

## Réseaux mobiles

Notes de cours de Réseaux  
(janvier 2000, maj 02/2004)

Christian Attiogbé

Christian.Attiogbe@lina.univ-nantes.fr

Faculté des Sciences et Techniques de Nantes

[www.sciences.univ-nantes.fr/info/perso/permanents/](http://www.sciences.univ-nantes.fr/info/perso/permanents/)

[attiogbe/enseignement/](#)



## PLAN

### **PARTIE I - Généralités**

- Introduction - Historique
- Services mobiles
- Transmission radio
- Réseaux fixes et réseaux mobiles



## PLAN (suite)

### – Trois générations de réseaux mobiles

- réseaux radio-mobiles (1 G)
- réseaux GSM (2 G)
- vers UMTS (3 G)

### **PARTIE II - Réseaux cellulaires et mobiles : bases des systèmes cellulaires**

- réseaux mobiles : ondes et propagation
- Méthodes d'accès
- Méthodes de transfert des données

## PLAN (suite)

### **PARTIE III - Réseaux GSM : bases, architecture**

- Architecture
- Méthodes d'accès

### **PARTIE IV - Réseaux de 3e génération : UMTS (introduction)**

- Caractéristiques
- de GSM à UMTS

## Bibliographie

- X. Lagrange, Philippe Godlewsky, S. Tabbane, *Réseaux GSM-DCS*, Hermes, 1995
- Joachim TISAL, *le radiotéléphone cellulaire GSM*, Paris, MASSON, 1995
- Joachim TISAL, *GSM : réseau et service*, Paris, MASSON, 1997
- Joachim TISAL, *Le réseau GSM, l'évolution GPRS : une étape vers UMTS*, Dunod 1999



## Bibliographie

- Voutay *GSM*,  
<http://www.multimania.com/voutay/gsm/>
- K. Al Agaha, G. Pujolle, G. Vivier *Réseaux de mobiles et réseaux sans fils*, Eyrolles 2001



## PARTIE I

### Généralités, concepts de base



## Les systèmes mobiles

On distingue les systèmes

- cellulaires,
  - sans fils,
  - de radio-messagerie,
  - etc
- deviennent de plus en plus importants



## Les services mobiles dans l'entreprise

| Service      | Description  |
|--------------|--|
| Messagerie   | Consultation et envoi, minimessages SMS pager et e-mails                           |
| Localisation | Plan d'accès, repérage en cas d'urgence , recherche de l'emplacement d'un véhicule |
| Agenda       | consultation, modification et synchronisation avec des collaborateurs              |
| Réservation  | consultation d'horaires de transports (avions, train, etc) achat de billets        |

## Les services mobiles dans l'entreprise

|                            |  |
|----------------------------|--|
| Informations urgentes      | alertes, annonces stratégiques, résultats financiers, minijournal et contrats        |
| Coût des services          | Connaissances des coûts des services accessibles à partir du mobile                  |
| Accès aux modules de l'ERP | comptabilité, finances, état des stocks, chaîne logistique et simulation commerciale |
| Intranet-Internet          | Accès à l'annuaire de l'entreprise, fiches, catalogues, références et administration |

## Réseau fixes vs mobiles

### Réseaux fixes

- Système filaire
- Usagers disposent d'un poste fixe (point d'accès réseau fixe).
- Point d'accès à une adresse physique

### Réseaux mobiles

- système sans fil,
- usagers itinérants,
- adressage logique,
- spectre radio (plages de fréquences)

## Evolution du mode de communication

– fixe



Fig. 1 – Syst. de communication filaire

– mobile

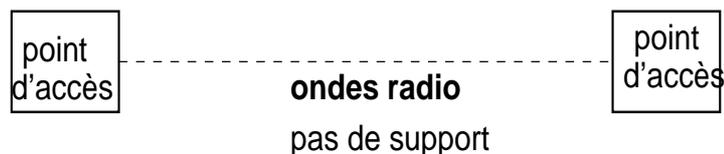


Fig. 2 – Syst. de communication mobile

## Transmission radio

L'utilisation du spectre radio pour les télécommunications est règlementée :

→ spectre radio obtenu auprès des instances officielles nationales ou internationales (UIT).

Le spectre radio est nécessaire au fonctionnement d'un système radiomobile :

→ il remplace le support dans les réseaux fixes.

## Evolution des systèmes mobiles

– ondes radio, Les ondes radio (ou RF :Radio Frequency) se propagent en ligne droite à la vitesse de  $3 * 10^8$  m/s dans le vide.

– évolution vers les systèmes cellulaires

Les systèmes cellulaires constituent actuellement le plus important du marché des radiocommunications mobiles.

## Evolution des systèmes mobiles : aperçu

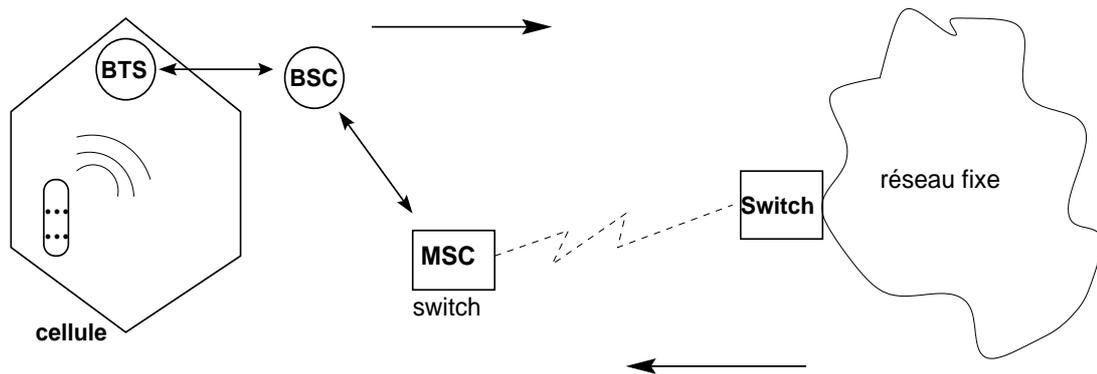


Fig. 3 – Accès : Emission/réception

## Réseaux fixes vs réseaux mobiles

### ⊗ Limitation du spectre

- **radio** : la capacité du spectre ne peut pas être étendue avec les mêmes possibilités que pour le fixe
- **fixe** : dans les systèmes filaires, on peut ajouter des cables supplémentaires pour accroitre les capacités.

## Réseaux fixes vs réseaux mobiles ...

### ⊗ Variation de la qualité

- **radio** : la qualité des liens de transmissions (liens radio) est variable à cause de
  - la mobilité des usagers,
  - changement de l'environnement.
- **fixe** : la qualité des liens de transmission est élevée et constante.



## Réseaux fixes vs réseaux mobiles ...

### ⊗ Variabilité des points d'accès

- **fixe** : les usagers communiquent via un point d'accès fixe
- **radio** : les usagers communiquent via un point d'accès variable

L'utilisateur peut changer de point d'accès réseau entre 2 connexions et au cours de la même connexion (**handover**).

