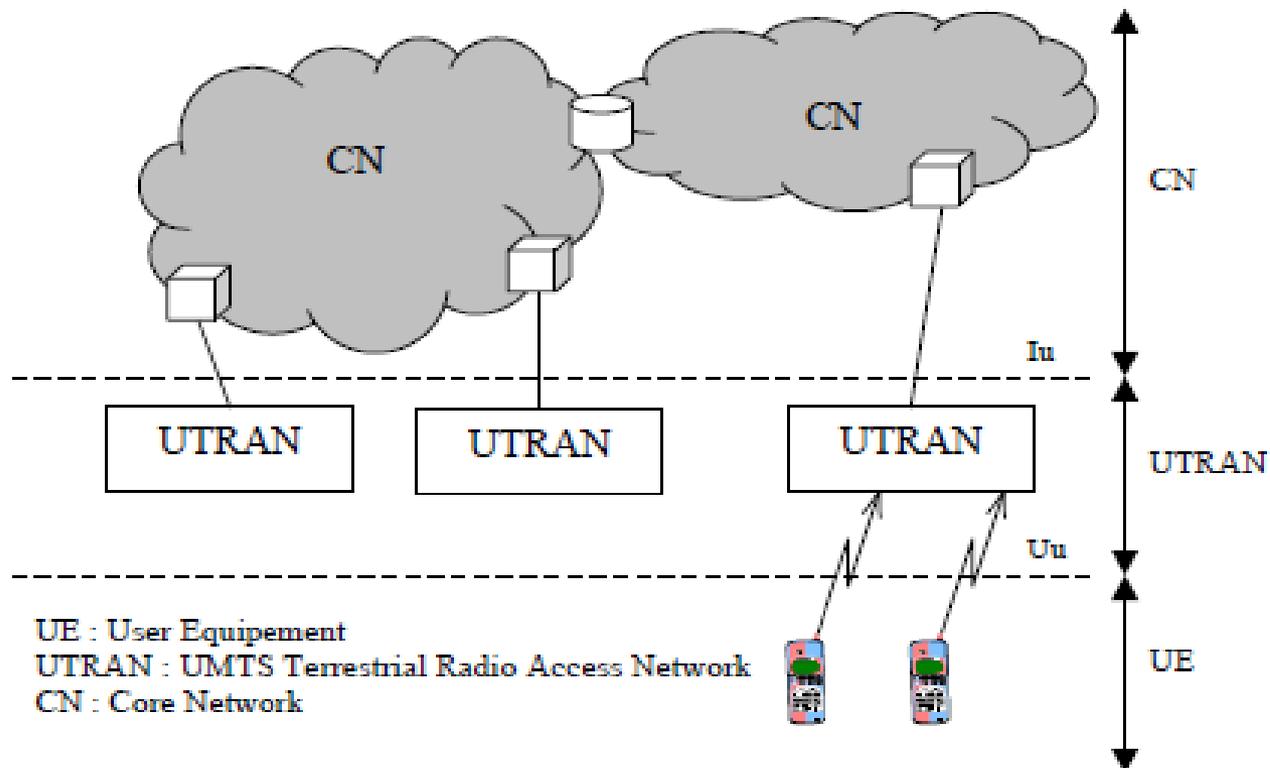


# Principe UMTS

- Couverture
  - Des fréquences plus élevées que la 2G, les cellules UMTS sont donc de taille plus petite.
  - Rayons de 100 m à 8 km.
  - Si l'abonné sort de la zone de service, le réseau GSM assure le relais.
- Une trame UMTS de durée 10 ms et divisée en 15 slots de 667  $\mu$ s.
- Utilisation des multiplexages TDMA et CDMA.

# Architecture UMTS

- UMTS fait la distinction entre la partie accès et les autres parties. Il est divisé en 3 domaines.



# Architecture UMTS

- Le réseau cœur (Core Network)
  - Assure la connexion entre les différents réseaux d'accès et entre le réseau UMTS et les autres réseaux comme le RTC, le réseau GSM, le réseau RNIS...
  - Fournit le support des services de télécommunications UMTS et gère les informations de localisation des utilisateurs mobiles ainsi qu'il contrôle les services et les caractéristiques du réseau.
  - Le réseau cœur est composé de deux domaines : le domaine à commutation de circuits CS (Circuit Switched domain) et le domaine à commutation de paquets PS (Packet Switched domain).

# Architecture UMTS

- Le réseau d'accès radio
  - Gère les ressources radio, l'établissement, la maintenance et la libération des canaux radio entre le terminal et le réseau cœur.
  - Permet aux utilisateurs mobiles de communiquer avec le réseau cœur.
  - Deux catégories de réseau d'accès sont définies:
    - le réseau de satellites d'accès radio USRAN (*UMTS Satellite Radio Access Network*).
    - le réseau terrestre d'accès radio UTRAN (*UMTS Terrestrial Radio Access Network*).

# Architecture UMTS

- L'équipement d'utilisateur (User Equipment)
  - C'est le terminal mobile qui est en charge d'établir une communication entre l'utilisateur et le réseau.
  - Il est connecté par une interface radio au réseau d'accès radio UTRAN.
- Le système d'opération et de maintenance
  - Utilisé par l'opérateur du réseau pour configurer les équipements et les maintenir en cas de pannes.

# Architecture UMTS

- Deux interfaces:
  - L'interface Iu assure la connexion entre le réseau d'accès UTRAN et le réseau cœur CN.
  - L'interface radio Uu assure la connexion entre le terminal UE et le réseau d'accès UTRAN.