

La propagation des ondes radioélectriques

Application aux liaisons radiomobiles

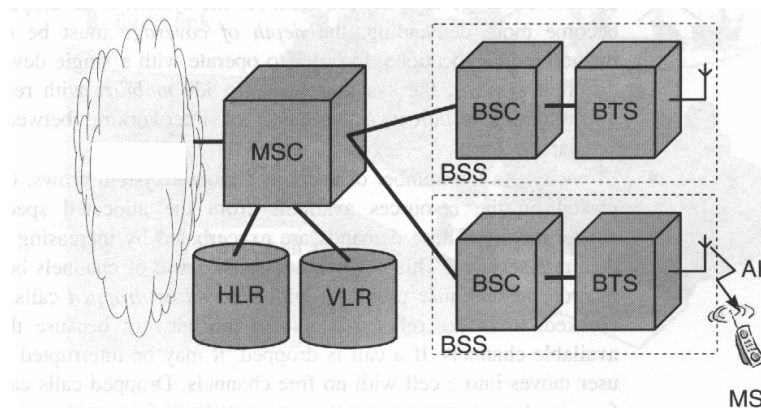
Introduction

Hervé Sizun

Le présent document contient des informations qui sont la propriété de France Télécom. L'acceptation de ce document par son destinataire implique, de la part de ce dernier, la reconnaissance du caractère confidentiel de son contenu et l'engagement de n'en faire aucune reproduction, aucune transmission à des tiers, aucune divulgation et aucune utilisation commerciale sans l'accord préalable écrit de France Télécom R&D

D1 - 24/03/2004

Architecture générale d'un réseau radiomobile



Architecture générale d'un réseau radiomobile



MS : Mobile Station : terminal de l'utilisateur

BTS : Base Transceiver Station

- { E/R munis d'une ou plusieurs antennes}
- 1 BTS couvre un territoire restreint (cellule)
- Découpage de la zone de service d'un réseau en cellule. Cette division doit être imperceptible à l'utilisateur : création de 2 fonctions non usuelles dans un réseau fixe classique
 - l'itinérance : gestion de la délocalisation de l'utilisateur
 - le hand over : le transfert automatique intercellulaire : changement de BTS au cours d'une communication quand le mobile se déplace.

Nombreux échanges d'informations entre la MS et la BTS

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D3 - 24/03/2004

Architecture générale d'un réseau radiomobile

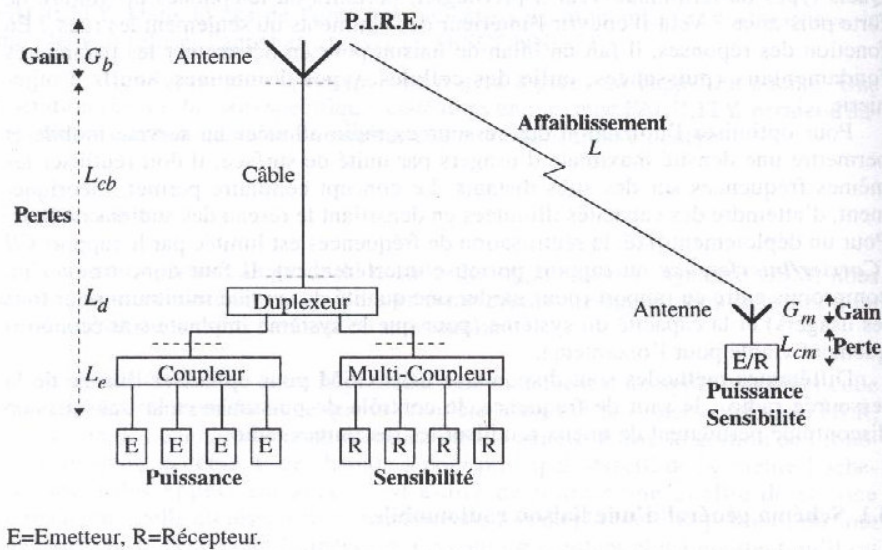


- ▶ **MSC: Mobile services Switcher Center** : Commutateur
- ▶ **BSC: Base station controller** : Commande d'un ensemble de BTS
 - Prise en charge des traitements liés à l'interface radio
 - Allocation de ressources radio
 - Transfert intercellulaire
 - Offre une interface permettant de masquer les aspects radio
- ▶ **BSS : Base Station Sub-system**
 - {BTS et BSC}: il forme le sous système radio
- ▶ **VLR: Visitor Location Register**
 - Mémorisation de tous les abonnés présents dans la zone couverte par le MSC (profil, localisation)
- ▶ **HLR : Home Location Register**
 - Mémorisation le profil de chaque abonné et l'identité du VLR où il se trouve
- ▶ **NSS: Network Sub System** : {MSC, VLR, HLR}. Il forme le sous réseau fixe

