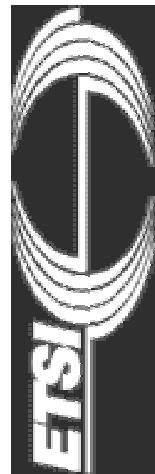




Télécommunications : Généralités



3G.IIP: OUR MISSION
to promote alignment between
wireless and fixed IP architectures

Histoire des Télécommunications

Téléphonie : Etats- Unis

14 février 1876



- A.G.Bell et Elisha Gray déposent le brevet du téléphone

- Aucun des 2 appareils ne fonctionnent -

- 1877 Crédit à la Bell Telephone Company
Edison invente pour WTU le microphone à graphite

- 1889 Invention de l'autocommutateur électromécanique par Almon B. Strowger (Kansas City)

Téléphonie : France



1891

- 1879 Premier Ministère des P et T en France

Décembre 1880 Crédit de la Société Générale des Téléphones (fusion de 3 Sociétés créées en 1878)

- 1885 L'état développe son propre réseau

- 1889 L'état reprend l'exploitation complète de tous les réseaux



Le 1er Septembre 1889

Transmission Radio

1870 : Maxwell et la théorie de l'électromagnétisme

1887 : Hertz démontre expérimentalement l'existence des ondes électromagnétiques

**1890 : Branly invente le premier “récepteur” (cohéreur)
Popov conçoit l'antenne radioélectrique**

1895 : Marconi réalise les premières expériences radio et invente la TSF

Divers - 1903 : Tour Eiffel, 1912 : Titanic, 1920 : Liaison TA -



1904 Diode de J. Fleming



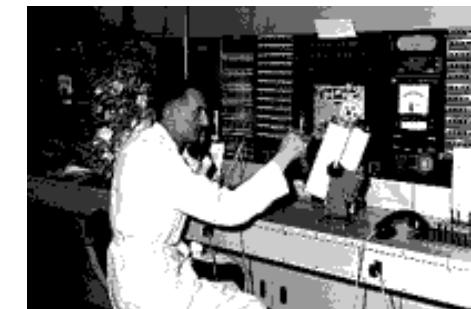
1906 Lee de Forest Triode amplificateur

1933 E.H. Armstrong invente la FM

1947 Invention du transistor (Bell Lab)

1948 Publication de la Th de l'information C.Shannon

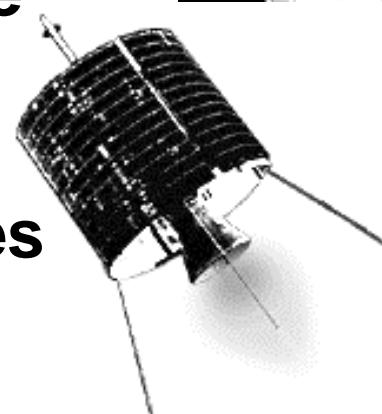
1953 NTSC Color System



1962 Télévision par satellite USA/Europe

1970 Première transmission numérique

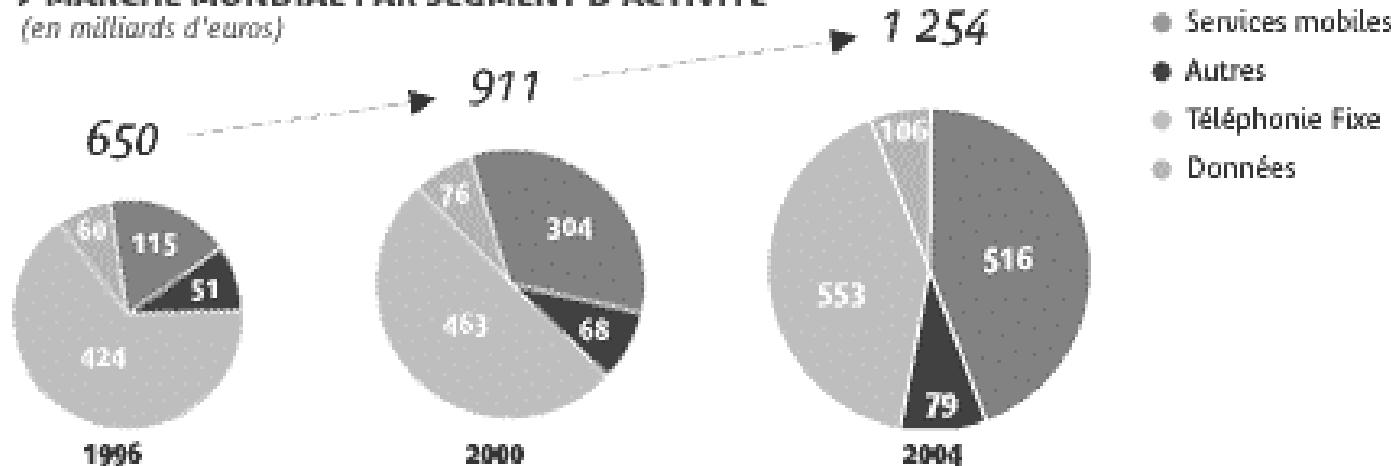
de la voix (CNET)



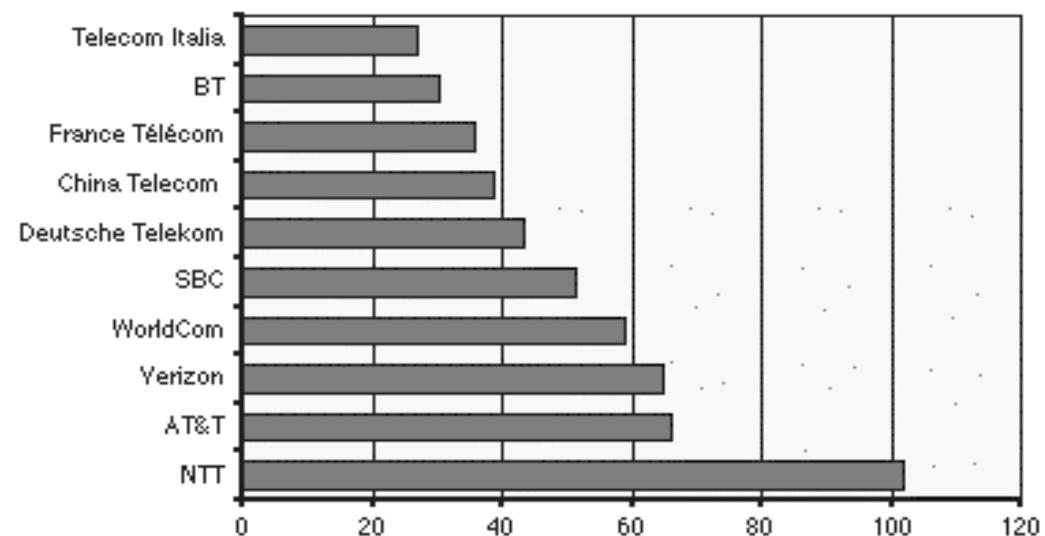
**1998 (Europe) Ouverture du marché des
télécommunications**

Le marché des Télécommunications

► MARCHÉ MONDIAL PAR SEGMENT D'ACTIVITÉ (en milliards d'euros)

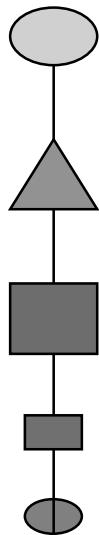


Top 10 →

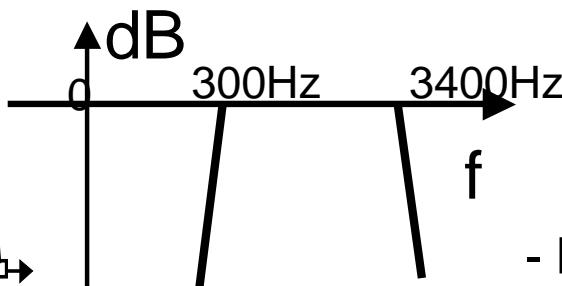
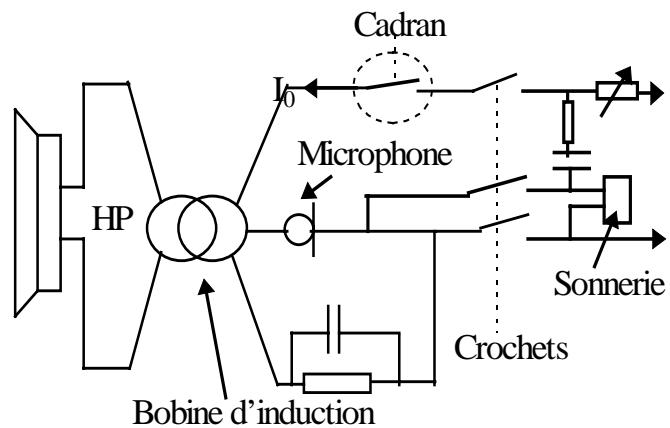


Source Idate

Le Réseau Téléphonique Commuté Public (PSTN)



- Centre de transit principal CTP (5)
- Centre de transit secondaire CTS (70)
- Centre à autonomie d'acheminement CAA (1310)
- Centre local CL (9600)
- Abonné



- Bande passante limitée

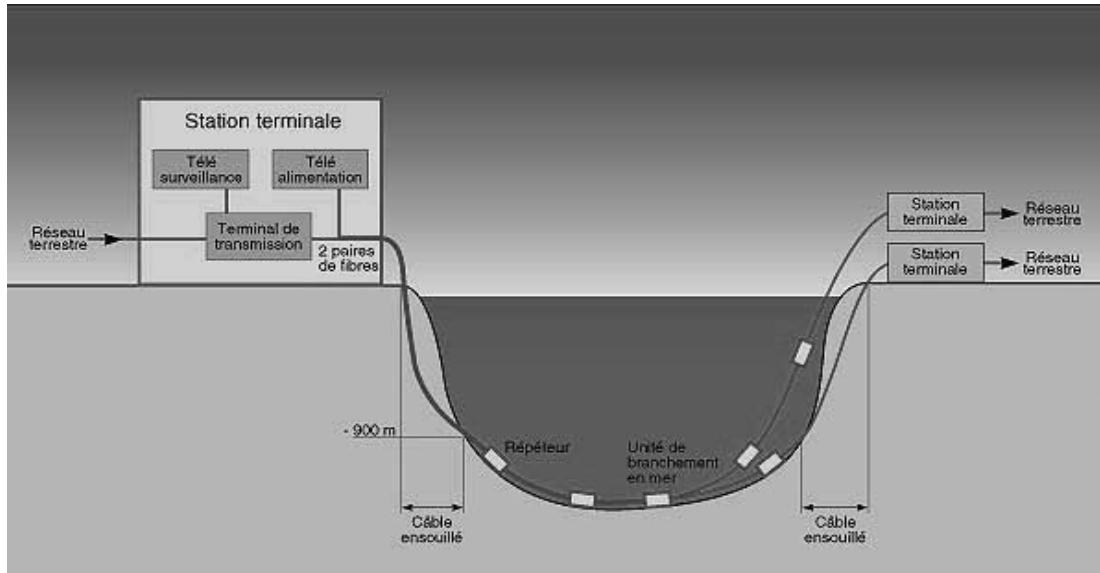
Exemple :

$R_{S/N} = 60 \text{ dB}$ soit 10^3 !!

$C = 61787 \text{ bits/s}$

Transport de la voix

Les câbles sous-marins coaxiaux analogiques (1956-1986)



La fibre optique



Liaison TAT Optique (1995):
500000 Liaisons Téléphoniques

Le satellite

Transmission de la voix en utilisant un satellite géostationnaire (36000km) :

- Telecom 1 (8 canaux TV, 40000 circuits Tél)
- Temps de propagation A/R = 0,25s !

Transmission avec des constellations de satellites à orbites basses

Inconvénient :

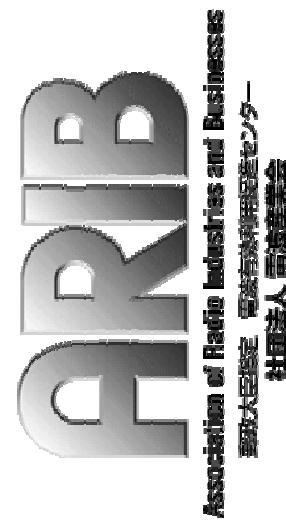
- Qualité de transmission
- Le produit Bande passante x Délai est trop grand





Réseau Numérique à Intégration de Services

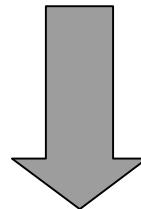
online.org



3 G . I P : OUR MISSION
to promote alignment between
wireless and fixed IP architectures

Introduction

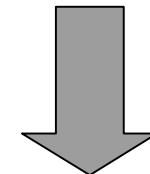
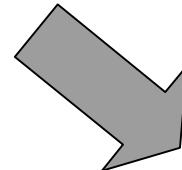
Années 70



2 Réseaux séparés:

- TELEX
- TELEPHONE

- Télématic (modems)
- Liaisons numériques
- Vidéocommunications



- Coûts : Multiplication des coûts
- Efficacité : Nivellement par le bas



Apparition des premiers commutateurs temporels numériques



Possibilité de réaliser un réseau multi-services

Structure Générale

Codage de la parole



- Numérisation des signaux
- $F_e=8\text{kHz}$, 8bits IT=125μs
- Trame MIC (PCM:G.711)
- D=64kbit/s

Codage de l 'image



- Numérisation des signaux
- D=216Mbits/s
- Compression : 140-34Mbits/s

Structure Générale

Contraintes de la transmission numérique

- Affaiblissement du signal**
- Récupération de l 'horloge**
- Transfert d 'énergie**
- Format du signal adapté au canal**
- Surveillance de la qualité de la transmission**
- Possibilité de multiplexage temporel**

Caractéristiques

- RNIS (ISDN) 
- FT : Numéris
- Normalisation à l 'ITU en 1984
- Série I
- <http://www.itu.ch>

- Modèle de Référence 7 couches
OSI (Open System Interconnection), ISO.

Couches
Applications

Téléservices

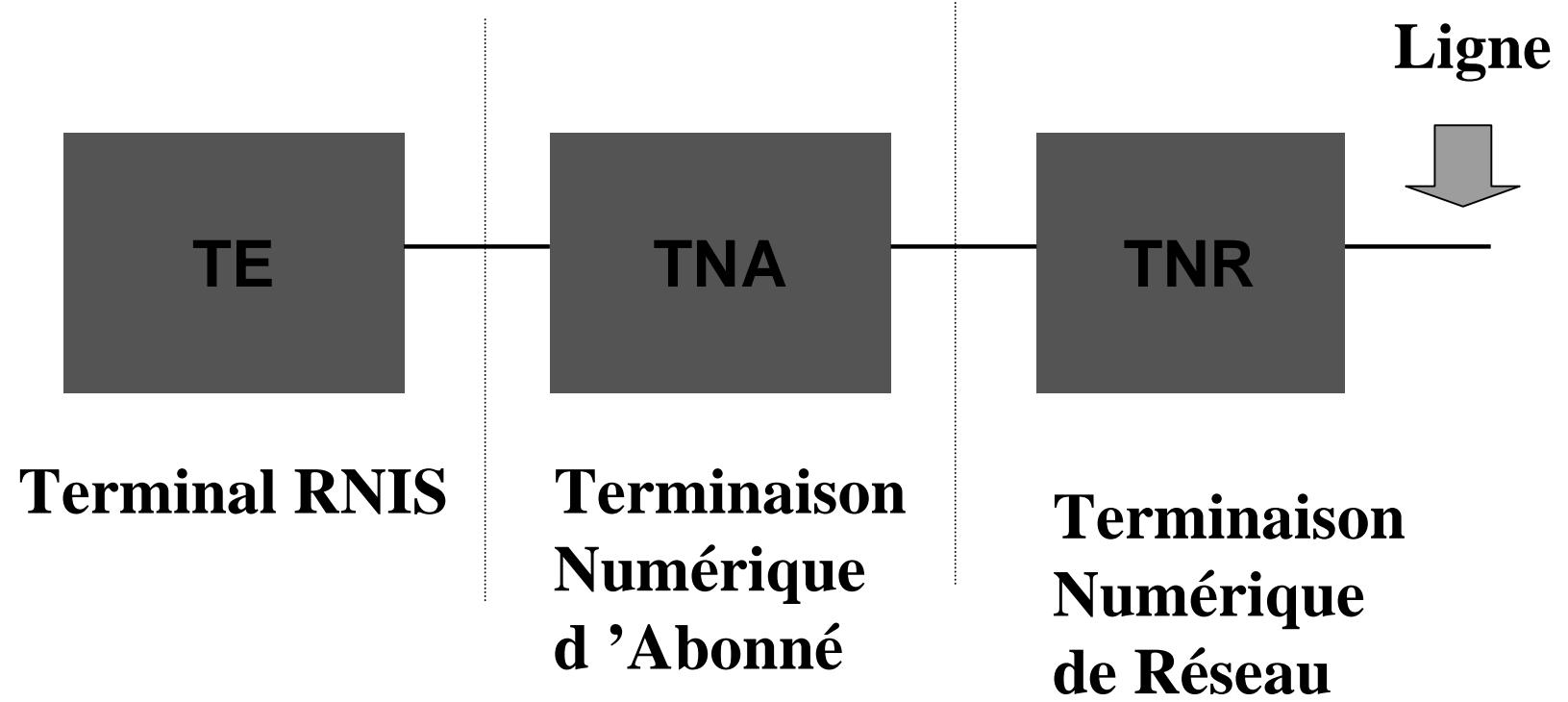
Application
Présentation
Session
Transport

Couches
Réseaux

Service support

Réseaux
Liaison
Physique

Les points de référence



Accès de Base

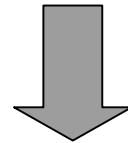
Norme I.430

S0, T0

Du=144kbits/s
Dr=192kbits/s

48 bits / 250μs

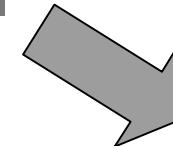
2 canaux de transmission B1, B2



Voix, télex, vidéotex



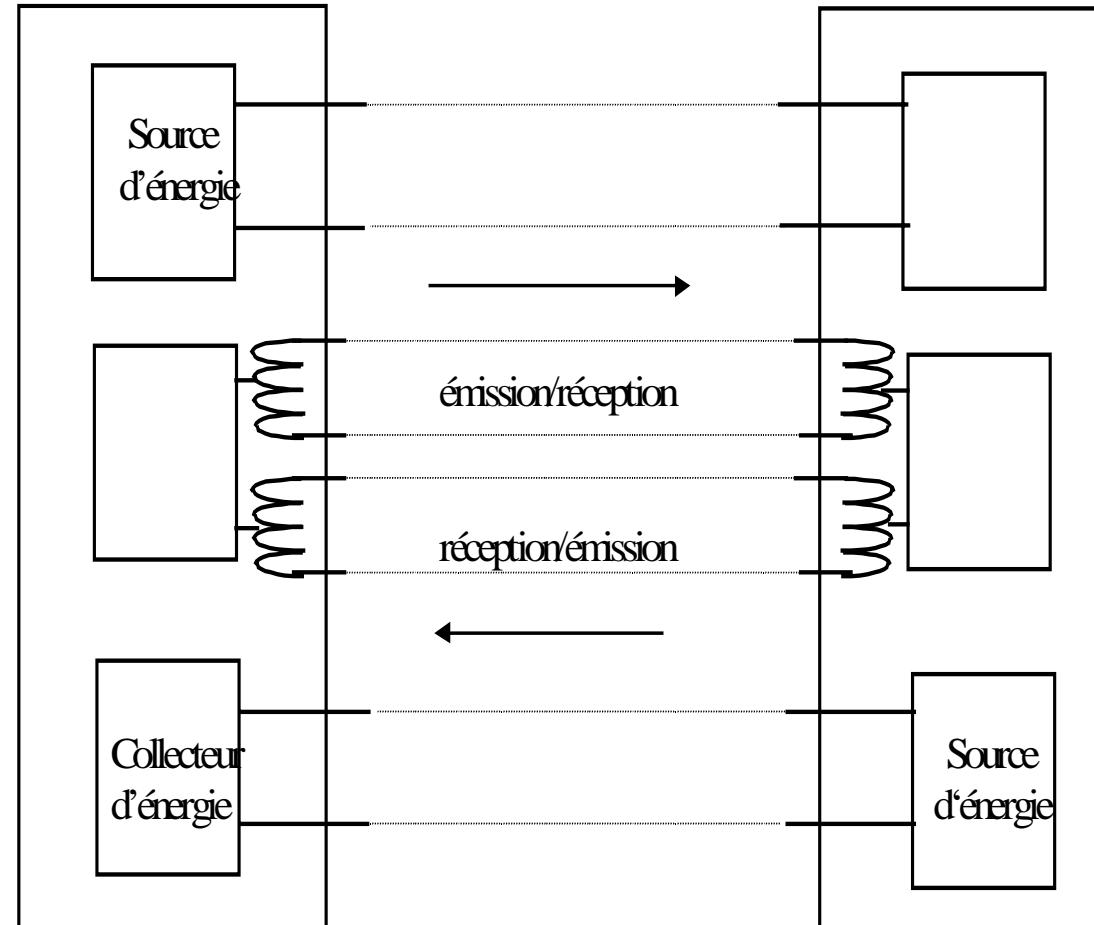
1 canal D



Signalisation

Alimentation

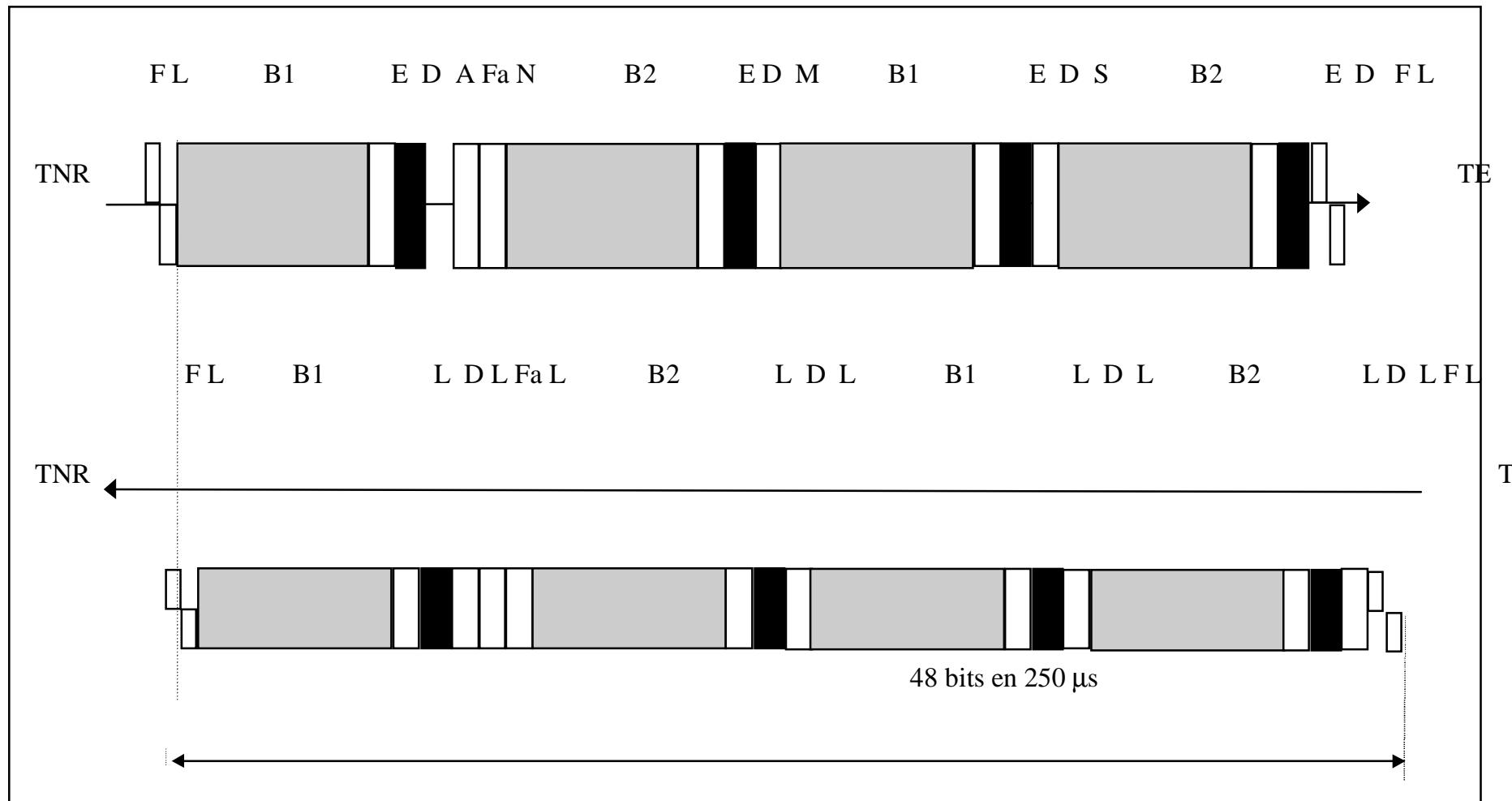
48V<U<56,5V
Alimentation
Fantôme



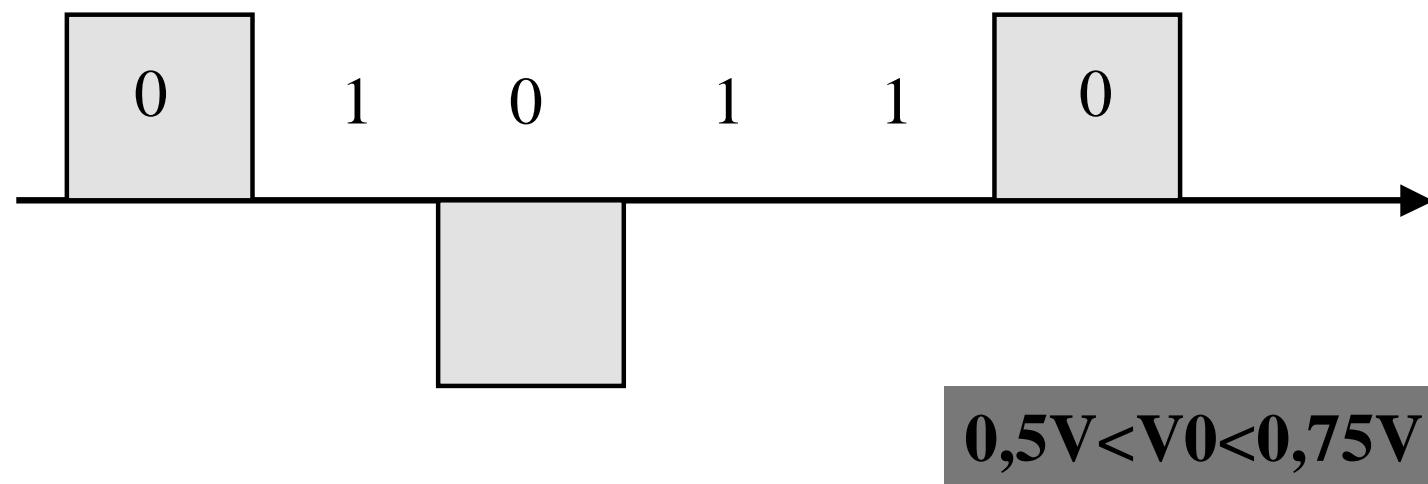
TERMINAL(TE)