⇒ gestion de la mobilité (2 niveaux).



## Réseaux fixes vs réseaux mobiles ...

⇒ gestion de la mobilité (2 niveaux) :

- du point de vue réseau : permettre au système de retrouver un abonné (localisation)
- du point de vue usager : éviter l'interruption d'une communication lors du déplacement, et du changement de point d'accès



## Réseaux fixes versus réseaux mobiles ...

### ⊗ Sécurité du support de transmission

- radio : Nécessité d'intégrer une notion de sécurité supplémentaire car les communications peuvent être écoutées, par n'importe qui sur le canal radio qui est communément utilisé.



## Réseaux fixes vs réseaux mobiles ...

### ⊗ Gestion des spectres

Les ondes radio : spectre radio + espace environnant ces ondes.

Les ondes radio sont des ressources mondialement partagées (télévision, radiodiffusion, télécommunication, etc)

⇒ partage du spectre, réglementé au niveau national et international.

⇒ établissement de règles et procédures pour la planification et l'utilisation de bande de fréquences.



## Organismes de gestion des mobiles

UIT (Union Internationale de Télécommunications)

région 1 : Europe, Afrique et Moyen orient,

région 2 : Amérique et Groenland,

région 3 : Asie, Océanie

Pour chaque région → plans de fréquences correspondants aux besoins locaux.



## Organismes de gestion (suite)

### Niveau Europe

- CEPT (Conférence Européenne d'Administration des Postes et Télécommunications)
- ETSI (European Technical Standard Institute)  
Etablit les spécifications techniques pour les systèmes radio qui sont exploités en Europe (**GSM, Hyperlan, etc**)



## Chapitre : réseaux cellulaires

**Réseau cellulaire** : un réseau de télécommunications avec les caractéristiques suivantes

- utilisation des **ondes radios**,
- **télécommunications mobiles**,
- **mobilité des usagers du réseau**,
- zone de couverture étendue.



## Réseaux cellulaires : ondes radios

C'est le **support de la communication dans un réseau mobile**.

C'est le **lien entre équipement d'un usager et les équipements de l'opérateur de télécommunications**



## Réseaux cellulaires : système cellulaire

Le concept de **cellule** est introduit comme une solution à la contrainte de la limitation de la ressource radio (spectres de fréquences).

Une **cellule** =

- zone géographique couverte par un émetteur et utilisant une plage de fréquences pour les communications qu'elle couvre.
- **Pas d'interférence avec des cellules voisines.**

Les terminaux (mobiles, portables) utilisés par les usagers sont gérés par rapport à une cellule.



## Réseaux cellulaires : système cellulaire ...

Taille d'une cellule : variable (des centaines de mètres à dizaines de km).

Une cellule de petite taille permet de gérer plus de communications qu'une cellule de grande taille.

Un terminal peut changer de cellules du fait de la mobilité de l'utilisateur sans interruption de la communication. Les cellules se relaient : C'est le **Handover**.

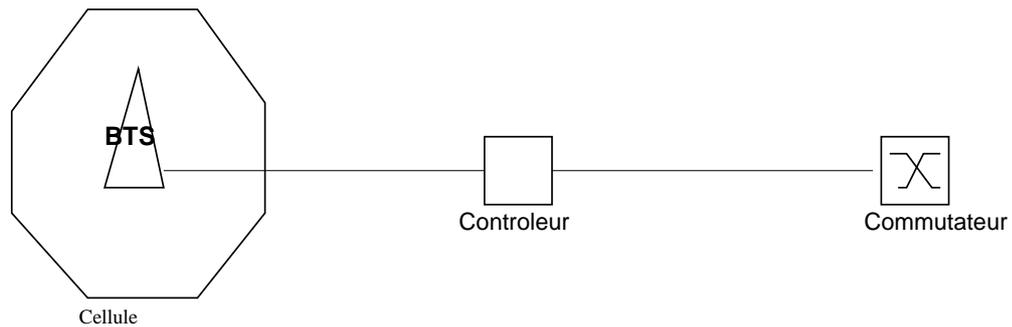


## Architecture d'un réseau radio-mobile

- Un ensemble de cellules reliées à des stations de contrôle (**Base Station Controller**)
- Chaque cellule est gérée par une station d'émission et réception de base (**Base Transceiver Station : BTS**)



## Architecture d'un réseau radio-mobile



## Architecture d'un réseau radio-mobile ...

- ...
- Les stations de contrôle sont interconnectées et disposent de bases de données contenant des informations relatives aux usagers et nécessaires à l'exploitation du réseau.  
Les stations sont connectées aux centres de commutation (des mobiles).
- Des centres de commutation permettent d'établir des passerelles avec le réseau fixe.

## Canaux logiques

La communication entre un mobile et une station de base (interface radio) se fait grâce à un canal logique.

Un canal logique est constitué d'une paire de fréquences constituée du canal physique entrant et du canal physique sortant.

On a ainsi sur une paire de fréquences, un slot de chaque trame qui sert à la communication avec un mobile (canal Full Rate).



## Canaux logiques ...

Pour se rattacher à une station de base, plusieurs fonctions de contrôle associées à différents types de canaux logiques sont définies :

- établir une communication,
- surveiller le déroulement d'une communication,
- assurer les commutations de cellules
- transfert de données, informations système, relevés de mesures, messages de contrôle.



## Systèmes radio-mobiles : fonctionnement des canaux

comportement d'un canal en contexte radio-mobile :

- Propagation des ondes radio sur un canal
- Les ondes radio font partie du spectre des ondes électromagnétiques.



## Systèmes radio-mobiles : les antennes

- ▷ L'antenne radio fait l'interface entre l'onde émise (ou reçue) et l'onde qui se propage dans l'espace.
- ▷ concept de **directivité**  
L'onde électromagnétique se propage dans une direction privilégiée



## Systèmes radio-mobiles : les antennes

### Caractéristiques d'une antenne

▷ **réciprocité** :

capacité d'émettre et de recevoir à une certaine fréquence

1. **diagramme de rayonnement** : représentation graphique des propriétés de rayonnement de l'antenne en fonction des coordonnées spatiales

2. **reciprocité** : capacité de concentrer l'énergie dans des directions spécifiques

3. **gain (en dB)** :  $\sim$  puissance (de l'onde)

## Systèmes radio-mobiles : exemples d'antenne

**antennes filaires** (les plus courantes) utilisées sur les véhicules, les bâtiments, les bateaux, etc

Il en existe de différents types : **fil rectiligne dipole**, **boucle**, **élice** Ces types peuvent être combinés dans une antenne unique.

**antenne de type ouverture rayonnante** plus récent que le filaire, utilisation réservée à de plus hautes fréquences, facilité de montage → très souvent utilisée dans le domaine de l'aviation.

## Systèmes radio-mobiles : exemples d'antenne

**antenne à réflecteurs** ; consiste en une source illuminant une surface réfléchissante.

Principalement utilisées pour les communications spatiales nécessitant des antennes pour communiquer sur des distances importantes.



