

Mooc  
Introduction aux réseaux mobiles



**Mooc**

**Supports de cours**

Année 2014

Xavier Lagrange, Alexander Pelov, Gwendal Simon



## Table des matières

Semaine 1 : Architecture, service et régulation . . . . .	3
Semaine 2 : Le réseau téléphonique et ses évolutions . . . . .	11
Semaine 2 : Sécurité . . . . .	19
Semaine 3 : Gestion de la mobilité et des appels . . . . .	25
Semaine 3b : Intégration des réseaux orientés paquets . . . . .	37
Semaines 4 et 5 : le concept cellulaire . . . . .	45
Semaine 6 : Interface radio, multiplexage . . . . .	75
Semaine 7 : Transmission sur l'Interface radio et canaux logiques . . . . .	87
Semaine 8 : Interface radio, mécanismes d'accès et handover . . . . .	99
Glossaire . . . . .	117

## 1. Architecture (semaine 1)

### 1.1. Station de base et antennes

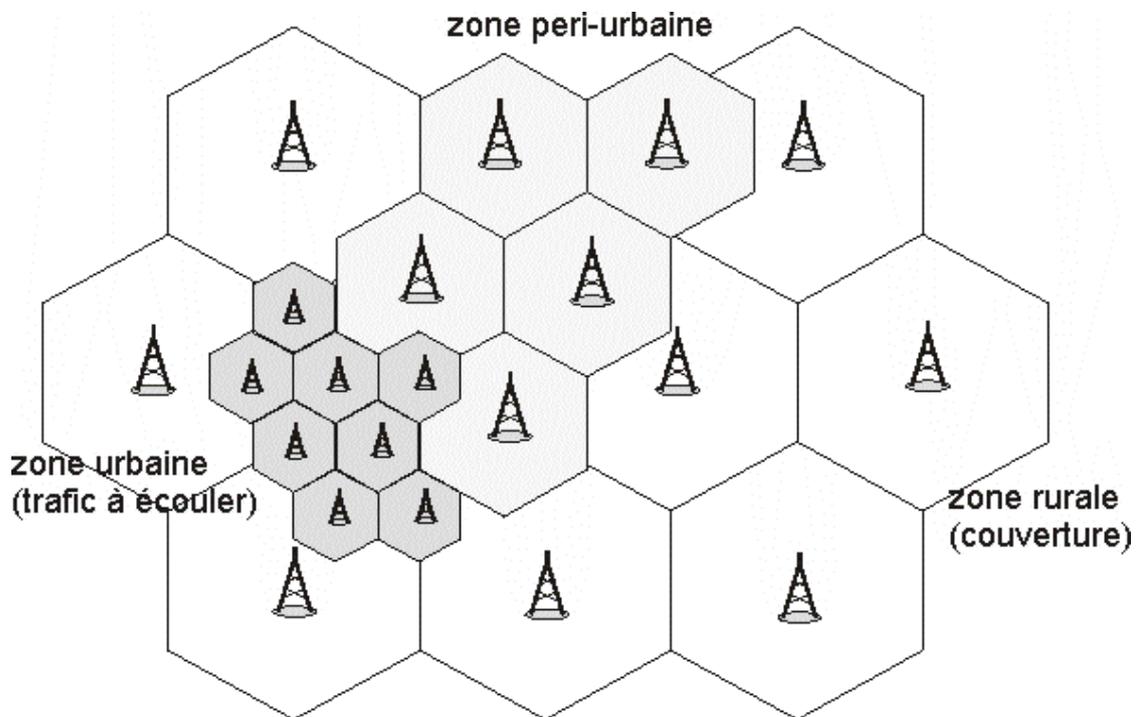
- On voit les antennes des stations de base mais l'antenne n'est pas tout !



X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

### 1.2. Notion de cellule

- Le territoire est divisé en "cellules", desservies chacune par une station de base, l'ensemble de ces cellules formant un seul réseau (sans que cette division soit perceptible ni à un usager du réseau fixe, ni à un usager mobile)
- Les mêmes canaux de fréquence sont réutilisés dans plusieurs cellules selon la capacité du système à résister aux interférences (voir cours 2)
- En zone rurale (faible densité d'utilisateurs), les stations de base sont déployées pour assurer une couverture : si possible, en tout point du territoire, un terminal est sous la portée d'une station de base et peut l'atteindre
- En zone urbaine (forte densité d'utilisateurs), les stations de base sont déployées pour écouler le trafic : la densité des stations de base est imposée par la charge à écouler



### 1.3. Voie balise ou beacon channel

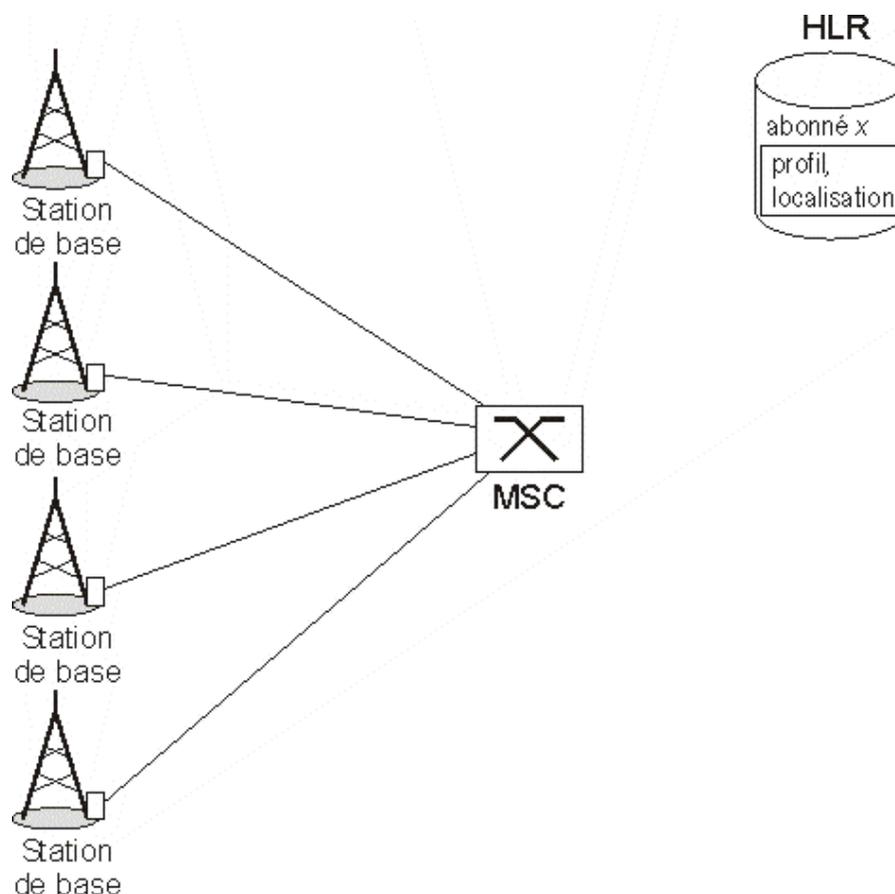
- Couverture n'est pas parfaite (zones non couvertes)
- Comment indiquer à l'utilisateur que le service est disponible ?
- Réponse : en imposant à chaque station de base de transmettre régulièrement un signal de référence et des informations systèmes comme l'identité de l'opérateur, une référence de la cellule, les règles d'accès à la cellule (elle peut être en maintenance et seulement accessible à des fins de test).
- Un terminal lit les informations systèmes et peut déterminer s'il est bien à l'écoute du bon réseau. Il mesure la puissance reçue et peut déterminer si la liaison avec le réseau est correcte.
- Notion de **Voie Balise** ou **Beacon Channel**

## 1.4. Commutateur MSC et base de données de localisation HLR

- Plusieurs stations de base sont reliés à un commutateur appelé **MSC**, *Mobile-services Switching Center*
- Un MSC permet l'établissement, le maintien et la fin des communications des terminaux dans une zone géographique donnée
  - A l'origine, c'est un commutateur téléphonique enrichi de fonctions de gestion de la mobilité
- Le réseau comporte une base de données appelé **HLR**, *Home Location Register*, qui contient pour chaque abonné
  - son profil (identité, services souscrits, restrictions,...)
  - sa localisation (très imprécise)

5

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014



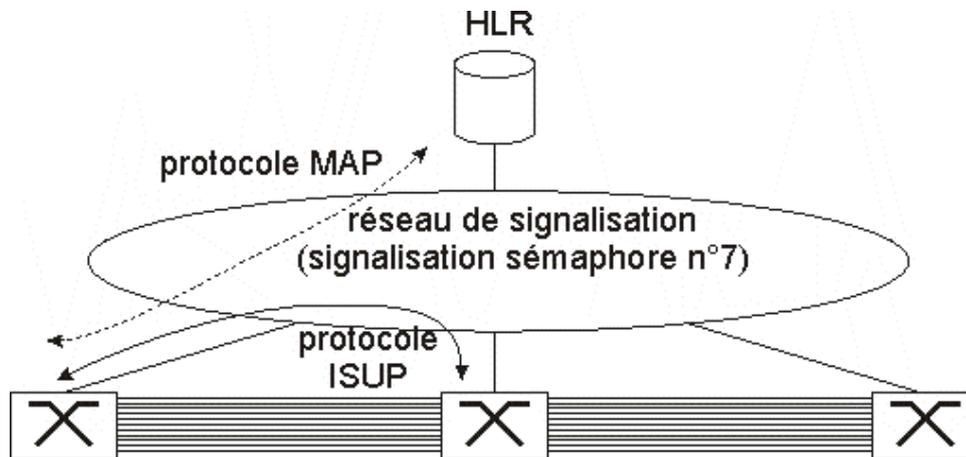
6

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## 1.5. Principe du VLR

### Gestion de la mobilité, une évolution de la téléphonie traditionnelle

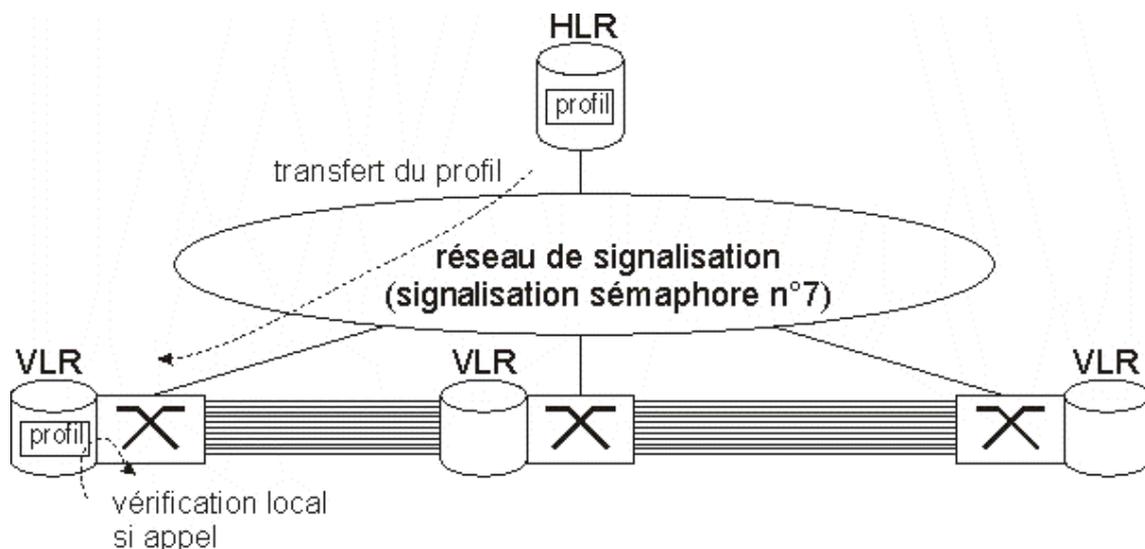
- Conservation (au départ) de l'architecture et des protocoles de la téléphonie traditionnelle
- Développement d'un nouveau protocole pour gérer la mobilité
  - MAP, Mobile Application Part



7

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

### Gestion de la mobilité, une évolution de la téléphonie traditionnelle



- le VLR (Visitor Location Register) contient
  - la liste des abonnés gérés par le VLR
  - le profil de chaque abonné géré par le VLR (identité, services souscrits, restrictions,...)
  - une information de localisation en générale plus précise de l'abonné que le HLR
- VLR = image d'une partie du HLR (principe de la mémoire cache)

8

## 1.6. BTS et BSC

- Initialement, des liaisons points-à-points entre les stations de base et les MSC/VLR
- Coût d'une liaison = proportionnelle à la distance mais faiblement dépendante du débit (coût d'infrastructure)
- Intégration d'un équipement intermédiaire dans GSM : BSC, Base Station Controller
- Double rôle du BSC
  - concentration du trafic
  - contrôle de la station de base
- BTS, Base Transceiver Station
  - couvre un territoire restreint (i.e. une cellule), de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres (à l'avenir, quelques dizaines de mètres)
  - gère la transmission et la réception du signal avec les terminaux
- BSC, Base Station Controller
  - contient les algorithmes d'allocation de la ressource radio et gère les messages associés (exemple, allocation d'une fréquence et d'un intervalle de temps)

9

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

### Station de base

- 1) couvre un territoire restreint (i.e. une cellule), de quelques centaines de mètres à quelques dizaines de kilomètres (à l'avenir, quelques dizaines de mètres)
- 2) gère la transmission et la réception du signal suivant des formats et un protocole spécifique à chaque génération (2G, 3G, 4G)
- 3) contient les algorithmes d'allocation de la ressource radio et gère les messages associés (exemple, allocation d'une fréquence et d'un intervalle de temps)

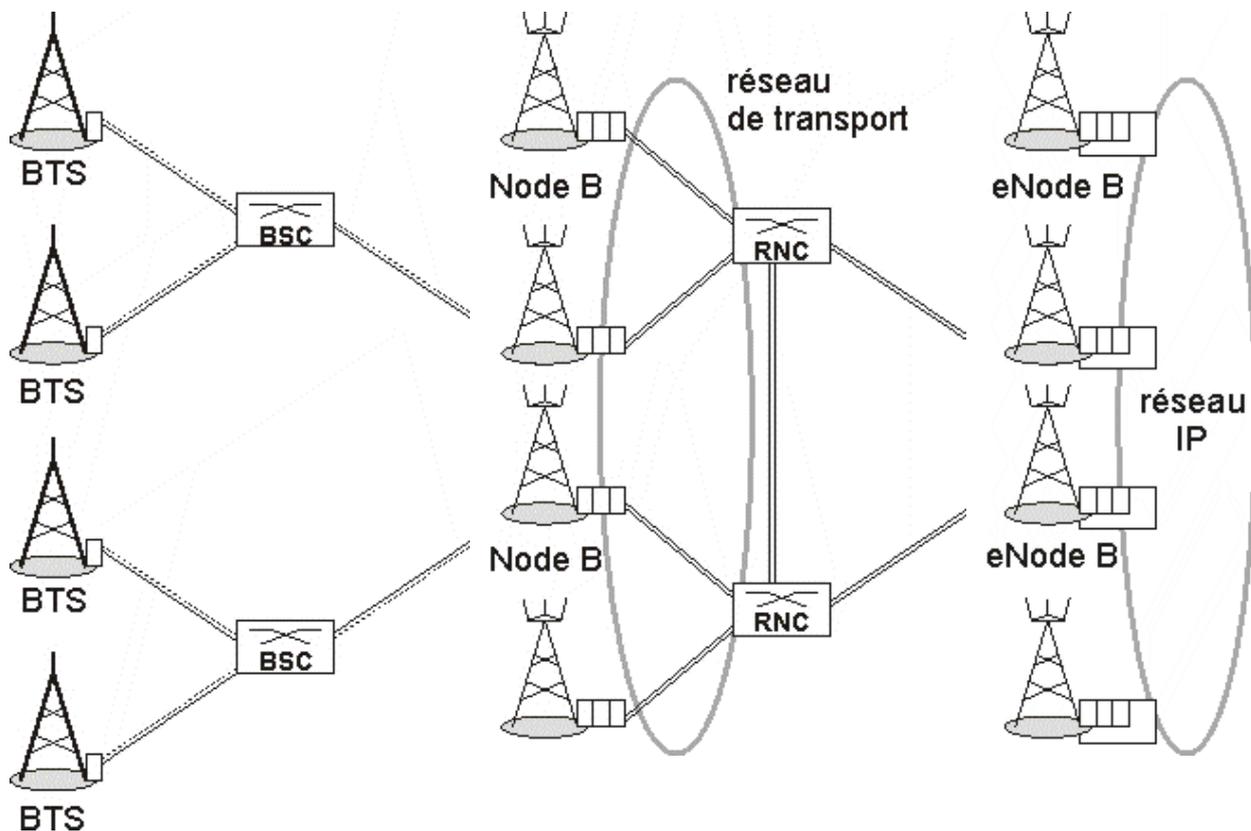
En 4G(LTE), fonctions 1, 2 et 3 sont dans le même équipement appelé eNodeB

En 2G et 3G, la fonction 3 est prise en charge par un équipement spécifique

10

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

7



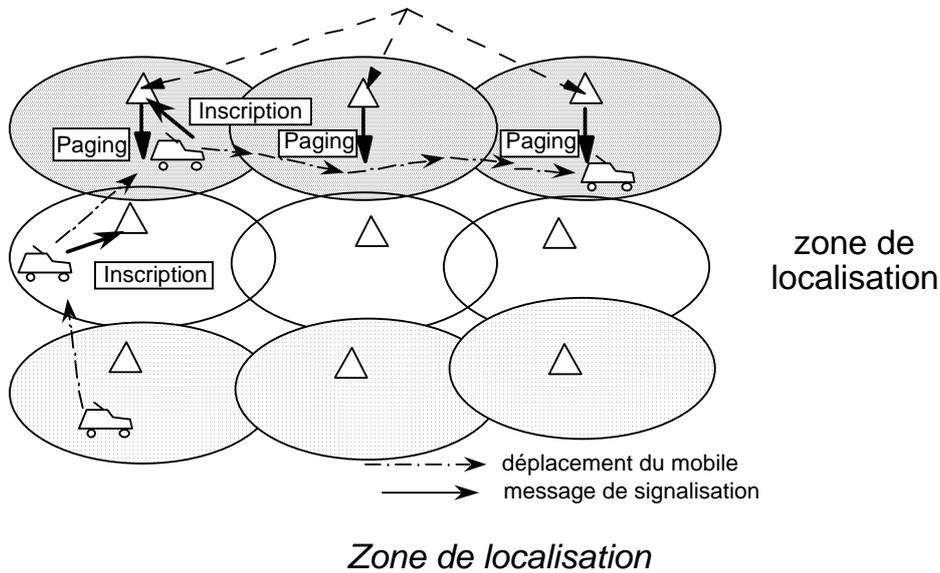
11

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## 1.7. Notion de zone de localisation

- Un abonné peut se trouver dans n'importe quel cellule du réseau et il faut pouvoir l'appeler.
- Deux principes de bases élémentaires et opposés pour appeler un abonné mobile
  - émettre les appels sur toutes les cellules du système = *paging*
  - connaître à tout moment la localisation du mobile grâce à une procédure de mise à jour de localisation (*location updating procedure*)  
=> possible grâce à la voie balise

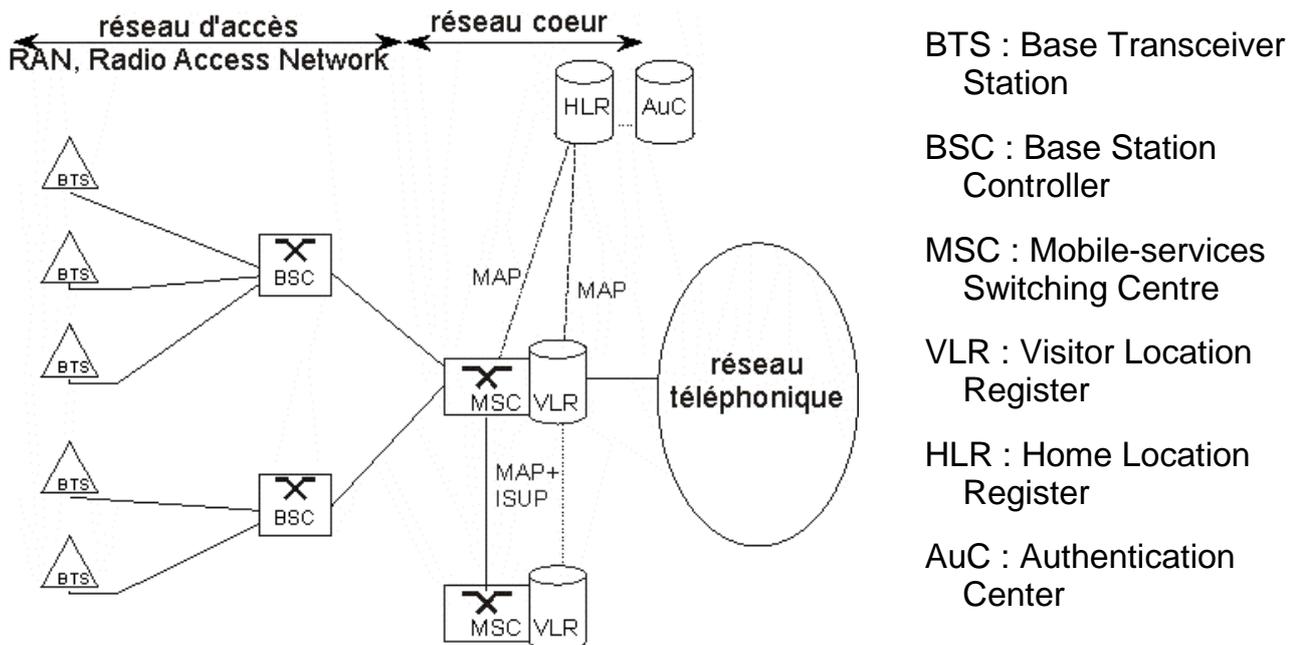
12



Une **Zone de localisation** (location area) est un ensemble de cellules à l'intérieur duquel un mobile peut se déplacer sans se signaler au réseau. Lorsque le mobile entre dans une nouvelle zone de localisation, il le signale au réseau.

13

## 1.8. Architecture traditionnelle de GSM



14

## 2. Historique et régulation

### 2.1. Services et différentes générations

Génération	Services principaux	Nom de la technologie en Europe	Type d'accès sur la voie radio	Période de vie
1	Téléphonie	R2000, NMT,..	Analogique FDMA	1980-1995
2	Téléphonie, SMS	GSM	TDMA	1995-
2.5	Téléphonie, SMS Accès IP à 100 kbit/s	extension GPRS-EDGE	+ accès paquet et nouvelle modulation	2000-
3	Téléphonie, SMS Accès IP 1 Mbit/s	UMTS	CDMA	2002-
3.9	Téléphonie, SMS Accès IP à 10 Mbit/s	extension HSDPA	CDMA + accès paquet et nouvelle modulation	2008-
4	Accès IP à 100 Mbit/s avec faible latence	LTE, LTE- advanced	OFDMA	2010-

15

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

### 2.2. Services et bande de fréquences

- Sur un plan théorique, quasi-indépendance entre la technologie et la gamme de fréquence utilisée
- En deçà de 3 GHz,
  - peu d'influence de l'eau et de l'oxygène
  - si on multiplie la fréquence par 2, on divise la puissance reçue par 4 (toutes choses égales par ailleurs)
- Fréquences en deçà de 800 MHz utilisées par les services professionnels (pompiers, police,...), la radio, la télévision
- Bandes affectées en France pour les réseaux radiomobiles
  - 790-862 MHz 790-820 MHz et 832-862 (2\*30 MHz)
  - 880-915 MHz 925-960 MHz (2\*35 MHz)
  - 1710-1785 MHz et 1805-1880 MHz (2\*85 MHz)
  - 1900-1905 MHz et 1910-1920 MHz (15 MHz)
  - 1920-1980 MHz et 2110 à 2170 MHz (2\* 60 MHz)
  - 2500-2570 MHz et 2620-2690 MHz (2\*70 MHz)

Voir <http://www.arcep.fr/fileadmin/reprise/dossiers/mobile/attributions-frequences-operateurs-metropole-260410.pdf>

16

## 4. Le réseau téléphonique et ses évolutions (S2)

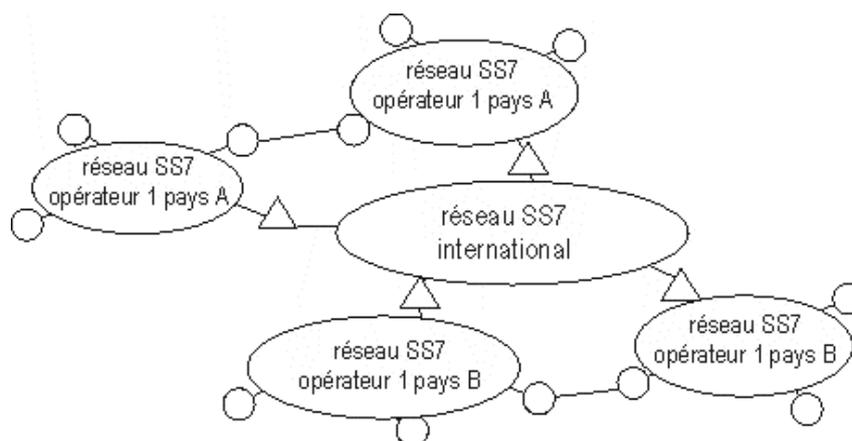
### 4.1. Présentation de la signalisation sémaphore n°7

- Les réseaux téléphoniques classiques sont constitués
  - de commutateurs téléphoniques
  - de bases de données
- Le principe de la signalisation sémaphore consiste à faire transiter de façon séparée
  - les communications
  - la signalisation
- Le système de signalisation utilisé est appelé :
  - SS7, signalisation sémaphore n°7 ou signalling system number 7
- L'échange de signalisation entre commutateurs, bases de données se fait sur un réseau à commutation de messages spécialisé
- Il y a différents protocoles applicatifs
  - ISUP, ISDN User Part => traitement de l'appel téléphonique
  - MAP, Mobile Application Part => protocole spécifique GSM pour la gestion de la mobilité

18

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

### Architecture



- Chaque opérateur a son réseau de signalisation interne
- Les réseaux de signalisation sont connectés entre eux au niveau national
- Les réseaux de signalisation sont connectés à un réseau de signalisation international

19

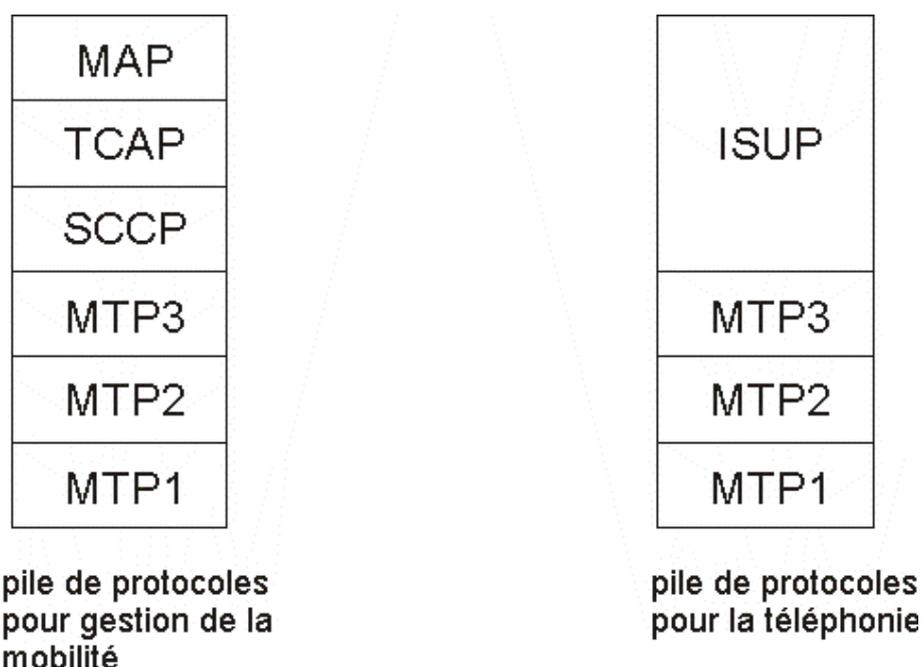
X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## Couches protocolaires de la Signalisation sémaphore n°7

- Une pile de protocole spécifique est utilisée pour permettre l'échange de message
  - MTP, Message Transfer Part
  - MTP contient 3 couches : MTP1 (physique), MTP2 (liaison) et MTP3 (réseaux)
  - principe général de la commutation de paquet : stockage et retransmission de message par des commutateurs de signalisation
- La signalisation sémaphore est utilisée pour
  - le dialogue entre commutateurs pour l'établissement d'appels téléphoniques (ISUP au dessus de MTP)
  - le dialogue entre des commutateurs, des bases de données
- Pour permettre le dialogue entre équipements de réseaux différents (par exemple un commutateur d'un réseau A et une base de données d'un réseau B), il faut rajouter une couche de protocole gérant l'interconnexion
  - SCCP, Signalling Connection Control Part
- Pour faciliter la gestion de dialogues simultanés, une couche protocolaire spécifique a été définie

20

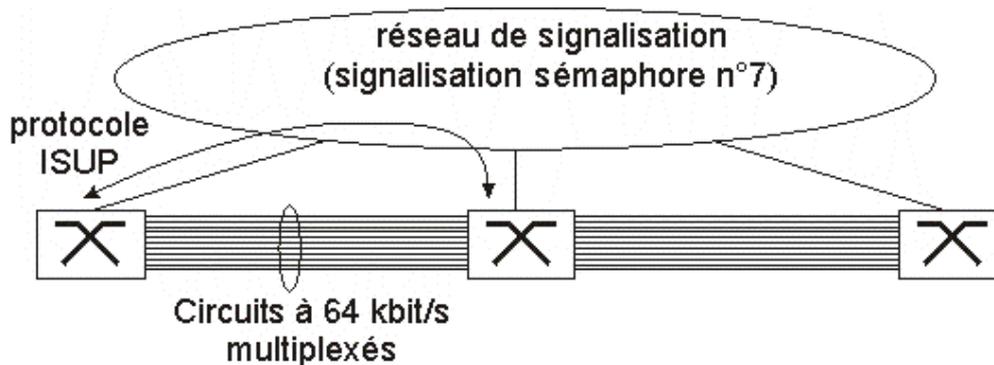
X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014



21

## Etablissement d'un appel téléphonique fixe

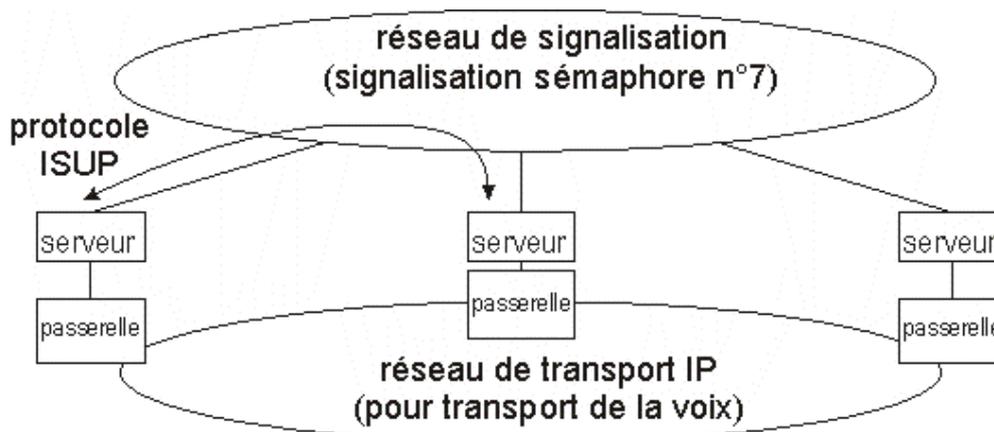
- Réseau téléphonique traditionnel : réseau à commutation de circuit
- 1 circuit = 1 voie à 64 kbit/s (64 kbit/s dans chaque sens de transmission)
- Réseau de signalisation dédié : signalisation sémaphore n°7
- Protocole d'établissement (et de terminaison) d'un appel téléphonique ISUP = ISDN User Part (ISDN, Integrated Service Digital Network)  
ISUP sert à réserver des circuits pour une communication (et relâcher à la fin d'une communication)



22

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## 4.2. Architecture NGN

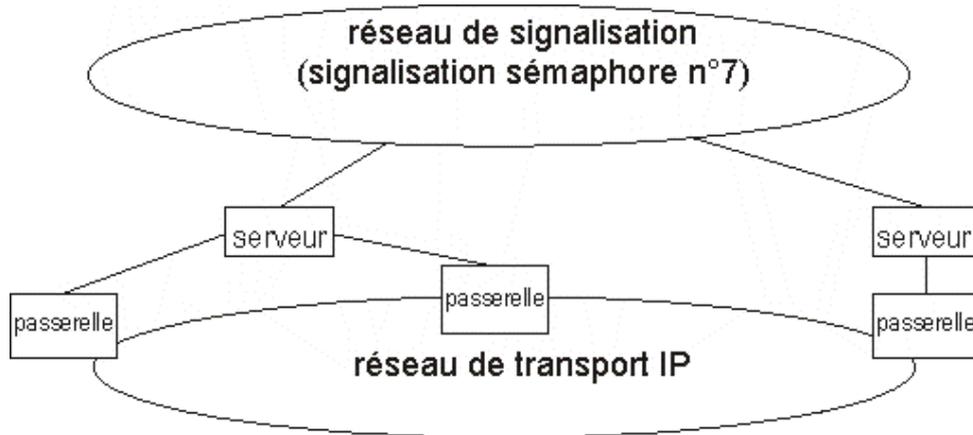


- La voix n'est plus transportée en mode circuit sur des liaisons MIC (1 octet toutes les 125  $\mu$ s) mais dans des paquets IP (1 paquet toutes les 20 ms)
  - Si absence de parole, absence de paquet à transporter => meilleure efficacité
  - Mise en place de passerelles qui transportent les paquets IP de voix : MGW, *Media Gateway*
- Séparation du contrôle des communications et du transport de la voix
  - Mise en place de MSS, MSC Server (pour GSM)
  - Conservation du protocole ISUP pour garantir la compatibilité

23

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## Avantage de l'architecture NGN

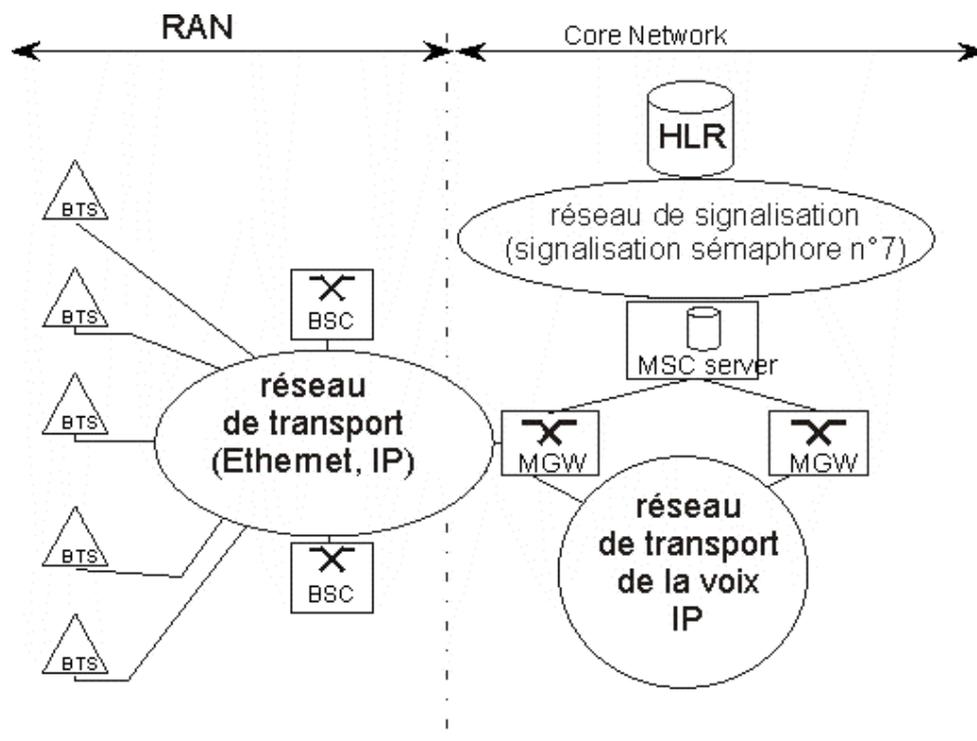


- Pour une communication de 10 minutes
  - $10 \times 60 \times 50 = 30\,000$  paquets de parole (hypothèse d'un paquet toutes les 20 ms)
  - 3 messages pour établir la communication et 2 messages pour la libérer
- Il est possible de mettre beaucoup moins de serveurs que de passerelle

24

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

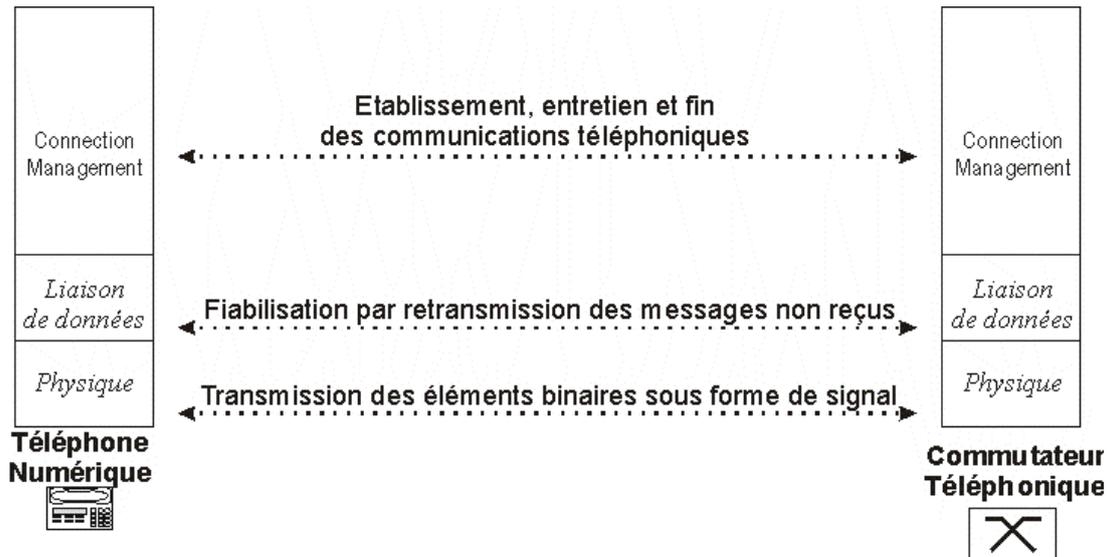
## Architecture NGN pour GSM



25

## 4.3. Architecture en couches pour l'accès GSM

### Architecture de protocoles pour l'accès d'un téléphone numérique

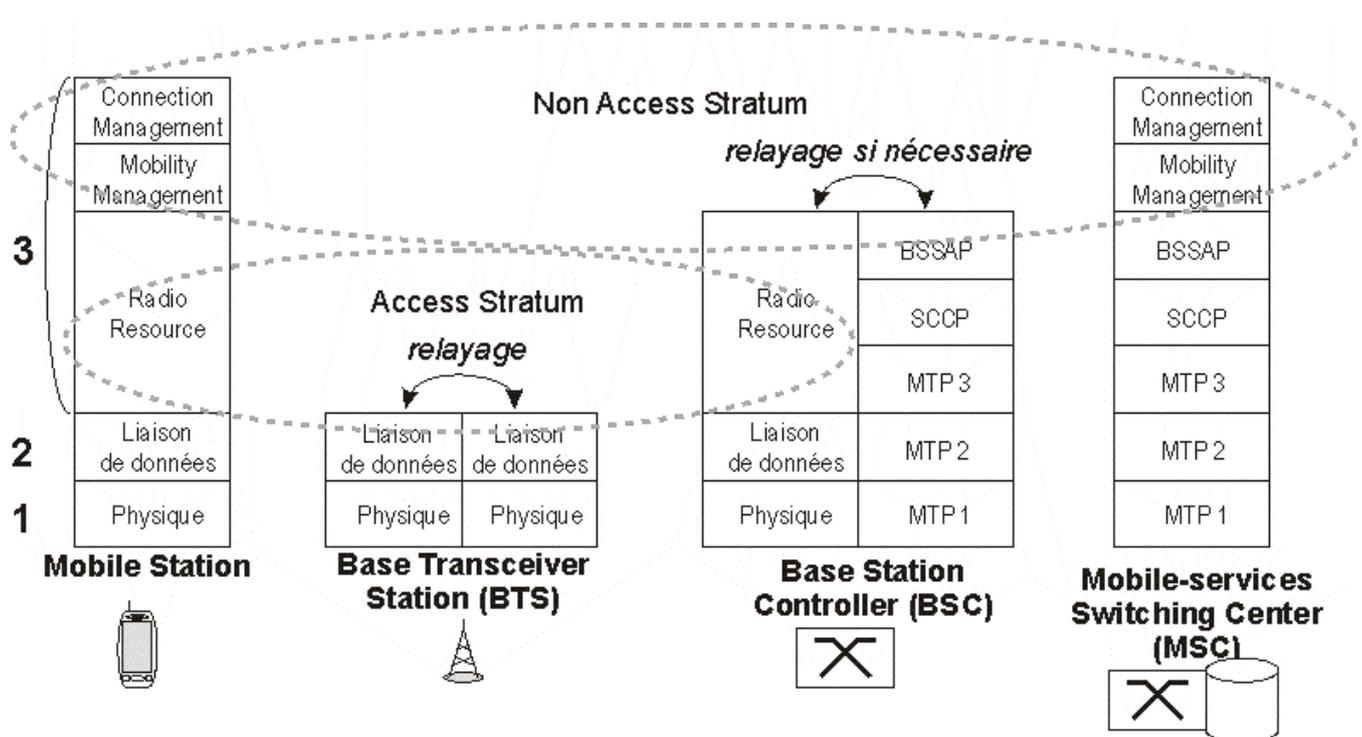


- Pile de protocoles définie pour l'accès d'un téléphone numérique au réseau téléphonique
- Volonté de réutilisation pour minimiser les coûts de développement
- MAIS le terminal GSM est radio, mobile ; la liaison terminal-réseau peut facilement être écoutée => des procédures spécifiques doivent être ajoutées

[26]

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

### Architecture de protocoles dans le réseau d'accès GSM



[27]

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## Fonctions des différentes couches

- *Connection Management (CM)* : établissement, maintenance et raccroché des communications (CC, *Call Control*), services supplémentaires,
- *Mobility Management (MM)* : procédure de mise à jour de localisation, authentification, etc.
- *Radio Resource management (RR)* : allocation de la ressource radio, gestion du handover
- Liaison de données entre terminal et BTS : spécifique à GSM
- Couche physique entre terminal et BTS : spécifique à GSM
- Par rapport au modèle OSI, les couches CM, MM et RR ne rajoute pas d'en-tête (MM transporte les messages CM de façon transparente)
- Choix d'utiliser la signalisation sémaphore sur l'interface entre le BSC et le MSC
  - MTP, Message Transfer Part
  - SCCP, Signalling Connection Control Part (en mode connecté)
- BSSAP : Base Station Subsystem Application Part : protocole permettant à un MSC d'envoyer des commandes au BSC et facilitant la retransmission automatique des messages par le BSC vers le terminal (via la BTS)

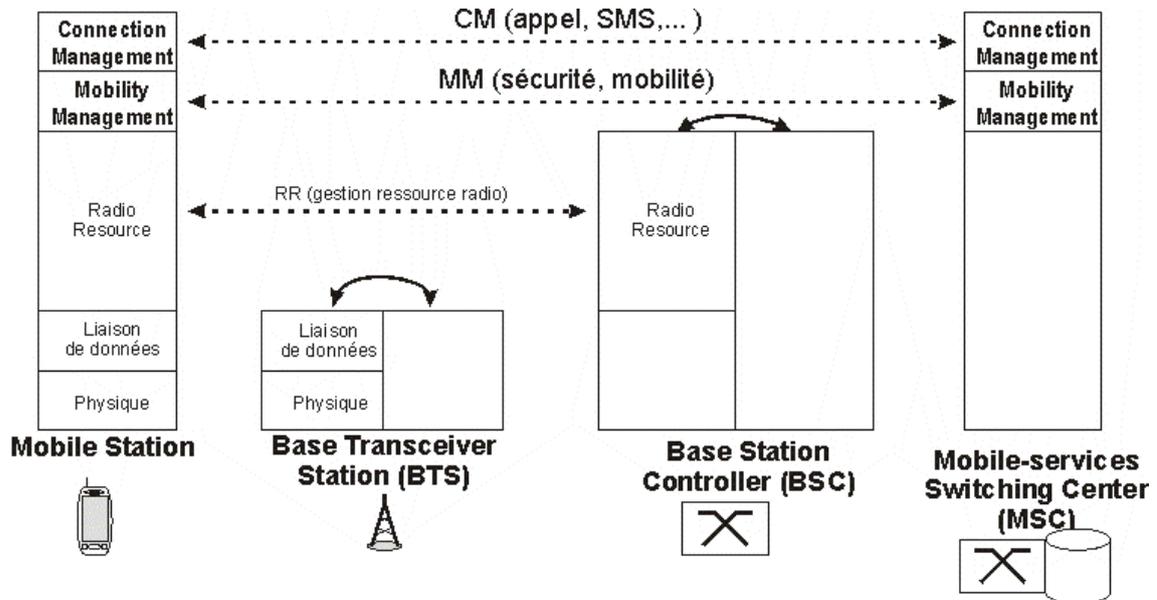
28

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

- La BTS agit en tant que relais pour tous les messages RR, MM, CM (pas d'interprétation des messages)
- Le BSC crée et interprète les messages RR
  - Le protocole RR est étroitement lié à la technologie radio (messages différents si 2G ou 3G)
  - On parle d'AS, *Access Stratum* (ensemble des protocoles liés à l'organisation du réseau d'accès (BTS, BSC) et à la technologie radio)
- Le BSC agit en tant que relais pour tous les messages MM, CM (pas d'interprétation des messages)
  - Les protocoles CM et MM ne sont pas liés à la technologie radio
  - Ce sont les mêmes en 2G et 3G (en 4G, différences dues au passage au tout IP)
  - On parle de NAS, *Access Stratum* (ensemble des protocoles liés à l'organisation du réseau d'accès (BTS, BSC) et à la technologie radio)

29

## Portée du cours et démarche pédagogique



- Le détail des interfaces entre BTS, BSC et MSC n'est pas traité
- Première partie du cours : étude de CM, MM en admettant que BTS et BSC relaye
- Troisième partie du cours : étude de la couche physique, liaison de données et certains aspects de RR

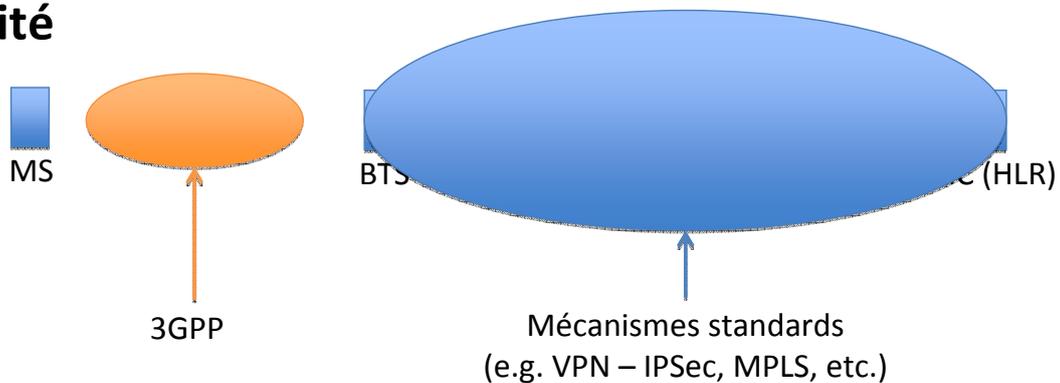
30



# Fonctions de sécurité

## Semaine 2

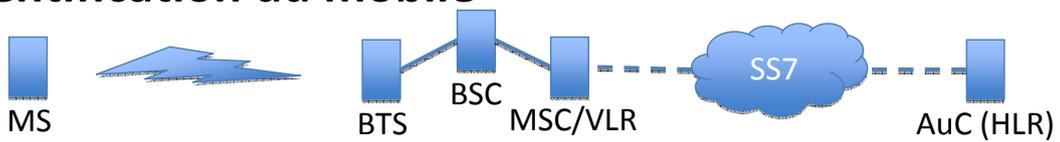
### Sécurité



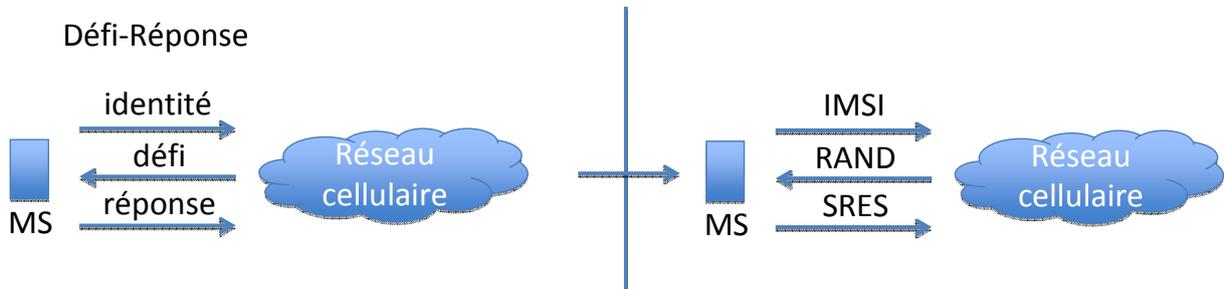
Fonctions de sécurité :

- Authentification du terminal par le réseau
  - Eviter un accès frauduleux au réseau
- Chiffrement des données et de la signalisation
  - Garantir la confidentialité des données transmises
- Allocation dynamique d'une identité temporaire transmise en mode chiffré
  - Garantir confidentialité de l'identité de l'utilisateur

# Authentification du mobile

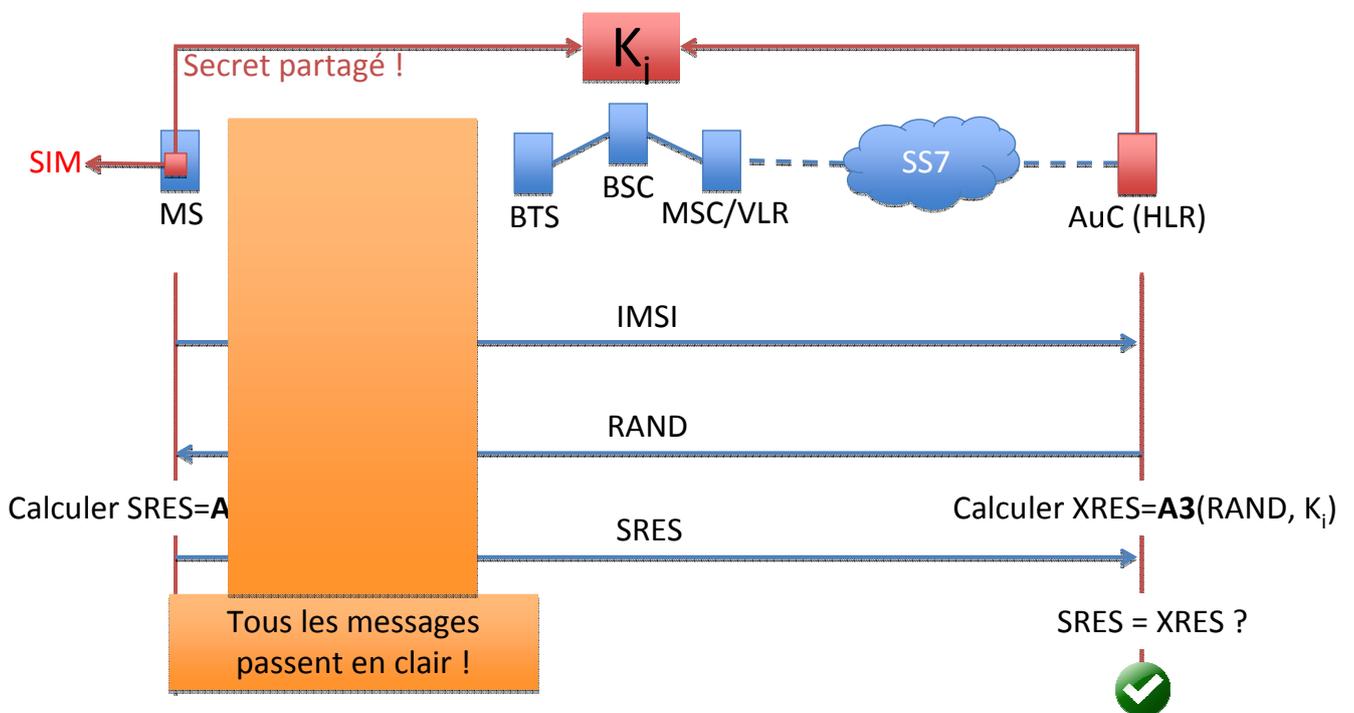


AuC = Authentication Center (Centre d'authentification)



RAND=RANDom (Valeur aléatoire)

SRES=Signed RESponse (Réponse signé)



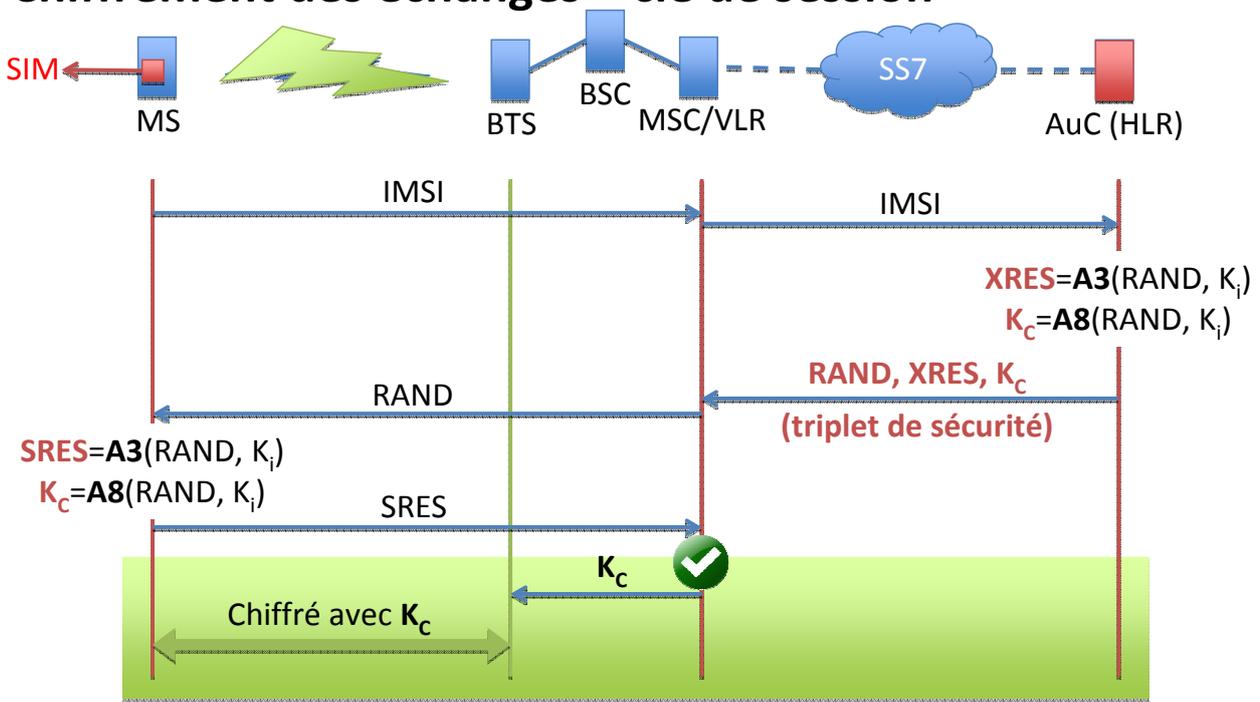
A3 – algorithme à sens unique (difficilement réversible)

$K_i = 128$  bits, RAND = 128 bits, SRES = 32 bits

Pour trouver  $K_i$  il faut plusieurs milliers de paires RAND, SRES

Avec un couple (RAND, SRES) n'importe quel équipement du réseau peut identifier un abonné

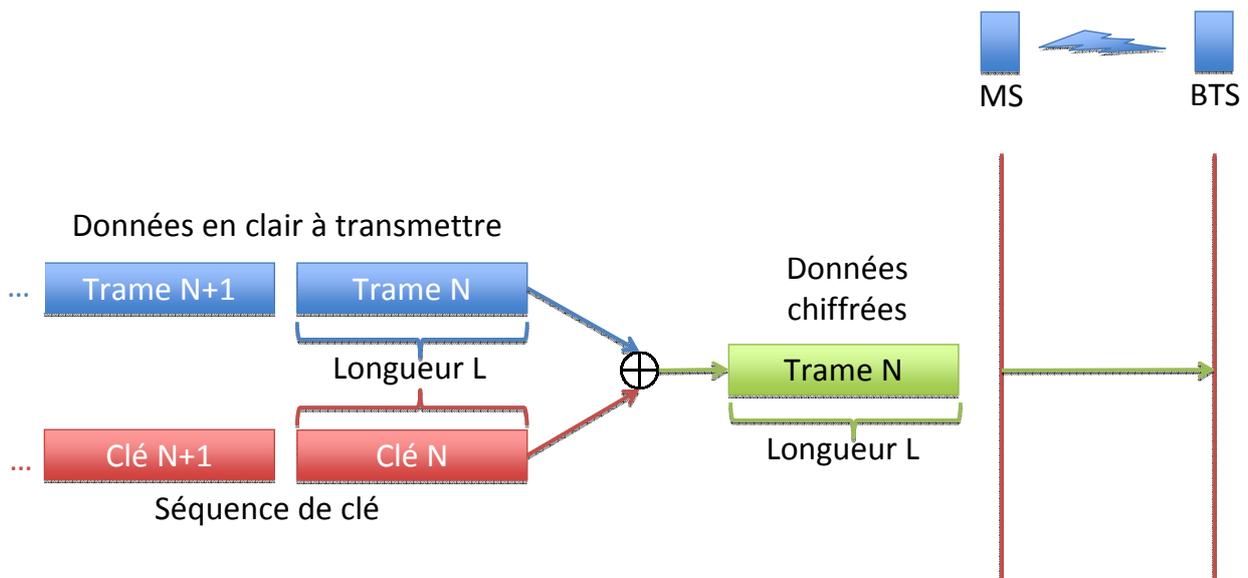
# Chiffrement des échanges – clé de session



Il faut chiffrer chaque trame !