TERMINAISON NUMÉRIQUE
DE RÉSEAUX(TNR)

Trame RNIS

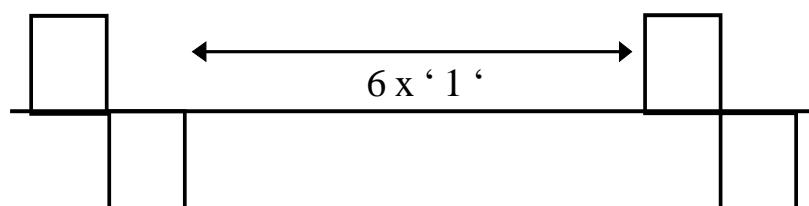


Codage du signal



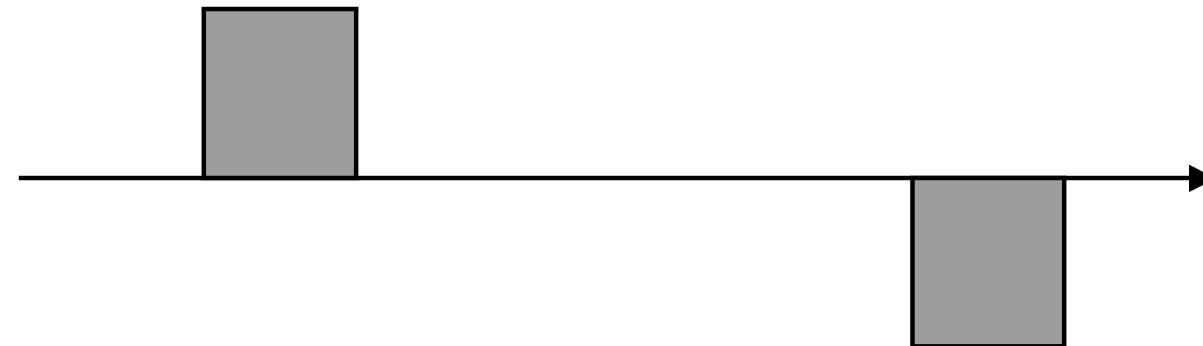
Câble d 'impédance de 50 à 400Ω

Phase d'activation

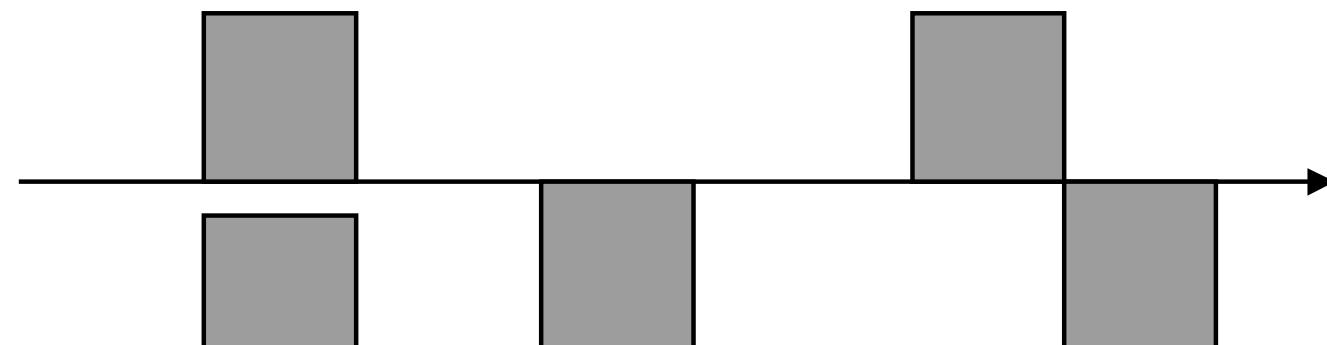
Mnémonique	Définition	Sens
INFO 0	Pas de signal en ligne	TNR ↔ TE
INFO 1	 <p>Timing diagram illustrating INFO 1: Two square pulses separated by a distance labeled $6 \times '1'$.</p>	TE → TNR
INFO 2	Trame normale - tous les canaux sont remis à zéro	TNR → TE
INFO 3	Trame normale - données quelconques dans les canaux	TE → TNR
INFO 4	Trame normale - données quelconques dans les canaux sauf le canal A=1 (bit d'activation)	TNR → TE

Collisions

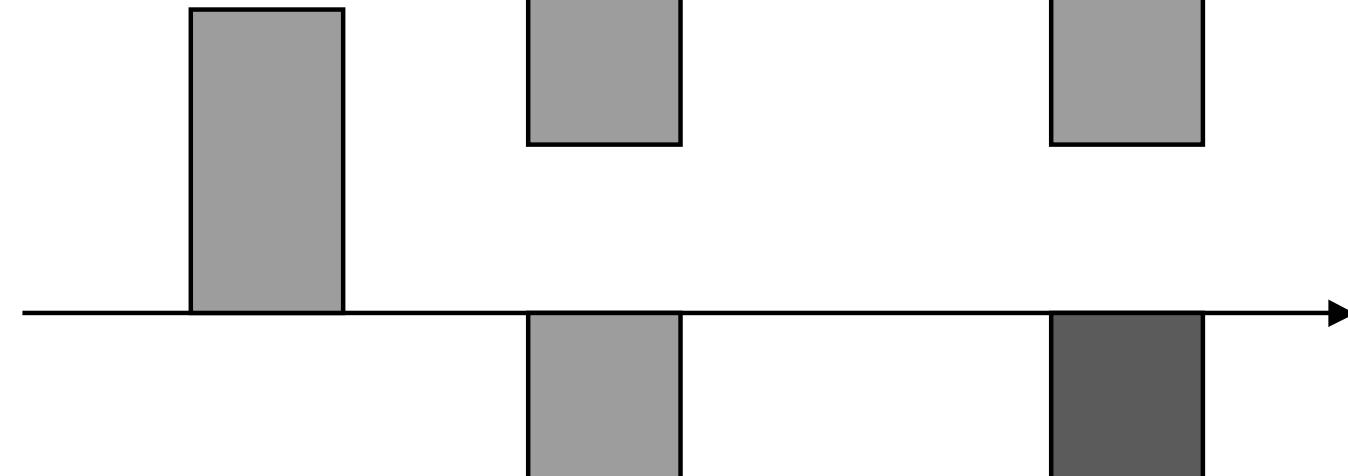
TA



TB

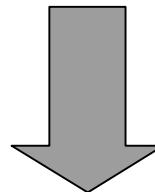


Signal
résultant

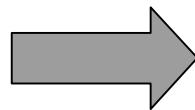


Synchronisation de bit

- Récupération de l 'horloge
- Gigue de phase (+-7%Tb)
- Retard max (8%Tb)
- Retard / TE : **0,0875μs**



Exemple



**Distance entre TE et TNR
 $d=100m$. $\Delta t=?$**

Couche Liaison

I.440/441

Trame HDLC / Protocole LAP-D

Drapeau	Adresse	Commande	Information	Mot de Contrôle	Drapeau
01111110	1 octet	1 octet	n octets	2 octets	01111110

- Détection d 'erreur
- Correction d 'erreur par transmission répétitives
- contrôle de flux
- 2 modes d 'échanges :
 - mode connecté ABM
 - mode non-connecté UI

Détection d 'erreurs

La détection d'erreurs par clé calculée s'applique aux procédures de transmissions de bits. Les données sont regroupées en trames. La clé qui est envoyée au récepteur (FCS) est le reste de la division de la trame par un polynôme générateur :

$$P_g = x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$$

La procédure à suivre est la suivante :

On réalise la somme des octets de la trame sans les fanions, c'est-à-dire Adresse+Commande+Information. On multiplie ce résultat par l'ordre le plus élevé du polynôme (x^{16}) c'est-à-dire $2^{16}=65536$. On réalise maintenant la division de cette nouvelle valeur par le polynôme générateur, c'est-à-dire $2^{16}+2^{12}+2^5+1=69665$.

Le reste R est envoyé dans le FCS.

Calculer la valeur du FCS lorsque :

Adresse = 01_H | Commande = 11_H | Information = 2A F1 50 80 3B 25_H

Champ d'adresse

8	3	2	1
SAPI	C/R	E/A	
	0/1	0	
TEI		E/A	
			1

E/A : bit d'extension du champ d'adresse qui est égal à 0 si il y a un octet supplémentaire qui suit.

C/R : bit distinguant les trames de commande/réponse

SAPI : Identificateur du point d'accès au service

TEI : Identificateur de terminal

Le SAPI est constitué de 6 bits qui permet d'identifier le service fourni par l'entité de liaison à la couche 3.

SAPI	Fonctions
0	contrôle des appels (établissement et fermeture de connexion)
16	transfert de données en mode paquet
32-47	réservé pour un usage réglementé
48-62	extensions futures
63	procédures de gestion (allocation d'identificateur)

Le TEI possède 7 bits. Il doit être unique pour chaque terminal et son affectation peut être manuelle ou automatique.

TEI	Signification
0	Identificateur d'un équipement terminal point-à-point
1-63	Allocation manuelle des TE
64-126	Allocations automatiques des TE (la TNR vérifie l'unicité)
127	diffusion à l'ensemble des TE

Le mode de fonctionnement à trames multiples est similaire, dans son principe, à celui du LAP-B (X25).

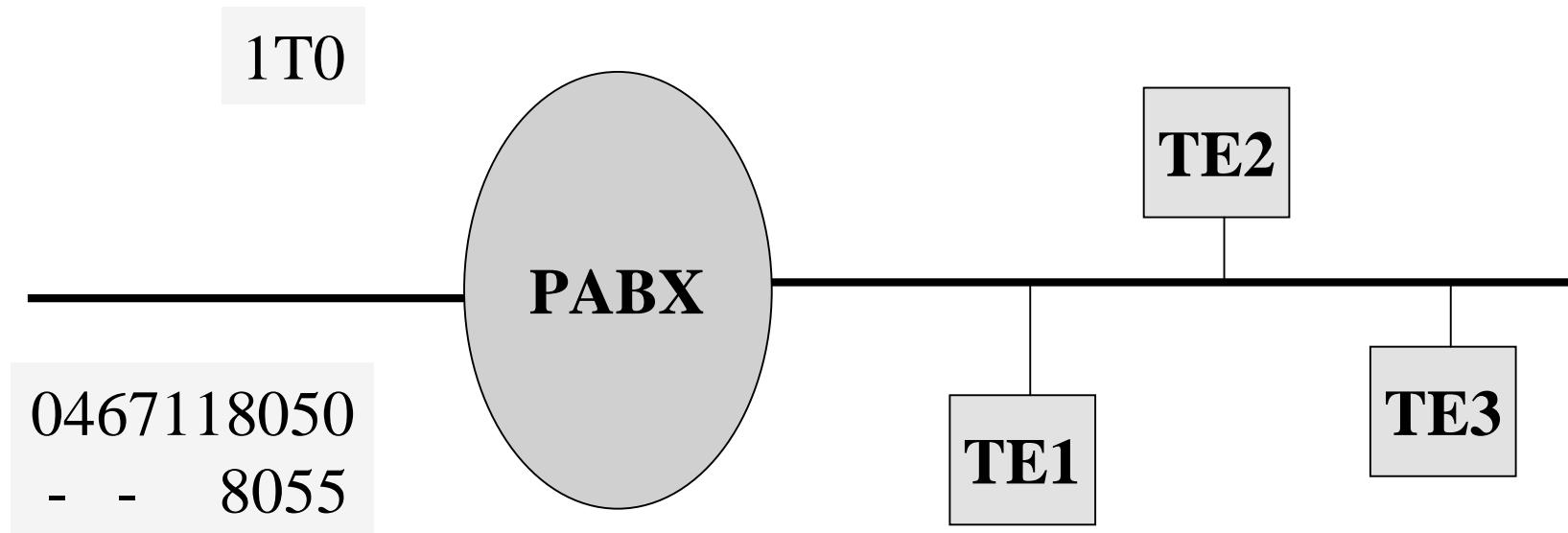
Application	Format	Commandes	Réponses	Codage							
				1	2	3	4	5	6	7	8
Transfert d'information à trames multiples avec accusé de réception et sans accusé de réception	Information	I								N(S)	0
										N(R)	P
	Supervision	RR (prêt à recevoir)	RR	0	0	0	0	0	0	0	1
		RNR (non-prêt à recevoir)	RNR	0	0	0	0	0	0	0	1
		REJ (rejet)	REJ	0	0	0	0	0	0	0	1
	Non numéroté	SABME (mettre en mode asyn. équilibré étendu)		0	1	1	P	1	1	1	1
			DM (mode déconnexion)	0	0	0	F	1	1	1	1
		UI (informations non numérotées)		0	0	0	P	1	1	1	1
		DISC (deconnexion)		0	1	0	P	1	1	1	1
			UA (accusé de réception)	0	1	1	F	0	0	1	1
			FRMR (rejet de trame)	1	0	0	F	0	1	1	1
		XID (échange d'identificateur)	XID	1	0	1	P/F	1	1	1	1

Exemple de trame

12/03/97 10:57:15:33 R:INFO 0 U:INFO 1
12/03/97 10:57:15:33 R:INFO 2 U:INFO 1
12/03/97 10:57:15:33 R:INFO 2 U:INFO 3
12/03/97 10:57:15:34 R:INFO 4 U:INFO 3
U: 12/03/97 10:57:15:36 00 076 0 SABME 1
R: 12/03/97 10:57:15:39 00 076 0 UA 1
U: 12/03/97 10:57:15:41 00 076 0 I 0 000 000 08 01 36 0 ETABLISSEM
Mode fonct support 02 88 90
Inf numerique sans restriction
Identif. canal 01 83
n'importe quel canal
Numero d'origine 05 00 80 31 31 38
118
Num,ro destination 04 80 31 32 30
120
R: 12/03/97 10:57:15:44 00 076 0 RR 0 ... 001
U: 12/03/97 10:57:15:46 00 076 0 I 0 001 000 08 01 37 0 ETABLISSEM

Applications

Sélection Directe à l'Arrivée (SDA)



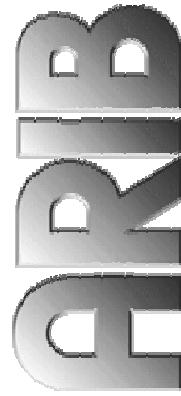
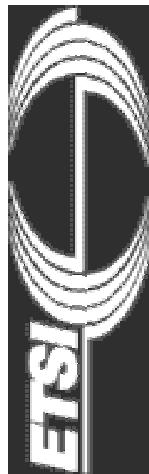


A GLOBAL INITIATIVE



Interconnexion de Réseau UX et Qualité de Service

online.org



Association of Radio Industries and Businesses
電波大田連定 電波産業連合会
社団法人 電波連合会



3 G . I P : OUR MISSION
*to promote alignment between
wireless and fixed IP architectures*

Interconnexion de réseaux

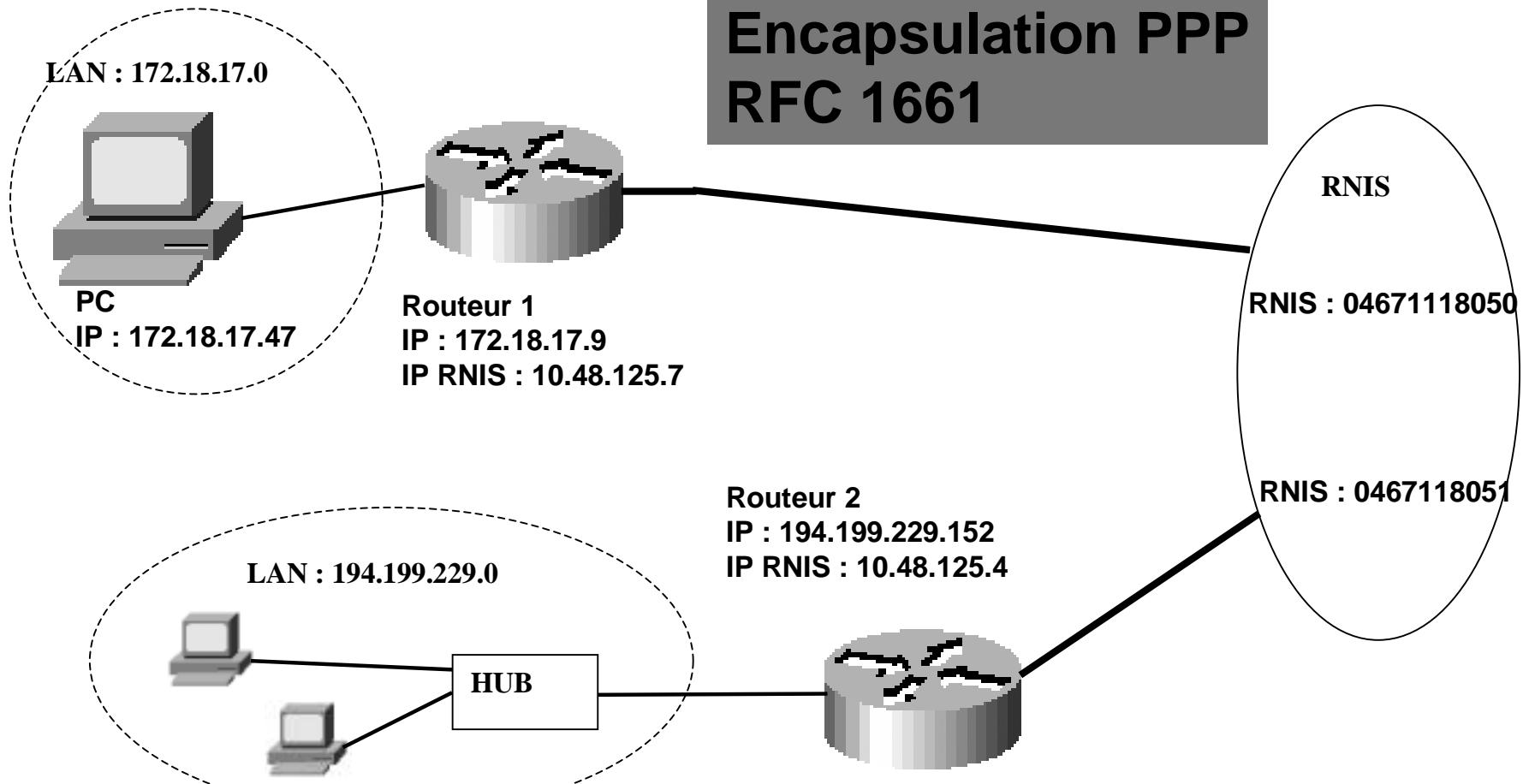


Table de routage

- Utilisée par un routeur ou un hôte
- Un ensemble d'entrées
 - routage par défaut
 - entrées normales
- Pour chaque entrée normale
(Destination finale, prochain destinataire (, info))
- Exemple

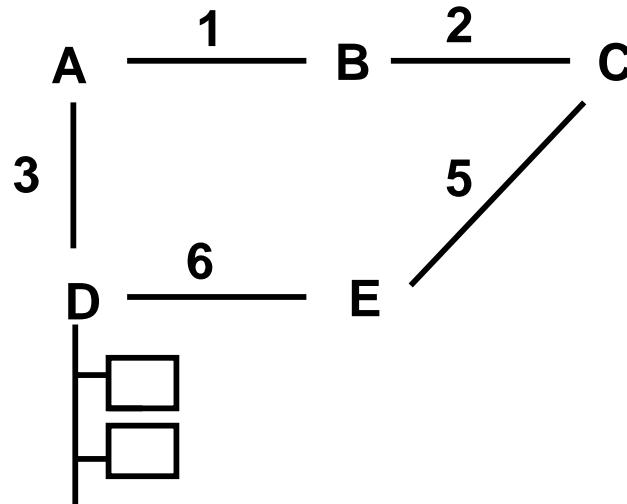


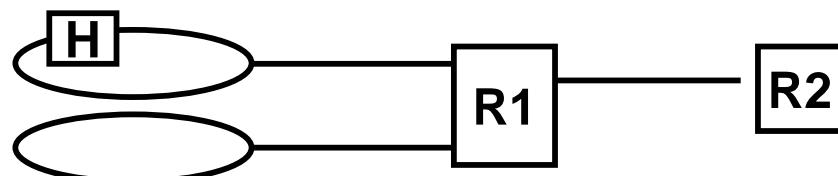
Table de routage de D

de D à	Liaison	Coût
D	loc	0
A	3	1
E	6	1
C	6	2
B	3	2

Adressage IP et routage

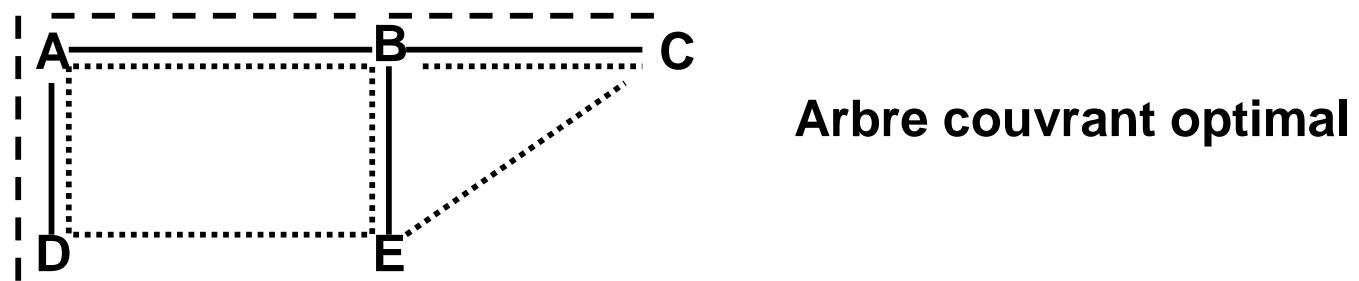
- Chaque réseau a une adresse IP unique ex. 194.199.229.0
- Chaque machine a une adresse réseau qui est le préfixe de sa propre adresse IP ex. 194.229.199.34
- Table de routage
 - Chaque entrée:
(Destination finale, action de routage)
- Différents codage de destination

Destination	Action
– (réseau, 0)	envoyer au prochain routeur rx
– (ce réseau, sous-réseau, 0)	mettre sur l'interface i
– (ce réseau, sous-réseau, hôte)	remettre au logiciel x
– (0)	routage par défaut : r



Les protocoles de routage

- Propriétés
 - Correction
 - Simplicité -> ressources mises en œuvre
 - Robustesse -> absorber chang.topologie et traffic sans rebooter
 - Stabilité -> convergence en un temps raisonnable
 - Equité -> partager l'accès à la bande passante
 - Optimalité -> dépend des métriques
- Optimalité
 - > découvrir et utiliser les "sink trees" pour tous les routeurs
 - sink tree= ens de routes optimales jusqu'à un destinataire
 - Différents critères d'optimalité



- set system **aaaaa**
- set multideestination on
- cd LAN
- set ip address **xxx.xxx.xxx.xxx**
- set ip netmask **nnn.nnn.nnn.nnn**
- set ip routing on
- set ip rip update periodic
- set user **bbbbbb**
- set ip address **yyy.yyy.yyy.yyy**
- set ip netmask **nnn.nnn.nnn.nnn**
- set ip routing on
- set ip rip update demand
- set ip route destination **zzz.zzz.zzz.0/0** gateway **www.www.www.www** prop on
- set 1 number **ccc**
- set 2 number **ddd**
- set timeout 360
- set active
- cd
- reboot

aaaaa et **bbbbbb** sont les noms respectifs des deux routeurs connectés par RNIS. L'adresse **xxx.xxx.xxx.xxx** correspond à la partie locale du réseau (connexion en bleu). L'adresse **yyy.yyy.yyy.yyy** correspond à la partie RNIS du réseau (connexion en orange). La table de routage fait correspondre l'adresse LAN **zzz.zzz.zzz.0** à la passerelle (routeur) **www.www.www**. Les numéros **ccc** et **ddd** correspondent aux numéros RNIS que le système **aaaaa** doit composer pour atteindre **bbbbbb**.

QoS sur réseau IP

Internet avec IP fonctionne sur le principe du « Best Effort »

Best Effort

TCP/IP

- Web
- Email, etc..

