



GSM

L'interface radio

Cours RE56 Printemps 2004

Alexandre CAMINADA

UTBM

Département Informatique

90010 SEVENANS Cedex

Plan

1. Vocabulaire

2. Méthodes d'accès
3. La transmission
4. L'architecture
5. Connexion au réseau

Vocabulaire

- Station de base ou *Base Station* ou *BS* ou *BTS*
 - Équipement fixe du réseau
 - Ensemble d'émetteurs et de récepteurs co-localisés : immeubles, tours, pylônes, murs, intérieurs des bâtiments...
 - Relais...
 - Une station peut écouler plusieurs communications simultanément

- Mobile ou *Mobile Station* ou *MS*
 - Équipement destiné à l'utilisateur et qui communique avec le réseau par voie radio
 - Composé d'un émetteur/récepteur
 - Terminal à demeure dans un véhicule (mobile)
 - Portatif : quelques Kg
 - Portables : quelques centaines de grammes

Vocabulaire

- Canal (physique)
 - Portion de ressource allouée pour une communication duplex (bilatérale) entre la station de base et le mobile (CCITT)
 - Supporte la signalisation (utile au fonctionnement du système)
 - Supporte les communications effectuées par l'utilisateur

- Canal duplex
 - Comprend 2 parties (pas recevoir et émettre simultanément sur la même fréquence)
 - Voie descendante ou *DownLink* ou *DL* : transmission de BS vers MS
 - Voie montante ou *UpLink* ou *UL* : transmission de MS vers BS

- Séparation des voies :
 - Suivant le temps : TDD *Time Division Duplex*
 - Suivant la fréquence : FDD *Frequency Division Duplex*

Vocabulaire

- Canal fréquentiel
 - Correspond à une porteuse modulée qui occupe une largeur de bande donnée
 - 12,5KHz en RADIOCOM2000 (1G)
 - 200KHz en GSM (2G)
 - 5MHz en UMTS (3G)

- Mesure de la qualité de la transmission
 - Dégradation minimale de la qualité du signal
 - Affaiblissement aussi faible que possible
 - Affaiblissement mesuré en dB (décibel) : rapport de puissance par rapport à un niveau de référence exprimé en logarithme à base 10 multiplié par 10
 - Soit u , unité de puissance, N dBu équivaut à $10^{**N}/10 u$
 - En radio, les niveaux de référence sont en Watts pour les puissances :
 - $P_{dBW} = 10\text{Log}_{10} (P_{Watt})$
 - $P_{dBm} = 10\text{Log}_{10} (P_{milliWatt} * 1000) = P_{dBW} + 30$ (*m stands for milliWatts*)

Plan

1. Vocabulaire

2. Méthodes d'accès

3. La transmission

4. L'architecture

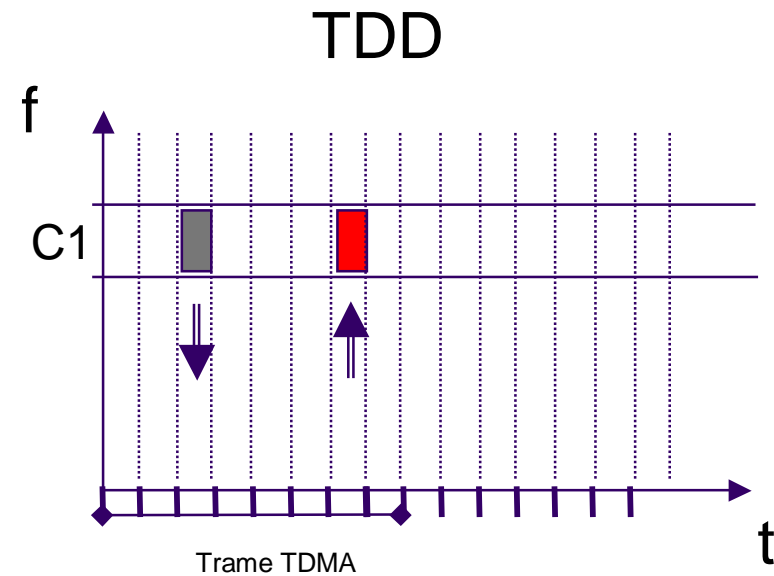
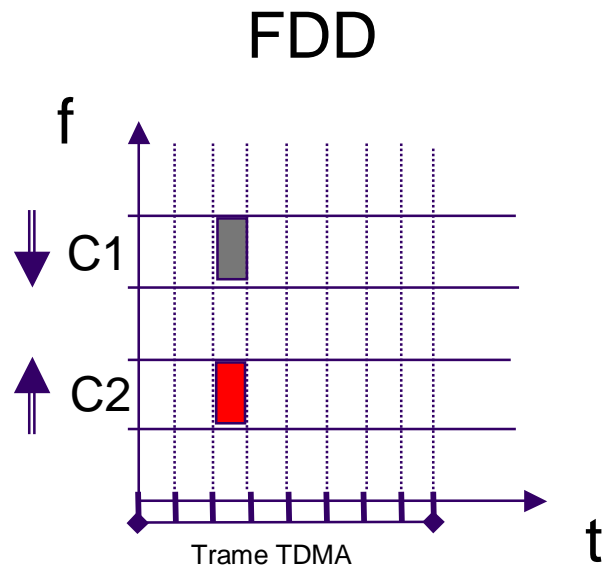
5. Connexion au réseau

Méthodes d'accès

- Principe : un opérateur utilise une bande de fréquence fournie par l'instance officielle (ART, ETSI, ITU...)
- L'interface radio (*Air Interface*) assure une fonction de modem (adapte les signaux de données au circuit de transmission, au transport)
- Le principe est gelé dans le silicium : modification coûteuse et difficile
- Méthodes de duplexage (séparer les voies DL et UL)
 - FDD *Frequency Division Duplex*, duplexage en fréquences, deux sous-bandes égales et séparées pour DL et UL ; facilite la séparation des voies
 - TDD *Time Division Duplex*, duplexage en temps, utilisation des fréquences à des instants distincts

