

# **Systèmes de communications sans fils**

Cours systèmes de communications

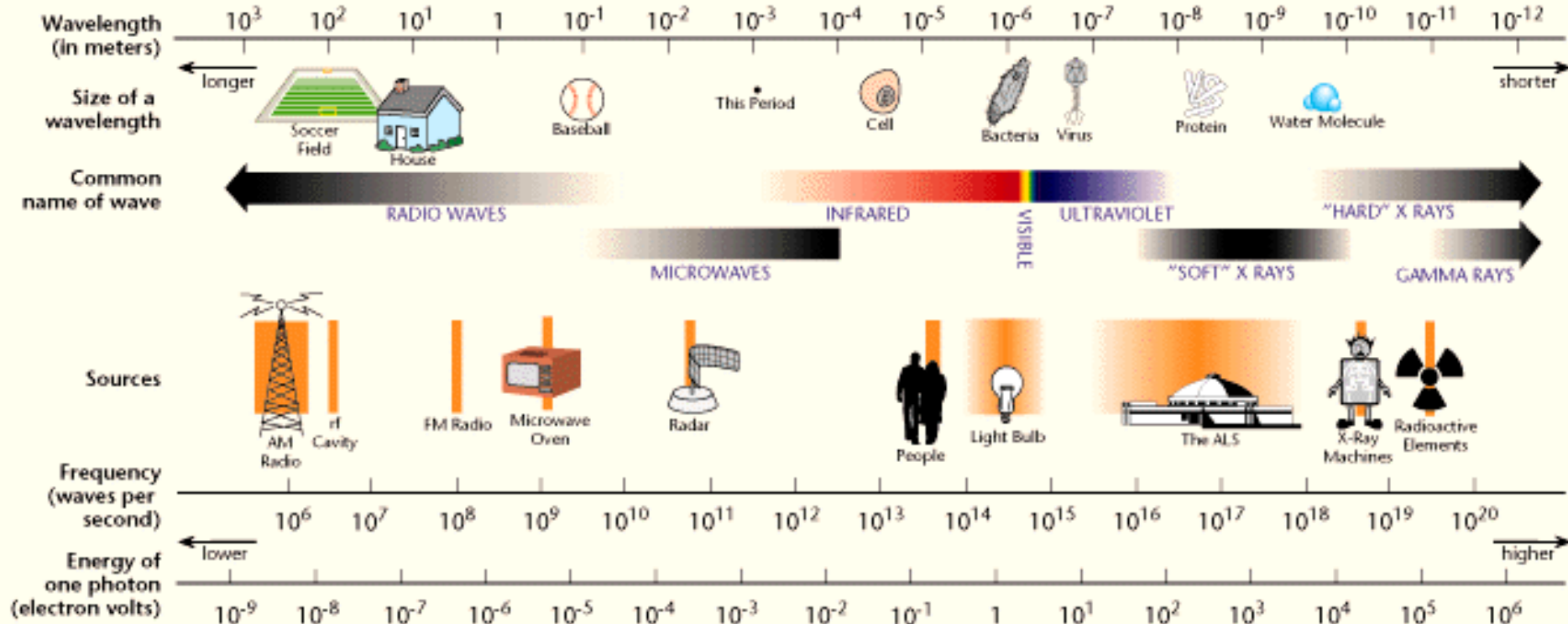
M1 SMART'COM

# Introduction

- Dans tout système de communications sans fils le signal est véhiculé sous forme d'une onde électromagnétique (O.E.M.).
- Communications point à point
- Communications point à multipoints
- De plus en plus de mobilité

# Spectre Electromagnétique

## THE ELECTROMAGNETIC SPECTRUM



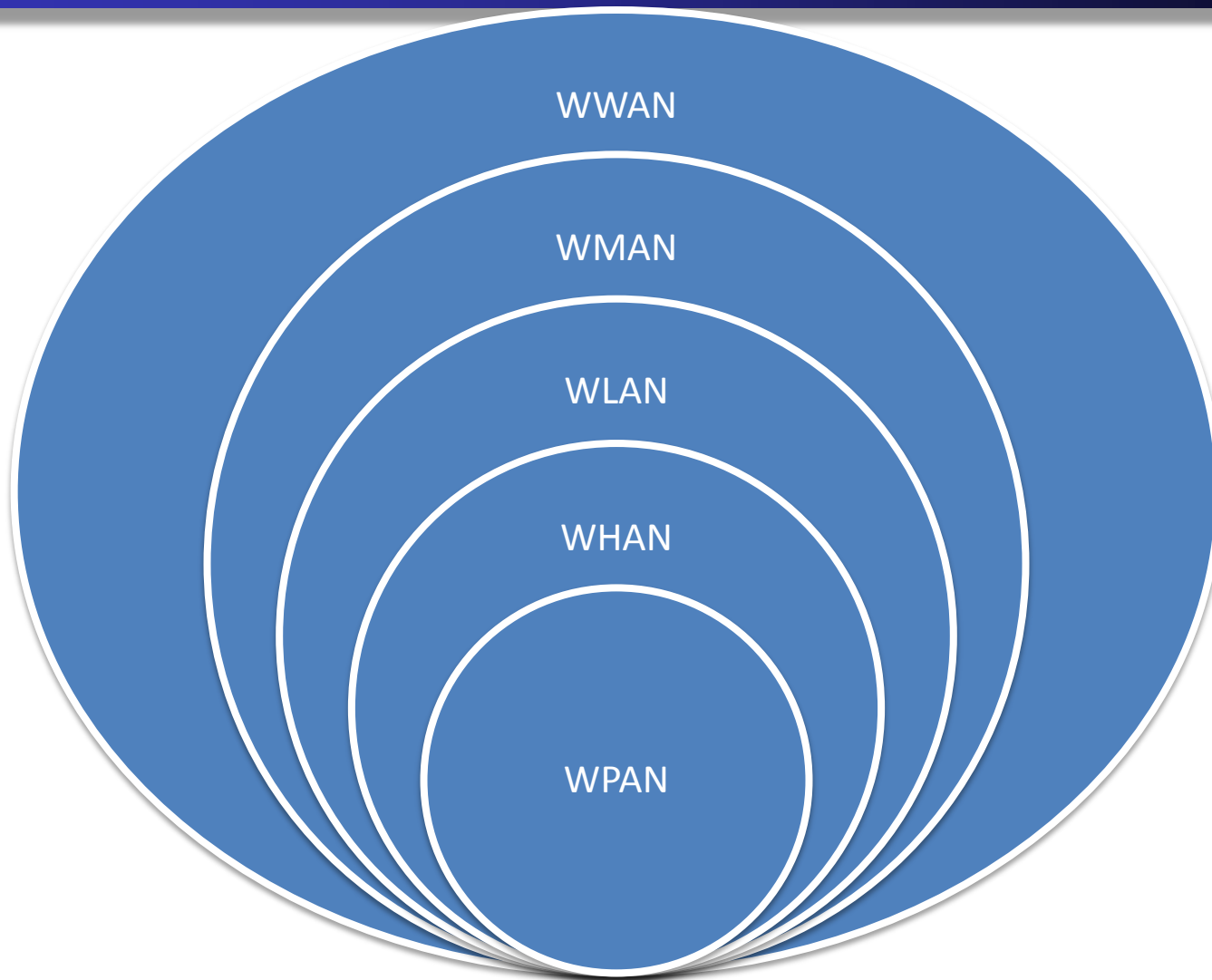
# Phénomènes Electromagnétiques

- Lors de sa propagation cette onde subit l'effet de certains phénomènes causant une dégradation de la qualité du signal limitant ainsi la couverture géographique du système.
  - Atténuation
  - Absorption
  - Réfraction
  - Réflexion
  - Diffraction

# Classification des réseaux sans fils

- Les réseaux filaires peuvent être classifiés selon plusieurs critères:
  - Couverture géographique
  - Débit
  - Type de commutation
  - Type de multiplexage ....
- De même pour les réseaux sans fils on peut considérer ces critères.
- La classification la plus répandue est celle selon la couverture géographique.