Qos

RTCP/TCP/IP

- Voix, Images (Téléphonie)
- Temps-réel (commande)

X . Digital Subscriber Line

- Voix (3,3kHz) + Données (1,54 à 25,92 Mbits/sec)
- ADSL : Asymmetric DSL ANSI T1.413
- Voie montante 16kbits/sec à 800 kbits/sec
- Voie descendante 1,5 à 7,9Mbits/sec
- Spectre divisé en 3 régions :
 - 1) Téléphone (300-3400Hz)
 - 2) canaux montants (~30*4kHz, 8bits/Hz)
 - 3) Canaux descendants (256*4kHz, 8bits/Hz)

Modulation DMT : Discrete Multitone

Protocole utilisé : IP/PPP/ATM/ADSL

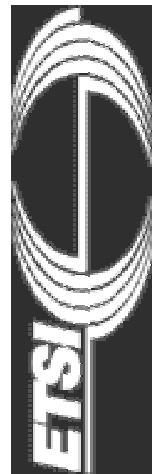


A GLOBAL INITIATIVE



Téléphonie Mobile GSM, GPRS, UMTS

online.org



3G.IIP: OUR MISSION
to promote alignment between
wireless and fixed IP architectures

Systèmes radio-mobiles et concepts cellulaires

- ✓ **Stations mobiles et stations de base radio**
(accès au réseau téléphonique, puissance , BS, cellule, réutilisation des fréquences, MS)
- ✓ **Interface Radio**
 - mobilité
 - médium de transmission :
 - commun à tous les utilisateurs
 - perturbé par des interférences
 - non-confidentiel
 - fréquences radio limitées
 - mise en oeuvre de techniques de modulation, de codage, d'accès multiple, etc...
 - spécification des bandes utilisées, débits binaires, puissances émises, procédure d'accès et de transmission

Systèmes radio-mobiles et concepts cellulaires

- ✓ **Itinérance et handover**
 - pourvoir appeler et être appelé (**itinérance ou roaming**)
 - transfert inter-cellulaire
- ✓ **Systèmes cellulaires et systèmes « sans cordon »**
 - téléphonie cellulaire assure l'itinérance et le handover
 - **systèmes « sans cordon » :**
 - portée de 100 à 200 mètres
 - zone et borne / cellule et station de base
 - Bi-Bop : pas d'appel entrant, pas de changement de borne pendant la communication
 - DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications)
- ✓ **Déploiement cellulaire**
 - zone urbaine dense : micro-cellules (~100 mètres de rayon)
 - zone rurale : macro-cellules (jusqu'à 30km de rayon)

Historique de la norme GSM

- 
- 1979 **Conférence administrative mondiale des Radiocommunications alloue une plage de fréquences voisine de 900 MHz aux radiocommunications mobiles**
- 1982 **Projet MARATHON (CNET)**
La Conférence Européenne des Postes et Télécommunications (CEPT) définit les sous-bandes 890-915 MHz (sens montant) et 935-960 MHz (sens descendant)
Création du Groupe Spécial Mobile (GSM) par la CEPT.
- 1984-
86 **Coopération franco-allemande**
Développement de prototypes du Sous-Système Radio

Historique de la norme GSM

- 
- 1985 **Appui de la Commission des Communautés Européennes**
 - 1987 **La réunion du GSM à Bruxelles entérine les choix techniques
Protocole d'accord (MOU) pour l'ouverture du GSM en 1991
dans treize pays européens.**
 - 1988 **Appel d'offres pour la réalisation de réseaux pilotes
En France, deux consortiums sont choisis (Matra-Ericsson et
Alcatel-Aeg-Nokia)**
 - 1990 **Le GSM rejoint l'ETSI (European Telecommunications
Standards Institute) et débute le travail de normalisation
décomposé en plusieurs phases.**

Historique de la norme GSM

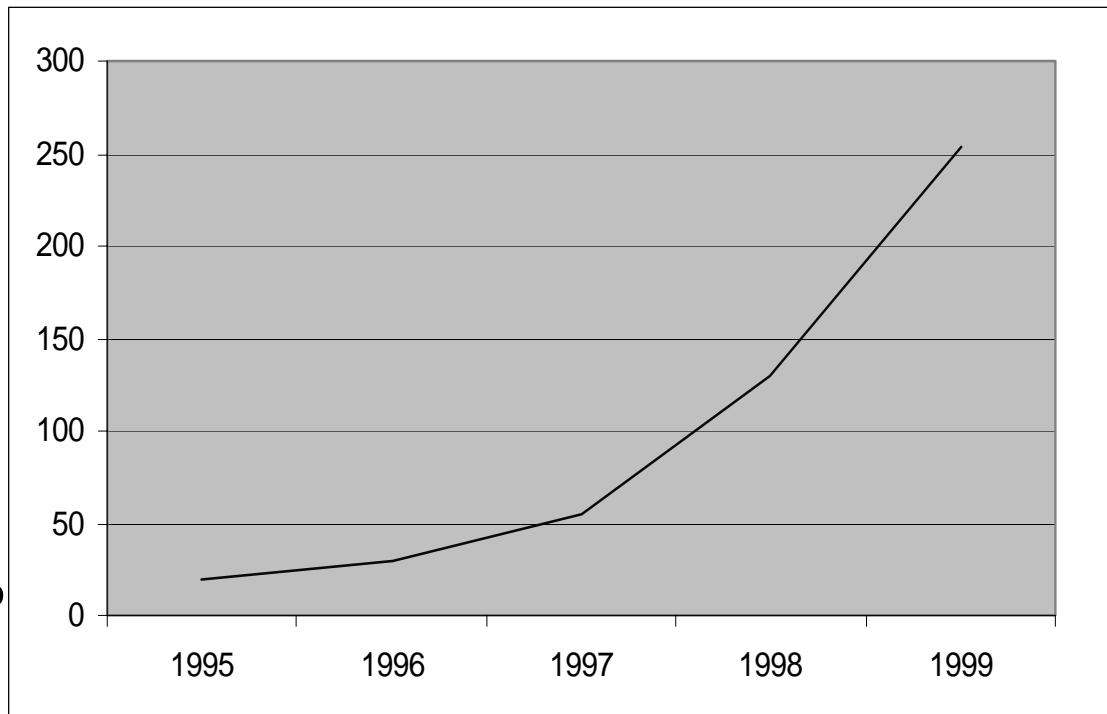
- 
- 1991** Première communications entre un abonné du réseau téléphonique et un terminal GSM de laboratoire est effectué (juillet).
Adaptation des spécifications GSM pour développer des systèmes dans la bande des 1800 MHz (DCS 1800) plus ciblés pour des environnements urbains.
 - 1992** Ouverture commerciale officielle des deux opérateurs français (France Telecom et SFR) dans la bande des 900 MHz.
Ouverture dans toute l'Europe de réseaux GSM qui devient Global System for Mobile communications.
 - 1995** Phase 2 des recommandations GSM : unification du GSM et du DCS 1800.

Norme GSM dans le monde

1997 MOU GSM regroupe 239 membres dans 109 pays différents.

(Afrique, Australie, Chine, Inde, Asie...)

Mars 2000 350 réseaux opérationnels avec plus de 300 Millions d'abonnés (70% de taux de pénétration des mobiles pour la Finlande)

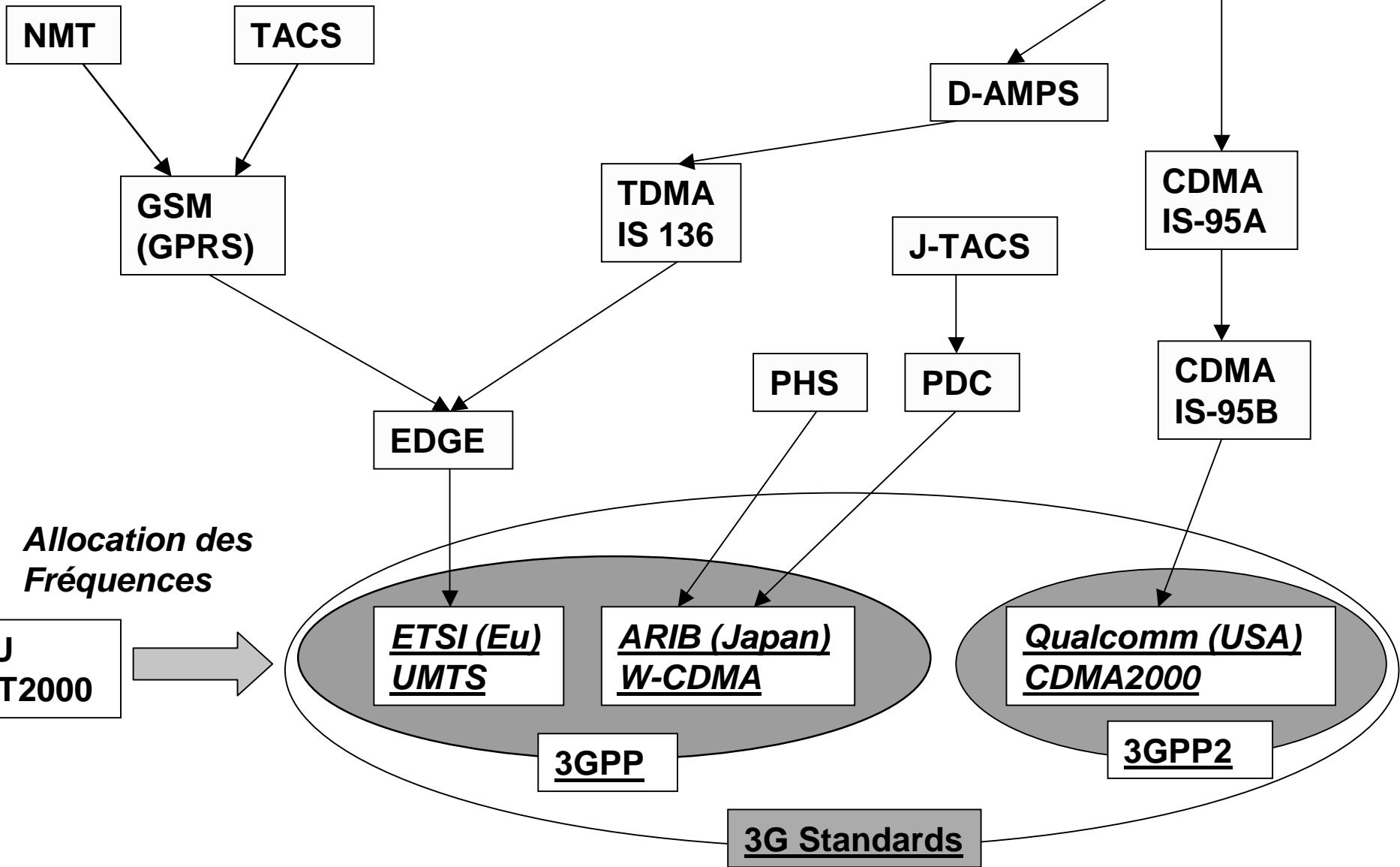


Evolution du nombre d'abonnés GSM dans le monde (en millions)

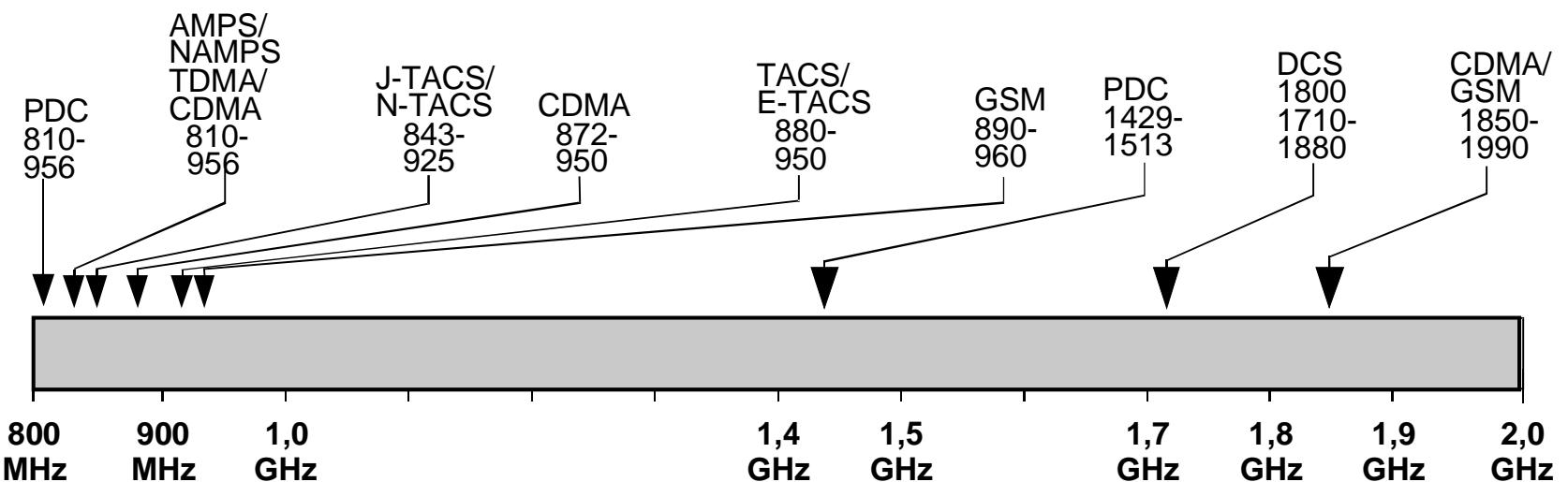
Octobre 2001

En France, le nombre de mobiles dépasse le nombre de téléphones fixes (environ 25 millions)

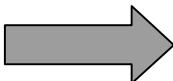
Normes existantes de téléphonie mobile



Allocation des Fréquences



MBS



30 GHz ?

Public Land Mobile Network (PLMN)

Réseau d'accès au réseau téléphonique public

- ✓ Handover, itinérance impliquent des équipements particuliers
 - naissance d'un réseau particulier le PLMN
- ✓ PLMN = système assurant un accès radio au RTCP.
- ✓ PLMN composé de deux parties :
 - sous-système radio (BSS Base Station Sub-System) qui assure les transmission radioélectriques et gère la ressource radio.
 - sous-système réseau (NSS Network Sub-System) qui comprend l'ensemble des fonctions nécessaires aux appels et à la mobilité.

Signalisation importante

- ✓ Routage, adressage, localisation, base de données...
 - signalisation échangée gratuite, indépendante des appels

Principales caractéristiques GSM

Approche Réseau

- ✓ Diversité de Services : voix, données, fax, messagerie, SMS...
- ✓ Architecture matérielle d'un PLMN spécifiée complètement

Interface Radio élaborée

	GSM	DCS
Bande de fréquence	890-915 MHz 935-960 MHz	1710-1785 MHz 1805-1880 MHz
Nombre d'intervalles de temps par trame TDMA		8
Ecart Duplex	45 MHz	95 MHz
Rapidité de modulation		271 kbit/s
Débit de la parole		13 kbit/s (5,6 kbit/s)
Débit maximal des données		12 kbit/s
Accès multiple	Multiplexage fréquentiel et temporel	
Rayon des cellules	0,3 à 30 km	0,1 à 4 km
Puissances des terminaux	2 W (8 W)	1 W

Principales caractéristiques GSM

GSM 900 et DCS 1800

- ✓ Inter-opérabilité totale entre GSM 900 et DCS 1800 n'introduit aucun nouveau problème au niveau technique
- ✓ Atténuation en f^{-2} → densité plus importante de stations de base pour le DCS 1800

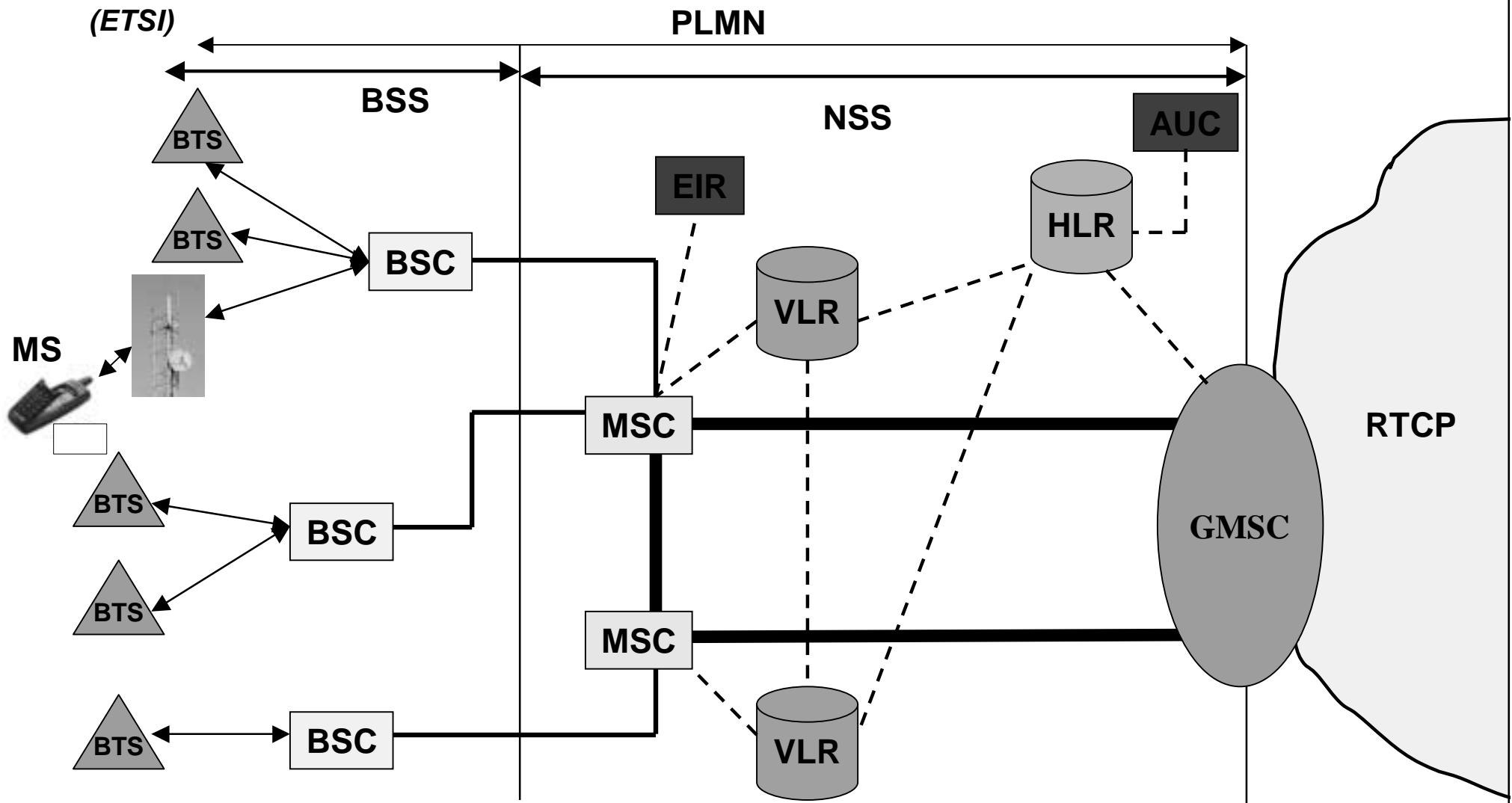
Interface Radio élaborée

- ✓ Spécification d'ensemble (BSS et NSS)
- ✓ Interconnexion des différents réseaux GSM d'Europe et d'Afrique du Nord

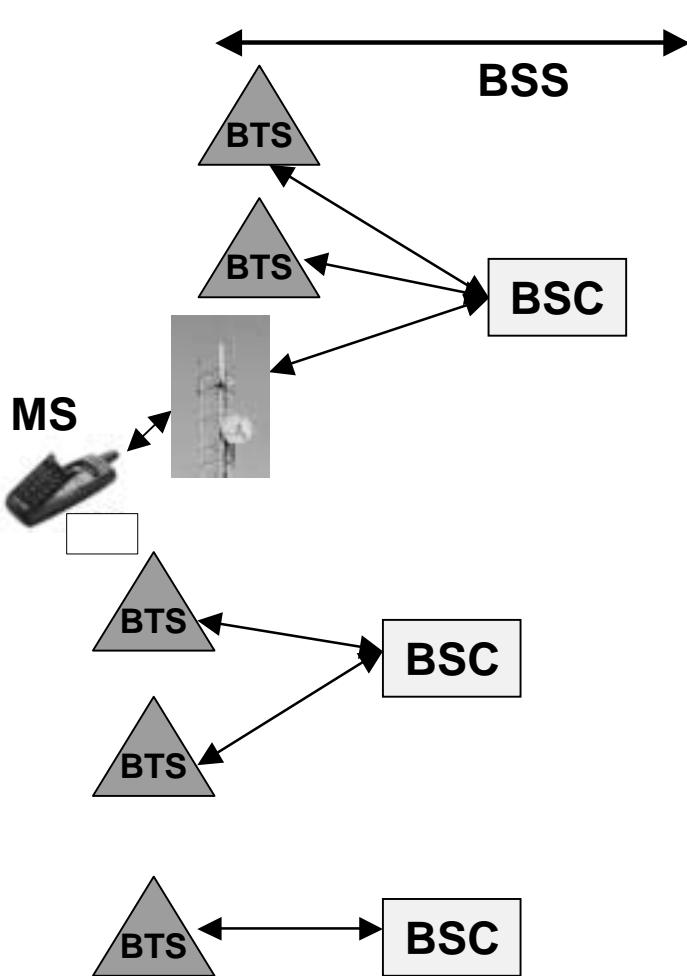
**Recommandations GSM en pleine évolution : nouveaux services en cours de spécifications
→ évolution vers le GPRS puis l'UMTS**

Architecture GSM

(Global System for Mobile communications)



Architecture GSM



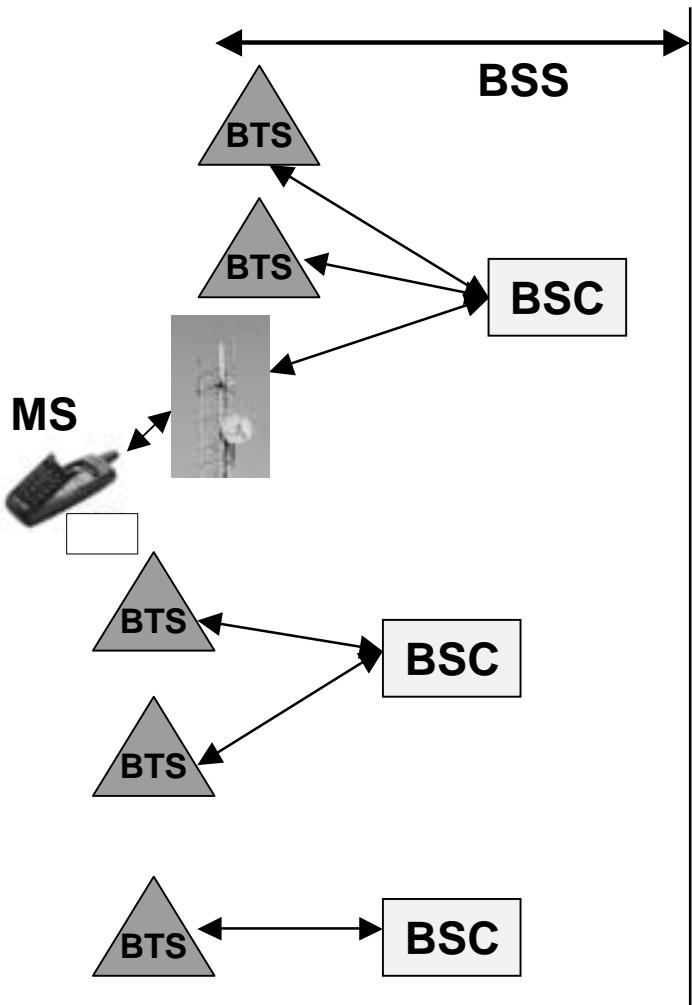
MS (Mobile Station)

- équipement terminal muni d'une carte SIM
- identité de chaque MS : numéro IMEI
- classes de puissance des MS

	GSM 900	DCS 1800
Numéro de classe	Puissance Maximale (W)	Puissance Maximale (W)
1	-	1
2	8	0,25
3	5	4
4	2	
5	0,8	

- sensibilité des terminaux : -102 dBm

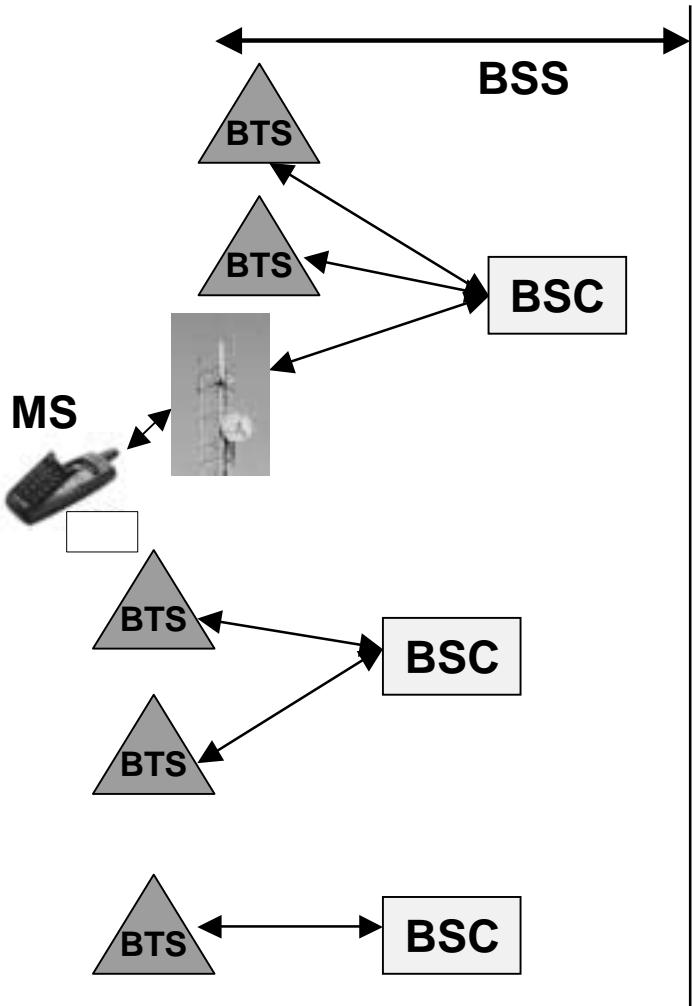
Architecture GSM



BTS (Base Transceiver Station)

- ensemble d'émetteurs-récepteurs (TRX)
- à la charge de la transmission radio (modulation, démodulation, égalisation, codage correcteur d'erreur)
- gère toute la couche physique : multiplexage TDMA, chiffrement, saut de fréquence...
- réalise l'ensemble des mesures radio nécessaires pour vérifier qu'une communication se déroule normalement.
- gère la couche liaison de données pour l'échange de signalisation entre les mobiles et l'infrastructure.