## Systèmes radio-mobiles : Dégradation du signal

**La propagation du signal entre l'émetteur et le récepteur entraîne la dégradation de la qualité du signal (dûe à plusieurs phénomènes)**

⇒ erreurs dans les messages reçus, pertes d'information pour l'utilisateur ou le système de communication.

Les principales dégradations : **atténuation, brouillage**



## Dégradation du signal : atténuation

- pertes de propagation dues à la distance parcourue par l'onde
- atténuations de puissance du signal (obstacles, végétation, atmosphère, etc)
- évanouissements de la puissance dues aux effets induits par le phénomène multitrajet  
(multitrajet = réflexion du signal sur différents obstacles)

## Dégradation du signal : brouillage

- dûs aux interférences créées par d'autres émissions (type de perte très important dans les systèmes à réutilisation de fréquences).  
on a 2 types d'interférences dans un système radio mobile :
  1. interférences co-canal : dûes aux émissions d'autres équipements sur la même bande de fréquence
  2. interférences sur canal adjacent : dûes aux émissions d'autres équipements sur des fréquences adjacentes.
- dûs aux bruits ambiants (provenant d'émissions d'autres systèmes)

## Conclusion

Les caractéristiques de transmission constituent une des différences fondamentales entre *fixe* et *mobile*.

Problèmes de transmission  $\Rightarrow$  principales limites de la capacité des systèmes mobiles.

## Réseaux mobiles : Canaux et accès aux ressources

Dans un système radio-mobile

- impossible de réserver de façon permanente un canal à chaque usager,
- les ressources sont limitées,
- l'accès aux terminaux est partagé.

$\Rightarrow$  Méthodes d'accès

## Méthodes d'accès

Les communications utilisent la bande de fréquence de **largeur limitée** allouée au système mobile.

Cette largeur de bande doit être **utilisée au mieux** ⇒ **partage de façon à écouler le maximum de communications.**

⇒ **partage en canaux qui sont alloués à la demande aux mobiles** pour l'échange entre mobiles ou en général en réseaux.

**3 principales méthodes d'accès multiples** (dont dépend la définition des canaux de communication)



## 3 Méthodes d'accès : Protocoles d'accès aléatoires

– **Accès Multiples à Répartition dans les Fréquences AMRF (ou FDMA)** : Frequency Division Multiple Access.

Le système alloue une fréquence à la station

– **Accès Multiples à Répartition dans le Temps AMRS (ou TDMA)** : Time Division Multiple Access

Chaque station utilise une tranche de temps données (0,57ms en général pour la téléphonie)



### 3 Méthodes d'accès...

#### – Accès Multiples à Répartition dans les Codes AMRC (ou CDMA) : Code-Division Multiple Access)

L'émission encode le signal en utilisant une séquence pseudo-aléatoire, que le récepteur connaît et utilise pour décoder le signal reçu.

Chaque séquence aléatoire correspond à un canal de communication différent.

### Méthodes d'accès : Protocoles d'accès aléatoires

Quatre catégories principales de protocoles :

⊗ **non "slottés"** et **sans écoute préalable du canal**

Quand une station a un message à envoyer,

- elle l'émet sur le canal radio sans aucune précaution.
- Les abonnés émettent leurs paquets de façon arbitraire

⇒ **risques de collisions entre paquets** quand les transmissions se recouvrent dans le temps.

## Méthodes d'accès : Protocoles avec écoute préalable du canal

- ⊗ **non "slottés"** avec **écoute du canal avant l'émission**  
⇒ **réduction des collisions** mais en contrepartie, la perte d'une portion de capacité.

La perte est due à la période d'écoute avant émission.

## Méthodes d'accès : Protocoles d'accès aléatoires

- ⊗ **Protocoles "slottés"** sans **écoute du canal**
- N'**autoriser les débuts d'émissions qu'en certains instants** particuliers.
  - Le **canal est découpé en intervalle de temps (slots)** identiques à ceux de la méthode TDMA dont les débuts sont les mêmes pour toutes les stations.
  - Les **messages doivent** pour cette raison tous **avoir une longueur maximale** d'une durée égale à un slot.

## Méthodes d'accès : Protocoles d'accès aléatoires

- ⊗ **Protocoles "slottés" sans écoute du canal ...**
  - Il y a **exclusion sur un slot** (sinon collision)
  - quand une collision entre deux paquets se produit, le canal est inutilisable pendant au plus un slot
    - **réduction des temps d'inutilisation** de la bande.



## Méthodes d'accès : Protocoles tramés avec réservation

- ⊗ **Protocoles "slottés" avec écoute du canal**
  - **utilisation des intervalles de temps (slots)**
  - **écoute préalable du canal afin de réserver des slots.**

Ce protocole est **souvent utilisé avec les systèmes de transmission par satellite.**



## Les mobiles : transfert de données

Le **téléphone fixe** fonctionne dans un **environnement analogique** avec un modem.

Un **terminal mobile** est **numérique**.

Dans un mobile il y a un **système transformant la voix (analogique) en un signal numérique** (suite de bits).

Avant d'être transmis par voie hertzienne, le signal subit une **compression** par un algorithme prévu pour la voix.

⇒ **perte de qualité du signal**.



## Les mobiles : transfert de données ...

Perte de qualité ⇒ **inadéquat pour images, texte, etc**

**Une solution** est de **ne pas avoir de modem dans le mobile** mais **d'utiliser celui fourni par l'opérateur**.

On transmet donc les données

- **directement par voie hertzienne vers l'opérateur** et ensuite
- **l'opérateur retransforme ces données pour qu'elles soient compréhensibles** par le destinataire.



**PARTIE II**  
**Les 3 générations de mobiles**  
**Réseaux GSM**  
**fondements, architecture, interface**



**Chapitre : les trois premières générations de mobiles**

G1 : téléphones mobiles analogiques

G2 : réseaux GSM (Global System for Mobile Comm.)

G3 : réseaux UMTS

(Universal Mobile Telecommunications System)



## Première génération (1970...)

Les téléphones mobiles à communication analogique.

La largeur de la bande de fréquences était entre 15 et 30 KHz suivant les systèmes.

A l'aide d'une **interface radio**, le **mobile** communique avec l'**antenne centrale** se trouvant dans sa **cellule**.

Une **cellule** étant une **zone géographique** de quelques dizaines de m<sup>2</sup> à quelques km<sup>2</sup>.

**Macrocellules**



## Première génération (1970...)

Pour **couvrir tout le territoire nécessaire**, l'opérateur dispose de **nombreuses cellules se chevauchant** pour permettre ainsi le passage du mobile d'une cellule à l'autre **sans coupure de communication**.

Les interfaces radio peuvent être différentes suivant les pays :  
→ d'où un **problème de compatibilité en fonction du lieu où l'on se trouve**.