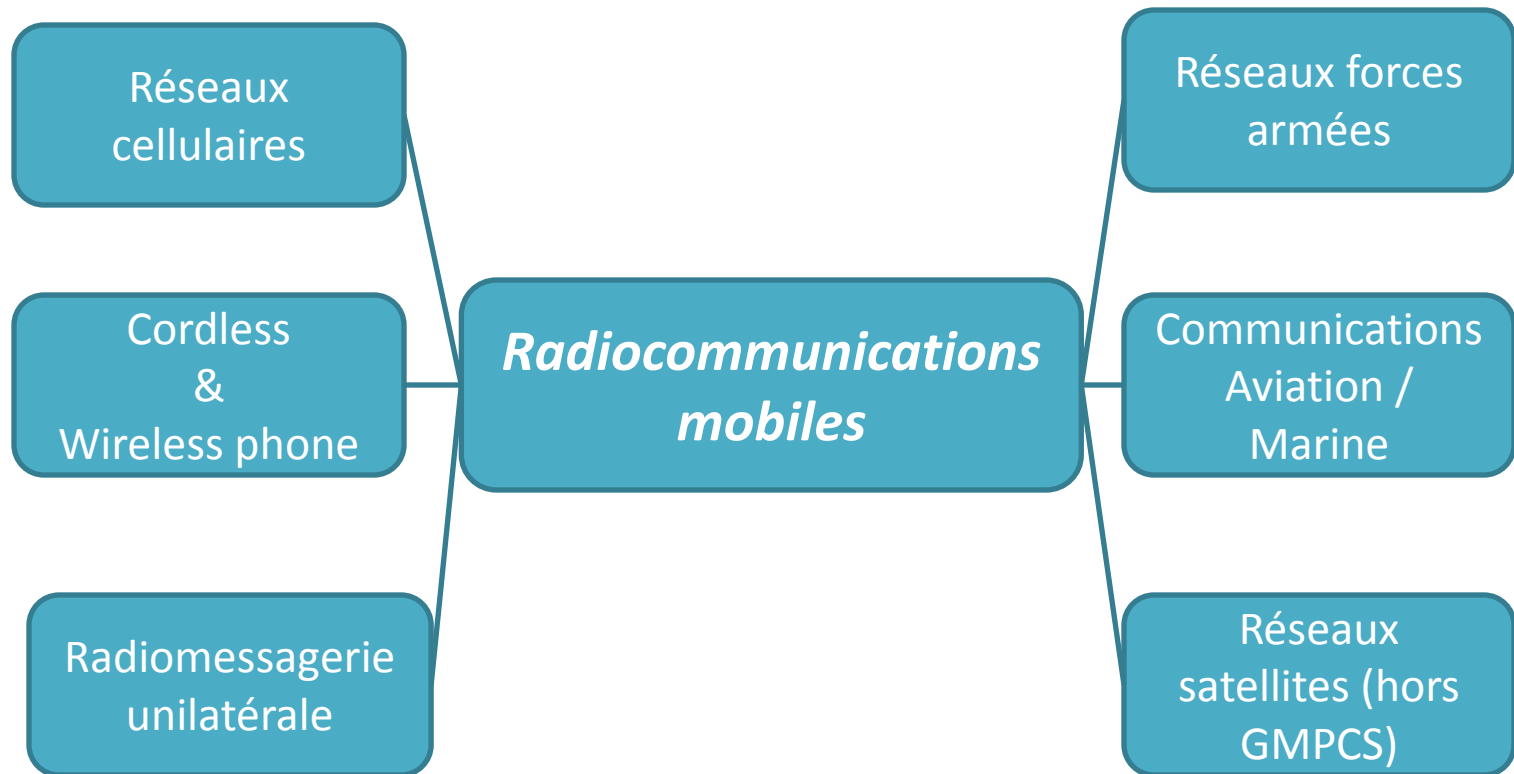
# Classification géographique



# Mobilité

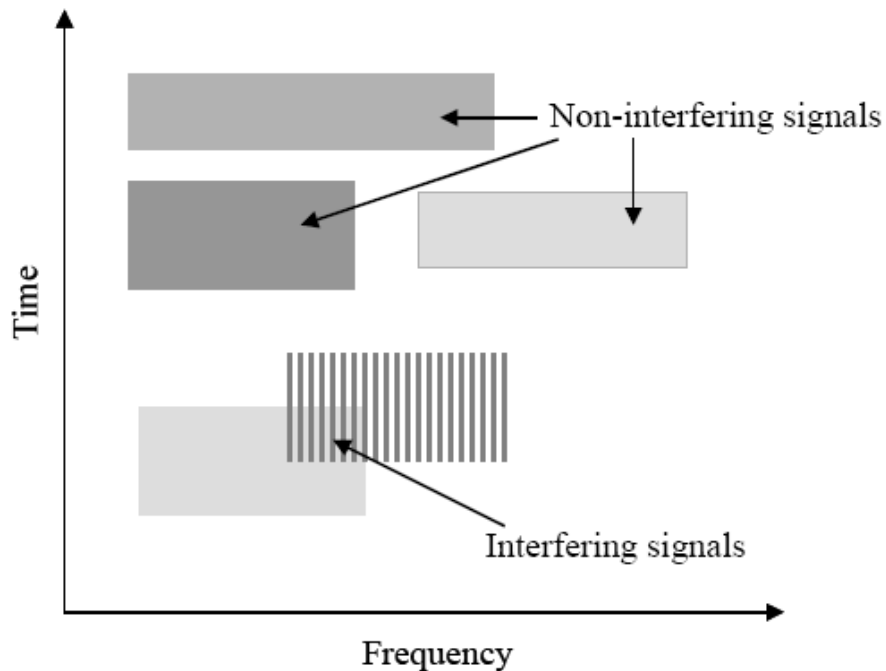
- Communiquer avec une personne en déplacement
- Un équipement émetteur récepteur de radio, muni de sa propre source d'énergie.
- Evolutions des composants électroniques, informatiques, et surtout des sources d'énergie.
- Contrainte de distance: limitée par les conditions de propagation des ondes radio

# Domaines des systèmes de radiocommunications mobiles





# Notion d'interférences

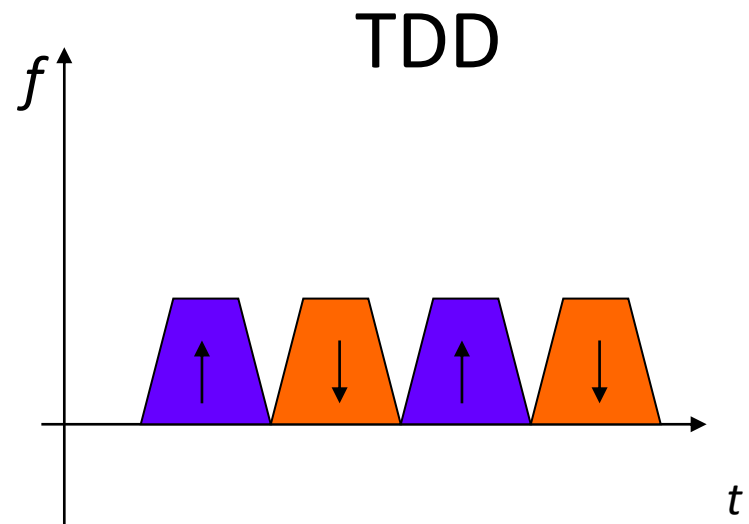
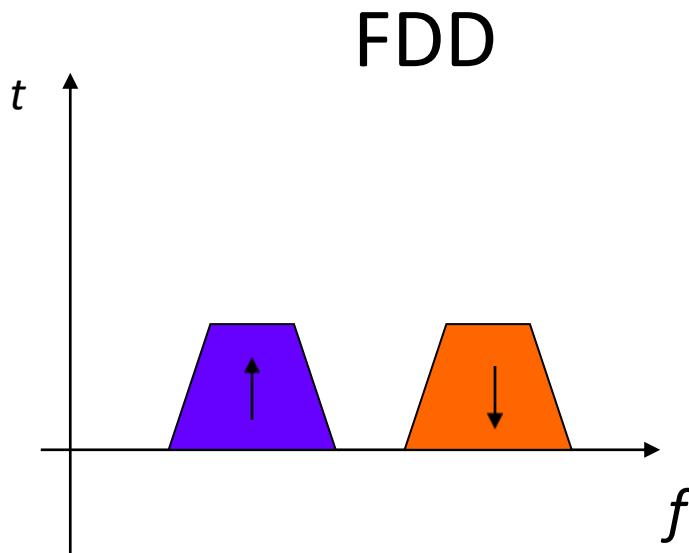


- Deux signaux se trouvant sur la même bande de fréquence en même temps **interfèrent.**

Le but est de créer une séparation entre les signaux.