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D4 - 24/03/2004

Schéma général d'une liaison radiomobile



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
DS - 24/03/2004

Schéma général d'une liaison radiomobile



- ▶ **Emetteur (E) :** génère une O.E.M modulée à la fréquence désirée
- ▶ **Coupleur :** permet de superposer les ondes produites par les différents émetteurs sur un même conducteur électrique
- ▶ **Duplexeur :** système séparant la voie montante de la voie descendante
- ▶ **Câble :** transmet les ondes produites; guide d'ondes
- ▶ **Antenne (aérien):** système assurant la transition entre le guide d'ondes et l'espace libre dans lequel ces ondes vont se propager
- ▶ **L'espace permet aux ondes de se propager. Différents obstacles, diffracteurs ou réflecteurs, influent sur la propagation**

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
DS - 24/03/2004

Schéma général d'une liaison radiomobile



- ▶ Le signal est reçu par l'antenne du terminal mobile, transmis par un câble vers l'émetteur-récepteur. Le mobile ne comprend généralement pas de dispositif de couplage car il est constitué d'un seul émetteur-récepteur
- ▶ L'analyse de la liaison montante (terminal vers station de base) fait apparaître des éléments similaires
- ▶ Multi-coupleur : système permettant de disposer de plusieurs récepteurs sur une même antenne.

Liaison radiomobile



- ▶ **Emetteur : Puissance (P_e)**
- ▶ **Récepteur : Sensibilité**
- ▶ **Equiments intermédiaires**
 - Pertes : coupleur, duplexeur, câble,
 - Gains : antennes
- ▶ **Le milieu de propagation (affaiblissement L)**
 - Affaiblissement en espace libre: $L = 32,4 + 20\log_{10}(f) + 20\log_{10}(d)$
 - Affaiblissement supplémentaire à l'espace libre
- ▶ **Puissance reçue au récepteur**
$$P_r = P_e - L_{cb} - L_e - L_d + G_b - L + G_m - L_{cm}$$
- ▶ **Les puissances, les pertes, les gains sont exprimés en dB**

Sensibilité d'un récepteur



- ▶ Pour assurer une réception correcte, le rapport Signal/Bruit doit être > seuil donné
 - Analogique : $S/B > \text{seuil}$ ou B est le bruit thermique du récepteur
 - Numérique : $E_c/N_0 > \text{seuil}$
 - E_c est l'énergie d'un bit transmis (appelé quelquefois "chip")
 - N_0 est la densité de bruit
- ▶ La sensibilité S est le niveau de puissance minimale C pour lequel le rapport E_c/N_0 est supérieur au seuil de fonctionnement
- ▶ Cas du GSM
 - E_c/N_0 : 8dB en présence d'évanouissements sélectifs
 - La largeur de modulation étant de 271 kHz, le bruit thermique est de $1,1 \cdot 10^{-12}$ mW soit **-120 dB_m** à 290 K.

Décibel (dB)



- ▶ Dizième du Bel (Alexander Graham BELL, inventeur du)
- ▶ Unité de mesure définie par le rapport logarithmique
 - de potentiel ou de courant
$$dB = 20 \log_{10} \left(\frac{I_s}{I_e} \right) \quad dB = 20 \log_{10} \left(\frac{V_s}{V_e} \right)$$
 - de puissance
$$dB = 10 \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_e} \right)$$
 - Résultat >0 : Amplification
 - Résultat <0 : Atténuation

Décibel



▶ dBm : $dB_m = 10 \log \left(\frac{P}{1mW} \right)$

▶ dBW: $dB_w = 10 \log \left(\frac{P}{1W} \right)$

▶ dBi: gain d'une antenne*/aérien isotrope* qui émet la même quantité d'énergie dans toutes les directions. Cet aérien n'existe pas

▶ dBd: gain d'une antenne/aérien dipole demi-onde*. Cet aérien a une réalité physique

