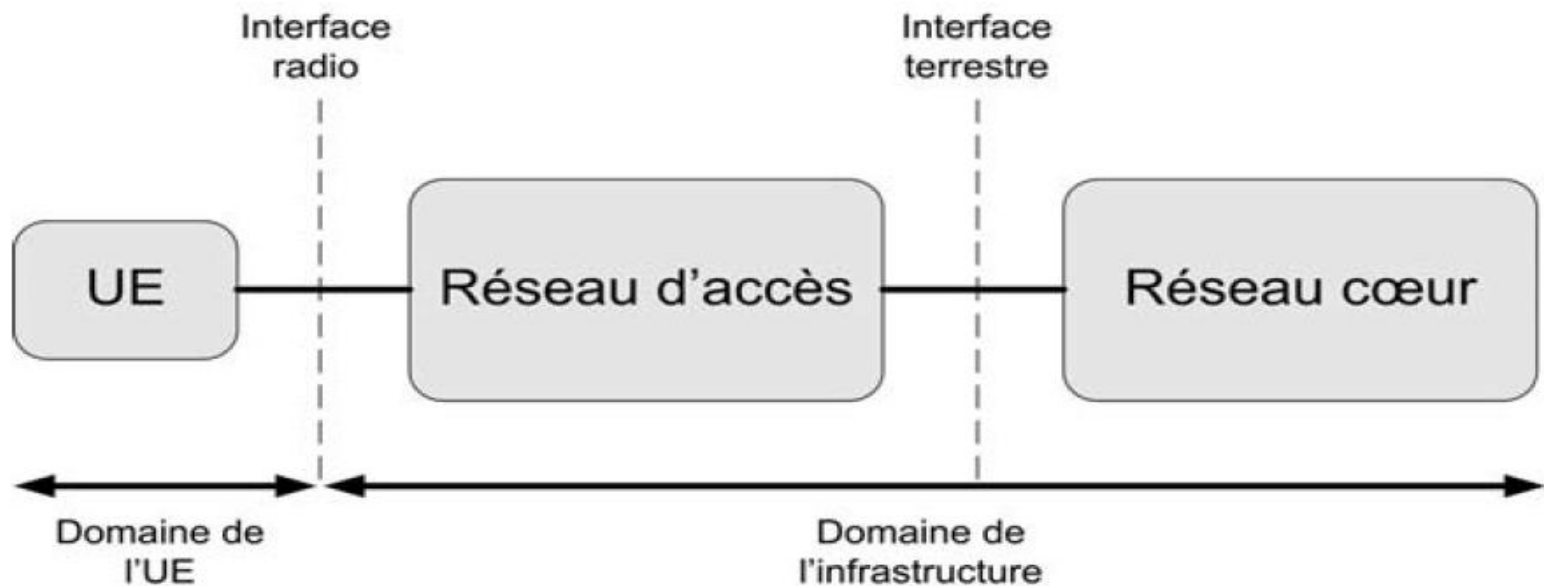


Réseaux Cellulaires: 2G

Module: Réseaux sans fil

Introduction:

- L'architecture d'un réseau mobile inclut trois entités fonctionnelles:
 - ❖ Le terminal mobile, appelé aussi équipement utilisateur, en anglais **UE** (*User Equipment*).
 - ❖ Le réseau d'accès ou **RAN** (*Radio Access Network*).
 - ❖ Le coeur du réseau ou **CN** (*Core Network*).



Introduction :

❑ Le Canal Radio

- Le signal modulé occupe une plage de fréquences égale à deux fois la fréquence maximum du signal à transmettre. On loge donc le signal modulé dans une étroite partie **du spectre radio**, centrée sur la **fréquence de la porteuse** qu'on appelle **canal radio**. Le canal radio est identifié par la fréquence de la porteuse.
- L'utilisation d'un canal doit suivre des règles nationales et internationales afin que la cohabitation de plusieurs sources de communications radio puissent se faire harmonieusement.
- Certaines bandes de fréquences sont libres à conditions de respecter certaines règles notamment en matière **de puissance**.
- D'autres bandes sont **sous licence sont attribué par** des organismes

User Equipment ou Mobile Station:

- ❑ On distingue également deux domaines
 - ❖ Le domaine de l'UE: inclut les équipements propre à l'utilisateur.
 - ❖ Le domaine de l'infrastructure: comprend les équipements propre à l'opérateur.
- ❑ L'UE est interconnecté au RAN par l'intermédiaire de *l'interface radio*. L'élément d'interconnexion du RAN avec l'interface radio est la station de base.
- ❑ Le RAN et le CN sont interconnectés par une ou plusieurs interfaces terrestres.


Remarque:

Dans ce qui suit nous allons étudier la répartition fonctionnelle entre l'UE, le RAN et le CN.

User Equipment ou Mobile Station:

□ La station Mobile /UE:

• Fonctions:

- ❖ Accès aux services du réseau.
- ❖ Supervision des signaux émis et reçus.
- ❖ Affichage des messages.
- ❖ Transmission MS  BS

• MS = 2 composants

- ❖ Equipement possédant son identité internationale IMEI.
- ❖ Carte SIM (*Subscriber Identity Mobile*) comprenant:
 - L'identité de l'abonné IMSI
 - La Clé Ki (*Individual Subscriber Authentication Key*) servant à l'authentification et au chiffrement de la liaison radio.

User Equipment ou Mobile Station:

□ Numéros associés à un mobile et à un abonné:

- **IMEI** (*International Mobile Equipment Identity*) identifie l'appareil. Il est composé de 15 chiffres. 8 chiffres donnés par l'autorité de certification, un numéro de série sur six chiffres et un chiffre de contrôle de redondance.
- **IMSI** (*International Mobile Subscriber Identity*): 3 chiffres pour le pays, 2 chiffres pour l'opérateur et 10 chiffres pour l'abonné.
- **MSISDN** (*Mobile Station ISDN Number*) # de téléphone à composer pour appeler le mobile. Ce # n'est pas stocké dans la SIM. La correspondance entre MSISDN et IMSI n'est connue que par le HLR.
- **MSRN** (*Mobile Station Roaming Number*) numéro utilisé pour router les communications vers un mobile sorti de son réseau.

Canal Radio:

❑ Le Canal Duplex

- Une transmission radio utilise deux voies:
 - **Le sens montant** pour transporter l'information du terminal vers la station de base (**UL UpLink**).
 - **Le sens descendant** pour transporter l'information du relais vers le terminal (**DL Down Link**).

Remarque:

Une communication doit utiliser deux voies pour fonctionner :

Une dans le sens montant et l'autre dans le sens descendant

C'est ce qu'on appelle un canal Duplex.

Canal Radio:

❑ Le Canal Duplex

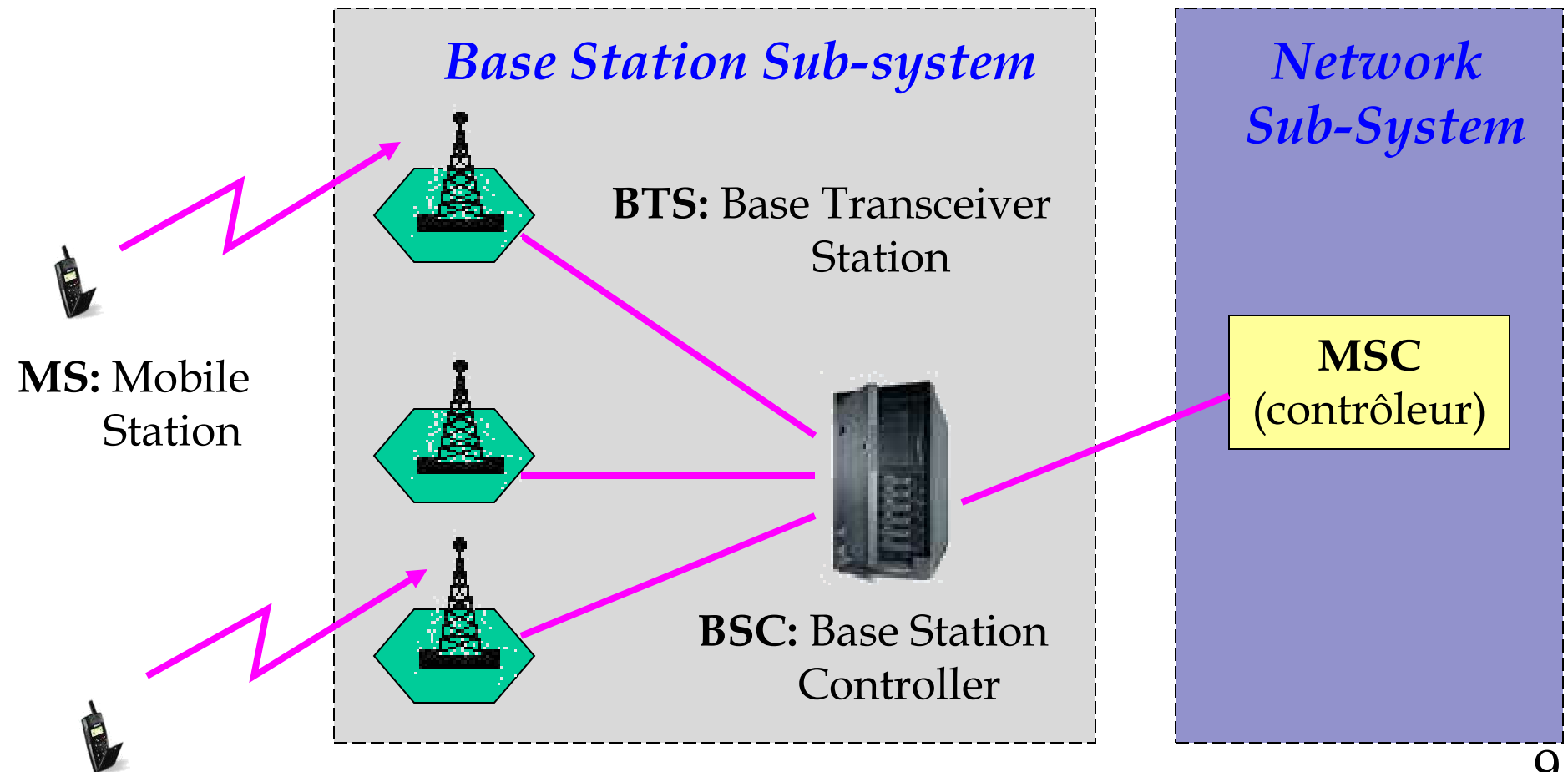
➤ Il existe deux façon de définir un **Canal Duplex**:

- Affecter deux canaux radio séparés par un écart dit **écart duplex**. Ce mode utilise deux canaux centrés sur deux fréquences différentes, est appelé **FDD** (*Frequency Division Duplex*).
- Utiliser un canal unique utilisé alternativement dans le sens montant et dans le sens descendant. Ce mode s'appelle **TDD** (*Time Division Duplex*)

Architecture:

RAN : Le sous système radio BSS (*Base Station Sub-system*)

Gérer l'accès au réseau via l'interface air



Architecture:

RAN : Le sous système radio BSS (Base Station Sub-system)

Le BSS (Base Station Subsystem)

- **MS : Mobile Station**
 - La carte SIM: carte à puce qui contient les informations relatives à l'abonné.
 - Le téléphone fournit les capacités radio et logicielles nécessaires à la communication.
- **BTS : Base Transceiver Station**
 - C'est un relais radioélectrique qui contient les éléments radio (antennes, LNA, câbles, PA) et les éléments logiciels.
- **BSC : Base Station Controller**
 - Le BSC gère l'interface radio en commandant la BTS et le MS. Le BSC assure l'attribution et la libération des canaux radio ainsi que la gestion des transferts de communications (HandOver).

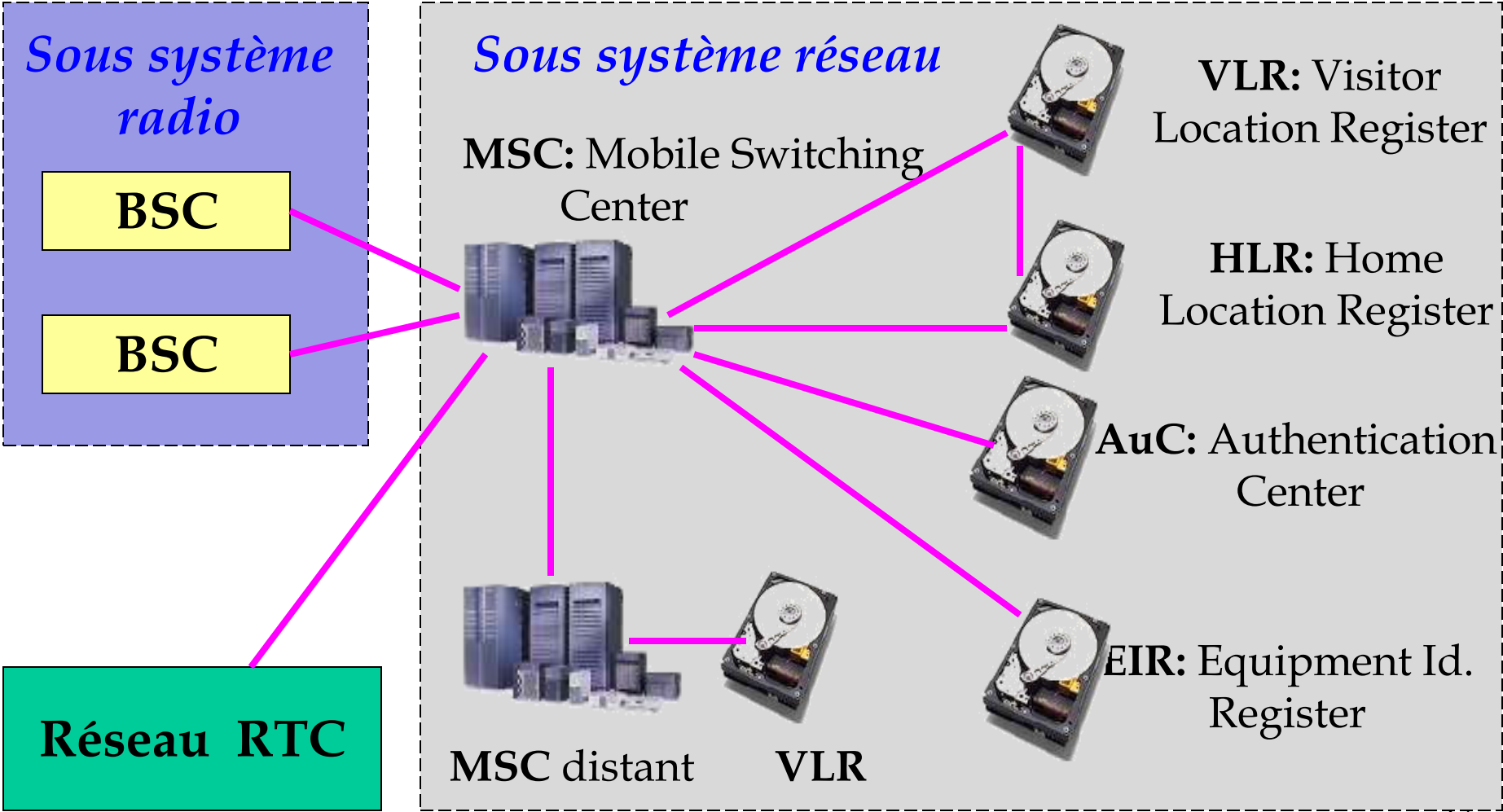
Architecture:

RAN : Le sous système radio BSS (Base Station Sub-system)

- ❑ BSC (Base Station Controller) pilote un ensemble de stations de base (typiquement 20 à 30)
 - C'est un carrefour de communication:
 - concentrateur de BTS
 - aiguillage vers la BTS de destinataire
 - Gestion des ressources radio: affectation des fréquences, contrôle de puissance...
 - Gestion des appels: établissement, supervision, libération des communications, *etc.*
 - Gestion des transferts intercellulaires (handover)
 - Mission d'exploitation

Architecture:

CN : Le sous système réseau NSS (Network Sub-System)



Architecture:

CN : Le sous système réseau NSS (Network Sub-System)

- ❑ MSC (Mobile Switching Center) commutateur numérique en mode circuit
 - Oriente les signaux vers les BSC
 - Établi la communication en s'appuyant sur les Bases Données
- Assure l'interconnexion avec les réseaux téléphoniques fixes (RTC), les réseaux de données ou les autres PLMN
- Assure la cohésion des BD du réseau (HLR, VLR)
- Participe à la gestion de la mobilité et à la fourniture des téléservices
- Fournit 3 types de services:
 - Services de support (transmission données, commutation...)
 - Téléservices (téléphonie, télécopie...)
 - Compléments de services (renvoi/restriction d'appels...)