## G1 : Les systèmes

- NMT (Nordic Mobile Telephone) qui utilisait des fréquences de 450 MHz puis 900 MHz desservant 180 puis 1999 canaux,
- AMPS (Advanced Mobile Phone Service) dont les fréquences oscillaient entre 800 et 900 MHz pour desservir 832 canaux.

## G1 : Technique d'accès et fréquence

La FDMA (Frequency Division Multiple Access) est utilisée.

Pour chaque utilisateur désirant communiquer, le système alloue une fréquence à celui-ci pour envoyer et recevoir les informations de l'antenne centrale de la cellule.

Si l'utilisateur sort de la cellule, la nouvelle cellule va lui allouer une autre fréquence.

La taille de la cellule dépend de la fréquence utilisée.

Si l'on désire que celle-ci soit élevée, la cellule devra être de petite taille.

## Deuxième génération (1987) : Réseau cellulaire numérique

En 1987 le groupe d'étude **GSM** a finalisé une première version d'un système de communication mobile.

Il définit l'interface radio de même que le traitement de la parole téléphonique.

Dans la gamme des 1800 MHz, la norme GSM fût finalisée en 1990.

Elle comprend désormais tout ce qui est nécessaire à une communication numérique par mobiles.

**Macro, micro, et picocellules.**



## GSM : Architecture

Comme pour la première génération, **le territoire est découpé en cellules** dans lesquelles on retrouve une **BTS (Base Transceiver System)**.

La **communication entre le mobile et cette station se fait à l'aide de canaux de signalisation**.

Les **BTS sont reliées à des BSC (Base Station Controller)**.



## GSM : Architecture ...

Un commutateur (**MSC : Mobile Service Switching Center**) communique avec deux bases de données :

- **HLR (Home Location Register)** qui gère les mobiles,
- **VLR (Visitor Location Register)** qui gère les visiteurs se trouvant dans la cellule (table mise à jour lors des déplacements de cellule en cellule).

## GSM : Technique d'accès

La technique d'accès employée est le **TDMA**, ou une combinaison **CDMA/TDMA**.

Avec TDMA, chaque station utilise une tranche de temps donnée.

**Chaque canal radio est découpé en 8 tranches de 0,57 ms.**

On comprime la **parole sur une bande de 22,8 KHz.**

Une correction d'erreur est possible.

## Troisième génération : UMTS

(Universal Mobile Telecommunications System)

pas encore normalisée mais devrait être utilisée dans les prochaines années.

Le **grand changement** provient du fait que **pour un même mobile, on pourrait avoir plusieurs numéros d'appel** (professionnel, personnel, etc).

Une autre possibilité serait d'être partout chez soi.



## Troisième génération : UMTS ...

L'utilisateur pourrait se servir de n'importe quel mobile car une fois identifié, ce dernier prendrait les caractéristiques liées à son abonnement.



## Troisième génération : GPRS

(Global Packet Radio System)



## Téléphonie mobile : réseau GSM

Concerne les **terminaux utilisant la voie hertzienne comme outil de communication**

→ pour la **voix** et

→ pour le **transfert de données**.



## Les mobiles - généralités

Un **mobile** = un boîtier contenant divers matériels qui le transforment en terminal (en déplacement).

Pour un **téléphone fixe**, un usager fixe est appelé (et retrouvé) par un **adressage physique**.

L'appelant dirige son appel vers une prise fixe sur laquelle est connecté l'appelé.



## Les mobiles - généralités

En **téléphonie mobile**, la communication vers un mobile se fait grâce à un **adressage logique**.

Le mobile peut se trouver n'importe où ; il est nécessaire de trouver sa position géographique (**localisation**).



## Généralités

On distingue trois sortes de mobiles :

- Les véhicules qui changent de zone géographique,
- Les mobiles restants immobiles,
- Les mobiles réalisant de petits déplacements.

## Les mobiles - Téléphone GSM

(Global System of Mobile Communication)

A chaque mobile GSM est attribué un unique numéro IMEI

(International Mobile Equipment Identification) qui dépend :

- du fabricant,
- du modèle,
- du numéro de série.

## Les mobiles - Téléphone GSM

Pour utiliser un GSM, il faut insérer une **carte SIM (Subscriber Identification Module)** à numéro unique.

La **carte SIM** possède :

- **une mémoire RAM** (stockage des numéros personnels ou des messages) mais
- **pas de numéro d'appel.**

C'est l'opérateur de l'utilisateur qui attribue un numéro d'appel à la carte SIM.



## Téléphone GSM - principes

Dans un réseau radio-mobile contrairement à un réseau fixe, **l'abonné peut se rendre à n'importe quel endroit du réseau.**

Par conséquent les **données relatives à l'abonné** doivent être **enregistrées dans une base de données qu'on peut consulter et mettre à jour à partir de n'importe quel point du réseau.**



## Téléphone GSM - principes

Dans tous les systèmes radio-mobiles la **largeur de bande** (spectre de fréquences disponibles) est le facteur le plus important.

Le nombre des fréquences radio attribuées à ces services est limité.

Pour **exploiter au mieux** (max. d'utilisateurs en même temps, dans une même zone, avec la largeur de bande disponible) le système a été conçu en **partageant l'aire de service (Service Area)** en parties adjacentes appelées **cellules**.

## GSM - principes : cellule

Chaque **cellule dispose d'un BTS** ("Base Transceiver Station" ou **Station Radio de Base**) qui agit sur un ensemble de canaux radio, **différents de ceux utilisés dans les cellules voisines** pour **éviter toute interférence**.

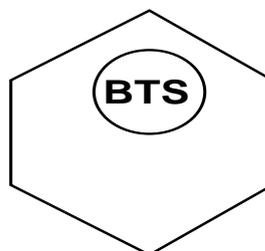


Fig. 4 – Cellule et Base Transceiver Station

## Réseaux GSM

Les bandes dédiées sont :

- voie montante : 890-915 MHz (soit 25MHz),
- voie descendante : 935-960 MHz (soit 25MHz).

L'extension GSM/DCS utilise pour

- voie montante : 1710-1785 MHz (soit 75MHz),
- voie descendante : 1805-1880 MHz (soit 75MHz).

## GSM - principes : cluster

On appelle **Cluster**, l'ensemble des cellules qui utilisent tout le spectre radio disponible.

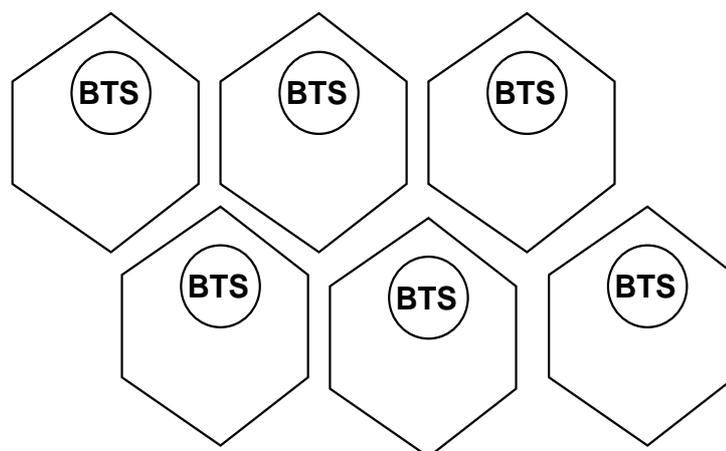


Fig. 5 – Cluster

## GSM - principes : cluster

On considère :

- des **cellules de forme régulière**,
- des **clusters réguliers** pour couvrir une surface de service.