Architecture GSM

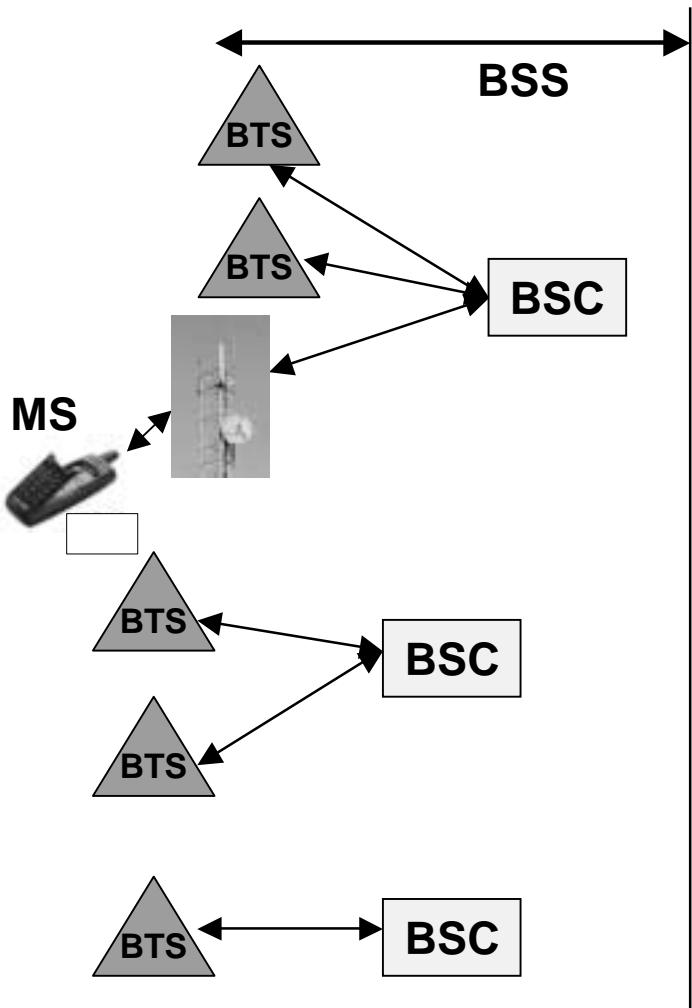


BTS (Base Transceiver Station)

- capacité maximale : 16 porteuses (~100 communications simultanées)
- classes de puissance des BTS

Numéro de classe	GSM 900	DCS 1800
	Puissance Maximale (W)	Puissance Maximale (W)
1	320	20
2	160	10
3	80	5
4	40	2,5
5	20	
6	10	
7	5	
8	2,5	

Architecture GSM



BSC (Base Station Controller)

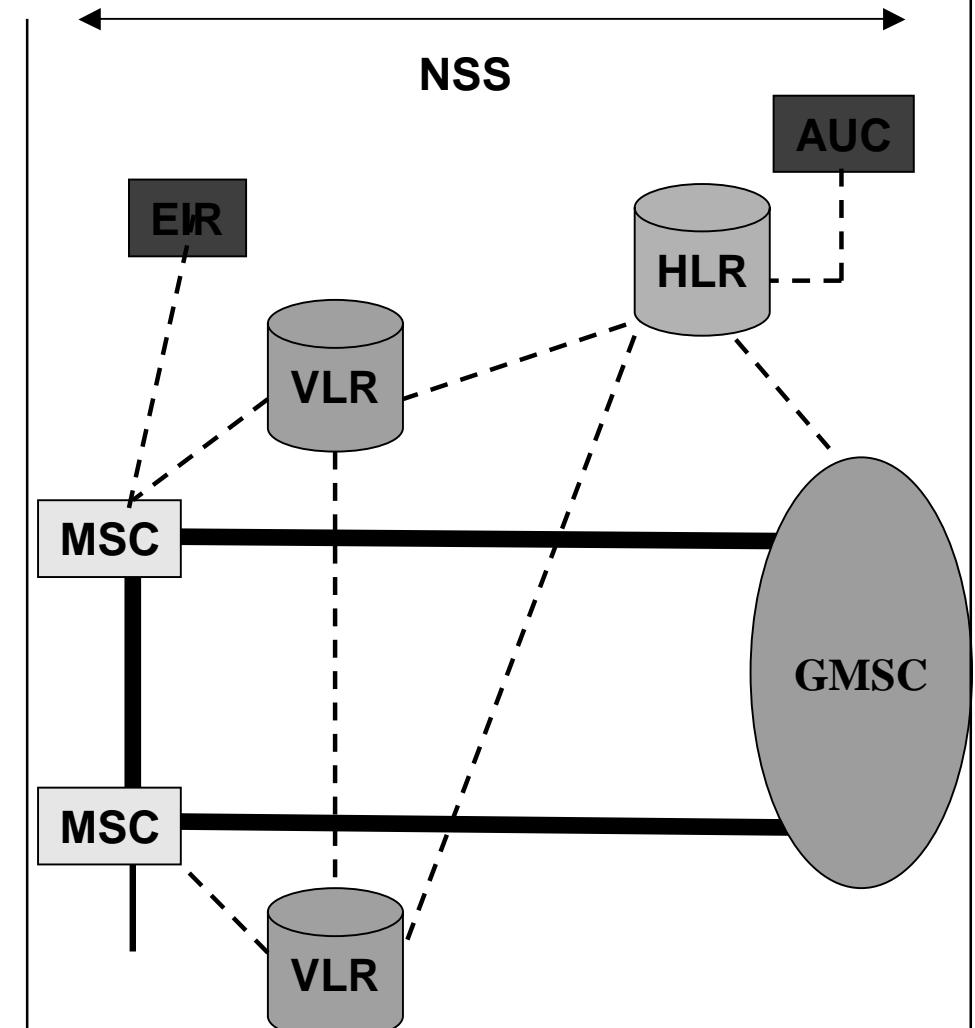
- organe ‘intelligent’ du BSS : gère la ressource radio
- commande l’allocation des canaux
- utilise les mesures effectuées par la BTS pour contrôler les puissances d’émission du mobile et/ou de la BTS
- prend la décision de l’exécution d’un handover.
- la BSC contrôle plusieurs BTS
- liaison BTS-BSC similaire au RNIS

→ Paris intra-muros 150 BTS et 12 BSC

Architecture GSM

MSC (Mobile-services Switching Center)

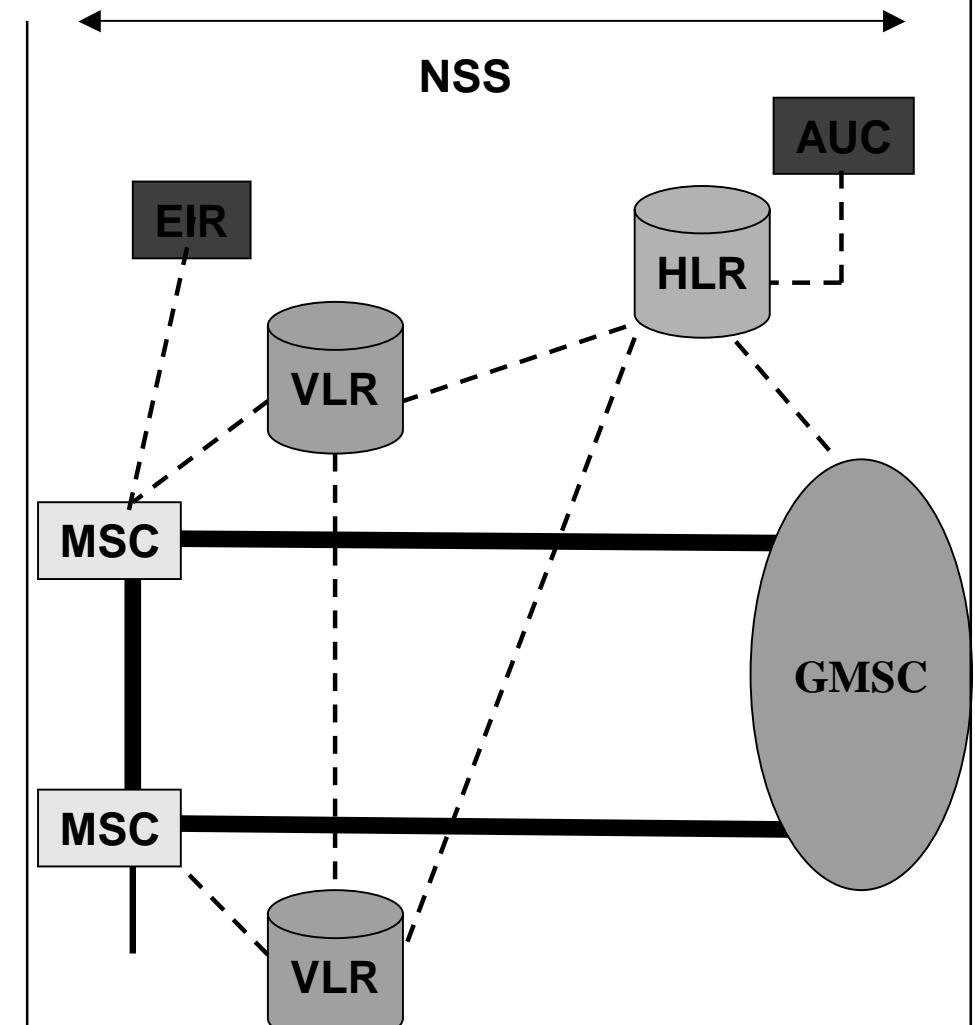
- centre de commutation des mobiles
- gère l'établissement des communications entre un mobile et un autre MSC
- transmission des messages courts
- exécution du handover
- dialogue avec le VLR pour gérer la mobilité des usagers
- sert de passerelle active lors d'appels d'abonné fixe vers un mobile (Gateway MSC)



Architecture GSM

VLR (Visitor Location Register)

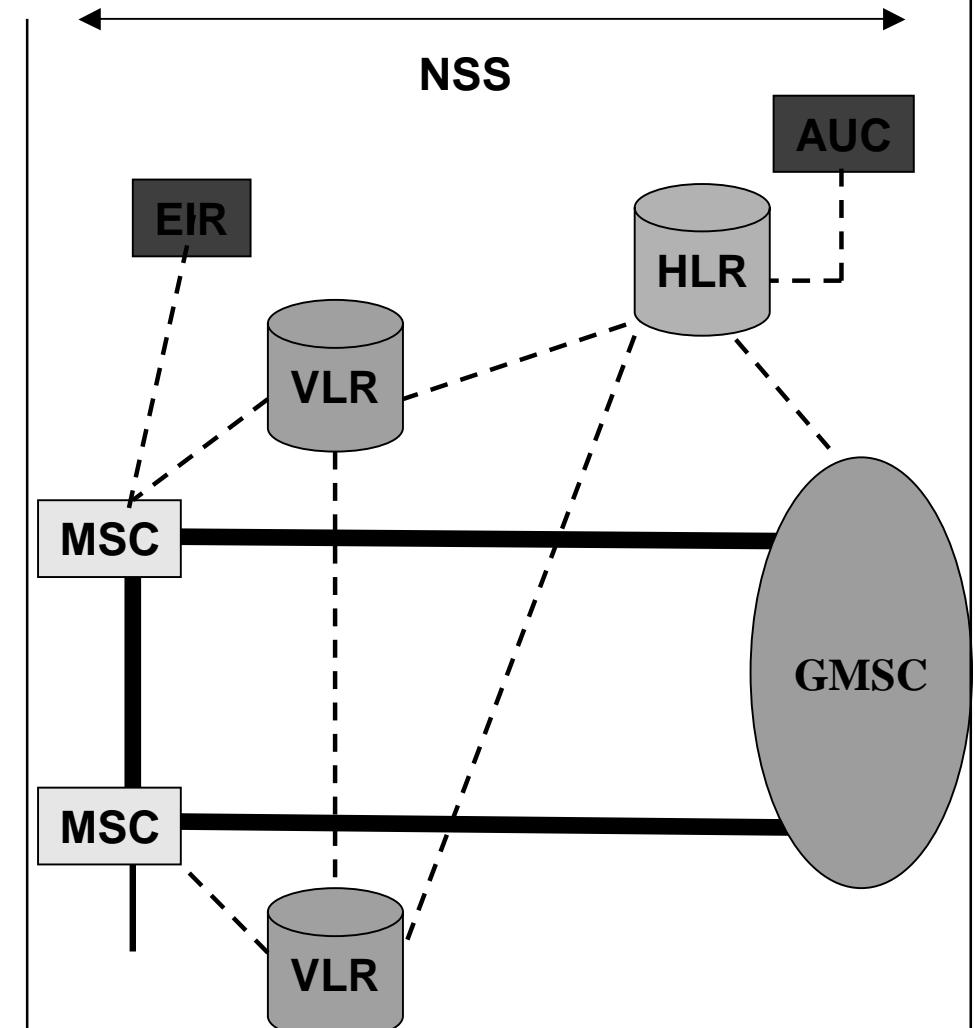
- enregistreur de localisation d'accueil
- base de données qui mémorise les données d'abonnement des abonnés présents dans une zone
- même données que dans le HLR mais concerne seulement les abonnés mobiles présents dans la zone considérée (seule donnée supplémentaire l'identité temporaire TMSI)
- séparation matérielle entre MSC et VLR rarement respectée



Architecture GSM

HLR (Home Location Register)

- enregistreur de localisation nominal
- base de données qui gère les abonnés d'un PLMN donné
- mémorise les caractéristiques :
identité nationale de l'abonné IMSI
numéro d'annuaire MSISDN
profil de l'abonnement
- base de données de localisation :
mémorise pour chaque abonné le numéro de VLR où il est enregistré



Architecture GSM

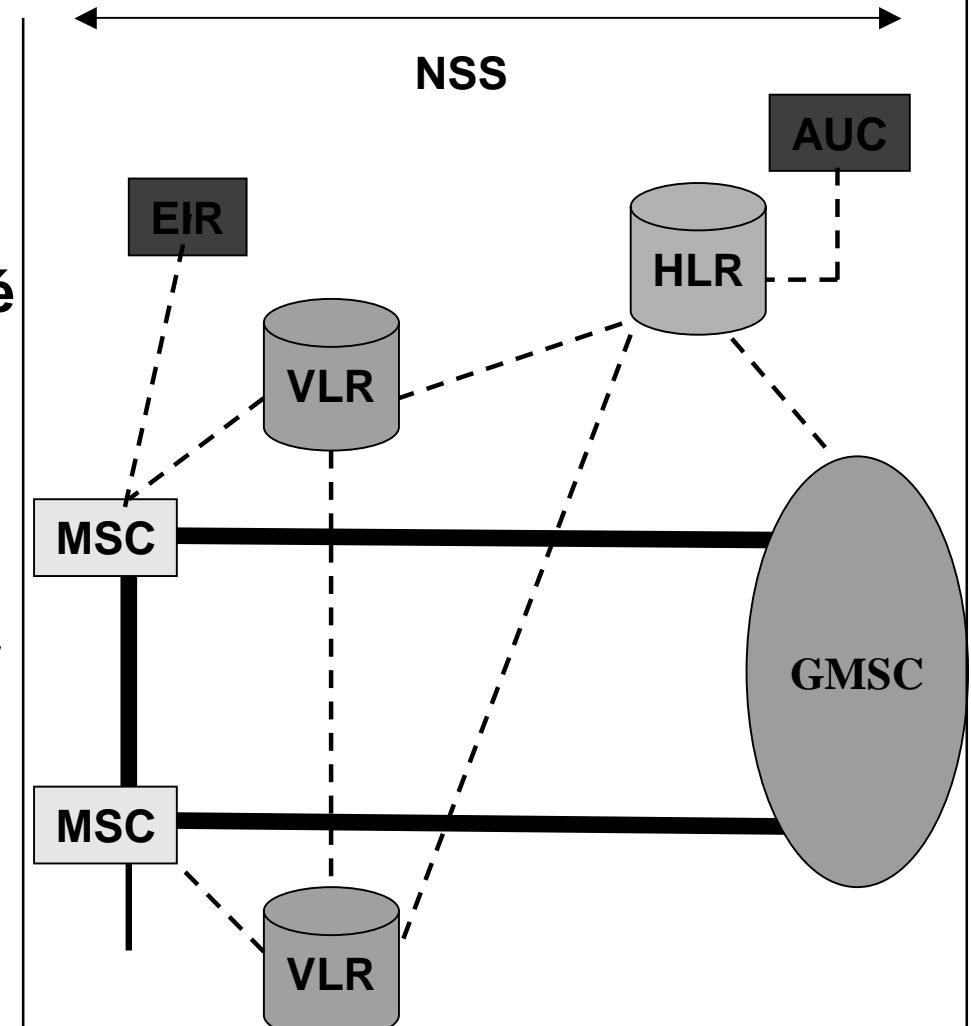
EIR (Equipment Identity Register)

- base de données annexe contenant les identités des terminaux IMEI
- peut refuser l'accès au réseau parce que le terminal n'est pas homologué ou qu'il a fait l'objet d'une déclaration de vol

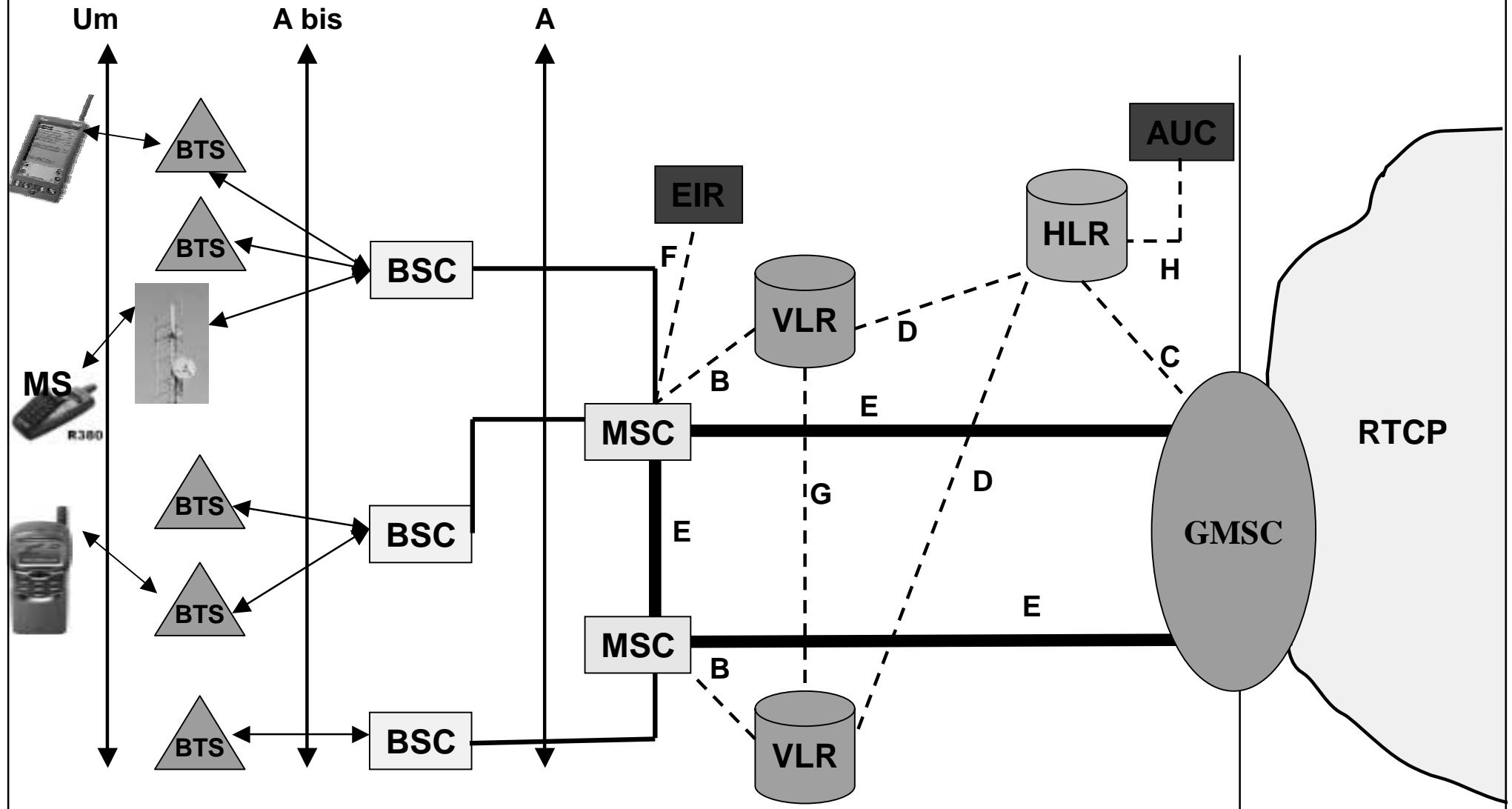
AUC (Authentification Center)

- mémorise pour chaque abonné une clé secrète utilisée pour authentifier les demandes de services et pour chiffrer les communications

→ Souvent considérés dans le sous-système d'exploitation et de maintenance



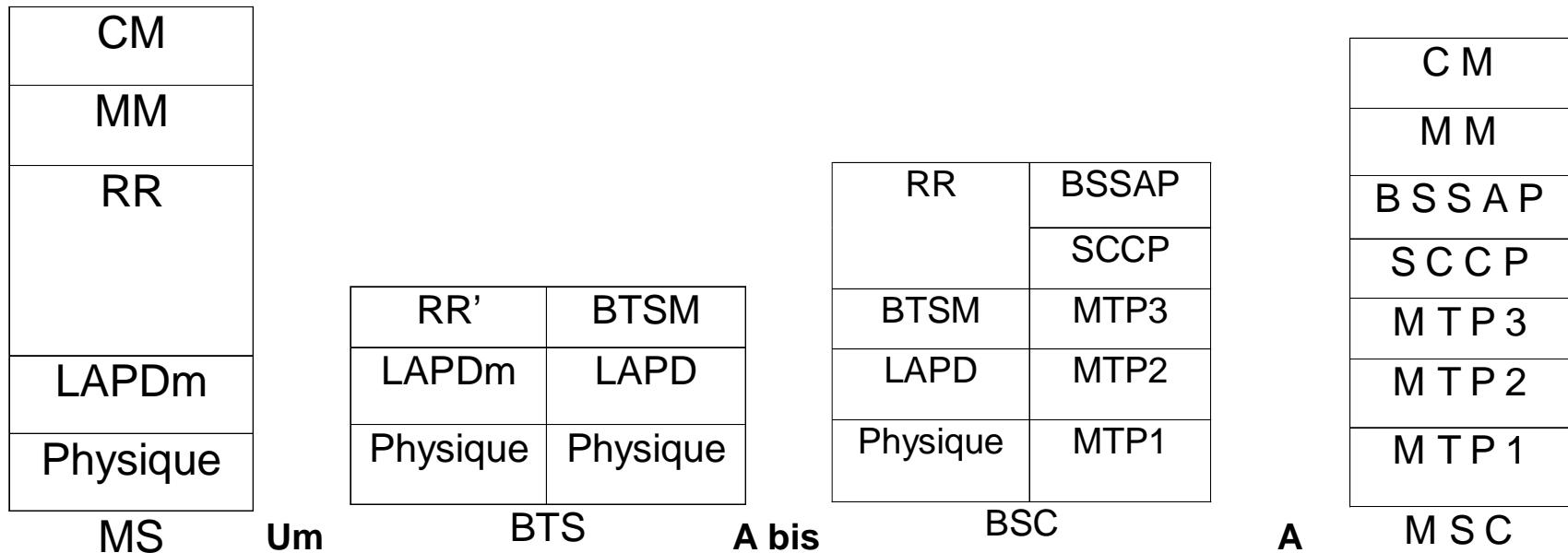
Interfaces GSM



Interfaces GSM

Nom	Localisation	Utilisation
Um	MS – BTS	Interface Radio
A bis	BTS – BSC	Divers
A	BSC – MSC	Divers
B	MSC – VLR	Divers
C	GMSC – HLR	Interrogation HLR pour appel entrant
D	VLR – HLR	Gestion des informations d'abonnés
E	MSC – MSC	Exécution des handover
	MSC – GMSC	Transport des messages courts
F	MSC – EIR	Vérification de l'identité du terminal
G	VLR – VLR	Gestion des informations d'abonnés
H	HLR – AUC	Echange des données d'authentification

Architecture en couches dans le BSS



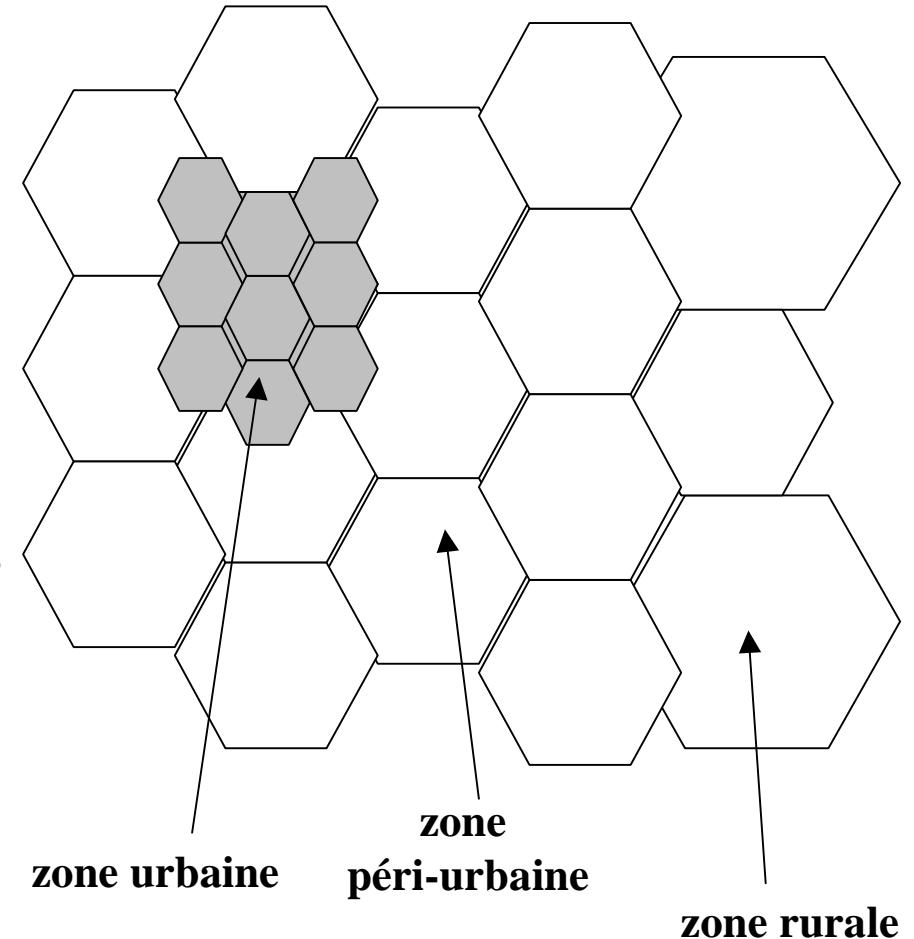
Couche 1 ou Physique définit l'ensemble des moyens de transmission et de réception physique de l'information (A bis : MIC, Um gestion du multiplexage, codage correcteur d'erreur, mesures radio)

Couche 2 ou Liaison de données fiabilise la transmission entre deux équipements par un protocole (protocole LAPD et LAPmobile)

Couche 3 ou Réseau établit, maintient et libère des circuits commutés avec un abonné du réseau fixe et est divisée en 3 sous-couches (Radio Ressource RR, Mobility Management MM, Connection Manag CM)

Découpage cellulaire

- ✓ **Macro-cellules de 1 à 35 Km.**
- ✓ **Micro-cellules de 100 à 1 Km.**
- ✓ **Pico-cellules de 10 à 100 m.**
- ✓ **Pavage régulier sous forme d'un hexagone pour permettre une réutilisation régulière des fréquences (motifs à 7 ou 4 cellules).**
- ✓ **Sectorisation : illuminer une cellule d'un point situé au bord de la cellule, permet de grouper les émetteurs récepteurs en un même site (position des antennes sur les BTS)**



Découpage géographico-administratif

Cellule (Cell)

aire géographique couverte par une antenne radio

Zone de localisation (Location Area)

ensemble de cellules dans lequel l'abonné est localisé

Zone de commutation (Communication Area)

ensemble de zones de localisation qui dépendent d'un même centre de commutation

Réseau terrestre mobile (Public Land Mobile Network PLMN)

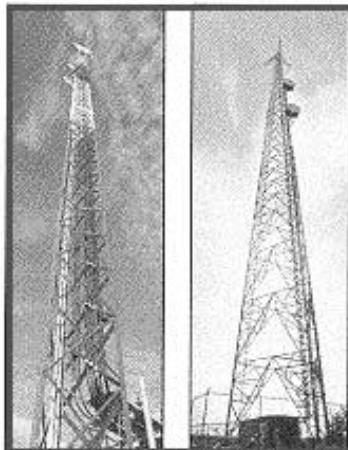
ensemble des zones de commutation sous la responsabilité d'un opérateur

→ une BTS par cellule

→ 1 à n BSC par zone de localisation et 1 à p zones de loc par BSC

→ un MSC par zone de commutation

Exemples de BTS



Identification de l'abonné mobile

GSM utilise 4 types d'adresses liés à l'abonné :

IMSI (Identité invariante de l'abonné)

- connu uniquement à l'intérieur du réseau GSM, cette identité doit rester secrète autant que possible → Recours au TMSI

TMSI (temporaire)

- utilisée pour identifier le mobile lors des interactions Station Mobile-Réseau.