Architecture:

CN : Le sous système réseau NSS (Network Sub-System)

□ HLR (Home Location Register): base de données contenant les informations relatives aux abonnés

données statiques: IMSI, no d'appel, type abonnement...

données dynamiques: localisation, état du terminal...

- Le HLR sert de référence pour tout le réseau
- Dialogue permanent entre le HLR et les VLR

Architecture:

CN : Le sous système réseau NSS (Network Sub-System)

- ❑ VLR (Visitor Location Register) : base de données locale
En général, un VLR par commutateur MSC
- Contient les informations relatives aux abonnés présents dans la *Location Area* (LA) associée
Même info que dans HLR
 - + identité temporaire (TMSI)
 - + localisation
- Le VLR est mis à jour à chaque changement de cellule d'un abonné

Architecture:

CN : Le sous système réseau NSS (Network Sub-System)

- AUC (AUthentication Center) contrôle l'identité des abonnés et assure les fonctions de cryptage

- **Authentication de l'abonné:**
 - v Subscriber Identity Module (carte SIM) contient plusieurs clés secrètes

- **Cryptage des données** au niveau du terminal

Architecture:

CN : Le sous système réseau NSS (Network Sub-System)

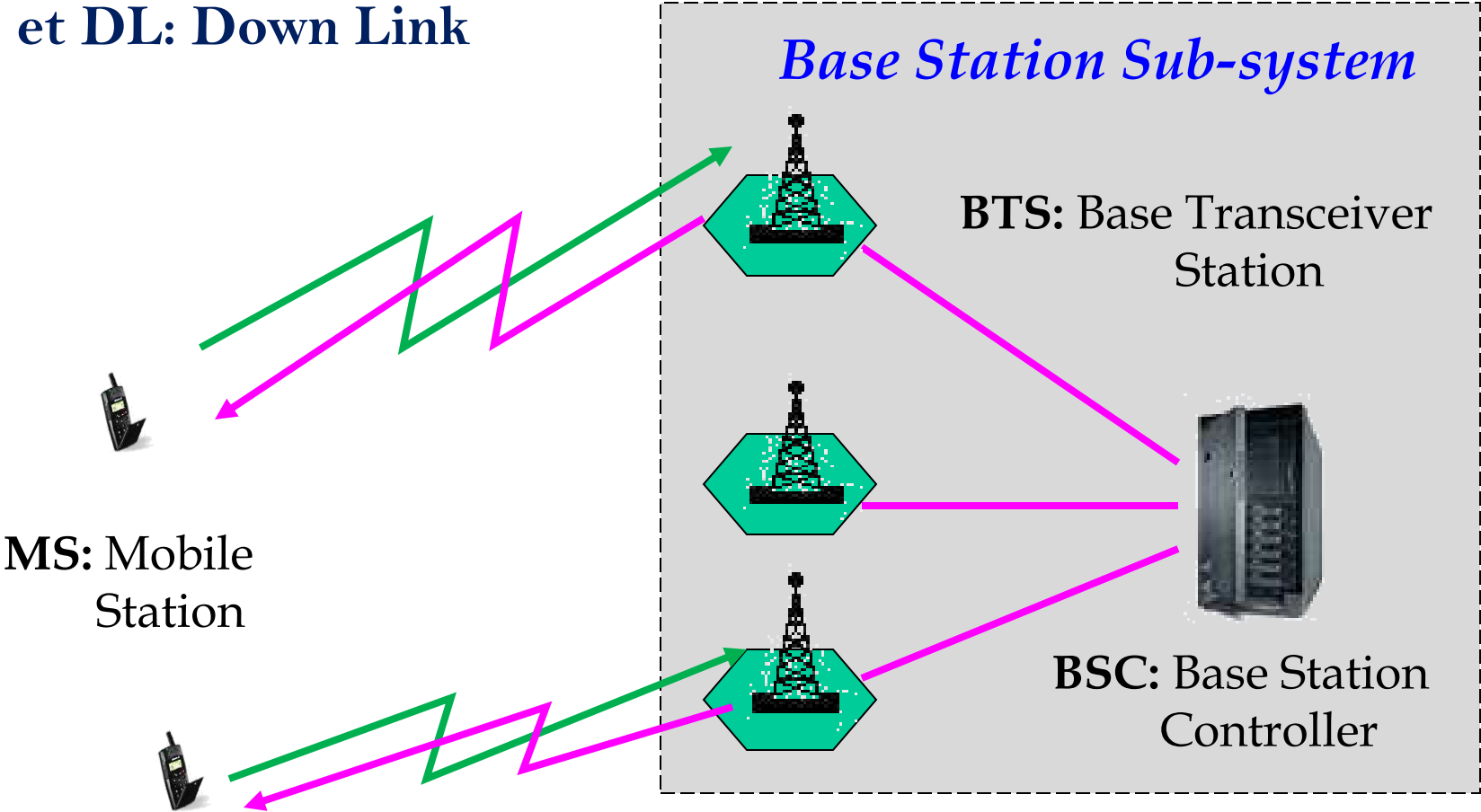
- ❑ EIR (Equipment Identity Register) empêche l'accès au réseau des terminaux non autorisés (terminaux volés)
- A chaque terminal correspond un numéro d'identification: le IMEI (International Mobile Equipment Identity)
- A chaque appel, le MSC contacte le EIR et vérifie la validité du IMEI

Liaison Radio:

Liaison Radio:

UL: Up Link

et DL: Down Link



La liaison Radio :

❑ Caractéristiques de la liaison radio en GSM

➤ Duplexage

Partage de la ressource radio entre émission et réception (Voies montantes et voies descendantes)

➤ Accès multiple (Multiplexage)

Partage de la ressource radio entre différents utilisateurs (plusieurs MS sur une même cellule)

- Partage en **temps**.
- Partage en **fréquence**.

La liaison radio :

□ Le Canal Duplex

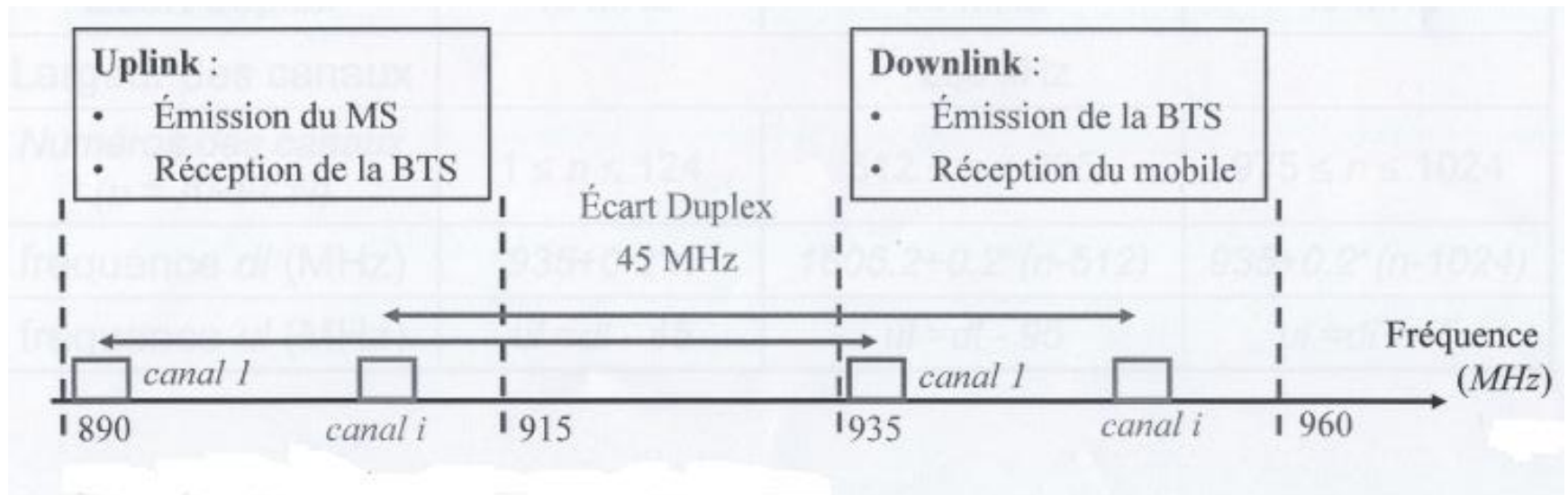
➤ Il existe deux façon de définir un **Canal Duplex**:

- Affecter deux canaux radio séparés par un écart dit **écart duplex**. Ce mode utilise deux canaux centrés sur deux fréquences différentes, est appelé **FDD** (*Frequency Division Duplex*).
- Utiliser un canal unique utilisé alternativement dans le sens montant et dans le sens descendant. Ce mode s'appelle **TDD** (*Time Division Duplex*)