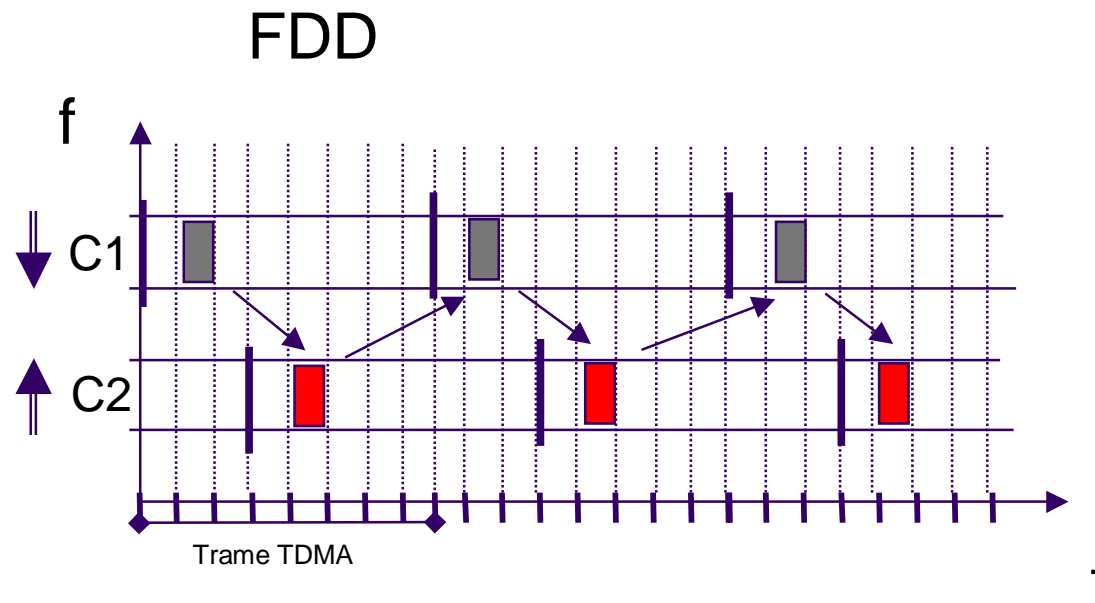
Méthodes d'accès

- Duplex FDD
 - Les 2 slots de voies DL et UL sont sur des porteuses différentes
 - L'écart entre la fréquence DL et UL est constant (écart Duplex)
- Duplex TDD
 - Les 2 slots de voies DL et UL sont sur la même porteuse mais à des instants différents



Méthodes d'accès

- En GSM (FDD), le mobile émet et reçoit avec un décalage de 3 *slots*
- Pour conserver la même numérotation des *slots* en trame DL et UL, la trame montante est décalée de $3 * \text{slots}$ (synchronisation)



Méthodes d'accès

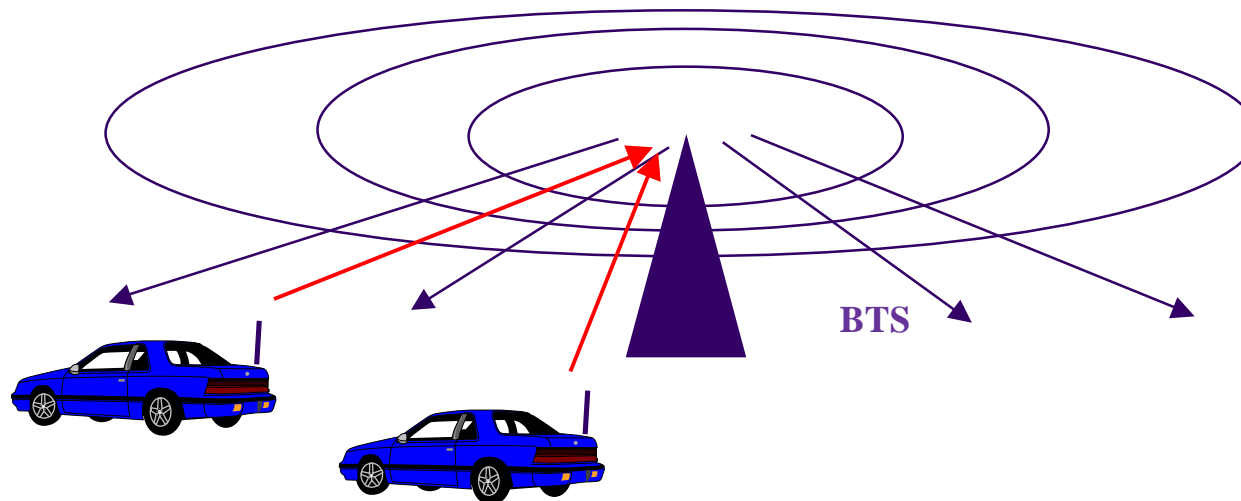
- Découpage du spectre en canaux physiques = ressource radio à utiliser pour supporter une communication
 - 3 techniques de découpage:
 - FDMA *Frequency Division Multiple Access*, partage en fréquences
 - TDMA *Time Division Multiple Access*, partage en temps
 - CDMA *Code Division Multiple Access*, partage par les codes

- Accès multiple
 - Accès = mode d'entrée dans un réseau ou de connexion à un réseau
 - Accès multiple = mode de multiplexage
 - Multiplexeur = permet de réaliser plusieurs circuits sur une même liaison
 - Circuit = association de 2 voies de transmission de sens opposé

- La technique ..MA partage la liaison entre plusieurs sources

Méthodes d'accès

- Asymétrie : les deux sens de la liaison ne jouent pas le même rôle
 - DL (*forward*): diffusion ou *broadcasting* et accès multiple
 - UL (*reverse*): accès multiple



