



Le réseau GSM





- 1- La cellule et sa station de base
- 2- La structure du réseau GSM
- 3- Les équipements du réseau GSM
- 4- Les fréquences de travail
- 5- La répartition des fréquences
- 6- La voie balise et la voie de trafic
- 7- Les émissions dans la bande GSM descendante
- 8- Les émissions dans la bande GSM montante
- 9- Le multiplexage temporel
- 10- Détection de l'activité d'émission du mobile
- 11- Contrôle par la base de la puissance d'émission
- 12- Contrôle par la base du début d'émission
- 13- La détection du changement de cellule
- 14- Les différents types de signaux échangés
- 15- La structure du burst
- 16- La transmission de données et le GSM
- 17- Les équipements du réseau GPRS
- 18- L'attribution des canaux
- 19- La protection des données
- 20- Exemples de mobiles GPRS
- 21- L'avenir du réseau GSM
- 22- Les antennes intelligentes
- 23- Le principe du standard UMTS
- 24- Le spectre dans le standard UMTS



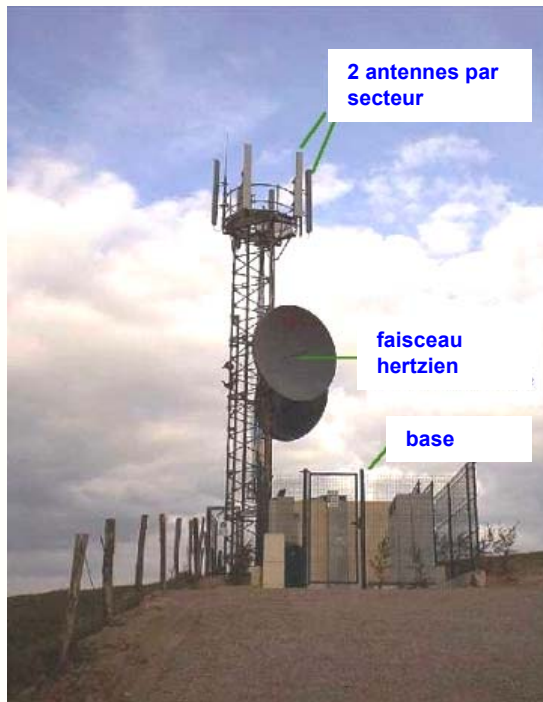


1- La cellule et sa station de base

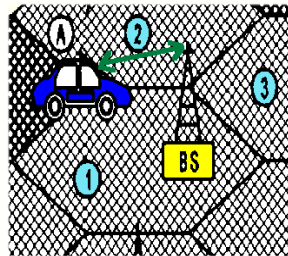


Dans un réseau GSM, le territoire est découpé en petites zones appelées **cellules** :

- chaque cellule est équipée d'une **station de base** ou **BTS** (Base Transmitter Station) munie de ses antennes installées sur un point haut (château d'eau, clocher d'église, immeuble ...), la puissance d'émission allant de 2,5 W à 320 W .
- les cellules sont dessinées hexagonales mais la portée réelle des stations dépend de la configuration du territoire arrosé et du diagramme de rayonnement des antennes d'émission. Dans la pratique, les cellules se recouvrent donc partiellement.



Station de base



Antenne de microcellule

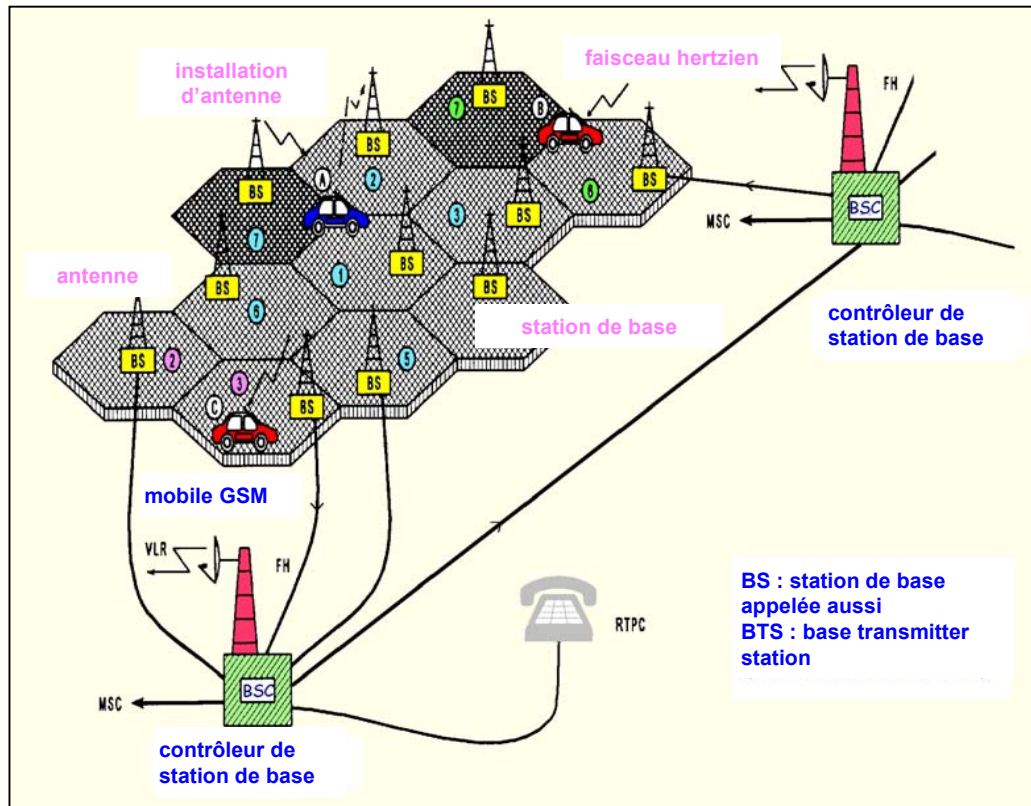
- dans une cellule GSM typique (macrocellule) , les mobiles peuvent être situés jusqu'à 35 km de la station de base pour le GSM et 2 km (minicellule) pour le DCS (puissance plus faible, atténuation plus importante avec la distance).
- la taille limitée des cellules permet de limiter la puissance d'émission nécessaire pour la liaison et donc augmenter l'autonomie des mobiles
- pour les piétons qui évoluent moins vite qu'une voiture, on ajoute des sous-stations de petites dimensions sur un site peu élevé et sur les murs des immeubles.



2- La structure du réseau GSM



- le mobile transmet par radio la communication vers la station de base de sa cellule
- elle est acheminée par câble ou fibre optique vers la station de base du correspondant (ou vers son téléphone fixe)
- cette station de base transmet finalement la conversation par radio au correspondant
- la conversation ne passe jamais directement d'un mobile GSM à l'autre mobile



Si on se déplace, il arrive qu'on sorte d'une cellule pour entrer dans la cellule voisine.

Il faut alors changer de base tout en maintenant la communication : c'est le **handover** ou **transfert intercellulaire** :

- le téléphone GSM mesure en permanence la force du signal radio reçu de la base et écoute aussi régulièrement les bases des cellules voisines
- lorsqu'il constate qu'il reçoit mieux une autre station de base, il en informe sa base
- la base décide alors de passer le relais à la base voisine et met en œuvre la procédure de handover



3- Les équipements du réseau GSM

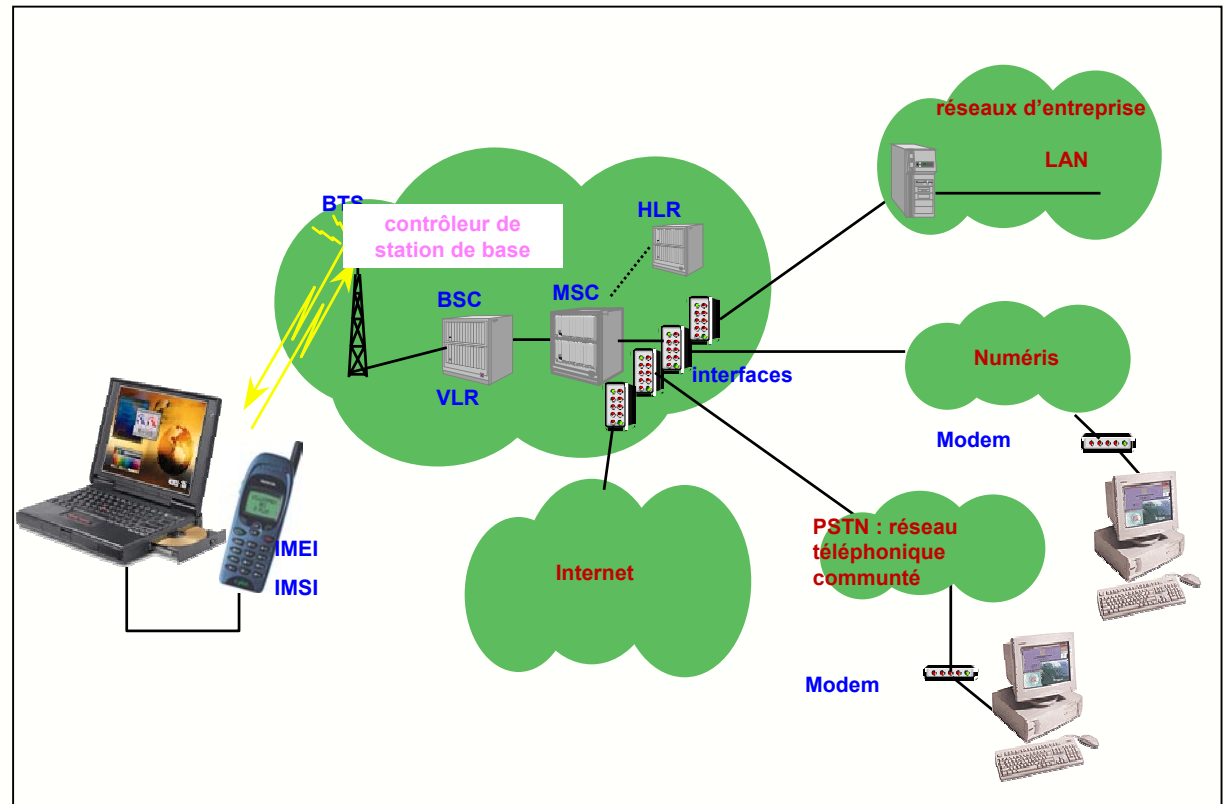


Le réseau est constitué des équipements suivants :

- les stations de transmission de base **BTS** qui assurent les communications avec les mobiles dans chaque cellule
- le contrôleur de stations de base **BSC** (Base Station Controller) qui gère entre 20 et 30 BTS et possède son registre d'abonnés visiteurs **VLR** stockant les informations sur les abonnés présents dans les cellules gérées
- le commutateur de services mobiles **MSC** qui aiguille les conversations vers la MSC du correspondant ou vers d'autres réseaux (téléphonique, Internet, Numéris ...) à travers des interfaces appropriées
- le registre des abonnés nominaux ou **HLR** (Home Local Register), base de données utilisée pour la gestion des abonnés mobiles et contenant les informations sur les abonnés et sur leur localisation

Le téléphone GSM ou **station mobile** est caractérisé par deux identités :

- le numéro d'équipement **IMEI** (International Mobile Equipment Identity) mis dans la mémoire du mobile lors de sa fabrication
- le numéro d'abonné **IMSI** (International Mobile Subscriber Identity) se trouvant dans la carte **SIM** (Subscriber Identity Module) de l'abonné



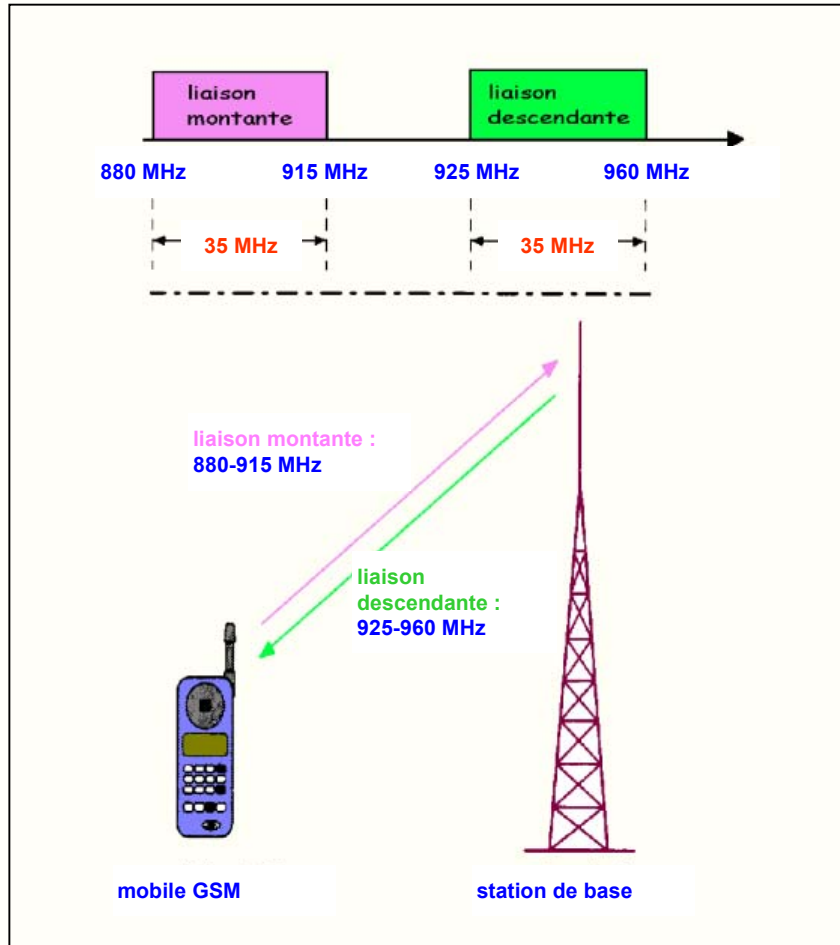


4- Les fréquences de travail



Dans le système GSM/DCS, deux bandes de fréquences sont utilisées, l'une autour des 900 MHz et l'autre autour de 1,8 GHz.