MSISDN (Numéro de l'abonné)

- seul identifiant de l'abonné mobile connu à l'extérieur du réseau GSM.

MSRN (Numéro attribué lors d'un établissement d'appel)

- sa fonction est de permettre l'acheminement des appels par les commutateurs (MSC et GMSC)

→ + contrôle du numéro IMEI de l'équipement par l'EIR.

Identifiants de localisation

LAI (Localisation Area Identification)

- utilisée pour localiser les abonnés
- structure : Code du pays (208 pour la France) + Code du réseau dans le pays (10 pour SFR) + Code de la zone de localisation dans le réseau

CGI (Cell Global Identification)

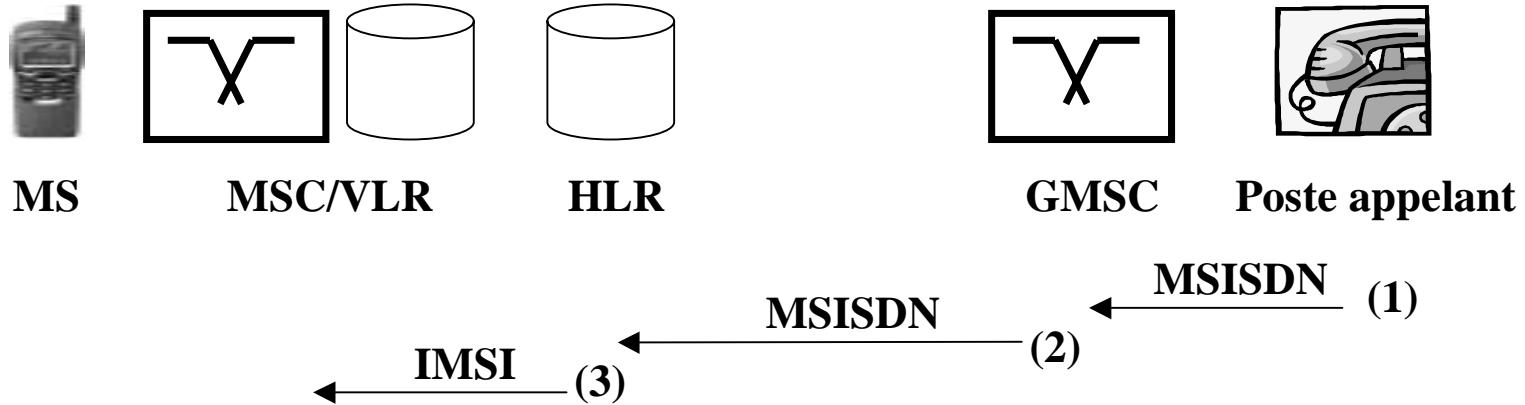
- identification globale de cellule
- structure : LAI + Identification de cellule

BSIC (Base Station Identity Code)

- code d'identification de BTS
- permet à une MS de distinguer localement les BTS qu'il entend
- structure : Code couleur du PLMN + Code couleur de la BTS

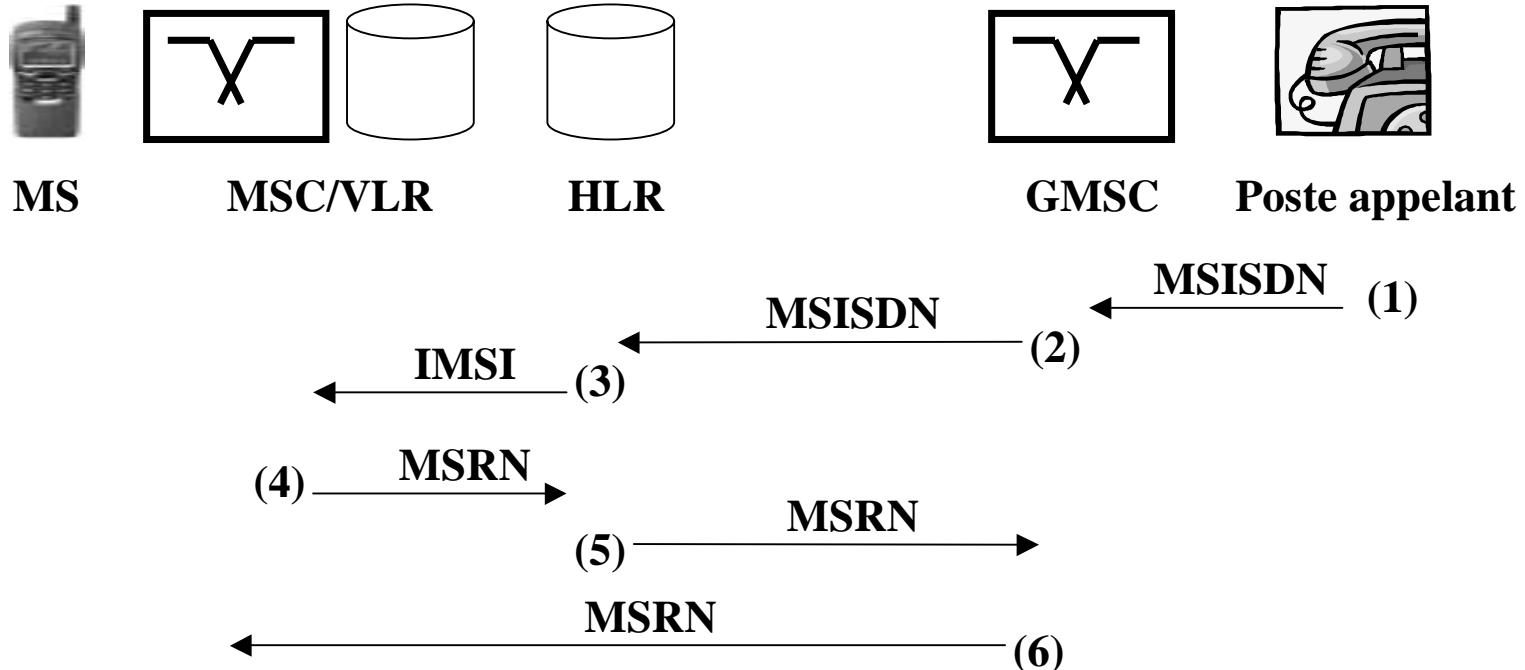
→ + HLR Number, VLR Number, MSC Number.

Exemple de mise en œuvre des différents numéros



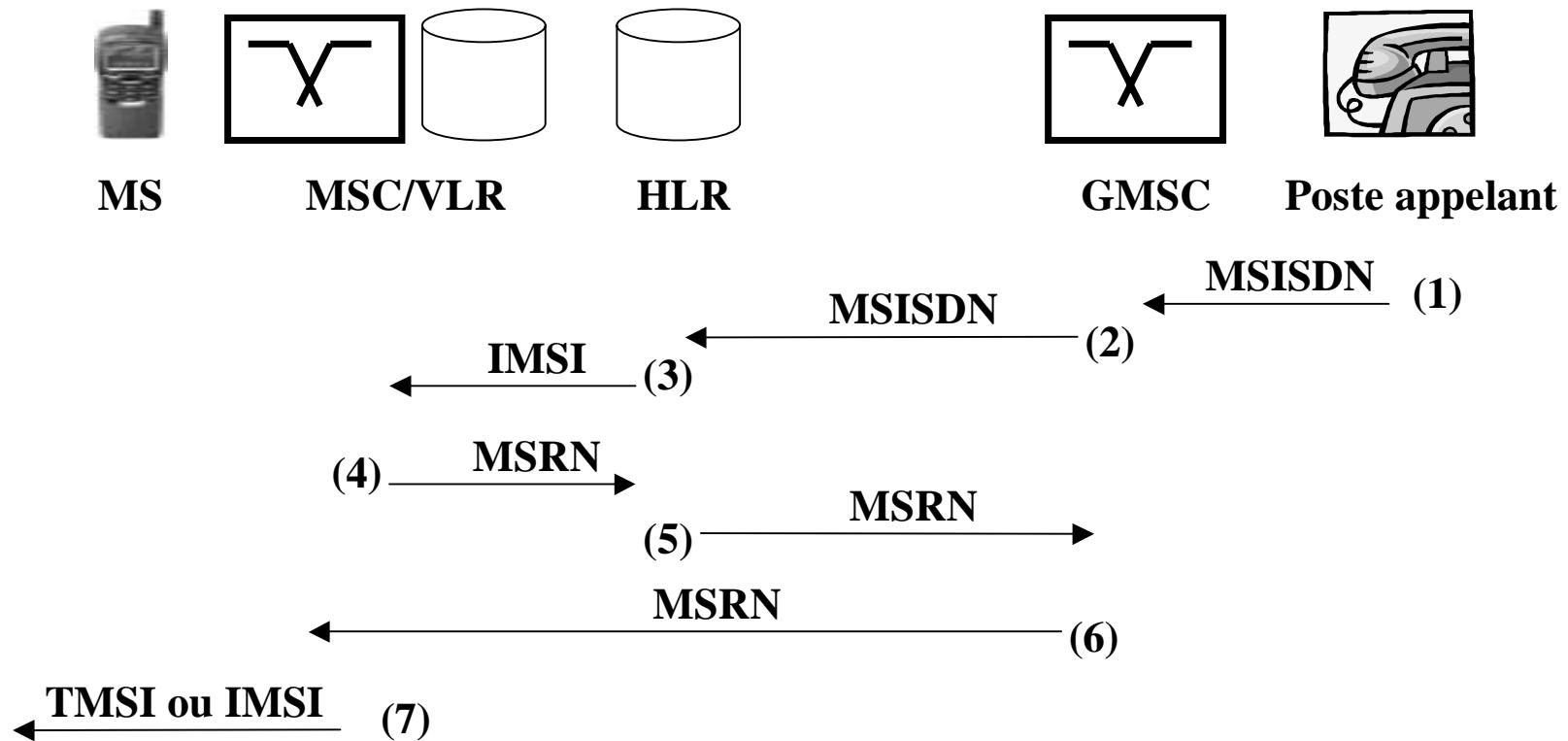
- (1) **MSISDN** est numéroté par l'appelant. Appel routé par le réseau fixe vers le MSC le plus proche qui agit en GMSC.
- (2) Le **GMSC** interroge le **HLR** pour connaître le **MSC** vers lequel l'appel doit être routé.
- (3) Le **HLR** traduit le **MSISDN** en **IMSI** et interroge le **VLR** du mobile en utilisant l'**IMSI**.

Exemple de mise en œuvre des différents numéros



- (4) Le VLR du mobile attribue un MSRN au mobile et transmet ce numéro au HLR.
- (5) Le HLR en recevant le MSRN le transmet au GMSC.
- (6) Le GMSC établit l'appel vers le MSC courant du mobile comme un appel téléphonique normal vers un abonné dont le numéro est le MSRN.

Exemple de mise en œuvre des différents numéros



(7) Le MSC va enfin appeler le mobile en utilisant l'identité temporaire, TMSI qui a été attribuée au mobile lors de la mise à jour de localisation ou lors de l'inscription du mobile.

Interface Radio

La transmission Radio est assurée par l'interface Radio (Um) partie la plus complexe et sophistiquée dans le système.

- ✓ **méthode d'accès multiple (TDMA avec saut de fréquence)**
- ✓ **largeur des canaux fréquentiels**
- ✓ **nombre d'utilisateurs par porteuse**
- ✓ **éléments de la chaîne de transmission (modulation, codage, entrelacement...)**

→ **fréquences utilisées**

	GSM	DCS 1800	DECT
Bandes de fréquences (MHz)	890-915 (\uparrow) 935-960 (\downarrow)	1710-1785(\uparrow) 1805-1880(\downarrow)	1880-1900
Largeur simplex	2*25 MHz	2*75 MHz	20 MHz
Ecart duplex	45 MHz	95 MHz	0

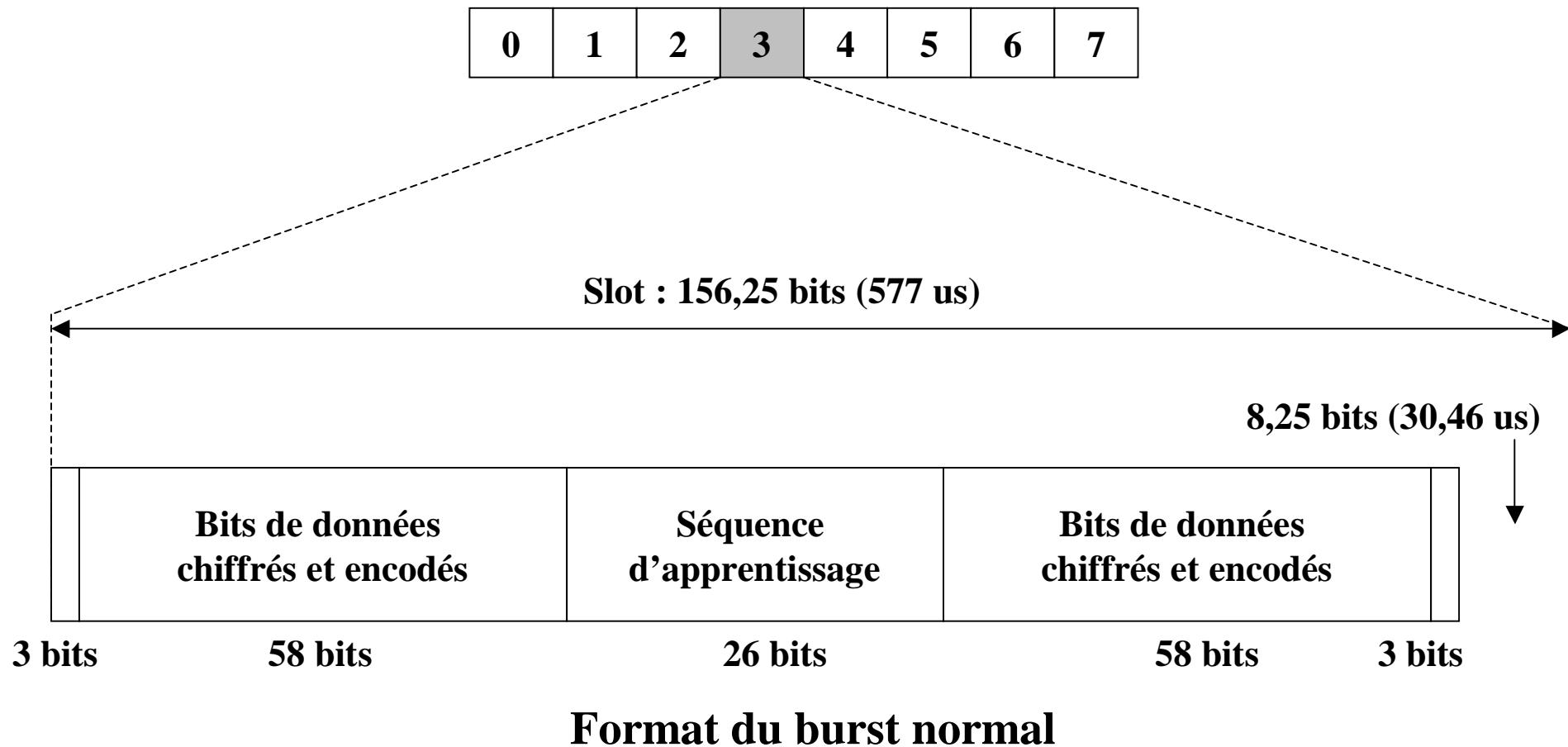
Généralités

Trame TDMA

- Partage de la bande de 25 MHz en canaux fréquentiels de 200 KHz
→ 124 canaux fréquentiels (porteuses) disponibles
- Division en intervalles de temps IT (ou slots).
→ $T_{slot} = 0.5769 \text{ ms}$
- Regroupement des slots par paquets de 8
→ trame TDMA et $T_{TDMA} = 8 T_{slot} = 4.6152 \text{ ms}$
- Chaque utilisateur utilise 1 slot par trame TDMA.
→ «canal physique» : répétition périodique d'un slot dans la trame TDMA sur une fréquence particulière.
- Possibilité de n'allouer qu'un slot toutes les 2 trames TDMA (canal physique demi-débit pour la parole)

Généralités

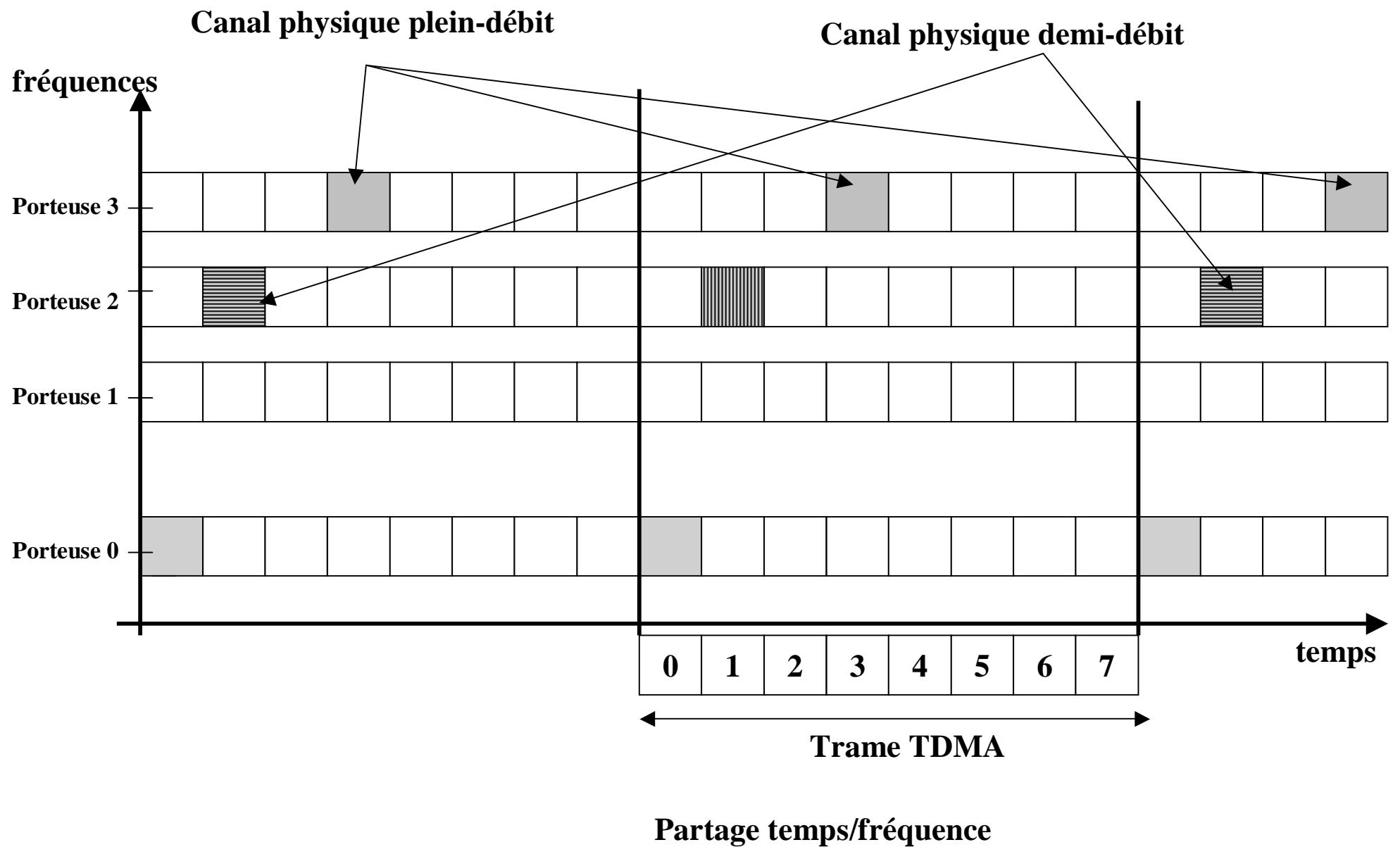
Trame TDMA



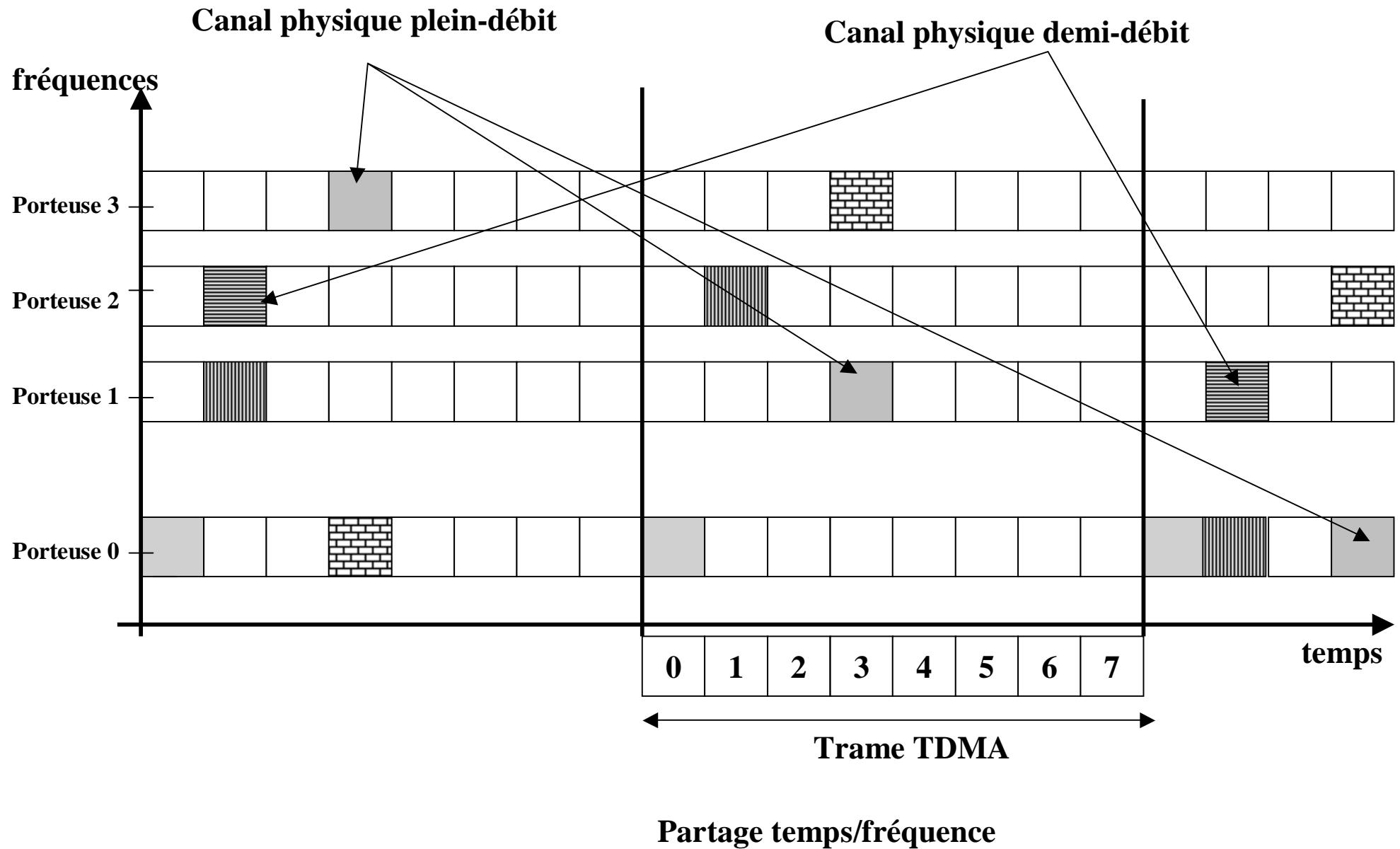
→ **Slot = Burst + Période de garde (30,46 us)**