Méthodes d'accès

- La diffusion : fonctionnalité qui exploite les caractéristiques du médium

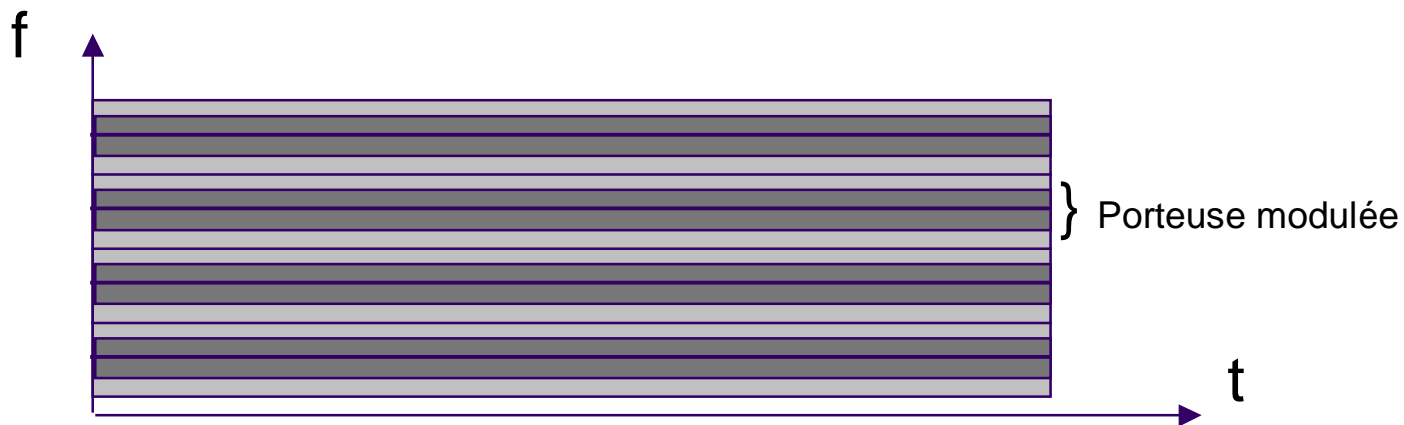
- Voie balise
 - Détection d'une porteuse (la BTS est en émission permanente sur ce canal)
 - Identification des cellules ; sert de repérage pour les mobiles
 - Synchronisation (tops de synchronisation ou diffusion de compteur)

- *Paging* (messagerie)
 - Appel personnalisé, appel unilatéral
 - Alerte, message court (*Short Message Service* – SMS)

- Diffusion d'information générale, de services
 - Information pour tous les mobiles

Méthodes d'accès

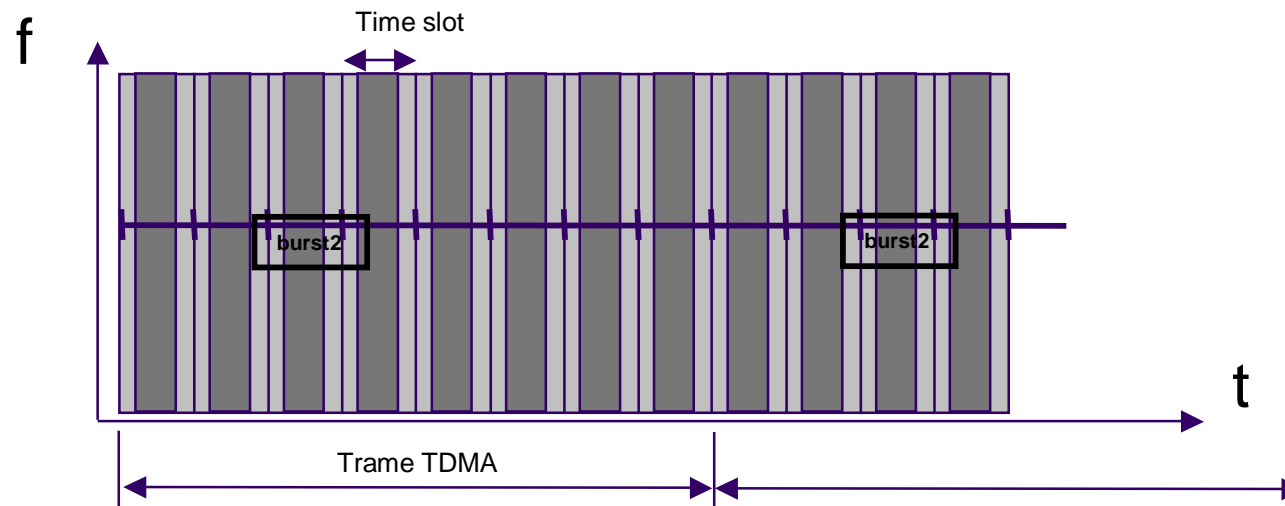
- FDMA : Partage en fréquences
 - La bande est découpée en plusieurs porteuses (*carrier*) comme en analogique
 - Une communication utilise une fréquence en permanence (CT2)
- La fréquence porteuse est au centre du segment de bande
- Canal physique = 2 fréquences en général