▶ dBc: $dB_c = 10 \log \left(\frac{P}{P_c} \right)$

▶ c: carrier ; porteuse

Décibel



▶ Opération sur les décibels

▶ Si:

$$A(dB) = 10 \log_{10} \left(\frac{P_s}{P_e} \right) = 10 \log_{10} (R)$$

▶ alors:

$$R = 10^{\frac{A}{10}}$$

Décibel



R	R (scientifique)	A (db)
0,00001	1,E-05	-50
0,0001	1,E-04	-40
0,001	1,E-03	-30
0,01	1,E-02	-20
0,1	1,E-01	-10
1	1,E+00	0
10	1,E+01	10
100	1,E+02	20
1000	1,E+03	30
10000	1,E+04	40

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D13 - 24/03/2004

Décibel



▶ En acoustique (le bruit, le son = onde de pression)

- ▶ Le signal le plus faible entendu par l'humain

$$P_f = 20.10^{-6} P_a$$

- ▶ Le signal le plus élevé et encore supportable

$$P_F = 200\,000\,000.10^{-6} P_a$$

- ▶ Le ratio:
 - 7 Bels
 - 70 Décibels (dB)

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D14 - 24/03/2004

BELL Alexander Graham



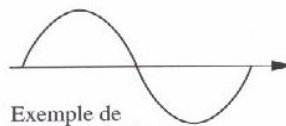
► Physicien américain d'origine britannique (1847-1922)

- Etudes musicales
- Se consacre à la phonétique
- Enseignement du langage des signes
- Construction d'une oreille artificielle qui enregistre les sons sur une plaque de verre enduite de noir de fumée
- Invention du téléphone (1876) (en tentant de faire entendre aux sourds)
- Usage de la cire pour les disques de phonographe
- Procédé électrique de localisation des objets métalliques dans corps humain dont l'usage disparaîtra avec la découverte des rayons X

Signal analogique/numérique



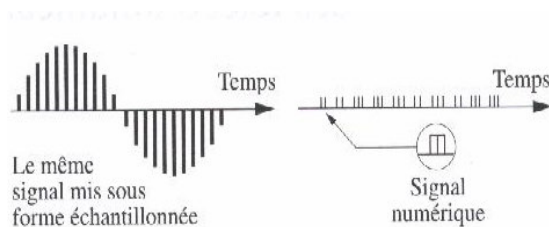
► Signal analogique : signal continu dans le temps



Exemple de signal analogique (courant alternatif sinusoïdal)

► Signal numérique

- Échantillonnage
- Quantification
- Codage



Signal analogique/numérique



▶ Echantillonnage

- › Mesure à intervalles réguliers de la tension du signal qui est transformée par quantification et codage en une suite d'impulsions
- › La fréquence d'échantillonnage doit être \geq à la fréquence maximale du signal (théorème de Nyquist) pour reconstituer correctement le signal d'origine
- › Pour la voie, la bande passante pour une communication téléphonique est comprise entre 300 et 3400 Hz : la fréquence d'échantillonnage retenue est de 8000 Hz.

▶ Quantification

- › Faire correspondre à la valeur instantanée d'échantillon la valeur la plus voisine dans une suite finie de nombres entiers.
- › Cette suite peut être obtenue par codage
 - Le code est un ensemble de règles de base qui permet de représenter des informations sous une forme codée commune à un émetteur et à un récepteur.

Signal analogique/numérique



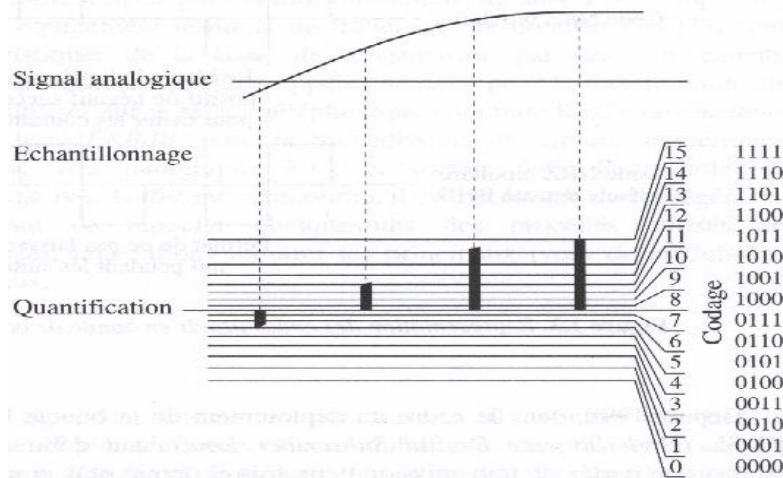
▶ Codage

- › Le principe du codage binaire est le suivant : le nombre de combinaisons possibles de n éléments pris deux à deux est de 2^n correspondant à des plages d'échantillonnage
 - Le code télégraphique à 5 moments soit 2^5 soit 32 combinaisons ou plages d'échantillonnage
 - Le code ASCII à 7 moments soit $2^7 = 128$ combinaisons
 - Le code EBCDIC à 8 moments soit $2^8 = 256$ combinaisons