En théorie on imagine des cellules de forme hexagonale, en réalité leur forme est irrégulière à cause de la propagation non homogène du signal.

## GSM - principes

Plusieurs cellules peuvent utiliser la même fréquence si elles sont assez éloignées.

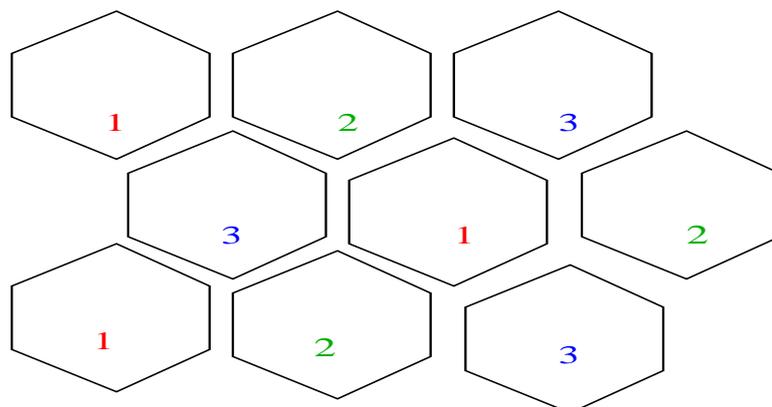


Fig. 6 – Cellules adjacentes

## GSM - principes

Le système GSM se sert de **techniques qui visent à réduire considérablement les interférences entre cellules.**

En effet si on **réduit le diamètre des cellules,**

→ la **capacité du système augmente mais on diminue la distance de réutilisation** des fréquences (donc la distance entre cellule)

→ donc **augmentation de l'interférence co-canal.**

## Réseaux GSM : architecture

- **Sous-système radio** (Base SubSystem)
  - **BTS**
  - **BSC**
- **Sous-système réseau** (Network SubSystem)
  - **MSC** et les bases de données **VLR, HLR**
- **Interfaces réseau**

## Réseaux GSM : architecture

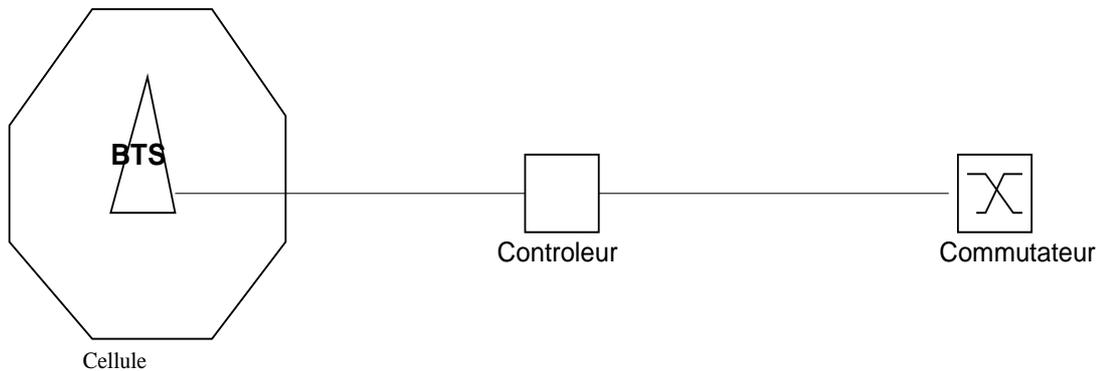


Fig. 7 – Architecture cellulaire

## Réseaux GSM : architecture

Cette architecture est déclinée selon différentes topologies.

On y distingue principalement :

- un **sous-système radio** constitué de la station de base et de la station de contrôle,
- un **sous-système réseau** pour l'établissement des appels et la mobilité et

Pour l'exploitation du réseau, un autre sous-système d'exploitation est nécessaire.

## Réseaux GSM : architecture - Le sous-système radio

Ensemble des composants permettant de **gérer l'échange et la transmission de données** :

- station de base (ou **Base Transceiver Station : BTS**),
- contrôleur de station (ou **Base Station Controller : BSC**)



## Réseaux GSM : architecture - La BTS

la **BTS** un ensemble d'émetteurs-récepteurs,

- **gère les problèmes de transmission radio** : modulation / démodulation, égalisation, codage correcteur d'erreur.
- **réalise des mesures radio envoyées à la station de contrôle** pour vérifier la qualité des communications en cours.
- **gère plusieurs communications simultanément** à l'aide des porteuses qui lui sont associées.

Plusieurs BTS sont nécessaires (→ multiplier le nombre de communications) pour couvrir une zone urbaine à fort besoin en communication.



## Réseaux GSM : architecture - La BSC

La BSC est la station de contrôle qui gère la ressource radio.

- alloue les canaux de communications,
- exploite les mesures effectuées par les BTS pour contrôler les puissances d'émission des terminaux (mobiles).
- gère le handover,
- joue le rôle de concentrateur vers le centre de commutation (MSC).