Généralités

Canaux Physiques (partage en temps/fréquence) sans saut de fréquence



Canaux Physiques (partage en temps/fréquence) avec saut de fréquence



Techniques de multiplexages

Multiplexage	Systèmes	Avantages	Inconvénients
FDMA	Analogiques de 1 ^{ère} génération	Simplicité	-sensible aux évanouissements - rigidité
TDMA	GSM DECT IS-54	- plus souple - gain en capacité / FDMA	-égalisation nécessaire -synchronisation
CDMA	IS-95	- pas d'évanouissement - capacité théorique plus grande - pas de planification fréquentielle	- traitement du signal complexe - contrôle de puissance délicat

Partage temps/fréquence

Canal physique duplex

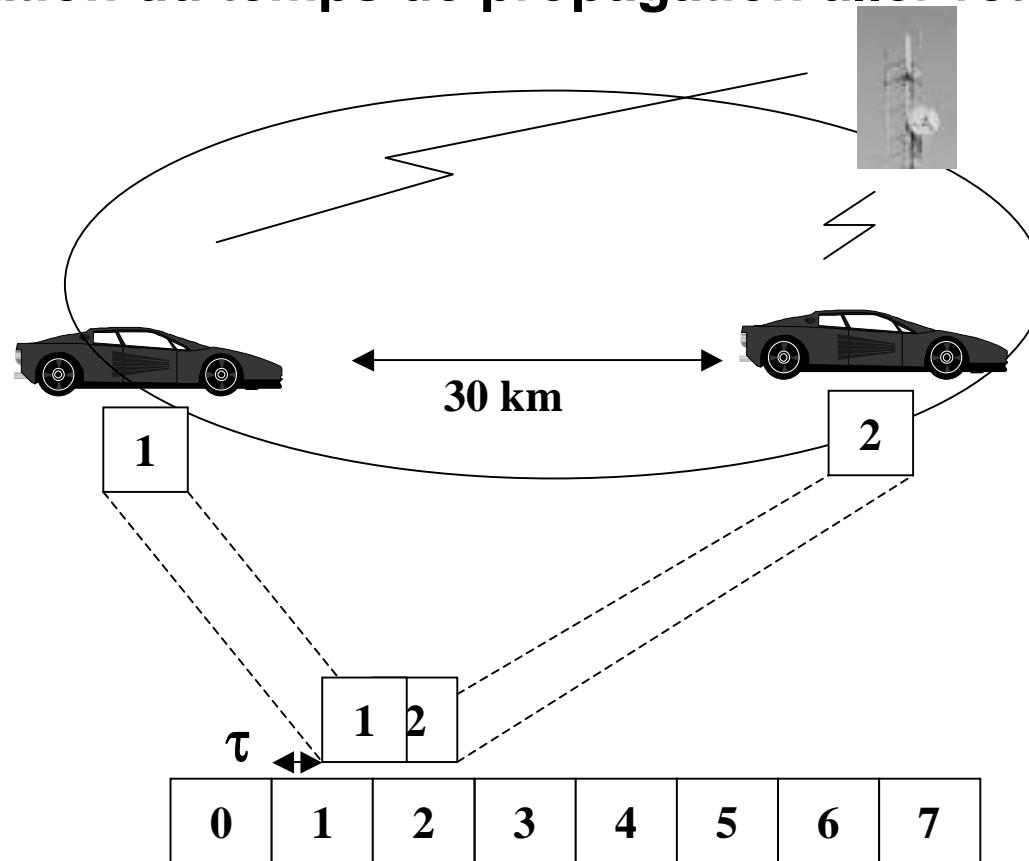
- Le duplexage se fait en fréquence FDD (Frequency Division Duplex).
- Le mobile émet et reçoit à des instants différents.
 - décalage de 3 slots entre émission et réception
- Numérotation des porteuses.

GSM : pour $1 \leq n \leq 124$		$f_d = 935 + (0,2 \times n)$
DCS : pour $512 \leq n \leq 885$		$f_d = 1805,2 + (0,2 \times (n - 512))$

GSM → 124 paires de porteuses
DCS → 374 paires de porteuses
- Canal ?
 - canal de transmission : physique de transmission
 - canal physique : un slot par trame TDMA sur une (ou plusieurs) porteuse.
 - canal fréquentiel : porteuse modulée qui occupe 200 KHz.

Canal physique duplex

- Compensation du temps de propagation aller-retour.



τ : temps de propagation aller-retour (30 km → 100 us)

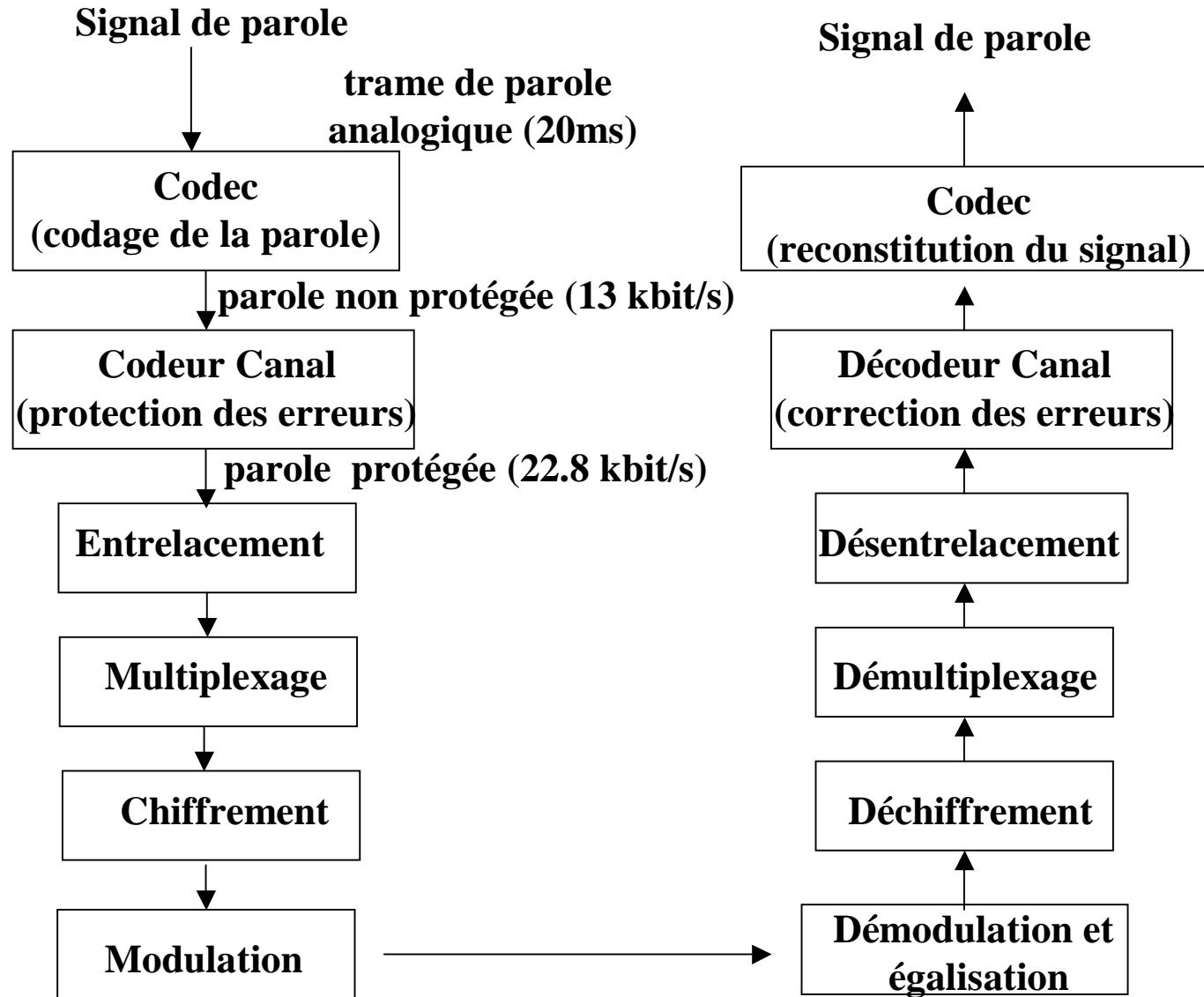
Duplexage

Canal physique duplex

➤ Compensation du temps de propagation aller-retour.

- ✓ augmenter le temps de garde , temps de silence entre la fin d'un burst synchronisé et la fin d'un slot pendant lequel il n'y a pas transmission (temps de garde nécessaire de 200 us au lieu des 30,5 us)
→ solution non retenue
- ✓ compenser en gérant un paramètre TA (Time Advance) correspondant au temps de propagation aller-retour. Le mobile doit avancer l'émission de chacun de ses slots d'une durée τ par rapport à l'instant nominal de début de slot.
→ gestion du paramètre TA pour compenser le délai de propagation

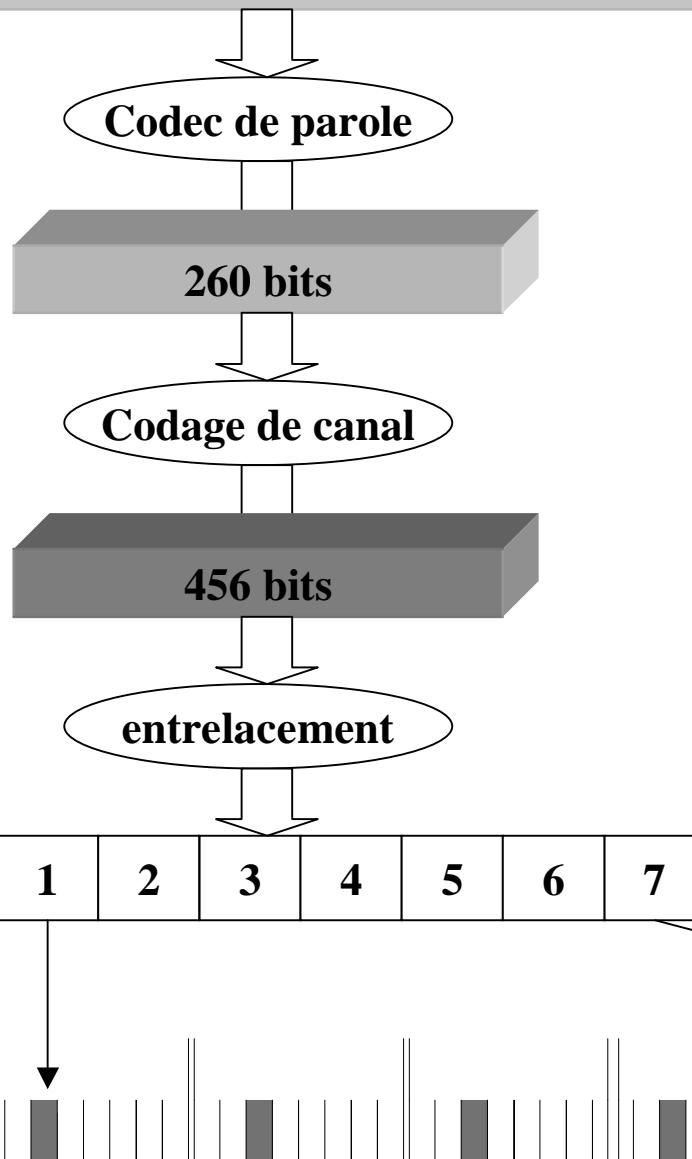
Chaîne de transmission



Codage de la parole



trame de parole analogique (20 ms)



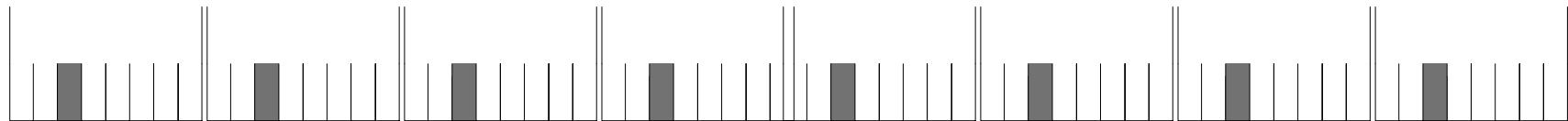
parole non protégée
13 kbit/s (= 260 bits / 20 ms)

parole protégée
22,8 kbit/s (= 456 bits / 20 ms)

8 trames TDMA

Codage de la parole

Transmission de la parole paquétisée



★ slot (577 us)

←→ trame TDMA (environ 5ms)



trame de parole analogique (20 ms)

←→
8 trames TDMA (environ 40 ms) : durée de transmission d'une trame de parole analogique

→ paquetisation introduit donc un délai de 20 ms

Codage de la parole

Transmission de la parole paquétisée

trame de parole analogique i-1



trame de parole analogique i



trame de parole analogique i+1



8 demi-bursts (8 x 114/2 bits)

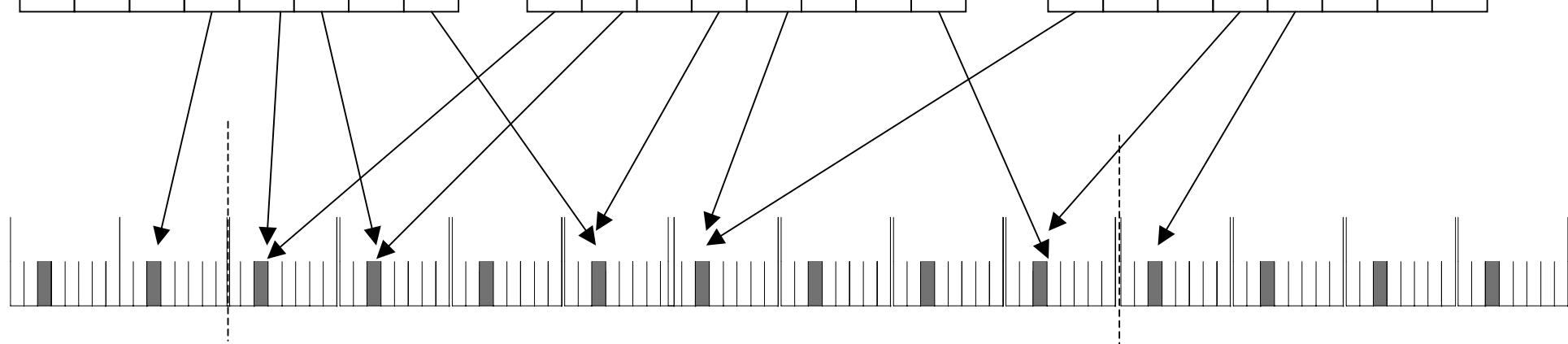
0	1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---	---

8 demi-bursts (8 x 114/2 bits)

0	1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---	---

8 demi-bursts (8 x 114/2 bits)

0	1	2	3	4	5	6	7
---	---	---	---	---	---	---	---

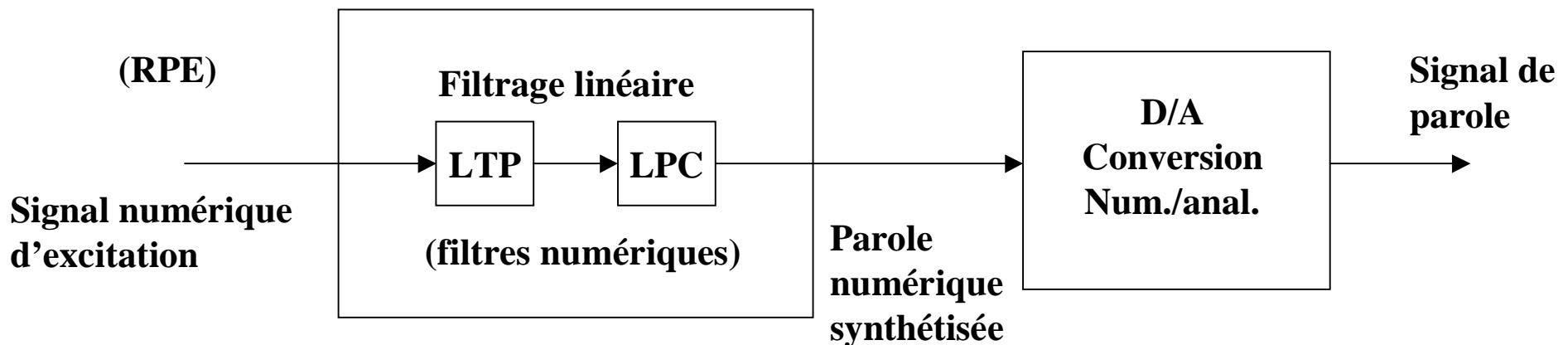


8 trames TDMA

Codage de la parole

Codage de la parole

- **Codecs de parole dans le GSM travaillent sur des trames de 20 ms.**



- **Système RPE-LTP (*Regular Pulse Excitation – Long Term Prediction*)**
 - boite noire : segments de 20 ms → blocs de 260 bits.
 - LPC : corrélations à court terme (36 bits)
 - LTP : corrélation à long terme (36 bits)
 - RPE : détermine le signal d'excitation pour reproduire le signal de parole (4 groupes de 15 paramètres(47 bits) = 188 bits)

Protection du signal de parole

- **Classement des 260 bits selon leur importance :**
 - classe I.a : 50 bits (notés 1 à 4) très sensibles aux erreurs → technique de masquage lorsqu'une erreur non corrigible est détectée.
 - classe I.b : 132 bits (notés de 4 à 5) sensibles aux erreurs.
 - classe II : 78 bits (notés 6) moins sensibles aux erreurs.
- 50 bits classe I.a protégés par un CRC de 3 bits = 53 bits
- 53 bits + 132 bits + 4 bits de trainée (servant à purger le registre à décalage du codeur) = 189 bits
- 189 bits à l'entrée du codeur convolutionnel de taux $\frac{1}{2}$ (2×189 bits) = 378 bits
- 378 bits + 78 bits de classe II = 456 bits
- parole protégée de 256 bits

Contrôle d'erreurs

- **2 techniques complémentaires de contrôle d'erreurs :**
 - écarter les trames reçues en erreurs et demander éventuellement leur retransmission (**ARQ Automatic Repeat Request**).
 - correction d'erreurs qui exploite la redondance des messages transmis (**FEC Forward Error Correction**).

- **codes en blocs cycliques (CRC) utilisés en détection simple**
- **codes convolutionnels qui assurent une correction efficace d'erreurs.**

Détection d'erreurs par CRC

- **CRC (Cyclic Redundant Check) sont introduits d'une manière quasi universelle dans les réseaux pour détecter les erreurs de transmission (liaison RS232 par exemple).**
 - codes cycliques spécifié par un polynôme générateur $g(D)$ dont le degré r correspond à la taille du CRC

Soit un mot d'information : $(u_0, u_1, \dots, u_{k-1})$ représenté par :

$$u(D) = \sum_{i=0}^{k-1} u_i D^i$$

on adjoint un CRC constitué par le reste $v(D)$ de la division polynomiale de $D^r u(D)$ par $g(D)$

$$D^r u(D) = g(D)q(D) + v(D)$$

Exemple : bits de parole I.a

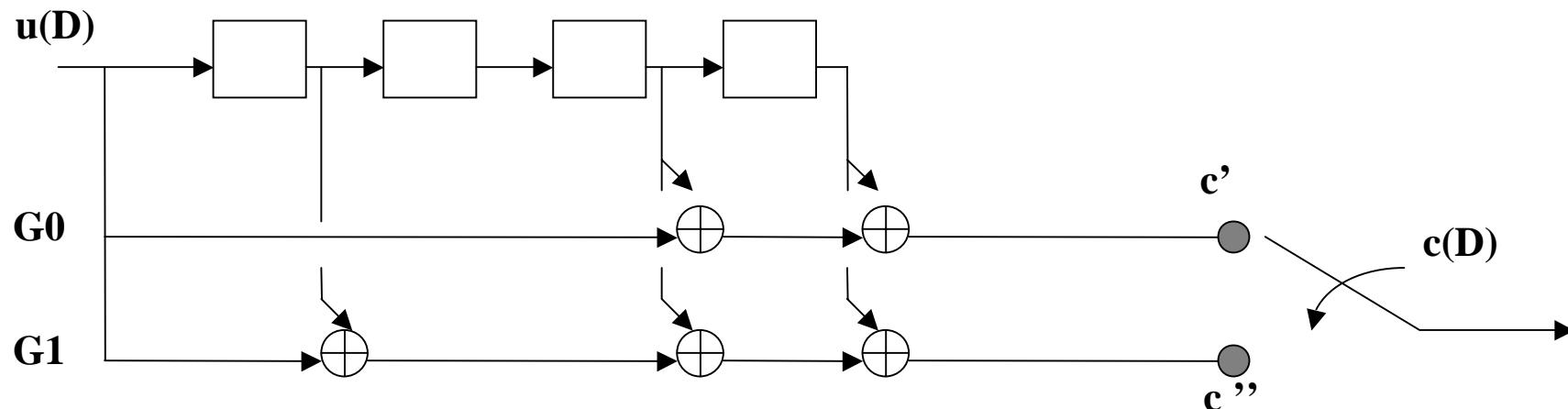
taille r du CRC = 3,

taille K du champ d'information = 50

polynôme $g(D) = D^3 + D + 1$

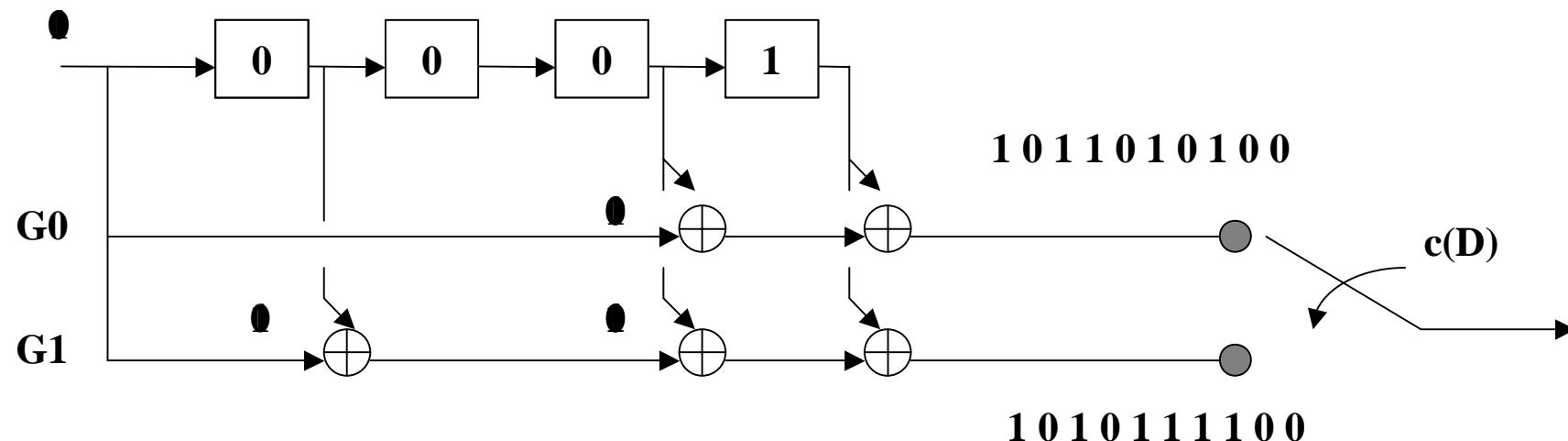
Encodage convolutionnel

- Codage qui permet d'abaisser du seuil C/I (porteuse sur interférences)
 - décodage du type « maximum de vraisemblance » selon l'algorithme de Viterbi



- registre à décalage
- portes « ou exclusif » (additionneurs modulo 2)
- polynôme $g'(D) = D^4 + D^3 + 1$; $g''(D) = D^4 + D^3 + D + 1$

→ séquence d'entrée $u = 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0\ 0$



$$\begin{aligned}c' &= 1 0 1 1 0 1 0 1 0 0 \\c'' &= 1 0 1 0 1 1 1 1 0 0\end{aligned}$$

$$X = c' + c''$$



$$X = 0 0 0 1 1 0 1 0 0 0$$

$$u = 0 0 0 0 1 1 0 1 0 0$$

→ somme des deux bits c' et c'' redonne bien à un décalage près à la suite d'information u

Contrôle d'erreurs

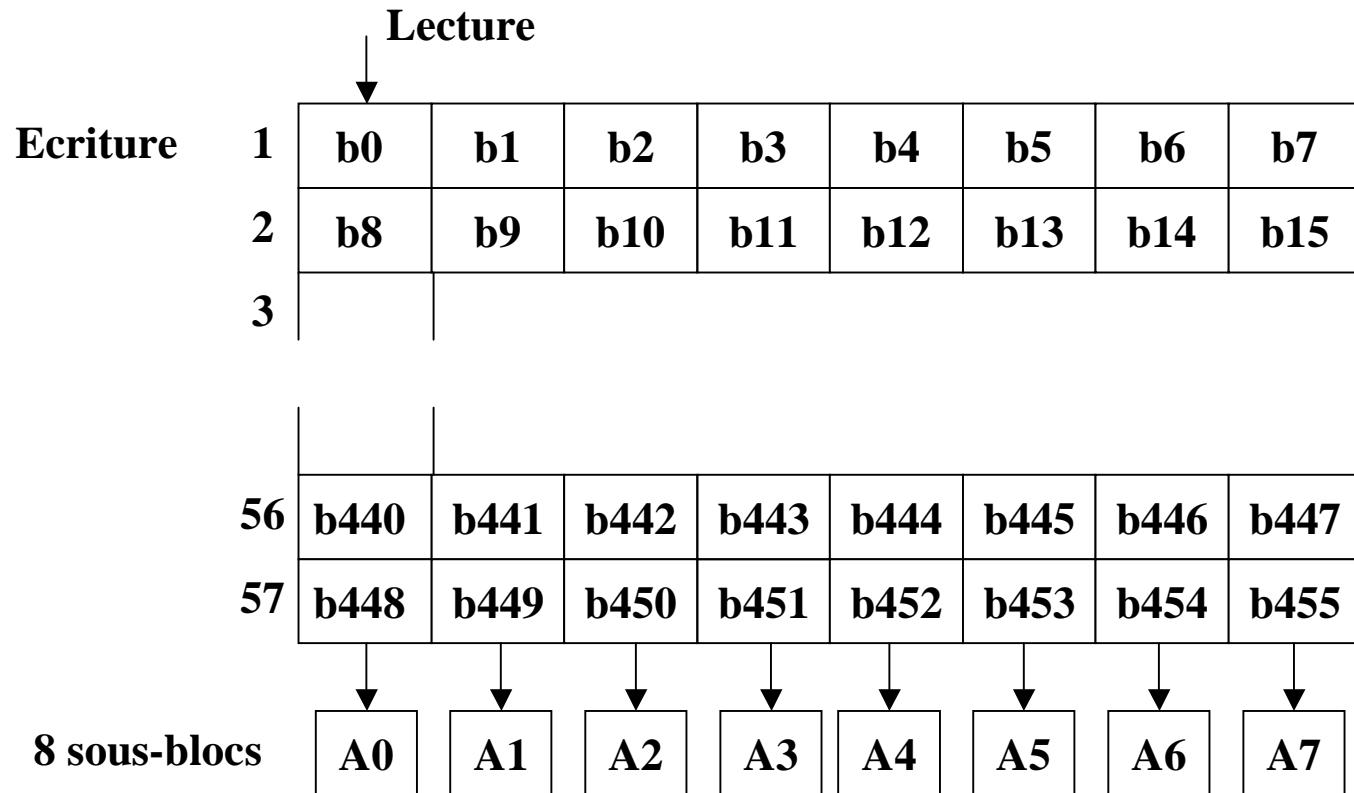
Encodage convolutionnel

- **capacité de correction d'un code convolutionnel = paramètre de distance de Hamming minimale.**
 - correction de 3 erreurs ou de 6 effacements
- **nécessité de bits de trainée.**
 - terminaison convenable du processus de codage : 4 bits de trainée servant à purger le registre à décalage du codeur.
- **décodage correcteur d'erreurs par décodage de Viterbi.**
 - fonction beaucoup plus complexe que le codage : pas d'algorithme générique permettant de décoder de façon optimale.
 - algorithme de Viterbi : complexité en 2^μ avec μ : longueur du registre à décalage ($\mu = 4$ dans GSM, $\mu = 8$ dans le CDMA IS 95).
 - programmation dynamique : modélisation canal, maximum de vraisemblance, treillis de codage...