Chaque bande est divisée en deux sous-bandes, servant l'une pour le transfert d'informations entre le mobile et la station de base (**voie montante**), et l'autre pour la liaison entre la station de base et le mobile (**voie descendante**) :



bande EGSM étendue

- largeur totale 35 MHz
- de 880 à 915 MHz mobile \Rightarrow base
- de 925 à 960 MHz base \Rightarrow mobile
- écart duplex 45 MHz
- 174 canaux espacés de 200 kHz

bande DCS

- largeur totale 75 MHz
- de 1710 à 1785 MHz mobile \Rightarrow base
- de 1805 à 1880 MHz base \Rightarrow mobile
- écart duplex 95 MHz
- 374 canaux espacés de 200 kHz

Chaque porteuse GSM ou DCS est identifiée de manière unique par un numéro n , désigné par le sigle ARFCN, codé sur 10 bits conformément au plan suivant où la fréquence de la voie descendante est exprimée en MHz:

- pour $1 \leq n \leq 124$ $f = 935 + (0,2 \times n)$ en GSM
- pour $975 \leq n \leq 1024$ $f = 935 + (0,2 \times (n-1024))$ en EGSM
- pour $512 \leq n \leq 885$ $f = 1805,2 + (0,2 \times (n-512))$ en DCS

Exemple : pour $n=10$, voie descendante à $935 + (0,2 \cdot 10) = 937$ MHz et voie montante à $f_d - 45 = 892$ MHz



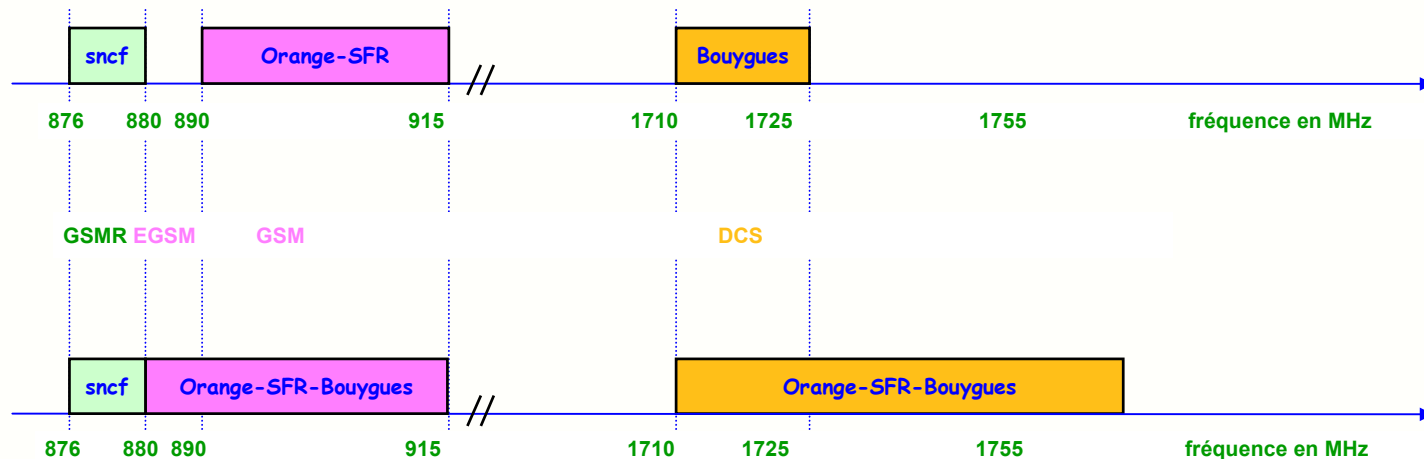
5- La répartition des fréquences



La répartition des fréquences entre les opérateurs évolue selon le degré de saturation des cellules et donne lieu essentiellement à deux types de distributions :

- la bande des fréquences montantes **GSM** de 890 à 915 MHz est partagée entre Orange et SFR, et Bouygues travaille sur une partie de la bande **DCS** située au-dessus de 1,7 GHz
- les 3 opérateurs travaillent à la fois dans la bande GSM étendue de 10 MHz vers le bas (**EGSM**) et dans la bande DCS, ce qui permet à Orange et à SFR de se replier dans la bande DCS en cas de saturation de la bande GSM

La seconde distribution est effective depuis fin 1999 dans les grandes villes comme Paris, Lyon, Marseille, Strasbourg ainsi que sur la Côte d'Azur. Elle est mise en place progressivement en fonction du trafic dans les agglomérations d'importance moindre.



En 1997, la SNCF et les réseaux ferroviaires européens adoptent la norme GSM pour les communications de service et obtiennent une bande de fréquence propre **GSM-R** pour la réalisation du projet **MORANE** (MOBILE radio for RAILway Networks in Europe)

Ce standard répond aux besoins en communications mobiles des Chemins de Fer Européens :

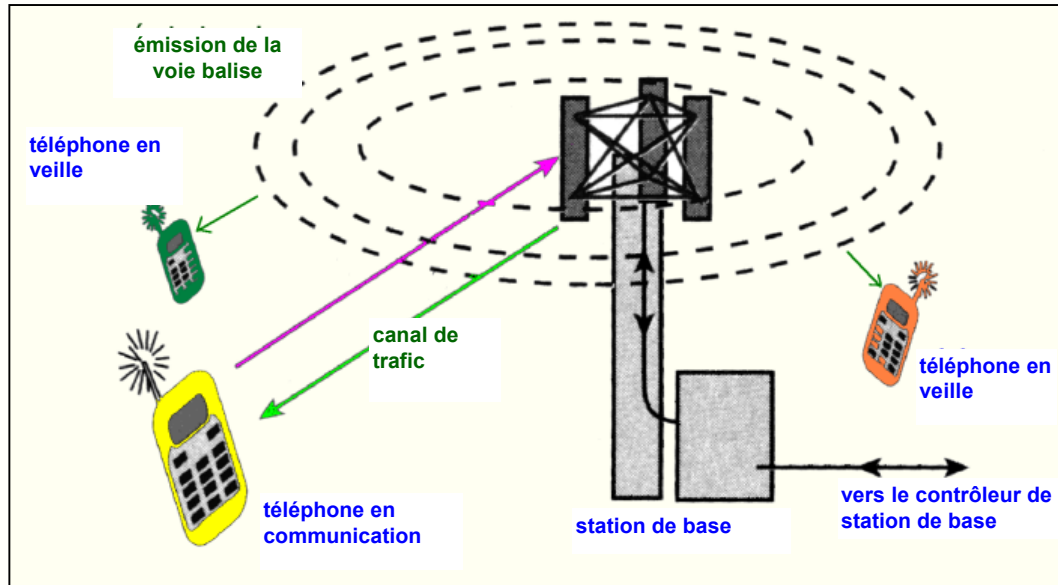
- pour les communications sol-train de voix et de données (agents de conduite, usagers, signaux de service et de signalisation)
- pour les communications mobiles des personnels au sol (agents de la voie, du dépôt, de la gare, et personnel de gestion)



6- La voie balise et la voie de trafic



Chaque BTS émet en permanence des informations sur son canal **BCH** (Broadcast Channel) appelé aussi **voie balise**. Ce signal constitue le lien permanent reliant mobile et station de base à partir de la mise en route du mobile jusqu'à sa mise hors service, qu'il soit en communication ou non.



⇒ à la mise en route du mobile, son récepteur scrute la bande GSM pour chercher le signal BCH de niveau le plus élevé qui correspondra à sa station de base.

Il garde aussi en mémoire les fréquences des 7 BCH de puissance inférieure.

Ce signal contient des informations concernant les opérateurs (SFR, Orange, Bouygues) et les fréquences balise des cellules voisines

⇒ **mobile en veille** : le mobile échange avec sa base des signaux de contrôle **sur la voie balise** (émission en slot 0 à f_1 , réception en slot 0 à $f_1 + 45$ MHz)

Toutes les 15 secondes si le signal reçu est fort et toutes les secondes s'il est faible, le récepteur écoute les balises des cellules voisines pour détecter un éventuel changement de cellule.

La liaison montante de la voie balise sera utilisée par le mobile pour signaler son désir de se connecter au réseau pour une communication (RACH : random access channel).

⇒ **mobile en communication** : le mobile échange avec la base des signaux de parole et de contrôle **sur la voie de trafic** (émission en slot i à f_2 , réception en slot i à $f_2 + 45$ MHz) ou TCH (Traffic Channel)

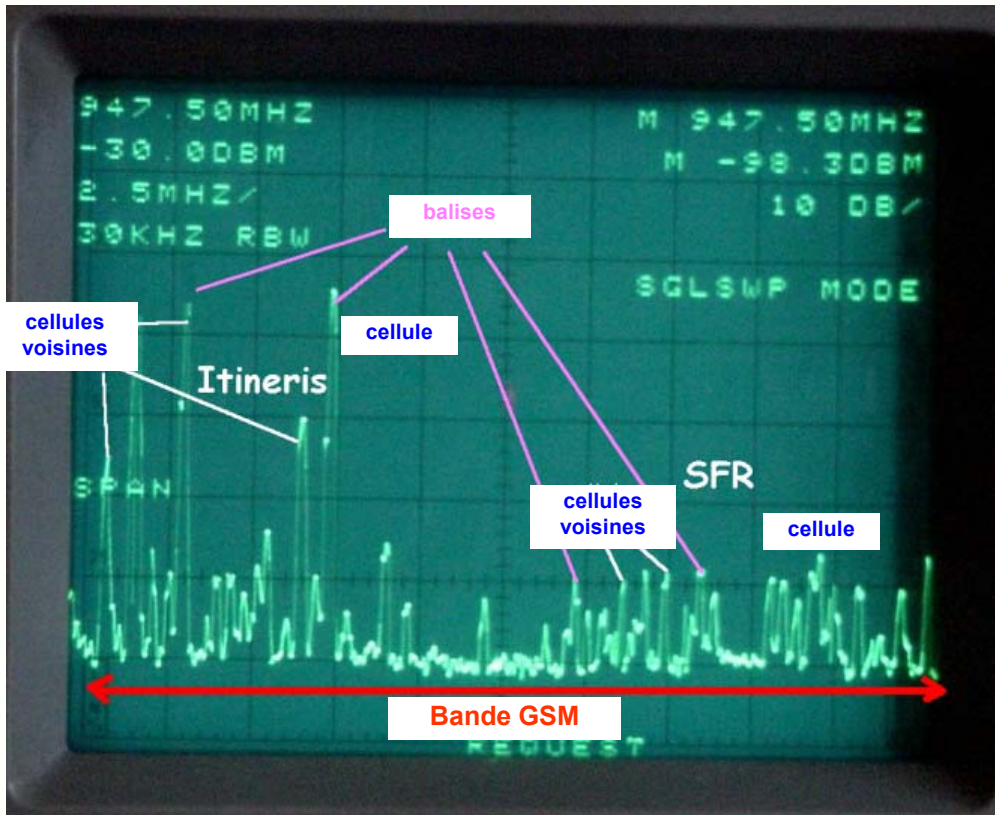
Parallèlement à cette activité principale, il écoute périodiquement les voies balises de la cellule et des cellules voisines pour détecter une variation de niveau lui indiquant un changement de cellule.