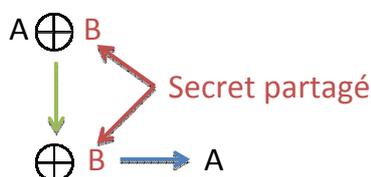
- Impossible d'interroger l'AuC pour chaque trame (chiffrement+déchiffrement)
- Le secret partagé ne doit jamais quitter l'AuC (et la carte SIM)
  - Solution – génération d'une clef de session  $K_c$  pour le chiffrement (64 bits)

# Chiffrement des échanges – principe

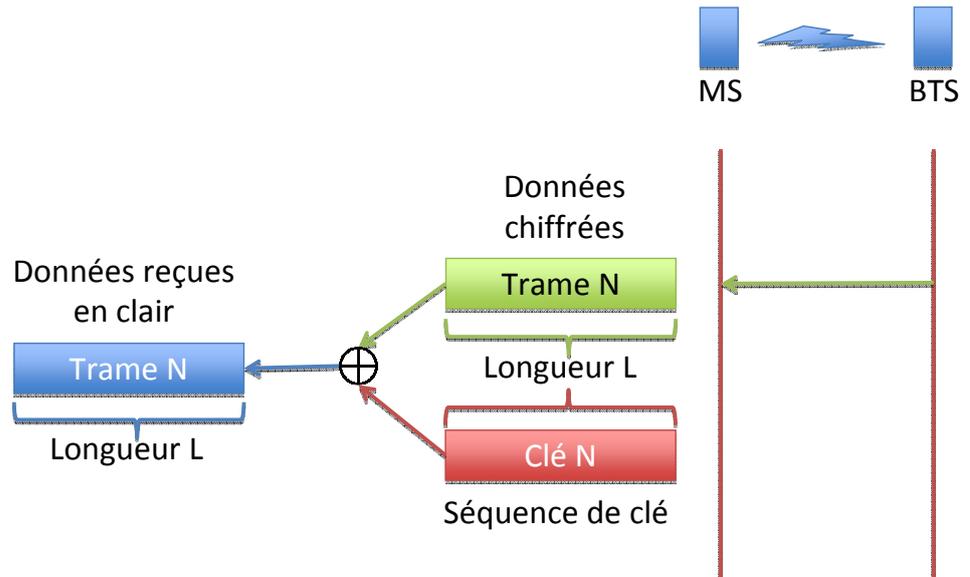


$\oplus$  = OU exclusif

$\oplus$	0	1
0	0	1
1	1	0

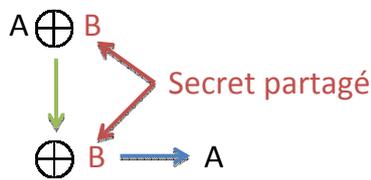


# Chiffrement des échanges – principe

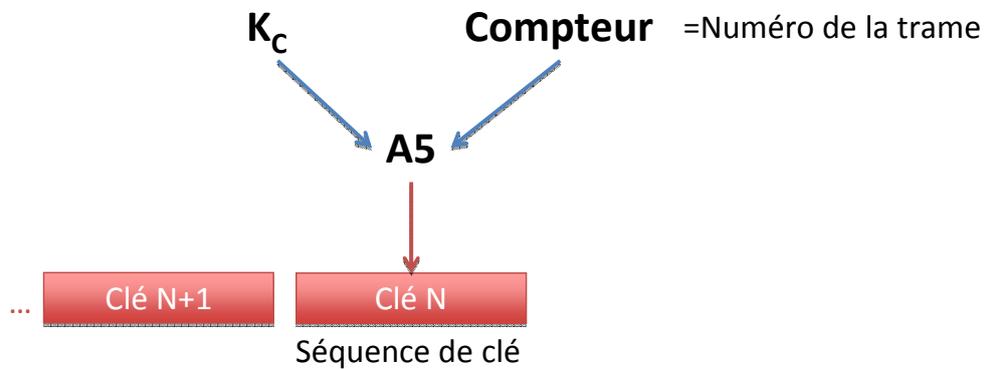


$\oplus$  = OU exclusif

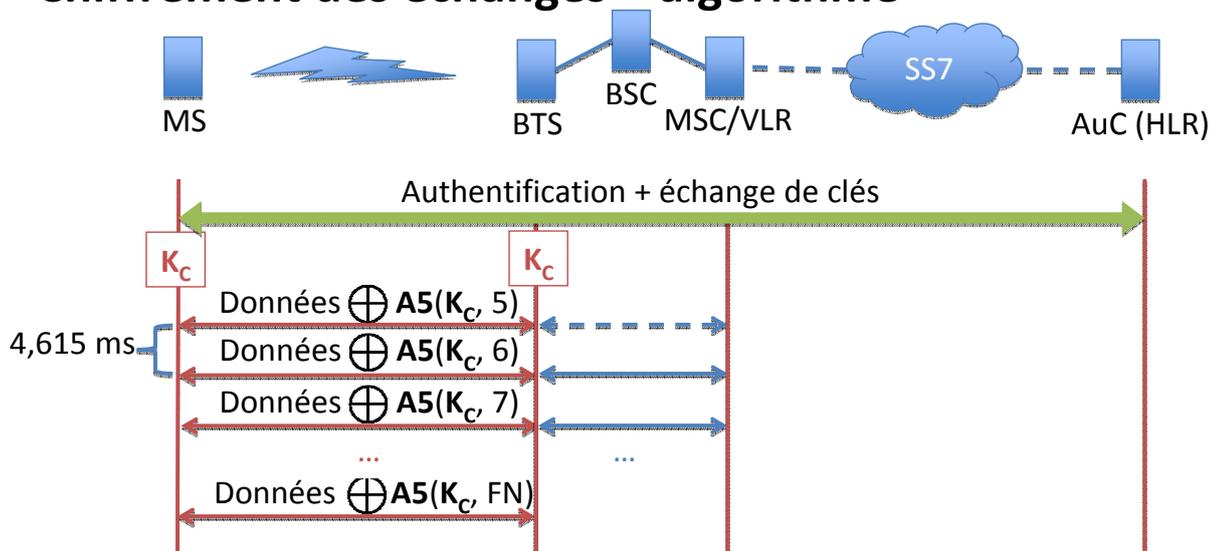
$\oplus$	0	1
0	0	1
1	1	0



# Chiffrement des échanges – principe



# Chiffrement des échanges – algorithme



Clé  $K_c$  identique pendant toute la communication  
 •Clé renouvelée à chaque nouvelle communication

Séquence de chiffrement varie à chaque trame TDMA  
 •Compteur FN (Frame Number) : 0 à 2 715 647  
 •Incrémenté à chaque nouvelle trame  
 •Période : 2 715 647 \* 4,1615 ms soit 3h 30 mn

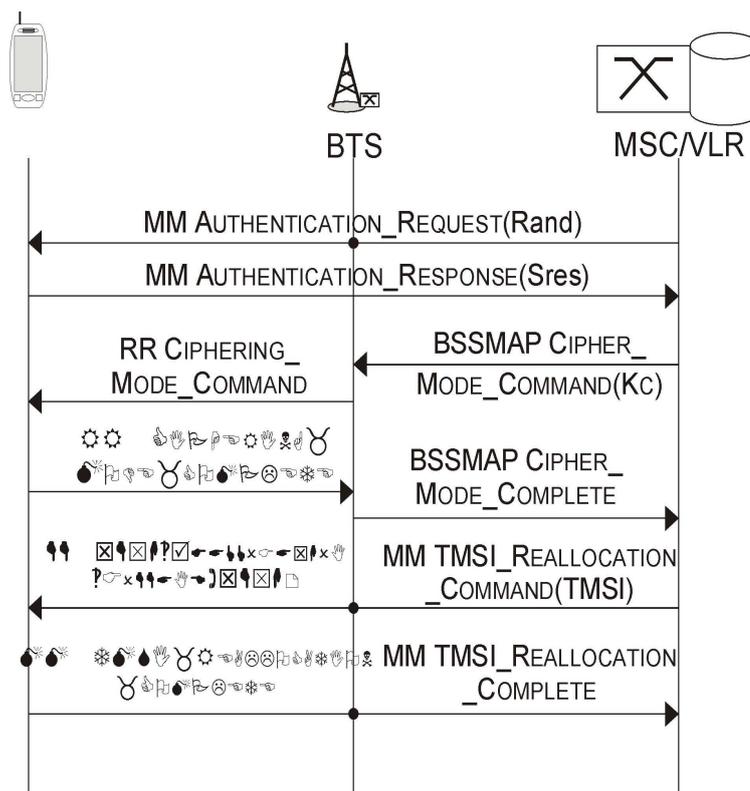
Algorithme **A5** dans le terminal et dans la BTS  
 •Même famille d’algorithmes dans tous les terminaux et les réseaux  
 •Algorithme **A5/1** : traditionnel  
 •Algorithme **A5/2** : moins protégé  
 •Algorithme **A5/3** : plus résistant

# Identité temporaire - TMSI

(Temporary Mobile Subscriber Identity)

Sur 4 octets (contre 8 pour l’IMSI)  
 Portée locale (VLR)

Préserve la confidentialité de l’abonné  
 •Utilisé dans les messages de paging  
 •Pour les demandes d’authentification à la place de l’IMSI



# Sécurité 3G/LTE

Fonctions de sécurité ajoutés pour la 3G/LTE

- Authentification du réseau par le terminal
- Vérification d'intégrité

	GSM	UMTS	LTE
Authentification du terminal	✓	✓	✓
Authentification du réseau	✗	✓	✓
Chiffrement de la signalisation, des données	✓	✓	✓
Vérification d'intégrité des messages de signalisation	✗	✓	✓
Confidentialité de l'identité	✓*	✓*	✓*

\* sauf cas particulier

## 5. Gestion de la mobilité (S3)

### 5.1. Présentation générale

- On considère un terminal qui est allumé mais qui n'est jamais utilisé pour un service : état de veille
- Procédures de gestion de la mobilité = Mobility Management (MM)  
Mise à jour de localisation = *Location updating procedure*
  - Mise à jour de localisation à la première mise sous tension du terminal
  - La mise à jour de localisation se fait lorsque le mobile change de zone de localisation
  - Possibilité de mise à jour périodique
  - Possibilité de détachement au réseau lors de la mise hors tension

Mise à jour du HLR : VLR où se trouve l'abonné

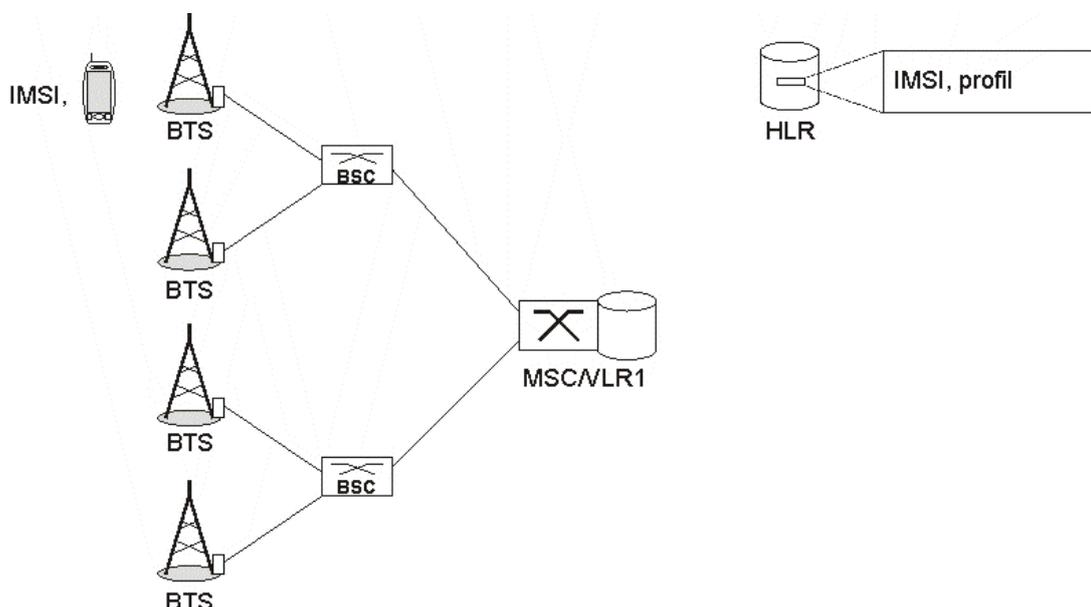
Mise à jour du VLR : profil de l'abonné et zone de localisation

26

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

### 5.2. Première mise sous tension

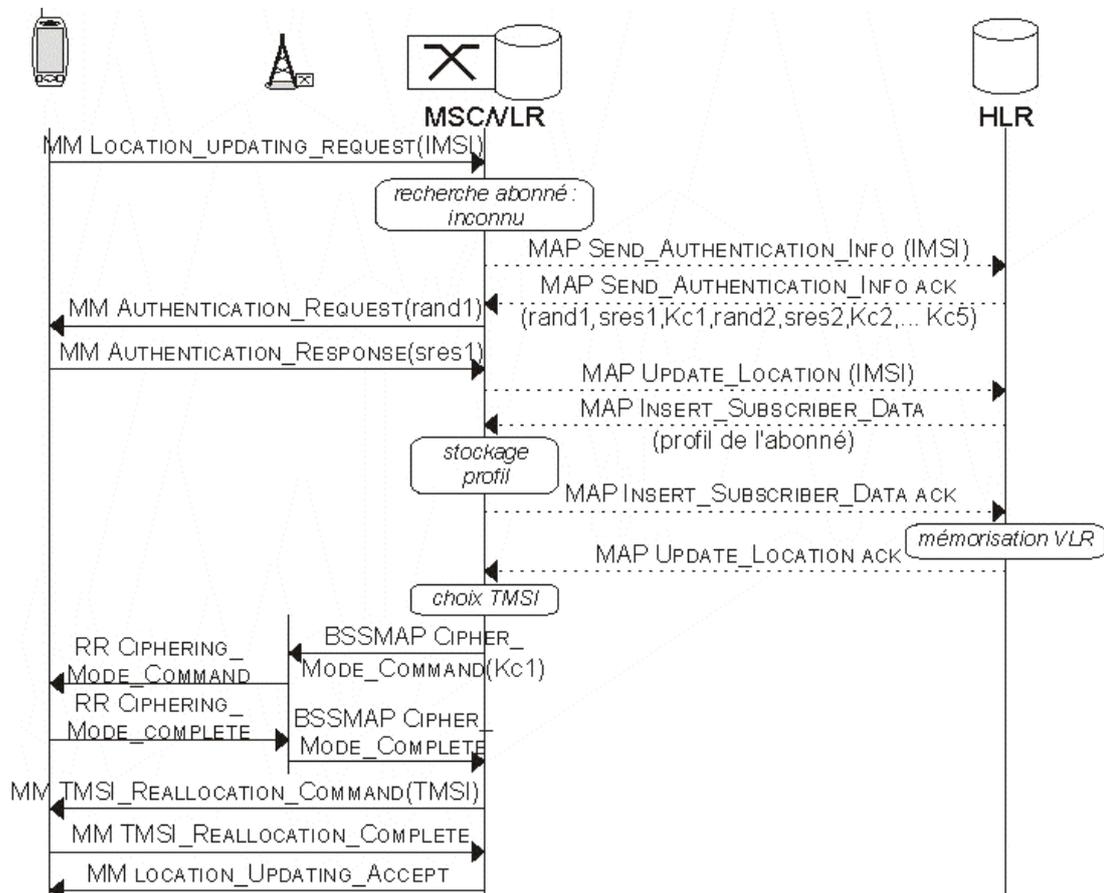
- Le mobile doit se signaler au réseau pour être pris en compte  
Procédure appelée : IMSI attach ou attachement au réseau
- Le mobile ne dispose pas de TMSI, il utilise l'IMSI

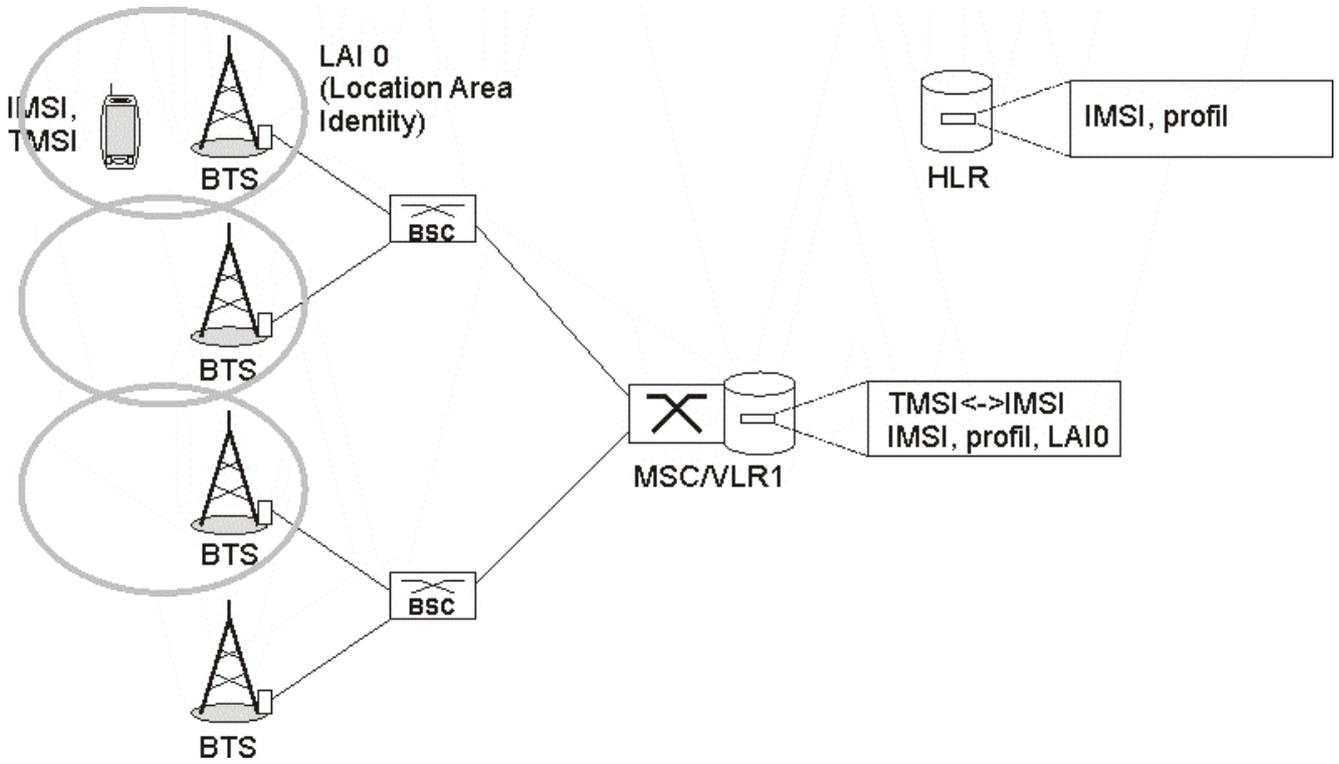


27

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

- Le réseau doit authentifier le mobile : le VLR demande des triplets de sécurité au HLR
- La mise à jour de localisation consiste à faire deux opérations imbriquées :
  - informer le HLR que le mobile se trouve dans un VLR donné
  - transférer le profil de l'abonné du HLR vers le VLR
- Allocation d'un TMSI en fin de procédure



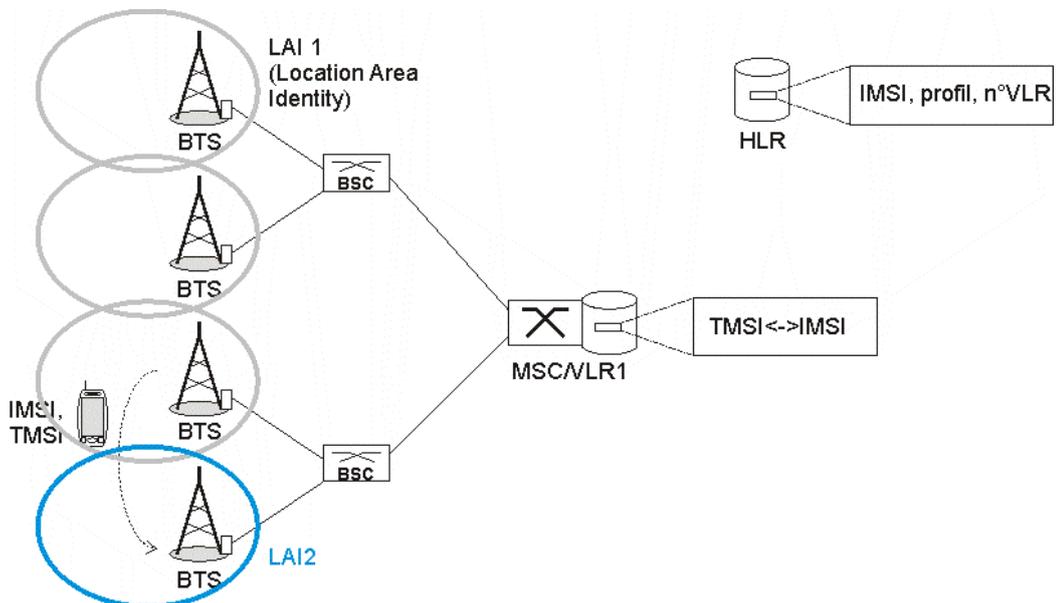


30

## 5.3. Déplacement du mobile dans un réseau

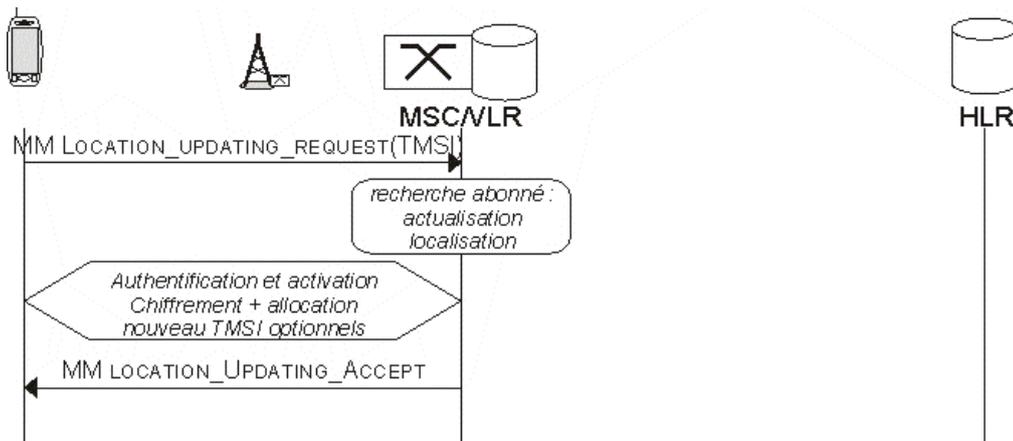
### Changement de zone de localisation sans changer le VLR

- Le mobile se trouvait dans une cellule dépendant d'une ancienne zone de localisation et passe dans une cellule faisant partie d'une nouvelle zone



31

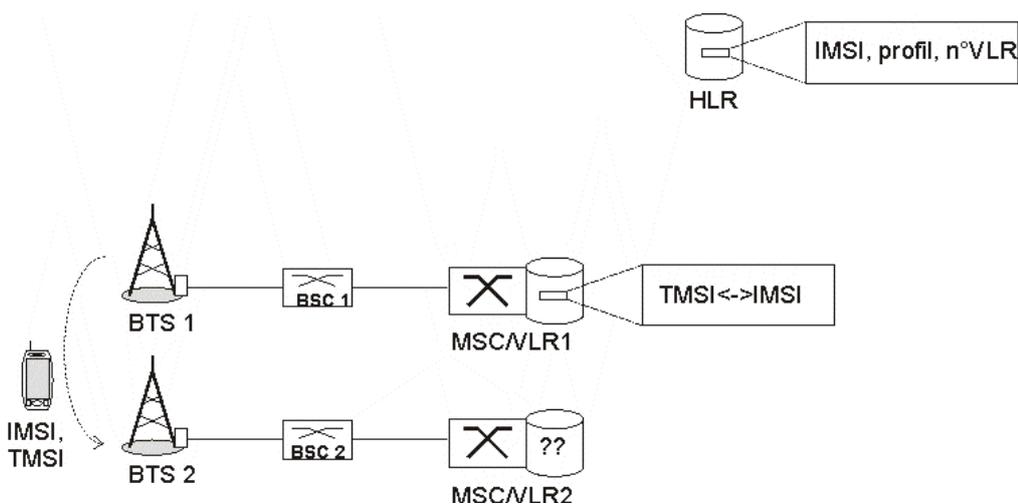
- pour ne pas dévoiler son identité complète, le mobile fait une mise à jour de localisation en envoyant le TMSI
- Allocation possible d'un TMSI en fin de procédure



32

### Changement de VLR (1/3)

- Le mobile se trouvait dans une cellule dépendant du VLR1 et passe dans une cellule dépendant d'un nouveau VLR (VLR2).

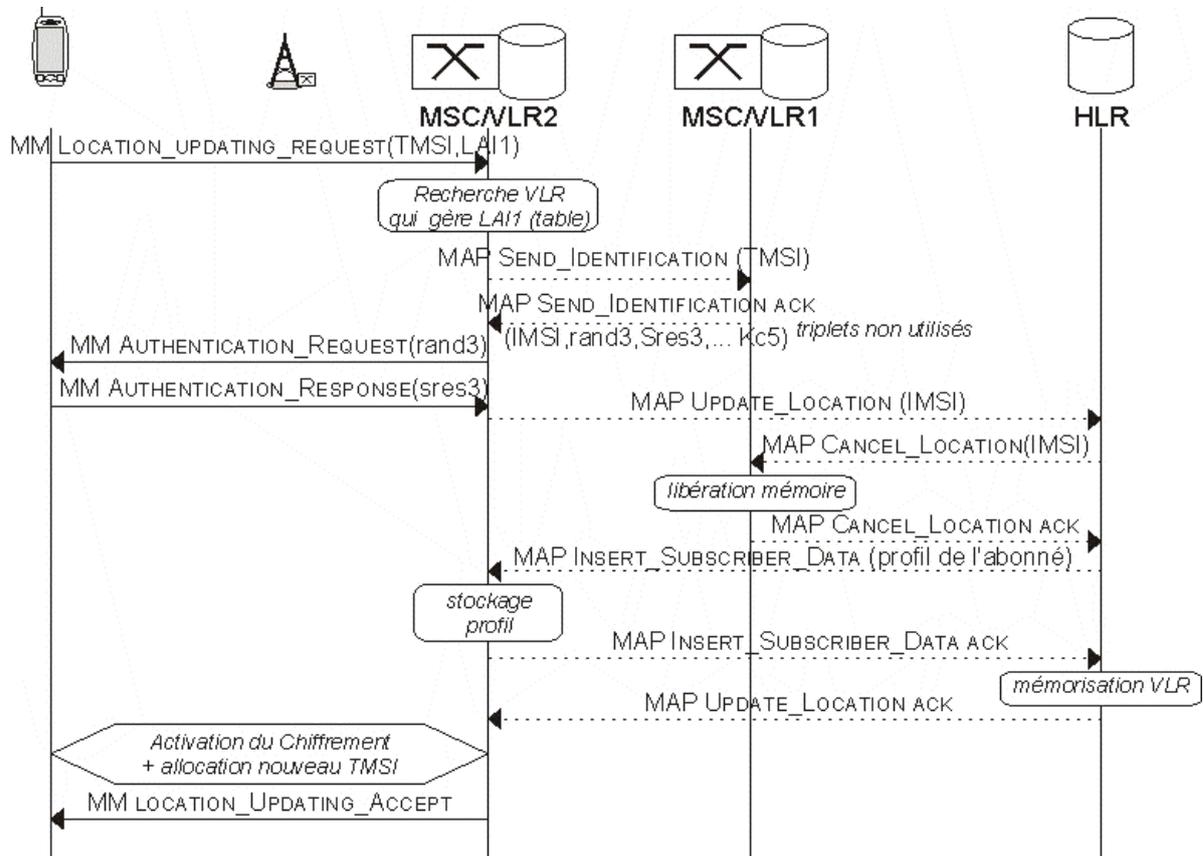


33

- Le TMSI était alloué par l'ancien VLR. Seul le VLR1 peut identifier le mobile (i.e. retrouver l'IMSI)
- Pour que le nouveau VLR connaisse l'ancien VLR, le mobile indique l'ancienne zone de localisation où il se trouvait (LAI<sub>1</sub> pour *Location Area Identity*)
- L'identité de la zone de localisation est unique au monde (elle contient le code pays, le code opérateur)
- LAI+TMSI constitue une identité unique au monde d'un terminal mais elle est « anonymisée »
- Principe réutilisé en GSM, UMTS, LTE (avec quelques différences )  
En LTE, on parle de GUTI, *Globally Unique Temporary Identity*

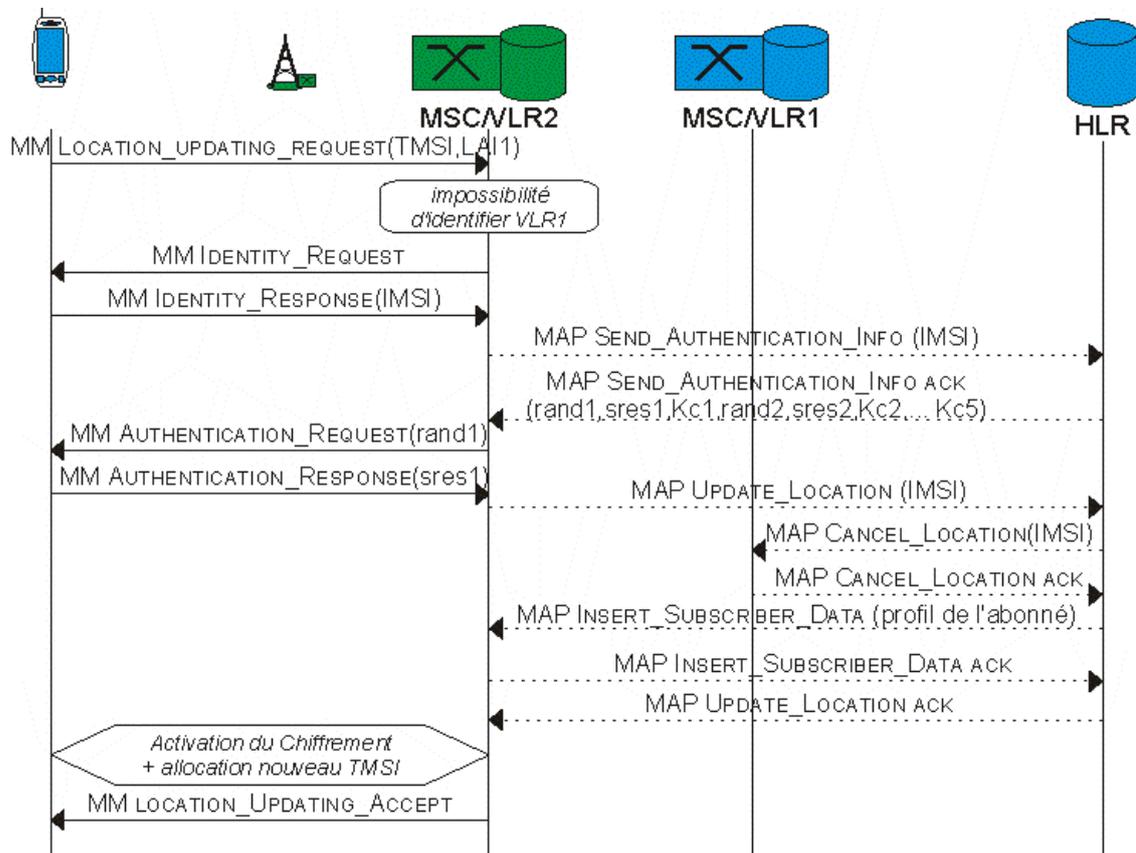
### Changement de VLR (2/3), récupération de l'identité

- Au niveau de chaque VLR, est stockée une table de correspondance  
- zone de localisation <-> identité du VLR
- Le nouveau VLR demande à l'ancien VLR l'identité IMSI du terminal
- Le profil de l'abonné est systématiquement transféré depuis le HLR (pour éviter la propagation d'erreurs dans le profil)
- Pour une bonne gestion de la mémoire des VLR, il faut effacer le profil dans l'ancien VLR.
- Allocation quasi systématique d'un TMSI en fin de procédure



36

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

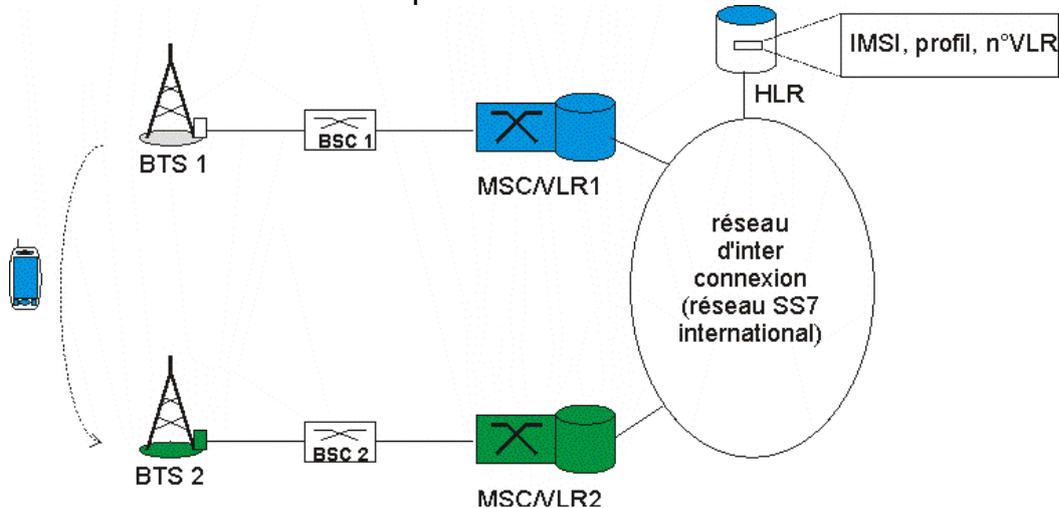


37

30 Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## 5.4. Changement de réseau

- (quasiment) tous les MSC/VLR et HLR sont interconnectés au niveau internationale (réseau SS7 international en GSM classique ou réseau IP)
- Le mobile va dans un pays étranger  
Réseau visité : VPLMN pour Visited PLMN  
Réseau nominal : HPLMN pour Home PLMN

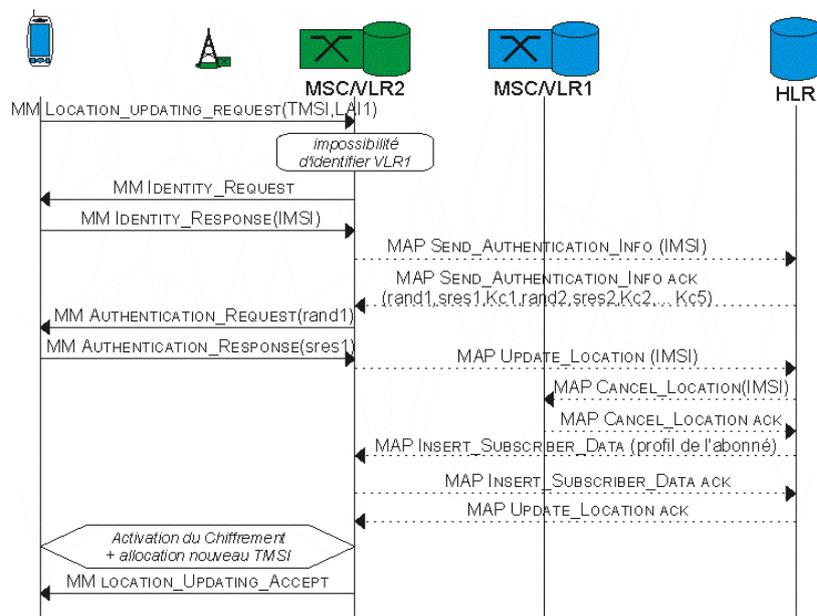


- Le mobile fait une mise à jour de localisation de façon habituelle

38

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

- En général,
  - le réseau ne peut pas déterminer l'ancien VLR à partir de l'identité de l'ancienne zone de localisation
  - le mobile indique explicitement son IMSI



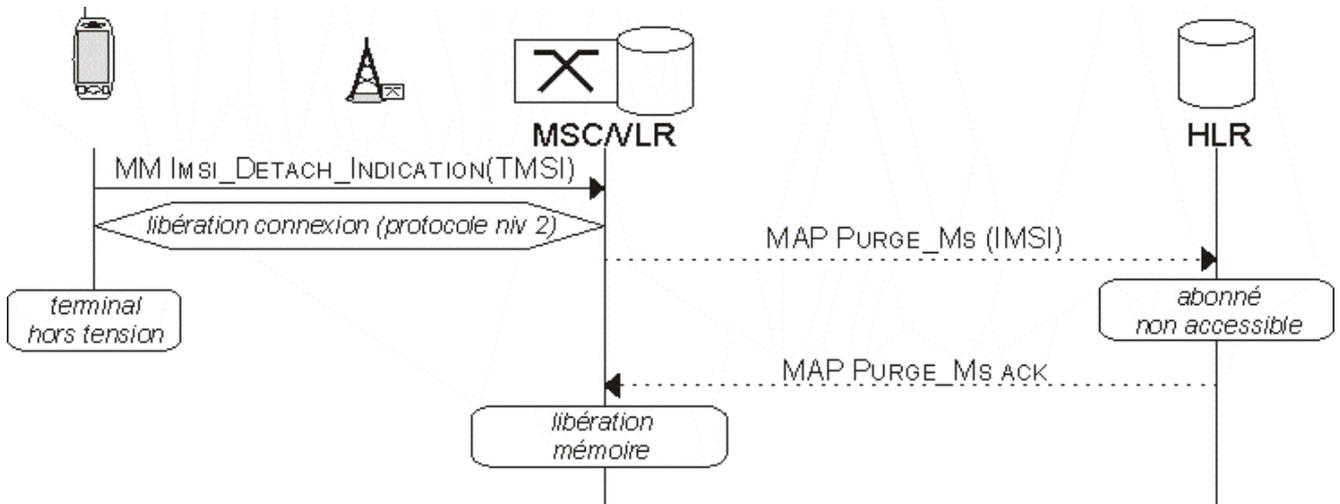
- Aucune différence fondamentale entre mobilité au sein d'un réseau et changement de réseau

39

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## 5.5. Détachement du réseau

- Procédure de détachement avant la vraie mise hors tension
- Connaissance par HLR de l'état du mobile  
Connexion à boîte vocale en cas d'appel du terminal
- Mise à jour de localisation systématique en cas de remise sous tension du terminal (avec TMSI)



40

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

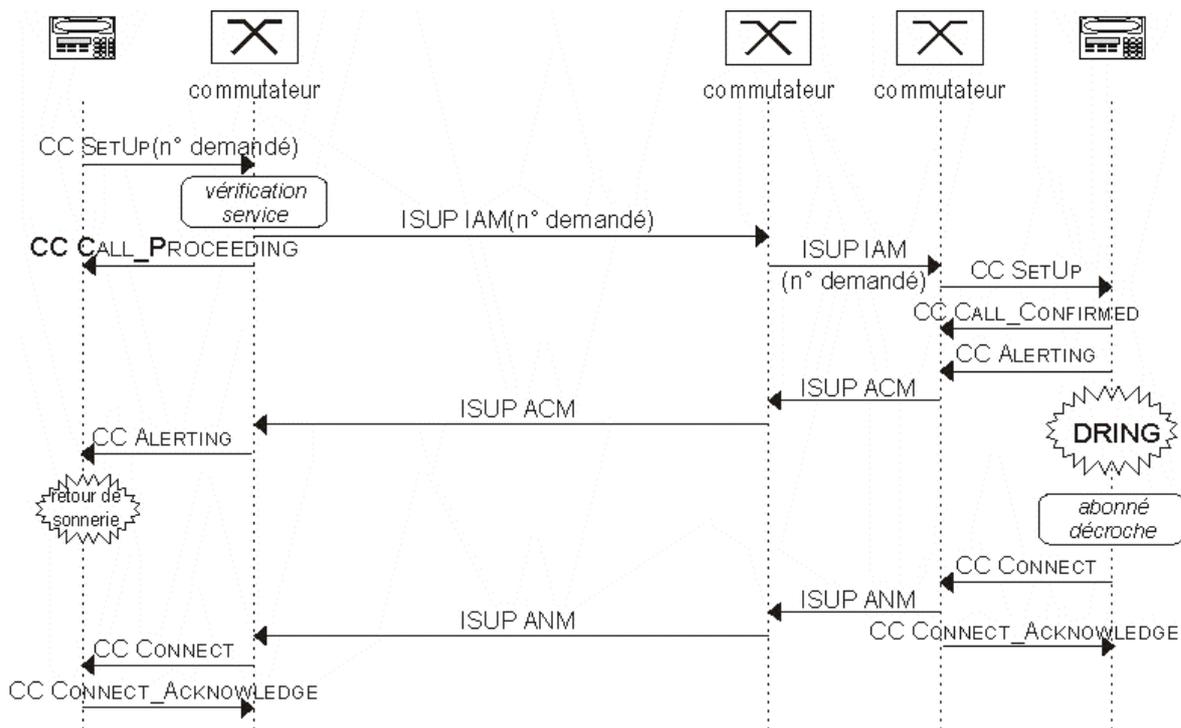
## Bilan sur la gestion de la mobilité

- le HLR contient l'identité d'un abonné, son profil et sa localisation grossière
- quel que soit ses déplacements, le HLR d'un abonné ne change pas
- le terminal effectue une mise à jour de localisation à chaque changement de zone de localisation (groupe de cellules)
- la mise à jour de localisation provoque l'actualisation des bases de données VLR et, si nécessaire, HLR
- l'utilisation quasi-systématique du TMSI oblige à former une identité unique composé à partir de la localisation de l'abonné.