La liaison Radio :

□ Duplexage en fréquence FDD

- Deux sous-bandes fréquentielles séparées → Canaux duplex
 - Débit identique en émission et en réception.
 - Ecart constant: facilite la séparation des voies
- GSM 900:

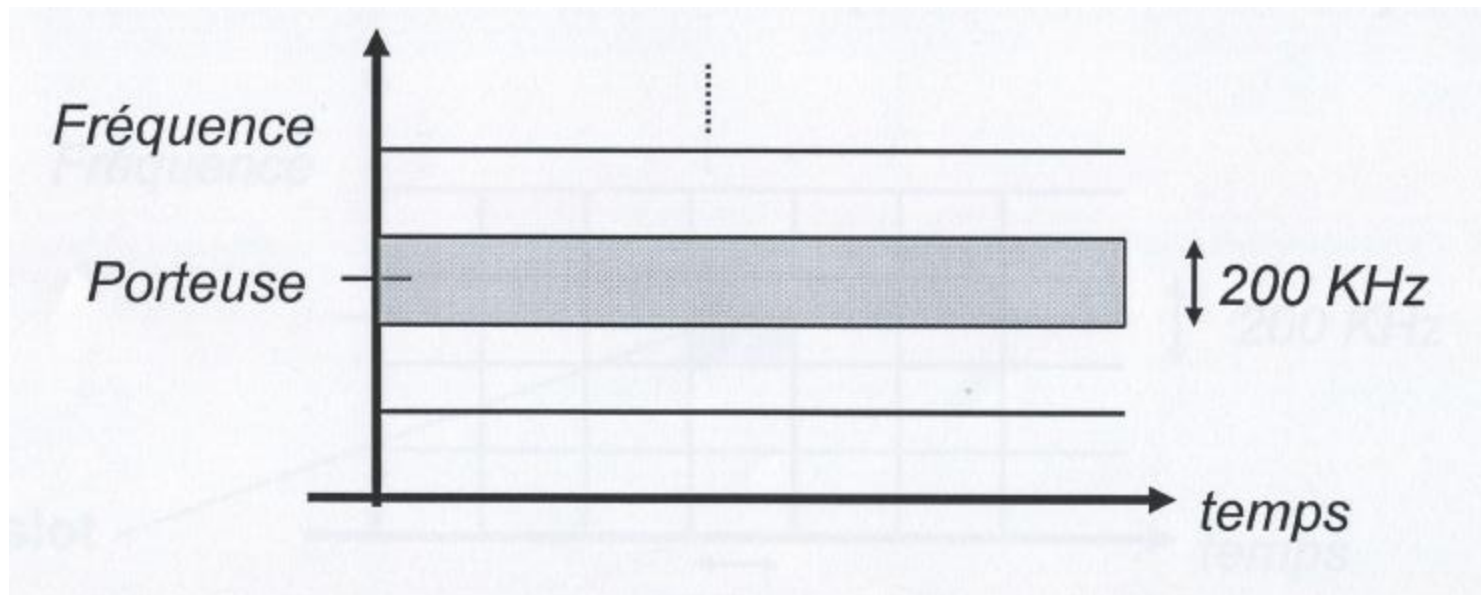


La liaison Radio :

□ Accès multiple FDMA

➤ Partage en fréquence FDMA (*Frequency Division Multiple Access*)

- La bande allouée est séparée en sous-bandes de 200 kHz: **les canaux.**

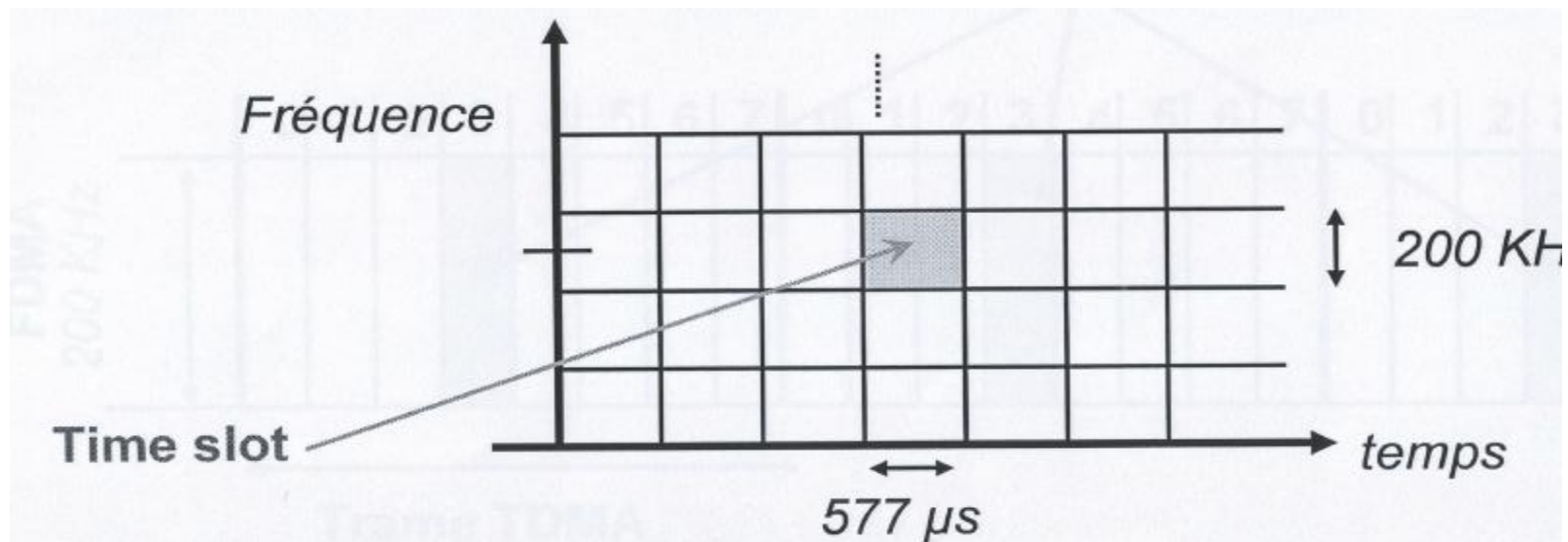


La liaison Radio :

□ Accès multiple TDMA

➤ Partage en temps TDMA (*Time Division Multiple Access*)

- Chaque sous-bande fréquentielle (ou porteuse) est est divisée en intervalles de temps (**Timeslots**).
- Un timeslot accueille un burst (156 bits modulés)



La liaison Radio :

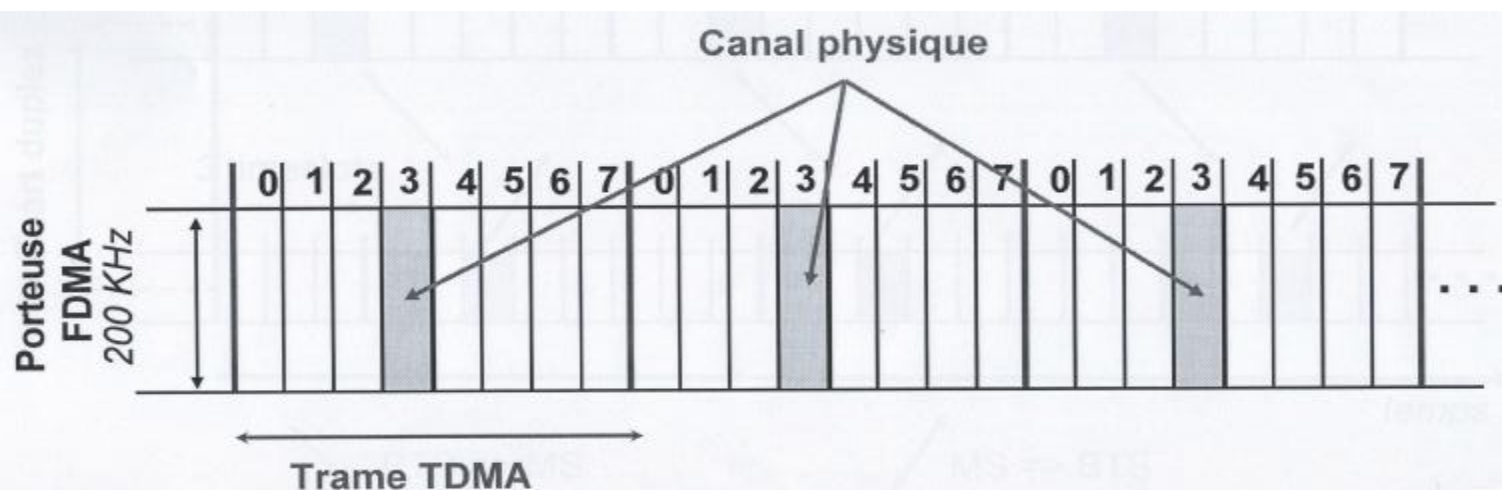
□ Accès multiple TDMA

➤ Partage en temps TDMA (Time Division Multiple Access)

■ Trame TDMA= 8 timeslots (numérotée de 0 à 7)

- Durée d'une trame : 4,615 ms.
- Trame TDMA : 1.25 kbit.