7- Les émissions dans la bande descendante



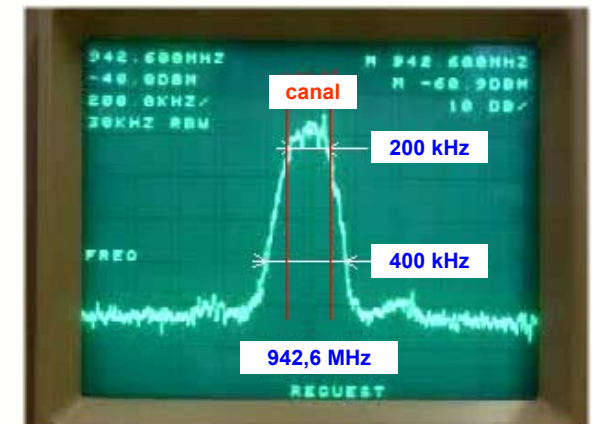
La bande réservée aux liaisons descendantes est relativement occupée puisqu'on peut y voir les signaux « balise » émis en permanence par la station de base de la cellule et par les stations de base des cellules adjacentes .



Spectre de la bande descendante à Mulhouse-Illberg (10/2002)

La répartition entre les opérateurs alloués dans cette cellule la **moitié inférieure** de la bande GSM à Orange (largeur 12,5 MHz) et la **moitié supérieure** à SFR.

Détail du spectre d'une voie balise



Remarque : à cause de l'encombrement spectral du signal GSM, on n'utilise jamais deux canaux contigus dans la même cellule.

En effet, si la largeur du spectre GSM est de 200 kHz à -3dB, elle s'élève à 400 kHz à -60 dB et c'est pour éviter les interférences entre canaux que l'écart pratique entre deux canaux utilisables est de 400 kHz.

Vidéo : spectre d'un signal GSM

Vidéo : spectre de la bande GSM descendante

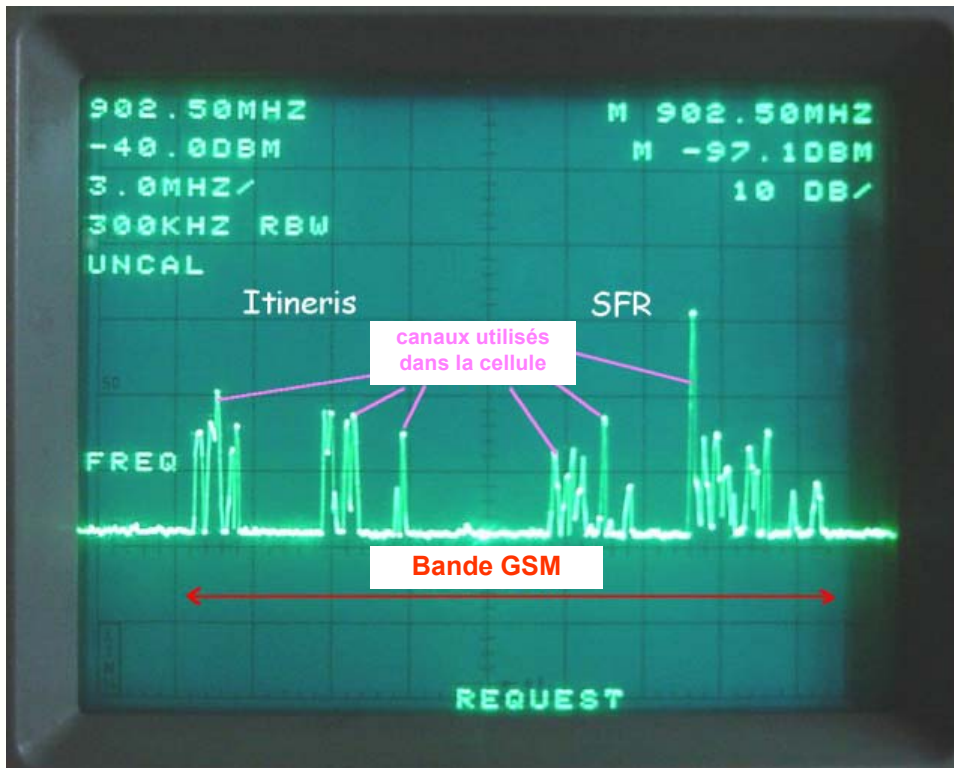


8- Les émissions dans la bande montante



La bande allouée aux liaisons montantes est beaucoup moins encombrée puisqu'elle ne sert que pendant les communications.

Pour visualiser les émissions des différents mobiles, l'analyseur de spectre a superposé les enregistrements durant quelques minutes en affichant les valeurs maximales (mode Max-Hold).



Spectre de la bande montante à Mulhouse-Illberg

Saut en fréquence pour un mobile Orange



Les opérateurs utilisent la technique du saut en fréquence qui fait changer le mobile de canal plusieurs fois par seconde. Les canaux bruités ou perturbés seront ainsi répartis sur l'ensemble des utilisateurs et la qualité globale améliorée.

Vidéo : saut en fréquence Orange



9- Le multiplexage temporel



Lors d'une conversation, un téléphone mobile n'a pas besoin du canal de transmission en permanence :

⇒ le temps est divisé en 8 intervalles appelés **time-slots**, numérotés de 0 à 7, qui durent 7500 périodes de la référence à 13 MHz:

$$T_{\text{slot}} = 7500 / 13 \text{ MHz} = 0,5769 \text{ ms}$$

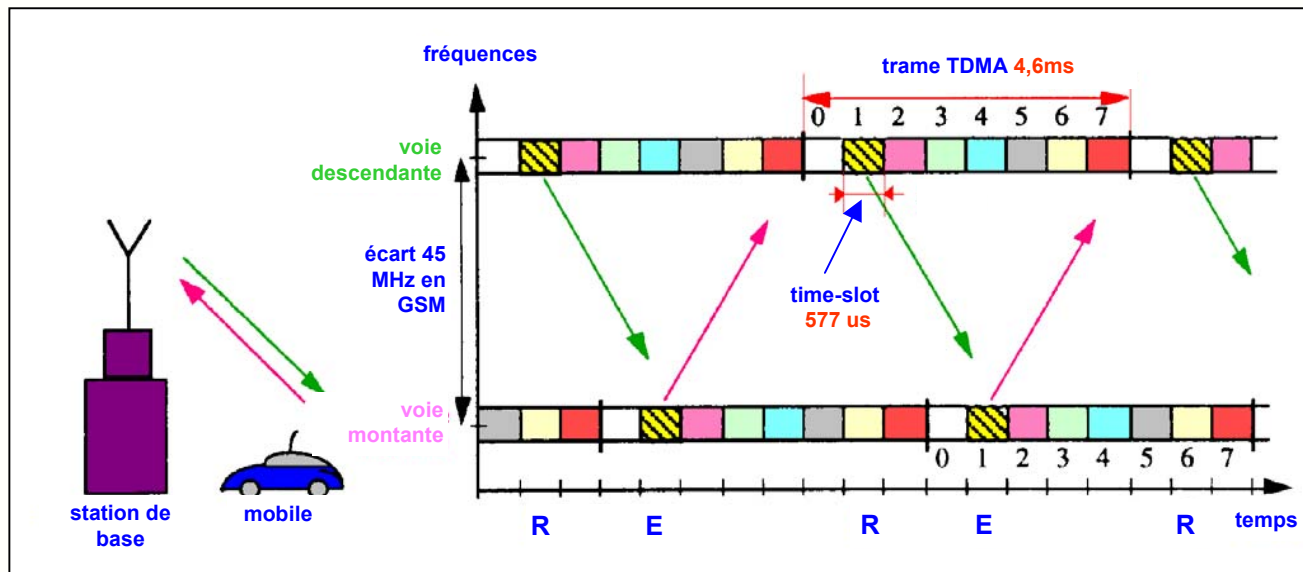
soit environ **577 μs**

⇒ sur une même porteuse, les slots sont regroupés par paquets de 8 qui constituent une **trame TDMA**.

la durée de la trame est donc :

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

Un mobile GSM en communication n'utilisera qu'un time-slot, ce qui permet de faire travailler jusqu'à 8 mobiles différents sur la même fréquence de porteuse. Le signal radio émis dans un time-slot est souvent appelé **burst**.



Durant une communication :

- les échanges se font sur deux fréquences différentes et n'ont pas lieu au même moment
- pour le mobile, l'émission et la réception sont décalés dans le temps de 3 time-slots
- pour conserver la même numérotation des slots, le début de la trame TDMA du mobile est décalée de 3 time-slots / début de la trame de la base

Le mobile reçoit le signal émis par la base sur la fréquence descendante f durant un time slot soit $577 \mu\text{s}$, puis 3 time-slots soit 1,7 ms plus tard, émet son signal vers la station de base sur la fréquence montante plus basse ($f-45 \text{ MHz}$ pour le GSM).

Vidéo : time-slot d'émission

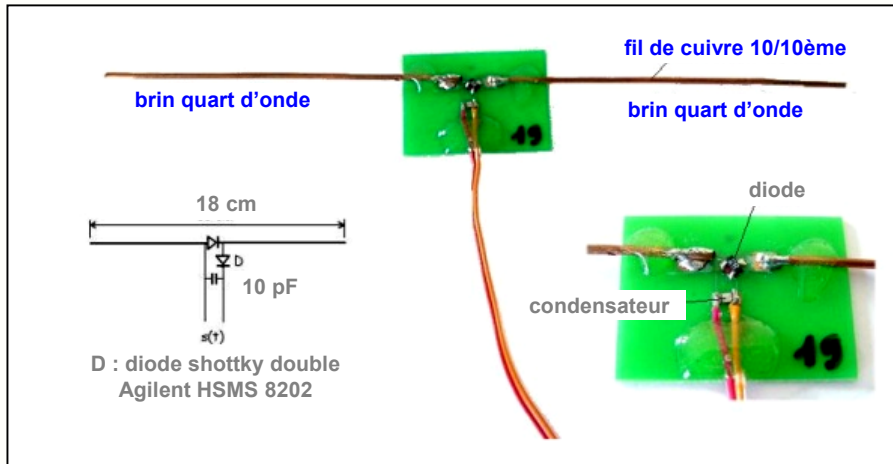
Vidéo : trame TDMA



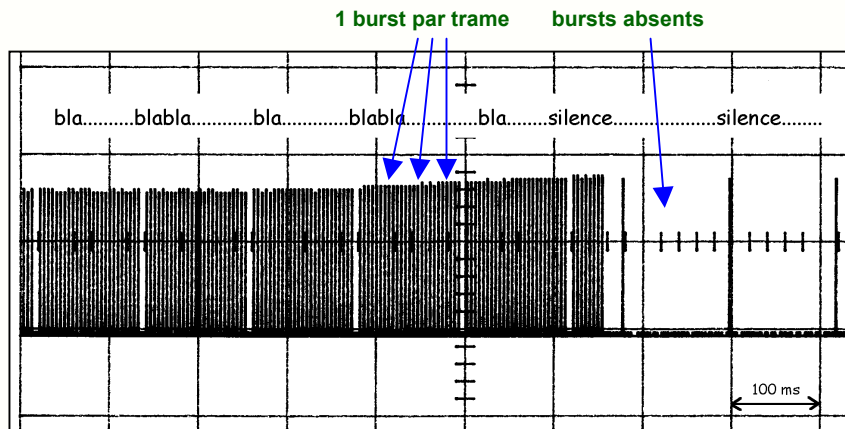
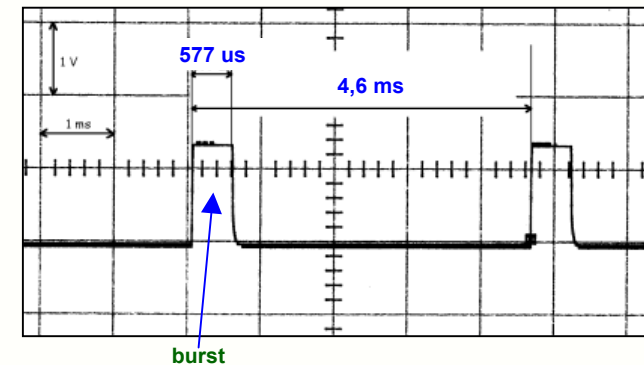
10- Détection de l'activité du mobile



Pour mettre en évidence l'émission d'une onde électromagnétique par le mobile GSM, on peut utiliser le dispositif simple suivant constitué par une antenne demi-onde suivie d'un détecteur crête.



La présence d'une porteuse modulée ou non à une fréquence voisine de 900 MHz se traduit par l'apparition d'une tension $s(t)$ continue proportionnelle à l'amplitude de la porteuse.



Ce dispositif permet de mettre en évidence la **détection d'activité vocale**, fonction permettant de limiter la consommation du mobile en réduisant très fortement l'activité d'émission lors d'une interruption du signal vocal.

Durant un silence, le mobile émet un burst de temps en temps, transmettant un bruit de fond standard qui évite au correspondant l'impression désagréable d'une interruption de la communication.