Signal analogique/numérique



Exemple de codage à 4 éléments binaires



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D19 - 24/03/2004

Les différents systèmes radiomobiles



Les différentes générations:

- 1 G : Systèmes analogiques (Radio 2000)
 - Réseaux nationaux
 - Pas d'itinérance internationale
- 2G : Systèmes numériques
 - Permettent l'itinérance internationale
 - Limités en débits (Quelques dizaines de Kbits/s)
 - Utilisés essentiellement pour les communications vocales
- 3G : Universal Mobile Telecommunication System
 - Services de données à haut débit (jusqu'à 2Mbits/s)

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D20 - 24/03/2004

Partage de la ressource radio

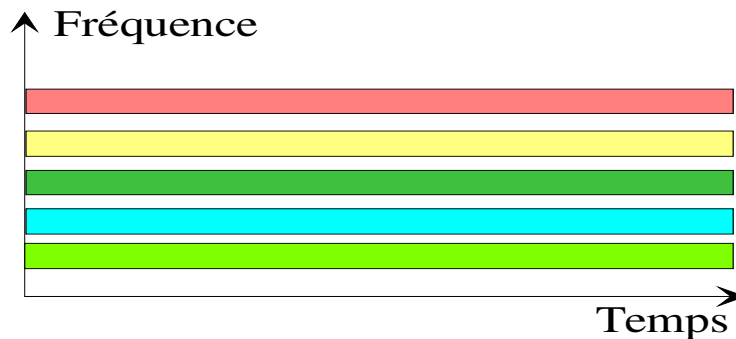


- ▶ **Tout système radiomobile requiert une bande de fréquences**
- ▶ **Les méthodes pour partager cette bande en canaux physiques élémentaires susceptibles d'écouler une communication différent :**
 - FDMA (Frequency Division Multiple Access) ou AMRF (Accès multiple à répartition fréquentielle)
 - TDMA (Time division Multiple Access) ou AMRT (Accès multiple à répartition temporelle)
 - CDMA (Code Division Multiple Access)
 - Saut de fréquences

Partage de la ressources radio



- ▶ **FDMA (Frequency Division Multiple Access) ou AMRF (Accès multiple à répartition fréquentielle)**
 - Le spectre disponible est divisé en fréquence et chaque fréquence supporte un canal physique

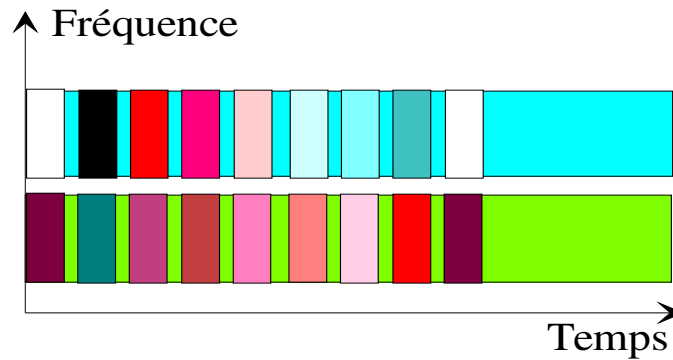


Partage de la ressources radio



▶ TDMA (Time division Multiple Access) ou AMRT (Accès multiple à répartition temporelle)

- ▶ Chaque fréquence est divisée dans le temps en intervalles, appelés slots

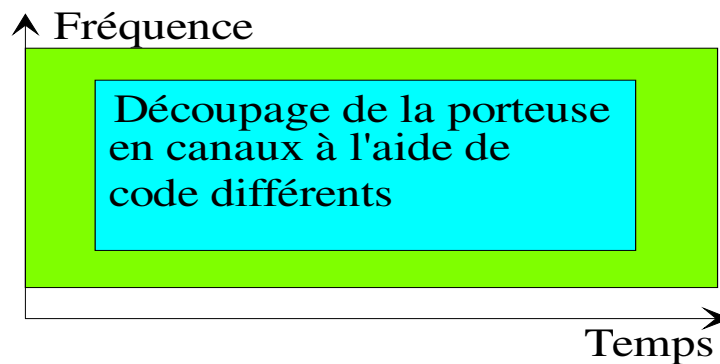


France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D23 - 24/03/2004

▶ CDMA (Code Division Multiple Access)