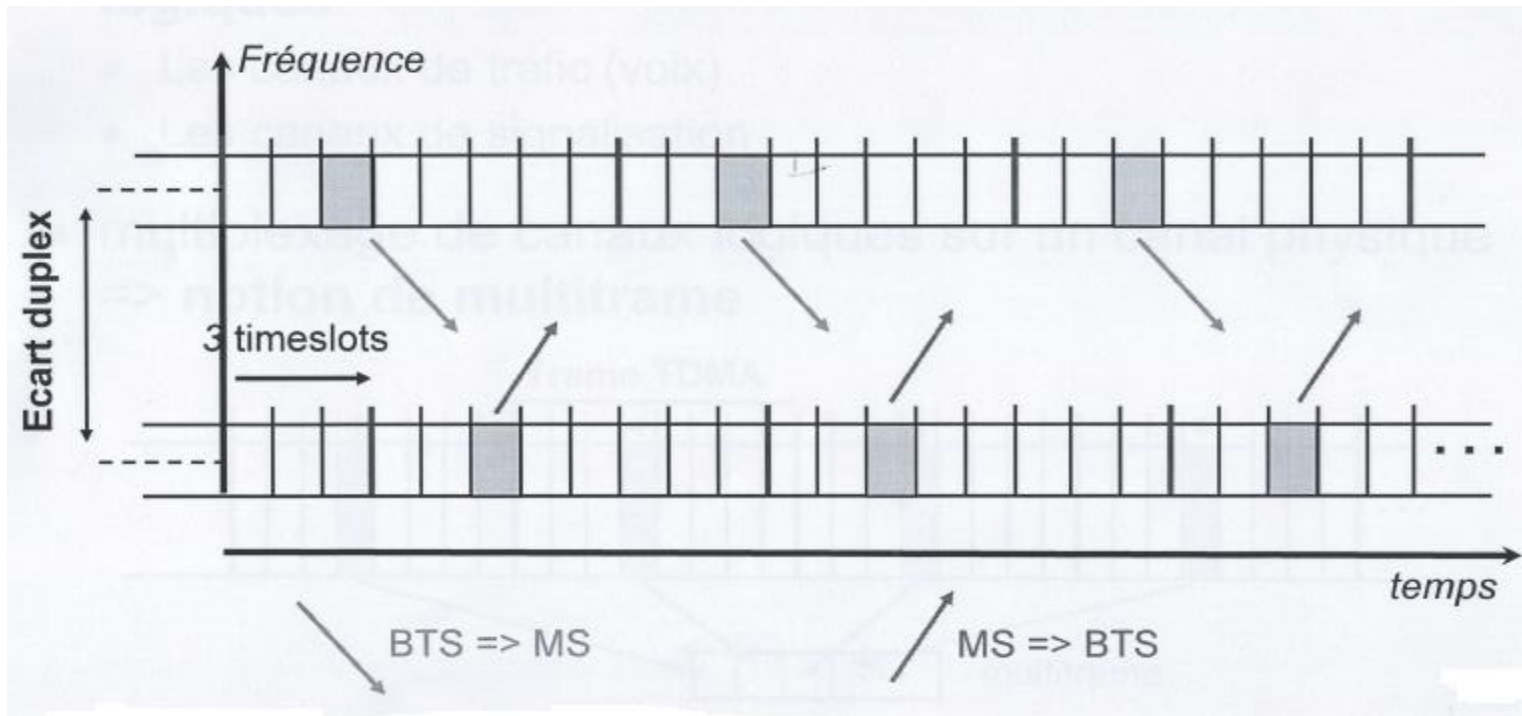
■ Chaque utilisateur utilise un slot par trame



La liaison Radio :

□ Canal Duplex

- 1 Communication = 1 Canal duplex
- Répondre après le troisième timeslot



La liaison Radio :

❑ Caractéristiques du GSM

- Les échanges entre le Mobile et la BTS se font sur deux fréquences distinctes appelées fréquence montante et fréquence descendante, séparées par un intervalle appelé **écart duplex**.
- Deux bandes de fréquences sont utilisées:
 - **Bande GSM (EGSM):**
 - ✓ Montante (Uplink) 890 (880) à 915 MHz
 - ✓ Descendante (Downlink) 935 (925) à 960 MHz
 - ✓ Écart duplex: 45 Mhz
 - ✓ 125 (175) canaux de 200 kHz.
 - **Bande DCS:**
 - ✓ Montante (Uplink) 1710 à 1785 MHz
 - ✓ Descendante (Downlink) 1805 à 1880 MHz
 - ✓ Écart duplex: 95 Mhz
 - ✓ 375 canaux de 200 kHz.

La liaison Radio :

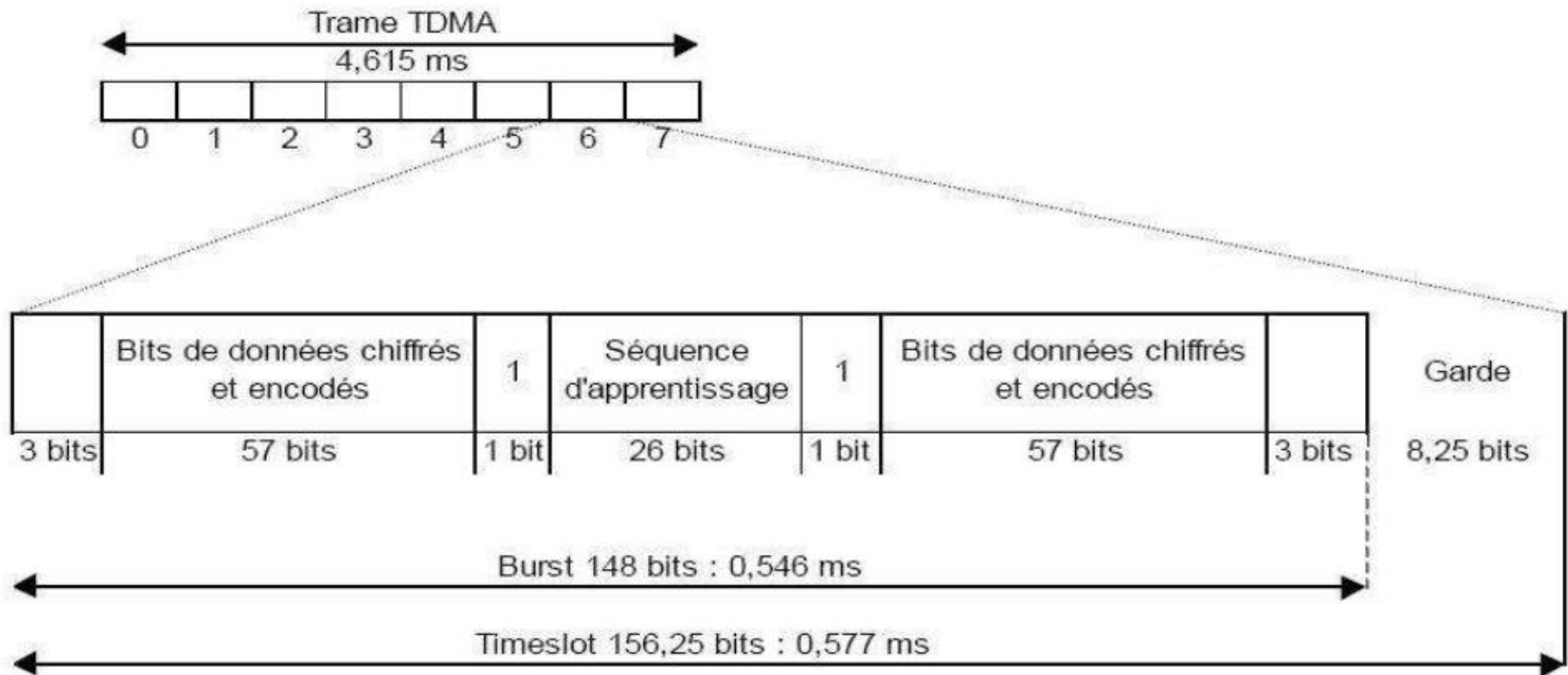
❑ Canal de transmission

- Un canal n'ayant pas besoin de ses fréquences en permanence, il partage ses fréquences avec 7 autres mobiles selon la technique TDMA.
- Le mobile en communication utilise 1 Timeslot de durée $577\mu\text{s}$ sur les 8 qui constituent une trame TDMA de durée 4,6 ms.
- Le mobile reçoit le signal émis par la base sur la fréquence descendante durant un timeslot puis 3 timeslot plus tard, émet son signal vers la fréquence montante.
- **Conclusion:**
Un canal GSM est donc constitué d'un couple de fréquences (montante et descendante) et d'un timeslot (entre 0 et 7).