Vidéo : détection d'activité vocale



11- Contrôle par la base de la puissance d'émission



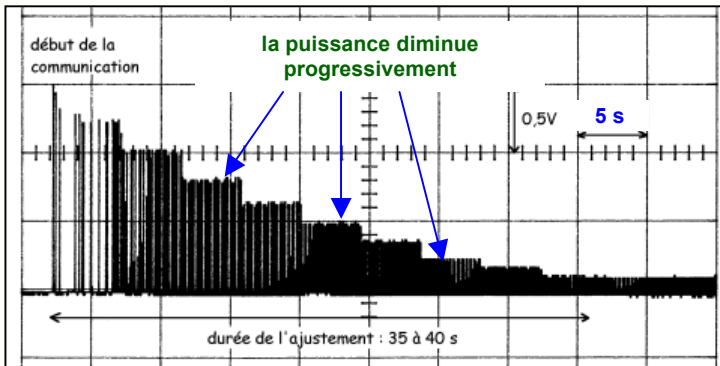
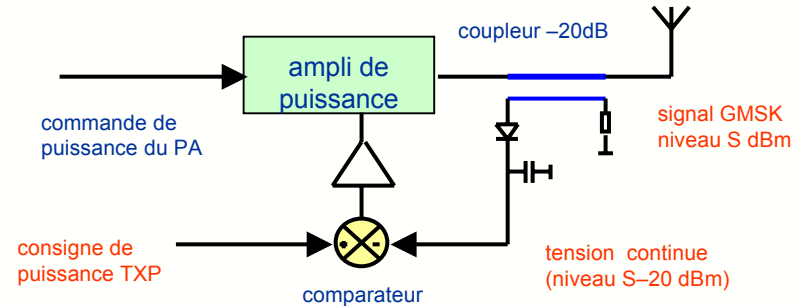
La station de base contrôle de nombreux paramètres du mobile et en particulier la puissance d'émission. L'ajustement du niveau émis est fait de façon à minimiser la consommation tout en conservant la qualité de la communication, les bénéfices étant la **diminution du niveau d'interférence** dans les canaux adjacents et **l'augmentation de l'autonomie** des mobiles.

L'amplificateur de puissance RF de tout mobile GSM doit être équipé :

- d'une entrée commandant la puissance de sortie
- d'un dispositif de mesure de la puissance émise

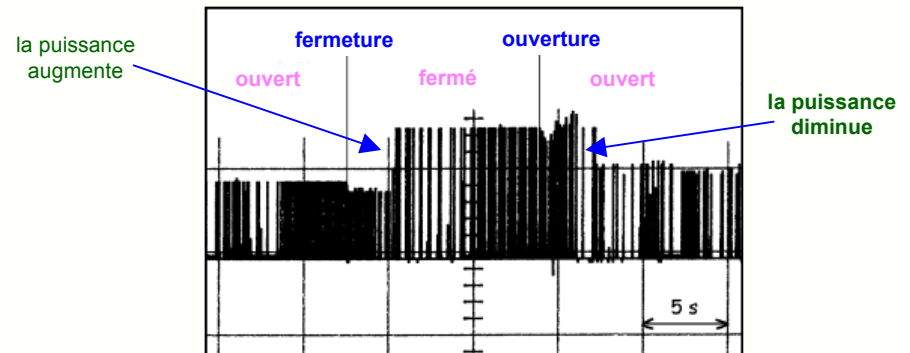
Dans les mobiles actuels, la mesure de la puissance est faite :

- à l'aide d'un ensemble coupleur directif-détecteur Schottky
- plus rarement par le contrôle du courant absorbé par l'ampli



Au début de la conversation téléphonique, la station de base réduit progressivement la puissance émise par le mobile jusqu'au niveau minimal compatible avec une bonne liaison.

En plaçant le mobile dans un boîtier blindé muni d'un couvercle amovible, on peut modifier l'atténuation introduite au cours de la propagation et observer le réajustement de la puissance émise suite à la réaction de la base au bout de 3 à 4 secondes.



Vidéo : contrôle de la puissance en début de communication

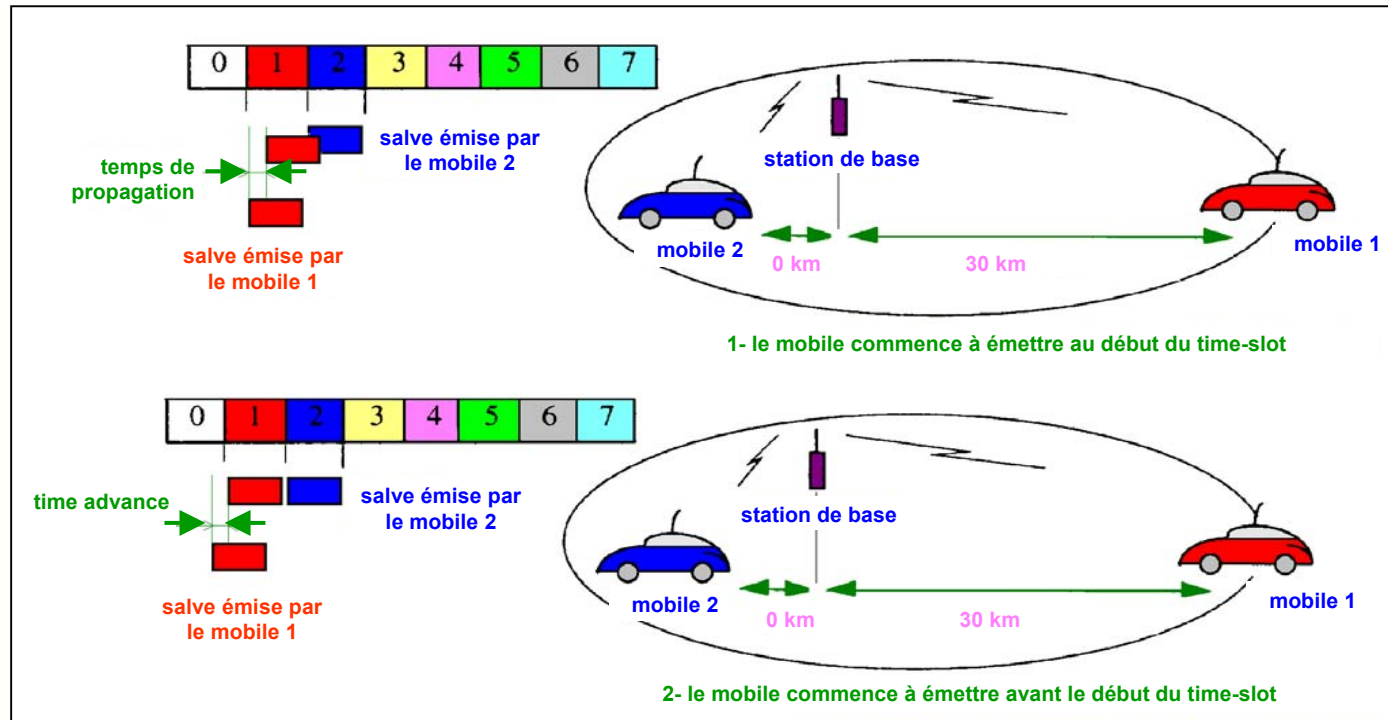


12- Contrôle par la base du début d'émission



Les différents utilisateurs sont à des distances variables de leur station de base et subissent des délais de propagation variables :

- l'onde électromagnétique se propage à la vitesse de la lumière soit $c = 300\,000\text{ km/s}$
- les retards engendrés par la distance se font sentir sur le timing puisqu'une distance de 30 km cause un retard de 100 microsecondes



Exemple : deux mobiles sont dans la même cellule, MS1 en limite de cellule et MS2 près de la station de base.

- en l'absence de précaution, les bursts émis par chacun des mobiles se chevaucheraient au niveau de la BTS
- la station de base compense ce retard en gérant un paramètre TA (Time Advance) lié au temps de propagation aller-retour
- le mobile éloigné doit avancer l'émission de chacun de ses bursts par rapport au début du slot
- la distance entre mobile et station de base variant en permanence, le TA est réajusté à chaque trame

Remarque : la détermination du paramètre TA permet à la base de connaître la distance à laquelle se trouve le mobile. Par triangulation avec une deuxième station de base, on pourra donc déterminer la position exacte d'un mobile.

13- La détection du changement de cellule



Pendant un échange de données vocales, le mobile continue l'écoute des balises des cellules voisines pour détecter un éventuel changement de cellule :

- cette écoute se fait dans un time-slot libre entre l'émission et la réception du burst suivant.

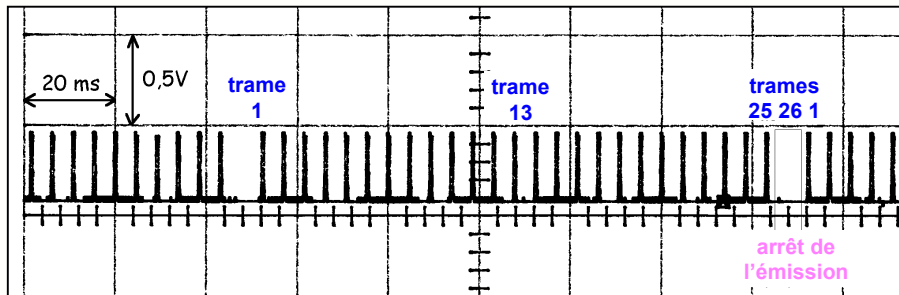
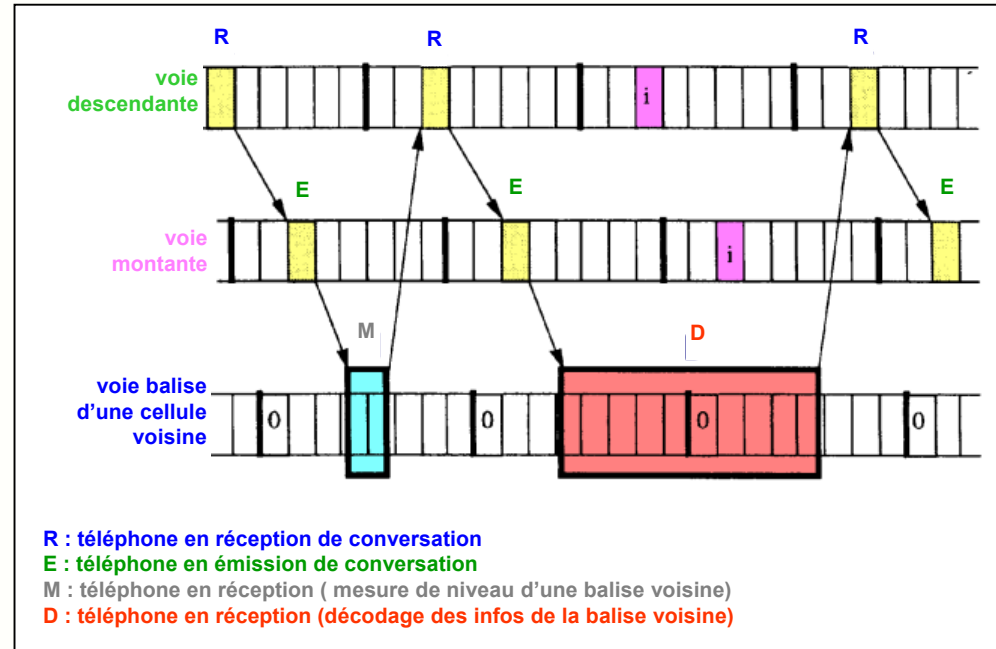
Vu le faible temps disponible, le mobile ne pourra faire qu'une **mesure de niveau**

- pour décoder les informations provenant de la balise d'une cellule voisine, il lui faut davantage de temps.

A cet effet, le mobile doit décoder le **time-slot 0** de la balise voisine qui contient les informations recherchées.

Ce time-slot est émis avec une périodicité différente de la périodicité d'écoute du mobile qui est de 26 trames.

- c'est pourquoi le mobile s'arrête d'émettre et de recevoir toutes les 26 trames (slot idle) ce qui lui permet de disposer d'une **trame complète pour écouter et décoder** le canal de contrôle d'une cellule voisine



L'enregistrement de l'activité en émission d'un mobile GSM montre bien l'arrêt de l'émission toutes les 26 trames, soit toutes les 120 ms.

Durant cette trame 26, le mobile GSM écoute et décote la voie balise de l'une des cellules voisines.