## Réseaux GSM : topologie du ss-système radio

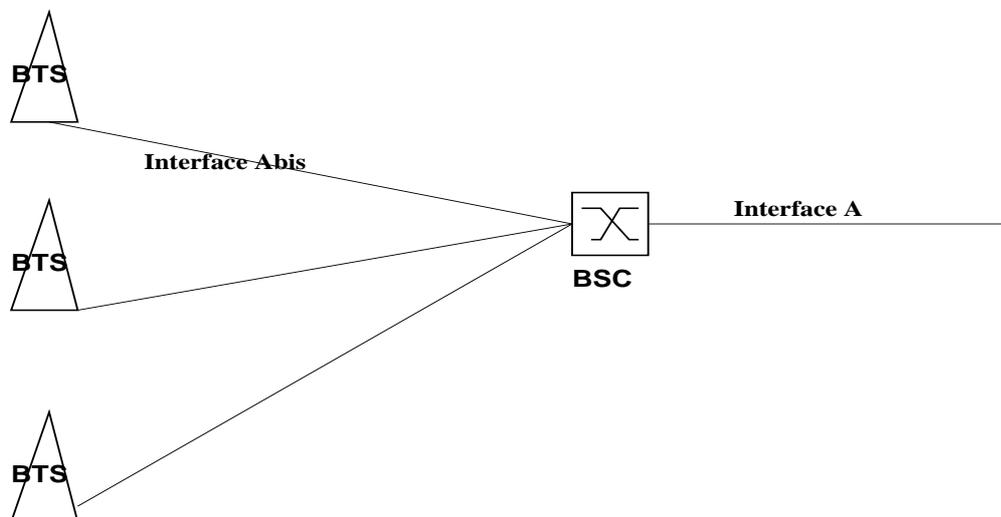


Fig. 8 – Topologie étoile

## Réseaux GSM : Topologie du sous-système radio

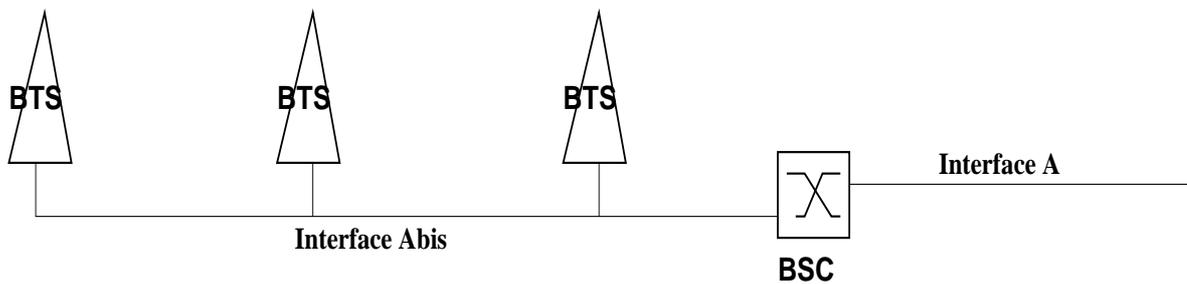


Fig. 9 – Topologie chaînée

## Réseaux GSM : architecture - Le sous-système réseau

Le sous système réseau est constitué

- d'un commutateur de service mobile (**Mobile services Switching Centre : MSC**)
- de bases de données de localisation pour les usagers (**Home Location Register : HLR**) et la gestion des handover (**Visitor Location Register : VLR**).

## Réseaux GSM : architecture - Le HLR

Base de données pour la gestion des abonnés de l'opérateur.

Contient :

- identité internationale de l'abonné,
- numéro d'annuaire de l'abonné,
- profil de l'abonnement (services souscrits, etc).

Pour la localisation, elle contient pour chaque abonné,

- le numéro du VLR où il est enregistré (à partir des informations émises par le terminal et reçu par les BTS)



## Réseaux GSM - Gestion des abonnés

- à chaque abonné est associé un HLR unique (qui est identifié à partir du numéro d'appel).
- gestion centralisée : un HLR peut gérer plusieurs abonnés
- gestion répartie : le MSC le plus proche du point de communication principal de l'utilisateur contient les données de l'utilisateur.



## Réseaux GSM - Authentification des abonnés

- un centre d'authentification (**Authentification Centre : AuC**) mémorise pour chaque abonné une clé secrète,
- la **clé est utilisée pour authentifier l'abonné et chiffrer** ses communications,
- le **centre AuC est associé à un HLR**



## Réseaux GSM : Le commutateur du service mobile

Le **commutateur est souvent couplé avec un VLR** : base de données qui mémorise les informations des usagers présents dans les cellules du MSC.

**Le VLR mémorise des données similaires au HLR mais ne concernant que les usagers mobiles présents dans la zone du MSC.**

- **Etablissement des communications entre les mobiles et les autres MSC.**
- transmission des messages,
- **exécution des handover entre deux BSC différentes,**
- **dialogue avec le VLR pour gérer la mobilité.**



## Réseaux GSM : Le commutateur du service mobile

Deux types d'appel sont gérés par les MSC :

- mobile vers mobile  $\Rightarrow$  liaison entre MSC,
- mobile vers réseau fixe  $\Rightarrow$  utilisation de la fonction passerelle (Gateway MSC).

## Norme GSM : Les interfaces réseau

**Interfaces** = protocoles de communication entre entités du GSM (interconnexion réseaux au niveau international)

| Nom         | Localisation          | Utilisation                          |
|-------------|-----------------------|--------------------------------------|
| <b>Um</b>   | <b>Terminal - BTS</b> | Interface radio                      |
| <b>A</b>    | <b>BSC - MSC</b>      | transfert de données, divers         |
| <b>Abis</b> | <b>BTS - MSC</b>      | transfert des communications, divers |
| <b>B</b>    | <b>MSC - VLR</b>      | transfert de données, divers         |

## Norme GSM : Les interfaces réseau

| Nom       | Localisation      | Utilisation                                    |
|-----------|-------------------|--|
| <b>C</b>  | <b>GMSC - HLR</b> | interrogation HLR pour appel entrant           |
| <b>D1</b> | <b>VLR - HLR</b>  | gestion des infos d'abonnés et de localisation |
| <b>D2</b> | <b>VLR - HLR</b>  | services supplémentaires                       |
| <b>E</b>  | <b>MSC - MSC</b>  | exécution des handover                         |

L'interface B n'est pas normalisé.

Le respect de l'interface D est indispensable pour faire communiquer un MSC/VLE avec le HLR.



## Norme GSM : Les interfaces réseau

| Nom      | Localisation     | Utilisation                            |
|----------|------------------|--|
| <b>F</b> | <b>MSC - VLR</b> | vérification de l'identité du terminal |
| <b>G</b> | <b>VLR - VLR</b> | gestion des informations d'abonnés     |
| <b>H</b> | <b>HLR - AuC</b> | échange des données d'authentification |



## Chapitre - Réseaux GSM : les protocoles d'accès



### GSM - les principes d'accès

Le standard GSM utilise :

- la technique d'accès à **division de fréquence (FDMA)**
- associée à la technique à **division de temps (TDMA)**.

Il s'agit de :

- **8 canaux vocaux (Full Rate)** ou **16 canaux vocaux (Half Rate)** disposés en multiplexage dans un canal radio individuel,
- avec les **informations de contrôle des erreurs**, nécessaires à la diminution de l'interférence due au bruit, et
- avec les **informations qui permettent la synchronisation et la signalisation**.



## Réseau GSM - Protocole d'accès : FDMA

- Chaque bande de fréquences est divisée en 124 canaux d'une longueur de 200kHz.  
Soit  $124 \times 200\text{kHz}$
- les fréquences (appelées porteuses) sont allouées de façon fixe au BTS.

## Réseau GSM - Protocole d'accès : TDMA

Chaque porteuse est divisée en intervalles de temps : **slots**.

Durée d'1 slot (norme GSM) fixée sur une horloge de 13MHz :

$$T_{slot} = 75/130 * 10^{-3} = 0.5769 \text{ ms}$$

Dans un slot on transmet un signal radioélectrique : **burst**.

## Réseau GSM - Accès : trame TDMA

Partage TDMA  $\Rightarrow$  8 slots par paquet sur une porteuse.

Durée d'une trame TDMA

$$T_{TDMA} = 8 \times T_{slot} = 4,6152 \text{ ms}$$

## Réseau GSM - Trame TDMA : allocation usager

– canal physique demi-débit (Half Rate)

Chaque usager n'utilise qu'1 slot toutes les 2 trames TDMA

– canal physique plein débit(Full Rate)

Chaque usager utilise un slot par trame TDMA.