Organisation des trames:

- **Trame TDMA:**

La trame TDMA = $156.25 \times 8 = 1,25$ kbits



Un timeslot accueille un élément de **signal radioélectrique** appelé Burst

Organisation des trames:

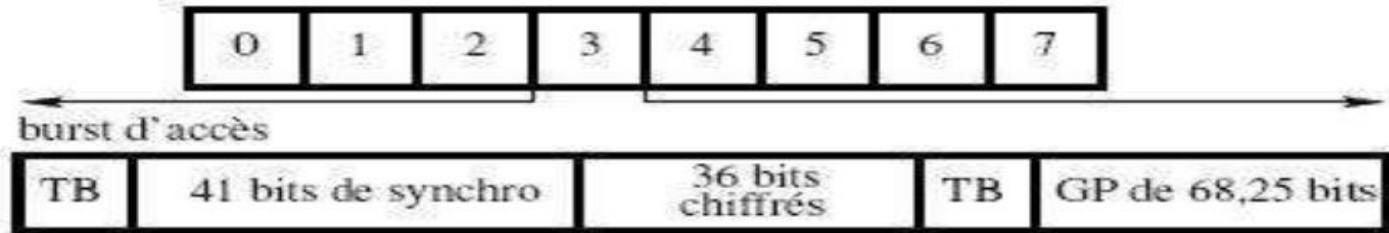
□ Typologie des paquets du GSM:

La norme définit 5 types de paquets fonctionnels, appelés burst dans terminologie GSM:

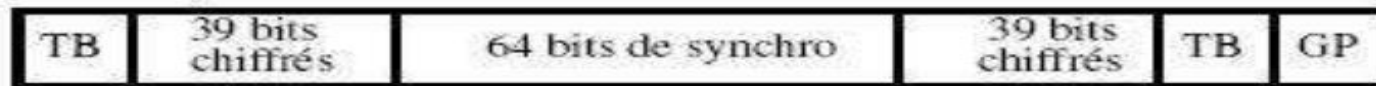
1. Les burst d'accès qui sont envoyés par les mobiles lorsqu'ils veulent entrer en communication avec le réseau.
2. Les burst de synchronisation contenant les informations sur la localisation et les fréquences utilisées.
3. Les burst "normaux" contenant les messages.
4. Les burst de correction de fréquence.
5. Les burst de bourrage "dummy packet" qui sont placés dans les espaces vides si aucune donnée ne doit être envoyée.

Organisation des trames:

□ Typologie des paquets du GSM:



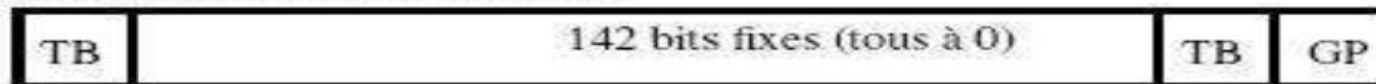
burst de synchronisation



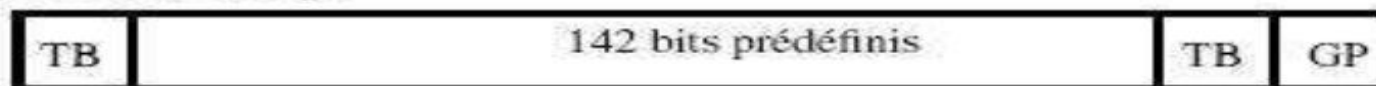
burst normal



burst de correction de fréquence



burst de bourrage



Organisation des trames:

□ Multiplexage Temporelle:

Le GSM définit le transport des slots sous forme d'une structure à 4 niveaux de hiérarchie:

➤ La trame:

Un canal de communication est divisé en 8 intervalles (timeslot) de durée $577 \mu\text{s}$. On définit une trame élémentaire appelée Trame TDMA de 8 intervalles: **Trame TDMA = $8 \times 0,577 \text{ ms} = 4,615 \text{ ms}$**

➤ La multitrame:

On définit deux types de multitrames:

- **Multitrame 26:** 26 trames TDMA, Durée= 120 ms
(*les canaux de trafic et contrôle*)
- **Multitrame 51:** 51 trames TDMA, Durée= 235,365 ms
(*les canaux de contrôle*)

Organisation des trames:

□ Multiplexage Temporelle:

➤ La supertrame:

Dans chaque trame TDMA, on trouve des slots qui évoluent en multitrame 26 et en multitrame 51. La structure de la supertrame permet d'homogénéiser l'organisation entre tous les slots d'une même trame TDMA. La supertrame se compose de: 26 multitrames de 51 ou de 51 multitrames de 26 d'où :

la supertrame = $51 \times 26 = 1326$ trames TDMA, Durée = 6,12s

➤ L'hypertrame:

L'hypertrame est composée de 2048 supertrames d'où:

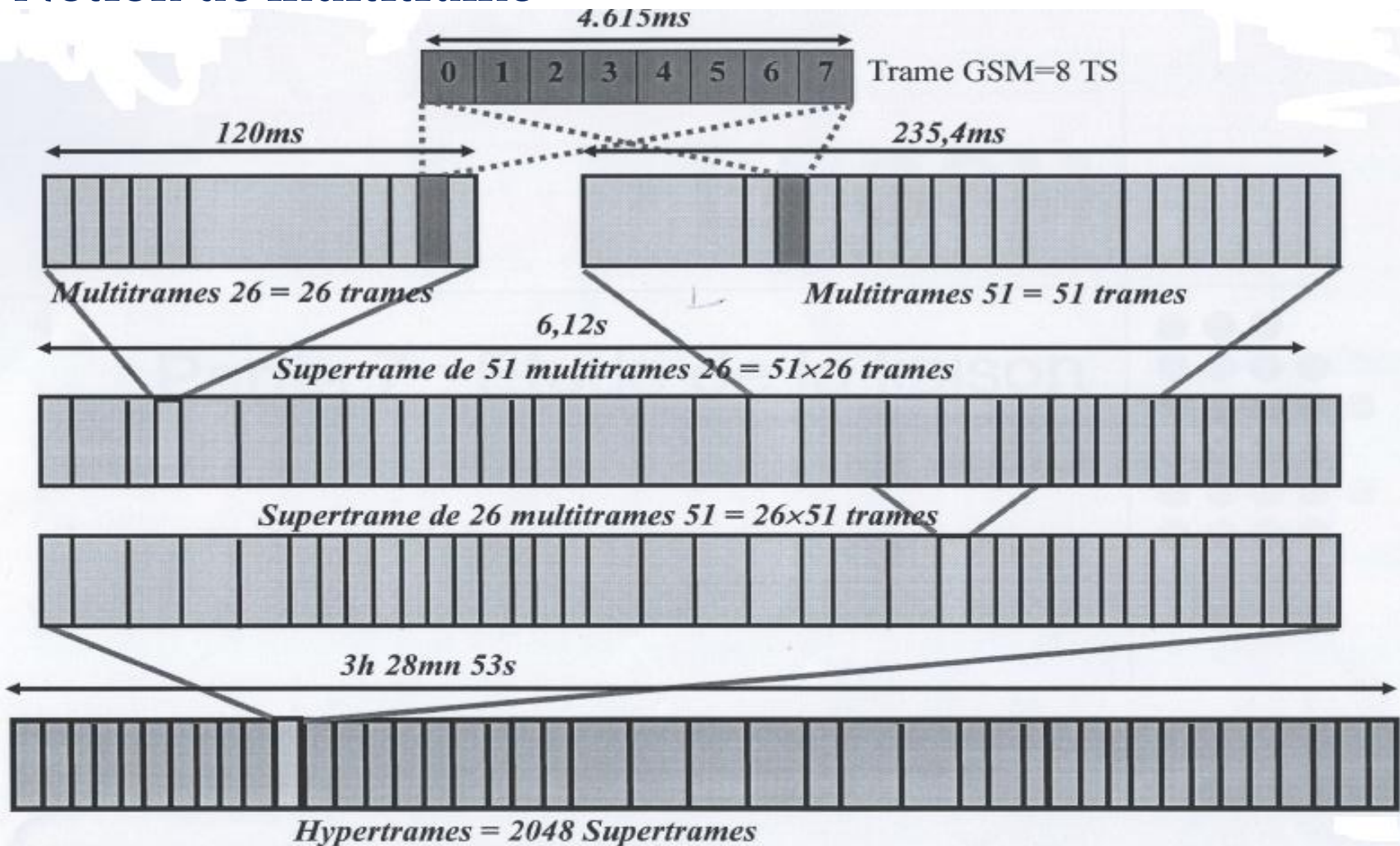
l'hypertrame = $2048 \times 1326 = 2715648$ trames TDMA, Durée = 3h 28min 53s 760ms

La trame TDMA est repérée par un compteur **FN** ds l'hypertrame

Le **FN** représente la base de temps propre de la BTS.