Méthodes d'accès

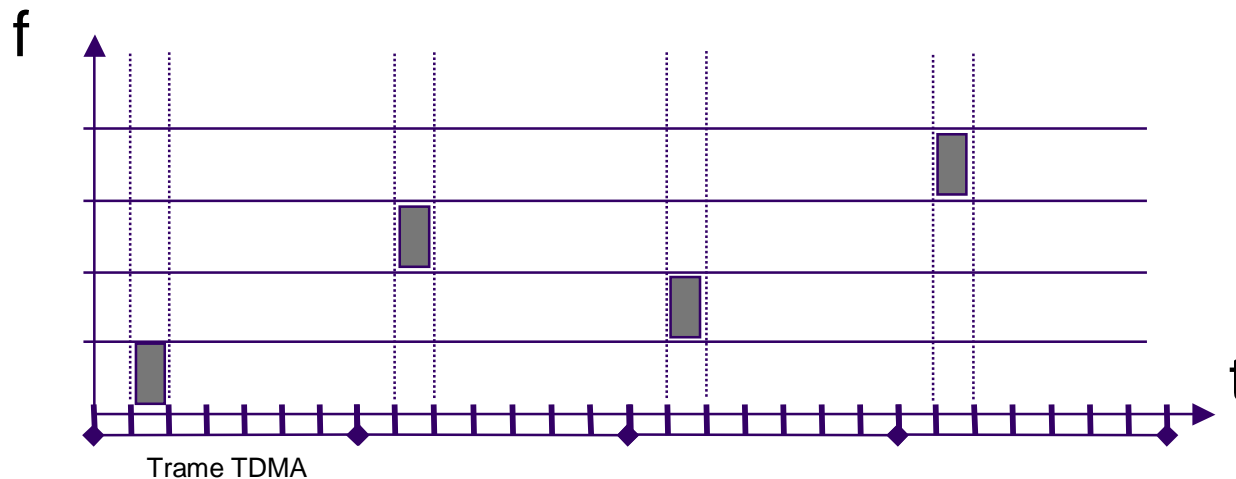
— TDMA : Partage en temps

- Une communication utilise une fréquence sur un intervalle de temps
- Chaque porteuse est partagée en une structure de *slots* émis pendant un temps donné (TS = *Time Slot*)
- Une trame TDMA est une période correspondant à un ensemble de *slots* (0-7 en GSM, soit 4,615ms)
- *Burst* = élément de signal émis dans un TS (durée de 148 bits en GSM soit 577 μ s)
- Canal physique = 2 *slots* par durée de trame TDMA sur une (TDD) ou deux fréquences (FDD)
- Demi-débit = occupation d'un slot toutes les 2 trames (codeur de parole plus performant)



Méthodes d'accès

- FH-TDMA : Partage en temps et en fréquence
 - Saut de fréquences (*Slow Frequency Hopping*) : fonction évoluée du GSM
 - Une communication utilise aléatoirement un ensemble de fréquence sur les intervalles de temps (séquence de saut)
 - Les TS d'une communication ne sont pas portés par les mêmes canaux physiques (FD-TDMA)



Méthodes d'accès

- CDMA : Partage par les codes
 - Une communication utilise toute la bande
 - Canal physique :
 - Paire de fréquences ($f_i - \Delta_{duplex}$, f_i) en FDD
 - Séquence PN (pseudo-noise) de codage des signaux
- Émergence :
 - 1950 : CDMA utilisé pour les besoins militaires
 - 1956 : un récepteur *Rake* est proposé
 - 1961 : le problème *Near/Far* pour l'étalement de spectre est mentionné
 - 1978 : proposition d'application de l'étalement de spectre au cellulaire
 - 1993 : standard CDMA IS95 bande étroite



Méthodes d'accès

Comparaison des techniques de multiplexage

- En TDMA et CDMA, la gestion des ressources est plus complexe mais offre plus de capacité
- En CDMA, le contrôle est dynamique

Multiplexage	Avantages	Inconvénients	Systemes
FDMA (bande étroite)	Simple	Sensible à l'évanouissement (fading)	Analogique (1G)
TDMA (bande moyenne)	Capacité Souple	Synchronisation Gestion des fréquences	GSM moyen DECT large IS-54 étroite Satellites
CDMA (large bande)	Capacité théorique importante Pas de gestion des fréquences Pas d'évanouissement	Traitement du signal complexe Contrôle de puissance temps réel	IS-95 étroit IMT2000 large Satellites (GlobalStar)