- ▶ Chaque fréquence est divisée en canaux à l'aide de codes différents



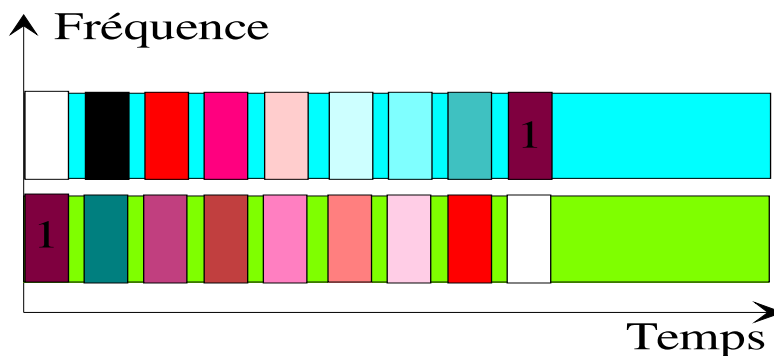
France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D24 - 24/03/2004



► Saut de fréquences

- La transmission est fixée sur une porteuse pendant un intervalle de temps mais peut varier d'un intervalle à l'autre



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D25 - 24/03/2004

La propagation des ondes radioélectriques



► Limitée à l'environnement située entre le MS et la BTS

- Liaison MS vers BTS : liaison montante
- Liaison BTS vers MS : liaison descendante

► Etude de l'environnement

► Les ondes électromagnétiques

► Les antennes

► Les liaisons radiomobiles

► Les liaisons Terre-satellite

► L'ingénierie radioélectrique

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D25 - 24/03/2004

Etude de l'environnement



- ▶ **Les paramètres radioclimatiques**
 - P, T, H
- ▶ **Les bases de données géographiques**
 - Les modèles numériques de terrain (MNT)
 - Les modèles numériques de sursol (MNS)
 - Les contours de bâtiments
 - Les données intérieures des bâtiments
- ▶ **Les différents types de cellules**
 - La macrocellule
 - La petite cellule
 - La micro cellule
 - La pico cellule

Les ondes électromagnétiques



- ▶ **Généralités**
 - Les paramètres électromagnétiques (E, H, D et B)
 - Les équations de Maxwell
 - Caractérisation (vitesse, longueur d'onde, fréquence, vecteur de Pointing, indice de réfraction, polarisation, effet doppler, ...)
- ▶ **Le spectre de fréquences**
- ▶ **Les différents mécanismes de propagation (réflexion, transmission, diffraction, guidage, ...)**
- ▶ **Les principaux phénomènes physiques**
 - Affaiblissement
 - Variabilité
 - Sélectivité

Les antennes



- ▶ **Principes d'une antenne**
 - Qu'est-ce qu'une antenne ?
 - Le fonctionnement d'une antenne
- ▶ **Les paramètres caractéristiques d'une antenne**
 - Diagramme de rayonnement
 - Directivité
 - Gain
 - Largeur de bande
- ▶ **Quelques types d'antennes**
 - Dipole
 - Antenne cornet
 - Antenne Patch
 -

Les liaisons radiomobiles



- ▶ **Les différents types de modèles**
 - Modèles théoriques
 - Modèles empiriques ou statistiques
 - Modèles semi-empiriques
- ▶ **Les différents usages des modèles**
- ▶ **Les différents modèles utilisés en ingénierie radio**
 - Les modèles macrocellulaires
 - Les modèles petites cellules
 - Les modèles microcellulaires
 - Les modèles à lancer de rayons
 - Les modèles de pénétration
 - Les modèles à rayons
 - Les modèles géométriques
 - Les modèles large bande

Autres thèmes

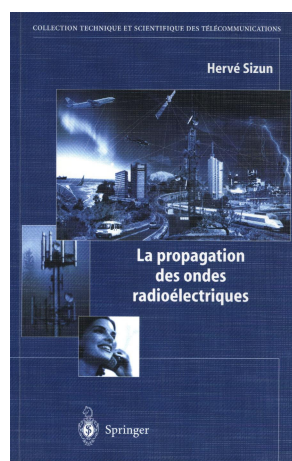


- ▶ Les liaisons Terre-Espace
- ▶ Les liaisons ionosphériques et les relations Soleil-Terre
- ▶ Les outils d'ingénierie

France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D31 - 24/03/2004

La propagation des ondes radioélectriques



France Télécom R&D

La communication de ce document est soumise à autorisation de France Télécom R&D
D32 - 24/03/2004