14- Les différents types de signaux échangés







Les signaux de voix et de contrôle échangés entre le mobile et la base transitent tous sur 2 voies radio montantes et descendantes :

Par la voie balise :

- le mobile récupère les informations de correction de fréquence lui permettant de se caler précisément sur les canaux GSM
- le mobile récupère le signal de synchronisation de la trame TDMA et synchronise sa trame
- le mobile lit les infos concernant la cellule et le réseau et transmet à la BTS l'identification de l'appelant pour la mise à jour de la localisation
- le MSC le plus proche du mobile fait diffuser dans la zone de localisation un message à l'attention du mobile auquel on veut téléphoner (par le Paging Channel)
- la demande du mobile qui veut téléphoner arrive à la BTS de sa cellule (par le Random Access Channel)

Par la voie de trafic :

- le mobile échange les données correspondant à la voix
- le mobile échange des données de contrôle : paramètre TA, gestion de la puissance d'émission, gestion du hand-over ...

	fonction					méthode de multiplexage
Voie balise	BCH Broadcast Channel voie balise (diffusion)		FCCH	<i>Frequency Correction Channel</i>	Calage sur la porteuse	un burst particulier toutes les 50 ms sur le slot 0 de la voie balise.
			SCH	<i>Synchronization Channel</i>	Synchronisation, identification de la BTS	Un burst sur le slot 0 de la voie balise, une trame après le burst FCCH
			BCCH	<i>Broadcast Control Channel</i>	Informations système	4 burst "normaux" à chaque multitrame
	CCCH Common Control Channel (accès partagé)		PCH	<i>Paging Cannel</i>	Appel des mobiles	sous-blocs entrelacés sur 4 bursts "normaux".
			RACH	<i>Random Access Channel</i>	Accès aléatoire des mobiles	Burst court envoyé sur des slots particuliers en accès aléatoire
			AGCH	<i>Access Grant Channel</i>	Allocation de ressources	8 blocs entrelacés sur 4 bursts "normaux"
			CBCH	<i>Cell Broadcast Channel</i>	Messages courts diffusés (météo, trafic routier, etc.)	utilise certains slots de la trame à 51.C (utilisation marginale)
Voie de trafic	Canaux de Contrôle dédiés		SDCCH	<i>Stand-Alone Dedicated Control Channel</i>	Signalisation	8 SDCH + 8 SACCH sur un canal physique
			SACCH	<i>Slow Associated Control Channel</i>	<ul style="list-style-type: none">• compensation du délai de propagation• contrôle de la puissance d'émission du mobile• contrôle de la qualité de liaison• mesures sur les autres stations.	associé à TCH sur un canal physique ou à 8 SDCH sur un canal physique
			FACCH	<i>Fast Associated Control Channel</i>	Exécution du Handover	vol du TCH lors de l'exécution du handover.
	TCH Traffic Channel		TCH/FS TCH/HS	<i>Traffic Channel for Coded Speech</i>	voix plein débit/ demi débit	occupe la majeure partie d'un canal physique
				<i>Traffic Channel for data</i>	données utilisateur 9,6 kbit/s, 4,8 kbit/s, < 2,4 kbit/s	

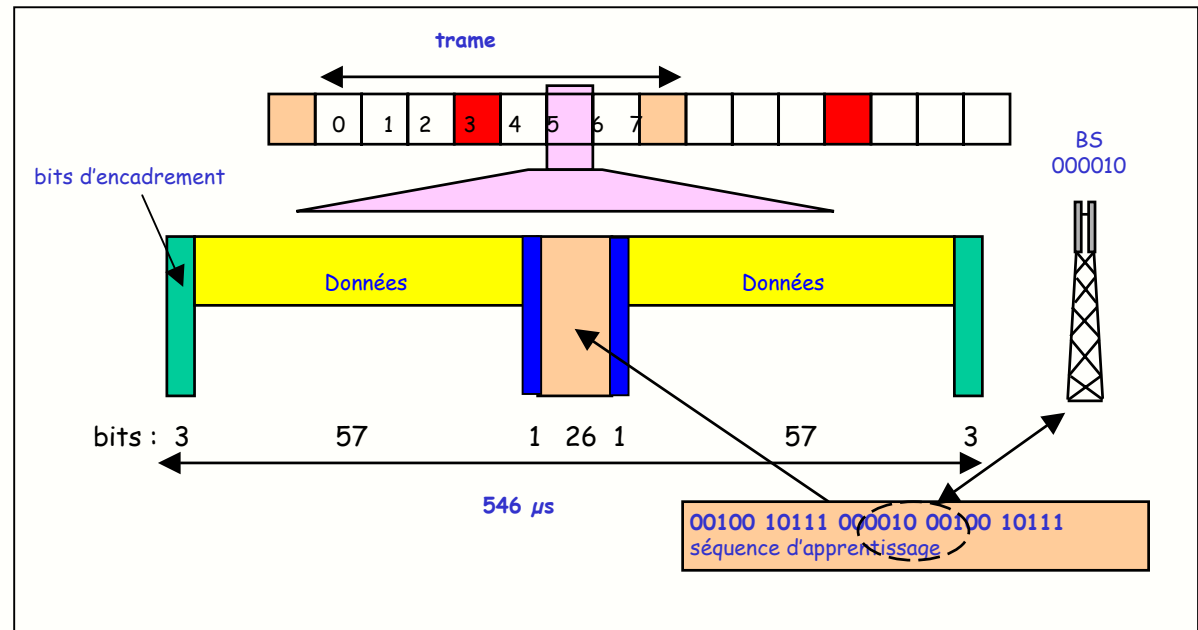


15- La structure du burst



Les données échangées entre le téléphone mobile et la base (voix ou signaux de contrôle) sont toujours transmises par paquets de 148 bits qui forment le burst :

- 57 bits de données (voix ou signaux de contrôle)
- 26 bits d'une séquence d'apprentissage (training sequence)
- 57 bits de données (voix ou signaux de contrôle)
- quelques bits d'encadrement et indicateurs



Les 26 bits de la **séquence d'apprentissage** sont toujours les mêmes à l'intérieur d'une cellule et jouent un rôle important dans la gestion de la qualité du lien radiofréquence :

- ⇒ il peut arriver qu'une BTS reçoive correctement un burst émis par un mobile d'une autre cellule mais émettant sur la même fréquence. La BTS peut alors rejeter ce burst caractérisé par une séquence d'apprentissage différente.
- ⇒ en recevant la séquence d'apprentissage que le mobile lui renvoie, la station de base peut estimer le taux d'erreurs de la transmission à un instant donné et s'en sert pour adapter en conséquence la puissance d'émission du mobile
- ⇒ la BTS analyse la forme du signal reçu correspondant aux 26 bits, en déduit les propriétés de propagation du canal, et élabore un filtre égalisateur qui sera mis en place dans le mobile pour éliminer les échos dus aux trajets multiples

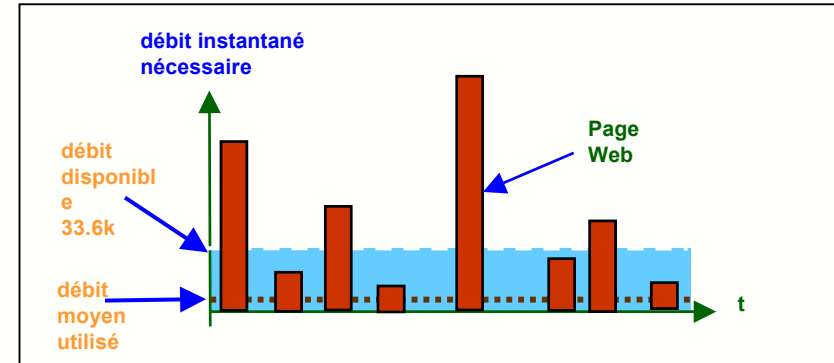
16- La transmission de données et le GSM



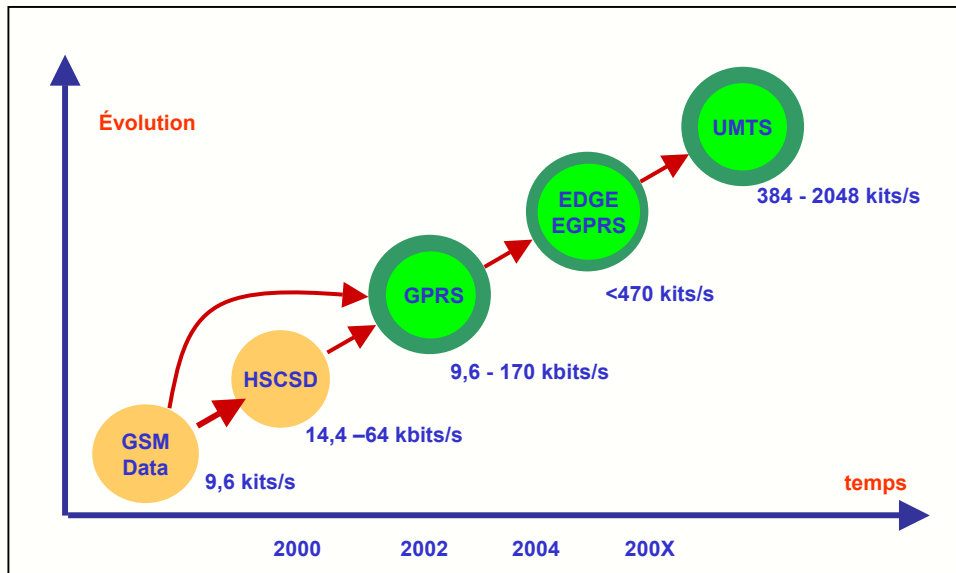
Le réseau GSM de base ne propose qu'un débit de 9,6 kbits/s, parfaitement satisfaisant pour la voix, mais insuffisant pour le transfert de fichiers, d'images, de vidéos, accès à Internet ...

De plus, le canal de transmission GSM est souvent très mal utilisé lors du transfert de données :

- si on surfe sur Internet , le canal est utilisé à 5% en moyenne
- lorsqu'on répond à ses Emails en direct, le canal est utilisé à 2%
- lorsqu'on télécharge ses Emails, le canal est utilisé à 10%



De nouvelles structures sont donc nécessaires pour offrir aux utilisateurs un confort plus grand :



⇒ la technique **HSCSD** (High Speed Circuit Switched Data) qui permet d'utiliser 2, 3 ...6 time-slots du GSM avec un débit de 14,4 kbits/s par time-slot

⇒ le standard **GPRS** (General Packet Radio Service) offre un débit plus élevé en affectant un nombre de time-slots variable d'une trame à l'autre en fonction des besoins instantanés

⇒ l'**EDGE** (Enhanced Data rates for GSM Evolution) : réseau de transition entre le GPRS et l'UMTS, permettant une augmentation de débit grâce à une modulation à 8 états au lieu de 2 pour le GMSK

⇒ l'**UMTS** (Universal Mobile Telecommunication System) : réseau mobile du futur avec des débits 200 fois supérieurs à ceux d'aujourd'hui, qui fournira des services multimédia et de vidéoconférence d'excellente qualité

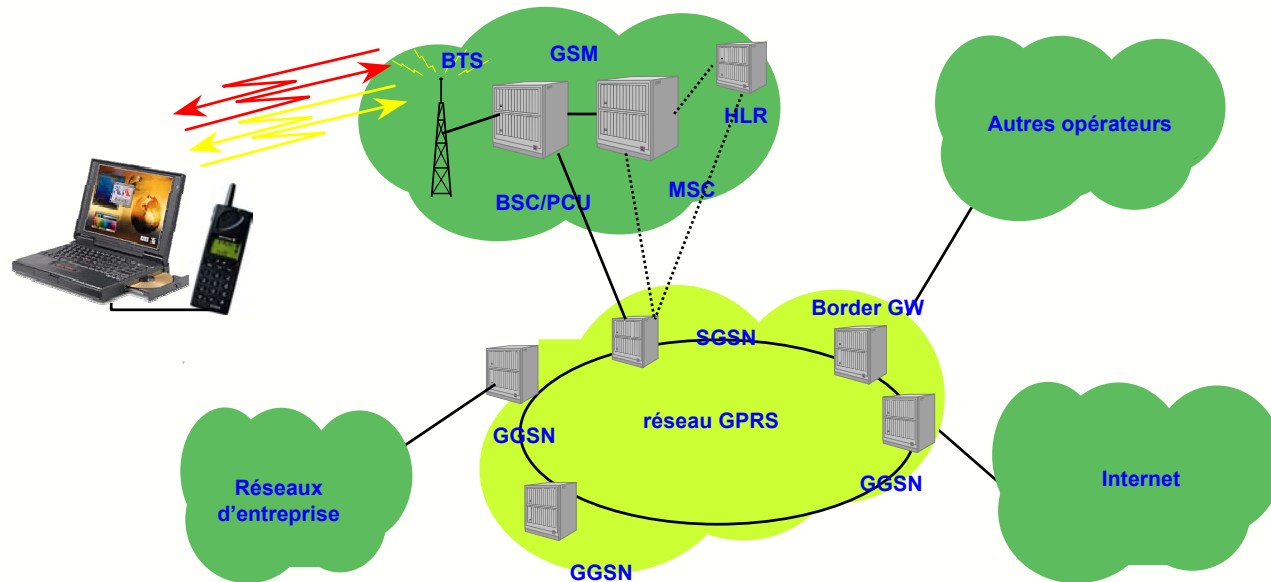


17- Les équipements du réseau GPRS



Le GPRS ne constitue pas à lui seul un réseau mobile, mais une couche supplémentaire rajoutée à un réseau GSM existant :

- le GPRS utilise les bandes de fréquences attribuées au GSM
- le GPRS repose sur la transmission en mode "paquet" qui permet d'affecter à d'autres les "temps morts" d'une communication



- ⇒ les stations de base ne subissent aucune modification si ce n'est l'adjonction d'un logiciel spécifique PCU (Packet Control Unit) permettant de gérer la transmission des paquets.
- ⇒ le contrôleur de stations de base BSC doit être doublé par le noeud SGSN (Serving GPRS Support Node), contrôleur qui a pour fonction de vérifier l'enregistrement des abonnés, de les authentifier et d'autoriser les communications
- ⇒ la passerelle GGSN (Gateway GPRS Support Node) réalise l'interface entre le réseau GPRS d'un opérateur et le réseau public à commutation de paquets
- ⇒ la gestion des abonnés GPRS se fait par le registre HLR/GR (GPRS register), hébergé dans les HLR/GSM existant et visibles de tous les SGSN du réseau GPRS.