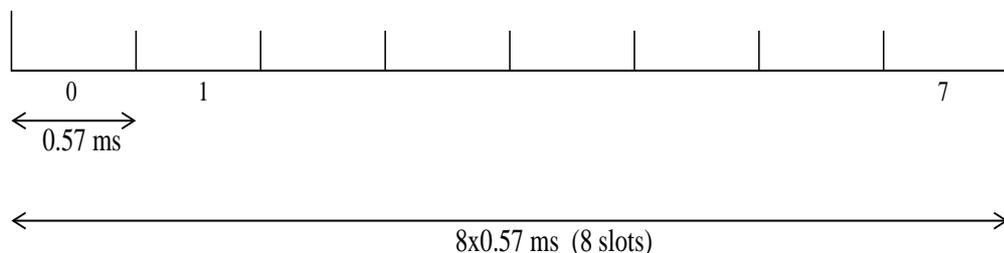


Fig. 10 – Trame TDMA

## Protocole d'accès TDMA : Saut de fréquence

Pour augmenter la capacité d'un système GSM :

Utiliser plusieurs fréquences porteuses pour un même canal physique.

un canal physique utilise des slots dans des trames TDMA sur un ensemble de porteuses.

## Protocole d'accès TDMA : Saut de fréquence

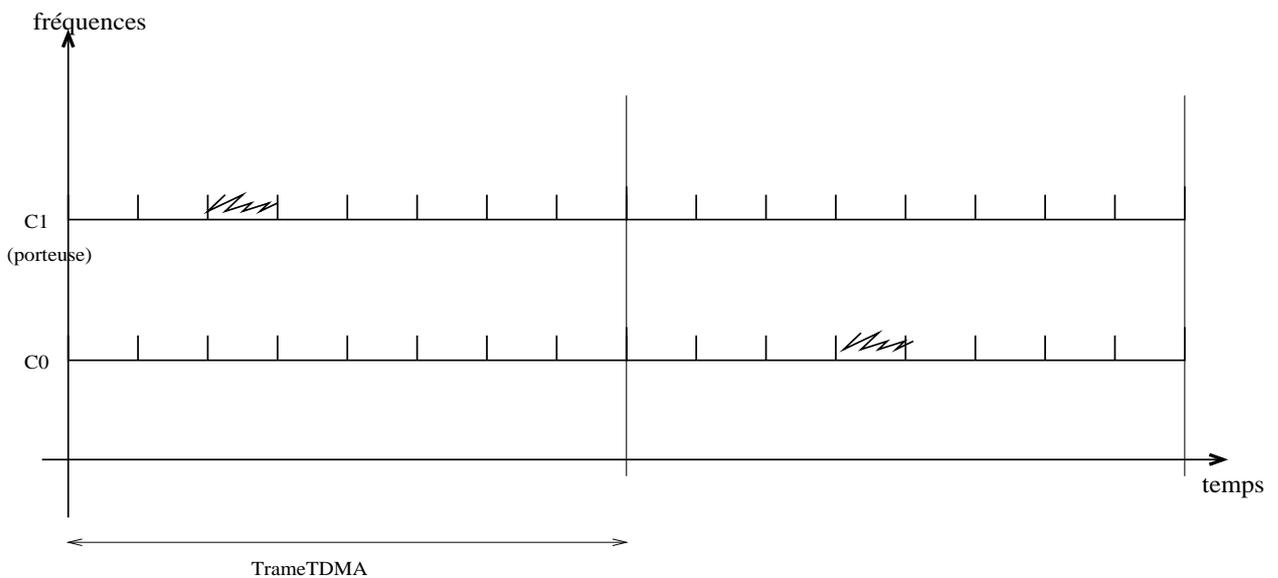


Fig. 11 – Principe saut fréquence TDMA

## Protocole d'accès TDMA : format du burst

Dans chaque slot (156,25 bits) :

- un burst (148 bits),
- une période garde (30,46  $\mu$ s pour 8,25bits)

Dans chaque burst :

- des bits de données (114bits),
- période de garde.



## Protocole d'accès TDMA : format du burst...

La période de garde permet de compenser les temps de transmission entre le mobile et la station de base.

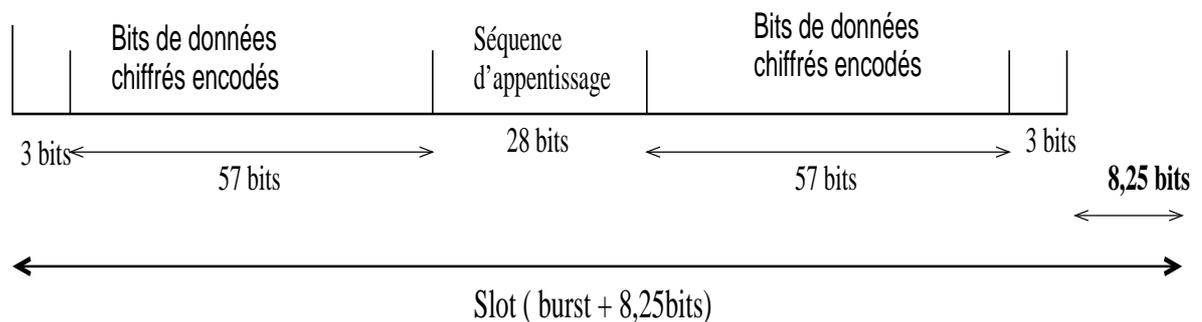


Fig. 12 – Format du Burst



## Réseaux GSM : Utilisateurs et accès au réseau

- A la **mise sous tension d'un mobile**,
- il commence par **passer en revue la bande de fréquences disponibles de la cellule**.
  - Il essaie ainsi de **se connecter à une station de base**.
  - Lorsque la **connexion est établie**, les bases de données **HLR et VLR sont mises à jour**.
  - Lorsque le **visiteur change de cellule**, → **maj des tables VLR de la nouvelle et de l'ancienne cellule**.



## GSM : Accès - Emission/Réception : Appel

Lorsqu'un utilisateur veut **passer un appel**(*montant*),  
→ **le mobile utilise le canal sémaphore pour obtenir une bande passante**.

Le numéro passe par le **centre de commutation des services mobiles (MSC)** qui est ensuite dirigé vers les commutateurs du réseau fixe.



## GSM : Accès - Emission/Réception Réception

Lorsqu'un appel doit aller vers un mobile (**descendant**),  
→ il est envoyé vers le MSC le plus proche.

Ce dernier l'envoie vers l'enregistreur de localisation nominal.  
Il est ensuite envoyé vers le MSC concerné qui le **passé alors à la station de base du mobile**.

Le mobile peut alors répondre.