41

## 6. Etablissement d'appels (S3)

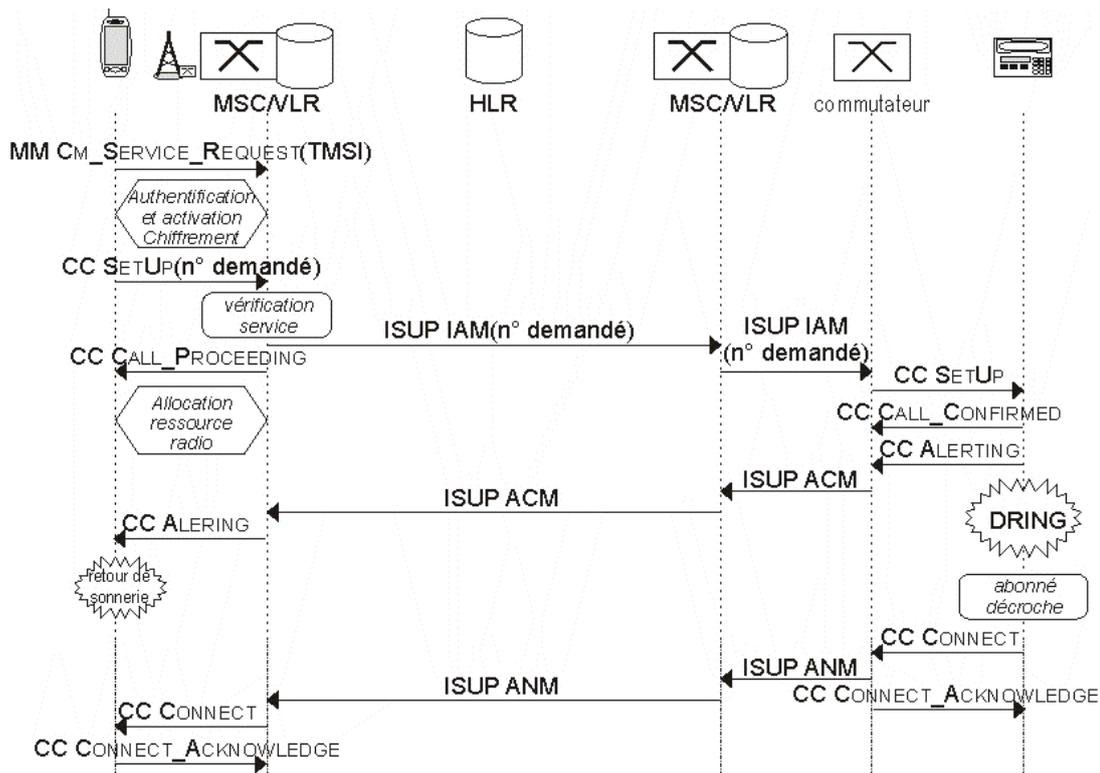
### 6.1. Déroulement d'un appel fixe



42

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

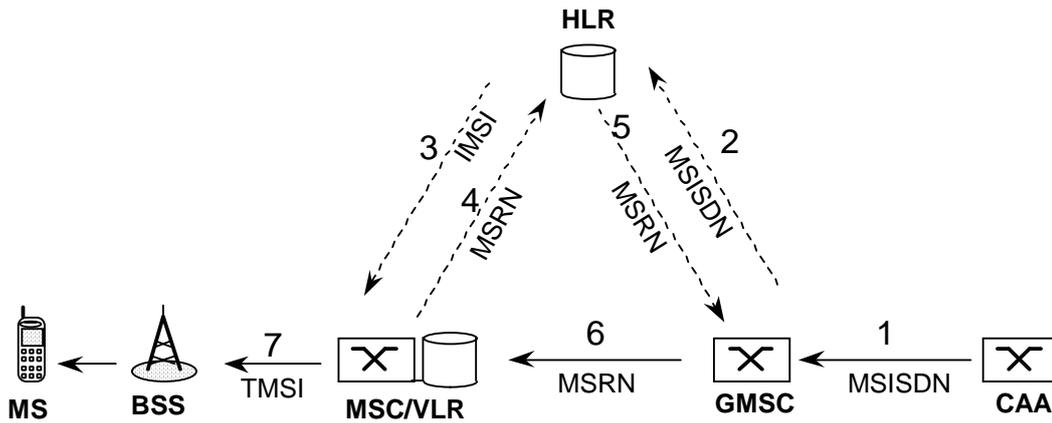
### 6.2. Appel Sortant



43

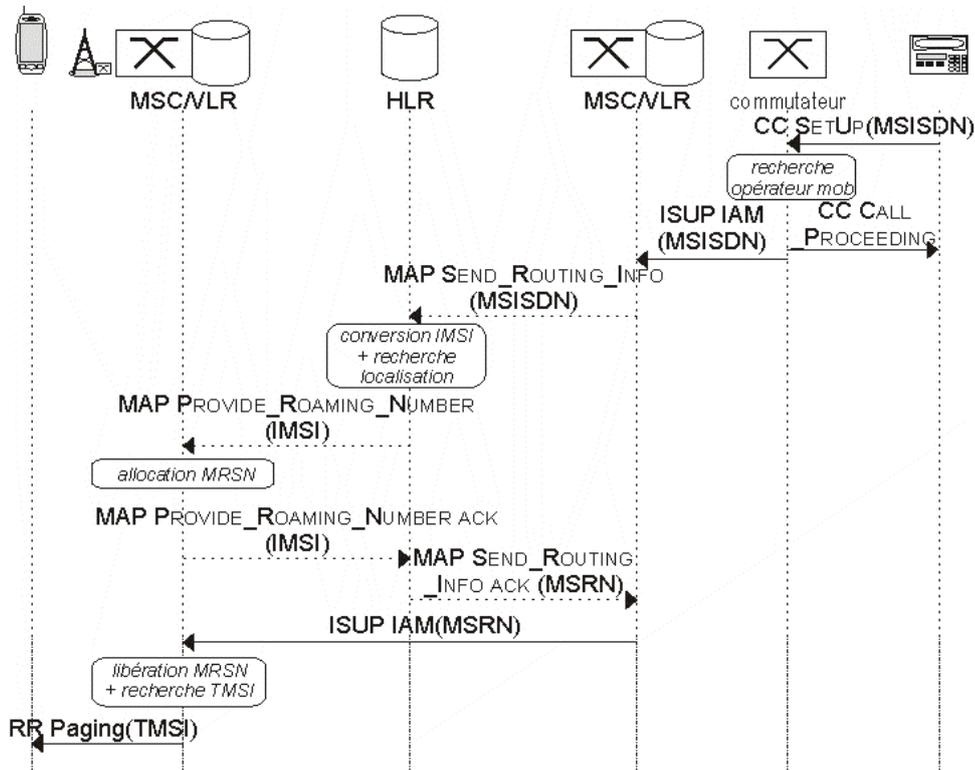
X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

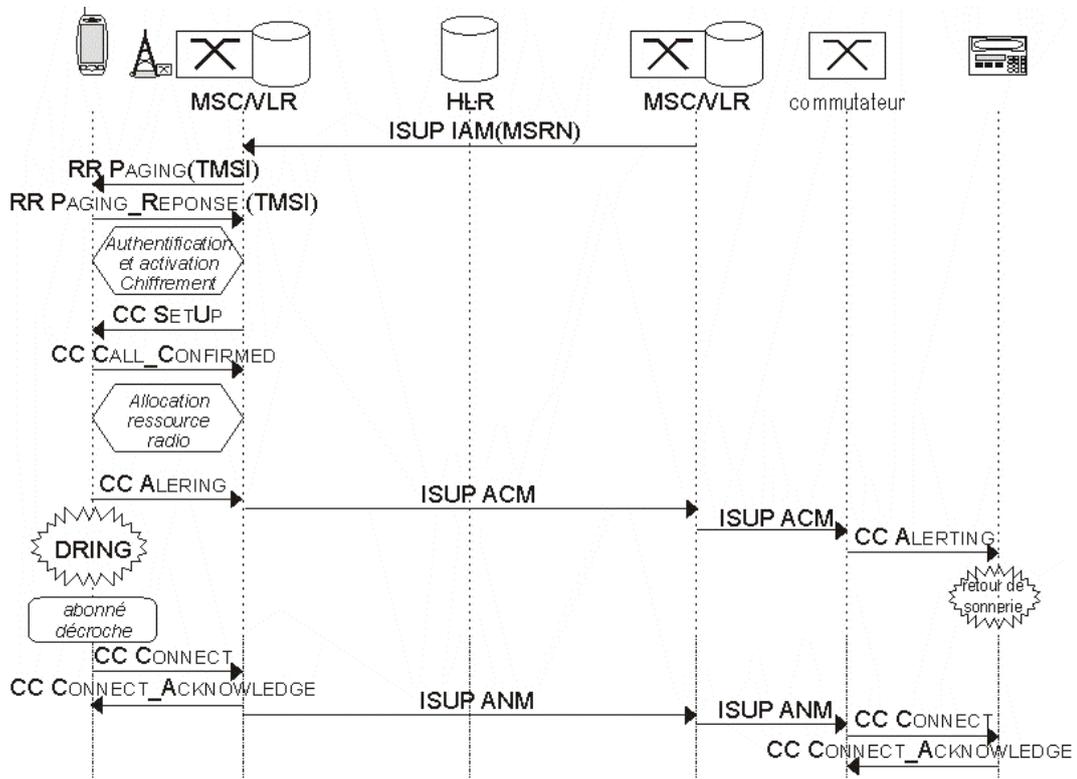
### 6.3. Appel entrant (fixe vers mobile)



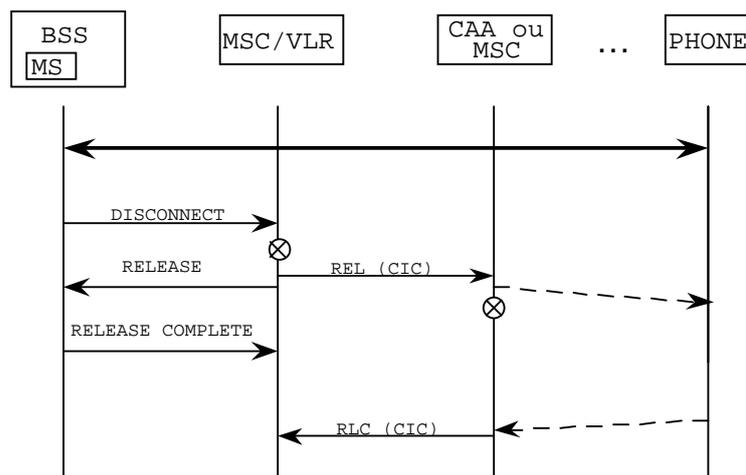
Principe simplifié de l'appel arrivé (ou entrant)

- Pour établir un appel téléphonique (protocole ISUP), il faut un numéro de téléphone dont les premiers chiffres donnent la localisation du demandé
- A chaque MSC/VLR est affecté une plage de numéros de roaming ou MSRN, *Mobile Station Roaming Number*, utilisé pendant les quelques secondes de l'appel vers un mobile

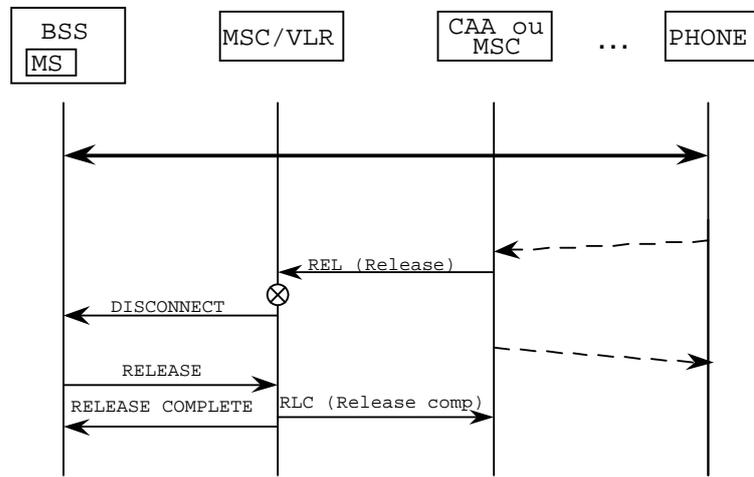




## Fin de communication



*Raccroché par l'abonné mobile*



*Raccroché par le poste fixe*

## 7. Intégration des réseaux orientés paquets (S3, facultatif)

### 7.1. Service fourni par GPRS

- GPRS = *General Packet Radio Service*
- Accès à un réseau de données à commutation par paquet
  - Nom générique = PDN, *Packet Data Network*
  - Dans la pratique = Réseau IP (IPv4, IPv6)
- Déploiement d'un réseau cœur de type IP qui permet de transporter des paquets de n'importe quel format
  - Nom générique = PDP, *Packet Data Protocol*
  - Dans la pratique = Paquet IPv4, Paquet IPv6 (trame PPP)
- Accès radio en mode paquet
- Débit possible :
  - 40 kbit/s typiquement en GPRS pur
  - 100 kbit/s typiquement avec GPRS+EDGE (Enhanced Data Rate for the Global Evolution)

49

---

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

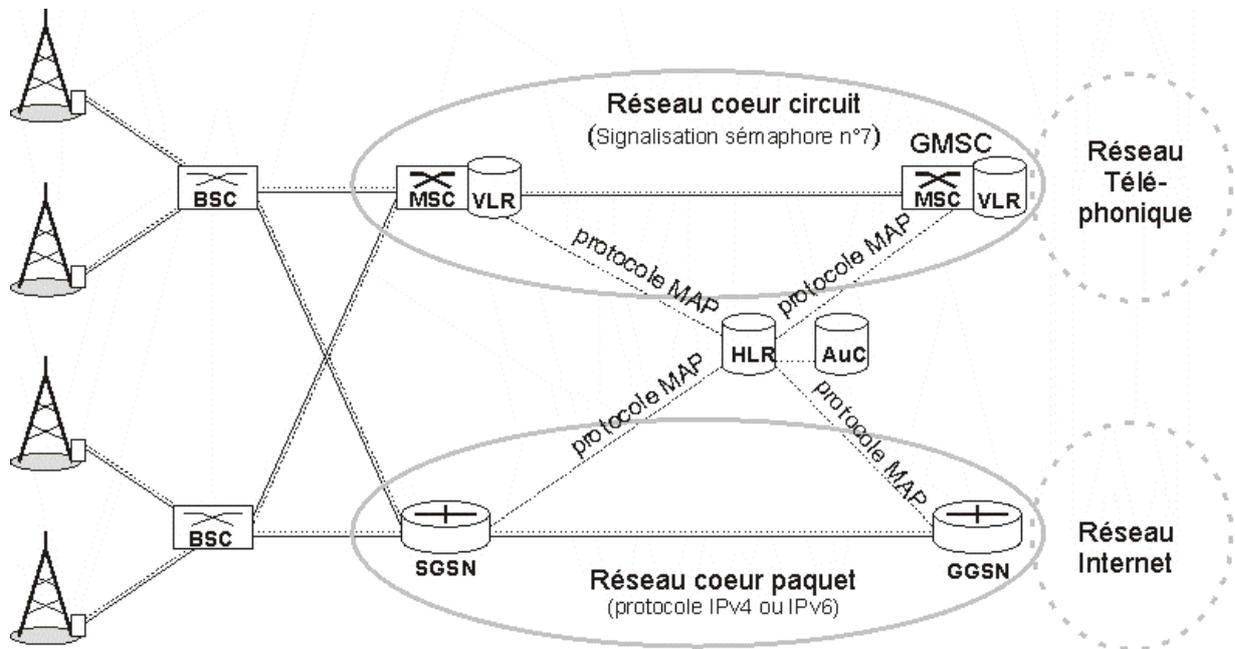
### 7.2. Architecture physique de référence

- Réutilisation des stations de bases BTS et des BSC
  - minimisation des coûts d'infrastructure
- Déploiement d'un réseau cœur spécifique
- SGSN : *Serving GPRS Support Node*, Routeur IP gérant les terminaux pour une zone  
Equivalent du MSC dans l'architecture circuit
- GGSN : *Gateway GPRS Support Node*, Routeur IP s'interfaçant avec les autres réseaux  
Equivalent du GMSC dans l'architecture circuit (mais on passe toujours par la passerelle)

50

---

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

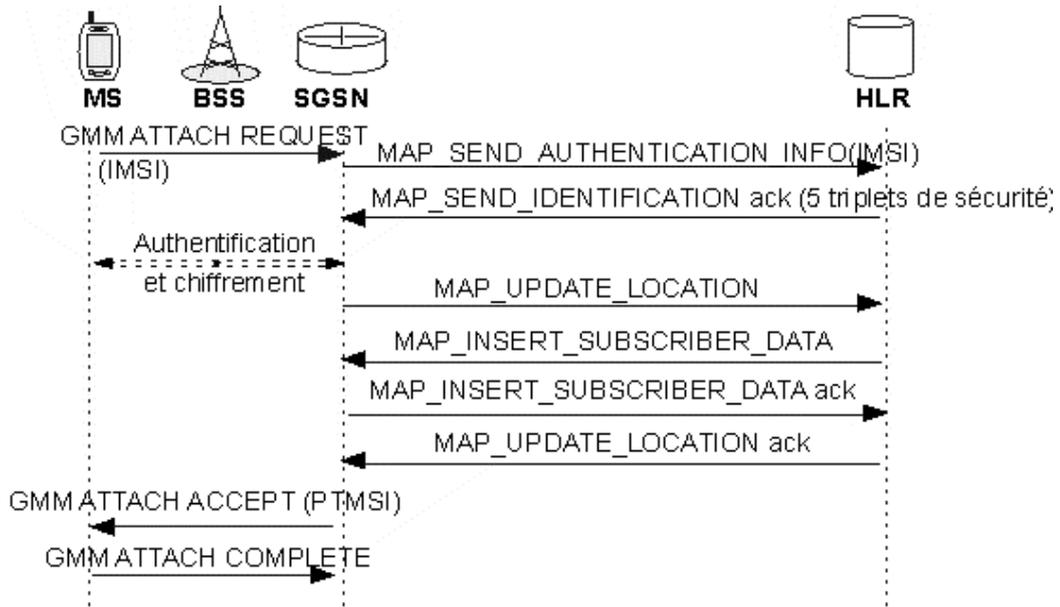


### 7.3. Attachement au réseau

#### Etats d'un mobile

- Mobile non attaché au réseau GPRS <=> Mobile éteint
- Mobile attaché au réseau GPRS <=> Mobile localisé par le réseau à la précision d'une zone de routage d'une cellule,
- Mobile attaché avec contexte activé <=> Mobile existant au niveau du réseau PDP

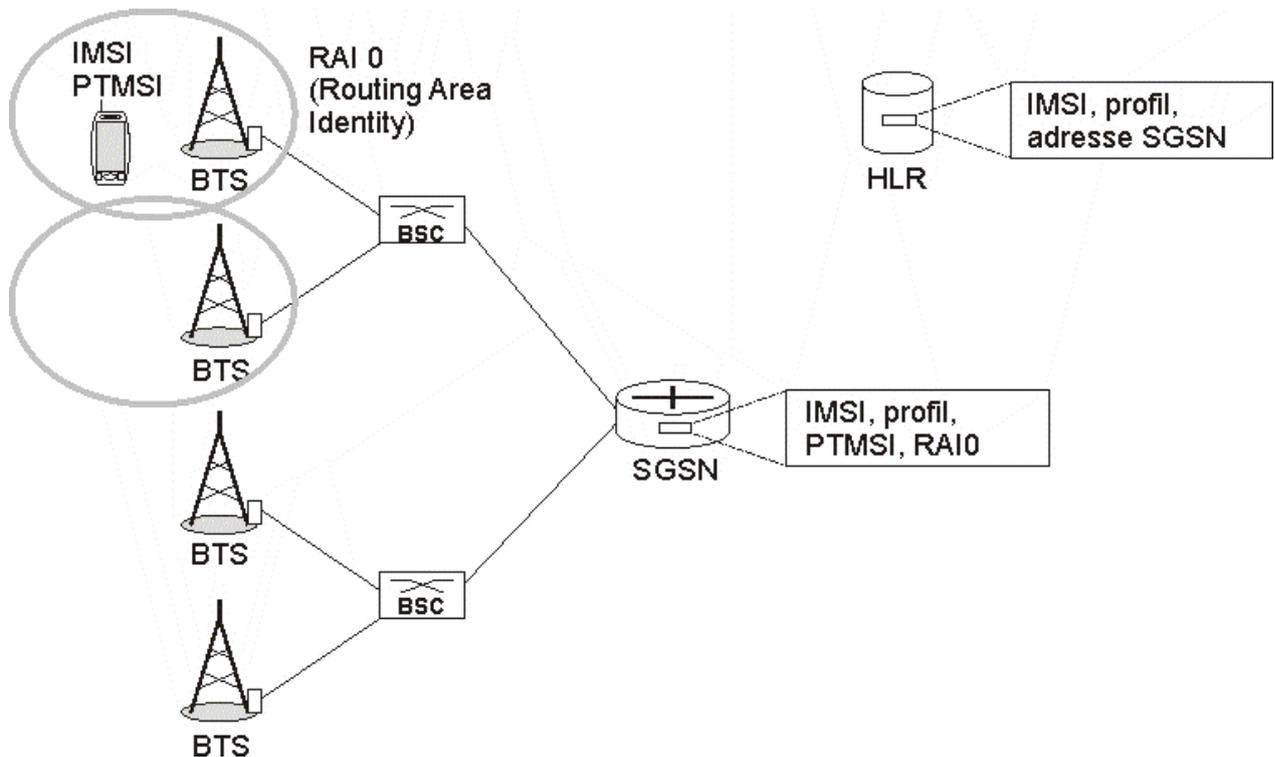
## Attachement au réseau



53

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## Attachement au réseau (suite)

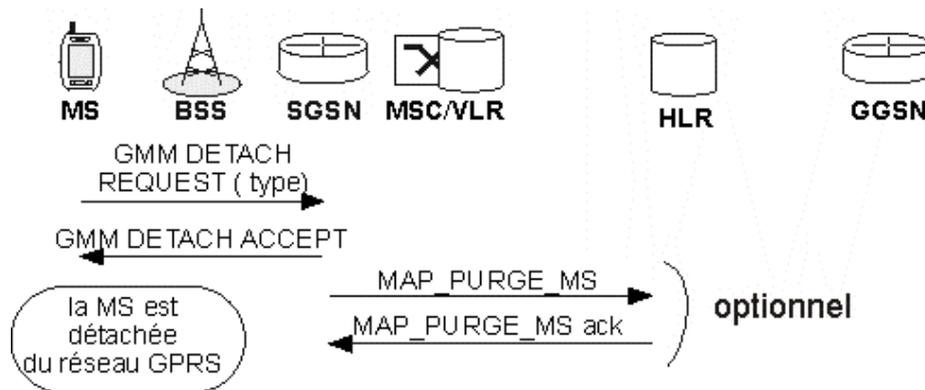


54

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## 7.4. Détachement GPRS

- Procédure effectuée lors de la mise hors tension



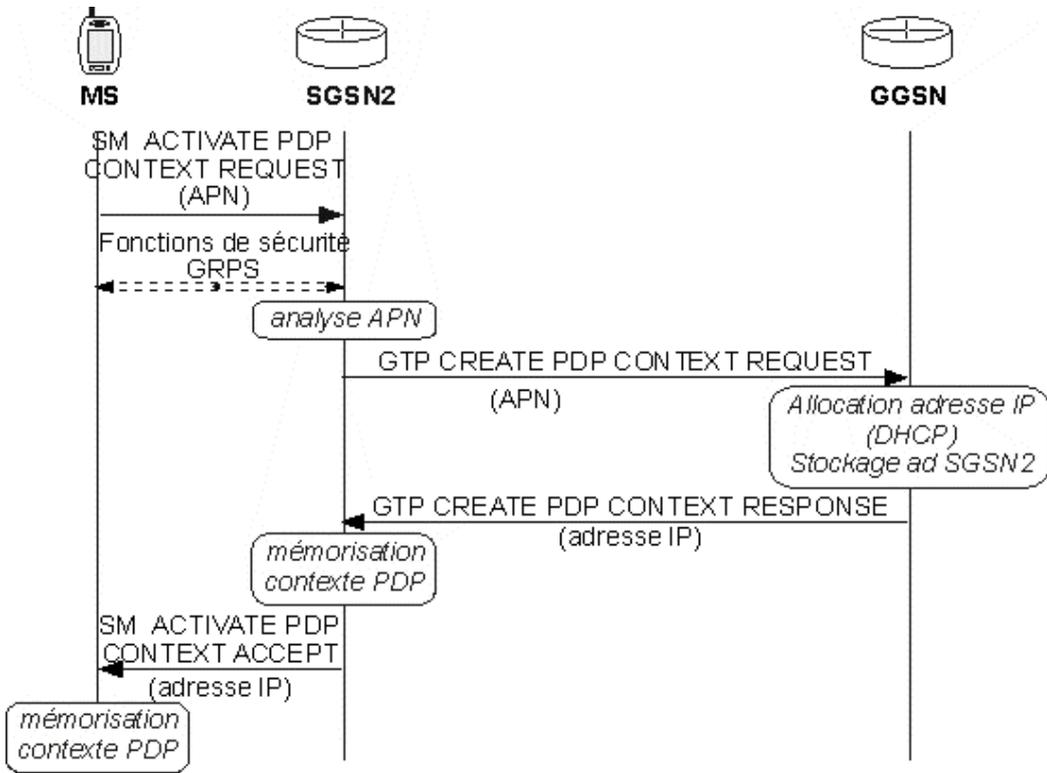
55

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## 7.5. Activation d'un contexte PDP

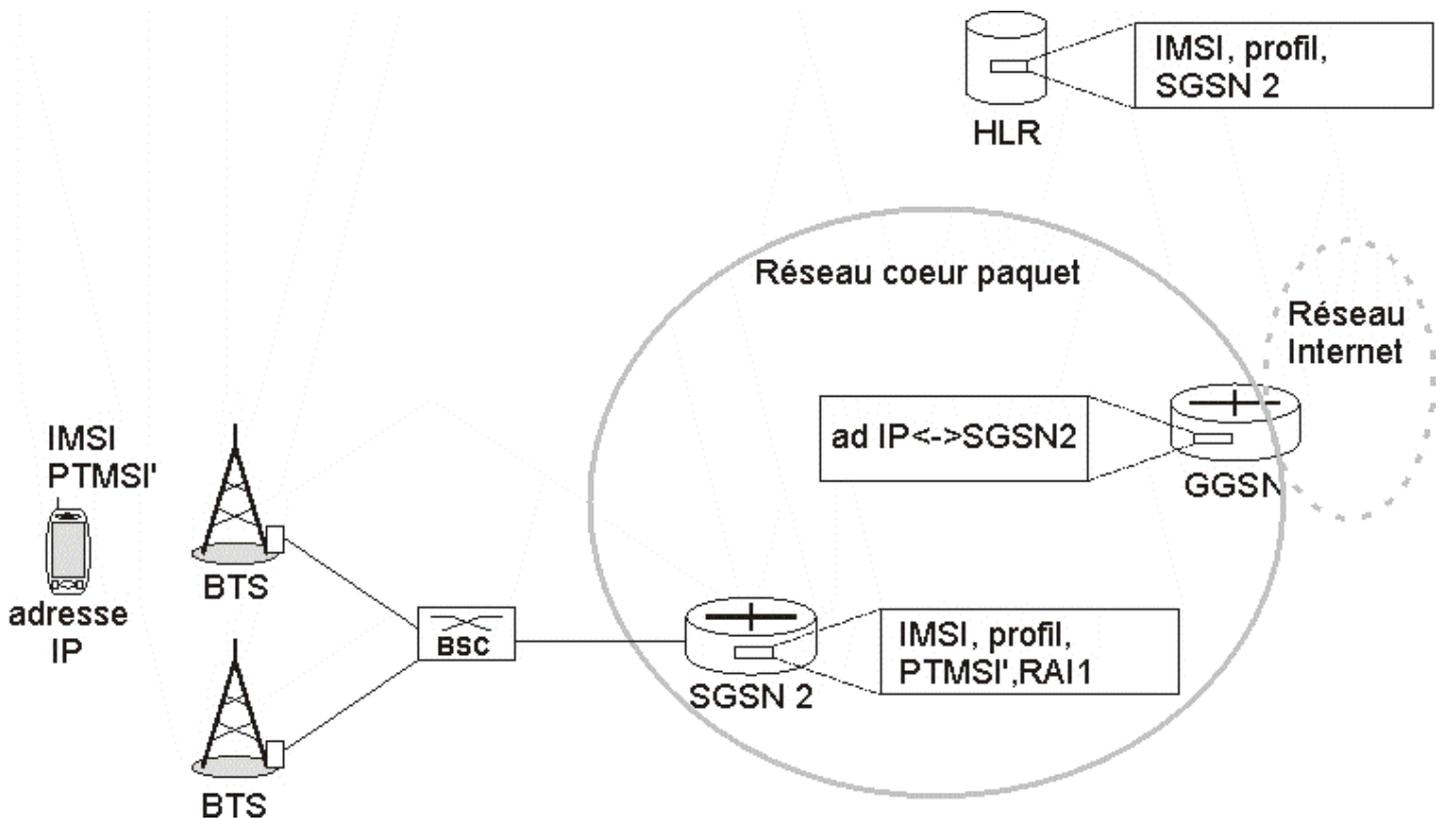
- Activation d'un contexte = connexion à réseau (mais pas forcément utilisation)
- Pour l'utilisateur, le contexte est précisé grâce à l'APN, Access Point Name (exemple `operateur.fr`, `accespro.operateur.fr`)
- L'activation d'un contexte conduit au choix d'un GGSN (fonction de l'APN)
- Réponse du réseau = adresse PDP (dans la pratique adresse IP)

56



57

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014



58

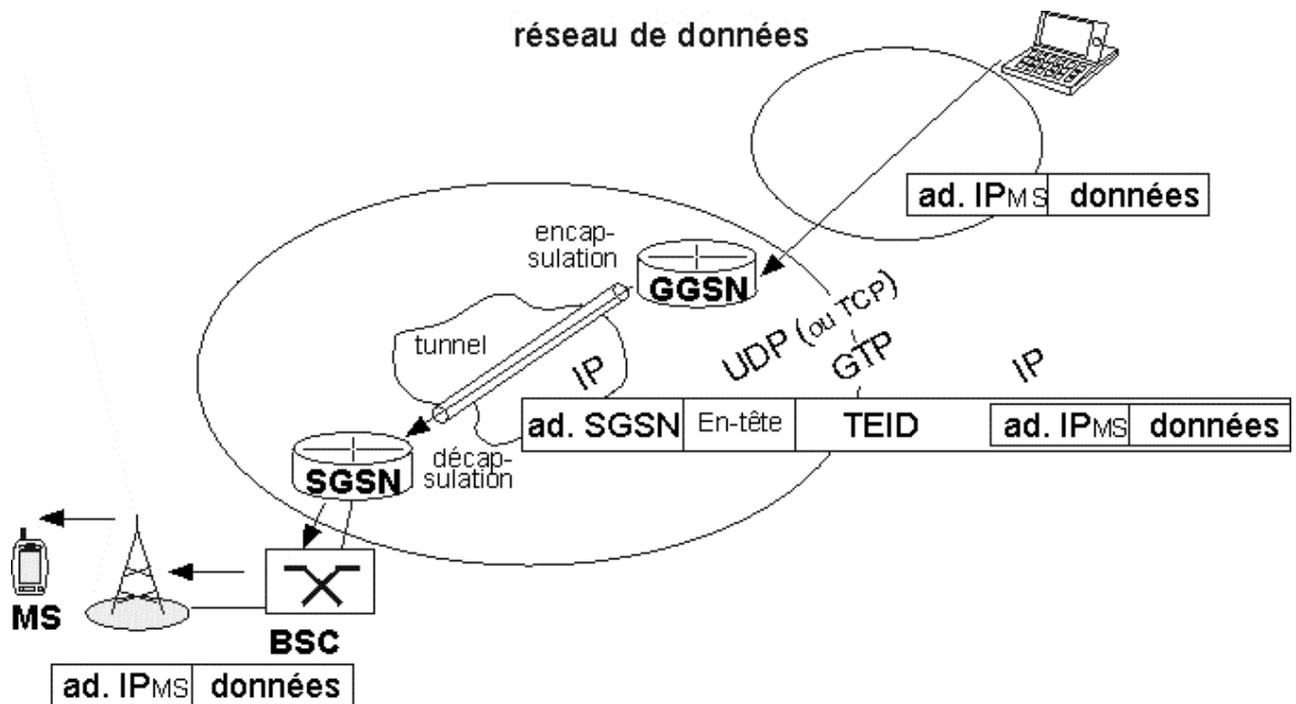
X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

## 7.6. Transmission de données dans le réseau GPRS

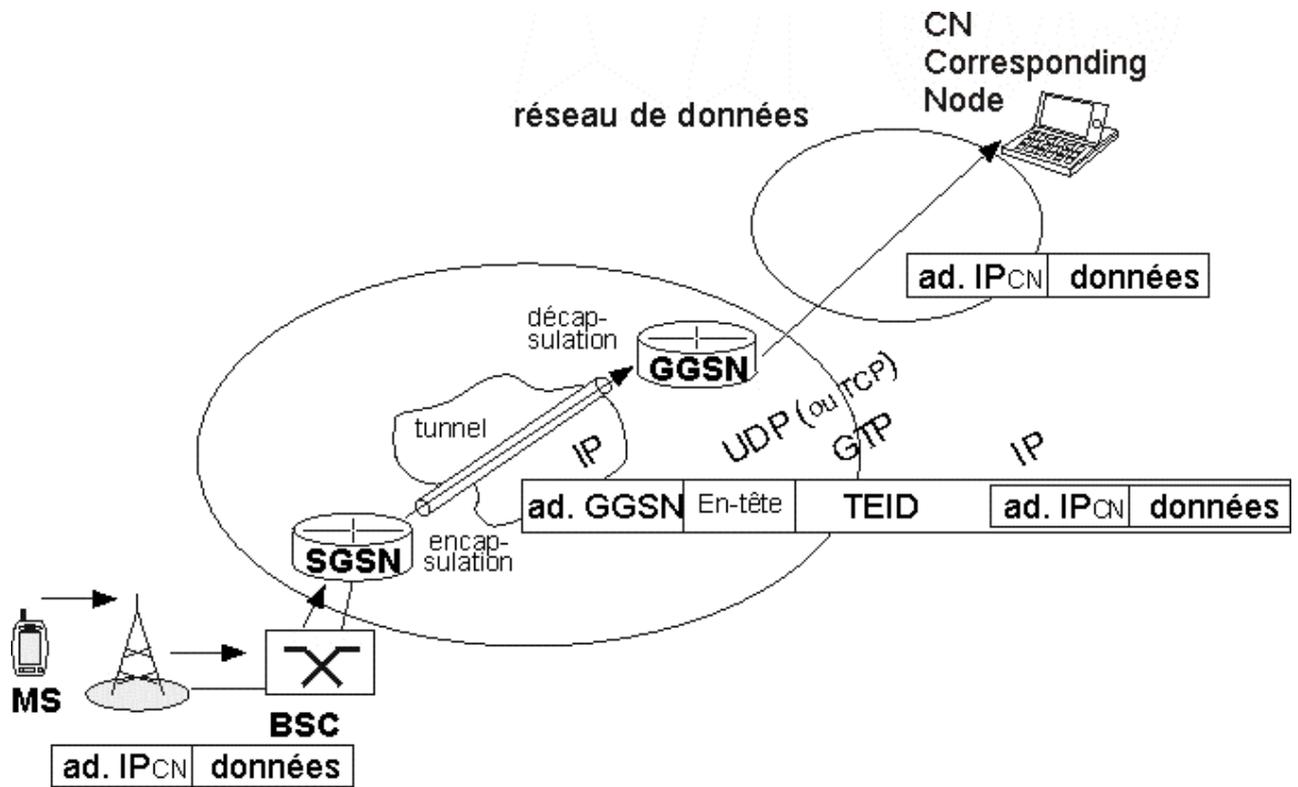
- A l'issue de l'activation de contexte PDP
  - Le SGSN connaît le réseau PDP utilisé, l'adresse PDP du mobile, ...
  - Le GGSN connaît l'adresse du SGSN où le mobile se trouve
- Les données venant des réseaux fixes sont encapsulées par le GGSN pour les envoyer vers le SGSN.

59

X. Lagrange, A. Pelov, G. Simon, TELECOM Bretagne, Mooc Introduction aux réseaux mobiles – 2014

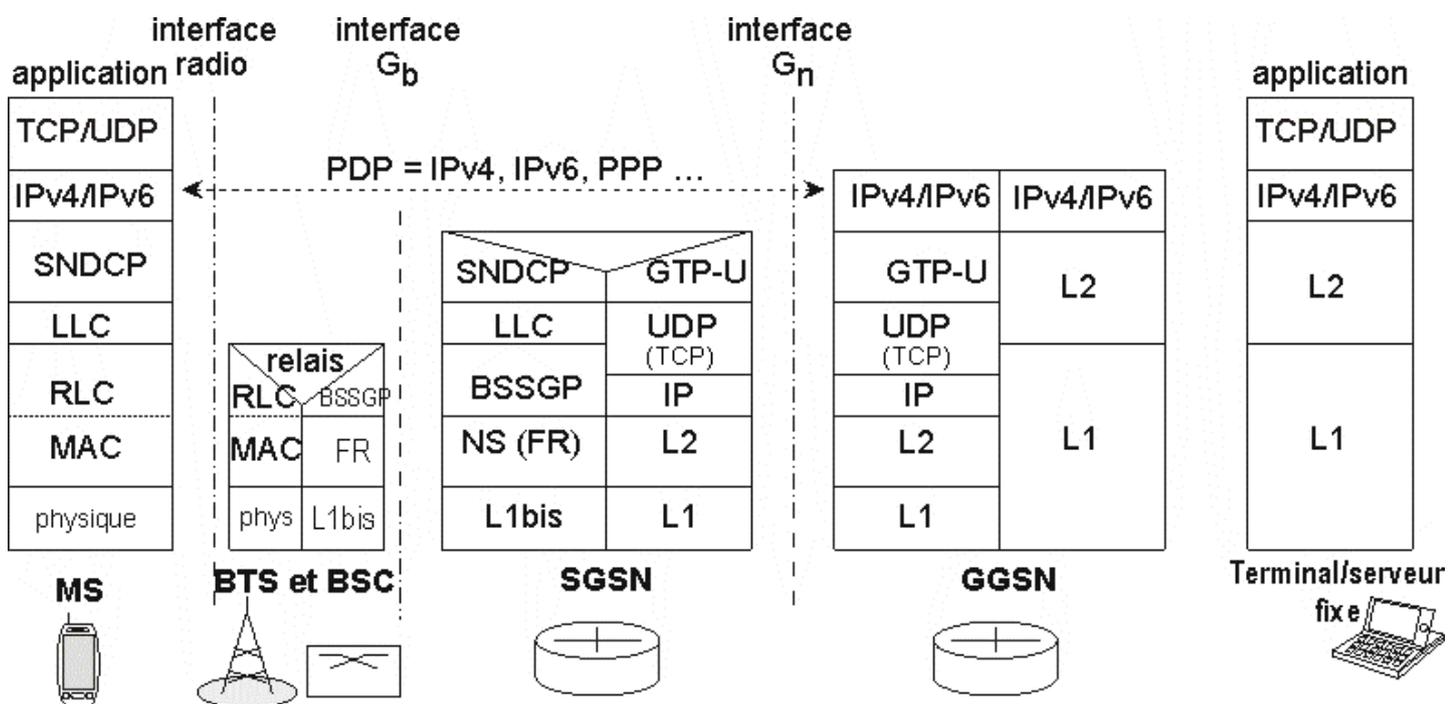


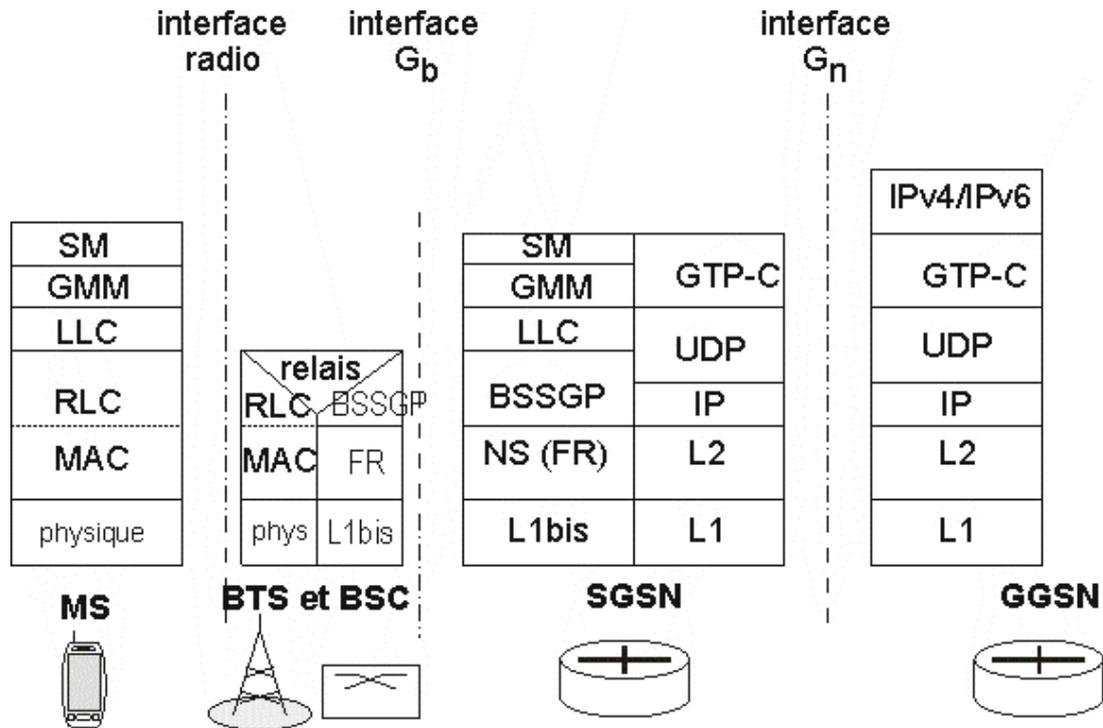
60



## 7.7. Architecture en couches

Architecture en couches dans le plan usager (User Plane)





## 8. Synthèse et conclusion sur réseau d'accès et réseaux cœur

- l'ensemble des stations de base constitue le réseau d'accès
- le réseau cœur est différent suivant les générations
  - GSM (2G) à l'origine : réseau téléphonique à commutation de circuit  
réutilisation des protocoles spécifiques au réseau téléphonique
  - GSM (2G) en 2013 : conservation des protocoles spécifiques au réseau téléphonique mais transport de la voix sur un réseau IP
  - GPRS (2G) : réseau cœur basé sur IP utilisé pour réseau téléphonique à commutation de circuit  
réutilisation des protocoles spécifiques au réseau téléphonique
  - Conservation de 2 réseaux cœurs pour la 3G
  - 4G : Utilisation d'un seul réseau cœur entièrement basé sur IP et les protocoles associés pour tous les services (http, FTP, SIP, RTP,...)

Explication des concepts généraux en prenant l'exemple de GSM (2G), réseau cœur circuit.

# Le concept cellulaire

X. Lagrange

Télécom Bretagne

21 Mars 2014

## Introduction : Objectif du cours

- Soit un opérateur qui dispose d'une bande de fréquences  $W$
- Où mettre les stations de base ?
- Quelle technologie choisir ?
- Comment organiser la bande de fréquences ?
- Comment affecter la ou les fréquences à chaque station de base ?
- L'organisation des ressources est-elle spécifique à un service ?

- Approche analytique pour comprendre les principaux phénomènes, les compromis
- Mathématiques
  - Trigonométrie
  - Analyse
  - Soupçon d'Arithmétique
  - Probabilité
- Propagation
- Bases de Théorie de l'information
- *de la logique!*
- De la patience!

## Présentation du modèle : services considérés

- Services non élastiques ( *inelastic* )
  - Requiert un débit minimal (ou fixe) et un faible retard (faible latence)
  - Exemple : la téléphonie, la vidéo-conférence
  - Cas du cours :  $R_{target}$  fixé
- Services élastiques
  - Tend à utiliser le débit maximal disponible
  - Exemple : transfert de fichiers, navigation web
  - Cours : calcul du débit maximal théorique qu'on peut avoir

- Le territoire est divisé en "cellules", desservies chacune par une (ou plusieurs) stations de base, l'ensemble de ces cellules formant un seul réseau (sans que cette division soit pas perceptible)
- Les mêmes canaux de fréquence sont réutilisés dans plusieurs cellules selon la capacité du système à résister aux interférences.
- Systèmes sans fils
  - couverture par îlots (même si on arrive à des archipels!)
  - WiFi
- Systèmes cellulaires
  - objectif de couverture *continue* d'un très large territoire
  - GSM/GPRS (2G), UMTS (3G), LTE (4G)

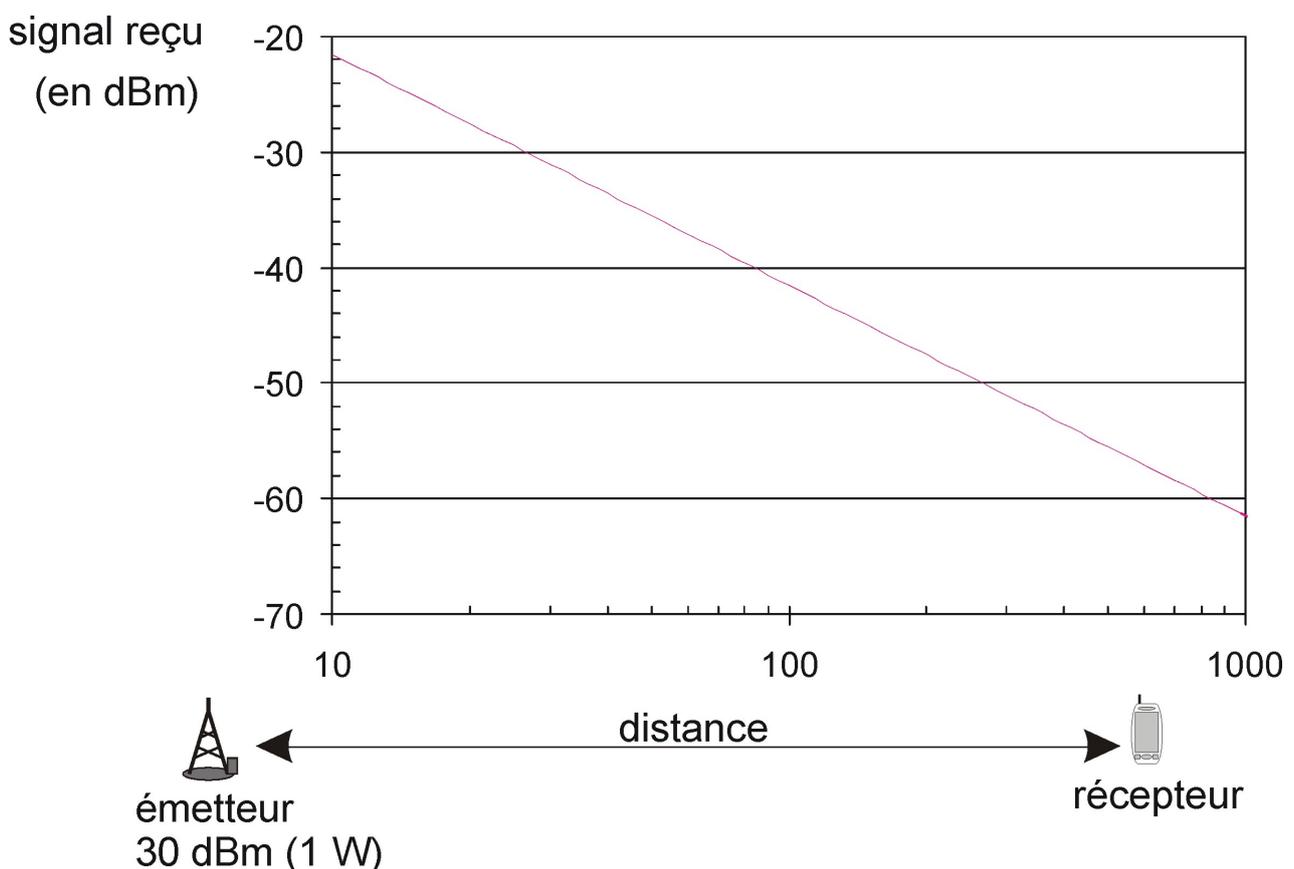
## Présentation du modèle : homogénéité partout !