Plan

1. Vocabulaire
2. Méthodes d'accès

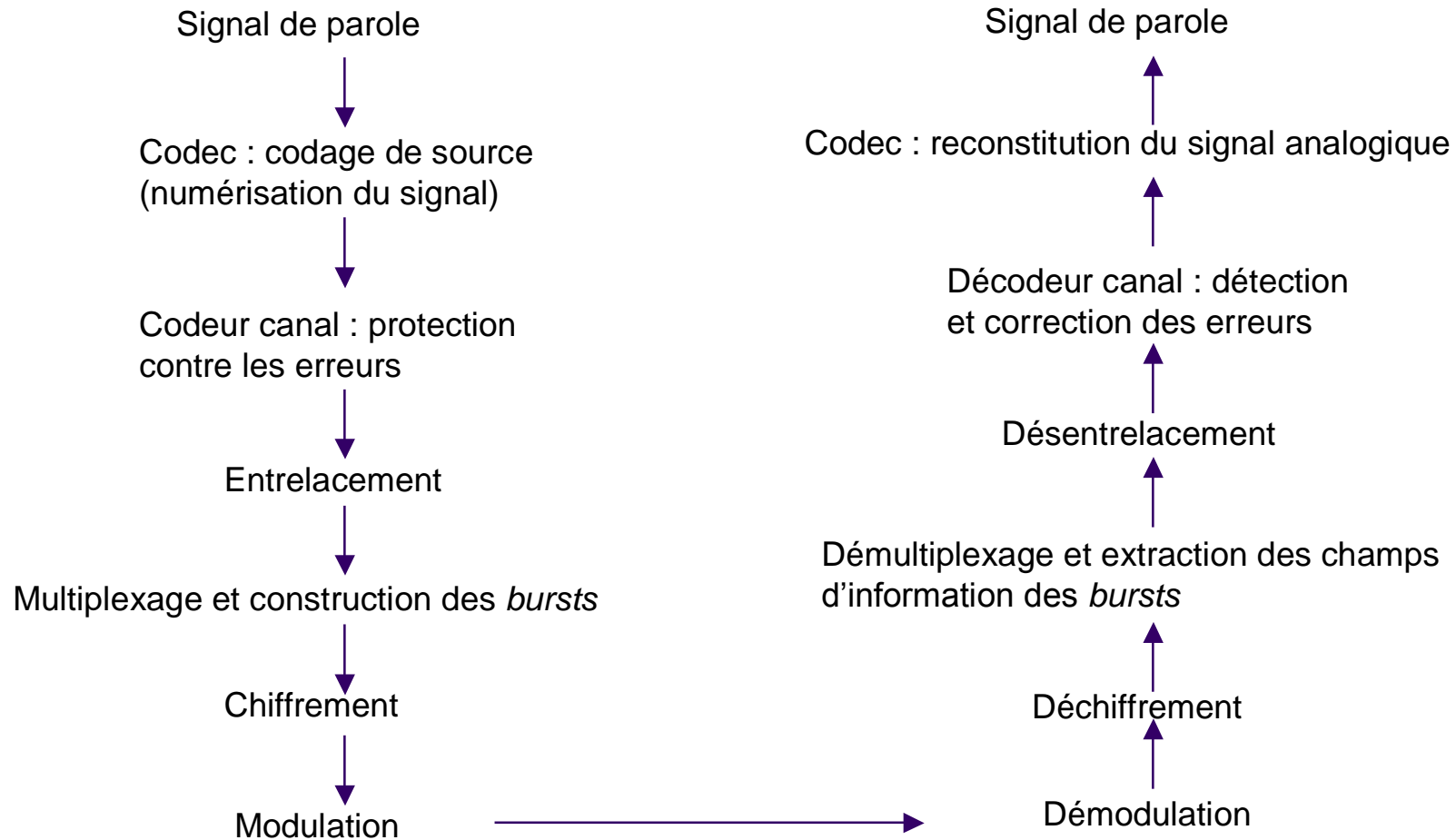
3. La transmission

4. L'architecture
5. Connexion au réseau

La chaîne de transmission

– Transmission de l'information

- Utilisation d'un codage de source (codage compressif)
- Utilisation d'un codage de canal (codage protecteur)



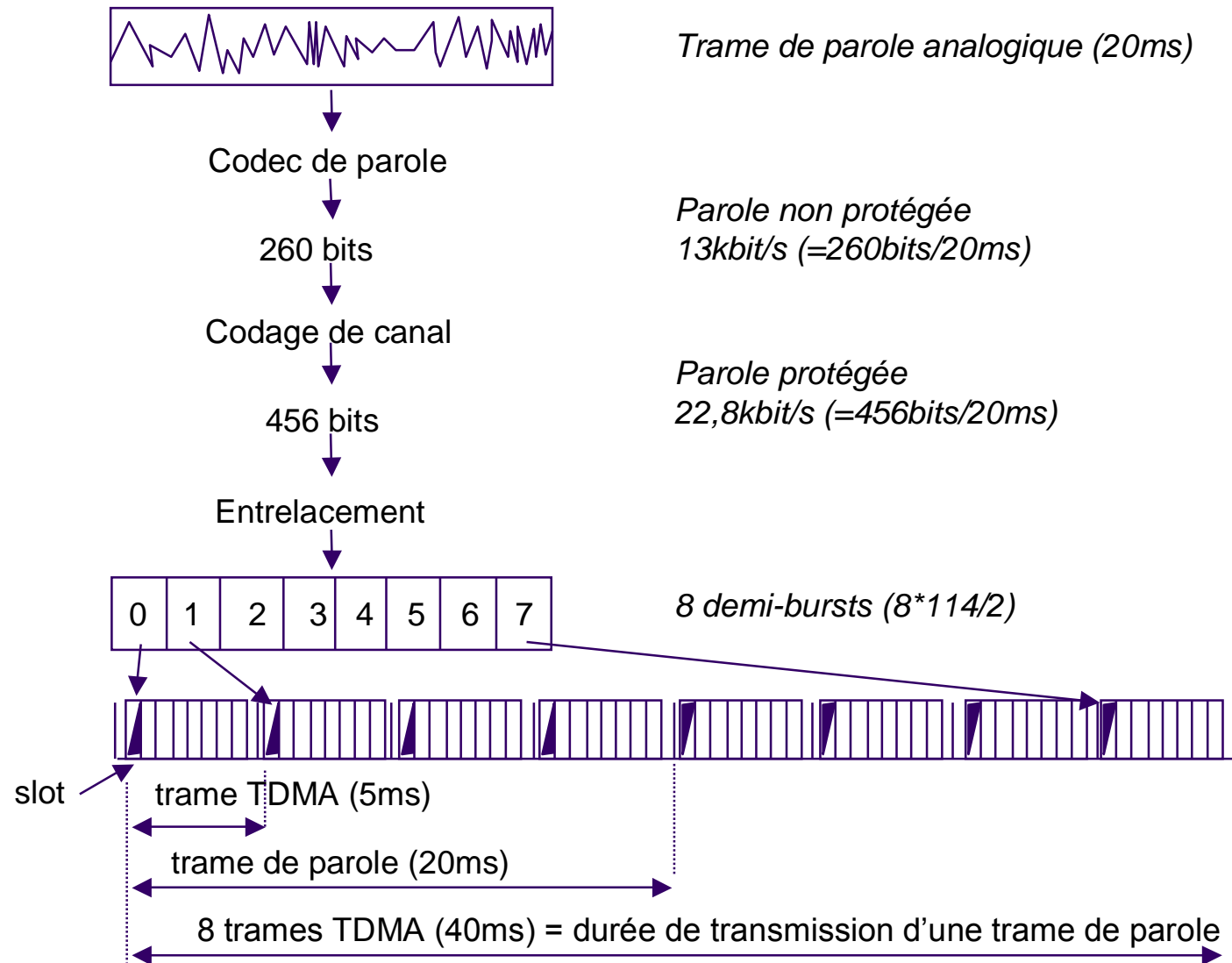
La chaîne de transmission

- Signal analogique de parole : $f(t)$ découpé en 20ms
- Le signal de 20ms doit être reçu complètement pour être traité

- 1 trame de trafic TDMA = 8 bursts * 148 bits = 1184 bits
- Les blocs de parole de 20ms ($i-1$), i , ($i+1$) sont combinés au niveau des *bursts*
 - Étalement de la transmission du signal de parole