18- L'attribution des canaux



La grande nouveauté du GPRS est donc l'**allocation dynamique des ressources radio** : le lien s'établit grâce à un canal spécifique « paquets » PDCH (packet data channel) dont la structure (fréquence, nombre de time-slots, taux de protection) varie au cours du temps en fonction de la quantité de données échangées.

Le débit instantané varie en fonction du nombre de "time slots" utilisés, avec une fourchette de 9,05 à 13,4 kbits/s par time-slot selon de degré de protection des données.

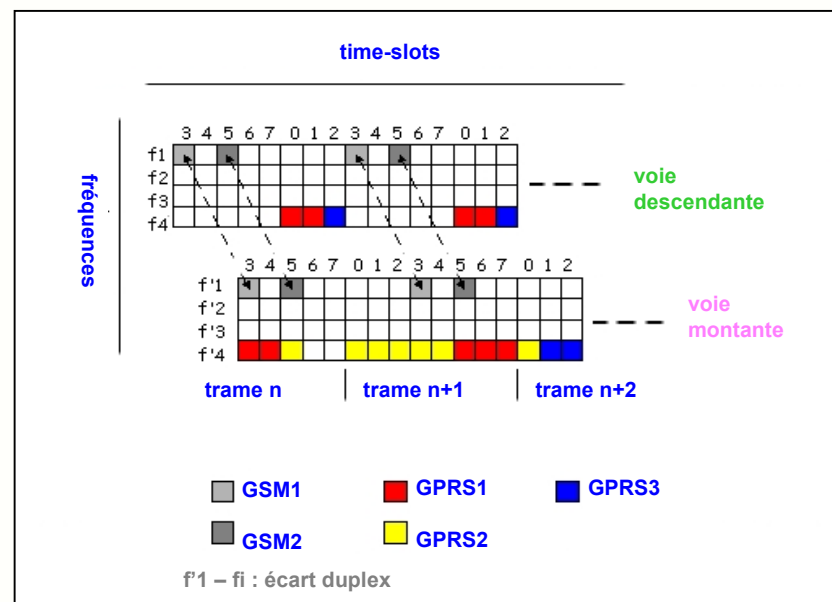
Classe	Nombre de slots		Maximum de slots utilisés par trame	Type de multislot	Fonctionnement
	Rx	Tx			
1	1	1	2	1	Mode alterné Rx ou Tx
2	2	1	3	1	
3	2	2	3	1	
4	3	1	4	1	
5	2	2	4	1	
6	3	2	4	1	
7	3	3	4	1	
8	4	1	5	1	
9	3	2	5	1	
10	4	2	5	1	
11	4	3	5	1	
12	4	4	5	1	
13	3	3	6	2	Mode simultané Rx et Tx
14	4	4	8	2	
15	5	5	10	2	
16	6	6	12	2	
17	7	7	14	2	
18	8	8	16	2	
...					

- les premiers services GPRS déployés ont été de **classe 2** soit **26,8 kbits/s** en réception, et évolueront peu à peu jusqu'à la classe 12 soit 53,6kbits/s en réception également, soit l'équivalent de ce qu'offre aujourd'hui un modem V90
- au-delà de la classe 12, la structure logicielle et matérielle du mobile sera profondément modifiée puisqu'il devra fonctionner simultanément en émission et en réception

L'illustration ci-contre montre un exemple d'allocation des ressources radio GSM et GPRS

- ⇒ le **canal f1** est affecté aux communications vocales
- ⇒ le **canal f4** est affecté à la transmission de données

On constate que chaque trame de transmission de données au standard GPRS est différente, et les time-slots sont affectés en fonction des besoins des différents utilisateurs.





19- La protection des données



Une fois que le nombre de time-slots affectés à la liaison montante et descendante est fixé, le débit numérique va dépendre du degré de protection des données transmises : c'est le choix du **schéma de codage**.

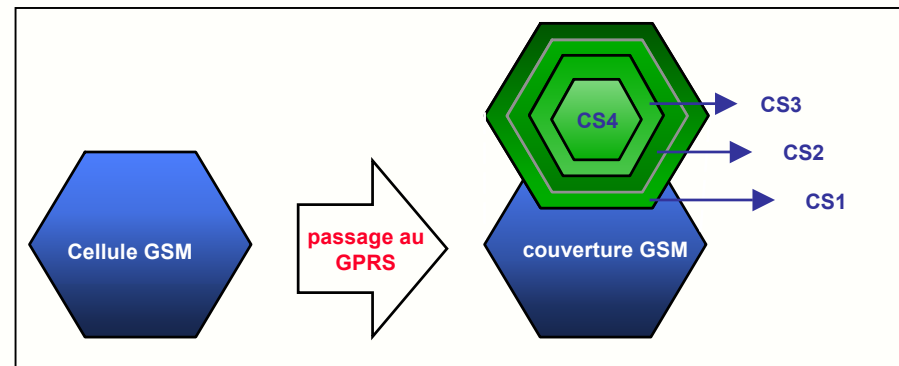
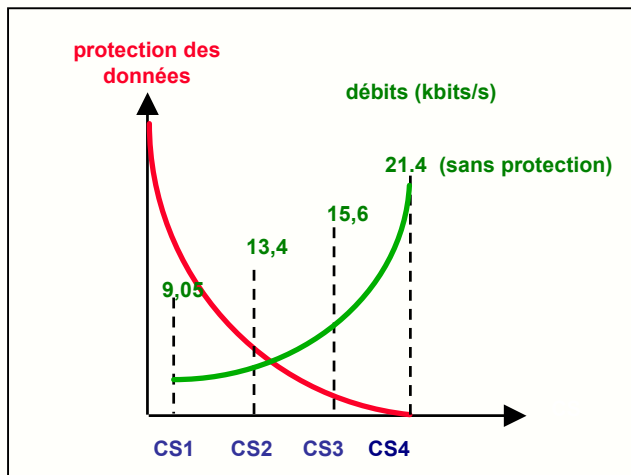
Quatre niveaux de codage convolutionnels CS1, CS2, CS3 et CS4 sont disponibles, suivant la qualité de liaison souhaitée et le taux de brouillage existant dans la cellule.

Schéma de codage de canal	Nombre de bits de données dans un bloc	Nombre de bits sur 4 burst	Débit de transfert en kbits/s	Débit maximal sur la base de 8 time-slots
CS1	181	456	9,05	72,4 kbits/s
CS2	268	456	13,4	107,2 kbits/s
CS3	312	456	15,6	124,8 kbits/s
CS4	428	456	21,4	171,2 kbits/s

Le niveau CS1 correspond à une protection maximale des données, le bloc de 181bits passe à 456 bits :

- 181 bits transmis sur 4 bursts dans 4 trames consécutives
- durée totale : $4 \times 4,62 \text{ ms} = 18,5 \text{ ms}$
- débit brut : $D = 181/18,5 = 9,8 \text{ kbits/s}$
- débit net : $D = 9,05 \text{ kbits/s}$ si on enlève les bits d'en-tête et de contrôle

La station de base peut choisir l'un ou l'autre de ces niveaux de protection en fonction du taux d'erreur observé et de la qualité souhaitée par l'utilisateur.



Dans une cellule, la base optimise aussi le taux de codage en fonction de l'éloignement de l'utilisateur et réservera le mode CS1 le plus protégé pour les utilisateurs situés en limite de cellule.

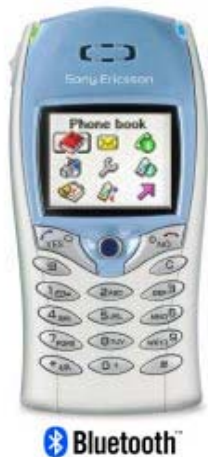


20- Exemples de mobiles GPRS



Trois classes de mobiles GPRS sont définies :

- **mobile de classe A** : il peut être déclaré sur GPRS (GPRS Attach) et GSM (IMSI Attach). Il peut être en communication simultanément sur le service GPRS et sur d'autres services GSM en mode circuit. Ce terminal haut de gamme pose problème actuellement. La puissance de calcul qu'il demande a pour l'instant une forte incidence sur son coût de production et le rend dissuasif.
- **mobile de classe B** : il peut être déclaré sur GPRS et GSM, et écouter simultanément les deux signalisations. Des communications en mode circuit GSM et en mode paquet GPRS ne peuvent avoir lieu simultanément. C'est le modèle GPRS de base.
- **mobile de classe C** : il peut être activé soit sur le réseau GPRS, soit sur le réseau GSM et il ne peut écouter les deux signalisations simultanément. Ce modèle professionnel ou industriel est data exclusivement (le terminal est utilisé comme un modem).



Sony Ericsson T68i
Tri-bande GPRS 3+1



Sagem myX-5 data
Bi-bande GPRS 4+1



Nokia 8310
Bi-bande GPRS 3+1, 2+2



Philips Fisio 820
Bi-bande GPRS (4+2)