- Surface à couvrir totalement uniforme
  - Même densité de population sur tout le territoire
  - Mêmes type de territoire (urbain, rural)
  - Homogénéité des utilisateurs
- Etude dans un premier temps de la liaison descendante ou *downlink*
  - Transmission du réseau vers le terminal
- Modèle théorique un peu loin de la réalité mais qui permet de comprendre les principaux phénomènes, les principaux compromis

# Propagation : Propagation dans le vide

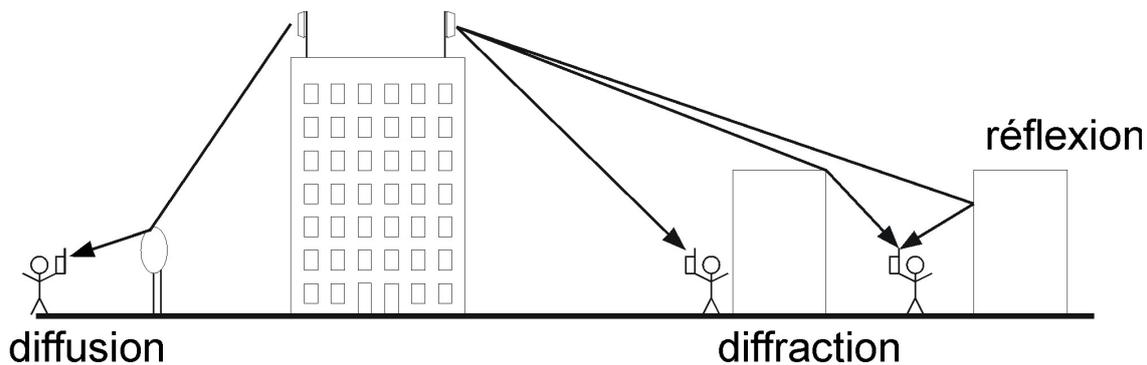
- Hypothèse d'une antenne omnidirectionnelle
- Rayonnement uniforme dans tout l'angle solide  $4\pi$
- Antenne de référence
  - Impossible à fabriquer
  - Simple à manipuler sur un plan théorique
- Propagation dans le vide : aucun obstacle
- Émetteur avec puissance  $P_E$  à l'entrée de l'antenne
- Puissance  $P_R$  reçue par le récepteur
  - $P_R = P_E \frac{\lambda^2}{(4\pi r)^2} = P_E \frac{\lambda^2 / (4\pi)^2}{r^2}$
  - avec  $\lambda$  la longueur d'onde du signal émis et  $r$  la distance entre l'émetteur et le récepteur.
  - Formule propagation en espace libre, appelée aussi formule de Friis

# Propagation : Propagation dans le vide



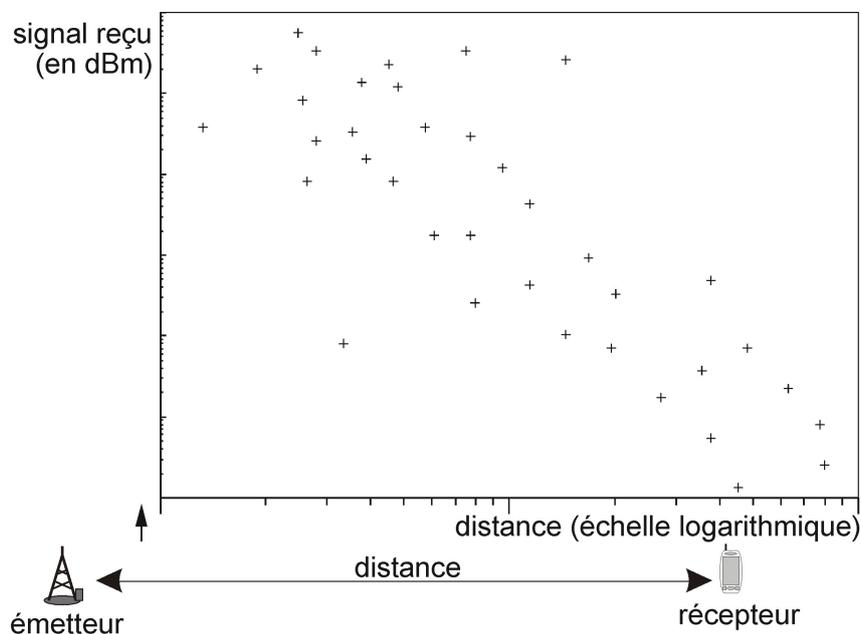
# Propagation : Propagation dans un milieu avec obstacles

- Il y a rarement visibilité directe entre l'émetteur et le récepteur
  - *Diffraction* sur les angles
  - *Réflexion* sur les surfaces planes
  - *Diffusion* sur les surfaces non planes
  - Ce qui importe, c'est la taille des irrégularités vis à vis de la longueur d'onde de l'onde électromagnétique considérée
- un terminal reçoit en général plusieurs échos du même signal transmis  $\Rightarrow$  Propagation multi-trajets
- Forte variation locale du signal (sur distance  $\lambda/2$ )



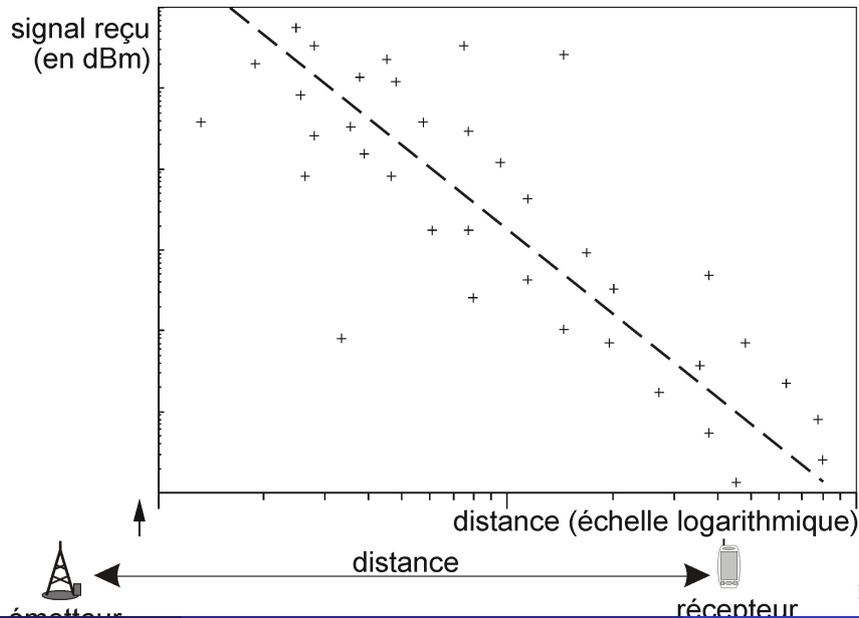
## Propagation : Modèle d'Okumura

- Phénomènes (diffraction, réflexion, diffusion) difficiles à prédire :
  - approche *empirique*
  - série de mesures faite par Y. Okumura à Tokyo en 1968
  - modèle sans cesse raffiné depuis (M. Hata, actions européennes COST)



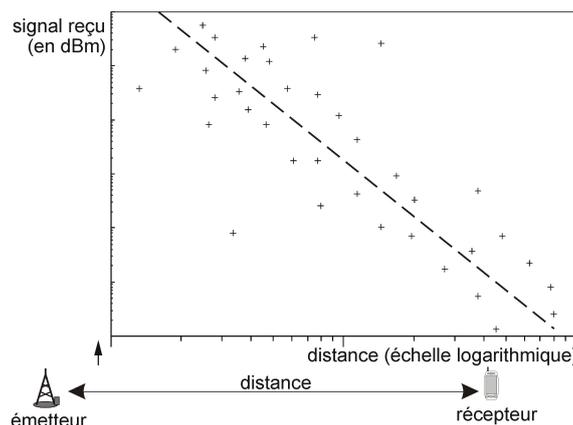
# Propagation : Modèle d'Okumura

- Puissance médiane  $P_R$  reçue par le récepteur,  $P_R = P_E \frac{k\lambda^2}{r^\alpha}$ 
  - avec  $\lambda$  la longueur d'onde du signal émis et  $r$  la distance entre l'émetteur et le récepteur.
  - avec  $k$  et  $\alpha$  deux paramètres dépendant de l'environnement ( $\alpha \in [2, 4]$  typiqu. 3.5)



# Propagation : Effet de masque

- Valeur médiane donnée par Okumura-Hata-Cost231
- Effet de masque : prise en compte de l'incertitude par variable aléatoire normale centrée (gaussienne)
- $P_R = P_E \frac{k\lambda^2}{r^\alpha} 10^{\sigma\xi/10}$ 
  - $\xi$  = variable aléatoire normale centrée et normalisée
  - $\sigma$  = écart-type de l'effet de masque en dB,  $\sigma \in [5, 10]$  typiquement



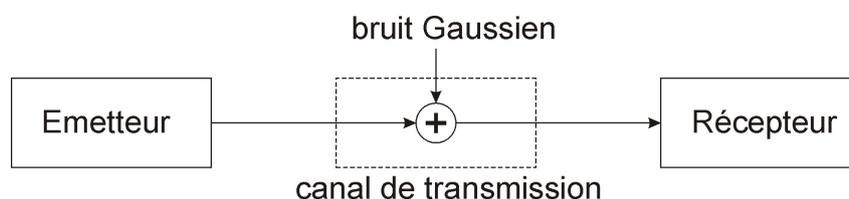
- Rapport  $S/N$  entre la puissance  $S$  du signal reçu et la puissance  $N$  du bruit de fond
  - Rapport souvent exprimé en dB (on affiche  $10 \log_{10}(S/N)$ )
  - SNR, Signal to Noise Ratio
- Le bruit de fond est dû à l'agitation thermique des électrons et aux imperfections des amplificateurs (notion de facteur de bruit)
  - Bruit thermique pur :  $N = WkT$  avec  $k = 1.38 \times 10^{-23}$  (constante de Boltzmann),  $T$  la température en Kelvin,  $W$  la largeur de bande du signal
  - Avec GSM,  $W = 270$  kHz,  $T = 293$  K d'où  $N = 1.1 \times 10^{-15}$  soit  $-119$  dBm<sup>1</sup>
  - Amplificateur GSM augmente le bruit de typiquement 5 dB
  - Le niveau de bruit est d'un récepteur de terminal GSM est  $-119\text{dBm} + 5\text{dB} = -114\text{dBm}$
- Si un terminal reçoit un signal de puissance  $-100$  dBm, le rapport signal sur bruit est de 14 dB

1. erreur de calcul dans la vidéo : le résultat plus précis est  $1.09 \times 10^{-15}$  et non  $1.16 \times 10^{-15}$ . Cela ne change rien à la valeur en dBm

Navigation icons

## Communications numériques : Débit et rapport signal sur bruit (1/2)

- Capacité du canal : limite supérieure de la quantité d'information qu'on peut transmettre de façon fiable sur un canal de transmission perturbé
- Concept issu de la théorie de l'information développé par Claude Shannon
- Sur un canal de transmission AWGN (Additive White Gaussian Noise), théorème de Shannon-Hartley
  - Le débit maximal  $R$  (en bit/s) qu'on peut atteindre est
  - $R = W \log_2(1 + S/N)$
  - où  $W$  est la bande du canal en Hertz,  $S/N$  est le rapport signal sur bruit (valeur linéaire)
  - $R/W$  est aussi appelée capacité de Shannon (en bit/s/Hz)



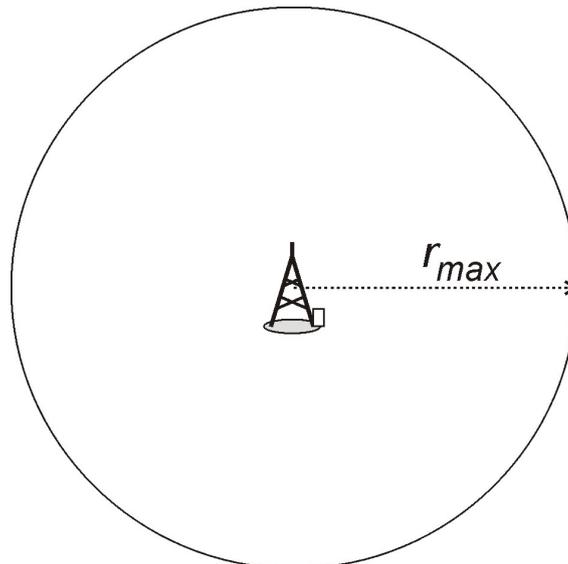
- Rappel : Capacité de Shannon,  $R/W = \log_2(1 + S/N)$ 
  - Dans les années 80 (GSM), on en était encore loin
  - Depuis 2005-2010, on s'en approche (progrès du codage, des protocoles de liaisons de données, adaptation dynamique de la modulation et du codage)
  - Hypothèse du cours : on l'atteint !
- Services non élastiques
  - Débit requis :  $R_{target}$   $\Rightarrow$  seuil minimal de  $S/N$  est appelé  $\gamma_{min}$
- Services élastiques
  - Débit possible  $R = W \log_2(1 + S/N)$
  - Dans la pratique, il faut aussi un débit minimal pour un certain confort
  - Cadre du cours : seuil minimal de  $S/N$  vaut  $\gamma_{min}$

## Sensibilité d'un terminal

- Rappel : Valeur minimale  $\gamma_{min}$  de rapport signal sur bruit exigé pour tous les services
- Puissance de bruit minimal d'un récepteur  $N$ .
- Soit  $C$  le signal reçu par un récepteur
- Condition de bonne réception :  $\frac{C}{N} > \gamma_{min}$
- Soit  $C > N\gamma_{min}$  ou  $10 \log_{10}(C) \geq 10 \log_{10}(N) + 10 \log_{10}(\gamma_{min})$
- La valeur minimale de  $C$  s'appelle la *sensibilité* :  $C_{min} = N\gamma_{min}$
- Exemple
  - En GSM, pour un service de téléphonie,  $\gamma_{min} = 9$  dB
  - Pour un terminal, le bruit de fond,  $N = -114$  dBm
  - On en déduit  $C \geq -105$  dBm

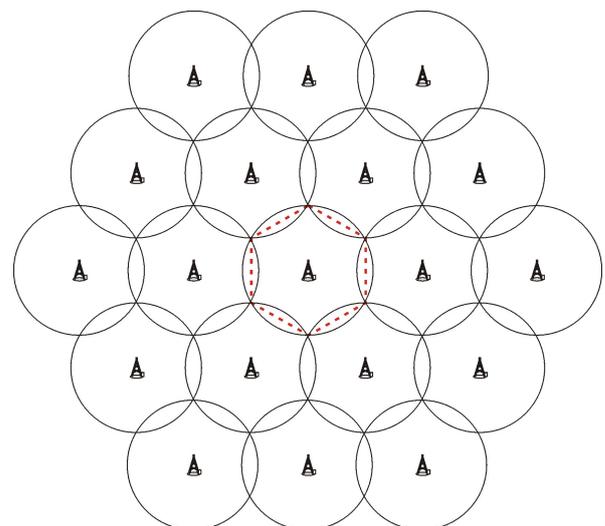
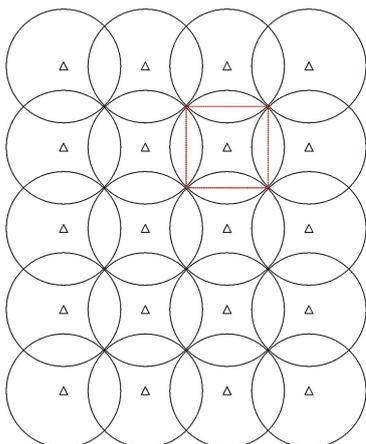
# Réseau cellulaire régulier : Cellule élémentaire isolée

- Soit une station de base isolée avec une antenne isotrope parfaite transmettant à la puissance  $P$
- Propagation régulière :  $C = P \frac{k\lambda^2}{r^\alpha}$
- Sensibilité du terminal :  $C_{min}$
- $C \geq C_{min} \iff r \leq r_{max}$  avec  $r_{max} = (Pk\lambda^2/C_{min})^{1/\alpha}$



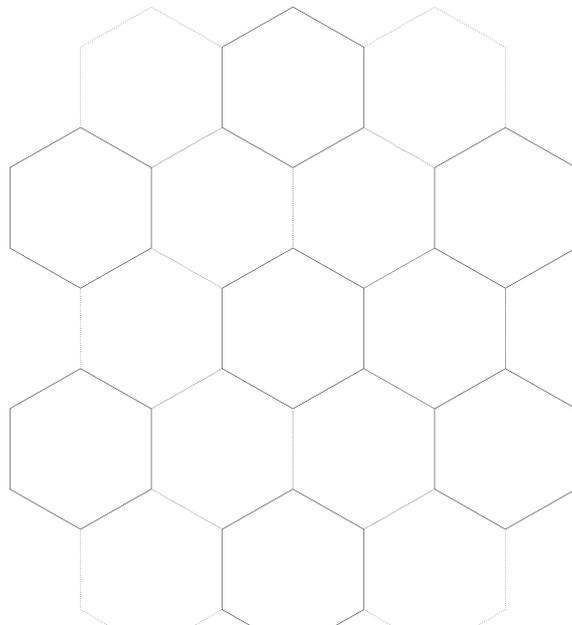
# Réseau cellulaire régulier : Cellules hexagonales

- En première approximation, Cellule = disque de rayon  $r_{max}$
- Pour avoir une couverture sans trou, il faut un recouvrement des cellules
- Maillage des stations de base selon une grille hexagonale = meilleure compacité



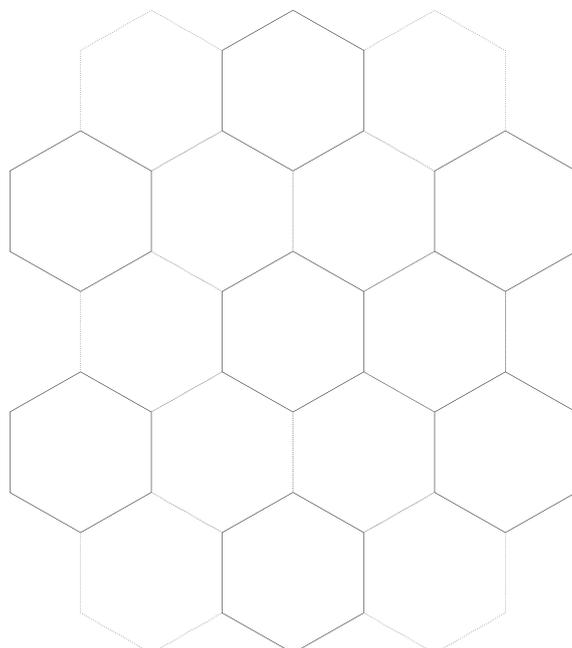
# Réseau cellulaire régulier : Notion de motif

- On considère des "carreaux" hexagonaux
- On dispose de plus ou moins de couleurs
- Suivant le nombre de couleurs  $K$ , quelle est la distance  $D$  entre les centres de 2 carreaux de même couleur ?
- Avec une couleur ( $K = 1$ ),  $D = 1$

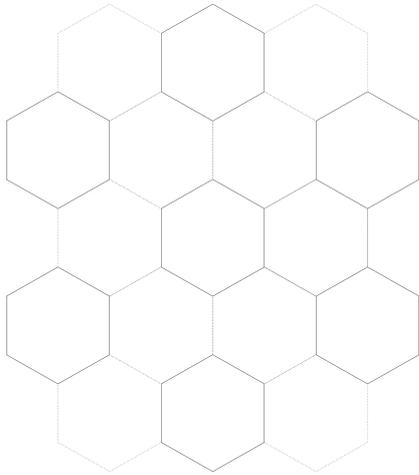


# Réseau cellulaire régulier : Notion de motif

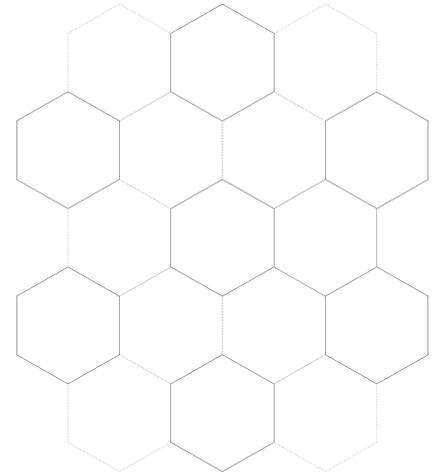
- Avec deux couleurs ( $K = 2$ ),  $D = 1$
- Peu d'intérêt à utiliser un motif de taille 2



Avec 3 couleur ( $K = 3$ ),  $D = ?$



Avec deux couleurs ( $K = 4$ ),  $D = ?$

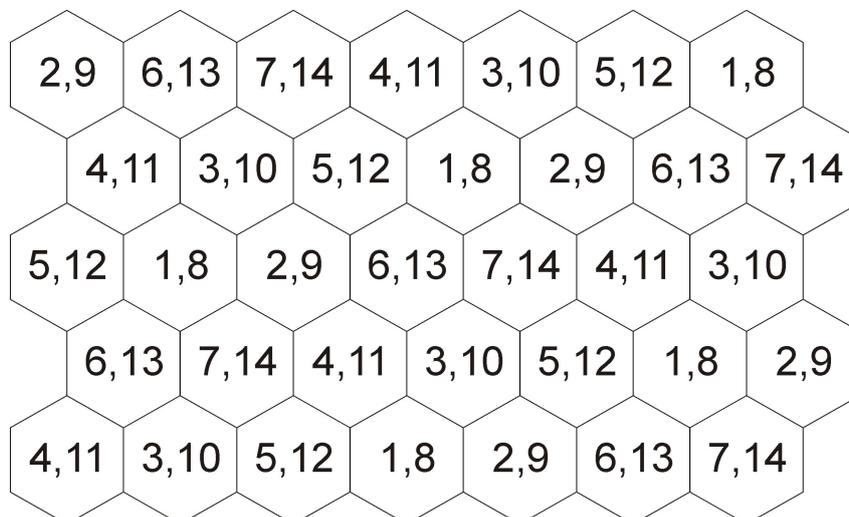


- Détermination d'un *motif* de base et réplication de ce motif à l'infini
- Résultats admis :
  - Le nombre de couleur doit vérifier :  $K = i^2 + j^2 + ij$  avec  $i$  et  $j$  entiers
  - Dans ce cas,
    - $D = \sqrt{3Kr_{max}}$
    - il y a 6 hexagones de même couleur à la distance  $D$
    - $K = 1, 3, 4, 7, 9 \dots$
    - Le nombre de couleur doit vérifier :  $K = i^2 + j^2 + ij$  avec  $i$  et  $j$  entiers
- Remarque : on peut faire un motif de taille quelconque mais la distance  $D$  est la même que pour la valeur de  $K$  immédiatement inférieure qui vérifie la formule

- Analogie :
  - couleur  $\iff$  groupe de fréquences
  - 2 couleurs différentes  $\iff$  toutes les fréquences sont différentes
- Motif de réutilisation cellulaire : ensemble de cellules où toutes les fréquences sont différentes
- Si un opérateur dispose de  $N$  fréquences au total, avec un motif de taille  $K$ , il pourra mettre  $N/K$  fréquences dans chaque cellule

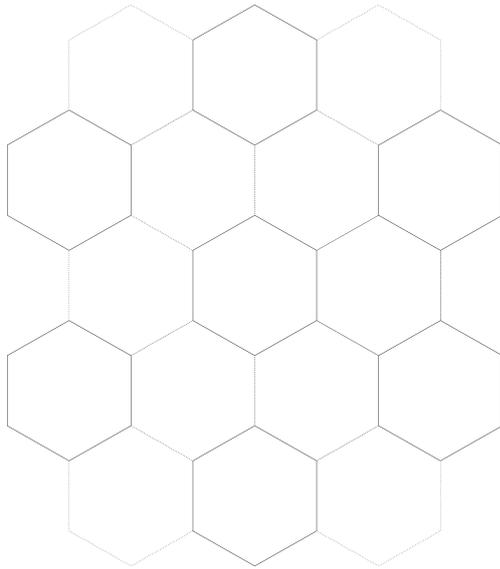
## Réseau cellulaire régulier : exemple du motif à 7

- Opérateur avec 14 fréquences
- Planification avec un motif de taille 7

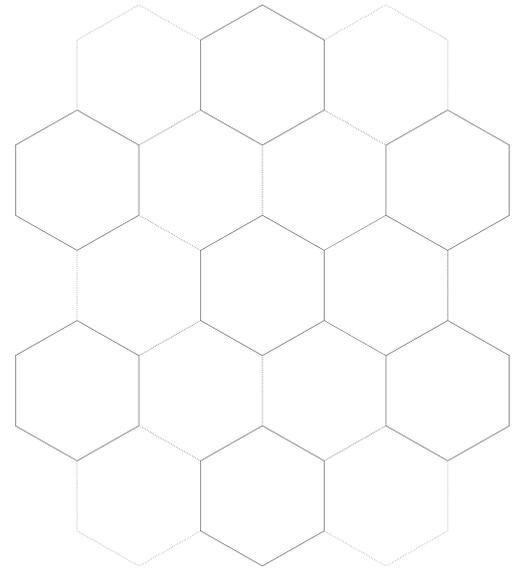


- Un opérateur a 12 fréquences numérotées de 1 à 12, affecter à chaque cellule une ou plusieurs fréquences avec un motif à 3, puis avec un motif à 4

Motif à 3 ( $K = 3$ )



Motif à 4 ( $K = 4$ )

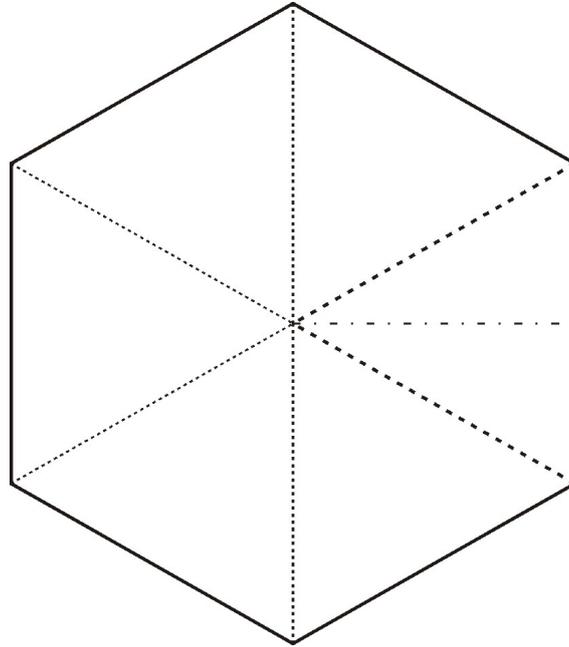


## Analyse d'un réseau cellulaire : Pire cas et cas médian

- Réseau hexagonal régulier
- Analyse du débit
  - en bordure de cellule
    - Débit minimal
  - à une distance "médiane" (partage la cellule hexagonale en deux parties de même surface)
    - Débit médian (notion spécifique à ce cours)

# Analyse d'un réseau cellulaire : Surface d'un hexagone

- Soit un hexagone de rayon  $r_{max}$
- $S_H = 6 \times \frac{\sqrt{3}}{2} r_{max} \times \frac{1}{2} r_{max}$
- $S_H = \frac{3\sqrt{3}}{2} r_{max}^2$

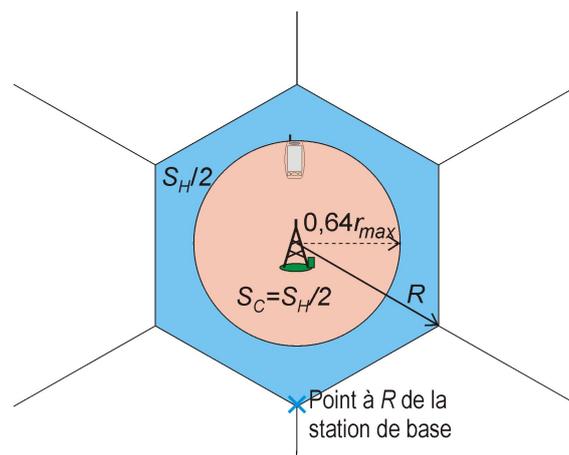


# Analyse d'un réseau cellulaire : Calcul du rayon médian

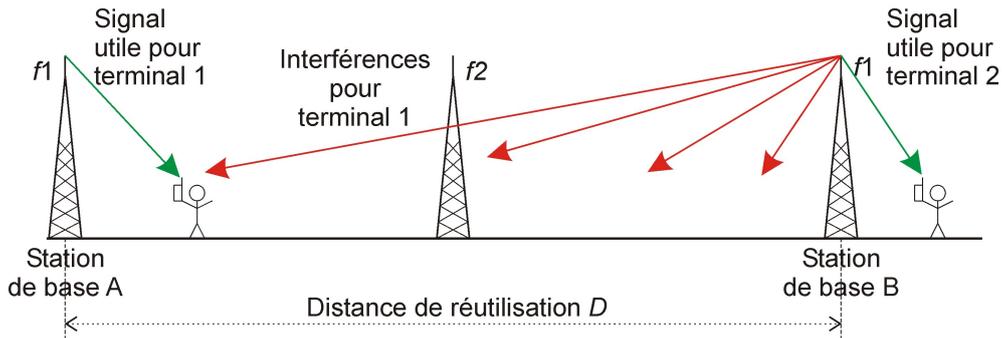
- $S_H = \frac{3\sqrt{3}}{2} r_{max}^2$
- $S_C = \pi r_{median}^2$
- Donc

$$r_{median} = r_{max} \sqrt{\frac{3\sqrt{3}}{4\pi}}$$

- $r_{median} = 0.64 r_{max}$



- Réseaux cellulaire :
  - Bruit de fond (bruit additif gaussien)
  - Interférence co-canal  $\Rightarrow$  assimilé à du bruit additif gaussien
  - Interférence canal adjacent  $\Rightarrow$  souvent négligée
  - Autres sources d'interférences  $\Rightarrow$  négligées

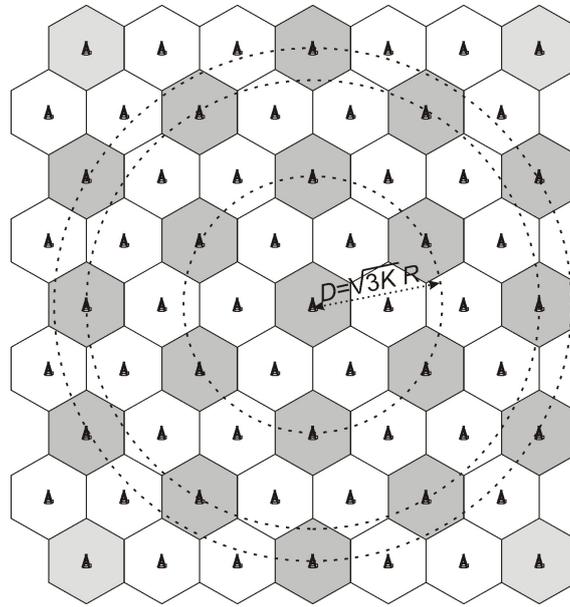


## Analyse d'un réseau cellulaire : Rapport signal sur interférence

- Réseaux cellulaire :
  - Bruit de fond (bruit additif gaussien)  $N$
  - Total des interférences co-canal  $I \Rightarrow$  assimilé à du bruit additif gaussien
- Rapport Signal sur Bruit vaut  $\frac{C}{I+N}$ 
  - Dans un système cellulaire,
    - *rapport Signal sur Interférence et Bruit*
    - SINR, Signal to Interference and Noise Ratio
  - Les interférences sont souvent bien supérieures au bruit, on parle de
    - *rapport Signal sur Interférence*
    - SIR, Signal to Interference Ratio
    - $C/I$  avec  $C$  puissance du signal utile et  $I$  puissance des interférences, *Notation du cours*
- Capacité de Shannon,  $R/W = \log_2(1 + C/I)$

# Analyse d'un réseau cellulaire : Cellules co-canal

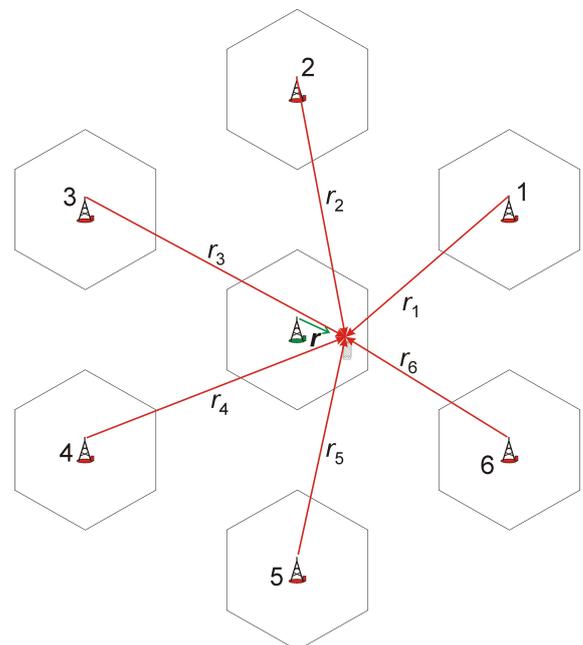
- 6 cellules co-canal à la distance de réutilisation  $D = \sqrt{3K}r_{max}$  (si  $K = 1$ , 6 cellules voisines)
- Encore 6 cellules co-canal à  $D' = \sqrt{3}D = 3\sqrt{K}r_{max}$
- Méta-structure hexagonale



Navigation icons: back, forward, search, etc.

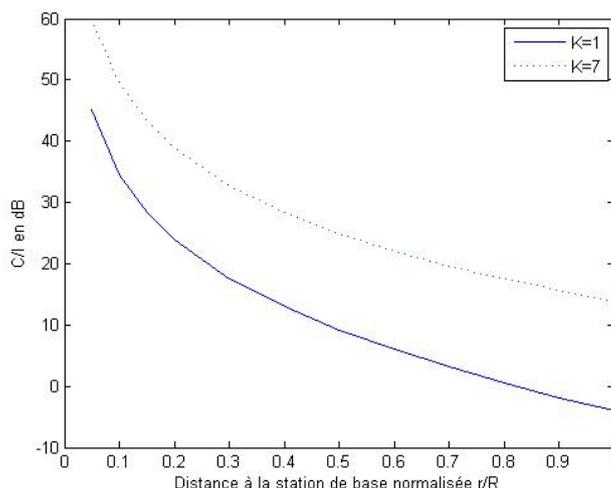
## Analyse d'un réseau cellulaire : rapport signal sur interférence

- Signal utile  $C = P \frac{k}{r^\alpha}$
- On ne considère que les 3 premières couronnes d'interférences (18 cellules co-canal)
- Interférences  $I = \sum_{j=1}^{18} P \frac{k}{r_j^\alpha}$
- On en déduit pour un mobile en un point donné  $C/I = \frac{1}{\sum_{j=1}^{18} (r/r_j)^\alpha}$
- Le C/I ne dépend pas du facteur  $k$ , ni des puissances d'émission



# Analyse d'un réseau cellulaire : rapport signal sur interférence

- Quelle que soit la taille de motif, le rapport signal sur interférence est d'autant plus grand que le terminal est proche de la station de base
- Pour une taille de motif grande, la décroissance est plus faible.
- En bordure de cellule,  $C/I = -3dB$  dans ce modèle régulier idéal (dans la pratique on peut rencontrer  $-12 dB$ ).



Navigation de la diapositive

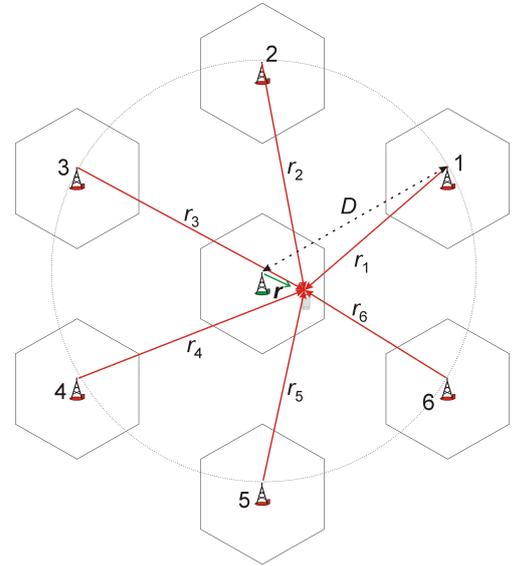
## Analyse d'un réseau cellulaire : Découpage en porteuses des systèmes 1G et 2G

- Grande ou moyenne taille de motif  $K$  pour systèmes 1G ou 2G
- Opérateur dispose d'une bande  $W$
- Découpage FDMA de la bande en  $n$  sous-porteuses de largeur  $w$
- On a  $n = W/w$
- Contrainte  $n \geq K$

Navigation de la diapositive

# Analyse d'un réseau cellulaire : Calcul simplifié de C/I pour un grand motif

- Rappel  $C/I = \frac{1}{\sum_{j=1}^{18} (r/r_j)^\alpha}$
- Si  $K$  est grand,  $r_j \simeq D$  et en ne considérant que la première couronne
- $C/I = \frac{1}{\sum_{j=1}^6 (r/D)^\alpha} = \frac{1}{6} \left(\frac{D}{r}\right)^\alpha$
- Le  $C/I$  minimal est obtenu pour  $r = r_{max}$
- On en déduit  $(C/I)_{min} = \frac{1}{6} (3K)^{\alpha/2}$
- Conclusions (généralisable avec des hypothèses moins restrictives)
  - Le seuil de fonctionnement d'un système impose une taille de motif
  - C'est bien une caractéristique intrinsèque d'un système



# Analyse d'un réseau cellulaire : calcul simplifié de débit disponible pour un grand motif

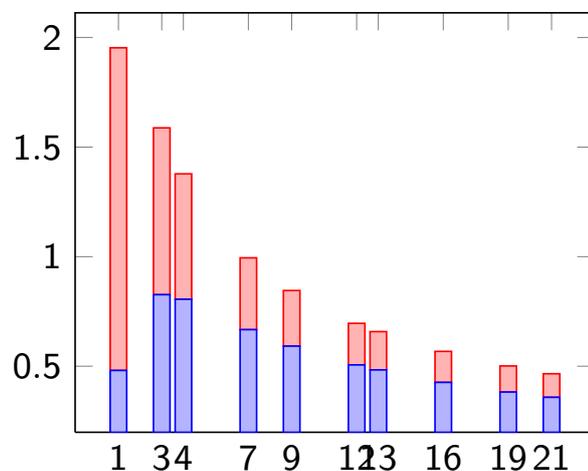
- Avec le modèle très simple,
- $C/I = \frac{1}{6} \left(\frac{D}{r}\right)^\alpha$
- Avec un motif de taille  $K$ , la bande disponible sur chaque cellule est  $W/K$
- En utilisant le théorème de Shannon-Hartley, on obtient
  - $R_{min} = \frac{W}{K} \log_2 \left(1 + \frac{1}{6} (3K)^{\alpha/2}\right)$  obtenu pour  $r = r_{max}$
- Si  $K \rightarrow \infty$ ,  $R_{min} \simeq \frac{W \log_2 \left(\frac{3^{\alpha/2}}{6}\right)}{K} + \frac{\alpha W}{2} \frac{\log_2(K)}{K}$  et donc  $R_{min} \rightarrow 0$
- On montre de même que  $R_{median} = \frac{W}{K} \log_2 \left(1 + \frac{1}{6} \left(\frac{3K}{0.64}\right)^{\alpha/2}\right) \rightarrow 0$  si  $K \rightarrow \infty$
- Si on veut disposer de hauts-débits et simplifier la planification, mieux vaut utiliser une petite taille de motif

# Analyse d'un réseau cellulaire : Zone de fonctionnement des systèmes 1G et 2G

- Systèmes Analogiques (1ère génération, années 70-80)
  - Seul service = téléphonie
  - Le  $C/I$  est en relation directe avec la qualité de service perçue
  - Seuil de fonctionnement typique : 18 dB
  - Il faut garantir de seuil important dans toute la cellule
  - Taille de motif imposée = 21
- Systèmes Numériques de 2ème génération de type GSM
  - Service principal = téléphonie
  - Utilisation du codage correcteur d'erreur
  - Seuil de fonctionnement typique : 12 dB
  - Il faut garantir de seuil dans toute la cellule
  - Taille de motif imposée = 12

## Analyse d'un réseau cellulaire : Débit minimal et débit médian par rapport à la taille de motif

- Calcul identique au précédent mené en appliquant
$$C/I = \frac{1}{\sum_{j=1}^{18} (r/r_j)^\alpha}$$
- Pour un mobile à distance  $r$ ,
$$R = \frac{W}{K} \log_2 \left( 1 + \left( \frac{\sqrt{3K}}{g(r)} \right)^\alpha \right)$$
avec  $g$  fonction croissante
- Calcul pour différentes tailles de motif
- Débit médian maximal pour  $K = 1$



# Analyse d'un réseau cellulaire : Zone de fonctionnement des systèmes 3G CDMA

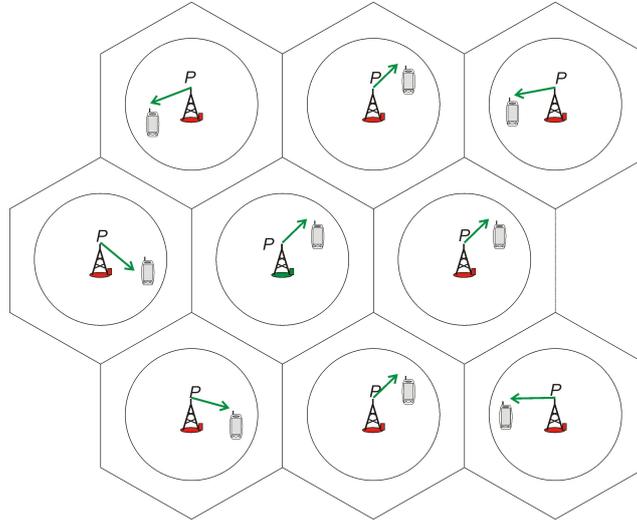
- Rappel :  $R = W \log_2(1 + C/I)$
- Constat : en bordure de cellule  $C/I < 0$  dB
  - Utilisation d'un  $W$  important
  - Possibilité d'avoir un débit notable même si  $C/I$  est faible
- Étalement de spectre ou *spread-spectrum transmission*
  - Consiste à transmettre une séquence pseudo-aléatoire à un débit plus grand que le débit utilisateur (augmentation de  $W$ )
  - Permet une réception alors que le signal est noyé dans le bruit (ou l'interférence). Seuil de fonctionnement typique  $-12$  dB
- MAIS
  - Complexité des récepteurs
  - Réseau difficile à régler (Forte sensibilité du système au contrôle automatique de puissance)

# Analyse d'un réseau cellulaire : système 4G

- diversité de services : données, téléphonie, vidéos en streaming
- Utilisation de l'OFDM
- Fonctionne à bas rapport signal sur bruit mais pas très bas (typiquement  $-5, -3$  dB)
- Utilisation du codage correcteur d'erreur
- Volonté d'utiliser un motif de taille 1
- Gestion dynamique de l'interférence

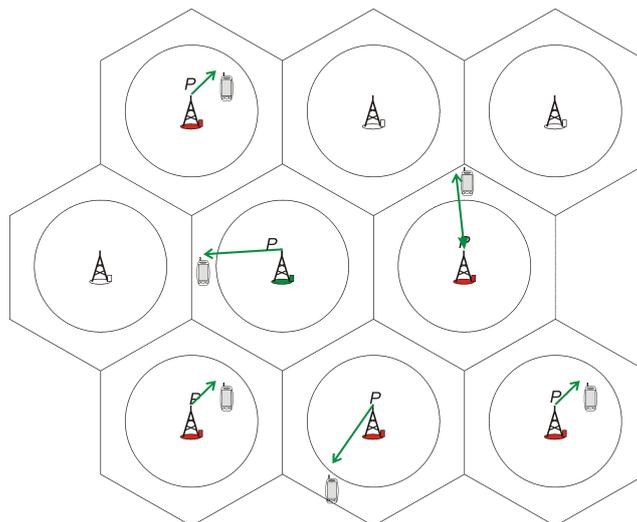
# Analyse d'un réseau cellulaire : ICIC exemple 1

- Terminaux proches de la station de base
- Vrai motif à 1 : transmission simultanée par toutes les stations de base



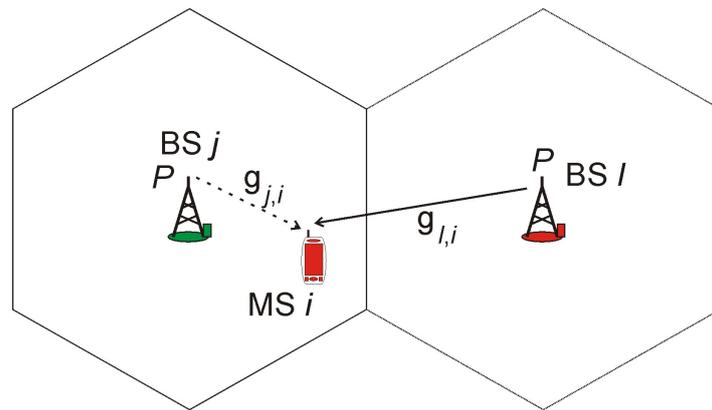
# Analyse d'un réseau cellulaire : ICIC exemple 2

- Terminaux en périphérie de certaines cellules
- Coordination entre cellules voisines : pas de transmission de certaines stations de base (pendant un intervalle de temps, typiquement 1 ms) pour réduire les interférences
- Utilisé dans le système LTE

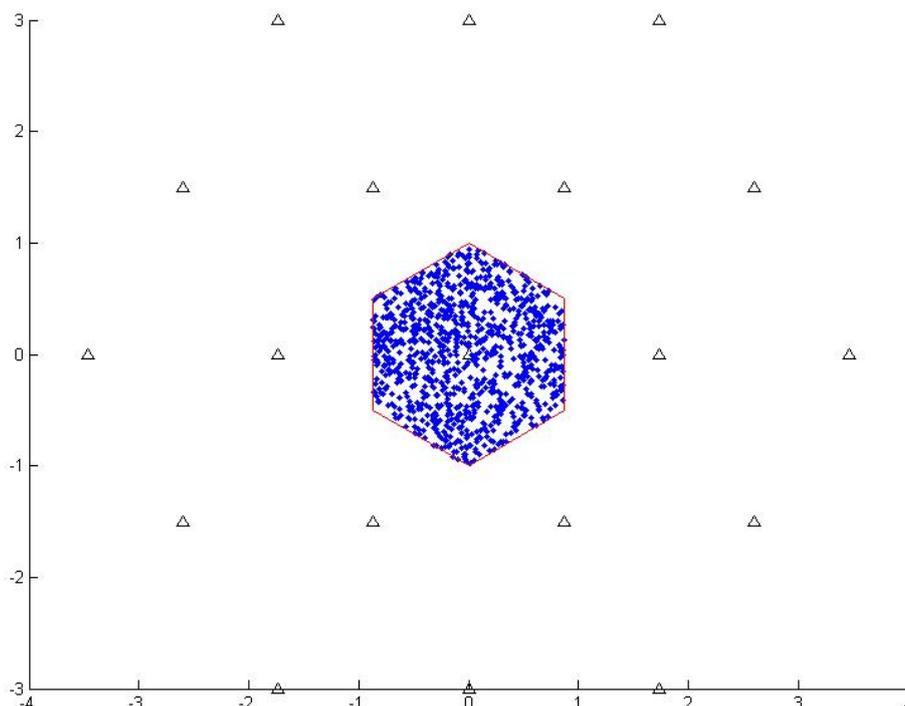


# Etude d'un modèle plus fin : Prise en compte de l'effet de masque

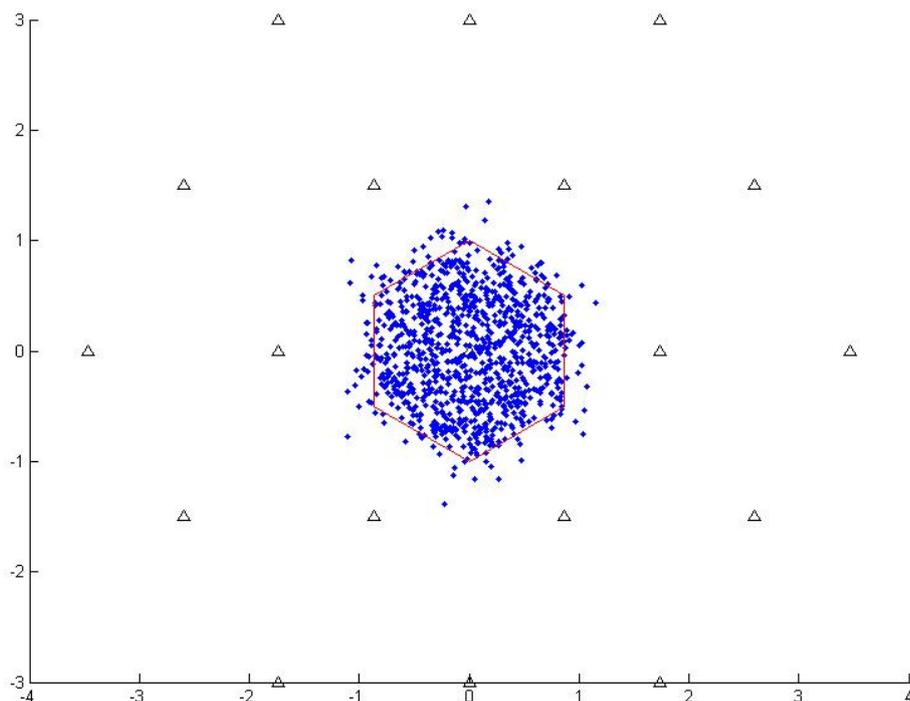
- $P_R = P_E \frac{k\lambda^2}{r^\alpha} 10^{\sigma\xi/10}$ 
  - $\xi$  = variable aléatoire normale centrée et normalisée
  - $\sigma$  = écart-type de l'effet de masque en dB,  $\sigma \in [5, 10]$
- Un mobile  $i$  peut recevoir plusieurs stations de base ( $BS_j, BS_l$ )
  - Les deux variables  $\xi_{i,j}$  et  $\xi_{i,k}$  sont supposées indépendantes si  $j \neq k$
  - En toute rigueur, hypothèse non vérifiée (intérieur des bâtiments)



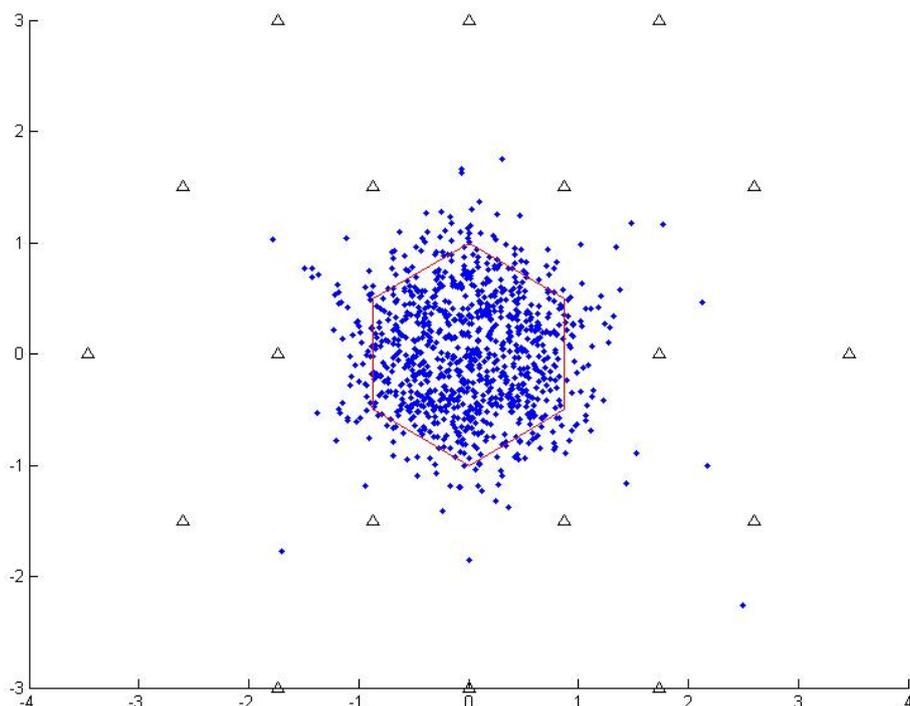
## Cellule dans un modèle hexagonal sans masque

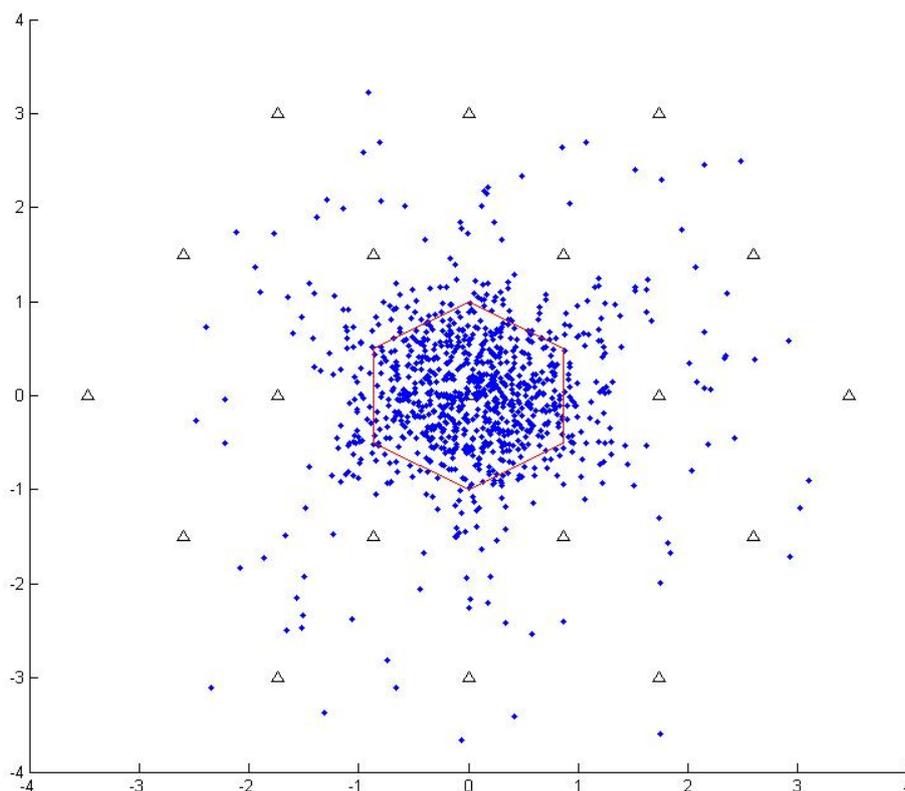


# Cellule dans un modèle hexagonal avec un masque de 3 dB



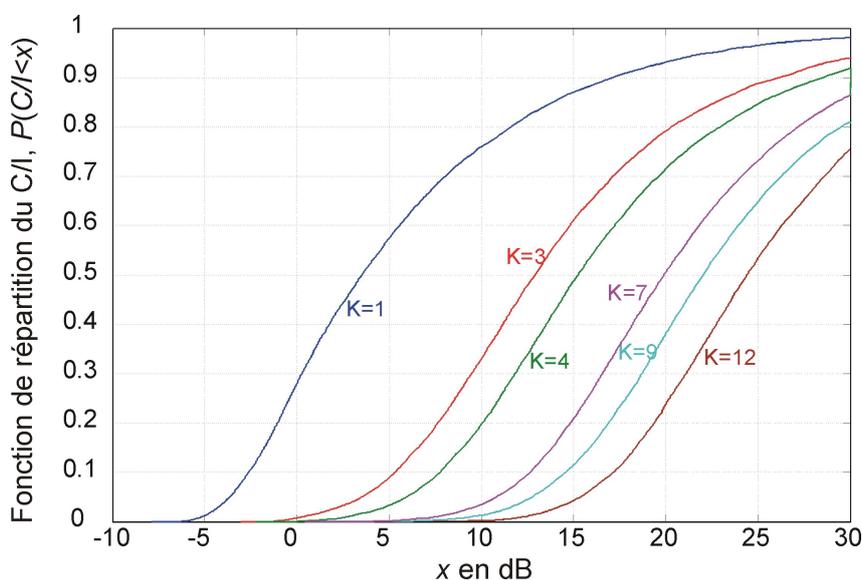
# Cellule dans un modèle hexagonal avec un masque de 5 dB