Organisation des frames :

→ Notion de multiframe



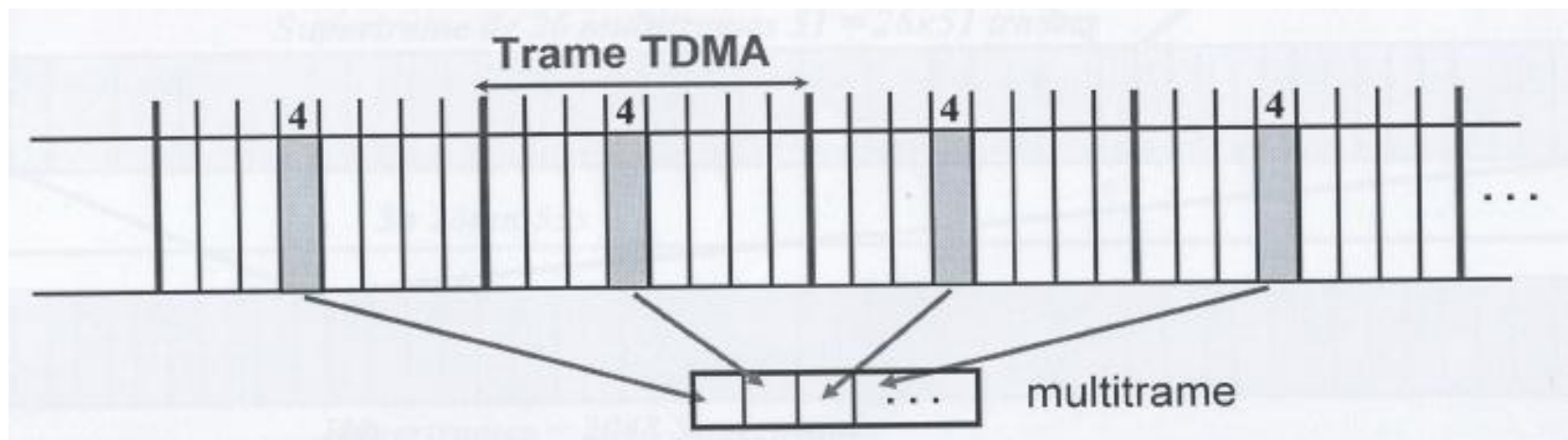
La liaison Radio :

□ Des canaux physiques aux canaux logiques

➤ 1 Canal physique sert de support à 2 types de canaux logiques

- Les canaux de trafic (voix)
- Les canaux de signalisation

➤ Multiplexage de canaux logiques sur un canal physique → Notion de multiframe



La liaison Radio :

□ La voie balise et les voies de trafic.

- Chaque BTS est équipée pour travailler sur un nombre de canaux duplex:
 - Un canal est affecté à un rôle particulier: **la voie balise**. Sur ce canal appelé **BCH** (Broadcast Channel), la station de base émet en permanence, avec une puissance fixe, des données de service.
 - Les autres canaux sont affectés aux communications.

La liaison Radio :

□ Les canaux logiques:

➤ Les canaux de diffusion (BCH):

- Diffusion de données relative à une cellule permettant à chaque mobile d'accrocher au système local en récupérant les paramètres nécessaires.
- Ils occupent généralement le TS(0) (TimeSlot 0) de la porteuse C0 (voie balise)



La liaison Radio :

□ Les canaux logiques:

➤ Les canaux duplex dédiés à un mobile

- Communication
- Signalisation

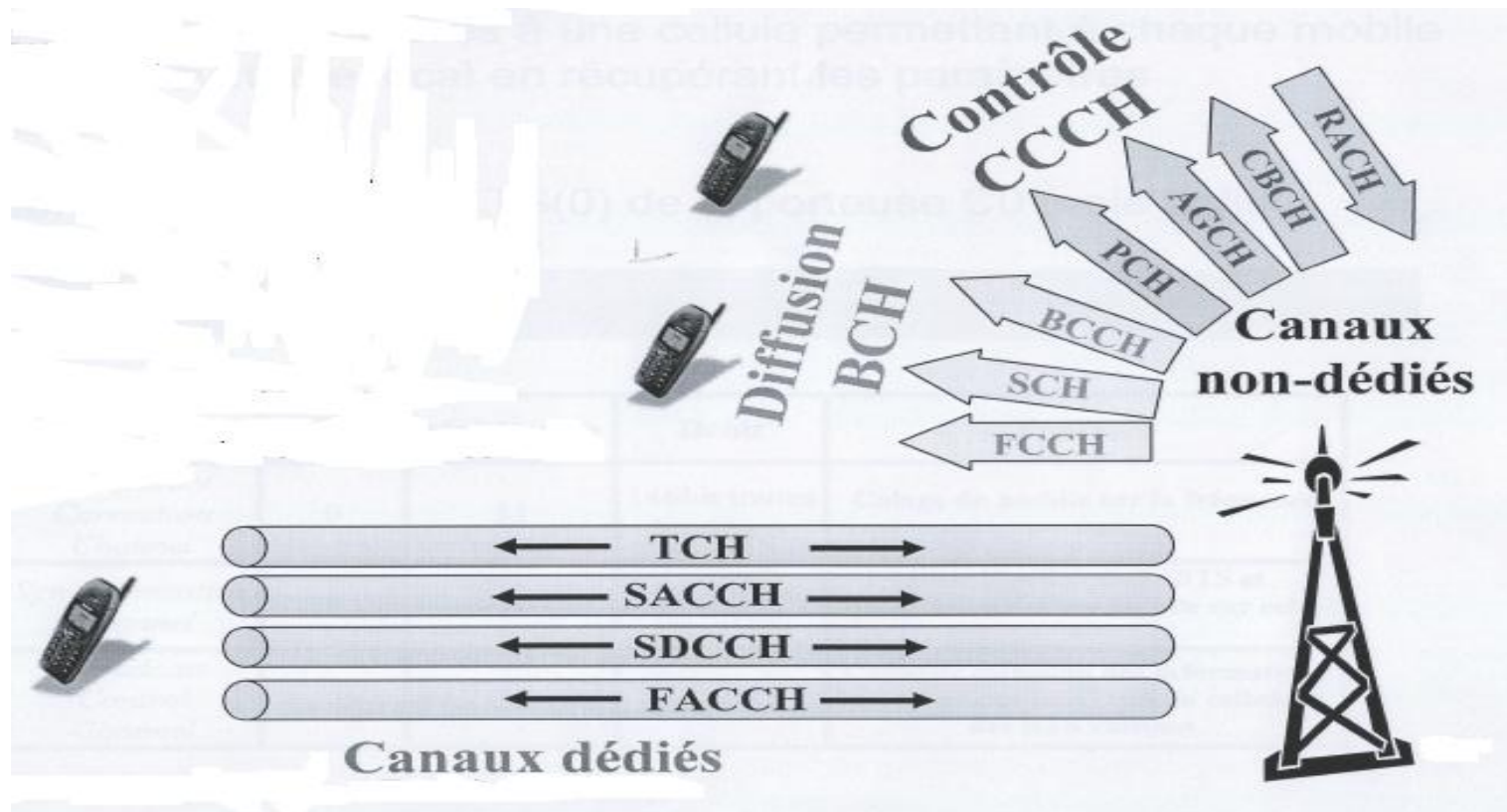
➤ Les canaux simplex non dédiés

- Partagés par tous les mobiles
- Voie descendante: diffusion d'informations
- Voie montante: canaux disponible en accès aléatoire

La liaison Radio :

□ Les canaux logiques:

- Les canaux duplex dédiés à un mobile
- Les canaux simplex non dédiés



La liaison Radio :

□ Les canaux logiques:

➤ Les canaux de diffusion (BCH):

CANAL	Nom Complet	Slot possible	Multiframe	Débit	Fonction
FCCH	<i>Frequency Correction Channel</i>	0	51	146bit toutes les 50 ms	Calage du mobile sur la fréquence porteuse
SCH	<i>Synchronisation Channel</i>	0	51	146bit toutes les 50 ms	Identification de la BTS et synchronisation du mobile sur celle-ci
BCCH	<i>Broadcast Control Channel</i>	0	51	782 bit/s	Canal de diffusion des informations spécifique de la BTS de la cellule et des BTS voisines.