- Pour la transmission de données et de signalisation, même principe mais avec des trames de longueur différente:
 - Données: 184 bits
 - Signalisation: 240 bits/20ms

La chaîne de transmission



La chaîne de transmission

Codage de la parole

- Le service téléphonique est le premier utilisé d'où l'importance d'un codage efficace en volume et qualité
- Systèmes analogiques
 - Modulation de fréquences ou de phase
 - Canaux de 12,5kHz à 25kHz en Europe
 - Canaux de 30kHz aux USA (AMPS, ou 10kHz en *Narrow-AMPS*)
- Systèmes numériques
 - RNIS : technique de Modulation par Impulsion et Codage (MIC ou *Pulse Code Modulation*)
 - Débit de base de 64kbit/s (un canal B ; jusqu'à 8 canaux en France soit 512kbit/s)
 - Radio : souhaite le débit le plus faible possible pour un signal donné
 - CT2, DECT, PHS : MIC adaptatif à 32kbit/s
 - Cellulaires :
 - Codec de parole qui synthétisent la parole et modulation de type PSK ou QSK
 - Le signal est découpé en trame vocale de 20ms (GSM, IS-54, IS95...)

La chaîne de transmission

Codage de la parole

- A partir du signal analogique initial
 - Échantillonnage
 - Quantification
 - Codage
- Modulation du signal : transmission radio continue avec variation des caractéristiques de l'onde radio (amplitude, fréquence, phase)
 - Amplitude (AM) et fréquences (FM) : plutôt en diffusion (*broadcast*)
 - PM : coder le digit par le changement de phase du signal radio i.e. la position dans la sinusoïde
 - Transmission de 1 (*2-Phase Shift Keying*) à 8 bits (*256-PSK*) par symbole : plusieurs états de phase discrets sont utilisés pour transporter l'information
- Plusieurs Codec en GSM
 - *Full Rate* : 13kbit/s non protégé ; 22,8kbit/s protégé
 - *Half Rate* : 6,5kbit/s ; 11,4kbit/s
 - *Enhanced Full Rate (GSM2)* : i.e. FR mais meilleure qualité (inspiré du PCS1900 US)

La chaîne de transmission

Protection et contrôle des erreurs

- Les bits sont plus ou moins sensibles aux erreurs
- Trame erronée
 - Redemandée : *Automatic Repeat Report*
 - Corrigée : *Forward Error Correction* (utilise les redondances ajoutées dans l'information)
- Fonctions mathématiques de protection du canal (FEC)
 - Input : importance, longueur des *bursts*, redondance...
 - Codes en blocs : opère sur 100 à 200 bytes à la fois du signal
 - Codes convolutionnels : quelques (un) bits à la fois
- CC : algorithmes de Andrew J. Viterbi en GSM et CDMA (Qualcomm Corp., 1967)
- Abaisse le niveau de brouillage toléré (C/I, qualité acceptable)

La chaîne de transmission

Entrelacement

- Meilleure performance des CCE en réception
- Brassier les symboles codés
 - En radio les erreurs sont souvent groupées
 - Perte des bits utiles et des bits de code
 - Reconstitution difficile (limite autour de 11 bits en GSM)
- Répartition sur plusieurs *bursts*
- Entrelacement des blocs (TCH)
 - 456 bits de parole protégée répartis en 8 colonnes sur 57 lignes, puis lus colonne par colonne, chaque colonne est stockée dans $\frac{1}{2}$ *burst*
 - $\frac{1}{2}$ *burst* A0-A3 associés à A4/A7 de (i-1)
- Entrelacement des bits 2 à 2 (i-1, i)

- Introduit un délai de traitement : environ 90ms de retard introduit par l'interface GSM

La chaîne de transmission

Construction des *bursts*

- 114 bits utiles sur 148 bits
- Format de *burst* dépendant des évolutions du système et des canaux (FCH, SCH, RACH)
- Séquence de synchronisation (apprentissage)
- *Base Station Identity Controller*
 - Code distinguant 2 BTS utilisant la même fréquence en voie balise
 - BSIC utilisé pour déterminer la séquence d'apprentissage (coloriage des *bursts*)
 - Suite fixe de 5+16+5 bits
 - 8 BSIC en GSM

3bits	58 bits de données	26 bits d'apprentissage	58 bits de données	3bits
-------	--------------------	-------------------------	--------------------	-------

La chaîne de transmission

Modulation

- Adapter le signal numérique au milieu de transmission (fréquence)
 - Respect de l'occupation spectrale
 - Signal modulé autour d'une porteuse f_0 (lobe principal contenant la presque totalité de l'énergie)
 - La bande occupée par le signal doit être faible en respect des interférences en canaux adjacents
- Modulation en phase
 - *Binary Phase Shift Keying* : phase à 2 états
 - *Quaternary PSK* : phase à 4 états
 - Sauts brusques de phase créés des lobes secondaires
- Compactage du spectre : adoucir les transitions
 - *Modulation Minimum Shift Keying*
 - *Gaussian-filtered MSK* en GSM : filtre supplémentaire qui adoucit encore les transitions de phase (1bit par symbole)
 - Décalage en fréquence de 1 canal : la puissance relative est atténuée de 18 dB

Plan

1. Vocabulaire
2. Méthodes d'accès
3. La transmission

4. L'architecture

5. Connexion au réseau

L'architecture

- L'interface radio est structurée en couches
- Éléments spécifiques à gérer :
 - Le médium : le canal radio
 - L'itinérance ou *roaming*
 - La mobilité en cours d'appel : le transfert intercellulaire ou *handover*
- L'interface air concerne les 3 couches les plus basses de l'OSI (*Open System Interconnexion*)
 - Couche physique (1) : *Medium Access Control*
 - Construction et transmission des *bursts*
 - Protection et détection des erreurs
 - Couche liaison (2) : *Logical Link Control*
 - Multitude de canaux logiques
 - Couche réseau (3) : *Management*
 - Les appels : *call control*, SMS...
 - Les mobiles : authentification, localisation...
 - Les ressources radio : allocation des fréquences, gestion du HO, rapport de mesures...