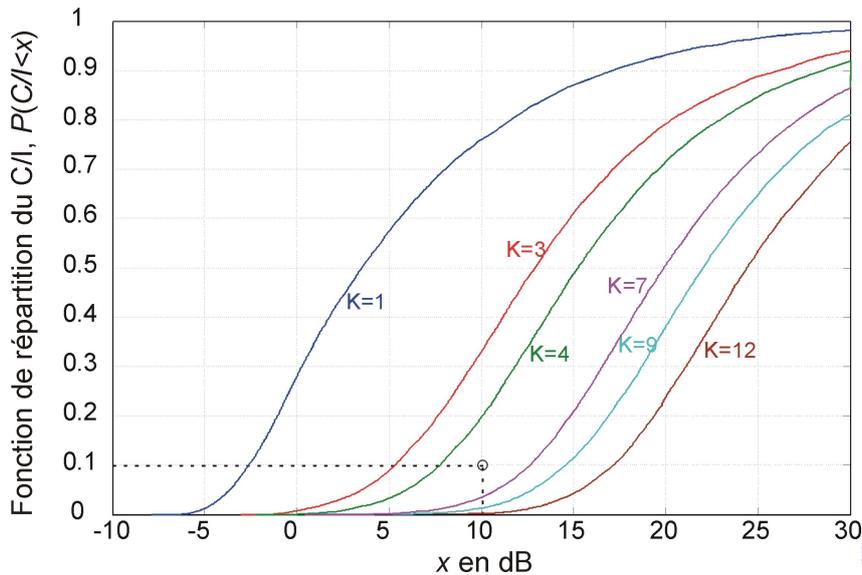
## Etude d'un modèle plus fin : Distribution du $C/I$ avec un effet de masque de 5 dB

- Le masque est une variable aléatoire non bornée
- Il n'y a plus de minimum absolu mais une répartition du  $C/I$
- Les zones à fort  $C/I$  restent celles proches de la station de base



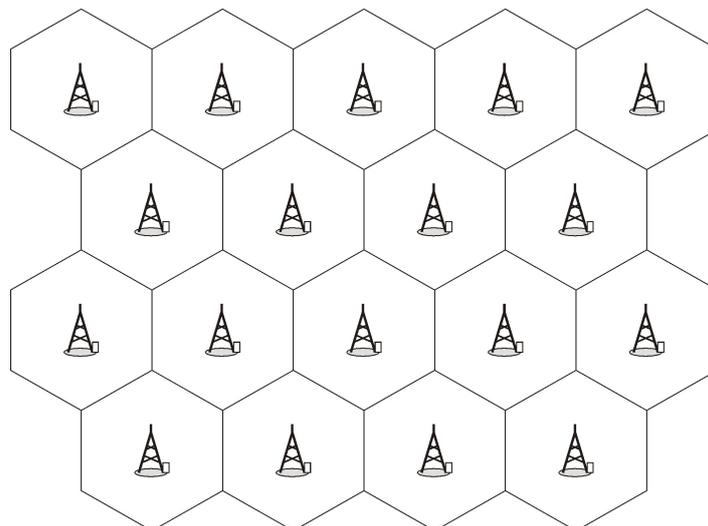
# Etude d'un modèle plus fin : Détermination d'une taille de motif avec effet de masque

- Seuil  $C/I$  fixé. Par exemple 10 dB.
- Seuil de tolérance fixé. On accepte que 10% des utilisateurs aient un  $C/I$  inférieur au seuil
- Détermination de la plus petite taille de motif qui convient  $\Rightarrow K = 7$

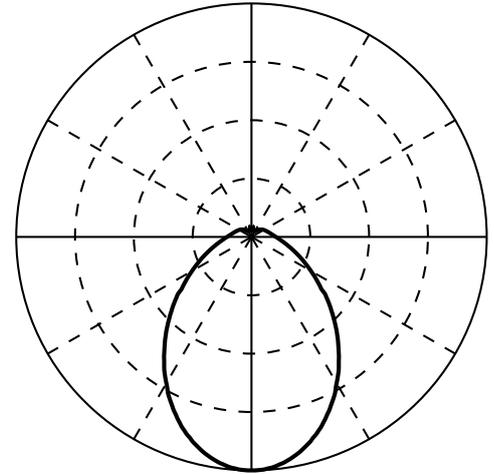


# Etude d'un modèle plus fin : Coût d'un réseau

- Le coût d'un réseau est proportionnel au nombre de sites occupés
- Location du toit ou de l'emplacement pour mettre le pylône
- Liaison filaire ou par faisceau herzien entre la station de base et le réseau
- Nombre de lieux où intervenir pour la maintenance

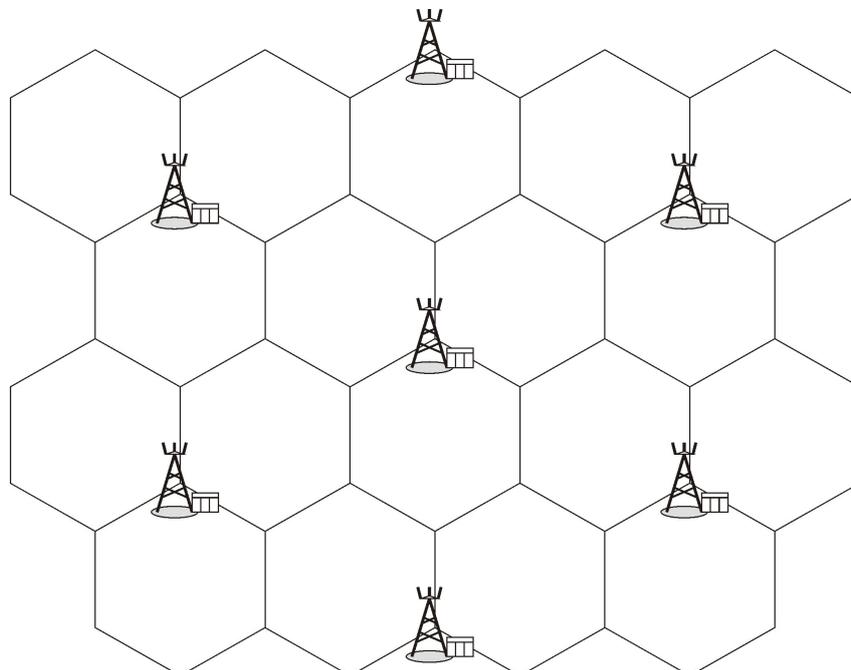


- Utilisation d'antenne directive
- Permet de mieux concentrer l'énergie dans une direction
- Exemple : Amplitude du champ à  $+30^\circ$  par rapport à la direction de plus fort rayonnement  $= 0.7 \times \text{Champ\_max}$  (moitié de la puissance)
- Une telle antenne couvre bien l'hexagone en mettant la station de base sur un coin

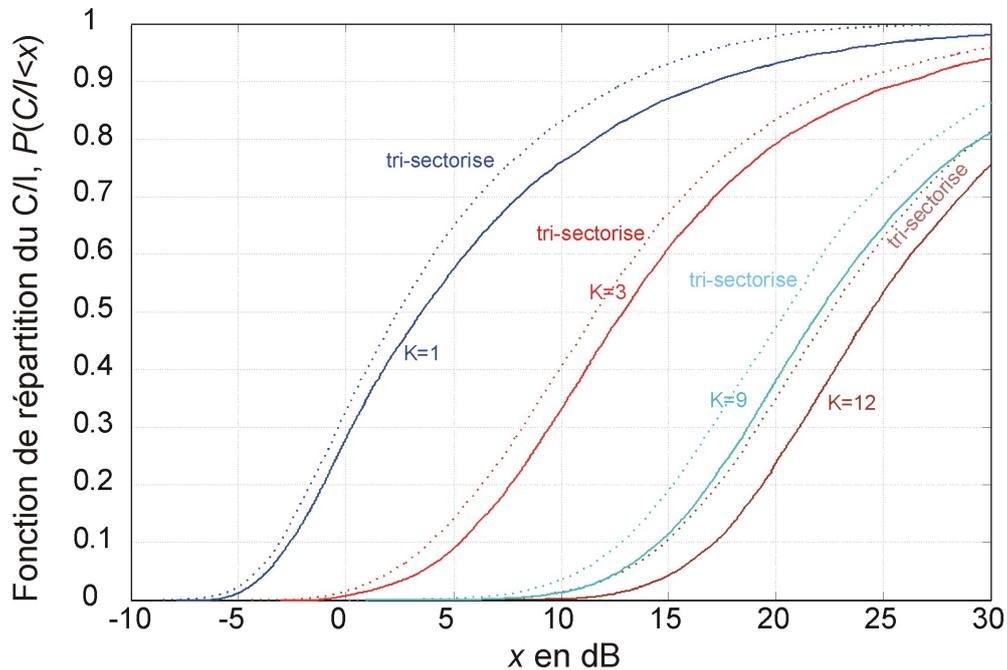


## Etude d'un modèle plus fin : Intérêt de la tri-sectorisation

- Division par 3 du nombre de sites
- Conservation du nombre de cellules



- Dégradation du  $C/I$  pour une même taille de motif



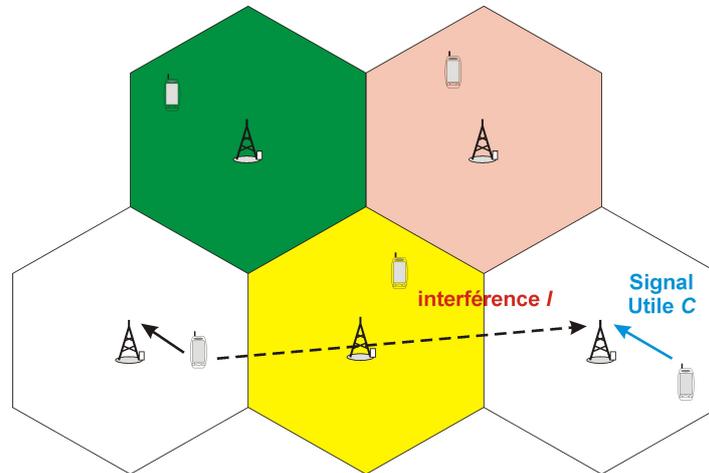
## Etude d'un modèle plus fin : Tri-sectorisation dans GSM

- Utilisation quasi-systématique de la tri-sectorisation en GSM (UMTS,...)
- En zone rurale, urbaine,...



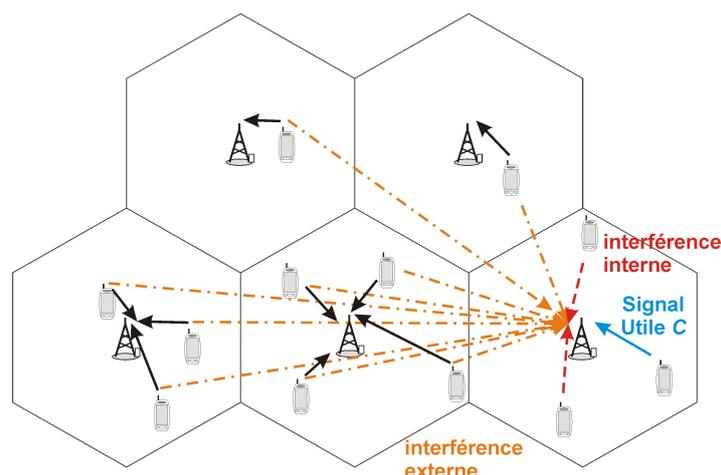
# Etude d'un modèle plus fin : considérations sur la voie montante en 2G

- Même problème d'interférence et de  $C/I$  minimal à assurer



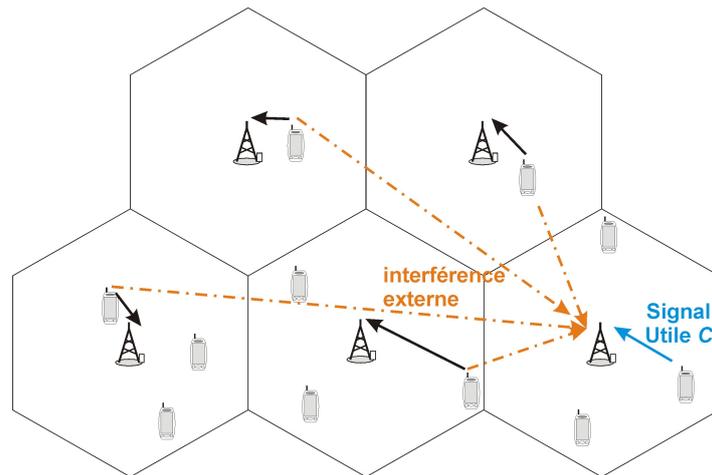
# Etude d'un modèle plus fin : considérations sur la voie montante en 3G (réseaux CDMA)

- Plusieurs terminaux au sein de la même cellule transmettent en même temps sur la même fréquence
- Présence d'une interférence *externe* et d'une interférence *interne*
- Nécessité d'avoir un système à très bas  $C/I$  de fonctionnement
- Contrôle de puissance indispensable



# Etude d'un modèle plus fin : considérations sur la voie montante en 4G

- Utilisation d'un motif à un mais un seul terminal dans une cellule transmet à un instant donné (hors cas particulier du MIMO)
- Pas d'interférence interne
- Nécessité de coordination des allocations entre cellules





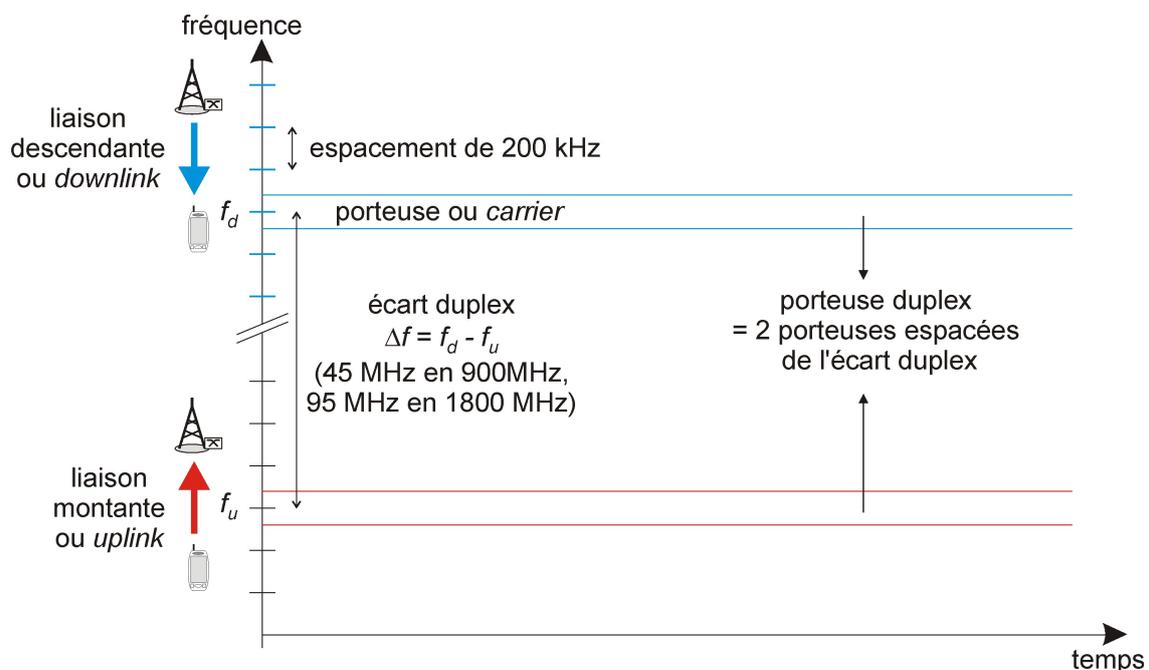
## Interfaces radios des réseaux cellulaires

X. Lagrange

Télécom Bretagne

16 Avril 2014

## Découpage fréquentiel dans GSM



- Multiplicité des bandes de fréquences utilisables dans GSM
  - bande à 900 MHz, à 1800 MHz
  - bande à 850 MHz (chemins de fer)
  - utilisation du 1900 MHz aux U.S.

# Règle de numérotation des porteuses et duplexage dans GSM

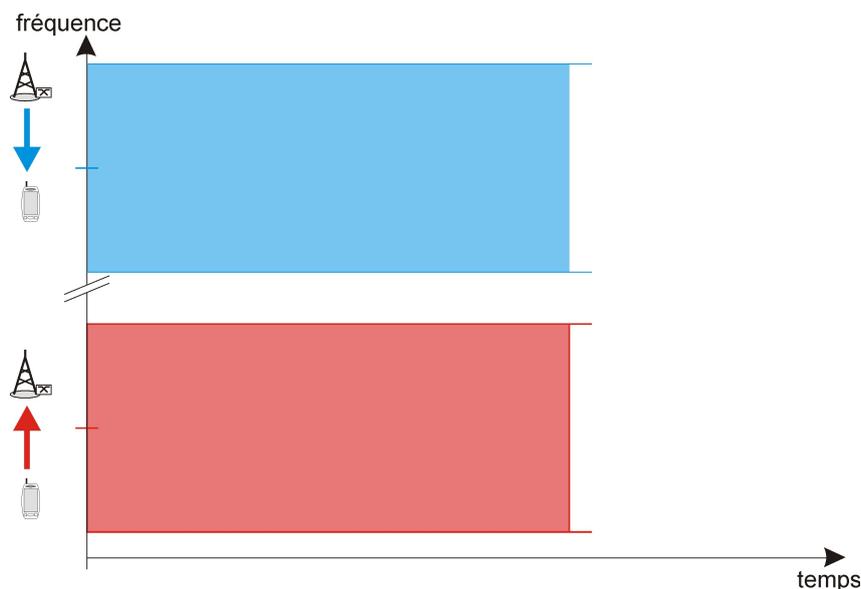
- Porteuses identifiées par ARFCN (Absolute Radio Frequency Channel Number)

$0 \text{ ou } 1 \leq \text{ARFCN} \leq 124$	$f_d = 935 + 0.2 \times \text{ARFCN}$	GSM 900
$128 \leq \text{ARFCN} \leq 251$	$f_d = 869.2 + 0.2 \times (\text{ARFCN} - 128)$	GSM 850
$259 \leq \text{ARFCN} \leq 293$	$f_d = 460.6 + 0.2 \times (\text{ARFCN} - 259)$	GSM 450
$306 \leq \text{ARFCN} \leq 340$	$f_d = 489 + 0.2 \times (\text{ARFCN} - 306)$	GSM 480
$512 \leq \text{ARFCN} \leq 885$	$f_d = 1805.2 + 0.2 \times (\text{ARFCN} - 512)$	GSM 1800
$975 \leq \text{ARFCN} \leq 1024$	$f_d = 935 + 0.2 \times (\text{ARFCN} - 1024)$	GSM 900E

- Ne pas s'occuper des formules mais seulement du fait qu'à partir d'un ARFCN, on peut identifier une fréquence
- A chaque fréquence sur la voie descendante correspond une fréquence sur la voie montante déduite par une soustraction d'une valeur constante (FDD, *Frequency Division Duplex*)

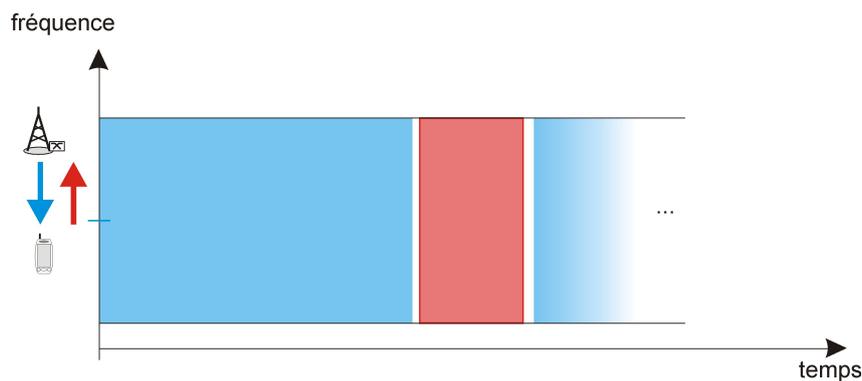
$$\begin{aligned} f_u &= f_d - 45 \text{ MHz} && \text{en 900 et 850 MHz} \\ f_u &= f_d - 95 \text{ MHz} && \text{en 1800 MHz} \\ f_u &= f_d - 10 \text{ MHz} && \text{en 450 et 480 MHz} \end{aligned}$$

## Découpage fréquentiel dans d'autres systèmes



- Découpage en porteuses/fréquences dans tous les systèmes (UMTS, LTE)
- Le pas du découpage de fréquences est plus gros (5 MHz en UMTS, 1.4 à 20 MHz en LTE)

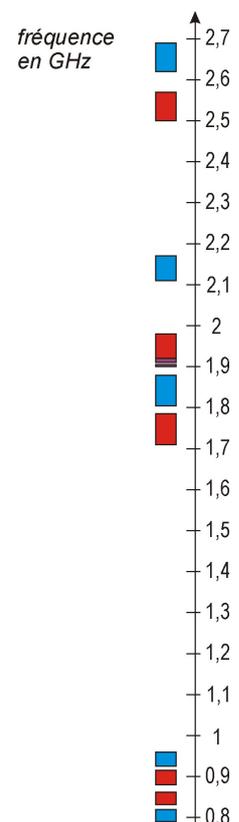
### 76 Duplexage en fréquence ou en temps

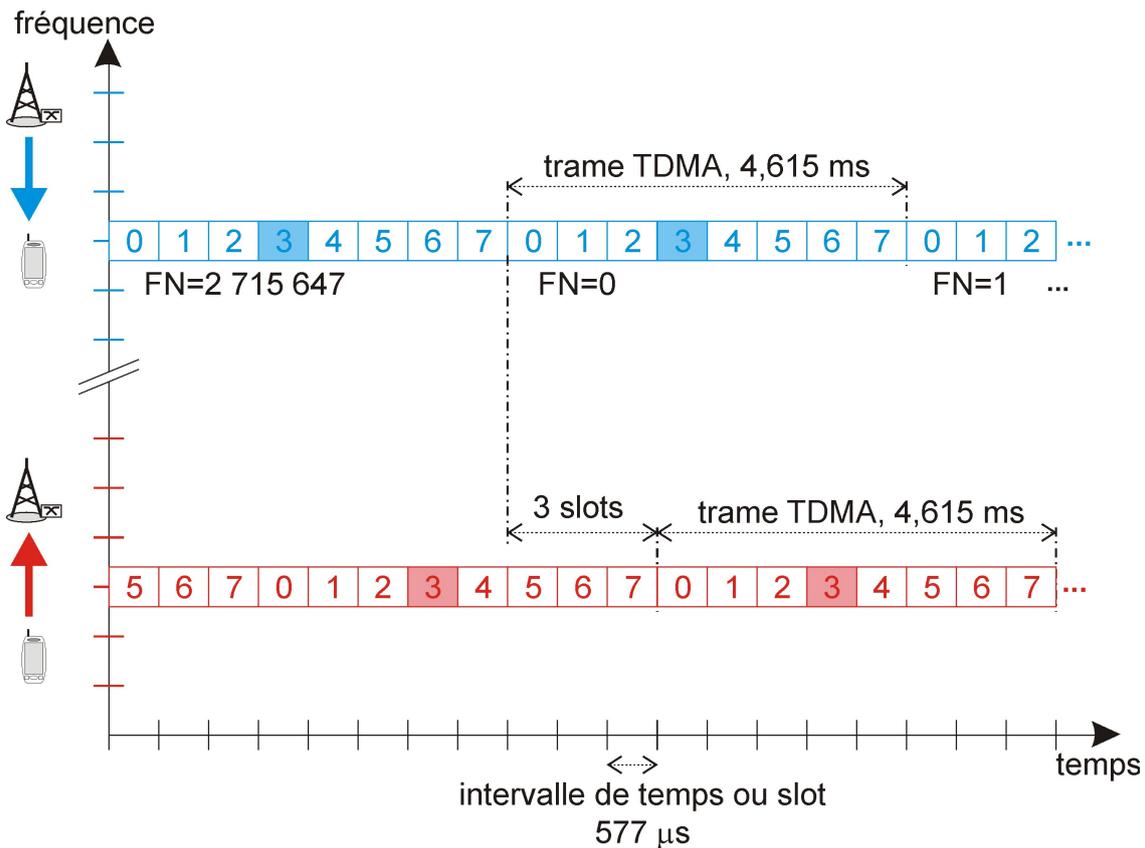


- TDD = Time Division Duplex
- Avantage = répartition entre la voie montante et la voie descendante peut ne pas être la même
- Il existe un mode TDD dans certains systèmes (UMTS, LTE)

## Allocation des bandes aux différents systèmes

- Bandes appariées pour le FDD
- Les blocs restants (non appariés) sont utilisés pour le TDD
- TDD surtout utilisé dans les pays asiatiques (Chine) et peu en Europe



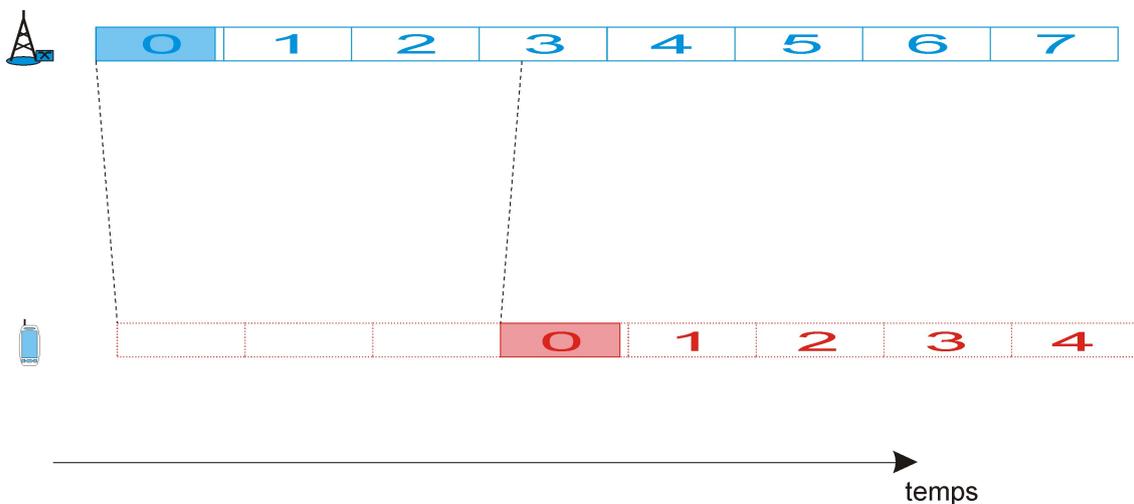


# Multiplexage temporel dans GSM

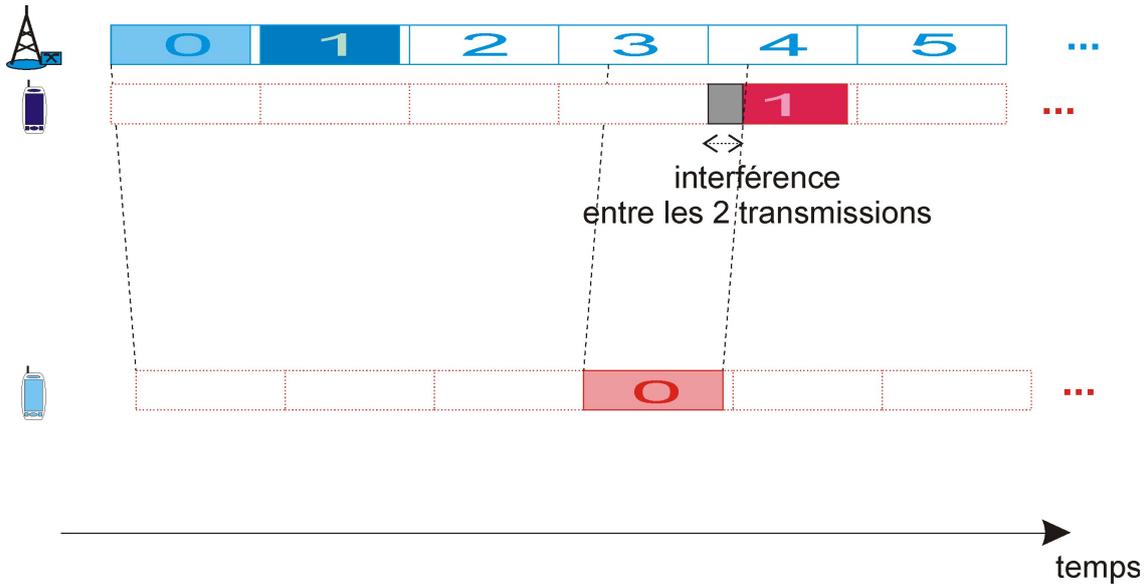
- Multiplexage temporel ou TDMA (Time Division Multiple Access)
- Trame TDMA (ou TDMA frame) = structure qui se répète régulièrement (durée 4.615 ms)
- Une trame TDMA contient 8 slots (ou intervalle de temps)
- Chaque trame est numérotée par un compteur FN, Frame Number (de 0 à 2 715 647)
- La trame sur la voie montante est décalée de 3 slots par rapport à la voie descendante
- Le décalage permet à un terminal de ne pas recevoir et transmettre en même temps
- Canal physique duplex = 1 intervalle de temps donné dans chaque trame TDMA sur la voie descendante et sur la voie montante (même numéro que sur voie descendante)

- La notion de slot se retrouve en UMTS et en LTE
- La notion de trame également
- Chaque trame est également numérotée

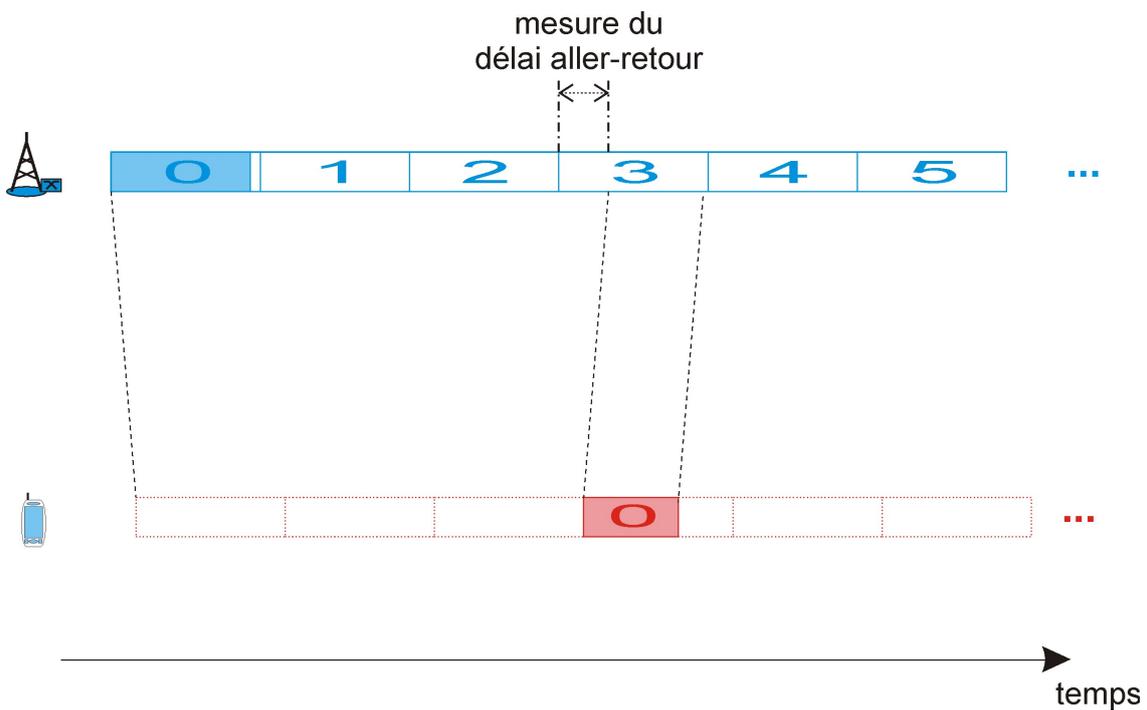
## Multiplexage temporel et délai de propagation (1/2)

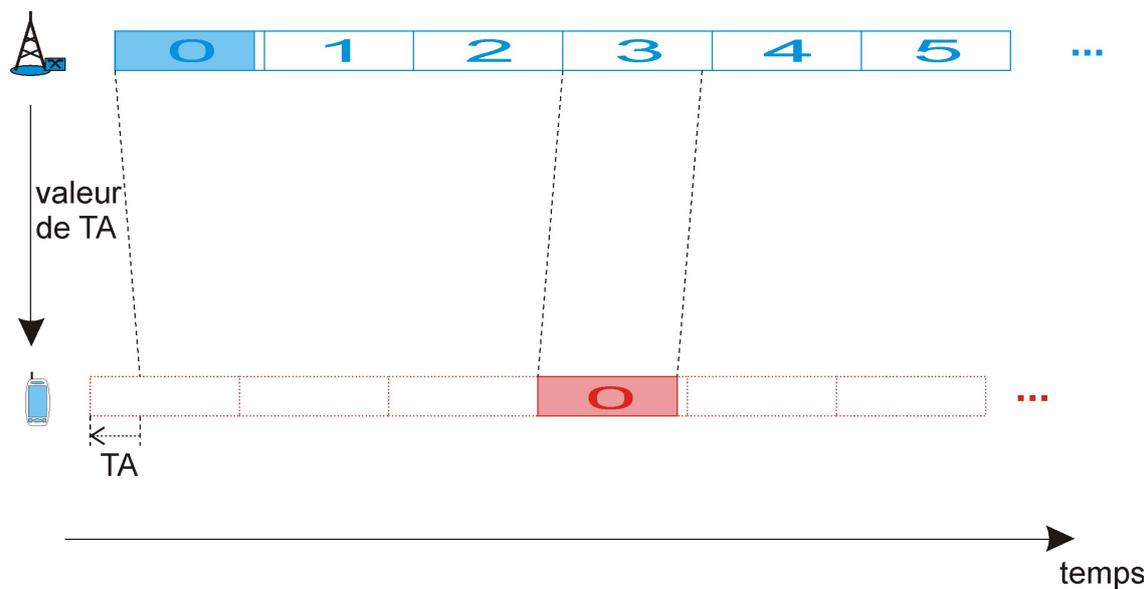


# Multiplexage temporel et délai de propagation (2/2)

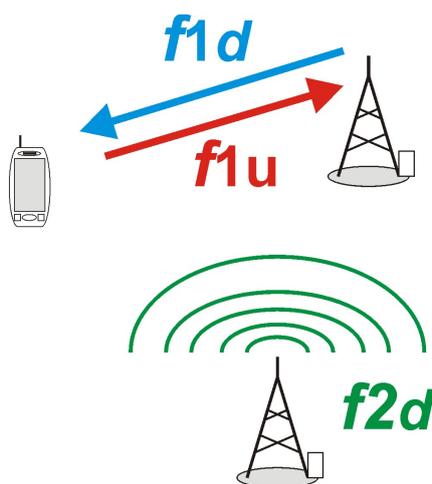


## Utilisation d'un burst court et mesure du délai de propagation



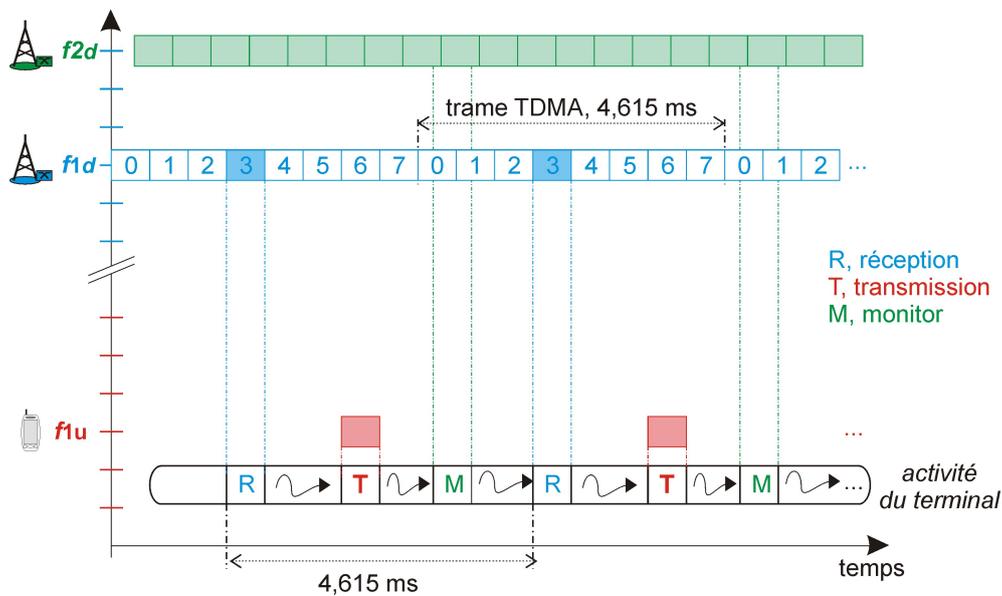


## Activité d'un mobile en GSM (1/2)



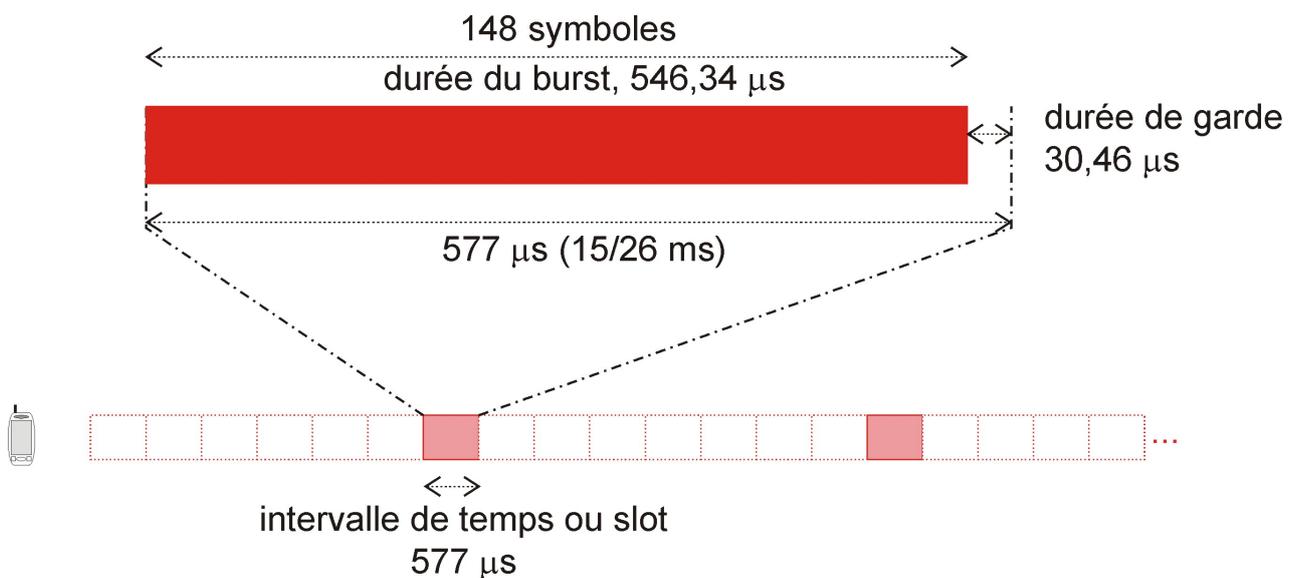
- Terminal GSM en communication
- Réception par le terminal pendant un slot sur  $f_{1d}$
- Transmission par le terminal pendant le slot de même numéro sur  $f_{1u}$
- Autre station de base transmet la voie balise sur  $f_{2d}$

# Activité d'un mobile en GSM (2/2)



- Trois phases principales pour un terminal en communication
  - *Reception*, Réception par le terminal pendant un slot sur  $f_{1d}$
  - *Transmission*, Transmission par le terminal pendant le slot de même numéro sur  $f_{1u}$  qui se trouve 3 slots plus tard
  - *Monitor*, Ecoute de la voie balise d'une station de base voisine (dans l'exemple sur  $f_{2d}$  mais cela peut changer à chaque nouvelle frame)

# Unité élémentaire de transmission en GSM (1/8)



# Unité élémentaire de transmission en GSM (2/8)

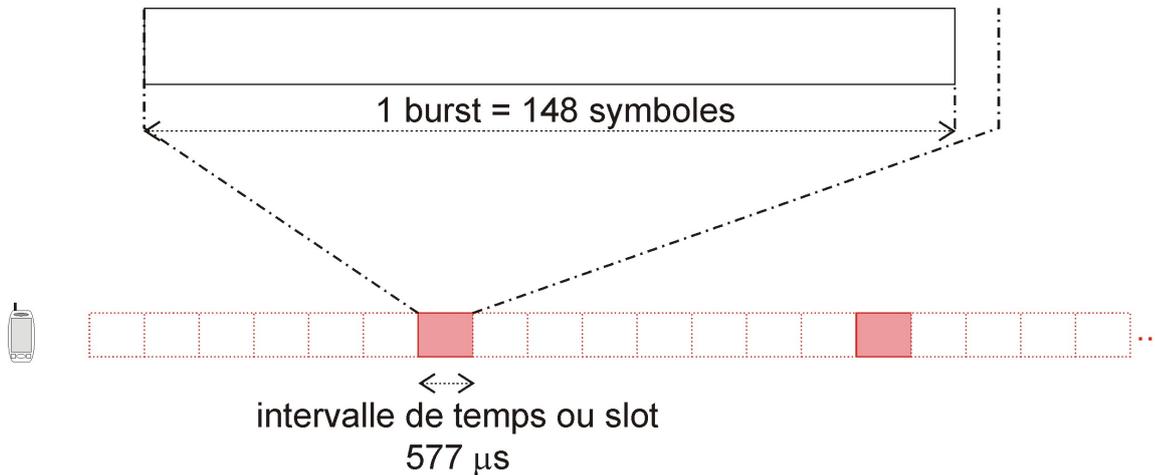
En GSM de base (non EDGE), modulation utilisée = GMSK

*Gaussian Minimum Shift Keying*

2 possibilités à chaque symbole :  $f+\Delta f$  ou  $f-\Delta f \Rightarrow 1$  bit/symbole

Débit : 270,833 kbit/s

Bande utilisée = 271 kHz

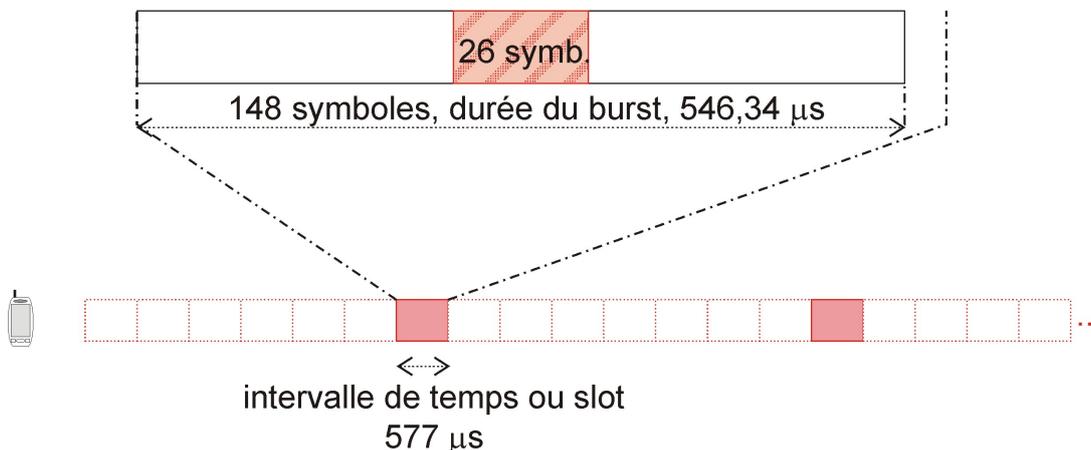


# Unité élémentaire de transmission en GSM (3/8)

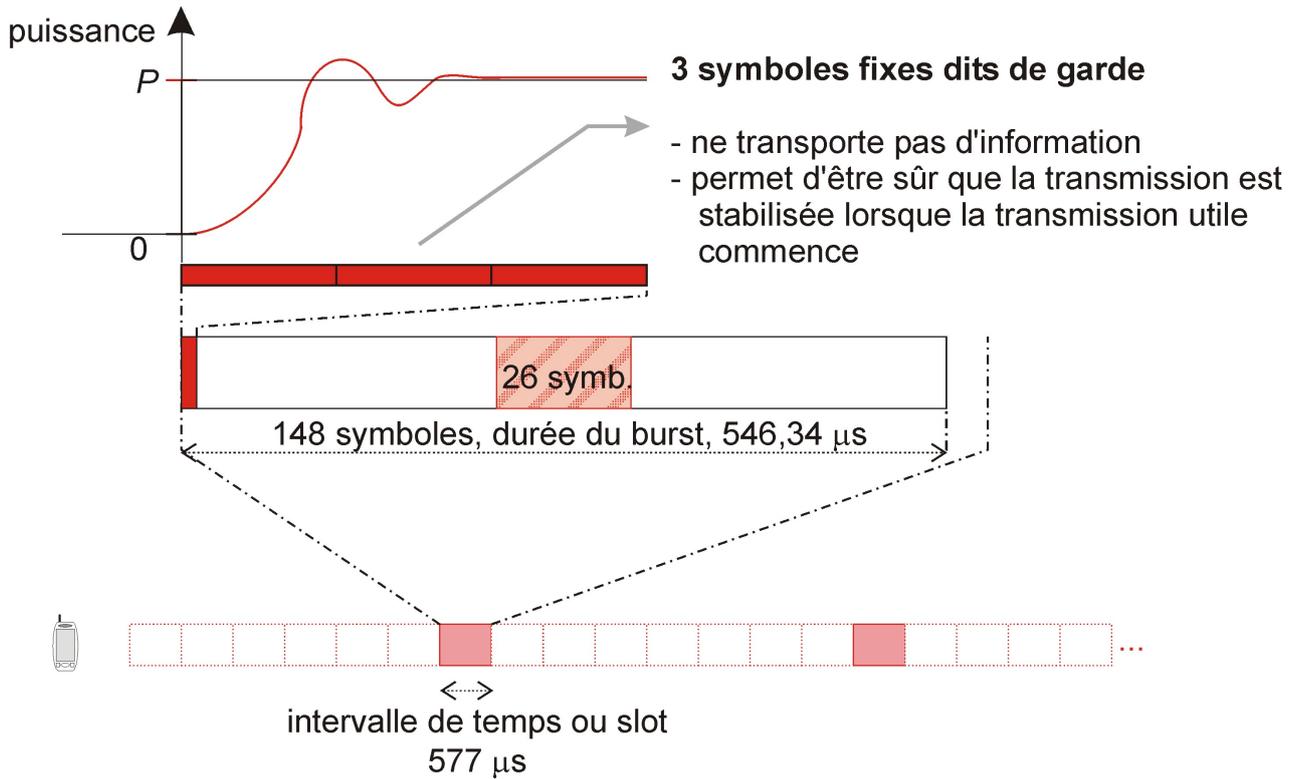
**séquence d'apprentissage de 26 symboles =**  
séquence fixe connue du récepteur

(1 parmi 8 en général affectée par l'opérateur à toutes les transmissions dans une cellule)

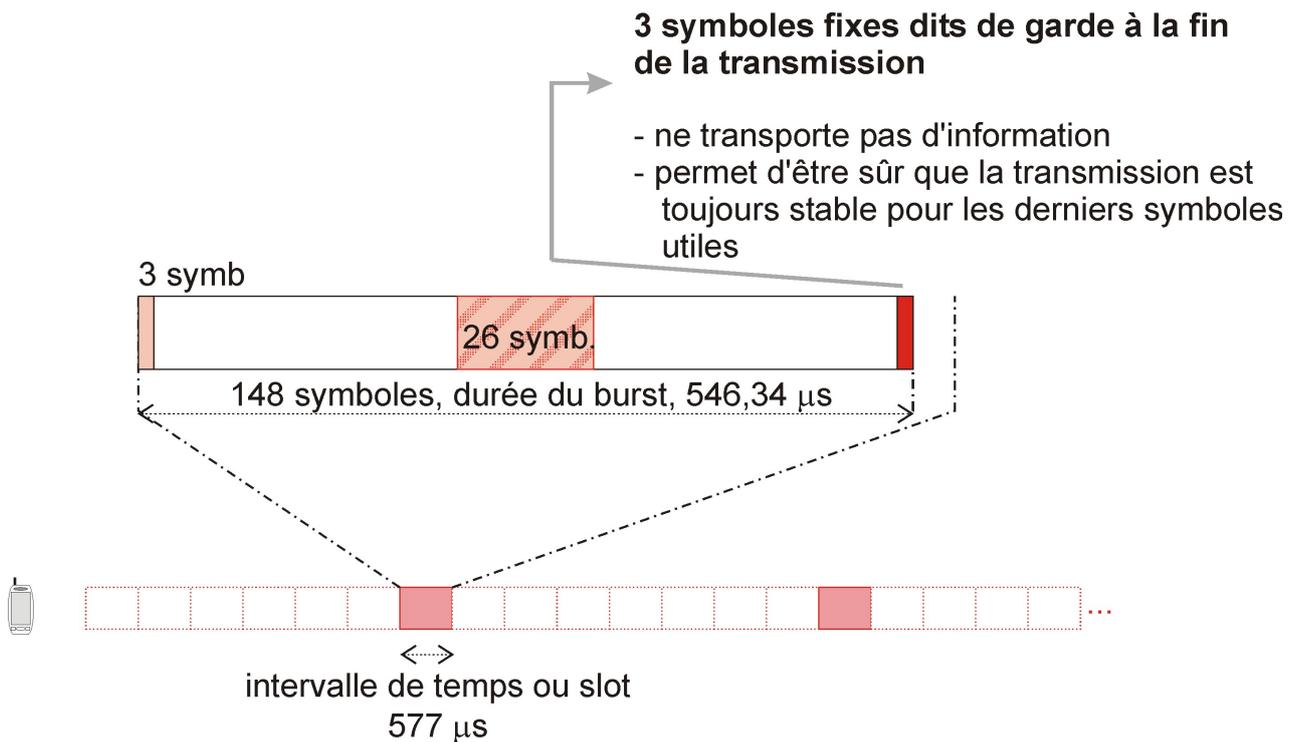
- permet la synchronisation du récepteur
- permet l'estimation du canal