# Duplexage

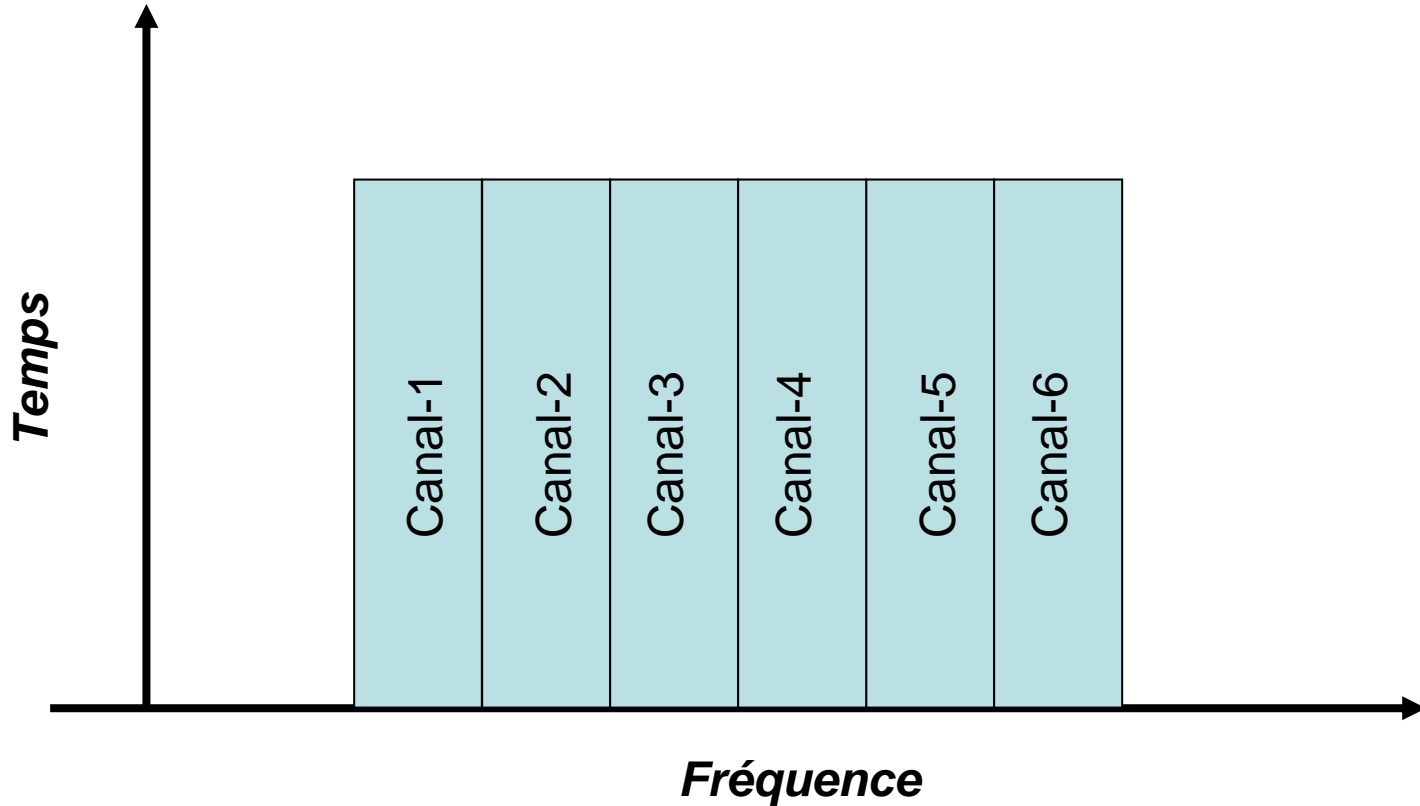
- Séparation entre les liens montants et les liens descendants
  - **FDD: Frequency Division Duplexing**: séparation fréquentielle.
  - **TDD: Time Division Duplexing**: séparation temporelle.



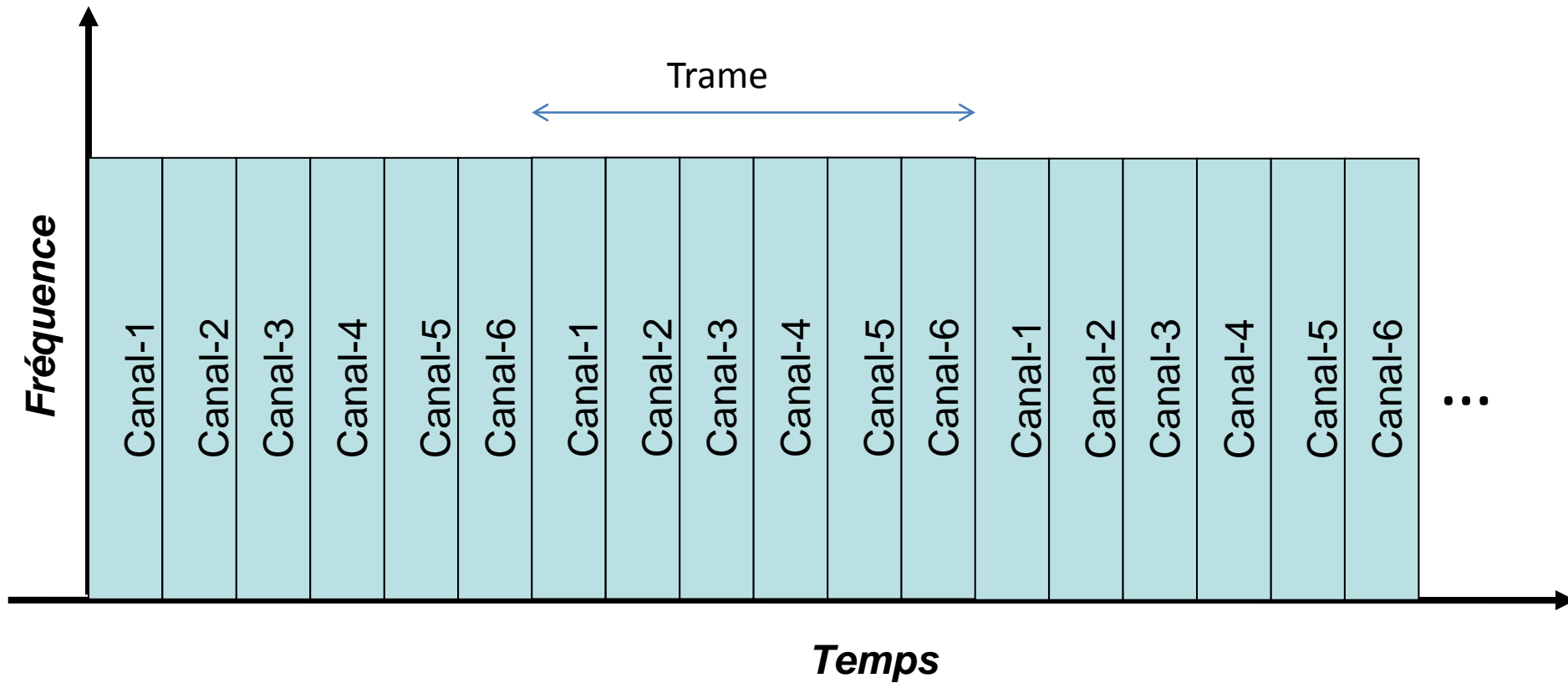
# Techniques d'accès multiple

- Séparation les signaux généralement générés par les utilisateurs
  - FDMA: Frequency Division Multiple Access
  - TDMA: Time Division Multiple Access
  - CDMA: Code Division Multiple Access

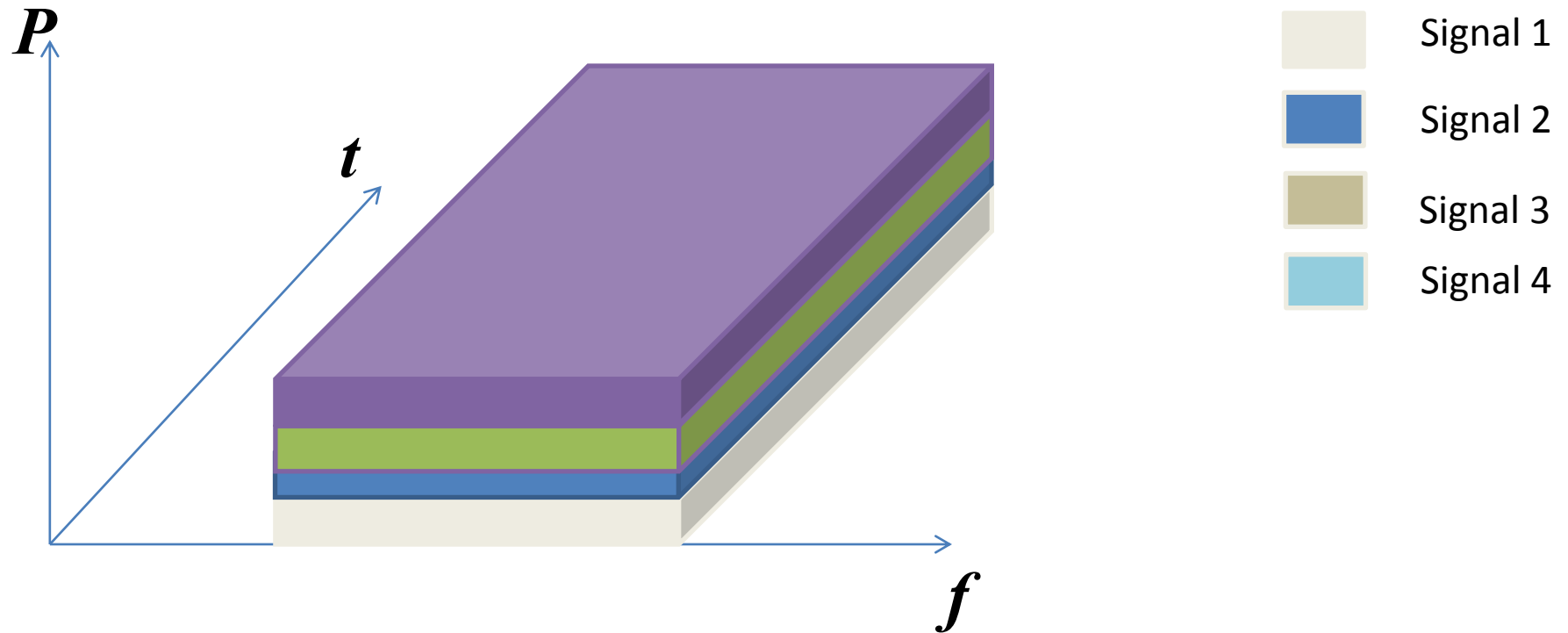
# Techniques d'accès multiple: FDMA



# Techniques d'accès multiple: TDMA



# Techniques d'accès multiple: CDMA



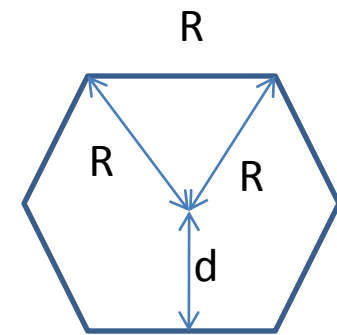
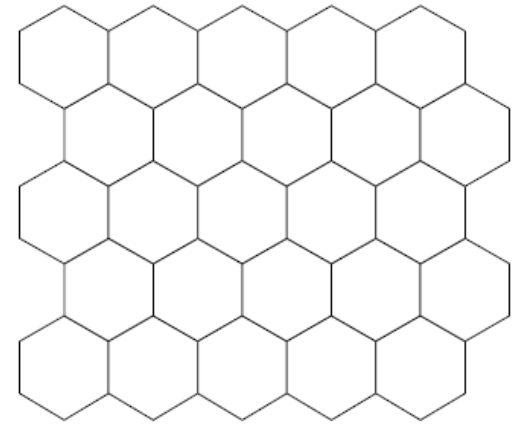
# Concept cellulaire