L'architecture

Le médium : qualité variable due aux perturbations

- Évanouissements dus aux trajets multiples
 - Réception simultanée de signaux d'amplitudes et de phases aléatoires (loi de Rayleigh – fading de R.)
 - Créés des évanouissements profonds du signal
 - Conduisent à des variations de plusieurs dizaines de dB
- Effet Doppler : décalage en fréquence
 - Effet dû au déplacement des émetteurs/récepteurs et aux effets des diffractions/réflexions aléatoires
 - L'onde reçue est la superposition de N ondes incidentes
 - Une raie spectrale est transformée en répartition d'énergie sur un intervalle de fréquences (plusieurs centaines de Hz)
- Effet de masque (LOS ou obstacle)
 - Contrôle de puissance
- Canal variable => taux d'erreurs variable

L'architecture

L'itinérance ou *roaming*

- Pour se connecter, le mobile :
 - Teste si le service est disponible (présence d'une BTS)
 - Choisit la BTS la plus favorable
 - Se synchronise avec le système
 - Nécessite une voie balise dans le système (repère)
 - BCCH *Broadcast Channel* en GSM
 - FCC *Forward Control Channel* en AMPS
 - Q en DECT
 - PILOT dans CDMA
- Pour être appelé (appel entrant)
 - Le système alerte les mobiles en veille
 - Canaux de messages d'appel en diffusion (PCH *Paging Channel* en GSM)

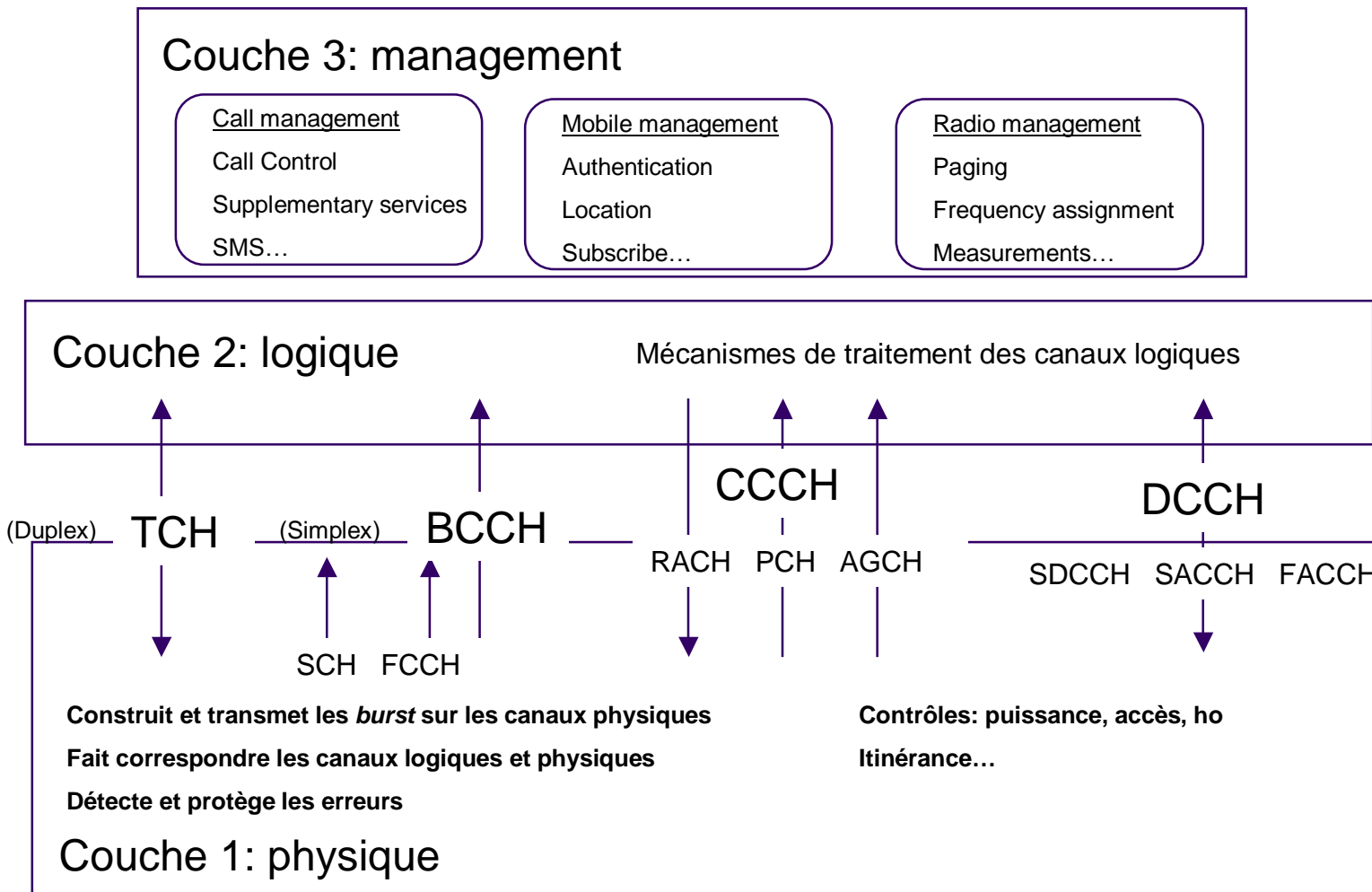
L'architecture

La mobilité : déplacement du mobile en cours d'appel

- Le Transfert Cellulaire Automatisé ou *Handover* permet le changement de cellules sans perdre la communication
 - Transfert sur niveau de champ : mesure du RXLEV (*Received Signal Level*)
 - Transfert sur qualité : mesure du RXQUAL (*Received Signal Quality*)
- Les tâches suivantes sont traitées
 - Evaluer la qualité des canaux de trafic (TCH *Traffic Channel*)
 - Scruter les voies balises des cellules avoisinantes (BCCH)
 - Transmettre les mesures (*Mobile Assisted HandOver*) : UL
 - Transmettre la signalisation ou les commandes correspondantes au handover (BTS initiale, BTS cible...) : DL
- Nécessite des canaux de contrôle spécifiques
 - SACCH, FACCH (*Slow & Fast Associated Control Channel*) dans le GSM
 - Canaux associés à un TCH ou à un SDCCH (*Stand Alone Dedicated Control Channel*)