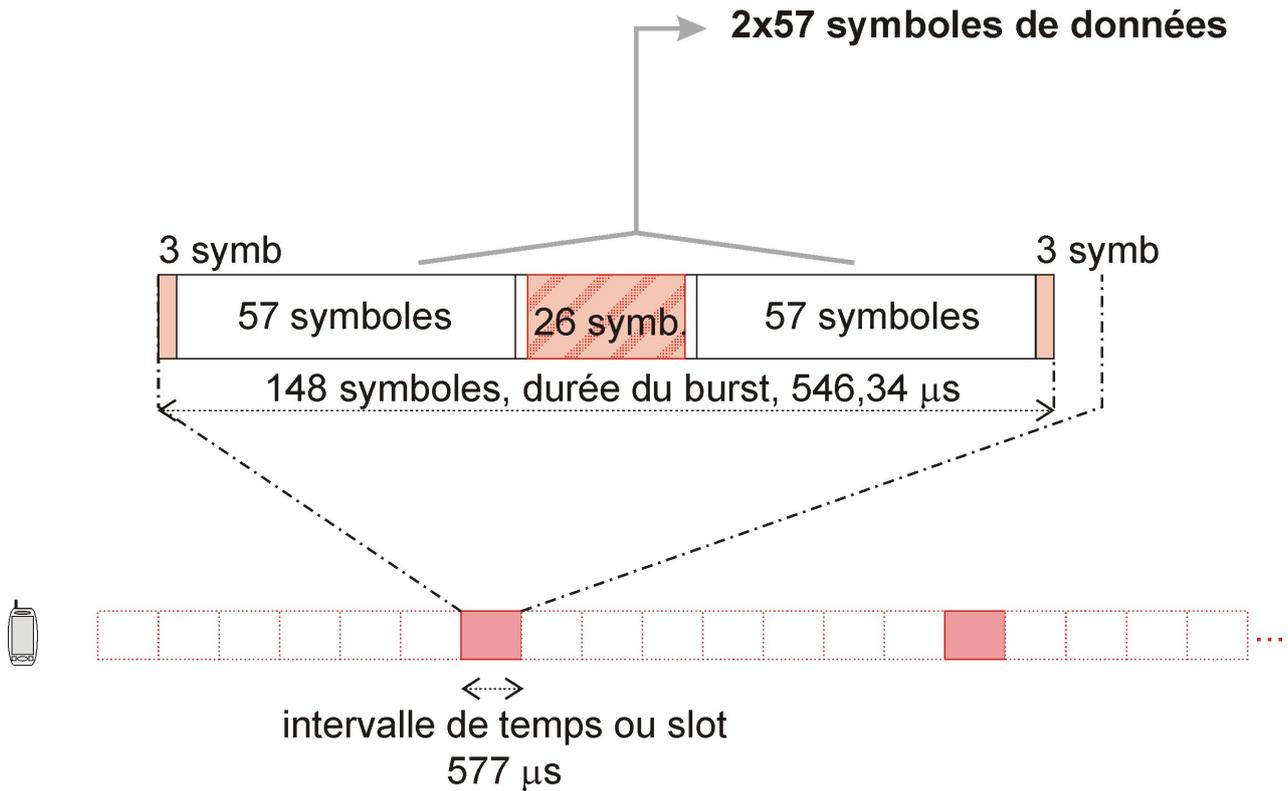
# Unité élémentaire de transmission en GSM (4/8)



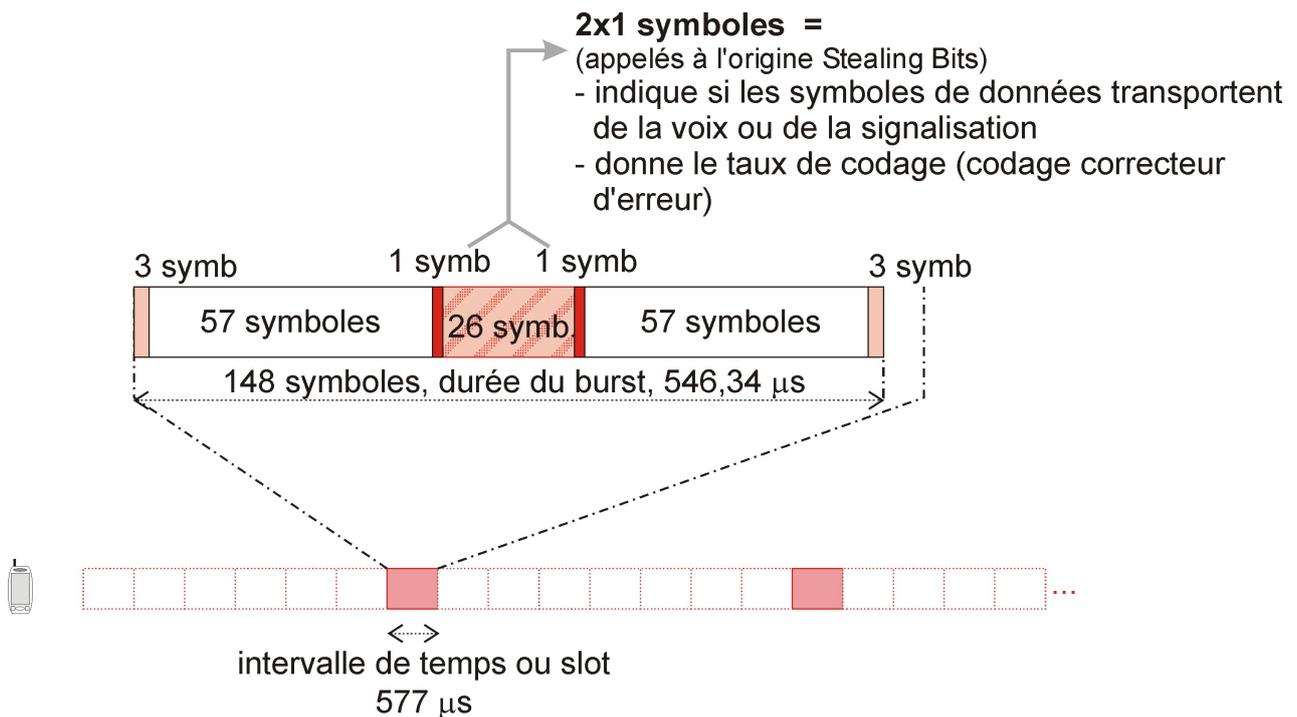
# Unité élémentaire de transmission en GSM (5/8)



# Unité élémentaire de transmission en GSM (6/8)

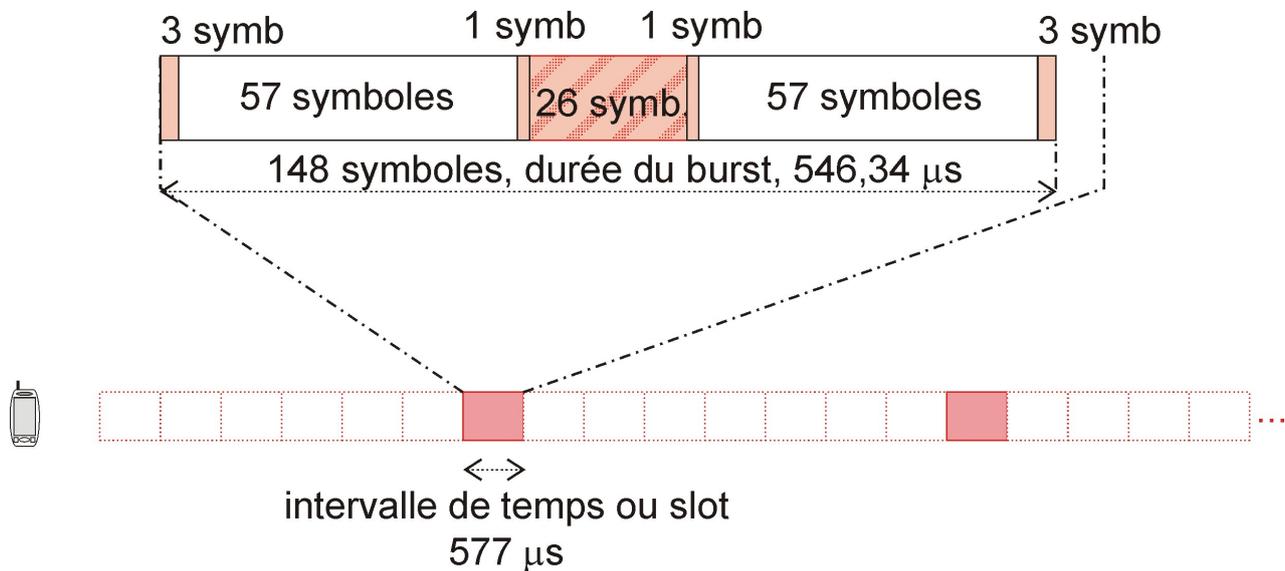


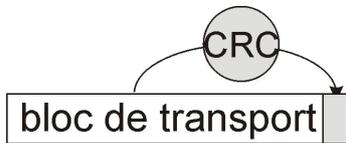
# Unité élémentaire de transmission en GSM (7/8)



Un burst transporte

2x57 symboles de données  
soit 2x57 bits en GSM



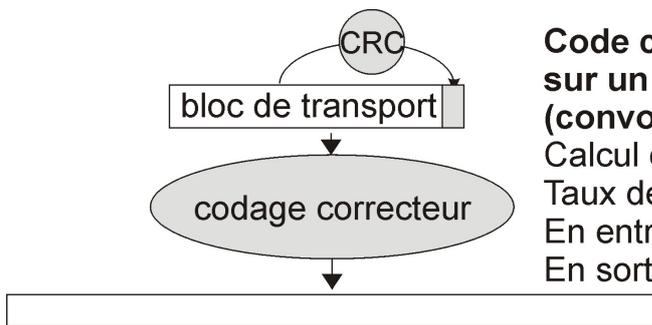


**CRC = Cyclic Redundancy Check**

Redondance utilisée en détection d'erreur

- calcul du CRC par l'émetteur et adjonction au bloc transmis
- vérification à la réception que le CRC reçu correspond bien au CRC calculé

Chaîne de transmission : code correcteur d'erreur



**Code correcteur d'erreur basé sur un code convolutif (convolutionnel)**

Calcul de  $n$  bits de parités par bit utile

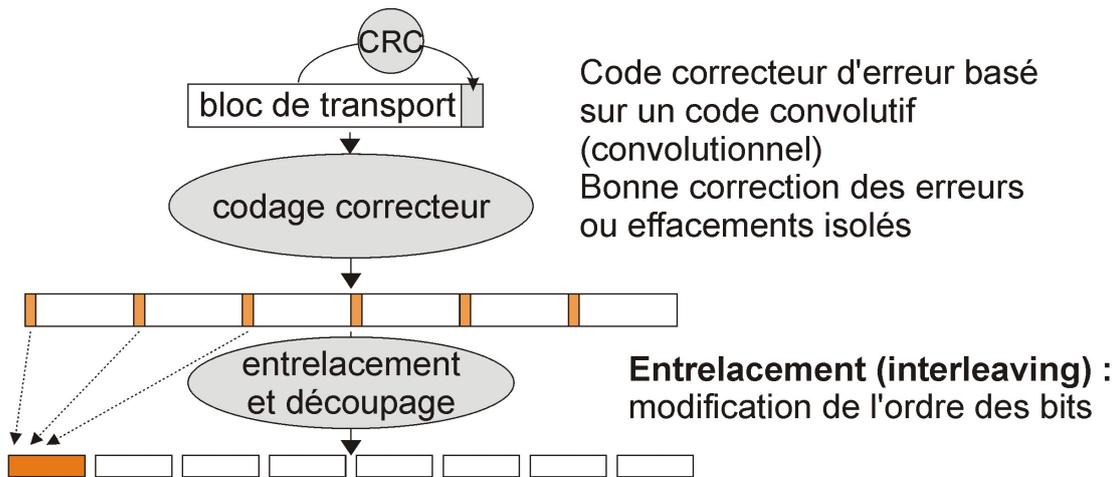
Taux de codage =  $1/n$

En entrée : bloc de  $l$  bits

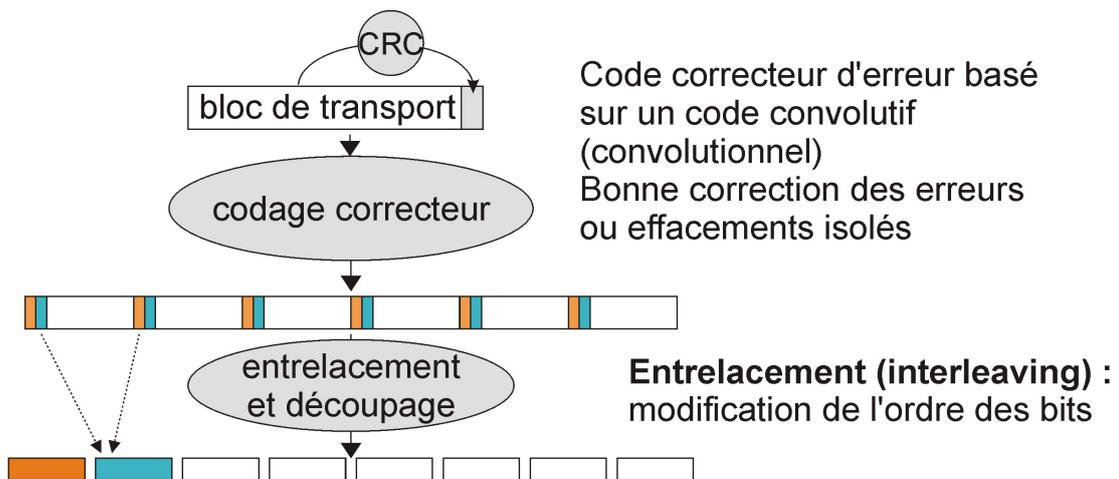
En sortie : bloc de  $n(l+k)$  ( $k=4$  en GSM)

- bonne correction des erreurs ou effacements isolés
- pas de corrections des longues suites d'effacement ou d'erreur

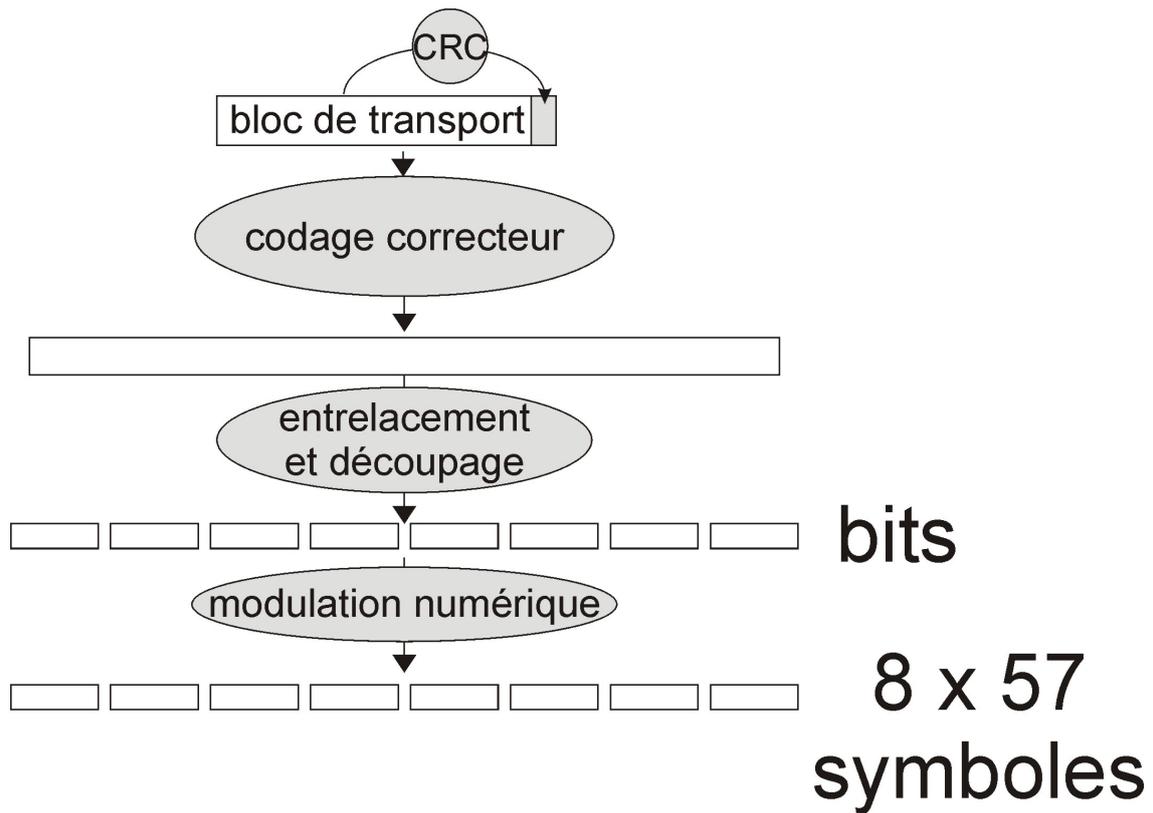
# Chaîne de transmission : entrelacement (1/2)



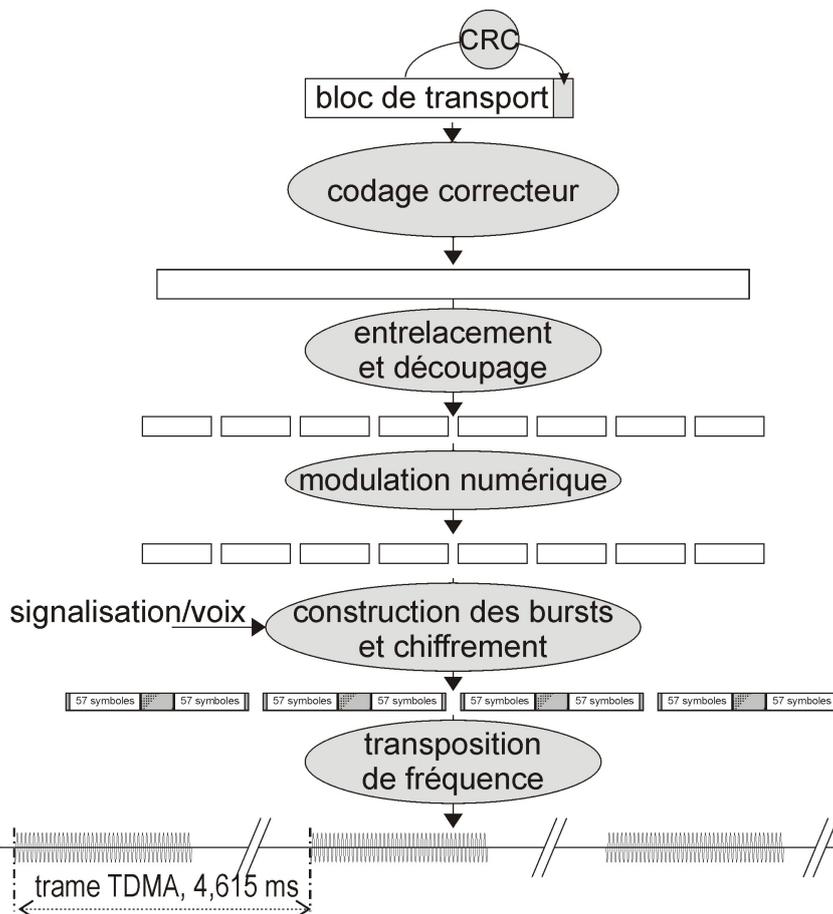
# Chaîne de transmission : entrelacement (2/2)



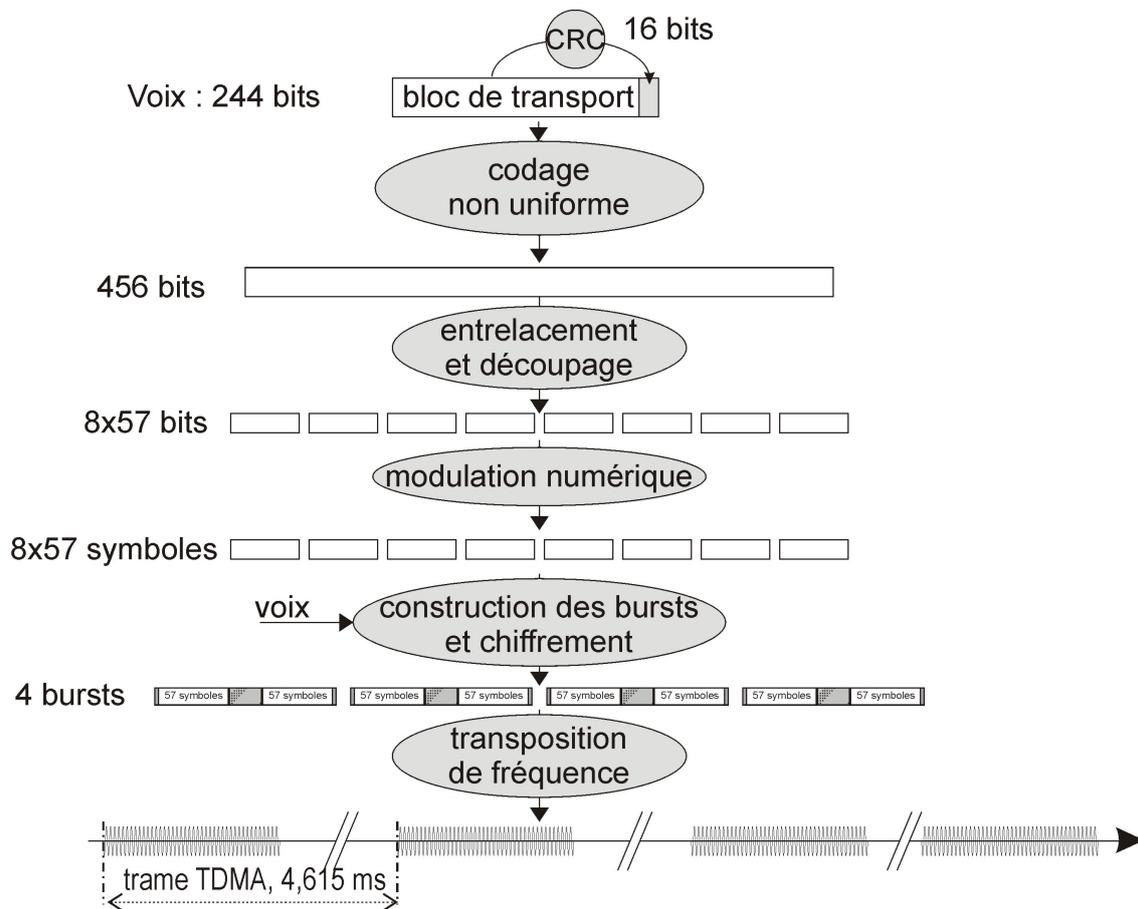
# Chaîne de transmission : modulation numérique



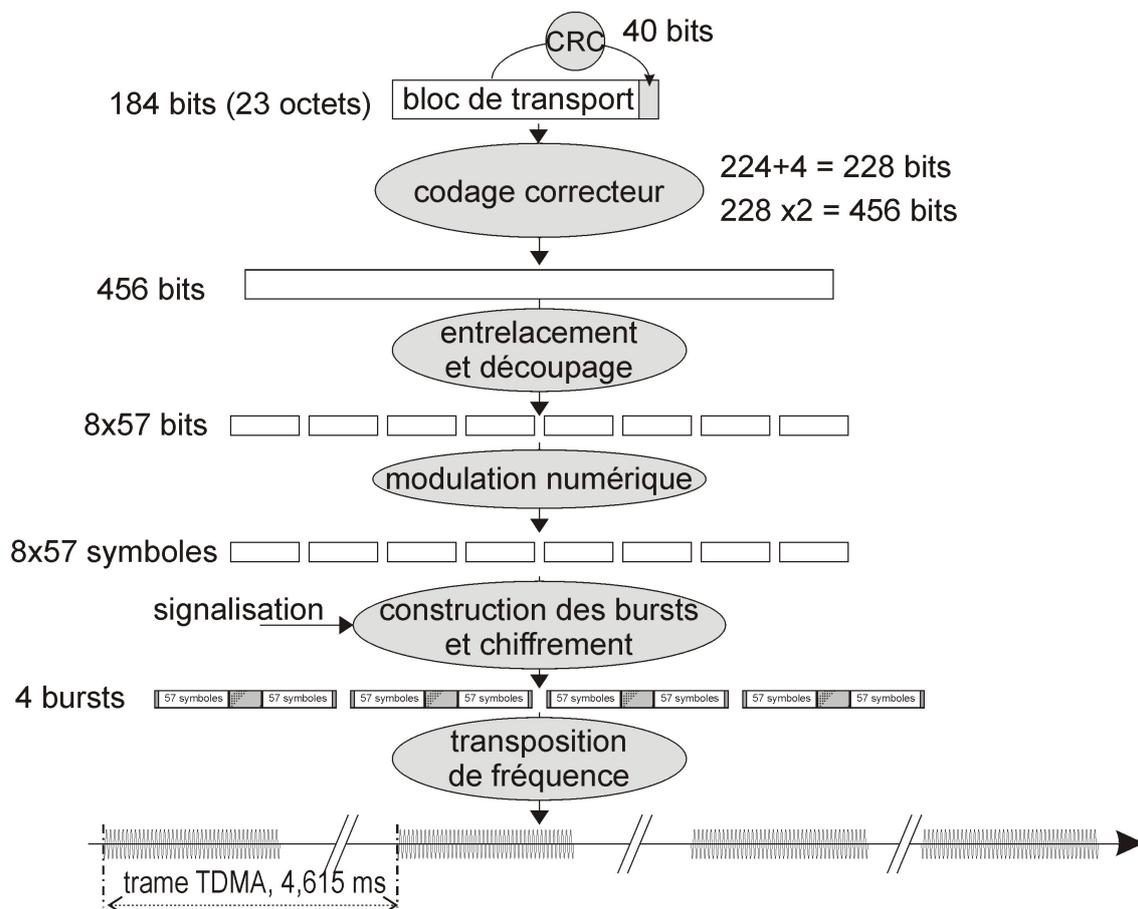
# Chaîne de transmission complète



# Chaîne de transmission pour la parole



# Chaîne de transmission pour la signalisation





Pendant une communication GSM,  
allocation d'un canal physique duplex

Un canal physique supporte en parallèle

- un canal logique TCH à 12,2 kbit/s
- un canal logique SACCH à 0,4 kbit/s permettant la supervision de la liaison

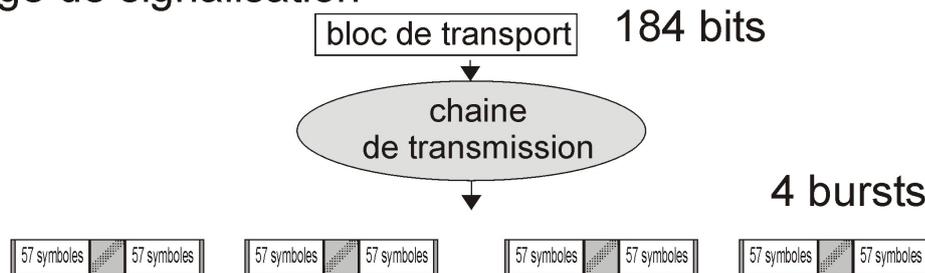
Un canal logique est défini par le **type d'information** transportée

Dans GSM, il est associé à un séquençement particulier

Par exemple, si  $FN \bmod 26 = 12$ , le burst porte le SACCH

# Canal de signalisation et canal lent associé (1/4)

Message de signalisation

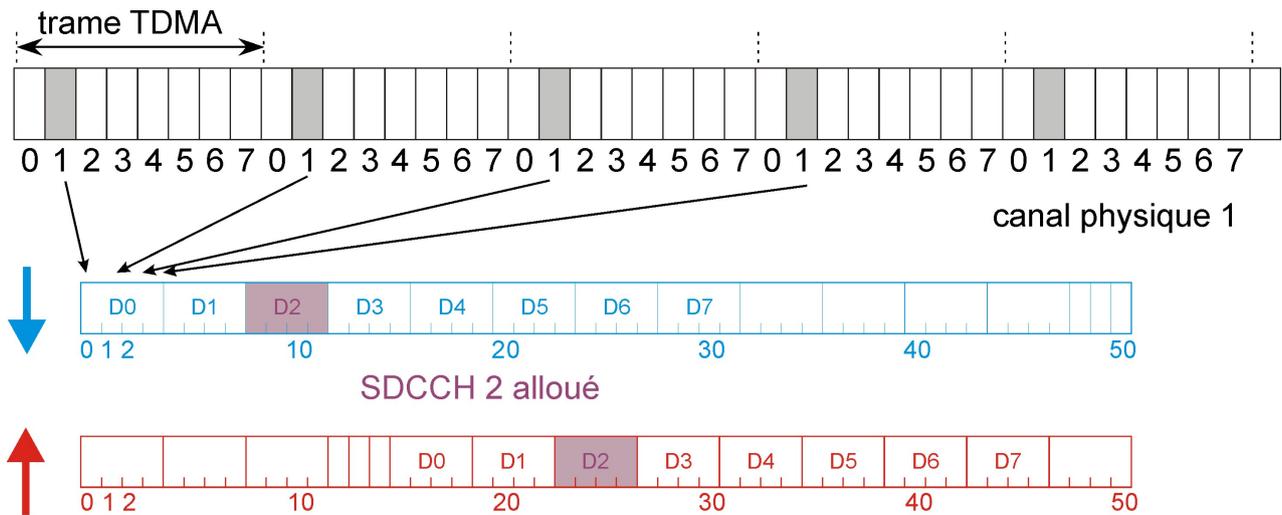


On peut utiliser le canal de trafic pour transporter de la signalisation :

- débit =  $184 \text{ bits} / 20 \text{ ms} = 9,2 \text{ kbit/s} \Rightarrow$  trop élevé dans beaucoup de cas !
- canal appelé FACCH, Fast Associated Control Channel
- utilisé dans les phases finales de l'établissement d'appel, pour le raccroché, pour le handover

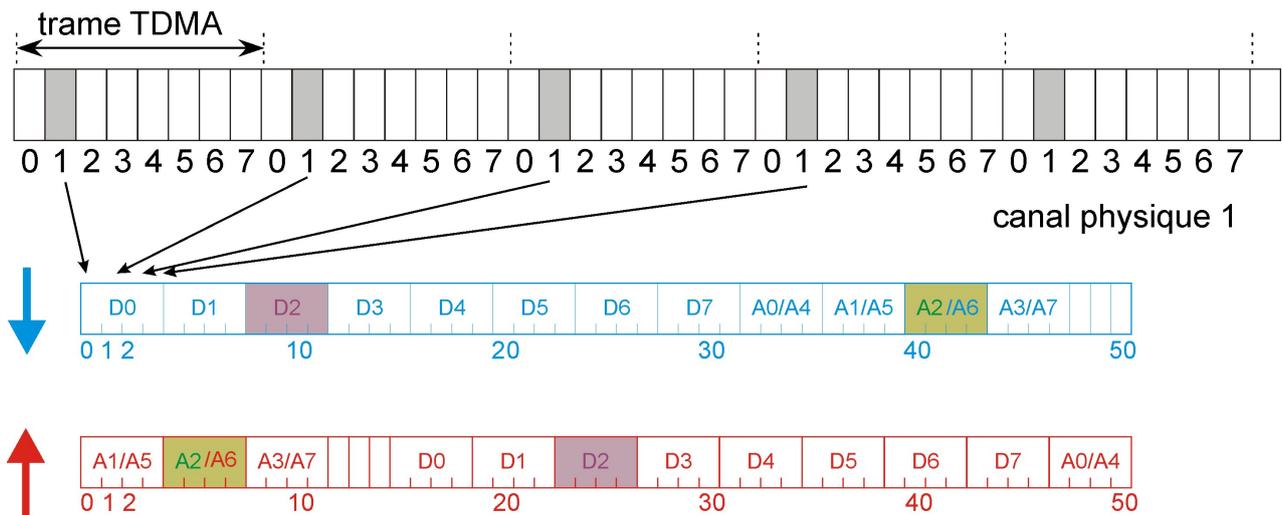
**=> Définition d'un canal de signalisation à plus bas débit**

# Canal de signalisation et canal lent associé (2/4)



D=Stand-alone Dedicated Control Channel ou SDCCH  
 transporte de la signalisation (mise à jour de localisation, SMS,...)

# Canal de signalisation et canal lent associé (3/4)



D=Stand-alone Dedicated Control Channel ou SDCCH  
 transporte de la signalisation (mise à jour de localisation, SMS,...)

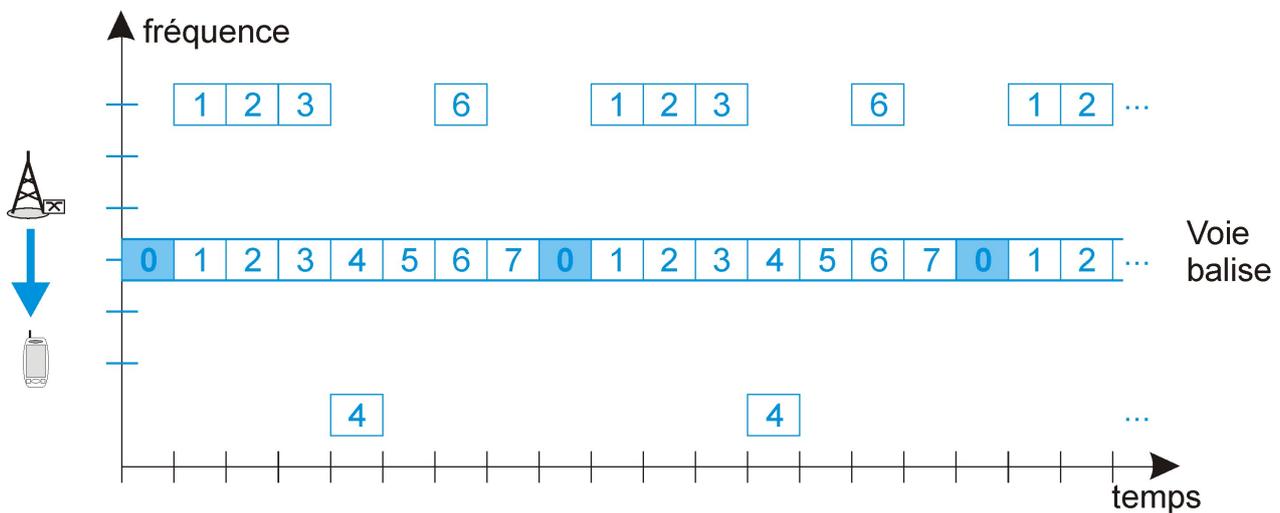
A=Slow Associated Control Channel ou SACCH  
 le burst contient du contrôle (ex : remontée de mesures)

- Un canal physique supporte en parallèle
  - 8 canaux logiques SDCCH à 0,8 kbit/s pour la signalisation
  - chaque SDCCH ayant son canal logique SACCH à 0,4 kbit/s permettant la supervision de la liaison
- Notion de canal dédié : une slot régulièrement alloué à un terminal particulier
  - soit un TCH et le SACCH correspondant
  - soit un SDCCH et le SACCH correspondant
- Un terminal qui dispose d'un canal dédié est en mode dédié
  - nécessité de superviser la liaison (utilité du SACCH)
  - possibilité de handover

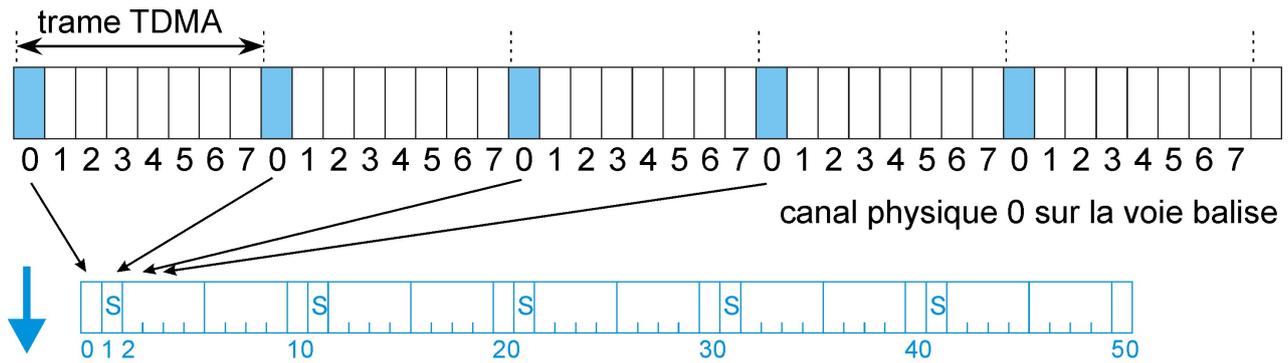
## Voie balise dans GSM (1)

Voie balise = diffusion périodique d'un signal et d'informations pour permettre aux terminaux de détecter le réseau et de le caractériser

Dans GSM, transmission continue d'un signal



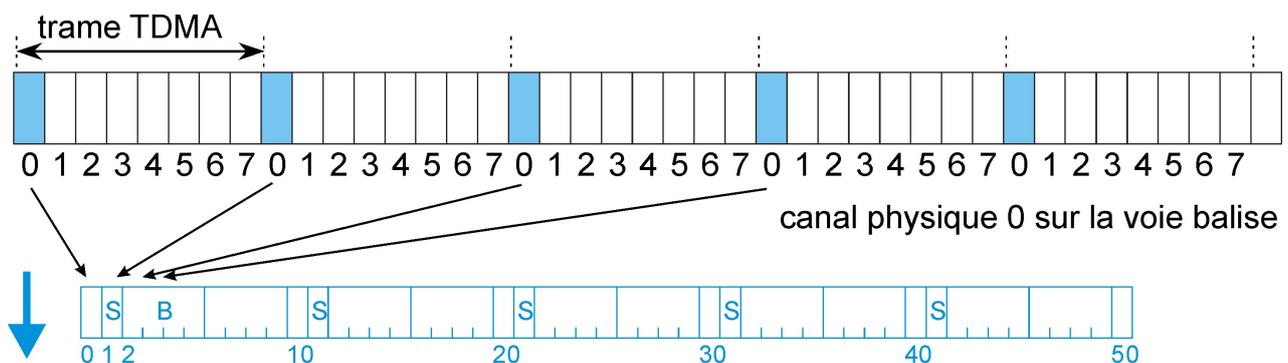
# Voie balise dans GSM (2)



## S=Synchronisation Channel ou SCH

- burst spécifique avec séquence d'apprentissage commun à tous les systèmes GSM
- les terminaux à la mise sous tension recherchent cette séquence
- le SCH indique le numéro de trame courant (FN, Frame Number)
- synchronisation complète du terminal sur la transmission de la station de base grâce au SCH
- transmis toutes les 50 ms environ

# Voie balise dans GSM (3)



## S=Synchronisation Channel ou SCH

## B=Broadcast Control Channel ou BCCH

- chaîne de transmission classique de GSM, 1 bloc de transport sur 4 burts
- diffusion des informations systèmes
- code du pays et de l'opérateur (MCC, MNC)
- code de la zone de localisation (LAC)
- paramètres de la cellule
  - niveau minimal de puissance reçue exigé,...
- indication sur les cellules voisines
  - liste des fréquences des voies balises des cellules voisines,...

Il y a d'autres canaux moins importants non présentés ici

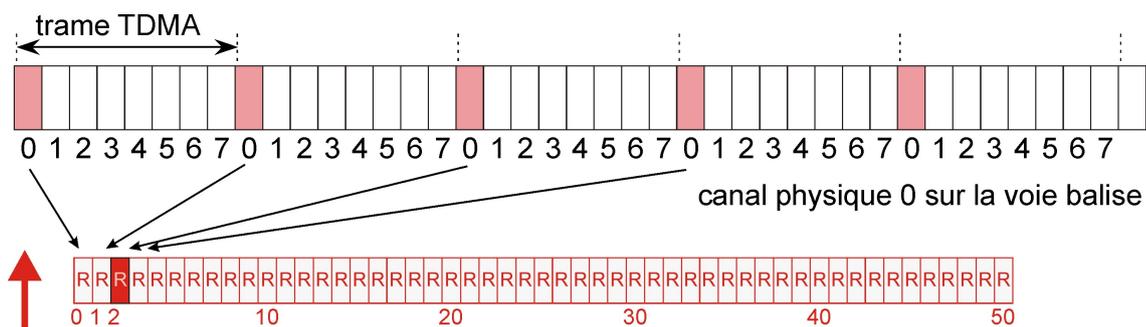
- Voie Balise dans GSM et veille d'un terminal
- Un terminal allumé mais non utilisé est en veille
- Il effectue les opérations suivantes
  - écoute régulière de la voie balise
  - mesure de puissance reçue sur
    - la voie balise courante
    - les voies balises des cellules voisines
  - identification de la voie balise la mieux reçue
  - positionnement en réception sur cette voie balise

## Voie Balise dans les autres systèmes

- Tous les systèmes mobiles ont une voie balise (UMTS, LTE,... )
- L'implémentation de cette voie balise change mais on a toujours
  - l'émission périodique d'un mot de synchronisation commun à toutes les stations de base d'une technologie donnée (Synchronisation Channel)
  - la diffusion des informations systèmes (Broadcast Channel)

- Terminal en veille : écoute de la voie balise
- Terminal en cours de service : canal dédié alloué
- Comment permettre
  - au terminal d'accéder à un service
  - au réseau de joindre un terminal
- Canaux communs et mécanismes d'accès

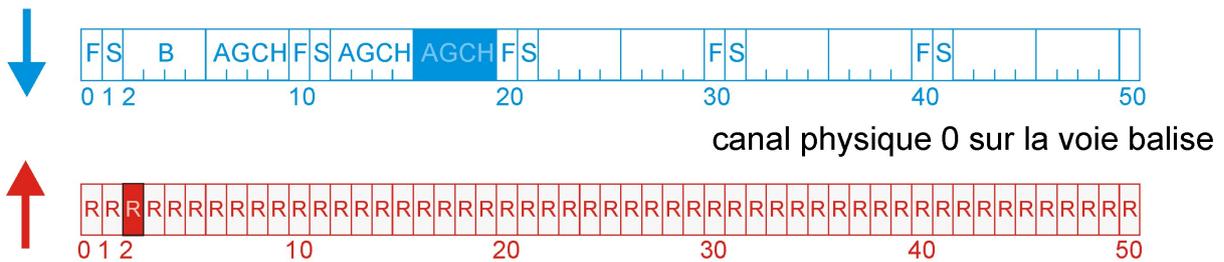
## Canaux communs dans GSM (RACH)



### R=Random ACcess Channel ou RACH

- burst court (longue durée de garde)
- tous les terminaux peuvent transmettre à tout moment (Slotted Aloha)
- risque de collision
- mécanisme de résolution des collisions (par répétition)

## Canaux communs dans GSM



### Voie balise

S=Synchronisation Channel ou SCH

B=Broadcast Control Channel ou BCCH

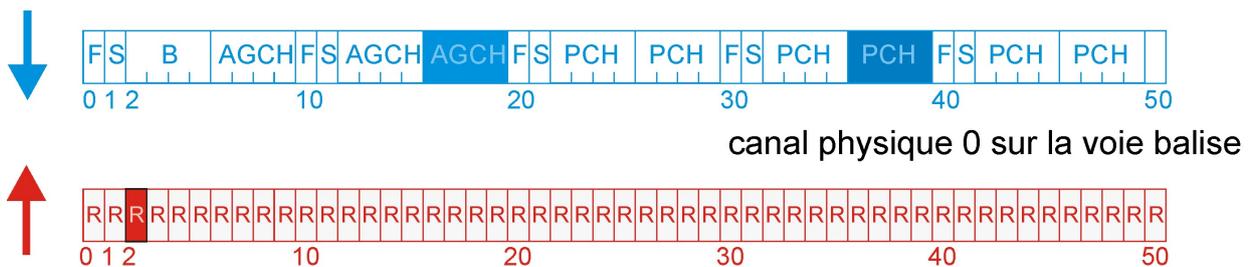
### Canaux Communs

Access Grant Channel ou AGCH

- chaîne de transmission classique de GSM, 1 bloc de transport sur 4 burts
- envoi des messages d'allocation de canaux dédié avec valeur d'avance en temps (TA, Time Advance)  
exemple : allocation d'un TCH et SACCH sur canal physique constitué par le slot 3 sur fréquence ARFCN=14

R=Random ACcess Channel ou RACH

# Canaux communs dans GSM (PCH)



### Voie balise

S=Synchronisation Channel ou SCH

B=Broadcast Control Channel ou BCCH

### Canaux Communs

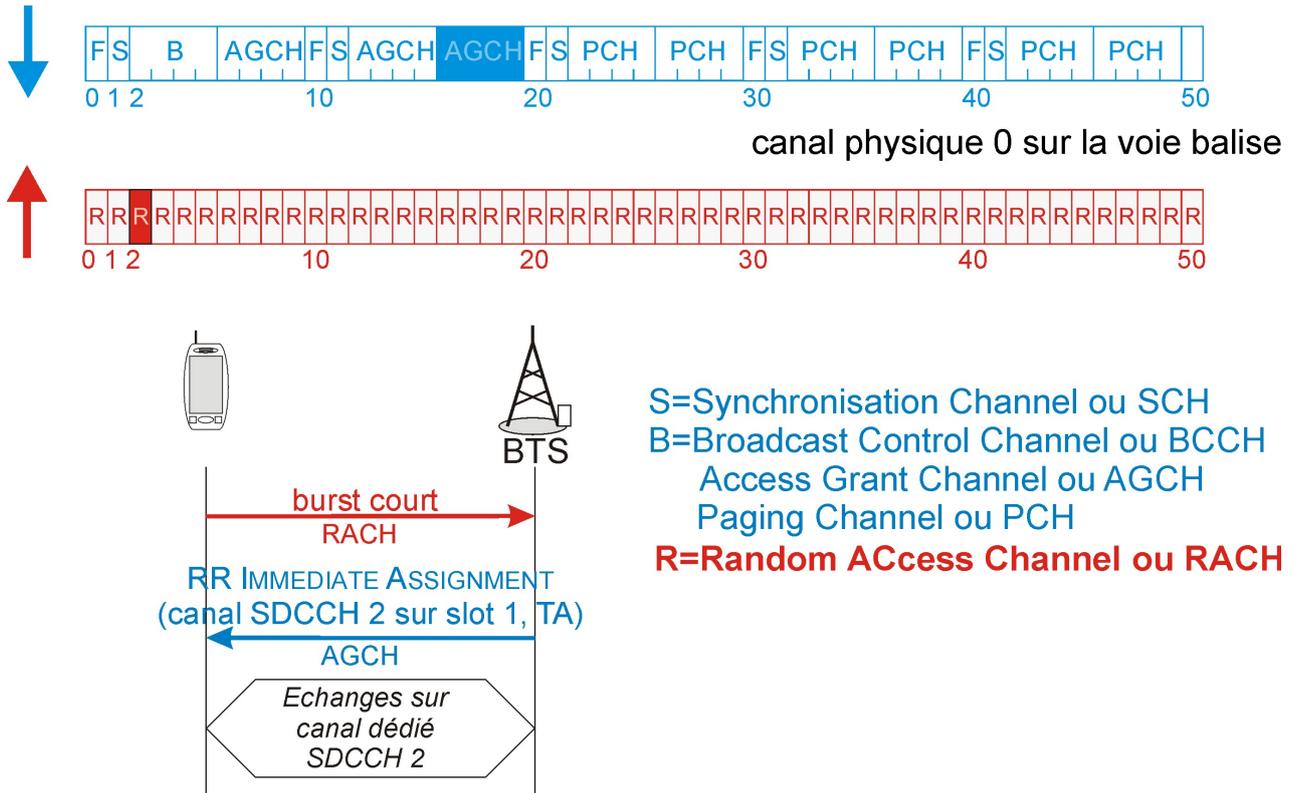
Access Grant Channel ou AGCH

Paging Channel ou PCH

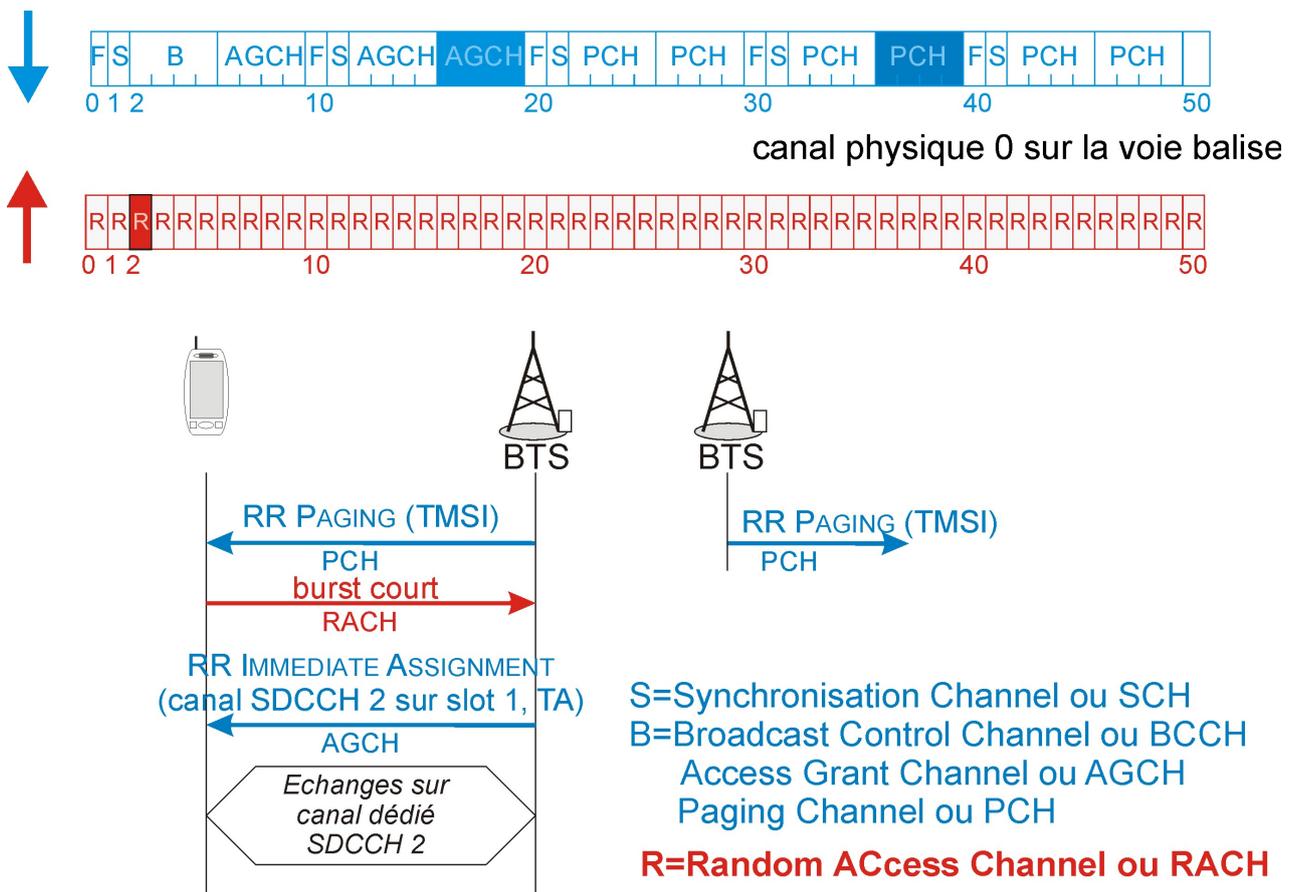
- chaîne de transmission classique de GSM, 1 bloc de transport sur 4 bursts
- envoi des messages d'appel vers les terminaux
- tout terminal en veille écoute, en plus du SCH et BCCH, le canal PCH