- une cellule, c'est la surface sur laquelle le téléphone mobile peut établir une liaison avec une station de base déterminée.
- Le principe consiste à diviser une région en un certain nombre de cellules desservies par un relais radioélectrique de faible puissance, émettant à des fréquences différentes de celles utilisées sur les cellules voisines.
- Ces cellules doivent être contiguës sur la surface couverte.

# Concept cellulaire :

## Découpage géographique

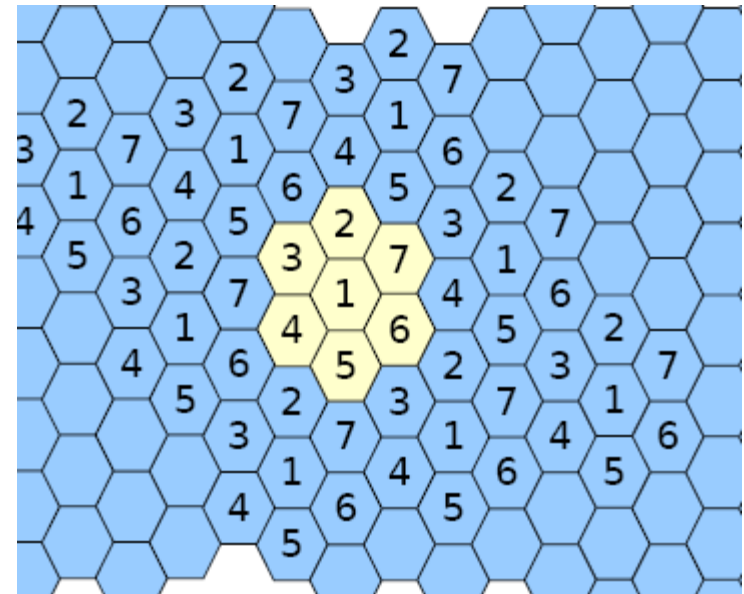
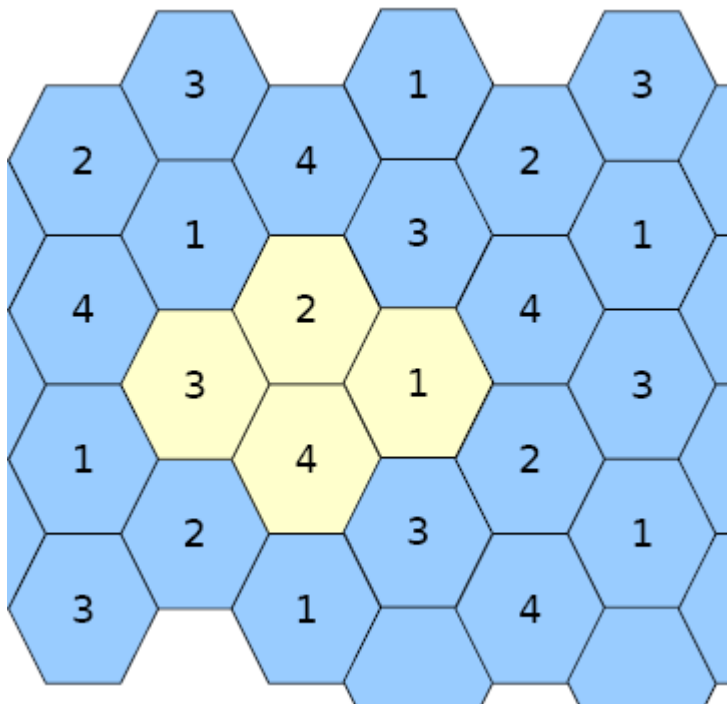
- L'hexagone est la forme régulière qui ressemble le plus au cercle et que l'on peut juxtaposer sans laisser de zones vides.
- Toutefois, la réalité du terrain est bien différente de ce modèle théorique, notamment en zone urbaine où de nombreux obstacles empêchent une propagation linéaire.



$$d = \frac{\sqrt{3}}{2} R$$



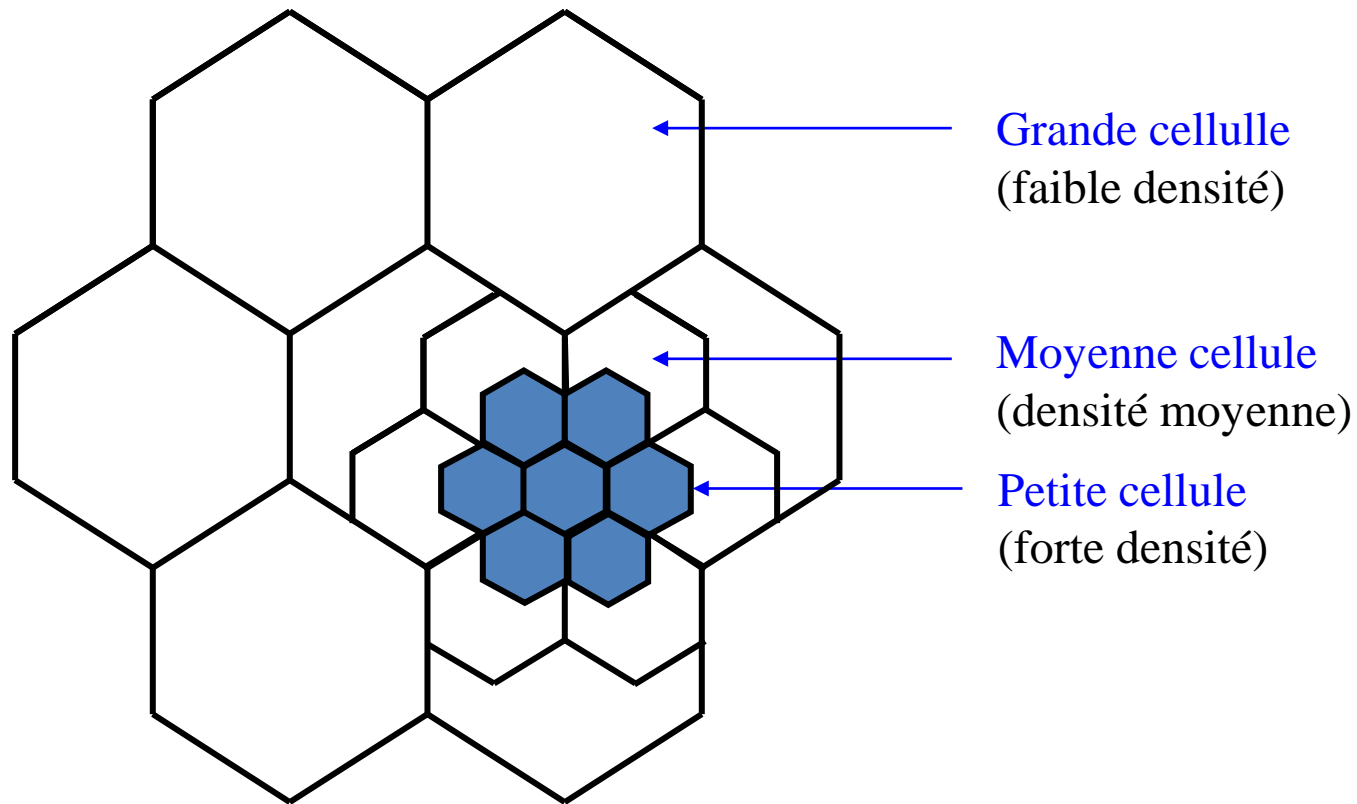
# Concept cellulaire : Réutilisation des fréquences



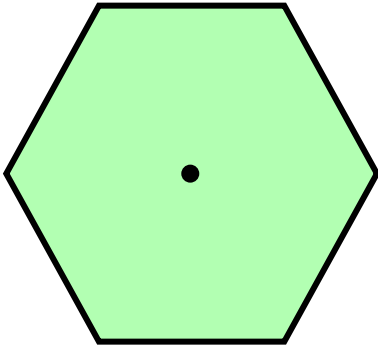
# Les fonctions de base d'un système cellulaire

- Un système cellulaire doit être capable d'assurer les fonctionnalités suivantes:
  - La localisation
  - Le transfert intercellulaire
  - La sécurité