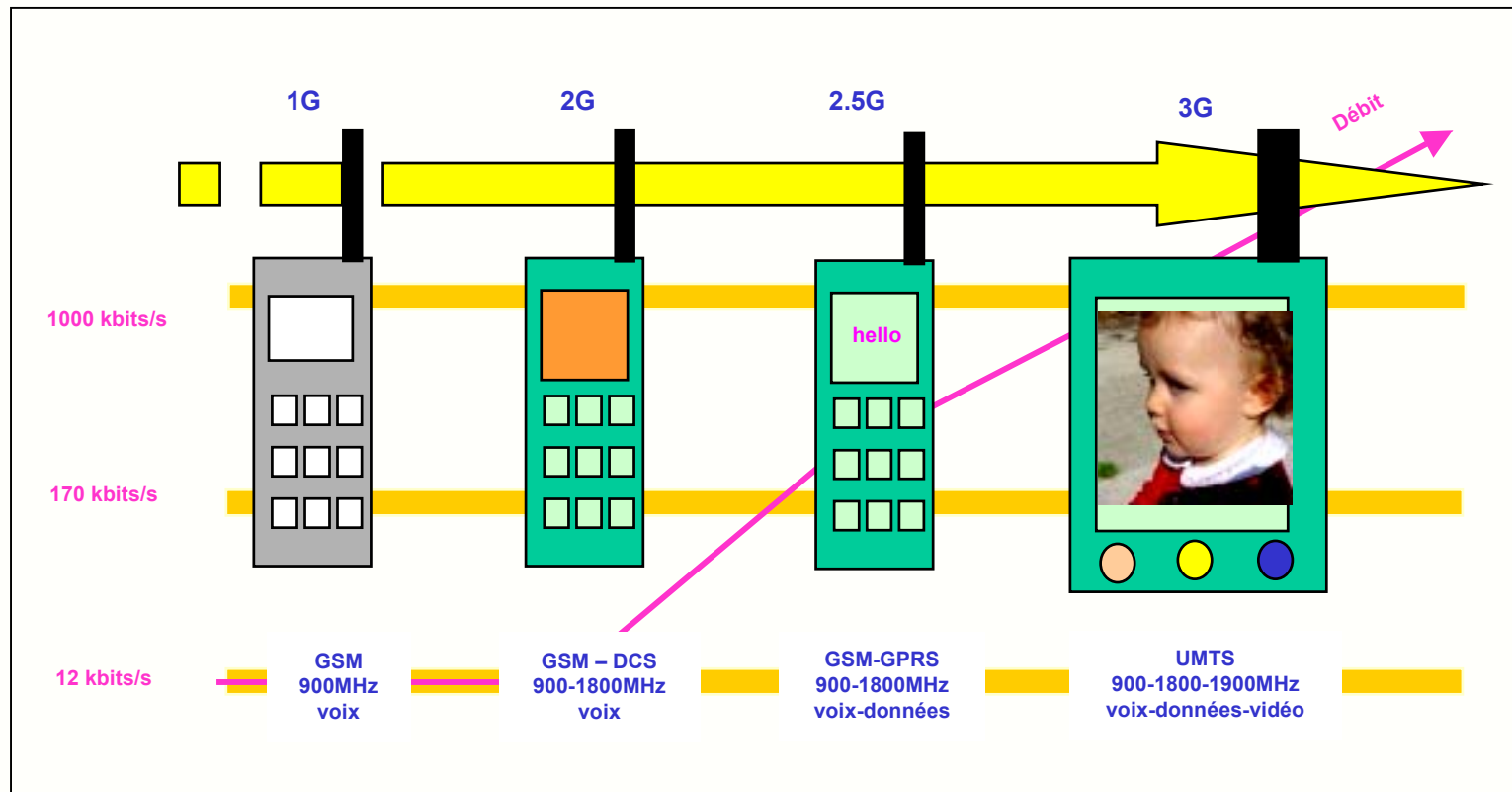


21- L'avenir du réseau GSM



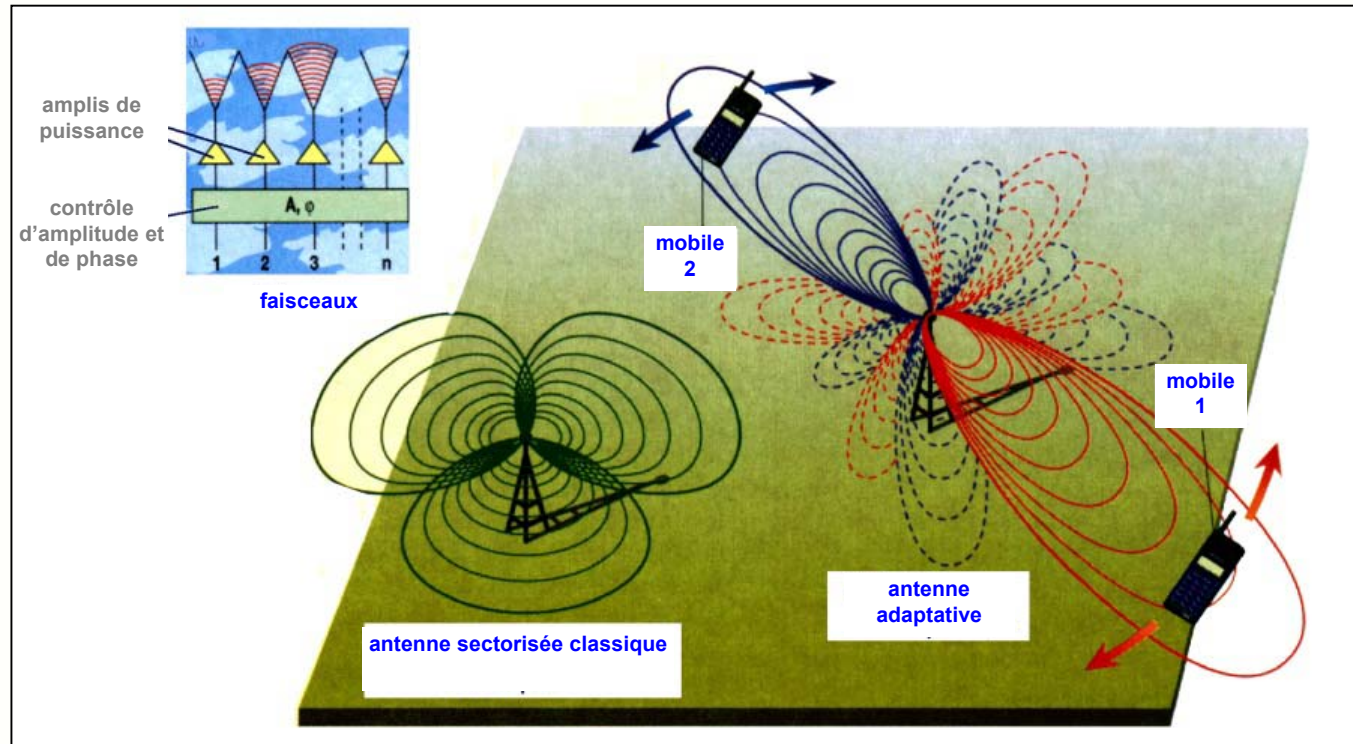
L'augmentation régulière du trafic « voix » et surtout « données » conduit à une saturation des ressources disponibles et diverses solutions ont été ou seront mises en oeuvre :

- diminuer la taille des cellules (installation de microcellules en environnement urbain)
- augmenter la largeur de la bande de fréquence (passage au EGSM et au DCS)
- meilleure gestion des fréquences grâce aux antennes adaptatives
- introduction du standard UMTS, qui apporte de nouvelles fréquences et un débit plus élevé





22- Les antennes intelligentes



Les antennes adaptatives qui vont équiper les nouvelles générations de stations de base :

- permettent d'orienter les faisceaux vers les mobiles en communication et donc de travailler à puissance réduite.
- l'orientation des faisceaux s'opère en contrôlant l'amplitude et la phase de la porteuse envoyée vers chaque antenne élémentaire.
- les perturbations et interférences inter-cellules seront réduites d'autant, ce qui permet une réutilisation des fréquences dans des cellules plus proches qu'avec des antennes classiques.

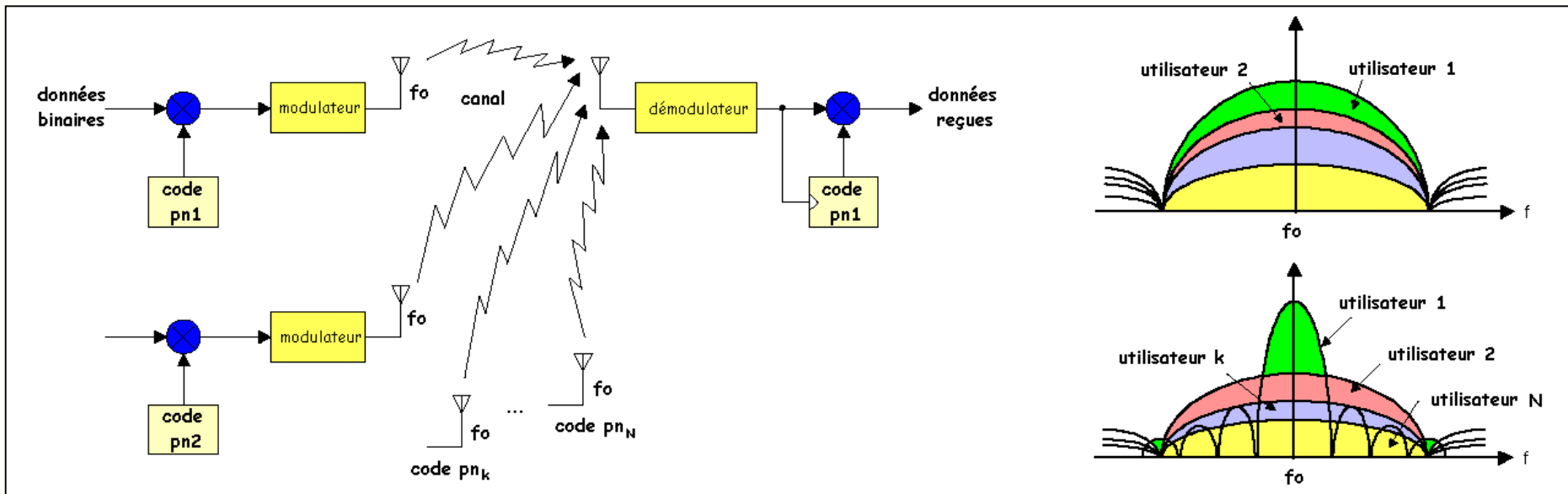


23- Le principe du standard UMTS



La grande différence entre le GSM et l'UMTS à venir est le remplacement de l'accès multiple par répartition dans le temps (TDMA) par l'accès multiple par codage (CDMA) :

- une séquence pseudo-aléatoire à 5 Mbits/s est mélangée au signal d'information binaire dont le débit est compris entre 9,6 kbits/s et 2 Mbits/s. Le signal résultant a toujours un débit de 5 Mbits/s.
- ce signal module après filtrage passe-bas, une porteuse en fréquence ou en phase
- un grand nombre de communications peuvent ainsi être transmises simultanément sur la même fréquence, chaque correspondant étant caractérisé par un code particulier



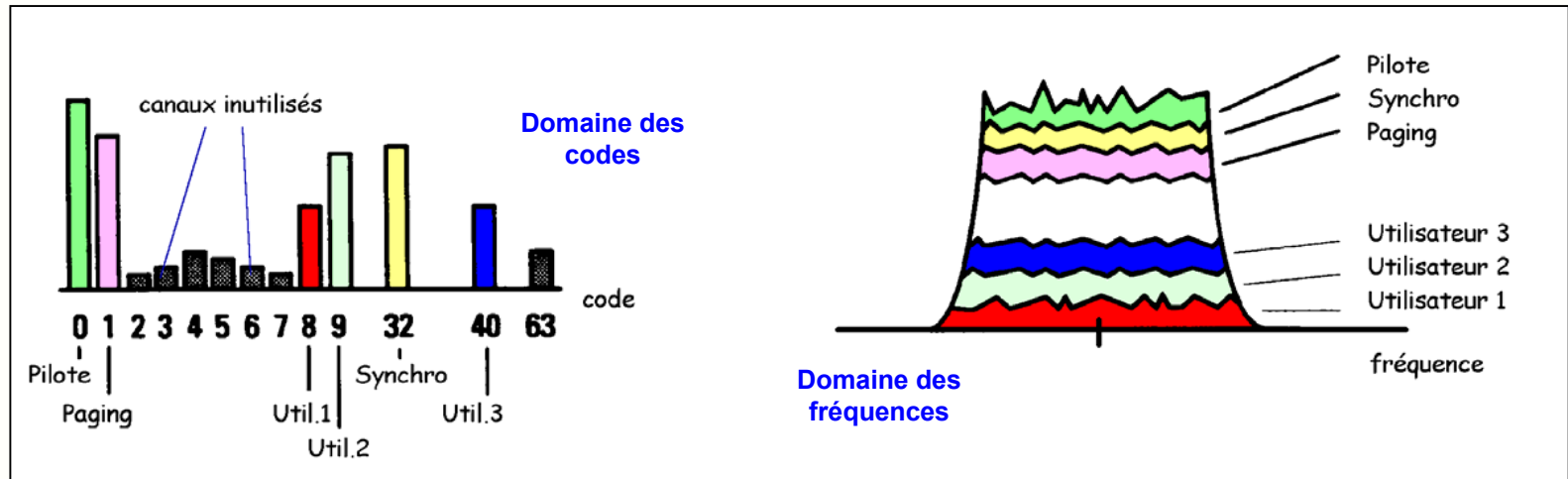
- le récepteur mélange le signal reçu avec le code numérique et sépare ainsi les usagers en récupérant l'information binaire



24- Le spectre dans le standard UMTS



Le spectre d'un canal UMTS est constitué par l'empilement des spectres des émissions des différents utilisateurs du canal, chaque émission ayant, du fait du caractère pseudo-aléatoire du code, un spectre sensiblement plat, assez proche de celui d'un bruit blanc.



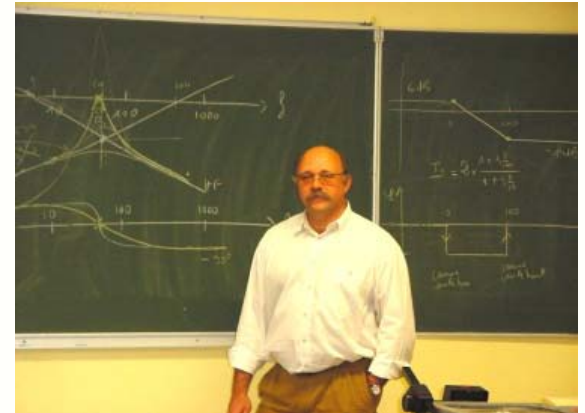
Les avantages mis en avant pour l'UMTS sont multiples:

- le signal proche d'un bruit est très difficile à brouiller et peu sensible aux parasites
- peu sensible aux trajets multiples, il fournit une meilleure qualité que le GSM en ville
- la confidentialité est bien assurée grâce à des codes de longueur suffisante
- les mêmes fréquences sont utilisables dans toutes les cellules, seuls les codes changent
- plus robuste, il permet de diminuer la puissance (meilleure autonomie, diminution des risques)
- le débit du signal à transmettre est limité à 2 Mbits/s, ce qui permettra des applications à haut débit (Internet, vidéo ...)

Pour l'UMTS, la bande montante va de 1920 à 1980 MHz et la bande descendante couvre de 2110 à 2170 MHz, la largeur d'un canal radio étant de 5 MHz.