R=Random ACcess Channel ou RACH

# Principe de l'accès dans GSM (1/2)

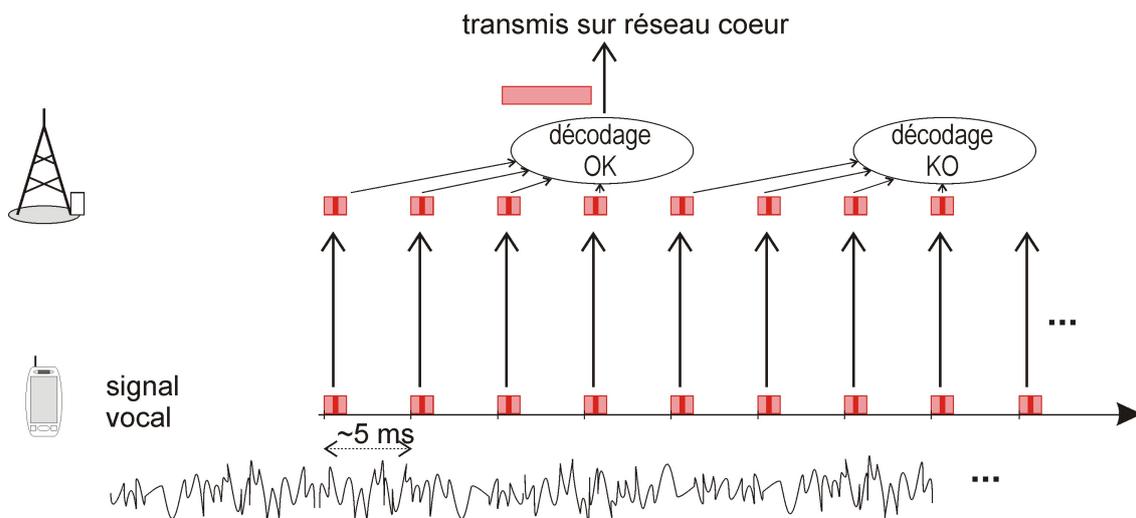


# Principe de l'accès dans GSM (2/2)



- On retrouve le même principe d'accès dans les autres réseaux cellulaires (UMTS, LTE, ...)
  - accès par transmission d'une séquence courte
  - allocation d'une ressource dédiée
  - phase préalable de paging si c'est le réseau qui veut joindre le terminal
- Mode circuit sur l'interface radio (GSM)
  - allocation de la ressource dédiée sur une longue période
- Mode paquet (GPRS, LTE)
  - allocation de la ressource minimale nécessaire pour transmettre les données
  - accès très fréquents

## Transmission de la voix en cas d'erreur à la réception



- Parole : si un bloc de parole n'est pas reçu, il... n'est pas reçu !
- La conversation reste compréhensible si quelques blocs isolés sont perdus (typiquement 1%)

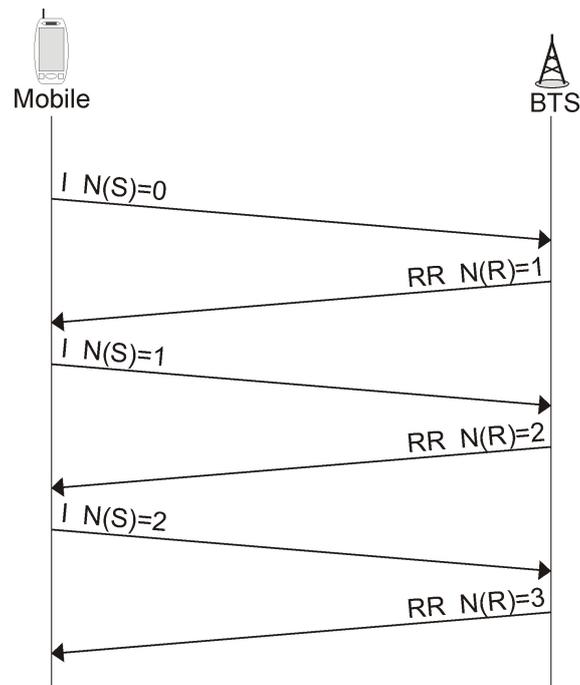


- Protocole de liaison de données ou ARQ (Automatic Repeat reQuest)
  - Voir Mooc Introduction aux réseaux de données
  - Protocole de niveau 2 : entre terminal et station de base (pas entre l'expéditeur et le destinataire final)
- Protocole de type Send And Wait (Envoyer et Attendre)
  - Toutes les données sont envoyées dans des *trames*
  - Envoi d'une trame puis attente de la réception de l'acquittement
  - Si réception d'un acquittement positif, passage à la trame suivante
  - Si non réception d'un acquittement positif (dont réception acquittement négatif), retransmission de la même trame

## Protocole LAPDm, liaison de données

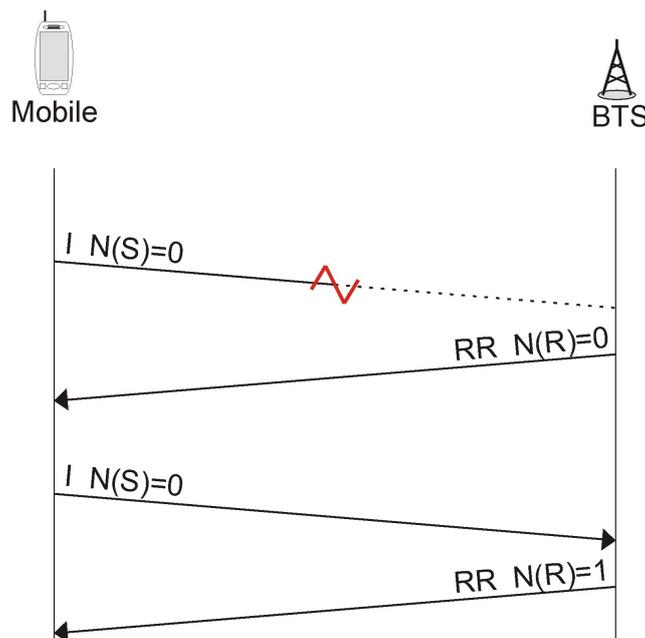
- LAPDm, Link Access Protocol on the Dm channel (Dm = SDCCH, SACCH)
- Protocole hérité du protocole HDLC largement utilisé dans les réseaux
- Numérotation des trames sur 3 bits (0 à 7 modulo 8) dans un champ appelé N(S)
- Numérotation des acquittements sur 3 bits (0 à 7 modulo 8) dans un champ appelé N(R)
- Le champ N(R) indique le numéro de la prochaine trame attendue
  - N(R)=1 signifie "je m'attends à recevoir la trame 1 donc j'ai bien reçu la trame 0"

# Scénario LAPDm sans erreur



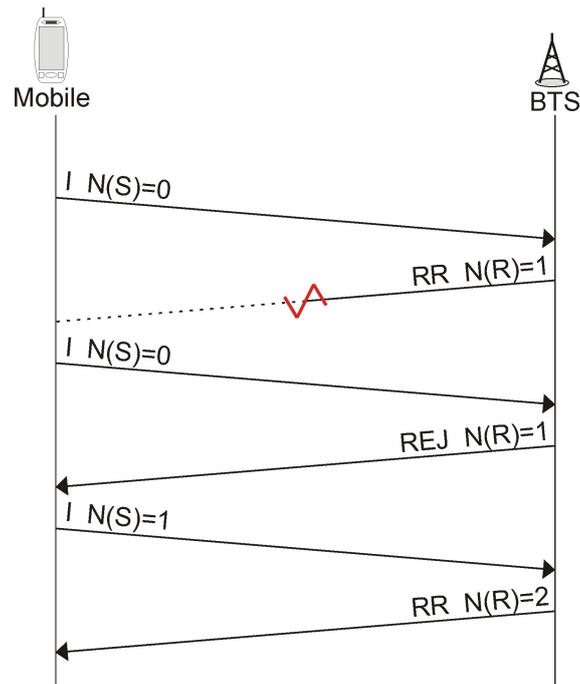
- Incrémentation régulière du numéro de trame  $N(S)$
- Du fait de la bonne réception, le numéro  $N(R)$  est le numéro immédiatement supérieur à  $N(S)$  (modulo 8)

# Scénario LAPDm avec erreur sur une trame



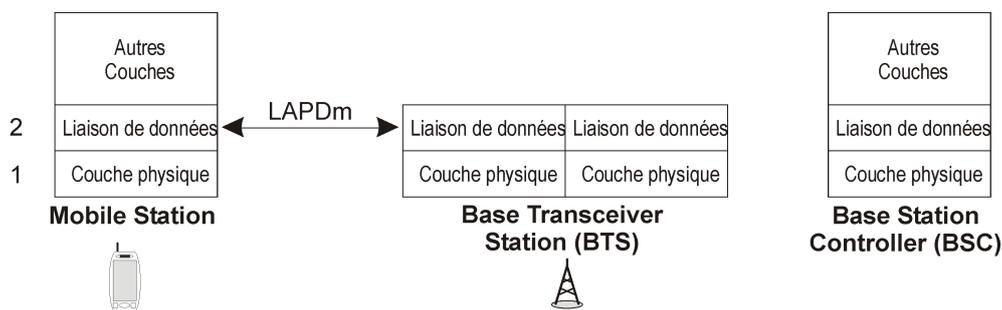
- Retransmission de la même trame

# Scénario LAPDm avec erreur sur un acquittement



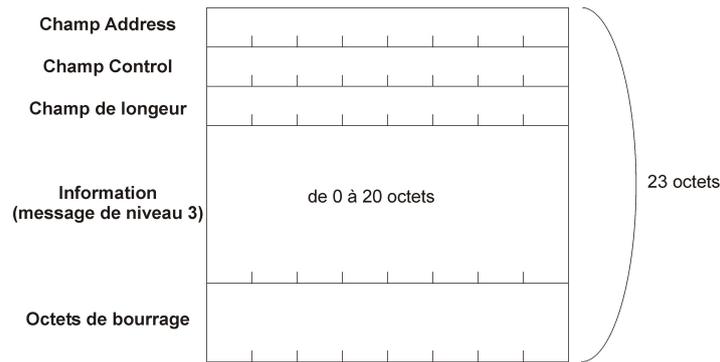
- Retransmission de la même trame

## Fonctionnement et place du LAPDm dans l'architecture



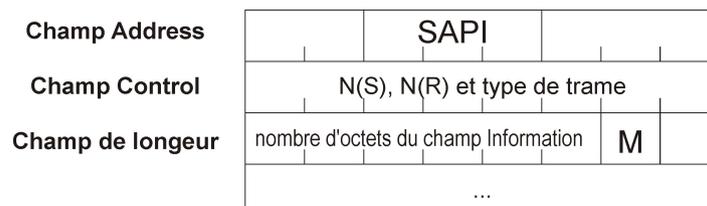
- Couche Liaison de données : protocole LAPDm
- Service rendu : fiabilisation des échanges de messages entre terminal et BTS
- Utilisé sur les canaux dédiés ou associés (SDCCH, FACCH, SACCH)

# Format de la trame LAPDm (1/3)



- Trame limitée à 23 octets (information utile 20 octets)
- Segmentation possible des messages de niveaux 3 en plusieurs trames
- pas de fanion délimiteur mais une indication de longueur
- Pas de code détecteur d'erreur dans la trame LAPDm car il est placé dans la couche physique

# Format de la trame LAPDm (2/3)



- Champ adresse
  - SAPI, *Service Access Point Identifier*
    - Identifie l'entité utilisatrice supérieure
    - SAPI=0 pour signalisation, SAPI=3 pour SMS
  - autres sous-champs moins importants (non détaillés)
- Champ longueur
  - nombre d'octets du champ d'information (0 à 20)
  - bit M, *More*, utilisé pour la segmentation et le réassemblage
    - M=1, la trame suivante contient la suite du message de niveau 3
    - M=0, dernière partie du message de niveau 3 (ou message non segmenté)

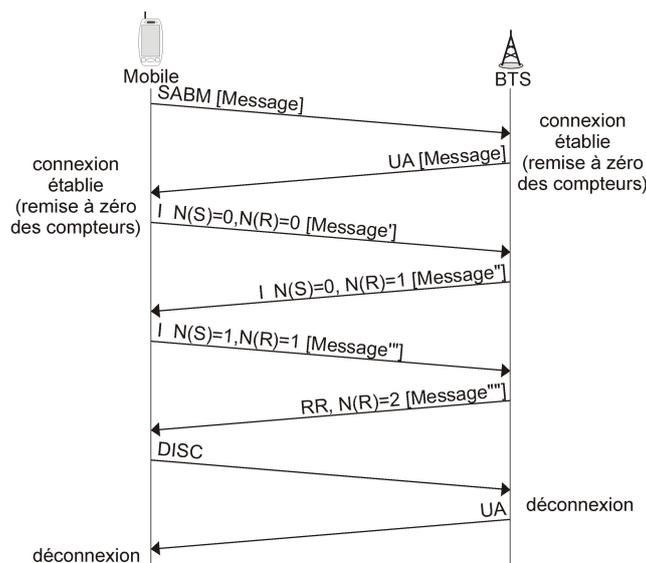
autres sous-champs moins importants (non détaillés)

# Format de la trame LAPDm (3/3)

		8	7	6	5	4	3	2	1
Trames d'information	I	N(R)				N(S)			0
	RR	N(R)				0	0	0	1
Trames S de Supervision	RNR	N(R)				0	1	0	1
	REJ	N(R)				1	0	0	1
Trames U Non Numérotées	SABM	0	0	1		1	1	1	1
	DM	0	0	0		1	1	1	1
	DISC	0	1	0		0	0	1	1
	UA	0	1	1		0	0	1	1

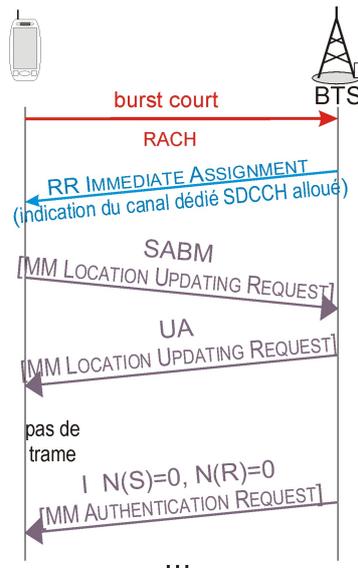
- Mêmes format du champ Control que pour le protocole HDLC standard
- Trame d'information I
- Trames de supervision, RR=Receiver Ready (acquittement), RNR=Receiver Not Ready, REJ = Reject
- Trames non numérotées , SABM=Set Asynchronous Balanced Mode (établissement de connexion), UA=Unnumbered Acknowledgement, Disc=Disconnect (demande de déconnexion), DM = Disconnect Mode

## Etablissement et libération de connexion avec LAPDm



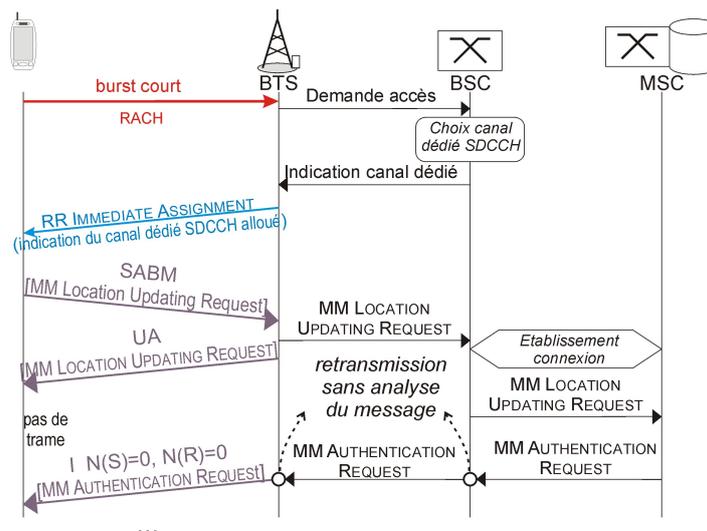
- Spécificités du LAPDm
  - La trame d'établissement de connexion SABM peut contenir un message de niveau 3
  - La réponse UA contient le même message en écho

# Etablissement de canal dédié puis connexion LAPDm



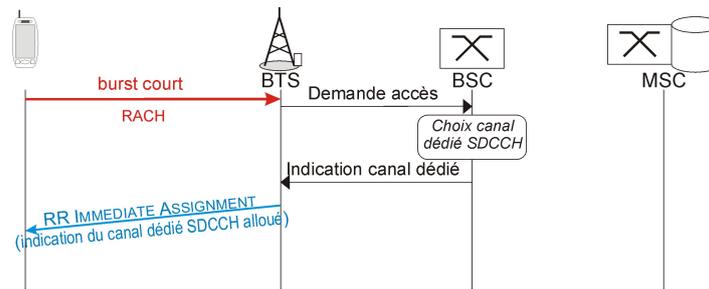
- Dès l'allocation d'un canal dédié, une connexion de niveau 2 est établie entre le terminal et la BTS
- Les messages de niveau 3 sont ensuite échangés sur la connexion de niveau 2

## Exemple de mise en oeuvre du concept de Non Access Stratum



- Toute trame émise par un terminal sur un canal dédié est retransmise par la BTS avec l'indication du canal dédié (et réciproquement pour le sens descendant)
- Une connexion, spécifique au terminal, est établie entre le BSC et le MSC
- NAS, *Non Access Stratum*
  - messages échangés entre le terminal et le MSC
  - retransmission sans analyse du message par la BTS et le BSC

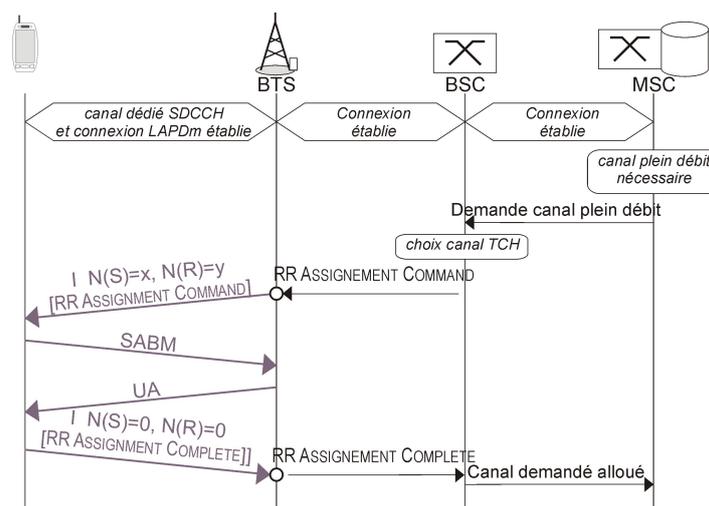
# Exemple de mise en oeuvre du Concept d'Access Stratum



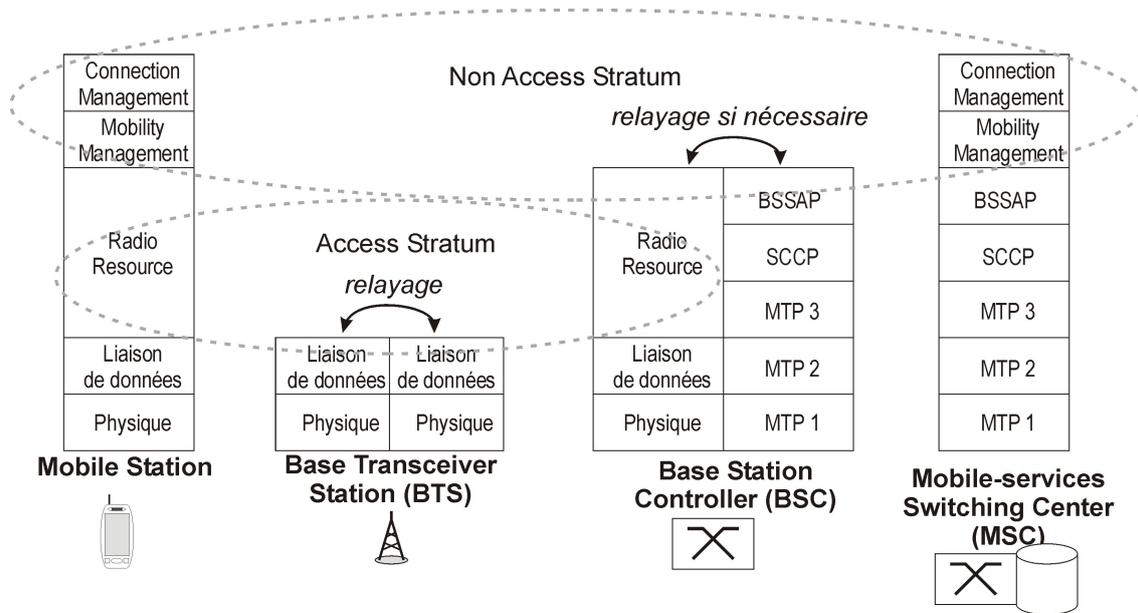
- AS, *Access Stratum*

- messages échangés entre le terminal et le BSC
- retransmission sans analyse du message par la BTS
- exemples : allocation de ressource radio initiale, allocation d'une nouvelle ressource radio, handover

## Autre exemple de message d'Access Stratum



- Exemple d'échange de messages AS, *Access Stratum* entre des échanges NAS
- Lors d'un appel téléphonique :
  - échange de signalisation sur le SDCCH (authentification, activation du chiffrement) = messages NAS
  - allocation d'un canal plein débit TCH : message d'allocation = message AS
  - l'échange de messages AS n'est pas vu du MSC



- Utilisation de la signalisation sémaphore sur l'interface A entre BSC et MSC
  - MTP, Message Transfer Part (MTP 1 à MTP 3)
  - SCCP, Signalling Connection Control Part en mode connecté
- BSSAP, Base Station Subsystem Application Part, échange de commande entre MSC et BSC (principalement)

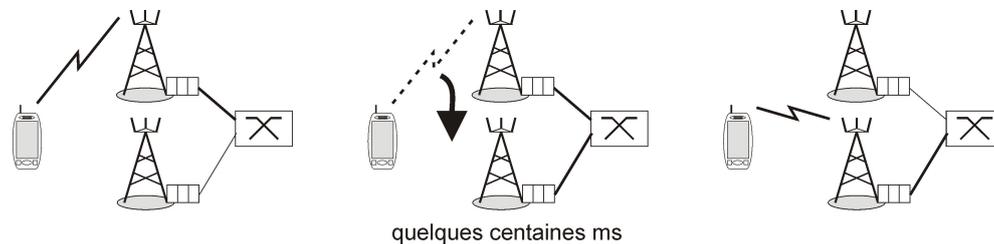


## Principes généraux du handover

- Handover ou Hand-off (US) = Changement de cellule en cours de communication (ou de session)
- Mesures par le mobile sur la station de base courante et les stations de bases voisines (niveau de puissance, d'interférences, etc.)
- Transmission régulière ou sur critère des mesures vers l'infrastructure
- Mesures par l'infrastructure
- Dès qu'il est considéré comme nécessaire de faire un handover
  - réservation des ressources par le réseau
  - envoi de la commande de handover

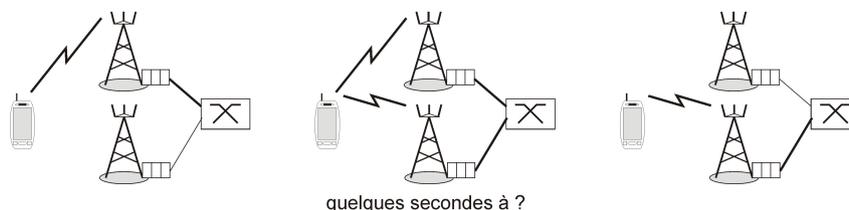
# Hard Handover

- Hard-handover = une seule liaison radio à chaque instant entre le terminal et la station de base
- coupure de la liaison avec la station de base courante
- établissement de la liaison avec la nouvelle station de base courante
  - micro-coupure de la communication
- mais possibilité d'avoir une double connexion au sein du réseau (hors liaison radio)
  - simplicité et faibles ressources consommées dans le réseau
  - mobile pas toujours connecté à la meilleure cellule (hystérésis pour éviter un effet ping-pong)



# Soft Handover

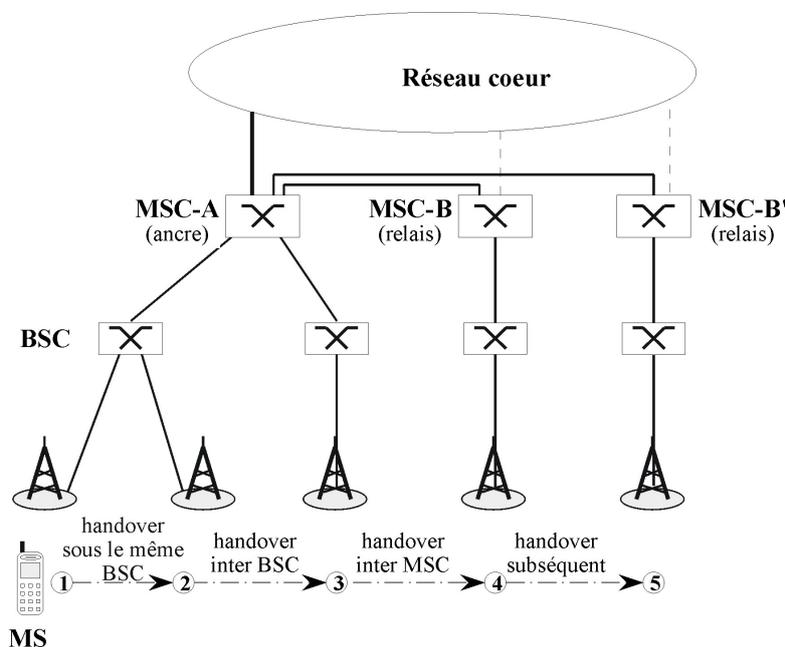
- Soft-handover = plusieurs liaisons radios possibles (i.e. entre le terminal et plusieurs stations de base)
- continuité de la communication (seamless handover)
  - confort d'utilisation pour les communications vocales
  - absence de perte d'information pour les transmissions de données en mode circuit
- continuité importante dans un approche "circuit" mais beaucoup moins dans une transmission par paquet, par essence discontinue
- Mobile est connecté à plusieurs stations de base :
  - le mobile est connecté à la meilleure station de base même en cas de variation rapide du signal
- Consommation de ressources dans le réseau d'accès
  - considéré comme un must dans les années 90 mais abandonné dans les systèmes cellulaires 4G



- hard-handover
- remontée périodique de mesures radios par le terminal dès qu'un canal dédié est alloué (communication, SMS, etc.)
- Algorithme de décision
  - dans le BSC
  - choix de l'opérateur mais avec une proposition d'algorithme dans la norme
- Handover inter-cellulaire
  - lorsque le mobile s'éloigne de la BS
  - pour des questions d'équilibre de charge

## Différents cas de handover dans le réseau

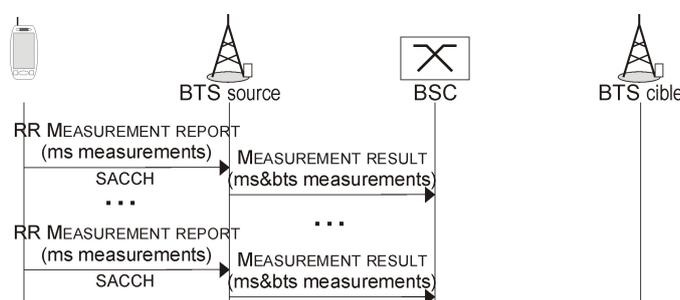
- Le MSC qui a établi la communication garde toujours le contrôle de la communication : notion de MSC-ancre ou MSC-Anchor
- Passage de la communication par un deuxième MSC : MSC-relais ou MSC-relay



- Phase d'observation (dès qu'il y a un canal dédié alloué dans GSM)
  - Mesures faites par la station de base sur la communication courante
  - Mesures faites par le mobile
    - sur la communication courante
    - sur les voies balises des cellules voisines
  - → Déclenchement du handover
- Phase de préparation (handover preparation)
  - Réservation des ressources dans le réseau (radio, sur liaisons entre équipements)
  - Echange de signalisation entre équipements (stations de base principalement) du réseau → non visible du terminal
- Phase d'exécution (handover execution)
  - Echanges de messages avec le terminal sur l'ancienne puis la nouvelle cellule
- Phase de finalisation (handover completion)
  - Libération des ressources non utilisées dans le réseau
  - Echange de signalisation entre équipements = non visible du terminal

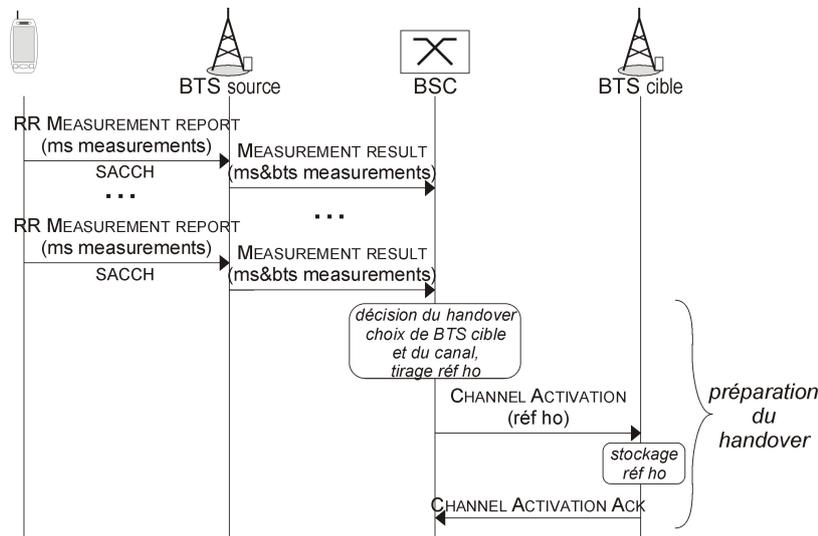
## Phase d'observation

- Le Mobile la MS effectue les mesures suivantes :
  - sur le canal courant,
    - le niveau de signal reçu (noté RXLEV),
    - la qualité du signal reçu (notée RXQUAL, liée au taux d'erreur bit).
  - Sur les voies balises des cellules voisines (selon déclaration par chaque station de base)
    - le niveau de signal reçu (noté RXLEV),
- Sélection des 6 meilleurs voisins et transfert des mesures
  - Mesures transmises sur le canal SACCH toutes les 480 ms.
  - Analyse par le BSC (filtrage ou pré-traitement possible dans la BTS)



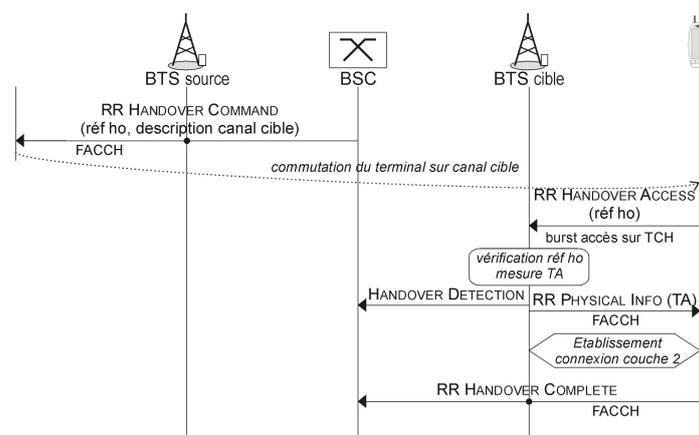
# Phase de préparation

- Cas d'un handover d'une BTS à une autre BTS contrôlé par le même BSC
- Réservation d'un canal sur la nouvelle BTS (par exemple un canal physique pour supporter un TCH/SACCH)

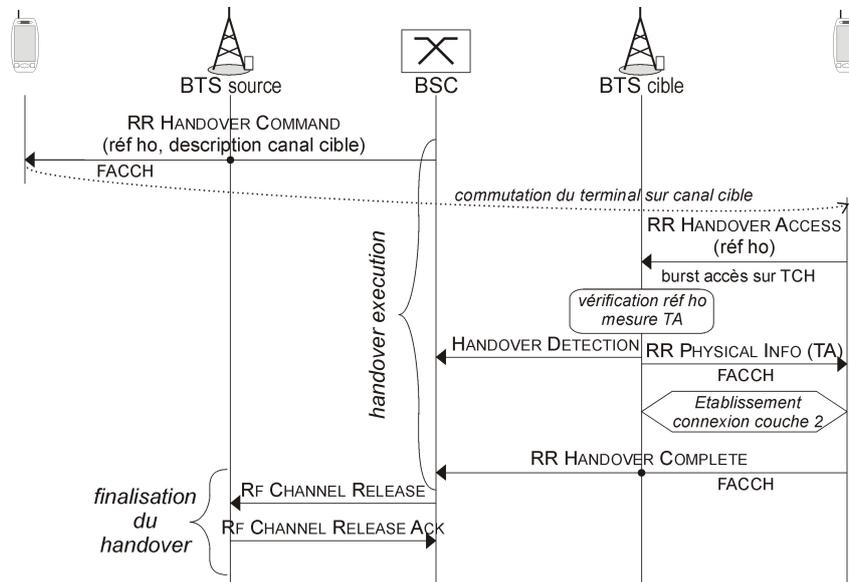


# Exécution du handover

- Envoi d'un message HANOVER COMMAND contenant
  - la description complète du canal alloué sur la nouvelle cellule : numéro de slot, fréquence (ou paramètres de la séquence de saut), type de canal, . . .
  - un numéro de référence
- Le mobile fait un accès (émission d'un burst d'accès court) qui contient le même numéro de référence
  - vérification du numéro de référence par la BTS
- Réétablissement des connexions de niveau 2
- Lorsque le message RR HANOVER COMPLETE (couche 3) est reçu par le BSC, tous les échanges (signalisation, communication vocales) peuvent reprendre via la station de base cible



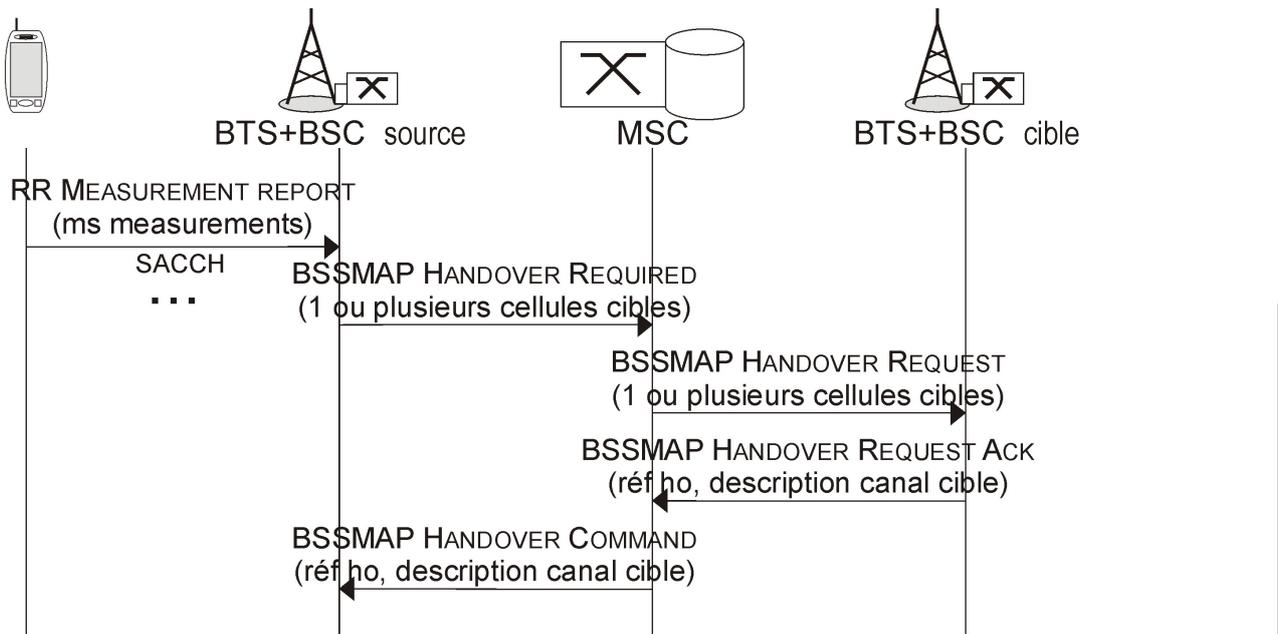
- Libération des ressources sur l'ancienne cellule (qui peuvent être utilisées pour une nouvelle communication)



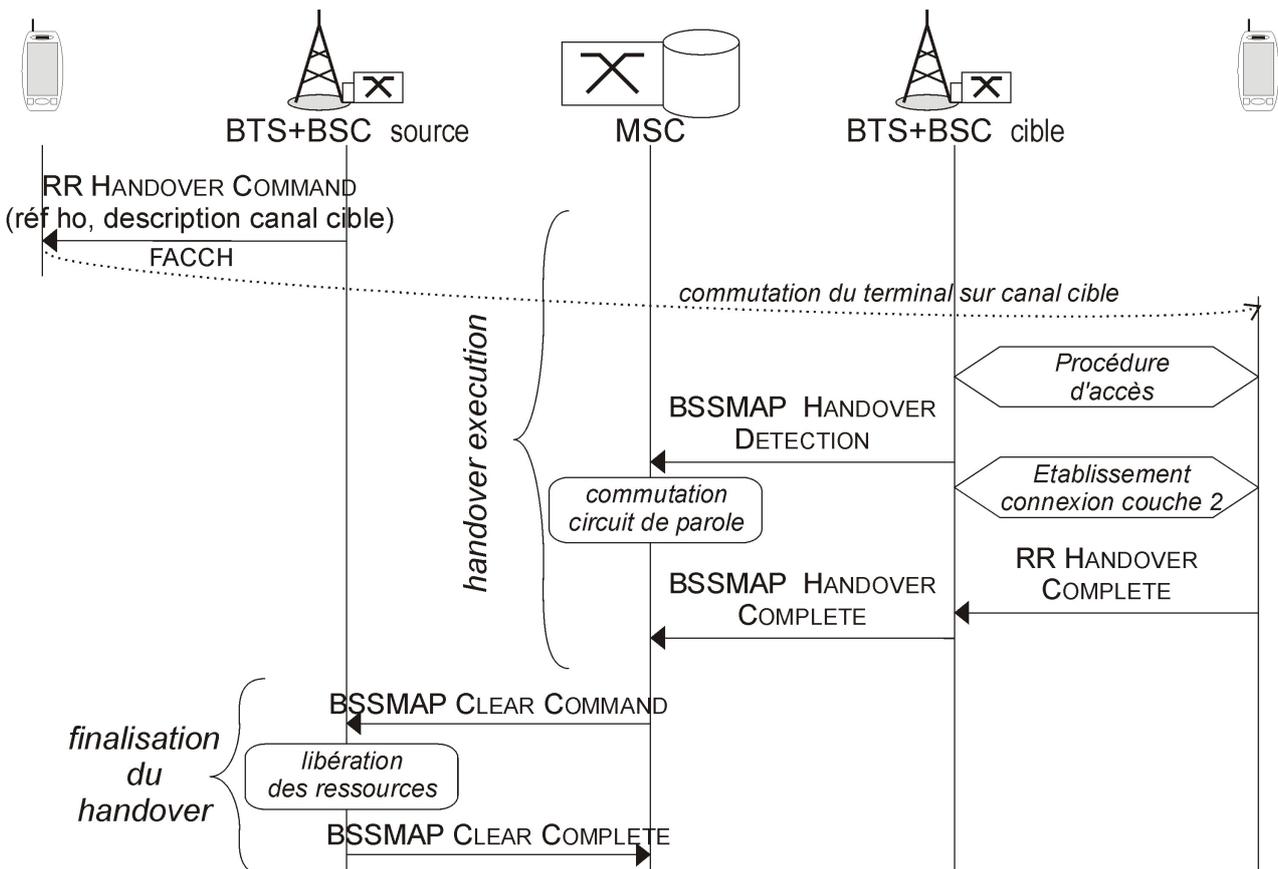
## Autres cas de handover dans GSM

- C'est toujours le BSC qui décide du handover. Le BSC prépare le handover en échangeant des messages avec le BSC cible pour que les ressources radio soient réservées dans la cellule cible.
- Le BSC prépare le handover en échangeant des messages avec le BSC cible pour que les ressources radio soient réservées dans la cellule cible.
- Le MSC n'intervient pas dans les cas de handover intra-BSC,
- Le MSC ou les MSC sont transparents par rapport aux dialogues BSC-BSC.
- Le protocole ISUP est utilisé pour modifier les circuits de parole dans le dialogue MSC-MSC.

# Handover inter-BSC, phase de préparation



# Handover inter-BSC, phase d'exécution et finalisation



- Importance d'un bon algorithme bien paramétré
  - ne pas déclencher le handover trop tôt
  - ne pas déclencher le handover trop tard
- Nécessité de disponibilité de ressources radios dans la cellule cible
  - Mobile gardé sur la cellule origine (si possible!)
  - Choix d'une autre cellule cible (si possible!)

## Glossaire de sigles et termes GSM/GPRS (+ quelques sigles UMTS)

3GPP	3rd Generation Partnership Project
A3	Algorithme mis en œuvre dans la procédure d'authentification (il permet de calculer SRES à partir de Ki et du RAND).
A38	Algorithme réunissant les algorithmes A3 et A8.
A5	Algorithme de chiffrement/déchiffrement de l'ensemble des informations transmises sur la voie radio (signalisation, voie ou données) utilisant la clé Kc et le numéro de trame courante. Plusieurs algorithmes A5 sont prévus (A5.1, A5.2, A5.3, ...).
A8	Algorithme utilisé pour calculer la clé de chiffrement Kc à partir des arguments d'entrée RAND et Ki.
AAL2	ATM Adaptation Layer 2. AAL désigne la couche intermédiaire entre ATM et les applications. Cette couche fournit des services équivalents à un transport dans le modèle OSI à 7 couches.
ASCII	American Standard Code for Information Interchange. Norme de représentation des caractères par un code de 7 bits, appelé aussi code CCITT n°5.
ACS	<i>Adjacent Channel Suppression</i> . Rapport maximal admissible entre l'interférence sur un canal adjacent et l'interférence co-canal ( $I_d/I_c$ ).
ADP	Assembleur Désassembleur de Paquets. Equipement présent dans un réseau à commutation par paquets qui permet l'accès de terminaux en mode caractère.
Affaiblissement de parcours	Affaiblissement médian entre deux points qui dépend seulement de la position de ces points.
AG	Appellation Globale (ou adresse globale). Numéro international E214 présent dans les messages SCCP pour router un message à travers plusieurs réseaux sémaphores SS7 différents.
AGCH	<i>Access Grant CHannel</i> . Canal commun descendant utilisé par le réseau pour envoyer au mobile un message d'allocation de canal dédié.
Aire équivalente	Rapport entre la puissance recueillie par une antenne de réception et la densité surfacique de puissance du champ électromagnétique à l'antenne.
ALOHA	Protocole d'accès sur un canal où une station émet un message de façon aléatoire sans se préoccuper de l'état du canal.
AMR	<i>Adaptive Multi-Rate</i> . Nouveau codeur de parole dont le débit en sortie peut varier de 4,75 à 12,2 kbit/s (ou 7,95 kbit/s sur un canal demi-débit) afin de s'adapter au taux de codage (correcteur) nécessaire en fonction du C/I rencontré sur le récepteur.
AMRT	<i>Accès Multiple par Répartition dans le Temps</i> (cf. TDMA).
AN	Access Network
AoCC	<i>Advice of Charge Charging</i> . Service supplémentaire d'indication du montant de la communication avec interdiction d'appel si le réseau n'offre pas ce service.
AoCI	<i>Advice of Charge Information</i> . Service supplémentaire d'indication du montant de la communication.
ARIB	Association of Radio Industries and Business. Organisme de standardisation japonais.
ARQ	<i>Automatic Repeat reQuest</i> . Principe de correction d'erreurs consistant à retransmettre les trames mal reçues sur demande du destinataire.

AS	Access Stratum. Ensemble des protocoles d'échange entre le terminal et le réseau d'accès (BTS, BSC, Node B, RNC).
AS	Application Server (IMS)
ASN.1	<i>Abstract Syntax Notation 1</i> . Syntaxe abstraite de représentation des données qui permet de présenter les formats de message sous forme de type comme dans un langage informatique évolué et qui définit un codage souple et évolutif.
ATIS	Alliance for Telecommunications Industry Solutions. Organisme de standardisation dans le domaine des télécoms aux Etats-Unis.
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i> . Technique de transfert asynchrone où les informations sont découpées en cellules de taille fixe, identifiées par une étiquette, et fournies au réseau à un rythme quelconque (d'où le terme asynchrone).
AUC	<i>Authentication Centre</i> . Centre d'authentification des abonnés d'un réseau GSM.
Authentification	Processus permettant au réseau de vérifier qu'un abonné est autorisé à utiliser le réseau en contrôlant la présence d'une clé secrète dans sa carte SIM.
BAIC	<i>Barring of All Incoming Calls</i> . Service supplémentaire interdisant à un abonné de recevoir des appels.
BAOC	<i>Barring of All Outgoing Calls</i> . Service supplémentaire interdisant à un abonné d'envoyer des appels.
BCC	<i>Base Transceiver Station (BTS) Colour Code</i> . Champ de 3 bits du code de couleur BSIC. Il est attribué librement par chaque opérateur dans son réseau.
BCCH	<i>Broadcast Control CHannel</i> . Canal logique sur lequel sont diffusées périodiquement des informations système variant peu dans le temps (le BCCH ne saute pas en fréquence et il est transmis à puissance constante).
BCF	<i>Base Common Function</i> . Ensemble des fonctions communes à l'ensemble des TRX d'une BTS (ou de plusieurs BTS d'un même site).
BCS	<i>Block Check Sequence (EDGE)</i> . Redondance de contrôle calculée seulement sur les données RLC.
BER	<i>Bit Error Rate</i> . Taux d'erreur binaire.
BG	<i>Border Gateways</i> . Nœud passerelle permettant de relier un réseau GPRS à un réseau fédérateur interconnectant différents réseaux GPRS (équipement non spécifié par les recommandations GSM).
BGCF	Border Gateway Control Function (IMS)
BIC-Roam	<i>Barring of Incoming Calls when Roaming outside the home PLMN country</i> . Service supplémentaire interdisant à un abonné de recevoir des appels lorsqu'il se trouve hors de son PLMN d'origine.
BLER	<i>Block Erasure Rate</i> . Proportion de blocs non reçus.
BOIC	<i>Barring of Outgoing International Calls</i> . Service supplémentaire interdisant à un abonné d'envoyer des appels internationaux.
BOIC-exHC	<i>Barring of Outgoing International Calls except those directed to the Home PLMN</i> . Service supplémentaire interdisant à un abonné d'envoyer des appels internationaux sauf vers son PLMN d'origine.
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
Bruit de confort	Processus, couplé avec DTX, consistant à transmettre à débit réduit les caractéristiques du bruit de fond lorsque l'interlocuteur est silencieux.
BS	<i>Base Station</i> . Station de base. Ensemble d'émetteurs-récepteurs qui couvrent une cellule. Terme générique utilisé quand on ne veut pas s'attacher au découpage précis des fonctions. Ce terme n'est pas utilisé dans la norme GSM où l'on distingue BTS et BSC.
BSC	<i>Base Station Controller</i> . Contrôleur de station de base. Cet équipement commande une ou plusieurs BTS et gère la ressource radio (allocation de canal pour un appel, décision du hand-over).

BSIC	Code de couleur permettant de distinguer deux BTS utilisant la même fréquence de voie balise. Le BSIC est utilisé pour déterminer la séquence d'apprentissage sur les canaux dédiés.
BSS	<i>Base Station Subsystem</i> . Sous-système radio composé d'un BSC et d'une BTS. Un BSS désigne en général un BSC et les BTS qui en dépendent. On peut utiliser ce terme lorsqu'on ne s'attache pas au découpage précis des fonctions entre BTS et BSC.
BSSAP	<i>BSS Application Part</i> . Le BSSAP désigne une partie de la couche réseau sur le BSC et le MSC. Il comprend le BSSMAP et DTAP.
BSSAP+	<i>BSS Application Part + (GPRS)</i> . Protocole entre SGSN et MSC/VLR permettant principalement une gestion coordonnée de la localisation entre GPRS et GSM-circuit.
BSSGP	<i>BSS GPRS Protocol (GPRS)</i> . Protocole entre le BSS et le SGSN assurant un rôle similaire à BSSAP.
BSSMAP	<i>BSS Management Application Part</i> . Le protocole BSSMAP régit le dialogue BSC-MSC pour tous les messages ayant trait à la gestion de la ressource radio.
BSSOMAP	<i>BSS Operation and Maintenance Application Part</i> . Protocole entre le BSC et le MSC gérant les dialogues d'administration du réseau.
BTS	<i>Base Transceiver Station</i> . Équipement composé des émetteurs/récepteurs radio et constituant l'interface entre le BSC et les mobiles.
BTSM	<i>BTS Management</i> . Entité de niveau réseau permettant l'échange, entre la BTS et le BSC, des messages de gestion de la BTS.
Burst	Élément de signal transmis par un équipement à l'intérieur d'un slot en TDMA. La durée du burst normal GSM est 148 bits soit $148 \cdot 3/812500s = 546\mu s$ . La durée d'un burst d'accès est 88 bits soit $88 \cdot 3/812500 = 325\mu s$ .
C/I	<i>Carrier to Interference ratio</i> . Rapport porteuse sur interférence. <i>C</i> désigne la puissance du signal utile (porteuse) et <i>I</i> désigne l'ensemble des interférences, souvent considéré comme réduit à l'interférence co-canal.
C/N	Carrier to Noise ratio. Rapport porteuse sur bruit.
CAA	<i>Commutateur à Autonomie d'Acheminement</i> . Terme désignant, dans le réseau téléphonique de France Télécom, les commutateurs sur lesquelles sont reliés les abonnés.
CAMEL	<i>Customized Applications for Mobile network Enhanced Logic</i> . Spécification de mécanismes, basés sur les réseaux intelligents, pour permettre à un opérateur d'offrir des services spécifiques à un abonné même lorsqu'il n'est pas dans son réseau d'origine.
<i>Camped</i>	Calé sur une cellule. État d'un mobile qui écoute périodiquement la voie balise d'une cellule qu'il a précédemment sélectionné ou resélectionné.
Canal logique	Suite de slots dédiés à une fonction particulière.
Canal physique duplex	Paire de canaux physiques simplex, l'un sur la voie montante l'autre sur la voie descendante.
Canal physique simplex	Canal formé par un numéro de slot dans la trame TDMA sur une fréquence donnée ou une séquence de fréquences. On distingue les canaux physiques plein-débit (1 slot par trame TDMA) des canaux physiques demi-débit (1 slot toutes les 2 trames TDMA).
CBCH	<i>Cell Broadcast CHannel</i> . Canal de diffusion de messages courts.
CC	<i>Call Control</i> . Partie de la couche CM (couche 3) présente dans la MS et le MSC qui s'occupe du traitement des appels.
CC	<i>Country Code</i> . Code de pays dans le plan E164 de l'UIT (33 pour la France). Le code CC est inclus dans le numéro MSISDN d'un abonné.
CCBS	<i>Completion of Calls to Busy Subscriber</i> . Rappel automatique du demandeur lorsque le demandé est occupé (offert en général par les PABX).
CCCH	<i>Common Control CHannel</i> . Canal de contrôle commun. Le CCH comprend les canaux PCH, AGCH, CBCH et le canal RACH.