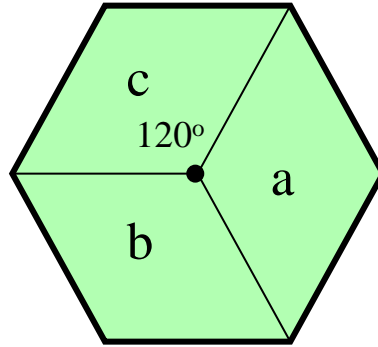
# Taille des cellules: cell splitting



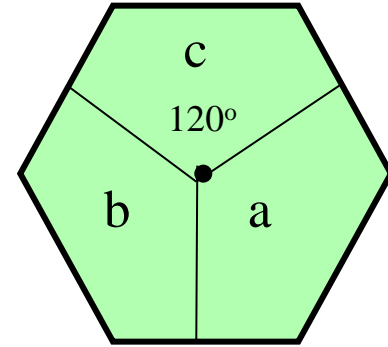
# Sectorisation des cellules



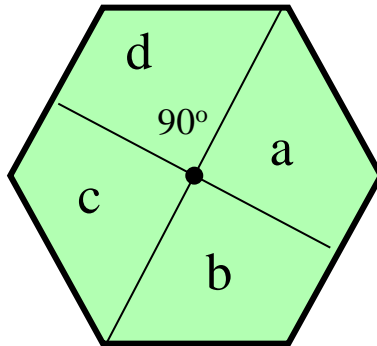
(a). Omni



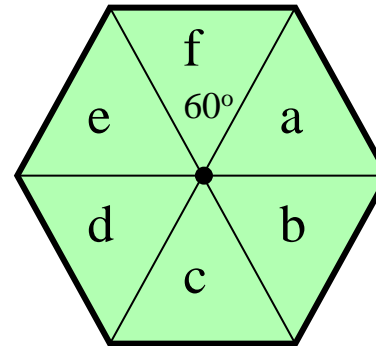
(b). 120° sector



(c). 120° sector (alternate)



(d). 90° sector



(e). 60° sector

# Propriétés du canal Radio-Mobile

- 3 types de variation du canal radio-mobile :
  - Grande échelle : Fonction de la distance émetteur-récepteur. Pathloss ou affaiblissement de parcours.
  - Moyenne échelle : Shadowing ou effet de masque. Echelle de la taille des obstacles (quelques dizaines de mètres en milieu urbain et quelques mètres en indoor).
  - Petite échelle : Fading rapide ou évanouissement.

# Dégradations de l'onde

- Atténuation due à la distance parcourue (pathloss),
- Effets de masques (shadowing effects),  
Evanouissements (fadings) par propagation multitrajet.
- Brouillages causés par d'autres émissions :
  - Interférences (co-canal ou canal adjacent),
  - Bruit ambiant.

# Caractéristiques de la propagation

- Les caractéristiques de propagation dépendent:
  - Morphologie du terrain,
  - Densité de végétation,
  - Hauteur, combinaison, nature et densité des bâtiments,
  - Conditions météo,
  - Etc.

# Multitrajets

- Origine : Réflections multiples sur les obstacles rencontrés par l'onde.
- Deux effets :
  - Positif
  - Négatif

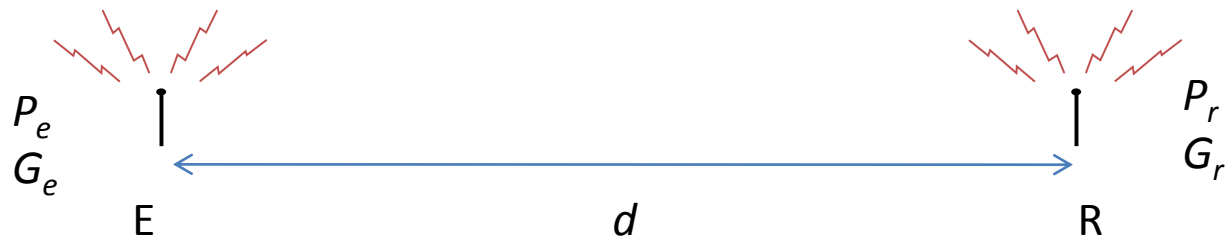


# Modèles de prédiction de la propagation

- Modèle de propagation: Représentation mathématique de l'influence du milieu sur la propagation de l'onde électromagnétique.
- Différents types de modèles
  - Grande échelle : Okumura-Hata, WalfishIkegami, ...
  - Petite échelle : Rayleigh, Rice, Nakagami, ...

# Modèle de propagation en espace libre (Modèle de Friis)

- Le modèle de propagation en espace libre suppose qu'il y a un seul chemin dégagé entre l'émetteur et le récepteur.



# Modèle de propagation en espace libre (Modèle de Friis)

- L'équation de Friis pour la propagation en air libre en fonction de la distance  $d$  entre l'émetteur et le récepteur (distance E-R):

$$P_r(d) = \frac{P_e G_e G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2}$$

$P_r$ : puissances reçue  
 $P_e$ : puissances émise  
 $\lambda$ : longueur d'onde  
 $G_e$  et  $G_r$  sont les gains des antennes d'émission et de réception

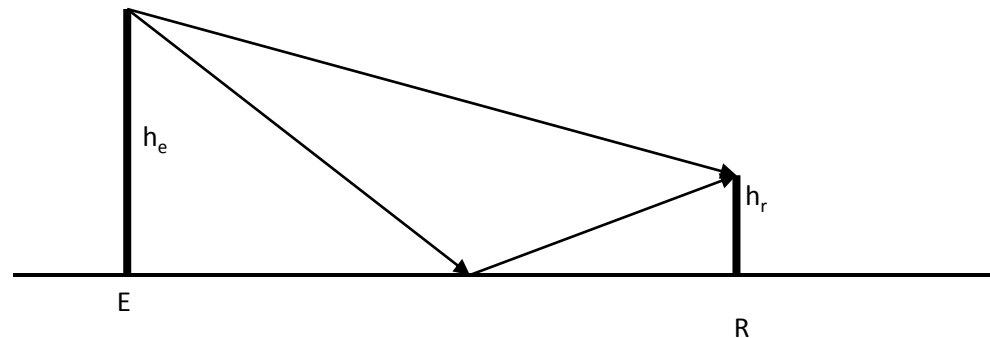
- Sur l'échelle logarithmique on a alors :

$$[P_r(d)]_{dBW} = [P_e]_{dBW} + [G_e]_{dB} + [G_r]_{dB} + 20 \log_{10} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)$$

- D'où une perte de 20dB par décade.

# Modèle à deux raies

- Le modèle à deux raies considère deux chemins possibles entre l'émetteur et le récepteur.
- Le premier est le chemin direct et le deuxième est le résultat de la réflexion terrestre.



# Modèle à deux raies

- La puissance reçue en fonction de la distance  $d$  entre l'émetteur et le récepteur (distance E-R) est donnée par:

$$P_r(d) = \frac{P_e G_e G_r h_e^2 h_r^2}{d^4}$$

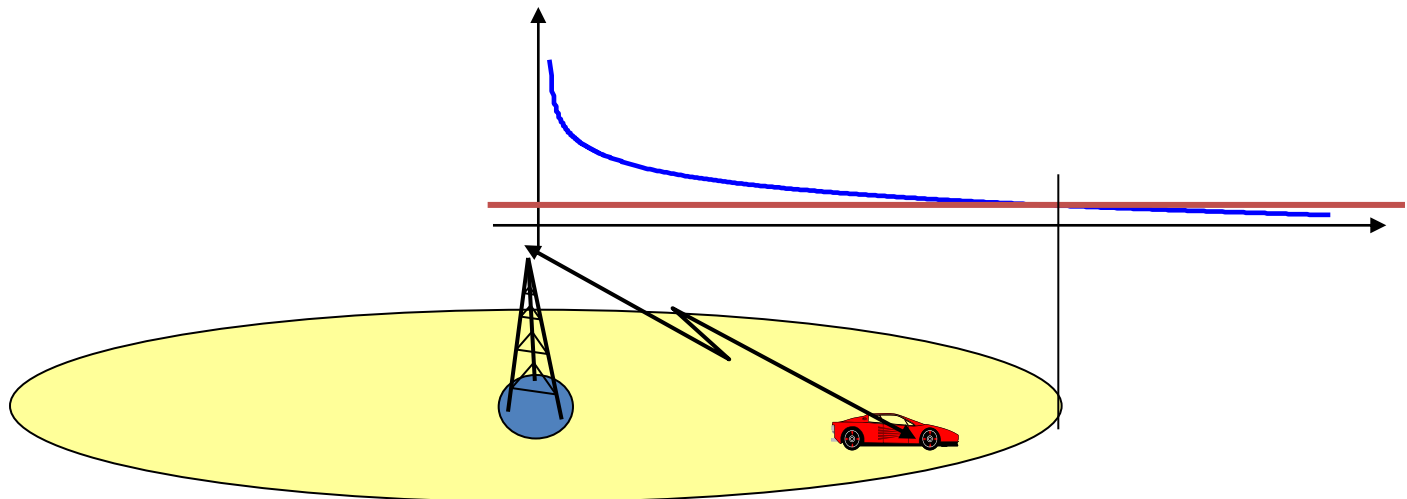
- Sur l'échelle logarithmique on a alors :

$$[P_r(d)]_{dBW} = [P_e]_{dBW} + [G_e]_{dB} + [G_r]_{dB} + 10 \log_{10} \left( \frac{h_e^2 h_r^2}{d^4} \right)$$

- D'où une perte de 40dB par décade.
- Il est montré que ce modèle donne une prédiction plus précise que le modèle précédent pour des longues distances.