L'architecture

- Un canal physique supporte un canal de trafic (TCH) et des canaux logiques de contrôle ou la signalisation (BCCH)



L'architecture

- Les canaux logiques sont définis suivant le type d'informations qu'ils transportent:
 - Canaux de trafic : informations voix ou data envoyées par l'utilisateur
 - Canaux de signalisation
 - Canaux de contrôle

- Canal de diffusion BCCH (Broadcast Channel)
 - Voie balise = 1 fréquence descendante en émission permanente
 - Diffusion des caractéristiques de la cellule
 - Accès au réseau
 - Suivi du déplacement
 - Gestion du transfert intercellulaire
 - Émis en permanence
 - Scruté en permanence : examen de la puissance des BCCH de cellules voisines durant la phase « monitor » (fréquences différentes des siennes)

L'architecture

Les canaux logiques de contrôle

— Fonctions

- Assurer un contrôle de lien au niveau physique
- Assurer les fonctions d'itinérance et HO

— Types

- Contrôle en diffusion (Broadcast CCH) : toujours présent
- Contrôle commun (Common CCH) : accès et *paging* (messages d'alerte pour tous)
- Canaux dédiés (Dedicated to a call) : spécifiques à un appel ou un abonné
- Canaux associés (Associated with a traffic channel) : contrôle du canal associé

— Support

- *Burst* : SACCH en IS54, champ A en DECT
- Toutes les N trames:
 - GSM : SACCH avec TCH (26 TDMA), BCH et SDCCH (51 TDMA)
 - DECT : 16 TDMA
- Vols de capacité : FACCH en GSM et IS54

L'architecture

Les canaux logiques du GSM et DCS1800

Classe	Sous-classe	Voie	Fonction
Trafic	TCH Traffic (pour voix codée et pour données) Débit utilisateur 13kbit/s	DL/UL	FR: 22,8kbit/s HR: 11,4kbit/s
Diffusion	BCCH Broadcast Control FCCH Frequency Correction SCH Synchronisation	DL	Information sur la cellule Corrige la fréquence porteuse Donne l'identité de la BTS (BSIC) et synchronise la TDMA
Commun	PCH Paging AGCH Access Grant CBCH Cell Broadcast RACH Random Access	DL UL	Alerte le mobile Allocation de ressource SMS Permet l'accès au réseau
Dédié	SDCCH Stand Alone Dedicated SACCH Slow FACCH Fast	DL/UL	Signalisation (1/8 TCH) Contrôle la qualité reçue et la puissance Information de HO

L'architecture

Canaux	Fonctions	GSM	IS54	DECT	IS95
Diffusion	Voie balise	BCCH SCH FCCH	FCC	Q	Pilot tone+ SCH
Commun	Accès	RACH AGCH			RACH
	Paging	PCH		PCH	
Dédié	Trafic	TCH		B-Field	FTC RTC
	Signalisation	SDCCH			
Associé	Lent	SACCH	SACCH		
	Rapide HO	FACCH	FACCH		

Plan

1. Vocabulaire
2. Méthodes d'accès
3. La transmission
4. L'architecture

5. Connexion au réseau

Connexion au réseau

La connexion suit des étapes chronologiques

1. Sélection d'une BTS
2. Synchronisation
3. Acquisition des informations « système »
4. Accès
5. Échange de signalisation sur canal dédié (SDCCH)
6. Communication sur un TCH

1. Sélection d'une BTS

- Le mobile est allumé
- Écoute des 124 fréquences descendantes (ou fréquences opérateur)
- Sélection de la fréquence la mieux reçue en BCCH (en principe)

Connexion au réseau

2. Synchronisation

- Détection d'un FCCH descendant (sur le BCCH sélectionné)
- Calage en fin de fréquence
- Synchronisation grossière en temps (quelques 10 μ s) : début et fin de slot
- Recherche et décodage d'un SCH descendant (sur le BCCH sélectionné)
- Synchronisation fine en temps (quelques μ s) (en GSM remise à 0 de l'horloge de synchronisation toutes les 3h)
 - Décodage des informations transportées sur le SCH
 - N° de séquence d'apprentissage utilisée dans les *bursts*
 - N° de trame (FN)

Connexion au réseau

3. Acquisition d'information locale du système

- BTS choisie et BTS voisines
- Recherche et décodage d'information sur le BCCH descendant
 - Autorisation ou non d'accès (interdiction en cas de saturation)
 - Liste des fréquences BCCH des voisines
 - Paramètres de puissance de la liaison (min, max)
 - Structure du canal logique CCCH (en particulier emplacement des RACH montant)

4. Accès : tentative d'accès sur un RACH montant

- a. Le mobile émet un *burst* court contenant un nombre aléatoire sur un canal RACH montant
- b. Si le *burst* est mal reçu, alors la BTS ne répond pas, et une nouvelle tentative est effectuée après un délai aléatoire (retour en a)

Connexion au réseau

4. Accès (suite)

- c. Si la BTS reçoit correctement (pas de collision, puissance suffisante), alors:
- d. La BTS répond sur un AGCH descendant un message contenant
 - Le n° de TS du MS
 - La valeur du TA pour l'alignement des slots
 - La loi de saut de fréquences
 - Le n° de SDCCH montant/descendant alloué

5. Échange de signalisation sur le canal dédié SDCCH

- Recherche Identité, échanges cryptographiques
- (ré-) Inscription (*location updating*)
- Si appel entrant ou sortant, attribution d'un TCH

6. Communication montante/descendante sur le TCH