Vieille maison alsacienne



FIN



Illustration : exemple d'antennes



Antenne panneau GSM à polarisation croisée

Caractéristiques électriques

- gamme de fréquence : 970 à 960 MHz
- gain : 16 dB / antenne isotrope
- TOS : inférieur à 1,3
- largeur du faisceau 85 ° en horizontal
- largeur du faisceau 9 ° en vertical
- puissance maximale : 500W
- intermodulation inférieure à -110 dBm
- impédance 50 ohms

Caractéristiques mécaniques

- longueur 2330 mm
- largeur : 253 mm
- masse : 15,7 kg
- résistance au vent : 873N / 160 km/h



NAME 1667910
FREQUENCY 910 MHz

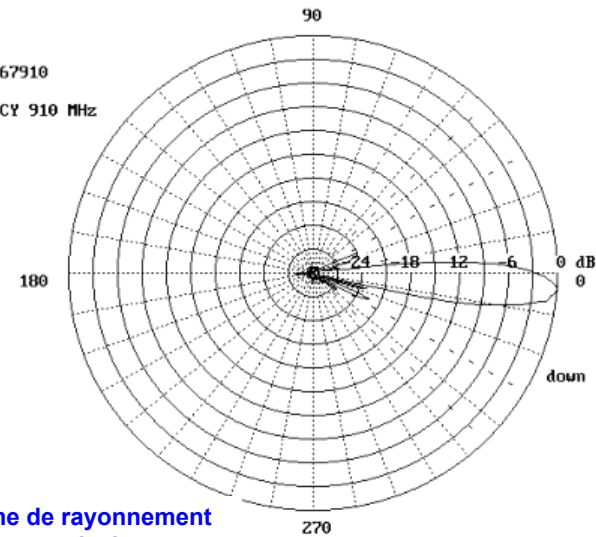


Diagramme de rayonnement dans le plan vertical

NAME 1667910
FREQUENCY 910 MHz

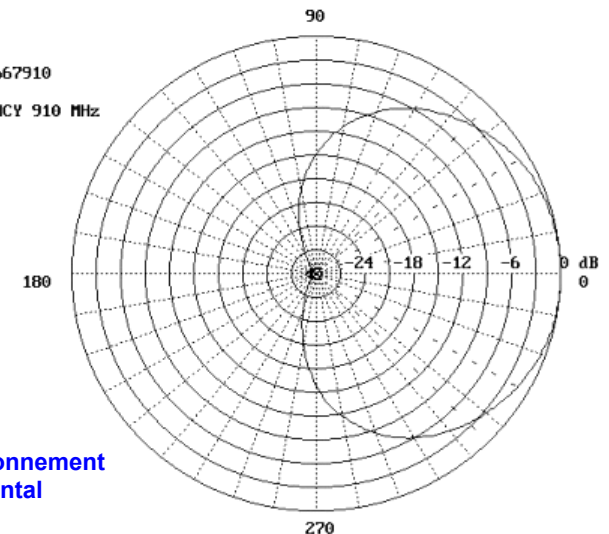


Diagramme de rayonnement dans le plan horizontal

[Cliquer sur l'image pour retourner à la diapositive](#)



Illustration : les stations de base



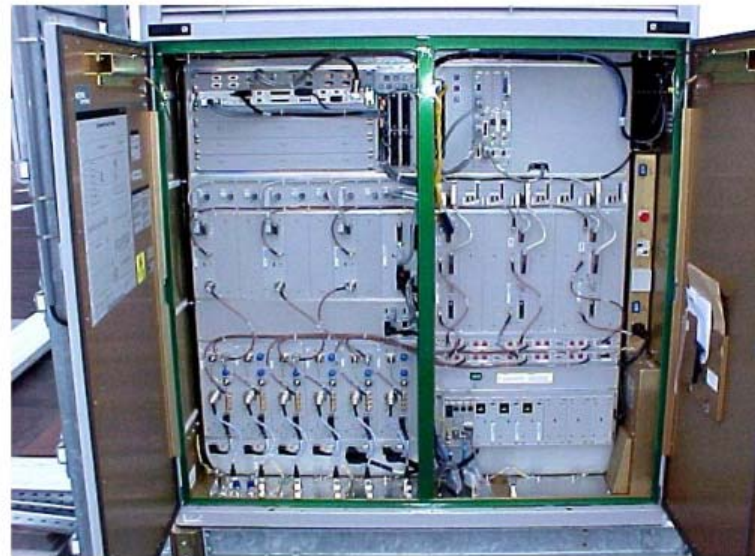
BTS de l'aéroport de Zurich
(équipement Nokia)



BTS Nokia



départ des câbles d'antennes



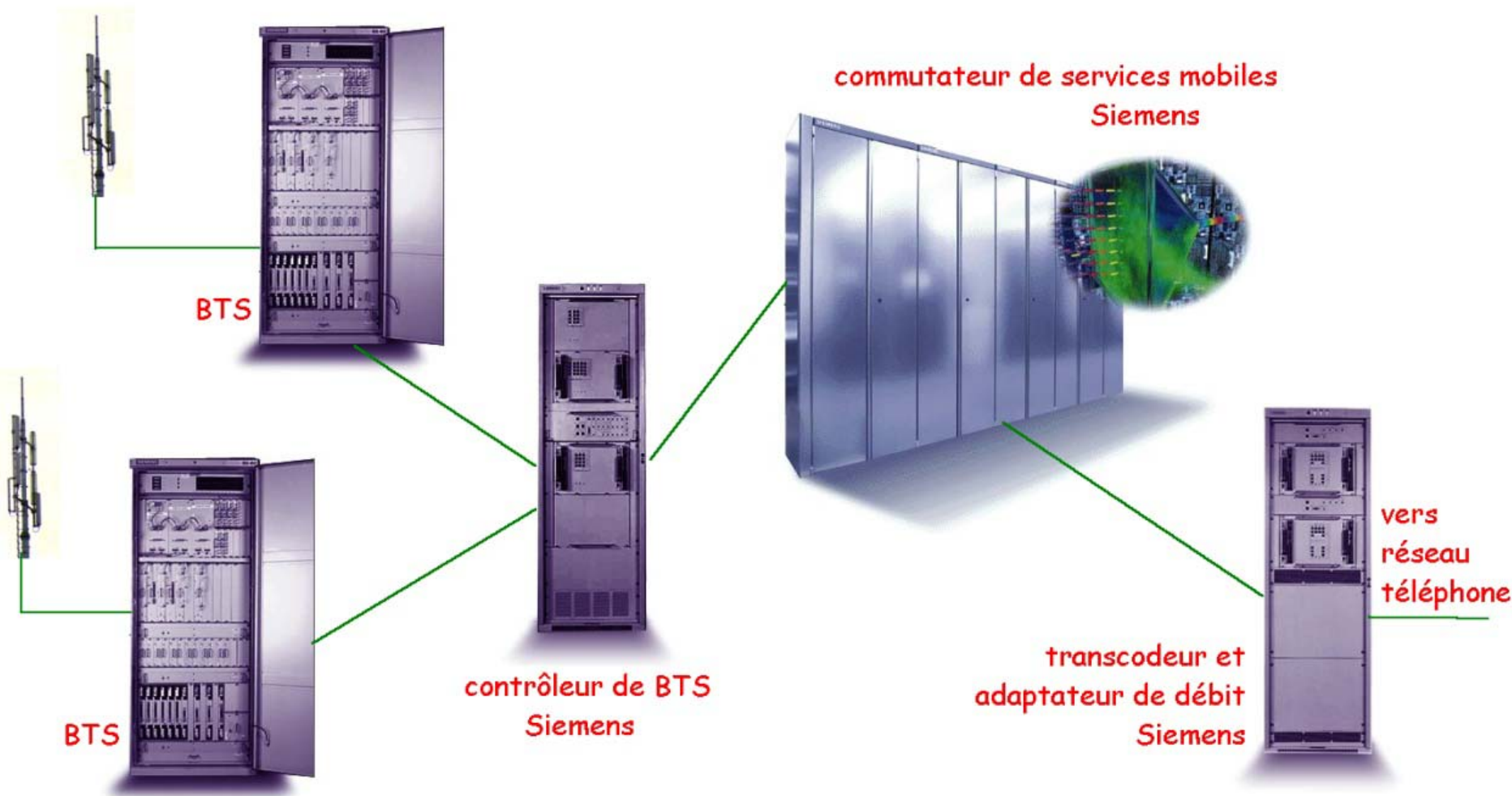
BTS Nortel



BTS Ericsson

[Cliquer sur l'image pour retourner à la diapositive](#)

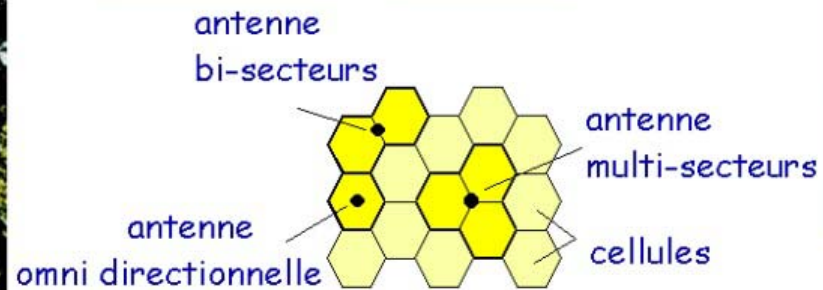
Illustration : le contrôleur de stations de base



Cliquer sur l'image pour retourner à la diapositive



Illustration : installation des antennes



[Cliquer sur l'image pour retourner à la diapositive](#)



Illustration : faisceaux hertziens



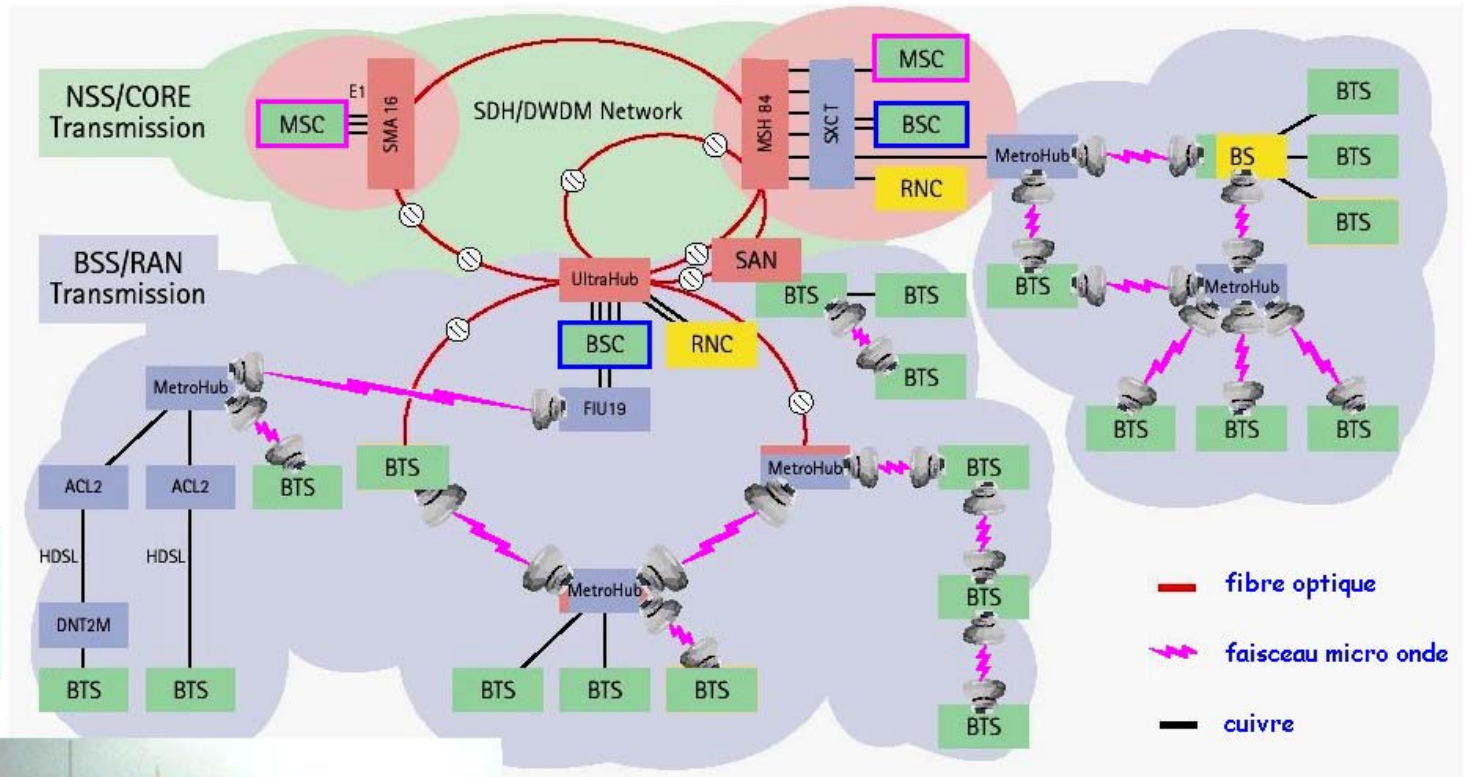
liaison
micro onde
Nokia
à 58 GHz



liaison
micro onde
à l'aéroport
de Zurich



liaison
micro onde
Sagem



[Cliquer sur l'image pour retourner à la diapositive](#)