# Modèle lognormal (Shadowing model)

- Les deux premiers modèles prédisent la puissance reçue comme étant une fonction déterministe en fonction de la distance.
- Ils définissent tout les deux la portée des communications comme étant un cercle parfait



# Modèle lognormal (Shadowing model)

- En réalité, la puissance reçue est une variable aléatoire à cause des effets des trajets multiples.
- Un modèle plus général et qui met en évidence ce concept est le modèle lognormal (shadowing model) qui exprime la puissance reçue en fonction de la distance  $d$  entre l'émetteur et le récepteur (distance E-R) de la manière suivante :

$$\left[ P_r(d) \right]_{dBW} = \left[ \bar{P}_r(d) \right]_{dBW} + X$$

$X$ : variable aléatoire normale (lognormale sur l'échelle linéaire) de moyenne nulle et d'écart type  $\sigma_x$  (exprimé en dB, déterminé par des mesures sur terrain).

# Modèle lognormal (Shadowing model)

- $\bar{P}_r(d)$  étant la valeur moyenne de la puissance reçue et qui peut être déterminée à partir d'une puissance reçue connue à une distance  $d_0$ ,  $P_r(d_0)$  de la façon suivante :
$$\left[ \bar{P}_r(d) \right]_{dBW} = \left[ P_r(d_0) \right]_{dBW} - 10\beta \log_{10} \left( \frac{d}{d_0} \right)$$
où le paramètre  $\beta$  (appelé exposant de pertes) déterminé par des mesures sur terrain.
- Avec ce modèle on parle plus de cercle idéal à l'intérieur duquel on définit une communication possible mais d'une probabilité de communication à une distance donnée.



# Modèle d'OKUKURA-HATA

- C'est un modèle empirique qui s'est basé sur des mesures prises à l'intérieur et aux alentours de la ville de Tokyo (Japon) en 1968 entre 150 MHz et 1500 MHz.
- C'est le plus populaire des modèles permettant de prédire la valeur moyenne de l'affaiblissement.
- Néanmoins la validité de ce modèle se limite aux conditions suivantes :
  - Fréquence utilisée  $f_c$  (en MHz) entre 150 MHz et 1500 MHz.
  - Hauteur de l'émetteur  $h_e$  entre 30 et 200 m
  - Hauteur du récepteur  $h_m$  entre 1 et 10 m

# Modèle d'OKUKURA-HATA

urban areas:  $L(\text{dB}) \approx A + B \log D - E$

suburban areas:  $L(\text{dB}) \approx A + B \log D - C$

où open areas:  $L(\text{dB}) \approx A + B \log D - F$

$$A = 69.55 + 26.16 \log f_c - 13.82 \log h_e$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log h_e$$

$$C = 2 \left( \log(f_c / 28) \right)^2 + 5.4$$

$$F = 4.78 (\log f_c)^2 + 18.33 \log f_c + 40.94$$

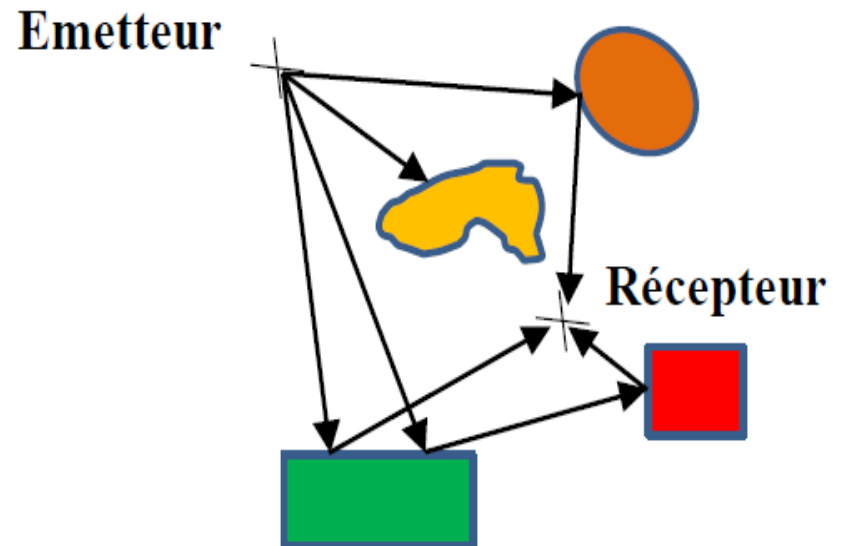
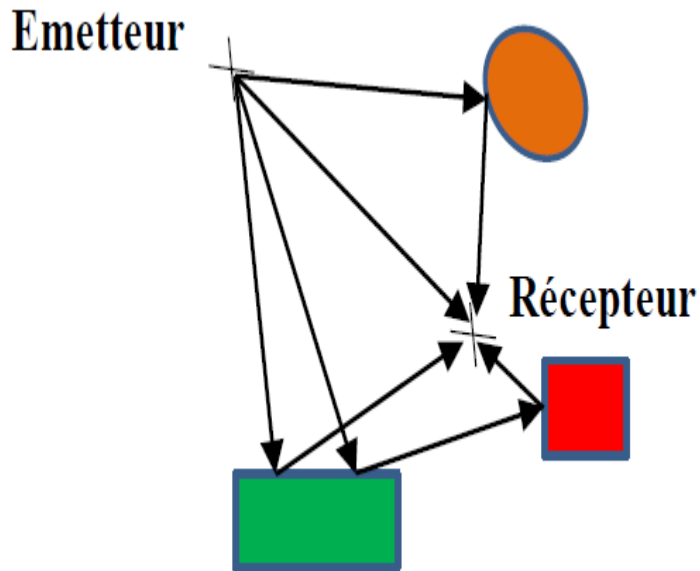
$$E = 3.2 \left( \log(11.75 h_m) \right)^2 - 4.97 \quad \text{for large cities, } f_c \geq 300 \text{MHz}$$

$$E = 8.29 \left( \log(1.54 h_m) \right)^2 - 1.1 \quad \text{for large cities, } f_c < 300 \text{MHz}$$

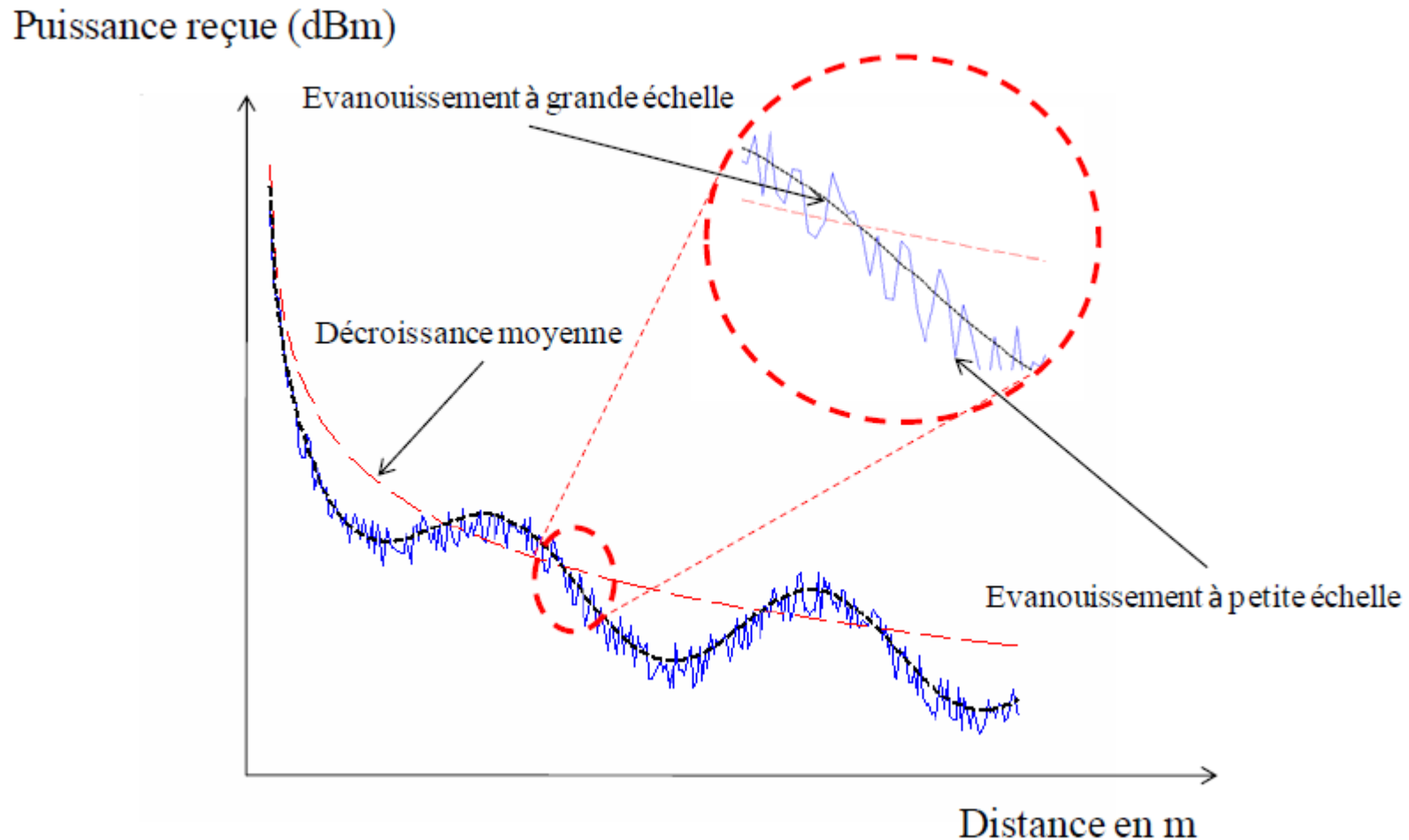
$$E = (1.1 \log f_c - 0.7) h_m - (1.56 \log f_c - 0.8) \quad \text{for medium to small cities}$$

# Évanouissements à petite échelle (Small Scale Fading): effet des trajets multiples

L'évanouissement à petite échelle lié aux interférences constructive et destructive entre les différentes répliques du signal émis au niveau de l'antenne réceptrice.