La liaison Radio :

□ Les canaux logiques:

➤ Les canaux communs de contrôle (CCCH):

- Ils sont réservés pour les opérations de gestion des communications (établissement, allocation de canaux de trafic).

CANAL	Nom Complet	Slot possible	Multiframe	Débit	Fonction
RACH (UpLink)	<i>Random Access Channel</i>	0,2,4,6	51	36 bit	Il permet au mobile de signaler à la BTS qu'il désire effectuer une opération sur le réseau
PCH (DownLink)	<i>Paging Channel</i>	0,2,4,6	51	456 bit	Il permet de diffuser les messages de paging lorsque le réseau veut communiquer avec un mobile.
AGCH (DownLink)	<i>Access Grant Channel</i>	0,2,4,6	51	456 bit	Il est utilisé pour l'allocation d'un canal dédié à un mobile. Il contient la description complète du canal utilisé: numéro de porteuse, du slot utilisé (contient également le paramètre TA).
CBCH (DownLink)	<i>Cell Broadcast Channel</i>	0,1,2,3	51	variable	Il offre aux usagers présents dans la cellule des informations spécifiques (informations routières, météo).

La liaison Radio :

□ Les canaux logiques:

➤ Les canaux dédiés (Signalisation):

- Ils fournissent une ressource réservée à un mobile. Le mobile se voit attribuer une paire de slots où il est seul à émettre et à recevoir.



CANAL	Nom Complet	Slot possible	Multiframe	Débit	Fonction
SACCH	<i>Slow associated Control Channel</i>	0 à 7	51 ou 26	304 bit/s	Canal de supervision d'une liaison : control de la puissance, qualité, remonté des mesures...
SDCCH	<i>Stand Alone Dedicated control channel</i>	0 à 7	51	782 bit/s	Canal alloué aux phases d'établissement de la communications : signalisation et mise à jour de la localisation....
FACCH	<i>Fast Associated Control Channel</i>	0 à 7	26	9,2 Kbit/s	Canal servant à exécuter les hand-over , il prend momentanément le slot réservé au canal TCH.

La liaison Radio :

□ Les canaux logiques:

➤ Les canaux dédiés de trafic (TCH):

- Transport des données utilisateurs (émission en slot i à f_2 , réception en slot i à $(f_2 + \text{écart duplex})$
 - Voix plein débit TCH/FS(FullSpeed) à 13 kbits/s
 - Voix demi débit TCH/HS (Half Speed) à 5,6 kbits/s
 - Données jusqu'à 12 kbits/s
- Parallèlement à cette activité principale, il écoute périodiquement les voies balises de la cellule et des cellules voisines pour détecter une variation de niveau lui indiquant un handover.

CANAL	Nom Complet	Slot possible	Multitrame	Débit	Fonction
TCH	<i>Traffic channel</i>	0 à 7	26	13 Kbit/s	Canal supportant le trafic voix ou data (DCH)

La liaison Radio :

❑ Gestion de la mobilité: le Hand-Over

- Dans un réseau GSM, il existe plusieurs types de Hand-Over:
 - ✓ H-O intra-cellulaire: c'est un changement de canal TCH au sein de la même cellule, d'une fréquence à une autre.
 - ✓ H-O intra-BSC: la cellule d'origine est dans la même BSC que la nouvelle cellule sur laquelle le mobile est connecté après le H-O.
 - ✓ H-O intra-MSC: la cellule d'origine appartient à un autre BSC que celui de la cellule d'arrivée mais les deux BSC sont rattachés au même MSC.
 - ✓ H-O inter-MSC: la cellule d'origine et la cellule après le H-O dépendent de deux MSC différents. Le contrôle reste assuré par le MSC de la cellule source.

La liaison Radio :

❑ Etablissement d'une communication.

- A sa mise en route, le mobile scrute la bande GSM/DCS de son opérateur. Il reconnaît la **balise** de sa cellule (**signal le plus fort**) pour se **connecter**, puis **s'identifier** et se **synchroniser**.
- Hors communication, le mobile reste relié en permanence à la BTS par la voie balise, on dit que le mobile est synchronisé (en veille/ attaché/ avec localisation à jour).
- En communication, la BSC affecte au mobile une autre paire de fréquences que la voie balise:
 - Le mobile échange avec la base des signaux de parole et de contrôle sur le TCH (Traffic Chanel) appelé voie de trafic.
 - Il continue à mesurer les balises environnantes pour détecter une variation de niveau lui indiquant un changement de cellule.

La liaison Radio :

❑ Le Contrôle de puissance:

➤ C'est la fonction permettant au mobile et à la BTS d'émettre respectivement sur la liaison montante et descendante avec un niveau de puissance optimale inférieure à la valeur maximale de façon à ce que le niveau de champ reçu soit acceptable pour avoir une communication de bonne qualité. Il permet:

- ✓ De limiter le risque d'interférences
- ✓ D'améliorer le niveau de qualité
- ✓ D'améliorer l'autonomie de batterie des mobiles dû à la réduction des niveaux d'énergie nécessaires aux émissions.

Par contre, il génère:

- ✓ Du bruit à cause des commandes de puissances de l'Interf Radio
- ✓ Shadow effect (le signal radio est limité à la zone de couverture)

La liaison Radio :

□ Estimation de la qualité d'un réseau GSM:

➤ Deux paramètres monitorisés en permanence permettent aux stations mobiles d'estimer la qualité globale du réseau:

✓ **RxLev**

✓ **RxQual**

En fonction de ces deux paramètres, le mobile et le réseau prendront la décision afin de toujours offrir à l'abonné une qualité de service minimale.

✓ **RxLev:** représente le niveau de puissance du signal reçu par le mobile dans une zone considérée. Il est codé de 0 à 63., pour une gamme de puissance reçue allant de de -110 dBm à -47dBm. C'est le paramètre qui caractérise le niveau de couverture d'un réseau.

La liaison Radio :

❑ Estimation de la qualité d'un réseau GSM:

✓ **RxQual:** représente le niveau de qualité du signal reçu il peut être associé au taux d'erreur bit BER qui représente le le rapport du nombre de bit d'erreur sur le nombre total de bits reçus par le mobile lors d'une communication.

Tableau de correspondance
entre RxQual et BER

RxQual	BER, plage de valeurs	Valeur représentative	Interprétation
0	BER = 0.2%	0,4%	Très bonne qualité
1	0.2% = BER = 0.4%	0,28%	Bonne qualité
2	0.4% = BER = 0.8%	0,57%	Bonne qualité
3	0.8% = BER = 1.6%	1,13%	Qualité médiocre
4	1.6% = BER = 3.2%	2,26%	Qualité médiocre
5	3.2% = BER = 6.4%	4,53%	Médiocre
6	6.4% = BER = 12.8%	9,05%	Mauvaise
7	12.8% = BER	18,10%	Très mauvaise

La liaison Radio :

❑ Le Hand-Over:

- Le hand-over est par définition le changement de canal TCH du mobile durant une communication sans interruption de celle ci. Les causes du hand-Over sont:
 - ✓ Qualité trop faible (Rxqual est trop fort)
 - ✓ Niveau de RxLev trop faible
 - ✓ Distance mobile-BTS trop importante
 - ✓ Existence d'une cellule pour laquelle le niveau de puissance d'émission est plus faible

La liaison Radio :

□ Le Plan de fréquences:

- Le plan de fréquences d'un réseau cellulaire définit la répartition des fréquences entre toutes les cellules du réseau.
- En pratique, lors de l'élaboration d'un plan de fréquence, il est nécessaire de respecter les contraintes suivantes:
 - ✓ Distance minimale de réutilisation (fonction de la taille et des cellules)
 - ✓ Deux cellules voisines ne peuvent avoir des fréquences identiques.
 - ✓ Eviter au maximum d'allouer des fréquences adjacentes à des cellules voisines.