## GSM : Accès - Emission/Réception

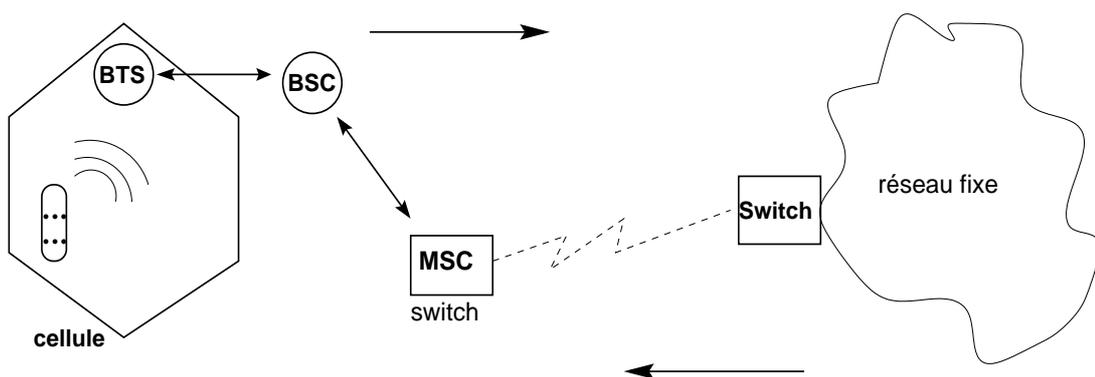


Fig. 13 – Accès : Emission/réception

## Conclusion - Réseaux mobiles et GSM

Fondements relativement bien établis.

Exploitation en cours.

Multiplication des applications.

Développement (analyse+spécification+vérification) et mise au point des protocoles.



## PARTIE III - troisième génération introduction à UMTS



## Troisième génération (G3) : réseau UMTS

(Universal Mobile Telecommunications System)

(pas encore normalisée mais devrait être utilisée dans les prochaines années.)

Le grand changement provient du fait que **pour un même mobile, on pourrait avoir plusieurs numéros d'appel** (professionnel, personnel, etc).

Une autre possibilité serait d'être partout chez soi.

L'utilisateur pourrait se servir de n'importe quel mobile car une fois identifié, ce dernier prendrait les caractéristiques liées à son **abonnement**.



## G3 : Caractéristiques techniques

**Codage numérique de la voix** avec un débit de 4 Kbits par seconde.

La modulation utilisera les techniques classiques (fréquence, phase ou amplitude).

L'**accès au canal radio** utilisera la technique **TDMA** comme dans la deuxième génération.

Les chercheurs espèrent disposer d'un **débit vers le réseau de 2 Mbits par seconde** ce qui permettrait d'avoir du **multimédia** (image, son, ...).



### G3 : Caractéristiques techniques

La taille de la cellule a une grande importance pour les fréquences utilisées.

Dans un lieu où il y a beaucoup d'utilisateurs, il va falloir utiliser des hautes fréquences et par conséquent avoir de petites cellules.

La méthode permettant de détecter les collisions n'a pas été définie précisément bien qu'une solution serait la méthode CSMA/CD comme dans Ethernet.



### De GSM à UMTS

Le succès international des systèmes GSM,  $\Rightarrow$  développement du radiotéléphone mobile.

A présent, passage à la génération suivante de services mobiles, l'UMTS.

(Universal Mobile Telecommunications System)

$\Rightarrow$  permettra l'apparition de nombreux services nouveaux grâce aux technologies larges bandes.



## Objectifs de la norme UMTS

Intégrer tous les réseaux en un seul et leur adjoindre des capacités multimédia (haut débit pour les données).

La couverture de tous les réseaux suppose :  
une complémentarité offerte par des terminaux multimodes et multibande.

De tels terminaux existent déjà (GSM/DECT, GSM/PCS, GSM/DCS, GSM/PHS).



## Objectifs de la norme UMTS

Les terminaux sont en particulier des terminaux bimodes satellite/terrestre, dont certains sont en développement.

Il en existe également en version tri-modes analogique, numérique, satellitaire.



## UMTS : Comment ?

Dès 2001, l'UMTS a proposé essentiellement des services vocaux.

La communication de données n'est pas oubliée, c'est un facteur différenciant l'UMTS des systèmes de 2e génération.

En 2000, le GSM permettait, en mode circuit, le transfert de données avec un débit max de 9.6 kbit/s.

Il est envisagé de développer la transmission à plus haut débit en mode circuit (HSCSD) et la transmission de données en mode paquet (GPRS, EDGE).



## UMTS : Comment ?

### Quelles évolutions du GSM seront mises en œuvre ?

(investissements importants à engager, perspectives de couverture incertaines)

Les opérateurs sont tentés d'attendre UMTS, prévus pour 2002, plutôt que de se lancer dans les développements potentiellement concurrents.



## UMTS : Comment ?

### Comment assurer la transition du GSM vers UMTS ?

- soit par une évolution progressive de la norme GSM avec des nouvelles fonctionnalités,
- soit par une transition directe entre GSM et UMTS.



## UMTS : Comment ? ...

Les options prises par les ensembles économiques transparaissent dans leurs propositions de normes pour l'UMTS et leur proximité avec le GSM :

**Union Européenne** : transition douce du GSM vers l'UMTS,

**USA** : les opérateurs américains scindés en trois groupes (GSM, TDMA, CDMA), → trois propositions, auprès de l'UIT.

**Japon** : veut une nouvelle norme rapide à mettre en œuvre dès l'an 2001 et n'a pas d'intérêt à la compatibilité avec le GSM.



## Du GSM à l'UMTS : les paliers

En 2000 les normes de deuxième génération permettaient une couverture presque globale des territoires.

L'UMTS, parce qu'il opère à une fréquence plus élevée et avec des débits à la fois variables et importants, nécessite des cellules de taille nettement plus petite que les macros-cellules actuelles, qui pourraient être de quelques centaines de mètres.

⇒ l'UMTS se développera, dans un premier temps, dans des îlots de couverture, (milieu urbain, centres d'affaires) et se généralisera par un déploiement progressif.



## Du GSM à l'UMTS : les paliers

Pour obtenir une couverture maximale, la G3 s'appuiera sur la G2 pour la couverture globale.

⇒ **accessibilité en tous lieux, des services UMTS**

– à haut débit dans les îlots UMTS,

– en mode dégradé lorsque le mode GSM prend le relais.

⇒ une interopérabilité maximale avec le GSM, de façon transparente, et des terminaux multimodes GSM/UMTS pour passer d'îlots tout en respectant une certaine continuité de service.



## UMTS - conclusion : les coûts

De nombreux services orientés données sont ou seront progressivement supportés par le GSM.

- transmission haut débit et
- autres services comme le courrier électronique, le télépaiement, le transfert de fichiers, l'accès à Internet.

Toutefois, l'UMTS (384 kbit/s pour tout le monde en mode mobile et 2 Mbit/s en situation "fixe") fournira un meilleur compromis capacité/coût.



## UMTS - conclusion : les coûts

Il apparaît que ce sont les terminaux qui coûteront, les équipements radiofréquences et numériques deviendront à la fois de plus en plus performants et de moins en moins coûteux.



## Conclusion - Réseaux mobiles

Encore beaucoup de choses à faire :

**technologies, équipements, protocoles, applications**

**à vos méninges !**