# Évanouissements à petite échelle (Small Scale Fading): effet des trajets multiples

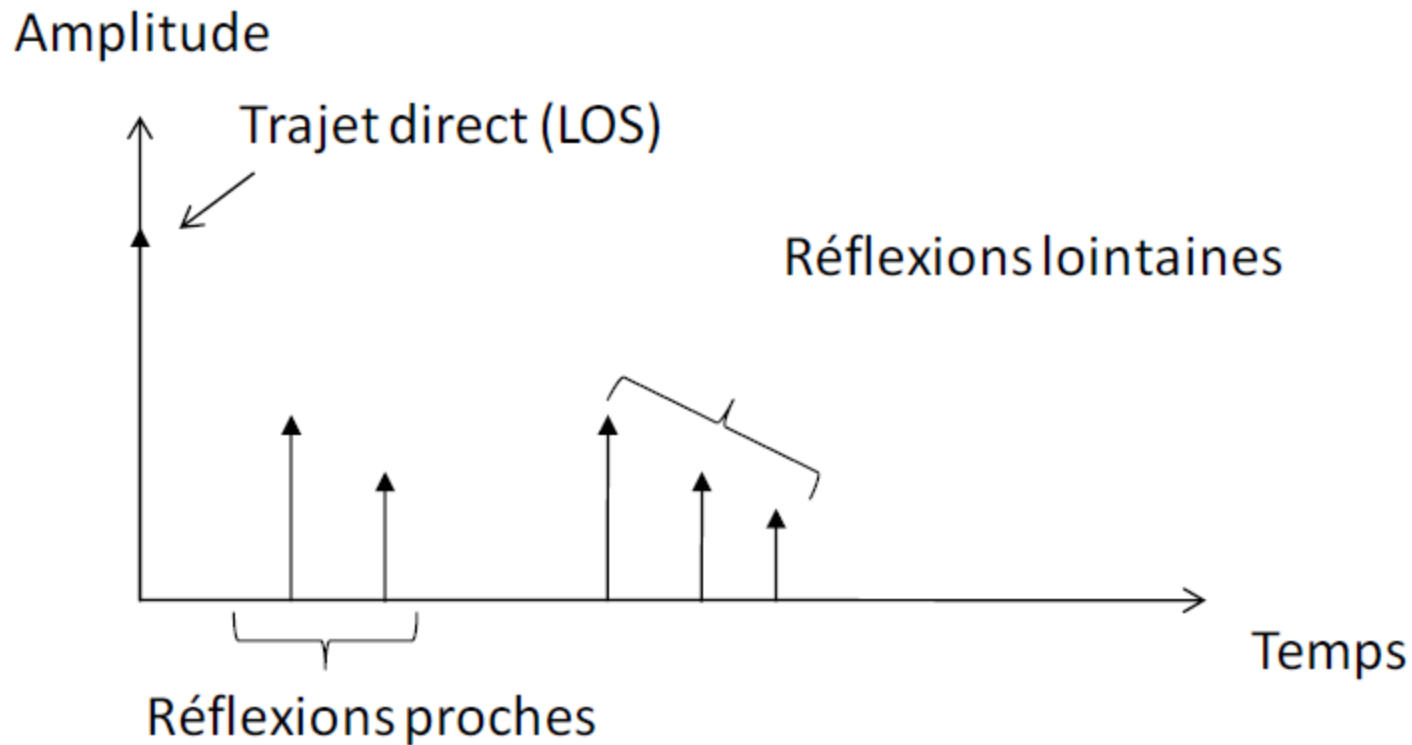


# Évanouissements à petite échelle (Small Scale Fading): effet des trajets multiples

- Un canal variant dans le temps est représenté par un filtre linéaire ayant comme réponse impulsionnelle.
- Avec des antennes isotropes et en supposant que le canal de propagation varie dans le temps et comporte K trajets, la réponse impulsionnelle peut s'écrire de la manière suivante

$$h(t, \tau) = \sum_{k=1}^K a_k(t, \tau) \exp(j\psi_k(t, \tau)) \delta(t - \tau_k(t))$$

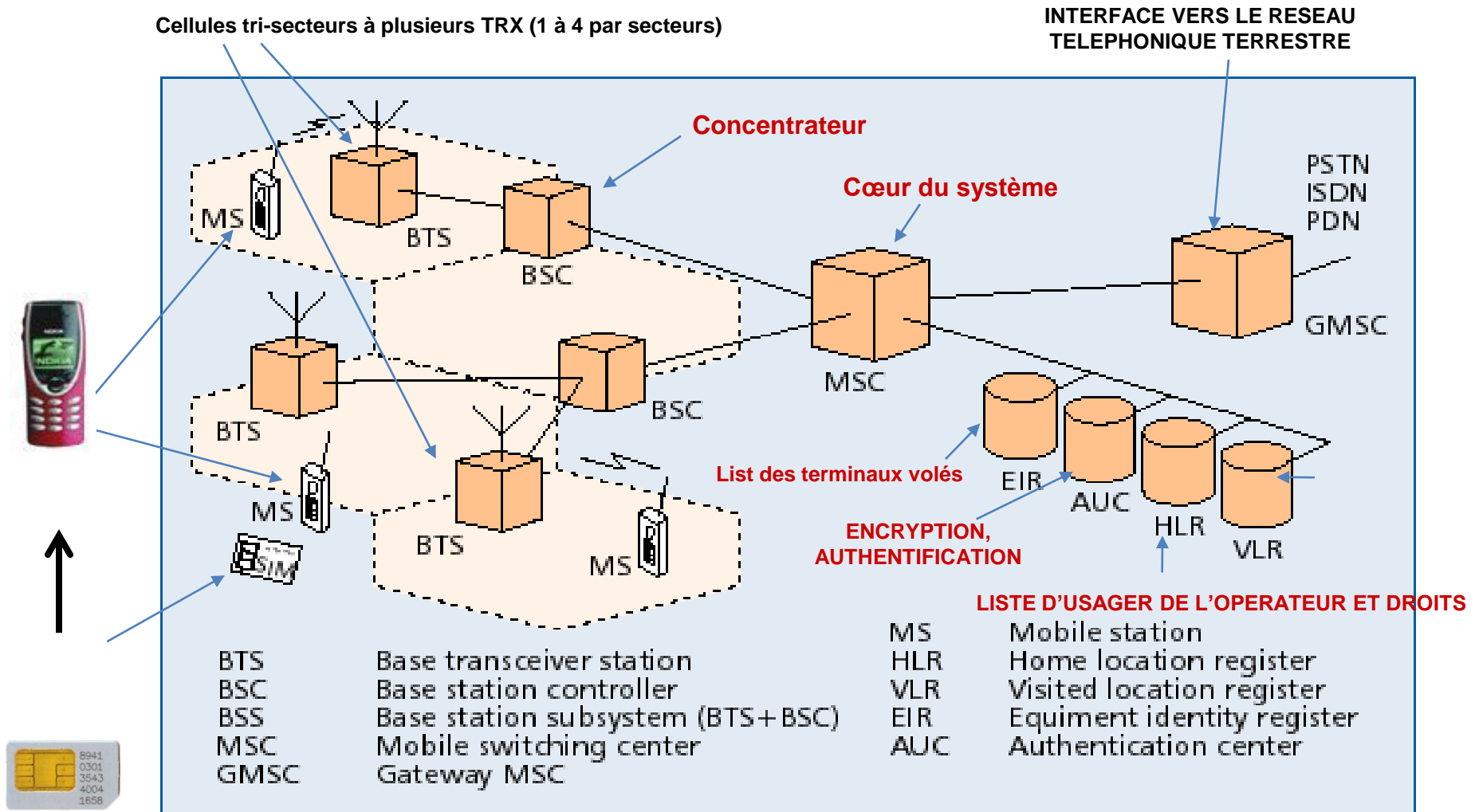
# Évanouissements à petite échelle (Small Scale Fading): effet des trajets multiples