Entrelacement

- rendre plus aléatoire les positions des erreurs qui arrivent généralement en salves dans le contexte radio.
 - mélanger les symboles codés avant leur transmission pour augmenter en réception les performances de correction des codes correcteurs d'erreurs (FEC)
 - influence d'un bit d'information sur 10 bits de sortie ($n \times (\mu + 1)$)
 - capacités de correction d'un code limitées en ce qui concerne les erreurs groupées : code convolutionnel ne peut corriger des paquets d'erreurs > 8 ($n \times \mu$)
- mélange de bits constituant un bloc
- +
- répartition des symboles sur un certain nombre de bursts

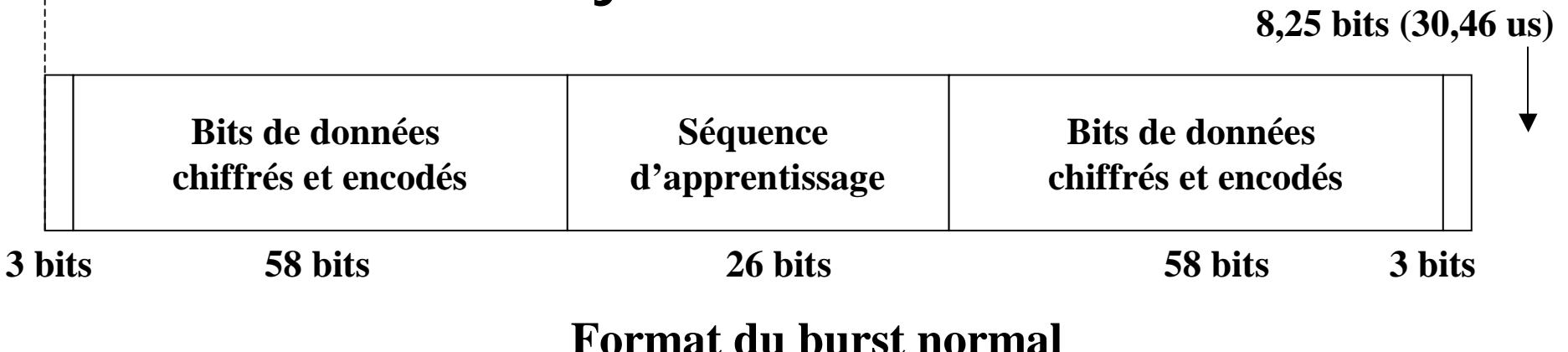
➤ **permutation du bloc codé de 456 bits (8 x 57 bits) :**



- **association de chaque sous-bloc avec la trame précédente ou suivante**
- **mélange à l'intérieur d'un burst des 2 sous-blocs :**
 - bits pairs du burst : trame de parole la plus récente.
 - bits impairs du burst : trame de parole précédente.

Entrelacement

Synchronisation



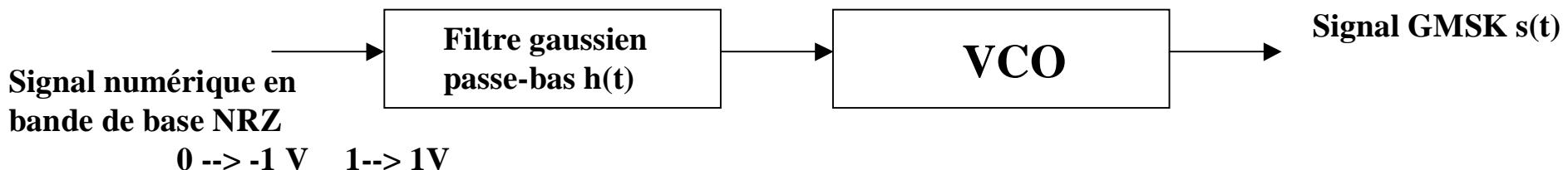
- Séquence d'apprentissage formée de 16 symboles bordés par 2 champs de 5 bits qui la périodisent partiellement :
 - séquences CAZAC (Constant Amplitude Zero Autocorrelation) : pic parfait de l'autocorrélation autour de l'origine
 - une des 8 séquences utilisées dans le GSM :
-
- où le noyau central est en rouge
- permet de synchroniser finement chaque burst (midamble)

Chiffrement

- **se fait au niveau le plus bas de la chaîne de transmission**
- **reprend un schéma classique de cryptographie**
 - ou exclusif des 114 bits utiles par une séquence pseudo-aléatoire générée à partir :**
 - du numéro de trame**
 - d'une clé de communication, pré-établie via la signalisation**

Modulation numérique GMSK

➤ modulation MSK avec filtrage gaussien.



➤ expression de la réponse impulsionnelle du filtre $h(t)$

$$h(t) = \sqrt{(2\pi)\lambda}^{-1} \exp(-t^2/(2\lambda^2))$$

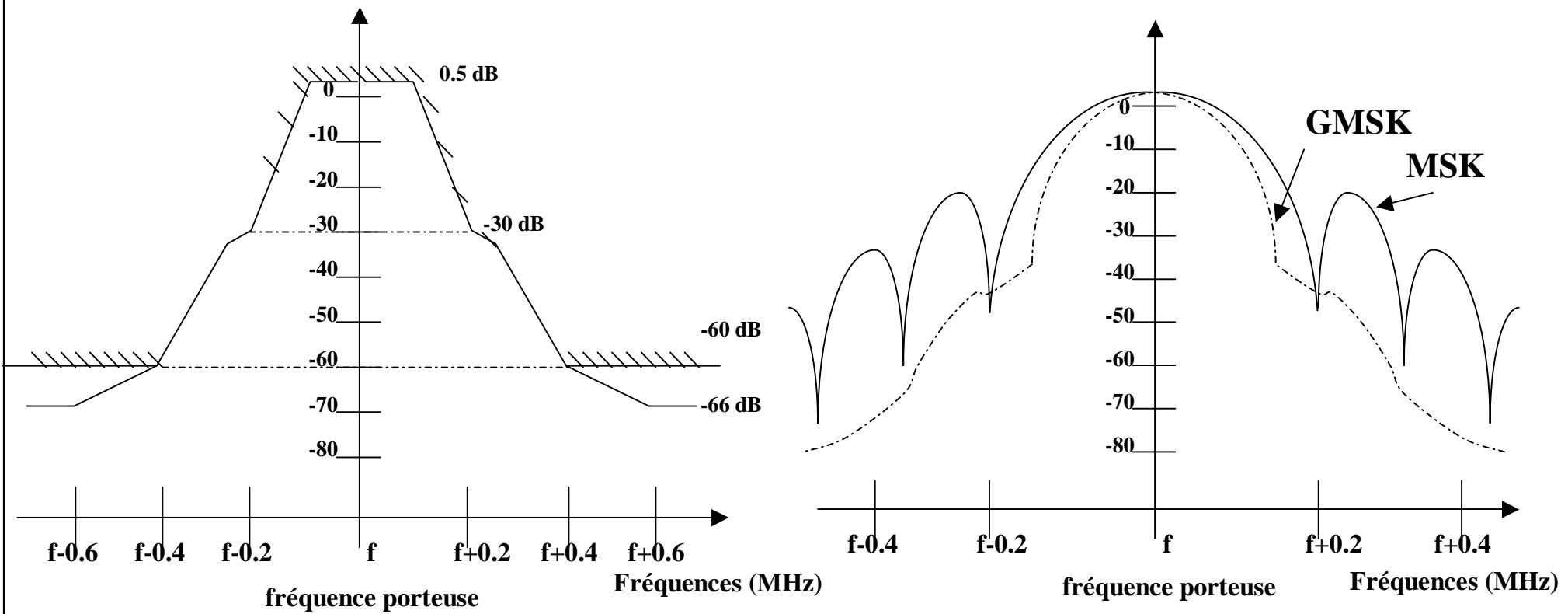
avec $\lambda/T_b = \frac{\sqrt{(\ln(2)}}{2\pi B T_b}$

B désigne la bande à 3dB du filtre $h(t)$
T_b la durée du bit

$$B T_b = 0,3 \text{ et } T_b = 48/13 \mu\text{s.}$$

→ principal intérêt :
quasi inexistance de lobes secondaires dans la représentation spectrale

Modulation numérique GMSK



Gabarit spectral d 'un mobile GSM
(extrait de la norme GSM 05.05)

Spectre des modulations
GMSK et MSK

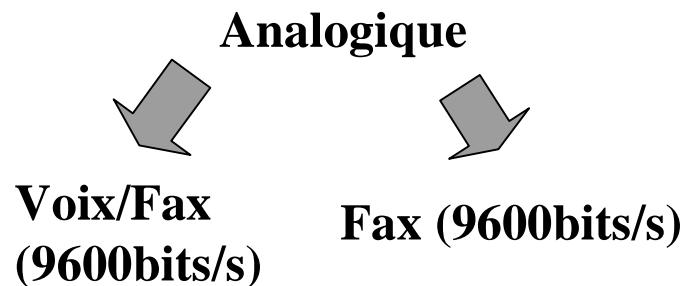
Modulation

GSM

Services & Applications

- Transmission de la voix : - Parole non protégée 260 bits / 20ms = 13 kbits/s
- Transmission des données :
 - Données non-protégées : (48 bits de données + 12 bits de contrôle)*4 / 20ms = 12kbits/s
 - Trame de signalisation : 184 bits / 20ms = 9200 bits/s

- FAX : 2 modes



- SMS :

- Message courts 140 octets max ou 160 car.
- Gestion via SM-SC ou SC
- SM MT/PP , SM MO/PP, SM CB

Services supplémentaires :

- Conférence, Double appel, Facturation, Identification, Restriction d'appels ..

GSM

- 2 Modes de transfert des données :

- Numérique de bout en bout (UDI) , PLMN relié à RNIS
- Numérique/Analogique dans la bande téléphonique 3,1 kHz (External to the PLMN) via l'IWF (modem).

- Mode Numérique / Analogique :

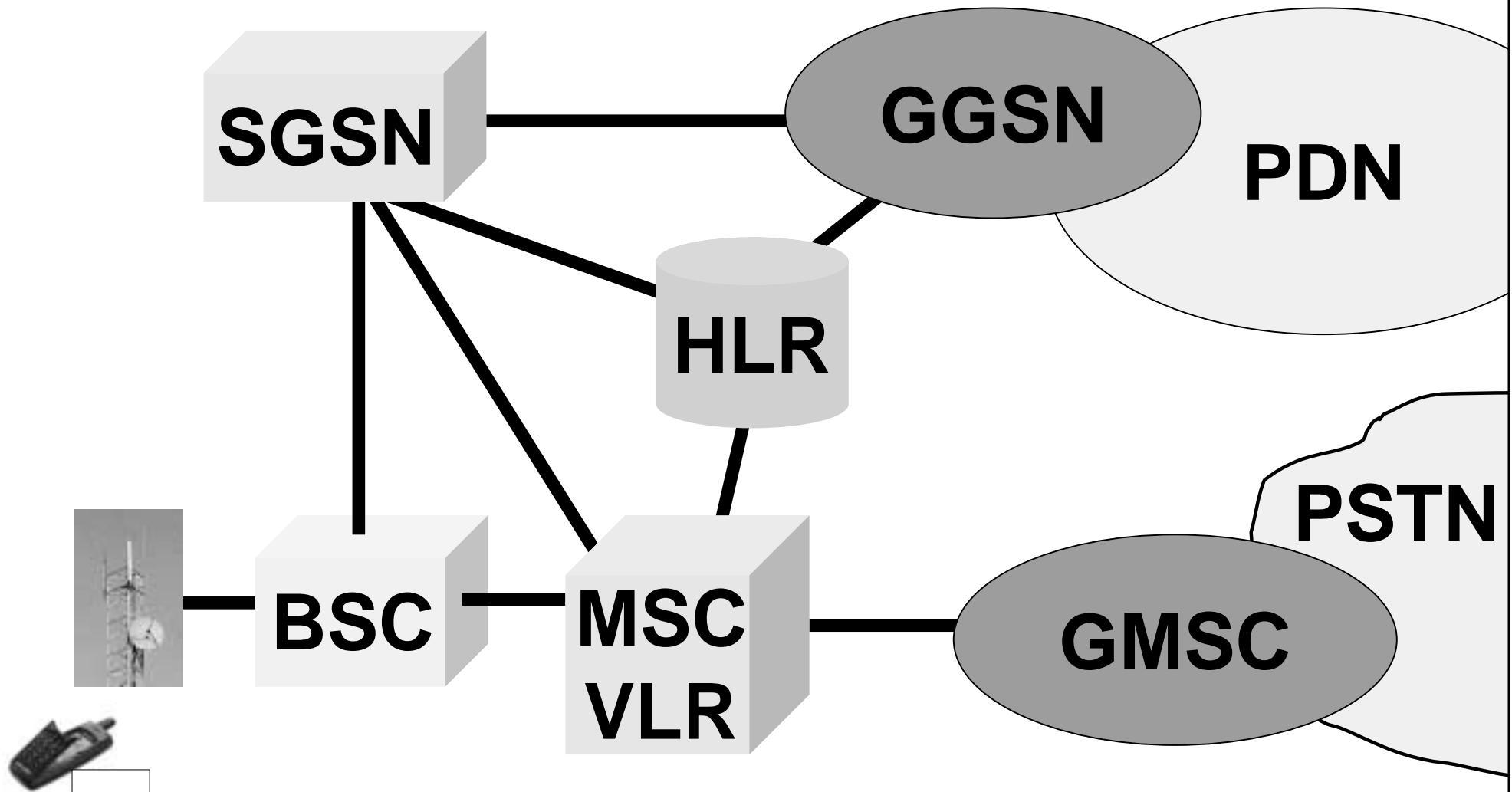
- Mode Transparent, les données sont transmises directement à l'IWF (non connecté).
- Mode Non Transparent, utilisation du protocole RLP, Fiabilisation de la transmission (connecté)

- SMS :

- Diffusion possible de messages non acquittés
- Concaténation de messages possibles (34170 octets)

GPRS

(General Packet Radio Service), GSM Phase 2+



GPRS



- Gestion des abonnés actifs
- Relais avec le PDN

GGSN

- Routage des paquets vers PDN
- IPv6, IPv4, X25
- Interconnexion vers un autre PLMN
- TLLI



- Connexion avec :
 - MSC/VLR
 - HLR
 - SGSN

- Attachement du service aux services GPRS

GPRS

Mode Paquet :

- Mode asynchrone jusqu'à 160kbits/s (session)
- Adresse IP statique ou dynamique pour la MS

Mode Circuit :

- Mode synchrone identique au GSM pour le transport de la voix

Qualité de service possible (Qos)

Nouveaux Protocoles : GTP, OSP

GPRS - 2001?

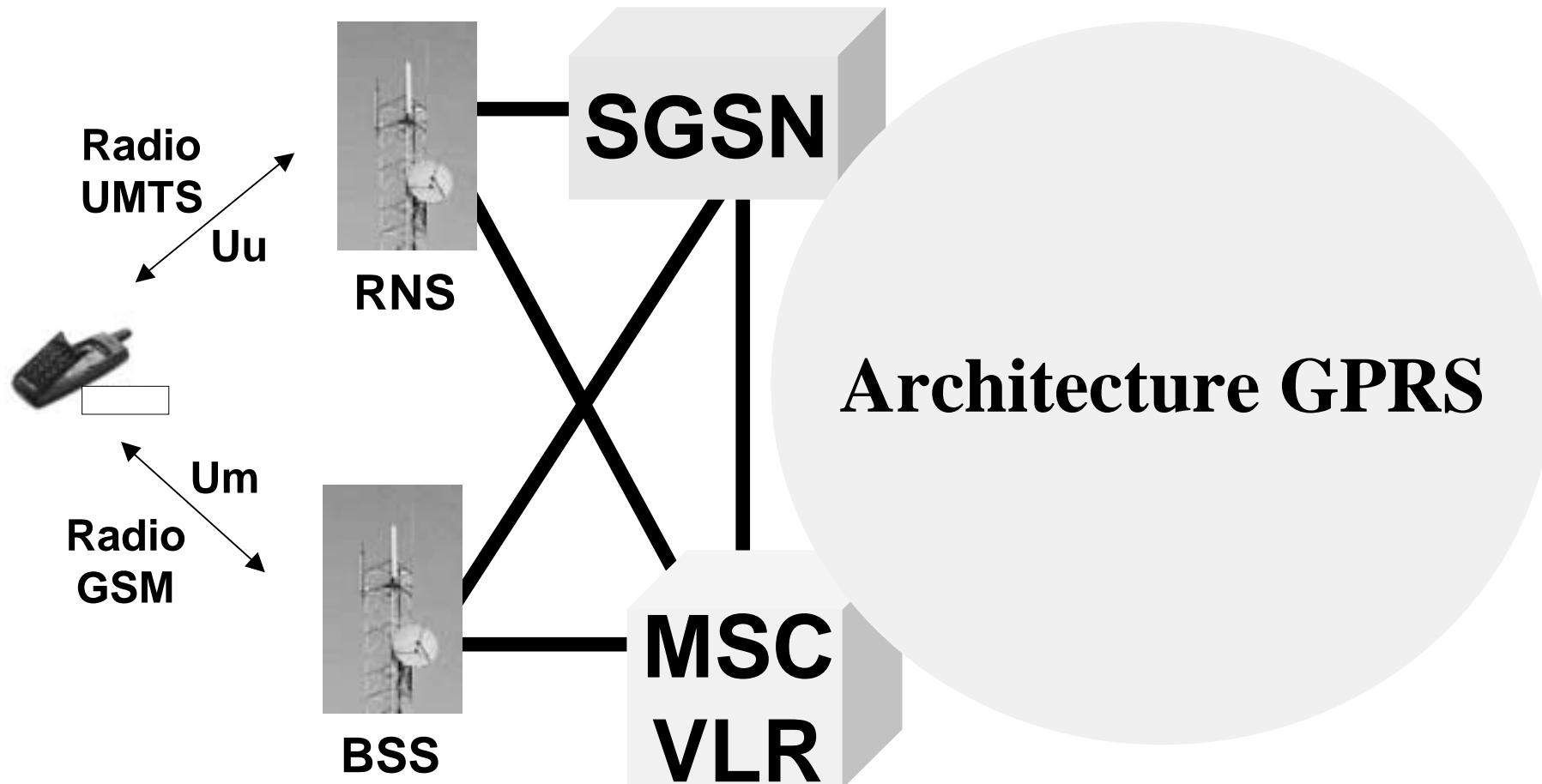


EDGE?

UMTS

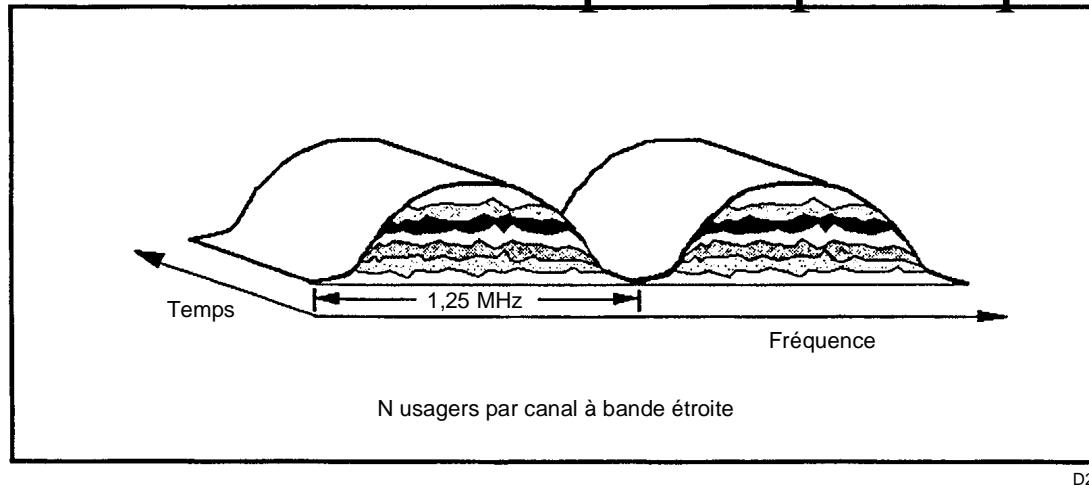
(TDMA / W-CDMA)

(Universal Mobile Telecommunication System) 3G



Multiplexage CDMA

- **Modèle du cocktail à l'ambassade**
 - Multiplexage FDMA : des petits groupes de personnes parlent chacun dans des salles séparées en même temps.
 - Multiplexage TDMA : tout le monde parle dans la même salle mais l'un après l'autre
 - Multiplexage CDMA : tout le monde parle dans la même salle en même temps mais dans un langage différent.
- Technique à étalement de spectre par séquence directe



Multiplexage CDMA dans le domaine fréquentiel et temporel

Multiplexage CDMA

- **Avantages**
 - pas de plan pour la réutilisation des fréquences
 - nombre de canaux augmente
 - protection contre le phénomène d 'évanouissement du signal
 - meilleure protection contre les interférences
 - utilisation de la bande optimale
 - réduction de la possibilité de détecter le signal en le cachant dans le bruit de fond
 - confidentialité des communications accrue, les 2 correspondants sont les seuls à connaître l 'algorithme de codage
- **Inconvénients**
 - autres canaux sont des sources de bruit (tout le monde émet sur la même bande de fréquence en même temps)
 - réglage des puissances d 'émissions doit être fins (chaque émetteur doit émettre avec la même puissance)

UMTS

- Architecture réseau proche de GPRS dans le mode paquet
 - Différence dans les piles de protocoles
 - Débit plus élevé (ATM)
- Introduction d'un nouveau mode circuit : HSCSD
- Amélioration efficacité spectrale, handover imperceptible, meilleure gestion des services paquets.
- Interface radio très différente (UTRAN)
 - GSM/UMTS bimode
 - Accès terrestre ou satellite
 - WCDMA (FDD), CDMA\TDMA (TDD) (15 slots/trame)
(Est-ce techniquement correct?)

UMTS

- Débits :

- zone rurale**
- espace urbain**
- immeuble**

144 kbits/s < D < 384 kbits/s

384 kbits/s < D < 512 kbits/s

D ~ 2 Mbits/s

- Services usager ?

- IP Mobile, Vidéo, Son ?**
- Téléchargement de données?**

1er Janvier 2002 ?