CCIR	Le défunt <i>Comité Consultatif International des Radiocommunications</i> .
CCITT n°7	Voir SS7
CCITT	Le défunt <i>Comité Consultatif International Télégraphique et Téléphonique</i> .
CCS7	<i>Common Channel Signalling System Number 7</i> . Voir SS7
CCSA	China Communications Standards Association.
CCU	<i>Channel Codec Unit</i> (GPRS). Partie de la BTS qui gère principalement la couche physique : entrelacement et codage correcteur d'erreur.
CD	<i>Call Deflection</i> . Redirection d'un appel reçu vers un tiers pendant la phase de sonnerie.
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i> (=AMRC). Méthode d'accès à répartition par les codes.
CDMA2000	Radio Interface based on CDMA (from north America)
Cellule	Ensemble des points où le mobile peut dialoguer avec une station de base donnée avec une qualité suffisante.
CEPT	<i>Conférence Européenne des Postes et Télécommunications</i> .
CFB	<i>Call Forwarding on mobile subscriber Busy</i> . Renvoi d'appel lorsque le poste demandé est occupé.
CFCH	<i>Compact Frequency Correction CHannel</i> (EDGE Compact). Equivalent du FCCH sur une structure particulière de multiframe.
CFNRc	<i>Call Forwarding on mobile subscriber Not Reachable</i> . Service supplémentaire de renvoi d'appel lorsque le mobile demandé est non accessible (éteint, hors couverture ou en cas de surcharge des ressources radio).
CFNRy	<i>Call Forwarding on No Reply</i> . Service supplémentaire de renvoi d'appel lorsque le demandé est appelé mais que l'abonné ne décroche pas au bout d'un certain temps.
CFU	<i>Call Forwarding Unconditional</i> . Renvoi d'appel systématique.
Chiffrement	Processus permettant de coder les informations transmises de façon à ce qu'elles ne soient compréhensibles que par une entité disposant d'une clé de déchiffrement.
CI	<i>Cell Identity</i> . Identité de cellule diffusée par la BTS sur le BCCH.
CIR	<i>Carrier to Interference Ratio</i> . Voir C/I.
CLIP	<i>Calling Line Identification Presentation</i> . Service supplémentaire d'indication du numéro de l'appelant lors d'un appel.
CLIR	<i>Calling Line Identification Restriction</i> . Service supplémentaire permettant à l'appelant d'empêcher l'affichage de son numéro sur le poste de l'appelé (non disponible pour les appels d'urgence et les messages courts).
CM	<i>Connection Management</i> . Constitue une partie de la couche 3 de la pile de protocoles entre la MS et le MSC.
CN	Core Network. Réseau cœur dans un réseau mobile (par opposition au réseau d'accès)
Codec	<i>COdeur DECodeur</i> . Circuit réalisant la conversion d'un signal analogique de parole en une suite de données numériques et réciproquement.
COLP	<i>Connected Line identification Presentation</i> . Service supplémentaire permettant à l'appelant de connaître le numéro du poste en communication (permet de savoir si l'appelé a renvoyé ses appels vers un autre poste).
COLR	<i>Connected Line identification Restriction</i> . Service supplémentaire permettant à un poste en communication d'empêcher l'affichage de son numéro sur le poste appelant.
Coupleur	Dispositif permettant de combiner plusieurs signaux sur un même support.
CRC	<i>Cyclic Redundant Control</i> . Code correcteur ou détecteur d'erreur consistant à rajouter à l'information transmise une redondance obtenue par division polynomiale.
CS	Circuit Switched
CSCF	Call Session Control Function
CSD	Circuit Switched Data

CSE	<i>Camel Service Environment</i> . Point de commande de service d'un réseau GSM qui fournit un service spécifique à un opérateur.
CSI	<i>Camel Subscriber Information</i> . Information liée à un abonné donné spécifiant le service spécifique offert et l'appellation globale du CSE fournissant le service.
CS- <i>i</i>	<i>Coding Scheme</i> (GPRS). Un des 4 schémas de codage possibles sur l'interface radio. Le schéma CS-1 correspond à la transmission de la signalisation à la fois pour GSM-circuit et pour GPRS.
CTI	<i>Centre de Transit International</i> . Commutateur réalisant l'interface entre le RTCP national et les réseaux téléphoniques étrangers.
CTS	<i>Cordless Telephony System</i> . Système de téléphonie sans fils réutilisant l'interface radio de GSM.
CUG	<i>Closed User Group</i> . Service supplémentaire de restriction d'appels au sein d'un groupe d'abonnés.
CW	<i>Call Waiting</i> . Service supplémentaire, lié au double appel, permettant d'indiquer à un abonné en communication de l'arrivée d'un appel et de le mettre en instance (voir aussi HOLD).
dBd	dB dipôle. Unité servant à exprimer le gain d'une antenne par rapport à un dipôle simple. Le gain en dBd est égal au gain en dBi diminué de 2,15 dB.
dBi	dB isotrope. Unité servant à exprimer le gain d'une antenne par rapport à une antenne isotrope idéale.
DCA	<i>Dynamic Channel Allocation</i> . Technique d'allocation dynamique des canaux entre les stations de base (dans GSM l'allocation des canaux aux BTS est généralement fixe).
DCCH	Dedicated Control Channel (logical channel in UMTS)
DCH	Dedicated Channel (transport channel in UMTS)
DCS 1800	Digital Communication System
DCS 1800	<i>Digital Communication System 1800</i> . Système GSM dans la bande 1710 à 1785 MHz (voie montante) et 1805 à 1880 MHz (voie descendante).
DECT	<i>Digital Enhanced Cordless Telecommunications</i>
Distance de réutilisation	La plus petite distance entre stations de base qui utilisent la même fréquence.
DLCI	<i>Data Link Connection Identification</i> . Dans GSM, le DLCI est présent dans les messages DTAP entre BSC et MSC pour indiquer le SAPI utilisé sur la voie radio au niveau 2.
<i>Downlink</i>	Voir Voie descendante.
Down-tilt	voir <i>Tilt</i> .
DTAP	<i>Direct Transfer Application Part</i> . Entité présente dans le BSC et le MSC permettant de rendre transparent le BSC aux messages transférés entre la MS et le MSC.
DTCH	Dedicated Traffic Channel (logical channel)
DTMF	<i>Dual Tone Multiple Frequency</i> . Voir Q23.
DTX	<i>Discontinuous Transmission</i> . Processus consistant à suspendre la transmission (ou à transmettre seulement quelques trames) lorsque l'interlocuteur est silencieux.
Duplexeur	<i>Diplexer</i> ou <i>Duplexer</i> . Dispositif de filtrage permettant d'utiliser une même antenne simultanément pour l'émission et la réception.
EA	<i>Early Assignment</i> . Principe consistant à allouer le canal de trafic TCH pour une communication lorsque l'appel peut être traité par le réseau fixe.
$E_c/N_0$	Rapport entre l'énergie par bit modulé et la densité spectrale de bruit (équivalent à $C/N$ ).
Ecart duplex	Différence de fréquence en FDD entre la voie montante et la voie descendante. Cet écart est constant pour une bande donnée (45 MHz en 900MHz, 95 en 1800 MHz).
ECSD	<i>Enhanced Circuit Switched Data</i> (EDGE). Transmission de données en mode circuit utilisant la 8-PSK et permettant d'obtenir un débit de 43,2 kbit/s (maximum) sur un seul canal physique.

EDGE	Enhanced Data rate for the Global Evolution
EDGE	<i>Enhanced Data rates for the GSM Evolution</i> . Evolution de GSM qui permet une augmentation des débits grâce à l'utilisation d'une modulation de phase à 8 états.
EFR	<i>Enhanced Full Speech Rate</i> . Codeur de parole à environ 13 kbit/s spécifié dans les recommandations GSM qui permet une meilleure qualité vocale.
EGPRS	<i>Enhanced General Packet Radio Service</i> (EDGE). Evolution de GPRS qui combine l'utilisation des modulations GMSK et 8-PSK.
E-GSM	<i>Extended GSM</i> . Désigne un système GSM utilisant la bande étendue 880-915 et 925-960 MHz.
EIR	<i>Equipment Identity Register</i> . Base de données où sont stockées les identités des terminaux mobiles (elle permet par exemple d'établir des listes noires contenant les numéros des terminaux volés).
EIRP	<i>Effective Isotropic Radiated Power</i> . Voir PIRE.
Entrelacement	Principe consistant à étaler la transmission des symboles codés dans le temps pour améliorer les performances de la correction d'erreur.
Erlang	Unité de mesure de l'intensité du trafic sur un ensemble de voies. Elle représente la moyenne des voies de transmission utilisées pendant l'heure chargée.
ERP	<i>Effective Radiated Power</i> . Voir PAR.
ETCD	Équipement de Terminaison du Circuit de Données. Terme générique désignant l'équipement mettant les données sous la forme d'un signal adapté au support de transmission dans un circuit de données. Un ETCD est couramment appelé modem.
E-TCH	<i>Enhanced Traffic CHannel</i> (EDGE). Canal de trafic de données utilisant la 8-PSK et permettant d'obtenir un débit de 28,8, 32 ou 43,2 kbit/s.
ETSI	<i>European Telecommunication Standards Institute</i> . Institut chargé notamment de normaliser le GSM. Il est basé à Sophia-Antipolis (France).
ETTD	Équipement Terminal de Traitement de Données. Terme générique désignant l'équipement générant et recevant des données dans un circuit de données.
FACCH	<i>Fast Associated Control Channel</i> . Canal de contrôle associé rapide utilisé en particulier lors du hand-over et qui est obtenu par vol de trames du canal TCH.
Faisceau	Ensemble de circuits entre deux équipements. Par défaut en contexte téléphonique, un faisceau désigne l'ensemble des circuits téléphoniques (de parole) entre deux centraux passant par le même trajet géographique.
FCCH	<i>Frequency Correction Channel</i> . Canal permettant à un mobile de se caler sur la fréquence nominale de la station de base.
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i> . Séparation des voies montantes et descendantes par transmission sur des fréquences différentes.
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i> (cf. AMRF). Accès multiple à répartition dans les fréquences.
FEC	<i>Forward Error Correction</i> . Mise en oeuvre d'un mécanisme de correction d'erreur utilisant la redondance sur les informations transmises.
FER	<i>Frame Erasure Rate</i> . Taux de trames rejetées (effacées) après détection d'erreurs.
FH	<i>Frequency Hopping</i> . Saut de fréquence. Voir SFH.
FN	<i>Frame Number</i> . Numéro de la trame courante dans l'hypertrame défini pour une BTS et variant de 0 à 2 715 647.
<i>fractional loading</i>	Technique consistant à limiter la charge moyenne sur les fréquences d'une cellule, ce qui permet d'utiliser des très petites tailles de motif. Cette technique nécessite le saut de fréquence.
FTP	<i>File Transfer Protocol</i> . Protocole applicatif de transfert de fichier fonctionnant typiquement au-dessus de TCP/IP dans un environnement Unix.
Gain d'une antenne	Rapport entre la puissance maximale rayonnée par une antenne et la puissance rayonnée par une antenne de référence alimentée par la même énergie. L'antenne de

référence est soit une antenne isotrope (cas le plus fréquent), soit un dipôle élémentaire.

GCC	<i>Group Call Control</i> . Appel d'un groupe d'abonnés (service pour les réseaux d'entreprise radio).
GERAN	<i>GSM/EDGE Radio Access Network</i> . Réseau d'accès basé sur GSM et EDGE permettant l'accès à un réseau cœur GSM ou UMTS (paquet ou circuit).
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i> . Nœud passerelle GPRS. Routeur relié à un ou plusieurs réseaux de données et qui réalise l'interface avec ceux-ci.
GMM	<i>GPRS Mobility Management</i> (GPRS). Sous-couche de niveau 3 entre la MS et le SGSN qui gère l'itinérance et la sécurité. Elle fait partie du plan de signalisation GPRS.
GMSC	<i>Gateway MSC</i> . MSC passerelle réalisant l'interface entre le PLMN et le RTCP pour les appels à destination d'un mobile.
GMSK	<i>Gaussian Minimum Shift Keying</i> . Modulation MSK d'un signal NRZ passé dans un filtre gaussien avant le VCO. La modulation GMSK est utilisée dans GSM à une rapidité de $812500/3 = 270\ 833$ bauds.
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i> . Service de transmission de données basé sur GSM par paquets y compris sur la voie radio. Par extension, éléments du réseau assurant ce service.
GSM 450	Système GSM dans la bande 450,4 à 457,6 MHz (voie montante) et 460,4 à 467,6 MHz (voie descendante).
GSM 480	Système GSM dans la bande 478,8 à 486 MHz (voie montante) et 488,8 à 496 MHz (voie descendante).
GSM 850	Système GSM dans la bande 824 à 849 MHz (voie montante) et 869 à 894 MHz (voie descendante).
GSM	<i>Global System for Mobile communications</i> (appelé initialement Groupe Spécial Mobile). Nom du standard européen du système radio cellulaire numérique.
GSMS	<i>GPRS Short Message Service</i> (GPRS). Sous-couche de niveau 3 qui gère l'échange de messages courts GPRS entre la MS et le SGSN. Elle fait partie du plan de signalisation GPRS.
GTP	<i>GPRS Tunnel Protocol</i> . Protocole au-dessus de TCP/IP ou UDP/IP qui permet l'encapsulation de paquets de données (i.e. PDU PDP) dans des datagrammes IP et l'échange de la signalisation entre SGSN et GGSN.
Hand-over	Mécanisme grâce auquel un mobile peut transférer sa connexion d'une station de base vers une autre (hand-over inter station de base) ou d'un canal radio vers un autre (hand-over intra station de base). On l'appelle également Transfert automatique inter/intra cellulaire ou Handoff (aux Etats-Unis).
HARQ	Hybrid Automatic ReQuest. Protocole de liaison de données consistant à retransmettre les blocs mal reçus par le récepteur mais où le récepteur garde en mémoire les blocs mal reçus et combine les retransmissions pour améliorer les performance de décodage.
HCS	<i>Header Check Sequence</i> (EDGE). Redondance de contrôle calculée seulement sur l'en-tête MAC-RLC.
HCS	<i>Hierarchical Cell Structure</i> . Réseau cellulaire combinant sur une même zone des microcellules et des macrocellules qui sont gérées de façon coordonnée.
HLR	<i>Home Location Register</i> . Enregistreur de localisation nominal. Base de données contenant les profils et les localisations grossières d'abonnés d'un réseau.
HN	Home Network
HOLD	<i>Call hold</i> . Service supplémentaire, lié au double appel, permettant de suspendre une communication, par exemple pour prendre un appel en instance, et de la reprendre ensuite (voir aussi CW).

HPLMN	<i>Home PLMN</i> . En référence à un abonné particulier, le HPLMN désigne le PLMN pour lequel il a souscrit son abonnement.
HSCSD	<i>High Speed Circuit Switched Data</i> . Service permettant, par l'allocation de plus d'un <i>slot</i> par trame TDMA à un abonné de transmettre des données en mode circuit de 19,2 à 64 kbit/s dans GSM (non disponible en 97).
HSDPA	High Speed Data Packet
HSDPA	High-Speed Downlink Packet Access
HSN	<i>Hopping Sequence Number</i> . Nombre entier (de 0 à 63) servant à la définition de la séquence de saut de fréquence. Si HSN=0, le saut est cyclique. Pour deux BTS utilisant les mêmes fréquences, on choisira des HSN différents.
HSS	Home Subscriber Server. Terme utilisé en 3G et 4G pour désigner l'ensemble HLR+AuC.
HSUPA	High-Speed Uplink Packet Access
I-CSCF	Interworking Call Session Control Function (IMS)
IMEI	<i>International Mobile Equipment Identity</i> . Identité internationale spécifique d'un terminal.
IMEISV	<i>International Mobile station Equipment Identity and Software Version Number</i> . Identité internationale spécifique d'un terminal et contenant sa version de logiciel.
IMS	IP Multimedia System
IMSI attach	Processus par lequel un mobile signale au réseau sa mise sous tension (i.e. qu'il est prêt à recevoir des appels) après s'être "détaché" lors de la mise hors tension.
IMSI detach	Processus par lequel un mobile signale par un message explicite sa mise hors tension afin d'éviter au réseau de diffuser des appels inutilement en sa direction.
IMSI	<i>International Mobile Subscriber Identity</i> . Identité internationale d'un abonné inscrite dans la carte SIM et conforme au plan E212.
IMT-2000	International Mobile Telecommunications-2000
IN	<i>Intelligent Network</i> . Voir Réseau Intelligent.
Inscription	Voir mise à jour de localisation.
IP	<i>Internet Protocol</i> . Protocole de niveau réseau utilisé dans l'Internet orienté sans connexion (principe du datagramme).
IPLMN	<i>Interrogating PLMN</i> . Pour un appel vers un mobile, le IPLMN désigne le réseau qui assure l'interrogation du HLR pour la localisation du demandé, c'est-à-dire le PLMN dans lequel se trouve le GMSC concerné par l'appel.
IS95	<i>Intermediate Standart 95</i> . Norme US spécifiant une interface radio numérique pour les réseaux radiomobiles basée sur le CDMA. Cette norme spécifie principalement la couche physique. Elle présente une alternative technique au CDMA et pose un challenge à GSM.
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i> . Réseau numérique à intégration de services.
ISO	<i>International Standart Organisation</i> .
ISUP	<i>ISDN User Part</i> . Protocole SS7 traitant l'application téléphonique.
Itinérance	Capacité pour un terminal d'être utilisable en tout point du réseau. Ce terme a tendance à désigner maintenant la capacité d'un abonné d'un réseau à utiliser un autre réseau pour lequel il n'a pas d'abonnement particulier.
Itinériss	Nom du service de radiotéléphonie public de France Télécom respectant la norme GSM.
Iu	Interface entre le RNC et le réseau cœur en 3G
Iub	Interface entre le Noeud B et le RNC en 3G.
Iur	Interface entre les RNC (elle permet le soft-handover)
IWF	<i>InterWorking Function</i> . Fonction du réseau (en général localisé dans le MSC) permettant de faire la conversion entre les formats de transmission GSM et les formats de transmission du réseau téléphonique pour la transmission de données.

Kc	Clé de chiffrement calculée à partir de la clé Ki et du nombre aléatoire RAND transmis par le réseau.
Ki	Clé d'authentification spécifique à chaque abonné et stocké dans la carte SIM et le centre d'authentification AUC.
L2RBOP	<i>Layer 2 Relay Bit Oriented Protocol</i> . Protocole permettant d'échanger entre le mobile et l'IWF un flux binaire sur la jonction ETTD-MS dans des trames RLP (mode non transparent).
L2RCOP	<i>Layer 2 Relay Character Oriented Protocol</i> . Protocole permettant d'échanger entre le mobile et l'IWF des caractères transmis en asynchrone sur la jonction ETTD-MS dans des trames RLP (mode non transparent).
LA	Location Area. Voir Zone de localisation.
LAC	Location Area Code. Code d'une zone de localisation au sein d'un réseau donné.
LAI	<i>Location Area Identification</i> . Identification d'une zone de localisation dans le monde. Il contient le code de pays MCC et le code de l'opérateur MNC.
LAN	<i>Local Area Network</i> .
LAPD	<i>Link Access Protocol on the D channel</i> . Protocole de liaison de données utilisé dans le RNIS.
LAPDm	<i>Link Access Protocol on the Dm channel</i> . Protocole de liaison de données utilisé sur les canaux radio de signalisation et les canaux de contrôles associés.
LCS	<i>Location Services</i> . Service de localisation géographique d'un mobile en veille ou en cours de communication, défini suite aux exigences de la FCC dans la recommandation E911. La technique utilisée peut s'appuyer sur des mesures des instants d'arrivée d'un signal émis par le mobile sur différents récepteurs, sur des mesures des différences de temps entre voies balises perçues et remontées par le mobile ou enfin sur l'utilisation de GPS ( <i>Global Positioning System</i> ).
LLC	<i>Logical Link Control</i> (GPRS). Protocole de liaison entre la MS et le SGSN qui assure, entre autres, le chiffrement pour GPRS.
LMU	<i>Location Management Unit</i> . Centre de mesure (qui peut être intégré matériellement dans une BTS) pour le service de localisation géographique.
LTE	Long Term Evolution
MAC	Message Authentication Code (contexte sécurité). Champ de redondance calculé l'émission à partir des données utiles d'un message et d'une clé qui permet de contrôler à la réception que le message n'a pas été modifié par un tiers (contrôle d'intégrité).
MAC	<i>Medium Access Control</i> . Terme général désignant la couche qui gère le partage d'un support de transmission entre différentes stations. Dans GPRS, la couche MAC se trouve entre la MS et le BSS.
Macrocellule	Cellule dont le rayon est supérieur au kilomètre.
MAIO	<i>Mobile Allocation Index Offset</i> . Valeur de décalage permettant de spécifier le canal physique sur un canal avec saut de fréquence. Pour un slot utilisant un ensemble de $N$ fréquences, les $N$ canaux correspondent aux valeurs MAIO de 0 à $N-1$ .
MAP	<i>Mobile Application Part</i> . Protocole utilisateur, basé sur le SS7, qui gère les dialogues entre les équipements du NSS.
MBMS	Multimedia Broadcast Multicast System
MCC	<i>Mobile Country Code</i> . Code de pays dans le plan E212 de l'UIT (208 pour la France). Un champ MCC est présent dans le LAI et l'IMSI.
MCS	<i>Modulation and Coding Scheme</i> (EDGE). Un des 9 schémas de modulation et codage possibles sur l'interface radio. Le schéma MCS-1, basé sur la GMSK, est utilisé pour la transmission de la signalisation. Le schéma MCS-9, basé sur la 8-PSK et peu de redondance, permet un débit utilisateur instantané de 59,2 kbit/s.
ME	Mobile Equipment (ME=MT+TE)

MEExe	<i>Mobile Station Application Execution Environment.</i> Environnement d'exécution standardisé permettant de développer des applications indépendamment du mobile utilisé.
MGCF	Media Gateway Control Function (IMS)
MGW	Media Gateway (IMS)
MIC	<i>Modulation par impulsion et Codage.</i> Par abus de langage, le terme de liaisons MIC désigne les liaisons numériques composées d'un ensemble de voies à 64 kbit/s multiplexées temporellement.
Microcellule	Cellule dont le rayon est de quelques centaines de mètres.
MIMO	Multiple Input Multiple Output
Mise à jour de localisation	Procédure permettant au mobile de signaler au réseau sa position (lorsque le terminal est mis sous tension ou lorsqu'il change de zone de localisation).
MLC	<i>Mobile Location Centre.</i> Centre de localisation géographique d'un mobile.
MM	<i>Mobility Management.</i> Partie de la couche réseau présente dans la MS et le MSC qui gère les aspects itinérance et sécurité.
MMS	<i>Multimedia Messaging Service</i>
MNC	<i>Mobile Network Code.</i> Indicatif d'un PLMN au sein d'un pays (01 pour Itinérés). Ce champ est présent dans l'IMSI et le LAI.
MNP	<i>Mobile Number Portability.</i> Portabilité du numéro qui permet à un abonné PCS 1900 de s'abonner à un autre opérateur en Amérique du Nord tout en gardant son numéro (mais avec changement de l'IMSI).
Mobile	Voir MS.
Motif (de réutilisation)	Dans un pavage régulier de cellules, groupe de cellules utilisant des fréquences différentes dont la structure est répétée périodiquement.
MoU	<i>Memorandum of Understanding.</i> Terme désignant de façon générale un protocole d'accord. Le MOU GSM est devenu une instance de coordination entre opérateurs GSM/DCS et administrations.
MPTY	<i>MultiParTY.</i> Service supplémentaire permettant d'établir une communication avec plus d'un abonné.
MS	<i>Mobile Station.</i> Terminal GSM muni de la carte SIM et susceptible de fonctionner sur un réseau.
MSC	<i>Mobile-services Switching Centre.</i> Commutateur fixe adapté à GSM qui permet de gérer les appels départs et arrivées.
MSIN	<i>Mobile Subscriber Identification Number.</i> Numéro de l'abonné mobile à l'intérieur de son PLMN. Un champ MSIN est présent dans le MSISDN.
MSISDN	<i>Mobile Station ISDN Number.</i> Numéro international d'un abonné mobile conforme au plan E164 de l'UIT et connu de l'utilisateur.
MSK	<i>Minimum Shift Keying.</i> Une modulation de fréquence binaire à phase continue.
MSP	<i>Multiple Subscriber Profile.</i> Service supplémentaire permettant de disposer de plusieurs profils utilisateurs associés à la même carte SIM et au même IMSI mais à différents MSISDN.
MSRN	<i>Mobile Station Roaming Number.</i> Numéro E164 alloué temporairement, permettant par un appel téléphonique ordinaire de réaliser l'acheminement vers le MSC où se trouve l'abonné mobile demandé.
MSS	Mobile Satellite Service
MT	<i>Mobile Termination.</i> Partie de la station mobile qui comprend l'ensemble des fonctions de transmission hormis les fonctions d'adaptation (dans le contexte des services support de transmission de données). L'ensemble TAF et MT forme la station mobile MS.

MTP	<i>Message Transfer Part.</i> Ensemble des protocoles des 3 couches basses du SS7 permettant de disposer d'un réseau téléphonique national dédié à la signalisation, basé sur le principe du datagramme.
Multitrame	Multitrame GSM sur la voie radio : suite de 26 ou 51 trames occupant la même position dans des trames TDMA successives sur lesquels sont définis les différents canaux logiques.
NAS	Non Access Stratum Ensemble des dialogues « directs » entre le terminal et le réseau cœur pour l'établissement des services. Les messages de type NAS ne sont pas interprétés par le réseau d'accès (i.e. un BSC, un nodeB, une BTS, un RNC)
NCC	<i>Network (PLMN) Colour Code.</i> Champ de 3 bits du code de couleur BSIC. Il permet d'assurer que, sur les zones frontalières, deux opérateurs différents ont des BSIC différents.
NDC	<i>National Destination Code.</i> Détermine le PLMN dans le pays.
NMC	<i>Network Management Centre.</i> Système d'administration générale d'un PLMN.
Node B	équivalent de la BTS mais un seul noeud B en tri-sectorisation
NSAPI	<i>Network Service Access Point Identifier (GPRS).</i> Le point d'accès au service de niveau réseau identifie, localement entre la MS et le SGSN, une entité réseau (IP, X.25,...) qui utilise SMDCP.
NSS	<i>Network Sub-System.</i> Sous-réseau fixe d'un réseau GSM comportant principalement des bases de données HLR et VLR et des commutateurs mobiles MSC.
NT (Mode NT)	Non Transparent. Mode de transmission de données dans lequel les données sont transmises avec un codage correcteur sur la voie radio et pour lequel le protocole de liaison de données RLP est mis en œuvre au sein du BSS.
O&M	Operations & Maintenance
OACSU	<i>Off-Air Call Set Up.</i> Technique qui consiste à réserver le canal radio TCH nécessaire à une communication le plus tard possible.
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
OMC	<i>Operation and Maintenance Centre.</i> Centre d'administration, en général associé à un sous-système particulier (par exemple un BSS).
Omnidirectionnelle	Se dit d'une antenne dont le rayonnement est isotrope dans le plan horizontal.
OSA	Open Service Access
OSI	<i>Open System Interconnection.</i> Modèle d'interconnexion des systèmes ouverts où l'ensemble des actions permettant de faire coopérer plusieurs équipements informatiques, est structuré en couches correspondant à des niveaux de détails différents.
OSS	<i>Operation Support System.</i> Sous-système d'administration englobant l'ensemble des équipements d'administration (EIR, AUC, OMC).
OVSF	Orthogonal Variable Spreading Factor. Code d'étalement utilisé sur la voie descendante de l'UMTS pour séparer plusieurs utilisateurs dans la même station de base. On peut combiner des codes de longueurs différents tout en gardant l'orthogonalité, ce qui permet de combiner des débits différents.
PABX	<i>Private Automatic Branch eXchange.</i> Autocommutateur privé.
PACCH	<i>Packet Associated Control Channel (GPRS).</i> Canal logique de contrôle utilisé principalement pour les acquittements MAC/RLC et les changements de configuration (contrôle de puissance, réallocation,...) lorsqu'un TBF est actif.
PAD	<i>Packet Assembler Disassembler.</i> Voir ADP.
PAGCH	<i>Packet Access Grant Channel (GPRS).</i> Canal logique similaire à l'AGCH.
Paging	Technique consistant à diffuser un appel sur l'ensemble de la zone où est susceptible de se trouver le mobile demandé.
PAR	<i>Puissance Apparente Rayonnée (en anglais ERP).</i> En l'absence d'indication explicite de direction, la PAR d'une antenne A désigne la puissance qu'il faudrait fournir à un

dipôle élémentaire pour obtenir le même champ que celui rayonné par A dans la direction maximale (PAR=PIRE-2,15 dB).

Path Loss	Voir Affaiblissement de parcours.
PBCCH	<i>Packet Broadcast Control Channel</i> (GPRS). Canal logique similaire au BCCH.
PCH	<i>Paging CHannel</i> . Canal logique GSM supportant l'ensemble des appels en diffusion (paging).
PCM	<i>Pulse Coded Modulation</i> . Voir MIC.
PCN	<i>Personal Communication Network</i> . Terme employé pour désigner les futurs systèmes universels où on pourra communiquer partout et tout le temps. Au Royaume-Uni, ce terme désigne quelquefois les réseaux DCS1800.
PCS 1900	Transposition de GSM aux bandes de fréquences disponibles en Amérique du Nord : 1850 à 1910 MHz (voie montante) et 1930 à 1990 MHz (voie descendante).
PCS	<i>Personal Communication System</i> . En Amérique du Nord, ce terme désigne les réseaux cellulaires dans la bande 1900 MHz (dont PCS 1900).
PCS	<i>Point de Commande de Service</i> . Équipement informatique sur lequel sont implantées les logiques de déroulement des services dans le concept de réseau intelligent. SCP est plus utilisé comme sigle.
P-CSCF	Proxy Call Session Control Function
PCU	<i>Packet Control Unit</i> (GPRS). Equipement placé entre la BTS et le SGSN qui gère principalement les couches RLC et LLC.
Pdch	<i>Packet Data Channel</i> . Canal physique configuré pour GPRS qui supporte un multiframe à 52 trames (soit 12 blocs) qui peut être utilisé pour différents canaux logiques.
PDP	<i>Packet Data Protocol</i> . Dans le contexte GPRS, désigne tout protocole réseau par paquets pour lequel GPRS offre une compatibilité. Par extension, PDP désigne aussi un réseau de données auquel le réseau GPRS est connecté.
PDS	<i>Packet Data on Signalling channels service</i> . Service support de transmission de courts paquets de données sur canal de signalisation.
PDTCH	<i>Packet Data Transfert Channel</i> (GPRS). Canal logique supportant la transmission de blocs MAC/RLC de données (qui peuvent être éventuellement des informations de contrôle des couches supérieures).
PDU	<i>Protocol Data Unit</i> . Unité de données de protocole : terme générique des réseaux désignant un ensemble structuré de données et d'éléments de contrôle utilisés pour un protocole. Une entité de niveau <i>N</i> reçoit un ou plusieurs SDU de niveau <i>N</i> de l'entité supérieur et crée un ou plusieurs PDU de niveau <i>N</i> . Les PDU de niveau <i>N</i> sont échangées entre entités de niveau <i>N</i> .
P-GSM	<i>Primary GSM</i> . Désigne un système GSM utilisant seulement la bande définie à l'origine : 890-915 et 935-960 MHz. Par défaut, les systèmes GSM sont P-GSM.
PIRE	<i>Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente</i> (en anglais EIRP). En l'absence d'indication explicite de direction, la PIRE désigne la puissance maximale rayonnée dans la direction principale de l'antenne.
PLMN	<i>Public Land Mobile Network</i> . Réseau GSM opéré par un opérateur particulier sur un territoire.
Porteuse	Fréquence sur laquelle est transmise un signal modulé. Les porteuses GSM sont espacées de 200kHz.
PPCH	<i>Packet Paging Access Channel</i> (GPRS). Canal logique similaire au PCH.
PRACH	<i>Packet Random Access Channel</i> (GPRS). Canal logique similaire au RACH.
Profil d'abonné	Nous avons employé ce terme pour désigner la liste des caractéristiques d'abonnement d'un abonné particulier. Le profil se trouve dans le HLR et il est recopié dans le VLR.
PS	Packet Switched
PS	<i>Point Sémaphore</i> . Élément d'un réseau agissant comme source et puits de signalisation SS7.

PSK	<i>Phase Shift Keying</i> . Modulation de phase à plusieurs états. Dans EDGE, on utilise la 8-PSK qui comprend $2^{\infty 8}$ états de phase et permet de transmettre 3 bits pendant une durée symbole.
PSPDN	<i>Packet Switched Public Data Network</i> . Réseau public à commutation de paquets.
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i> . (=RTC)
PTCCH	<i>Packet Timing Control Channel</i> (GPRS). Canal logique de contrôle utilisé pour la gestion de l'avance en temps lorsqu'un TBF est actif.
PTM-G	Point-To-Multipoint Group
PTM-G	<i>Point-To-Multipoint Group</i> (GPRS). Service de transfert de données à un groupe d'abonnés bien définis (non disponible en GPRS phase 1).
PTM-M	Point-To-Multipoint Multicast
PTM-M	<i>Point-To-Multipoint Multicast</i> (GPRS). Service de transfert de données à un ensemble d'abonnés quelconques ou appartenant à une zone géographique (non disponible en GPRS phase 1).
P-TMSI	<i>Packet Temporary Mobile Subscriber Identity</i> (GPRS). Identité temporaire similaire au TMSI mais sur une plage de valeur spécifique.
PTP	<i>Point-To-Point</i> (GPRS). Service de transfert de données d'un équipement unique à un autre équipement unique.
PTP-CLNS	<i>PTP ConnectionLess Network Service</i> (GPRS). Service de transfert de données point à point sans connexion.
PTP-CONS	<i>PTP Connection Oriented Network Service</i> (GPRS). Service de transfert de données point à point avec connexion.
PTS	<i>Point de Transfert de Signalisation</i> . Fonction de commutation des messages de signalisation SS7 au sein d'un réseau sémaphore international. Cette fonction peut être remplie par un matériel dédié, qu'on appelle PTS, ou par un Point Sémaphore.
PTT	Push-to-talk
Q23	Système de signalisation analogique, définie dans la recommandation UIT Q.23, entre un poste téléphonique et son central de rattachement, appelé aussi DTMF ou signalisation à fréquence vocale.
QAM	Quaternary Amplitude Modulation
QoS	Quality of Service
QPSK	Quaternary Phase Shift Keying
RA	<i>Rate Adaptation</i> . Fonction d'adaptation utilisé dans l'ancien système de transmission de données circuit de GSM (CSD).
RA	<i>Routing Area</i> . Sous-ensemble d'une zone de localisation utilisé dans GPRS.
RAB	Radio Access Bearer
RACH	<i>Random Access CHannel</i> . Canal de contrôle partagé par un ensemble de mobiles et leur permettant de se signaler au réseau pour demander un service particulier (possibilité de contention).
RAN	Radio Access Network
RAND	Nombre aléatoire émis par le réseau vers la MS pour l'authentification et le chiffrement.
RBER	<i>Residual Bit Error Rate</i> . Taux d'erreur résiduel après corrections éventuelles.
Réseau Intelligent	Principe consistant à séparer les mécanismes de bases communs à tous les services des procédures spécifiques à chaque service dans le réseau téléphonique et à les implanter sur des équipements différents.
Réseau	Des arcs et des nœuds !
RF	<i>Radio Frequency</i> .
RFN	Reduced Frame Number. Champs transmis sur le SCH et permettant de calculer le numéro de trame FN.

R-GSM	<i>Railways Global System for Mobile communications</i> . Adaptation de GSM pour les chemins de fer européens utilisant la bande 876-880 MHz (voie montante) et 921-925 MHz (voie descendante).
RLC	<i>Radio Link Control</i> (GPRS). Protocole de liaison entre la MS et le BSS qui assure une liaison de données. La couche RLC peut apporter une fiabilisation de la liaison radio.
RNC	Radio Network Controller
RNIS	<i>Réseau Numérique à Intégration de Service</i> .
Roaming	Voir Itinérance.
RPE-LTP	<i>Regular Pulse Excitation - Long Term Prediction - linear predictive coder</i> . Processus de codage de parole dans lequel le conduit vocal est modélisé comme un filtre linéaire qui est excité par une succession régulière d'impulsions.
RR'	Entité de niveau réseau de gestion de la ressource radio présente dans la BTS (fonctions très réduites).
RR	<i>Radio Resource management</i> . Partie de la couche réseau présente dans la MS et le BSC (et partiellement dans la BTS) qui gère la ressource radio (allocation de canal, hand-over et chiffrement).
RSSI	<i>Received Signal Strength Indication</i> (ou Indicator). Mesure quantitative, effectuée par un récepteur, du niveau de champ reçu sur un canal.
RTC	<i>Réseau Téléphonique Commuté</i> (=RTCP=PSTN).
RTCP	<i>Réseau Téléphonique Commuté Public</i> (=RTC=PSTN).
RXLEV	Mesure RSSI du champ reçu, effectuée par le mobile et codée sur 6 bits par pas de 1dB (0~-110dBm).
RXQUAL	Mesure codée sur 3 bits de la qualité du signal reçu par estimation du taux d'erreurs bit BER permettant d'apprécier le C/I (RXQUAL a la valeur 0 pour BER<0,2%, 1 pour 0,2%<BER<0,4%, ... 7 pour BER>12,8%).
SA	Service and System Aspects
SACCH	<i>Slow Associated Control CHannel</i> . Canal de contrôle lent associé à tout canal dédié permettant d'en effectuer la supervision (contrôle de puissance, gestion TA, remontée de mesures).
SAPI	<i>Service Access Point Identifier</i> . Identification du point d'accès utilisé entre 2 couches (terme général). Dans GSM-circuit, le SAPI identifie, dans une trame LAPD (ou LAPDm) de niveau 2, l'entité utilisatrice de niveau 3. Dans GPRS, le SAPI identifie, dans une trame LLC, l'entité SMDCP ou l'entité de niveau 3 (plan de signalisation) utilisatrice.
SC	<i>Service Centre</i> . Serveur de messages courts relié à un réseau GSM.
SCCP	<i>Signalling Connection Control Part</i> . Protocole SS7 gérant l'interconnexion de réseaux sémaphores (SCCP permet de disposer d'un réseau sémaphore mondial) et offrant un service sans ou avec connexion.
SC-FDMA	Single Carrier – Frequency Division Multiple Access
SCH	<i>Synchronisation CHannel</i> . Canal de synchronisation dont les bursts, diffusés par la BTS, ont une longue séquence d'apprentissage et qui permet au mobile de se synchroniser sur la BTS.
SCP	<i>Service Control Point</i> . Voir PCS, Point de Commande de Service.
S-CSCF	Serving Call Session Control Function
SDCCH	<i>Stand Alone Dedicated Control CHannel</i> . Canal de signalisation dédié, pendant une durée limitée, à un mobile.
SDMA	<i>Spatial Division Multiple Access</i> . Multiplexage dans lequel on peut mettre plusieurs communications dans la même cellule, sur le même intervalle de temps et la même fréquence, si les mobiles correspondants sont sur des azimuts très différents grâce à l'utilisation de réseaux d'antennes à la station de base.

SDU	<i>Service Data Unit</i> . Unité de données de service : terme générique des réseaux désignant des données échangées (virtuellement) entre entités de niveaux $N$ et $N+1$ lors d'une demande de service (voir aussi PDU).
Séquence d'apprentissage	Suite déterminée d'éléments binaires présents dans le burst qui possède des caractéristiques particulières d'auto-corrélation et qui permet au récepteur de se synchroniser sur l'émetteur et d'analyser la qualité du signal reçu (la séquence d'apprentissage du burst normal a une longueur de 26 bits).
Services supplémentaires non structurés	Services spécifiques offerts par un opérateur mais non définis dans la norme. Seuls les formats de base des messages et leur transport par le réseau sont définis.
SFH	<i>Slow Frequency Hopping</i> . Saut de fréquence lent. Processus par lequel l'émetteur et le récepteur changent de fréquence à chaque nouvelle trame TDMA. Un canal physique est alors un slot dans la trame TDMA sur une succession de fréquences.
SFIR	<i>Spatial Filtering for Interference</i> . Réduction des interférences par l'utilisation de réseaux d'antennes à la station de base.
SFR	<i>Société Française de Radiotéléphone</i> . Second opérateur français de téléphonie cellulaire.
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i> . Nœud de service GPRS. Routeur relié à un ou plusieurs BSS qui gèrent les abonnés attachés au réseau GPRS dans les cellules correspondantes.
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i> . Carte s'insérant dans un terminal GSM et contenant toutes les informations d'abonnement.
SIM pro-active	Carte SIM capable d'émettre des commandes vers un terminal GSM.
SIP	Session Initiation Protocol
SIWF	<i>Shared Inter Working Function</i> . Fonctions d'adaptation situées à l'extérieur du MSC faisant intervenir une nouvelle interface appelée K (MSC-SIWF). Un SIWF peut servir plusieurs MSCs.
SLF	Subscription Locator Function (IMS)
Slot	Intervalle de temps élémentaire en TDMA qui peut accueillir un burst.
SM	<i>Session Management</i> (GPRS). Sous-couche de niveau 3 entre la MS et le SGSN qui gère principalement l'activation/désactivation du contexte PDP. Elle fait partie du plan de signalisation GPRS.
SM-CP, <i>Short-Message Control Protocol</i>	Protocole de la couche CM qui permet le transfert de messages courts entre un mobile et le MSC en se protégeant contre les pertes liées à un changement de canal dédié.
SMG	<i>Special Mobile Group</i> . Groupe au sein de l'ETSI poursuivant la normalisation du système GSM.
SM-RP	<i>Short-Message Relay Protocol</i> . Protocole entre le mobile et le MSC qui permet le relayage des messages courts jusqu'au SC.
SMS	<i>Short Message Service</i> . Service bidirectionnel de messages courts. Ce terme désigne également la sous-couche de la couche CM (niveau 3) qui gère le service dans la MS et le MSC.
SMS-GMSC	<i>Short Message Service-Gateway MSC</i> . Fonction passerelle sur le MSC utilisée pour la transmission des messages courts à destination du mobile.
SMS-IW MSC	<i>Short Message Service-InterWorking MSC</i> . Fonction de dialogue d'un MSC avec le serveur SC pour transmettre les messages courts émis par un mobile à ce serveur.
SN	Serving Network
SN	<i>Subscriber Number</i> . Champ du MSISDN attribué librement à l'abonné par l'opérateur.
SNDCP	<i>Subnetwork Dependent Convergence Protocol</i> (GPRS). Protocole entre le mobile et le SGSN, placé au-dessus LLC, qui permet d'utiliser plusieurs protocoles réseaux différents et qui peut faire de la compression.

SoLSA	<i>Support of Localised Service Area.</i> Définition de groupes de cellules (non nécessairement contiguës) dans lesquels certains abonnés disposent de services ou d'une tarification spécifiques.
SP	<i>Signalling Point</i> Voir PS.
SRES	<i>Signed Response.</i> Résultat (32 bits) de l'authentification, calculée à partir du nombre aléatoire RAND en appliquant l'algorithme A3.
SS	<i>Supplementary Services.</i> Partie de la couche CM (couche 3) présente dans la MS et le MSC qui s'occupe des services supplémentaires (renvoi d'appel, double appel...).
SS7	<i>Signalisation sémaphore n°7.</i> Système de signalisation normalisé par l'UIT où une voie particulière est utilisée pour transporter la signalisation se rapportant à un ensemble de circuits ou indépendante de tout circuit.
SSCS	<i>Sous-Système de Commande des Connexions Sémaphores</i> (voir SCCP).
SSGT	<i>Sous-Système de Gestion des Transactions.</i> Voir TCAP.
SSP	<i>Service Switching Point.</i> Voir CAS.
SSTM	<i>Sous-Système de Transfert de Messages.</i> Voir MTP.
SSUT	<i>Sous-Système Utilisateur Téléphonie.</i> Nom générique des applicatifs téléphoniques non RNIS en SS7.
SSUTR2	<i>Sous-Système Utilisateur Téléphonie R2.</i> Applicatif téléphonique basé sur le SS7 utilisé dans le réseau téléphonique français.
STP	<i>Signalling Transfer Point.</i> Voir PTS.
SVN	<i>Software Version Number.</i> Version du logiciel du terminal.
T (Mode T)	Transparent. Mode de transmission de données dans lequel les données sont transmises avec un codage correcteur sur la voie radio mais sans protocole de liaison de données au sein du BSS.
T=0	Protocole, orienté caractère, permettant d'échanger des données entre un terminal et une carte à puce (carte SIM dans le contexte de GSM).
TA	<i>Timing Advance.</i> Mécanisme consistant, pour le mobile, à anticiper l'émission du burst pour qu'il soit reçu par la BTS à l'intérieur d'un slot, compte tenu du délai de propagation. Le sigle TA désigne aussi la valeur d'anticipation codée sur 6 bits qui est transmise au mobile par la BTS. Elle est exprimée en durée bit. Un bit correspond à 3,69 µs d'aller-retour, soit une distance BTS-MS d'environ 550 mètres.
TAF	<i>Terminal Adaptation Function.</i> Ensemble des fonctions permettant d'utiliser un terminal GSM comme s'il s'agissait d'un modem pour le réseau fixe. Elles comprennent principalement l'adaptation de débit et le protocole RLP.
TAI	Transfer Automatique Intercellulaire. Terme quelquefois utilisé pour désigner le hand-over.
TBF	<i>Temporary Block Flow</i> (GPRS). Flux de données entre un mobile et le SGSN. Un flux est actif tant que l'émetteur a des données en mémoire à transmettre au niveau MAC/RLC mais il ne correspond pas nécessairement à une transmission effective.
TCAP	<i>Transaction Capabilities Application Part.</i> Protocole SS7 permettant de décomposer une transaction en succession d'opérations élémentaires (composants). TCAP comprend une partie transaction et une partie composant.
TCH	<i>Traffic CHannels.</i> Canal de trafic. On distingue les canaux de trafic écoulant de la voix plein débit (TCH/FS), de la voix demi-débit (TCH/HS), des données à 9600 b/s (TCH/F9.6), des données à 4800 b/s sur structure plein débit (TCH/F4.8), des données à 4800 b/s sur structure demi débit (TCH/H4.8), des données à un débit inférieur ou égal à 2400 b/s sur structure plein débit (TCH/F2.4) et sur structure demi débit (TCH/H2.4).
TCP	<i>Transport Control Protocol.</i> Protocole de transport orienté connexion permettant un échange fiable d'une quantité quelconque de données entre 2 équipements (niveau 4 OSI) reliés par un ou plusieurs réseaux utilisant IP.

TDD	<i>Time Division Duplex</i> . Séparation des voies montantes et descendantes par transmission à des instants différents sur la même fréquence.
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i> .
TE	Terminal Equipment
TEI	<i>Terminal Equipment Identity</i> . Identité d'un terminal utilisé sur une liaison de données multipoint (niveau 2) dans le RNIS.
Terminal	Émetteur récepteur portatif, portable ou monté dans un véhicule susceptible de fonctionner sur un réseau GSM.
TFI	<i>Temporary Flow Identifier</i> (GPRS). Identificateur d'un flux de données placé dans l'en-tête de chaque bloc MAC/RLC de ce flux. Dans une cellule donnée, une valeur de TFI correspond à un flux unique.
TFO	<i>Tandem Free Operation</i> . Suppression du double transcodage de la parole (13 kbit/s–64 kbit/s et 64 kbit/s–13 kbit/s) en cas d'appel mobile-mobile.
Tilt	Légère inclinaison de l'antenne de quelques degrés vers le bas permettant de bien couvrir le sol (appelé aussi <i>Down-tilt</i> ).
TLLI	<i>Temporary Link Layer Identity</i> (GPRS). Identité temporaire qui identifie un mobile particulier pour le SGSN. Cette identité a souvent la même valeur que le P-TMSI.
TMN	<i>Telecommunications Management Network</i> . Architecture proposée par l'UIT pour spécifier l'administration de réseaux.
TMSI	<i>Temporary Mobile Station Identity</i> . Identité temporaire attribué par le réseau à une MS et utilisée ensuite pour les transactions sur voie radio.
<i>Training Sequence</i>	Voir Séquence d'apprentissage.
Trame TDMA	Ensemble d'intervalles de temps répété périodiquement. La durée de la trame TDMA de GSM est 60/13 ms soit 4,615 ms.
TRAU	Transcoder / Rate Adaptor Unit. Equipment, souvent physiquement présent près du MSC mais fonctionnellement intégré au BSC, qui réalise la conversion 'parole numérisée à 13 kbit/s' <-> 'parole numérisée à 64 kbit/s' et une partie de l'adaptation de débit pour les données utilisateurs.
TRX	Matériel d'émission-réception permettant de gérer une fréquence GSM.
TSG	Technical Specification Groups
TTA	Telecommunications Technology Association (Corée)
TTC	Telecommunication Technology Committee (Japon)
TTI	Transmission Time Interval
TU	<i>Typical Urban</i> . TUX désigne, pour un environnement urbain, un modèle de canal variable dans le temps qui dépend de la vitesse $x$ du mobile ( $x$ en km/h, $x=3, 50\dots$ ) (utilisé pour le test des récepteurs).
UDP	<i>User Datagram Protocol</i> . Protocole de niveau transport sans connexion qui peut être utilisé au-dessus de IP lorsque la couche réseau offre un service fiable ou lorsqu'on n'a pas besoin de fiabilité.
UE	User Equipment
UIT	<i>Union Internationale des Télécommunications</i> .
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
<i>Unstructured Supplementary Service</i>	Voir Services supplémentaires non structurés
<i>Uplink</i>	Voir Voie montante.
USF	<i>Uplink Status Flag</i> (GPRS). Indicateur présent dans les blocs descendants qui alloue le bloc montant suivant à un mobile particulier.
USIM	User Service Identity Module
USSD	<i>Unstructured Supplementary Service Data</i> . Données transportées par un réseau pour offrir des services supplémentaires non structurés.
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access

UTRAN	Universal Terrestrial Access Network
UUS	<i>User-to-User Signalling</i> . Service de transfert d'information en utilisant la signalisation d'utilisateur à utilisateur (dans les messages d'appel, entre la prise en compte de l'appel et le décroché ou enfin pendant la communication).
VCO	<i>Voltage Control Oscillator</i> . Oscillateur dont la fréquence de sortie est fonction du niveau de la tension qui lui est appliquée.
VEA	<i>Very Early Assignment</i> . Allocation d'un canal de trafic TCH pour une communication dès le début de la phase de signalisation.
VLR	<i>Visitor Location Register</i> . Base de données, associée à un MSC (dans la pratique), qui contient, pour tous les abonnés présents dans le territoire desservi par le MSC, leur profil et la zone de localisation où ils se trouvent.
VMSC	Visited MSC. Terme désignant, dans les descriptions des procédures, le MSC sous lequel se trouve l'abonné considéré (ce terme ne désigne pas de fonction particulière dans le MSC).
Voie balise	Canal utilisé par le système pour diffuser des informations permettant aux mobiles d'acquérir les paramètres système (synchronisation, fréquence, emplacement des canaux, localisation, ...).
Voie descendante	Sens de transmission de la BTS vers la MS.
Voie montante	Sens de transmission de la MS vers la BTS.
VPLMN	<i>Visited PLMN</i> . En référence à un mobile particulier, le VPLMN désigne le PLMN dans lequel le mobile se trouve à un instant donné.
WCDMA	Wideband Code Division Multiple Access
WLAN	Wireless Local Area Network
xDSL	<i>x Digital Subscriber Line</i> . Terme désignant l'ensemble des techniques de transmission de données à haut débit sur la ligne d'abonné dont l'une est ADSL.
Zone de localisation	Ensemble de cellules au sein duquel la MS n'enclenche pas de mise à jour de localisation et permettant au PLMN de localiser grossièrement un abonné.

w w w . t e l e c o m - b r e t a g n e . e u

**Campus de Brest**  
Technopôle Brest-Iroise  
CS 83818  
29238 Brest Cedex 3  
France  
Tél. : + 33 (0)2 29 00 11 11  
Fax : + 33 (0)2 29 00 10 00

**Campus de Rennes**  
2, rue de la Châtaigneraie  
CS 17607  
35576 Cesson Sévigné Cedex  
France  
Tél. : + 33 (0)2 99 12 70 00  
Fax : + 33 (0)2 99 12 70 19

**Campus de Toulouse**  
10, avenue Edouard Belin  
BP 44004  
31028 Toulouse Cedex 04  
France  
Tél. : +33 (0)5 61 33 83 65  
Fax : +33 (0)5 61 33 83 75