PDC

(Pacific Digital Communications) / TDMA

- Architecture basée sur la recommandation ITU-R M.1073.1
- Bande de fréquence 950 MHz et 1450 MHz
- Trame TDMA différente à GSM (3 slots)

- Transmission de la voix : D = 6,7 kbits/s
- Transmission des données : D = 4,8 kbits/s
- Autres services :
 - Fax/modem groupe 3
 - Sous-débit RNIS 8 kbits/s
 - SMS

CDMAOne / IS-95

(PCS 1800)

(TIA/EIA IS-95, ANSI J-STD-008)

- Architecture basée sur la recommandation TR-45/46 proche de ITU-R M.1073.1.
- Bande de fréquence 800 MHz et 1800 MHz (PCS)
- Trame CDMA IS-95A et WCDMA IS-95B
- Transmission de la voix : $D_A = 8,5 \text{ à } 13,3 \text{ kbits/s}$, $D_B = 32 \text{ kbits/s}$
- Transmission des données : $D_A = 14,4 \text{ kbits/s}$, $D_B = 64 \text{ kbits/s}$
- Autres services :
 - Fax/modem groupe 3
 - SMS
 - IS-95B (TCP/IP, PPP)

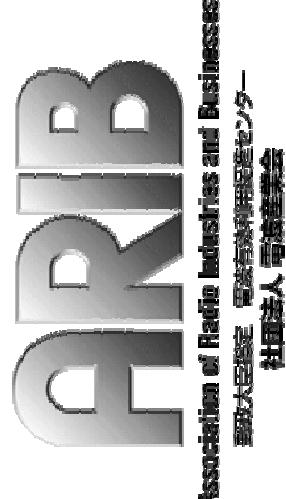
CDMA2000

(3GPP2-CDMA2000)

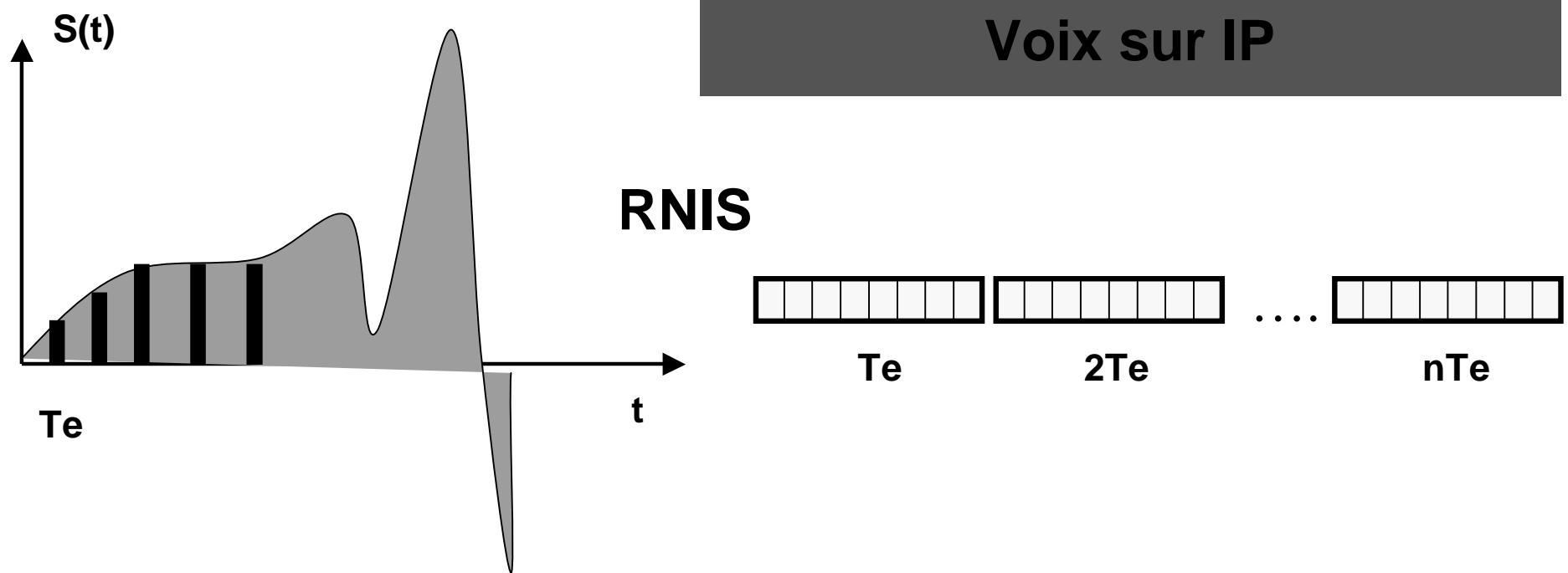
- Architecture basée sur IS-95B avec une nouvelle Interface Air 3G (cdma2000).**
- Bande de fréquence IMT - 2000**
- Trame WCDMA compatible IS-95B**
- Services de données (data, fax, SMS) standards IS-95B**
 - TCP/IP**
 - Fax et Data RNIS (ISDN)**
 - Nouveau mode circuit haute vitesse pour la voix, l 'image données.**
- Débits des données :**
 - CDMA2000 Phase One : 144 kbits/s**
 - CDMA2000 Phase Two : 2Mbits/s**



3G.I.P
3G.IX SURGE



3 G . I P : O U R M I S S I O N
*to promote alignment between
wireless and fixed IP architectures*



Ex: PCM, 8bits, 8kHz, $T_e=125\mu s$

Encapsulation IP



Ex : Montpellier-Béziers



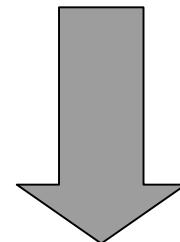
T_e



kT_e



$(n+m)T_e$

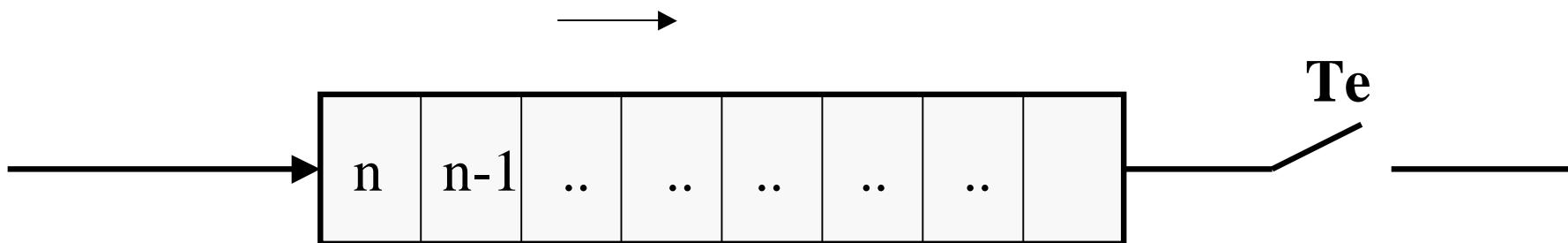


$\Delta t_{moy}=20ms!!$

Retard + Gigue de Phase

Solutions

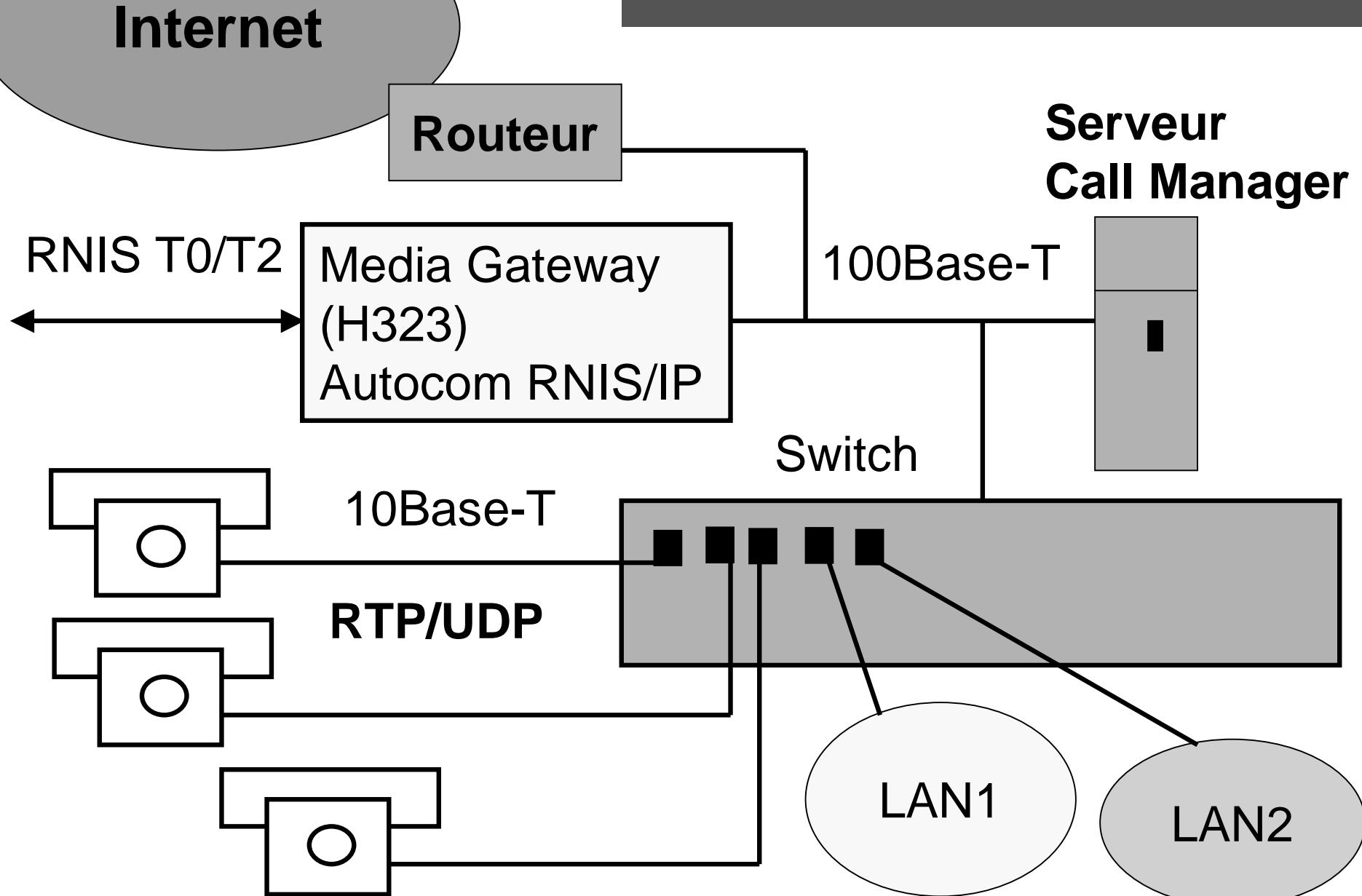
Utilisation d'une pile (~ 50 échantillons)



Utilisation d'un protocole « temps-réel » (RTP: RFC1889)

+ Réservation de service dans les systèmes de commutation (RSVP)

Voix sur IP : Architecture



Real Time Protocol RFC 1889

0	15	16	32
V	P	X	CC M PT
Numéro de séquence			
Horodatage (Timestamp)			
Identificateur de la source de Synchro			
Identificateur de la (les) source(s) contributrice(s)			
Données			

V : version RTP (2)

P : Padding

X : Extension d'un en-tête supplémentaire

CC : Nombre CSRC : Nbre d'identificateurs de sources contributrices contenues
Dans le liste CSRC

M : Maker trace d'évènements particuliers

PT : Payload Type, type de contenu transporté (ex : G711 (PCM))

Horodatage : Horloge de l'émetteur

SSRC : Identifie l'émetteur source de synchronisation

CSRC : Liste des participants ayant apportés leur contribution (audio et vidéo)
aux données

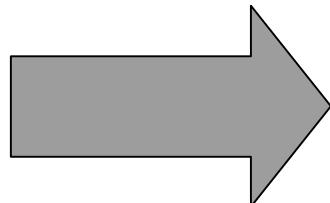
Real Time Control Protocol RFC 1889

0	15	16	32			
V	P	RC	PT			
SSRC de l'émetteur						
NTP MSW						
NTP LSW						
Données						
RTP Timestamp						
Nbre Paquets envoyés						
Nbre d'Octets envoyés						
SSRC de la première source						
Frag perdus	Nbre total de pertes					
Numéro de séquence étendue						
Delta de gigue						
Précédent SR + Temps avec le précédent SR						

Real Time Control Protocol RFC 1889

RC : Report Count

PT : Packet Type



SR : Réponse d'envoi (200)

RR : Accusé de réception

SDES : Description de la source

BYE : Fin de session

APP : Fonction spécifique de l'application

La précision de l'horodatage dépend du type de PT.

Pour une application audio l'incrément de base de l'horodatage sera égal à la période d'échantillonnage fixée par la norme.

Ex : G711 = 125ms

Précédent SR + Temps avec le précédent SR

Real Time Control Protocol RFC 1889

Delta Gigue :

$$D(i,j) = (R_j - R_i) - (S_j - S_i) = (R_j - S_j) - (R_i - S_i)$$

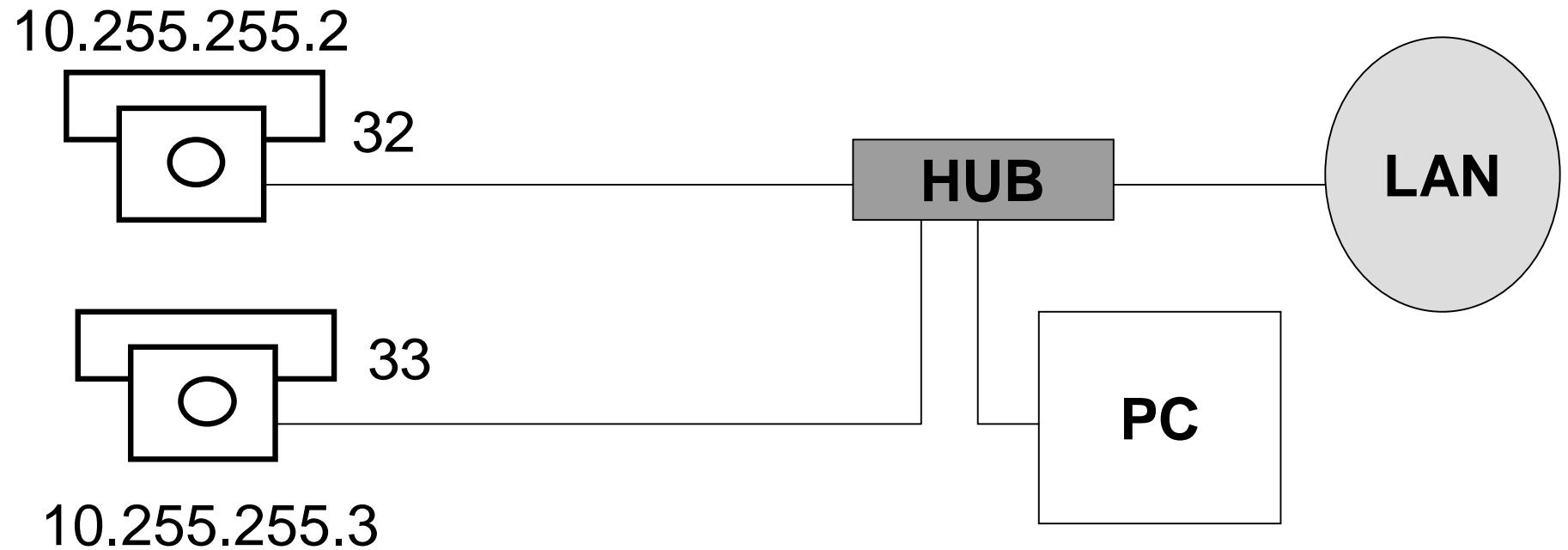
R_i, j : Temps d'arrivée des paquets i et j

S_i, j : Timestamp des paquets i et j

$$J = J + (|D(i-1,i)| - J) / 16$$



Analyse de Protocole



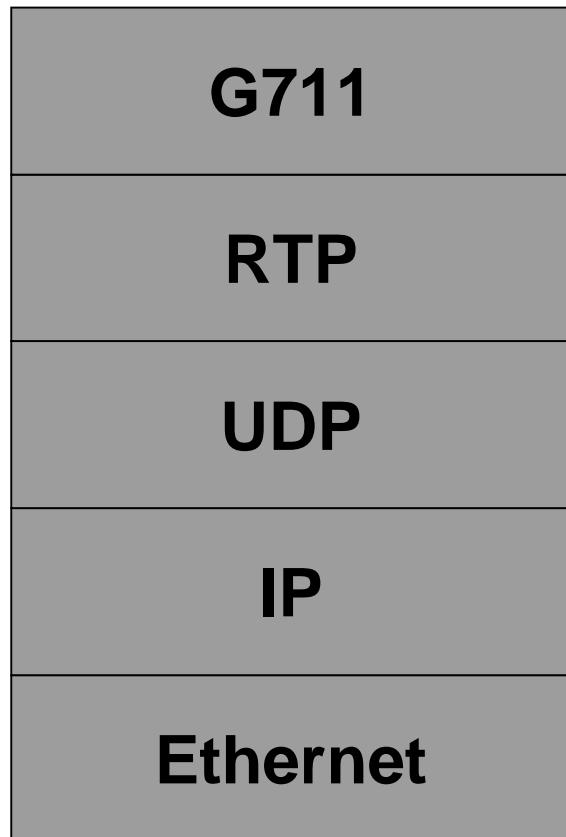
Configuration :

RTP : Port UDP 4000

RTCP : Port UDP 4001

PT : G711

Analyse de Protocole



**54 octets de protocoles
160 octets de données**

**Base de Temps du G711 :
Te=125ms**

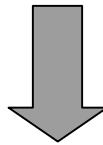
$$\text{TT}=0,125 \times 160 = 20\text{ms}$$

Longueur du paquet :

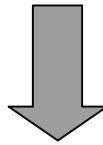
$$214 \times 0,0001 = 0,0214 \text{ ms !!}$$

Analyse de Protocole

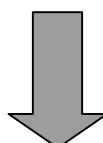
Norme G711 de l'ITU :



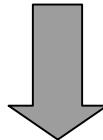
Echantillonnage de la voix



Binaire replié



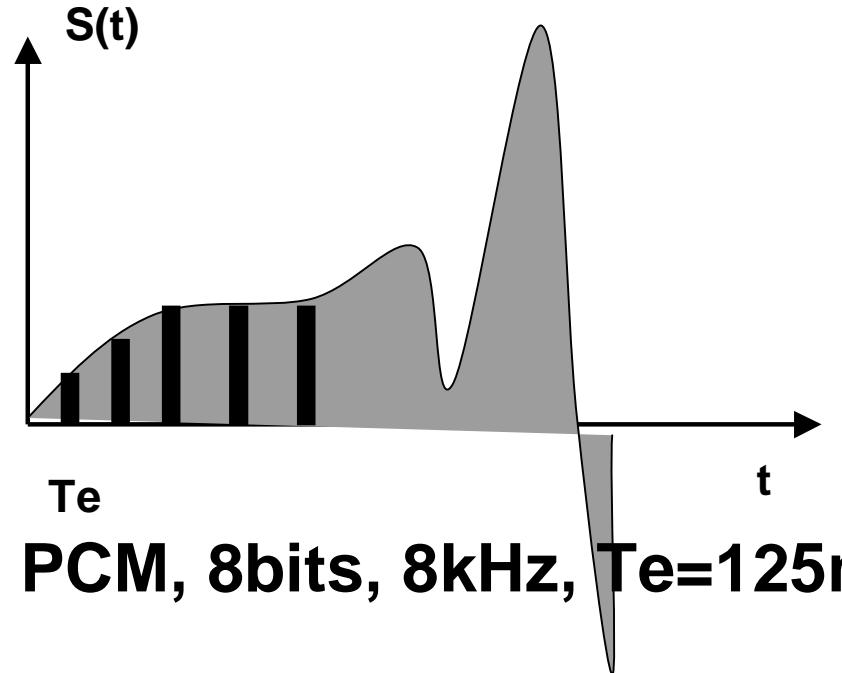
Compression log (loi A ou μ)



Inversion des bits de rangs pairs



Transmission



/* Tableau statique définissant la compression inverse de la loi A à 13 segments du CCITT*/

/* L'indice du tableau est le mot de 8 bits code en binaire replié */

```
static unsigned int loiAInv[]={  
    0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14,  
    15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29,  
    30, 31, 33, 35, 37, 39, 41, 43, 45, 47, 49, 51, 53, 55, 57,  
    59, 61, 63, 66, 70, 74, 78, 82, 86, 90, 94, 98, 102, 106, 110,  
    114, 118, 122, 126, 132, 140, 148, 156, 164, 172, 180, 188, 196, 204, 212,  
    220, 228, 236, 244, 252, 264, 280, 296, 312, 328, 344, 360, 376, 392, 408,  
    424, 440, 456, 472, 488, 504, 528, 560, 592, 624, 656, 688, 720, 752, 784,  
    816, 848, 880, 912, 944, 976, 1008, 1056, 1120, 1184, 1248, 1312, 1376, 1440, 1504,  
    1568, 1632, 1696, 1760, 1824, 1888, 1952, 2016, 2048, 2049, 2050, 2051, 2052, 2053, 2054,  
    2055, 2056, 2057, 2058, 2059, 2060, 2061, 2062, 2063, 2064, 2065, 2066, 2067, 2068, 2069,  
    2070, 2071, 2072, 2073, 2074, 2075, 2076, 2077, 2078, 2079, 2081, 2083, 2085, 2087, 2089,  
    2091, 2093, 2095, 2097, 2099, 2101, 2103, 2105, 2107, 2109, 2111, 2114, 2118, 2122, 2126,  
    2130, 2134, 2138, 2142, 2146, 2150, 2154, 2158, 2162, 2166, 2170, 2174, 2180, 2188, 2196,  
    2204, 2212, 2220, 2228, 2236, 2244, 2252, 2260, 2268, 2276, 2284, 2292, 2300, 2312, 2328,  
    2344, 2360, 2376, 2392, 2408, 2424, 2440, 2456, 2472, 2488, 2504, 2520, 2536, 2552, 2576,  
    2608, 2640, 2672, 2704, 2736, 2768, 2800, 2832, 2864, 2896, 2928, 2960, 2992, 3024, 3056,  
    3104, 3168, 3232, 3296, 3360, 3424, 3488, 3552, 3616, 3680, 3744, 3808, 3872, 3936, 4000,  
    4064 };
```

Binaire replié :

$$4096 \longrightarrow 1$$

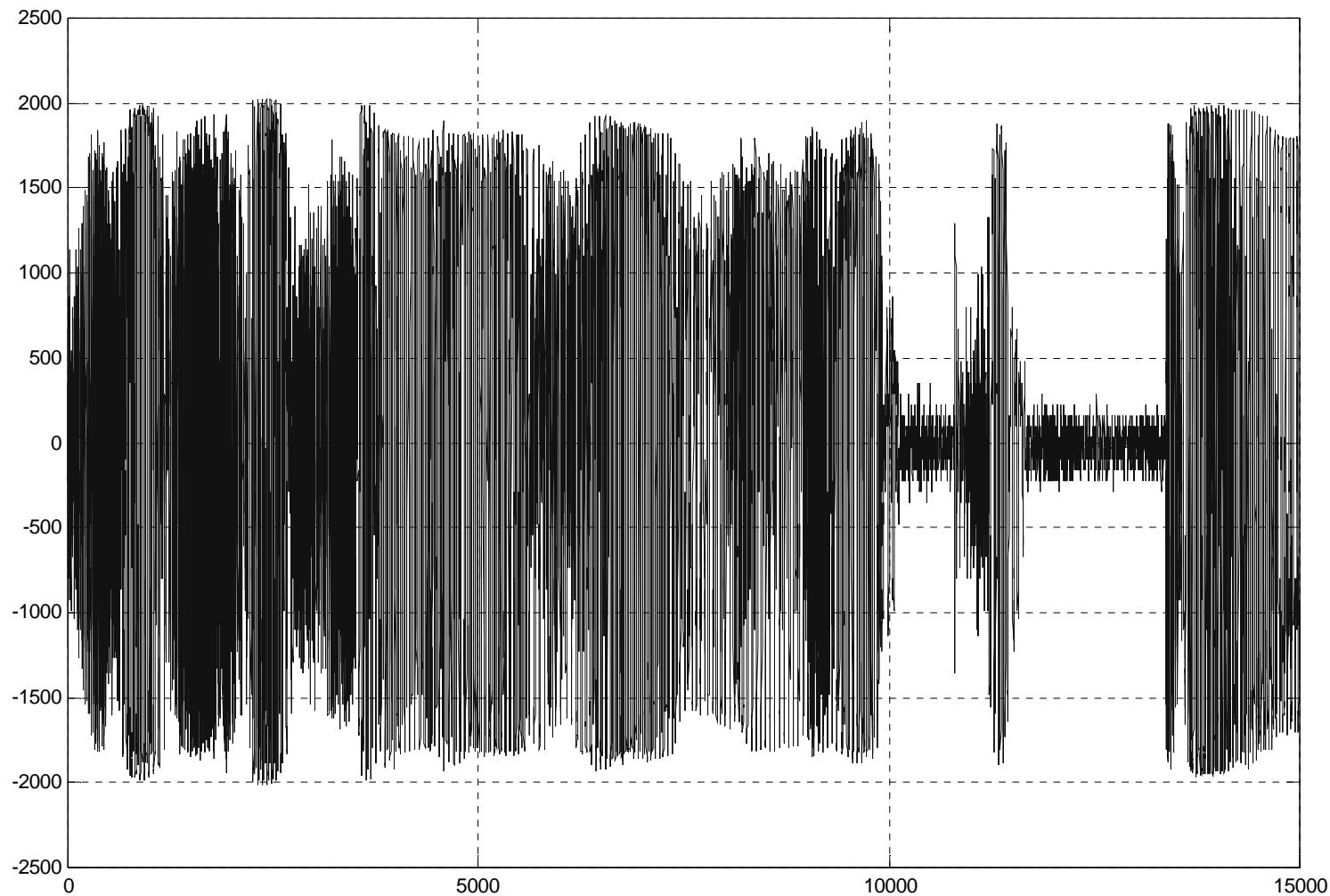
$$2048 \longrightarrow 2048$$

$$2047 \longrightarrow -2048$$

$$1 \longrightarrow -1$$

Inversion des bits de rangs pairs

Signal Audio Reconstitué



Signal Audio Filtré (filtre passe-bas du 1er ordre)