# GSM: Architecture

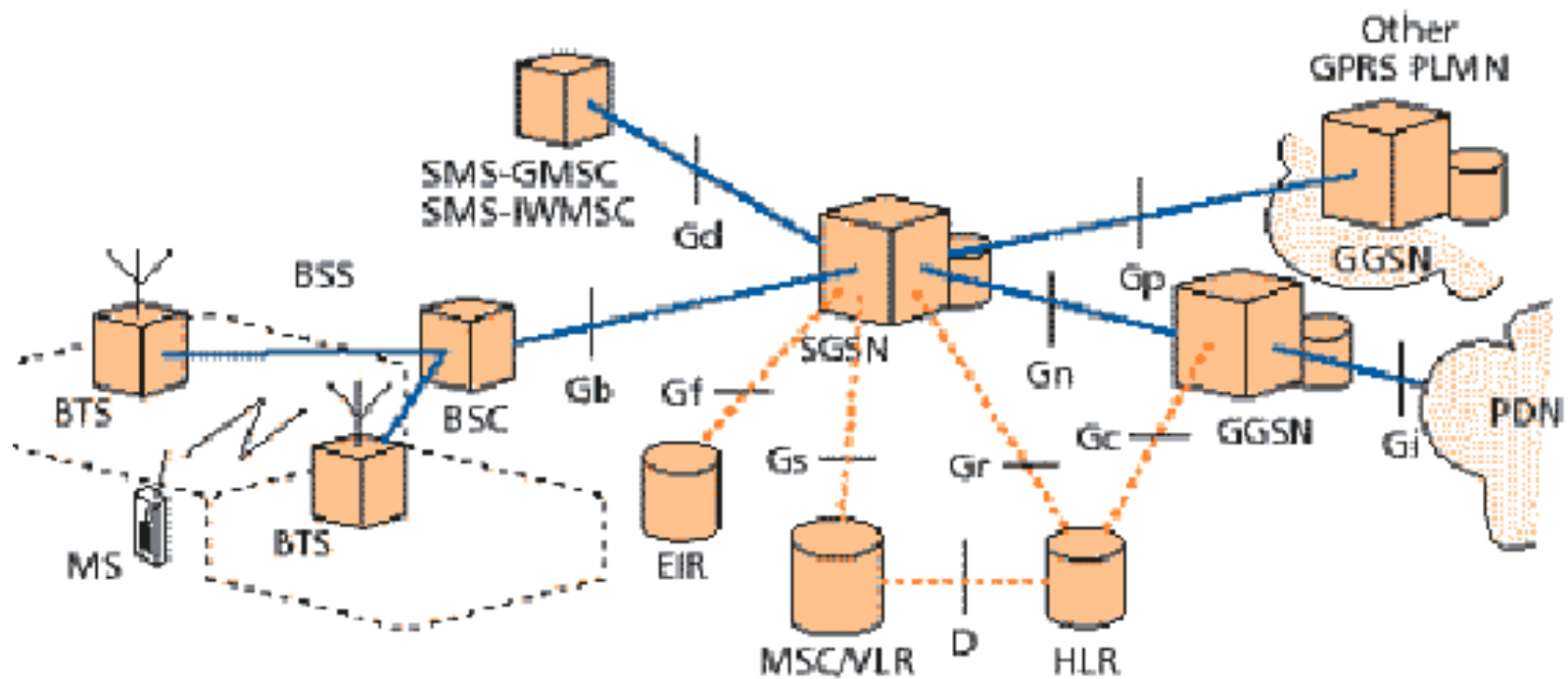
- L'architecture du réseau GSM telle que définie dans les spécifications GSM peut être regroupée en quatre domaines principaux:
  - Station mobile (MS)
  - Sous-système de station de base (BSS)
  - Sous-système de réseau et de commutation (NSS)
  - Sous-système de fonctionnement et de soutien (OSS)

# GSM: Architecture





# GPRS: Architecture



# Bandes de fréquences

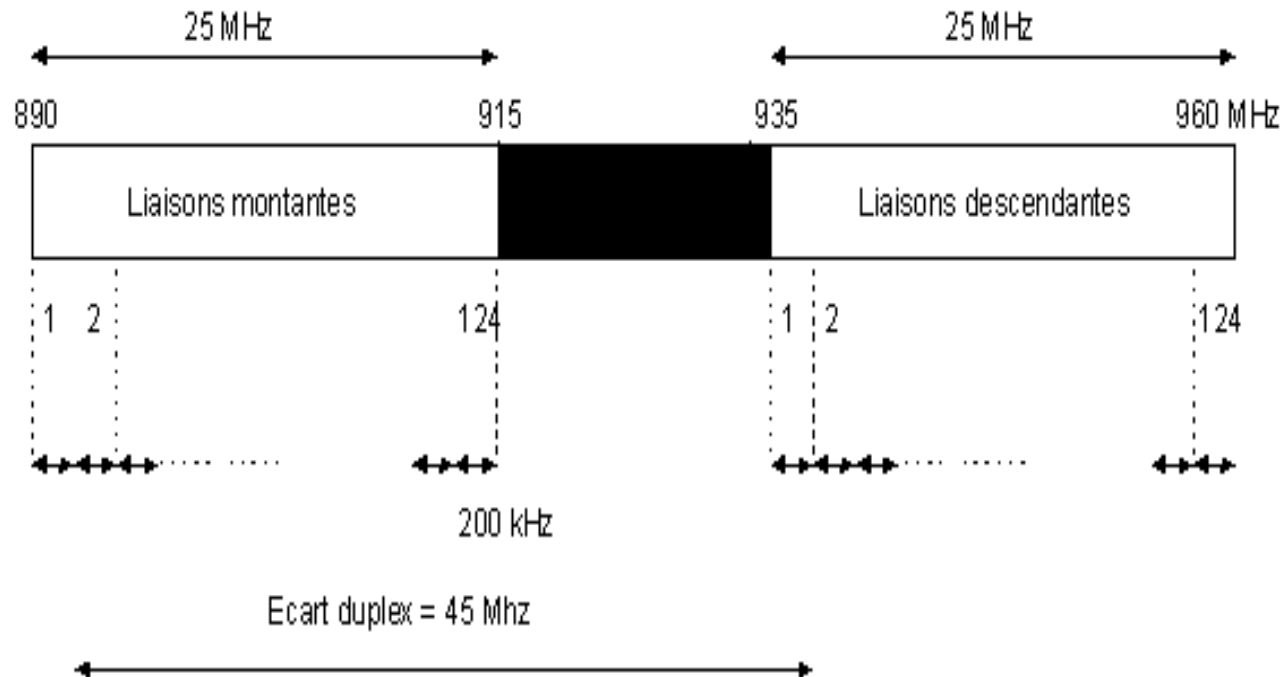
	GSM	DCS 1800
Bandes de Fréquences (Mhz)	890-915 ↑ 935-960 ↓	1710-1785 ↑ 1805-1880 ↓
Largeur simplex	2*25 Mhz	2*75 Mhz
Ecart duplex	45 Mhz	95 Mhz

# Accès multiple du GSM: F-TDMA

- Combinaison du FDMA et TDMA: hybride
- FDMA: canaux
- TDMA: IT ou slots

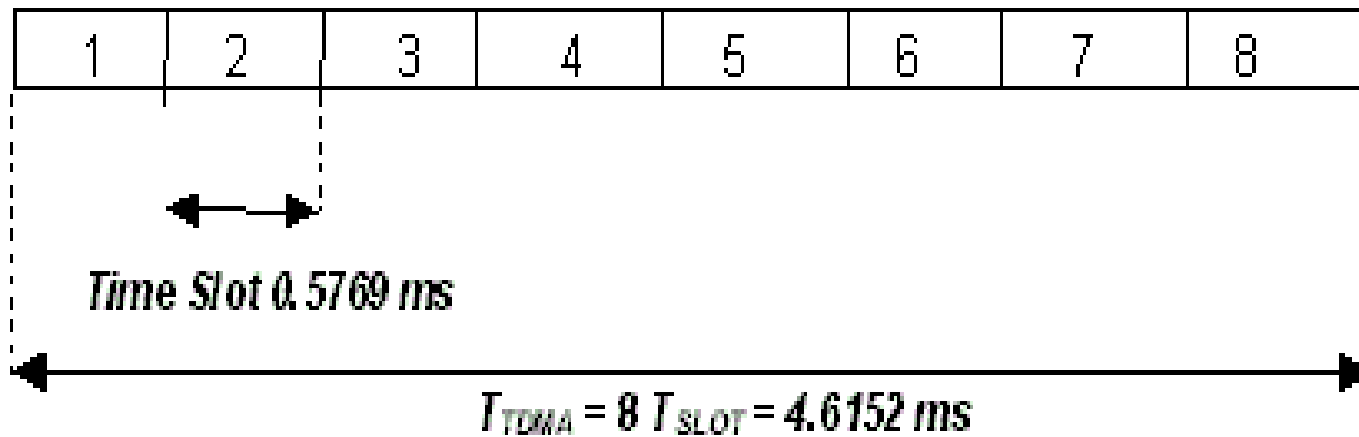
# Bande 900: les canaux

- Pour la bande des 900 MHz, où 2 fois 25 MHz de bande ont été alloués.
- La largeur des canaux étant de 200 kHz, on obtient 124 canaux duplex.



# Multiplexage temporel

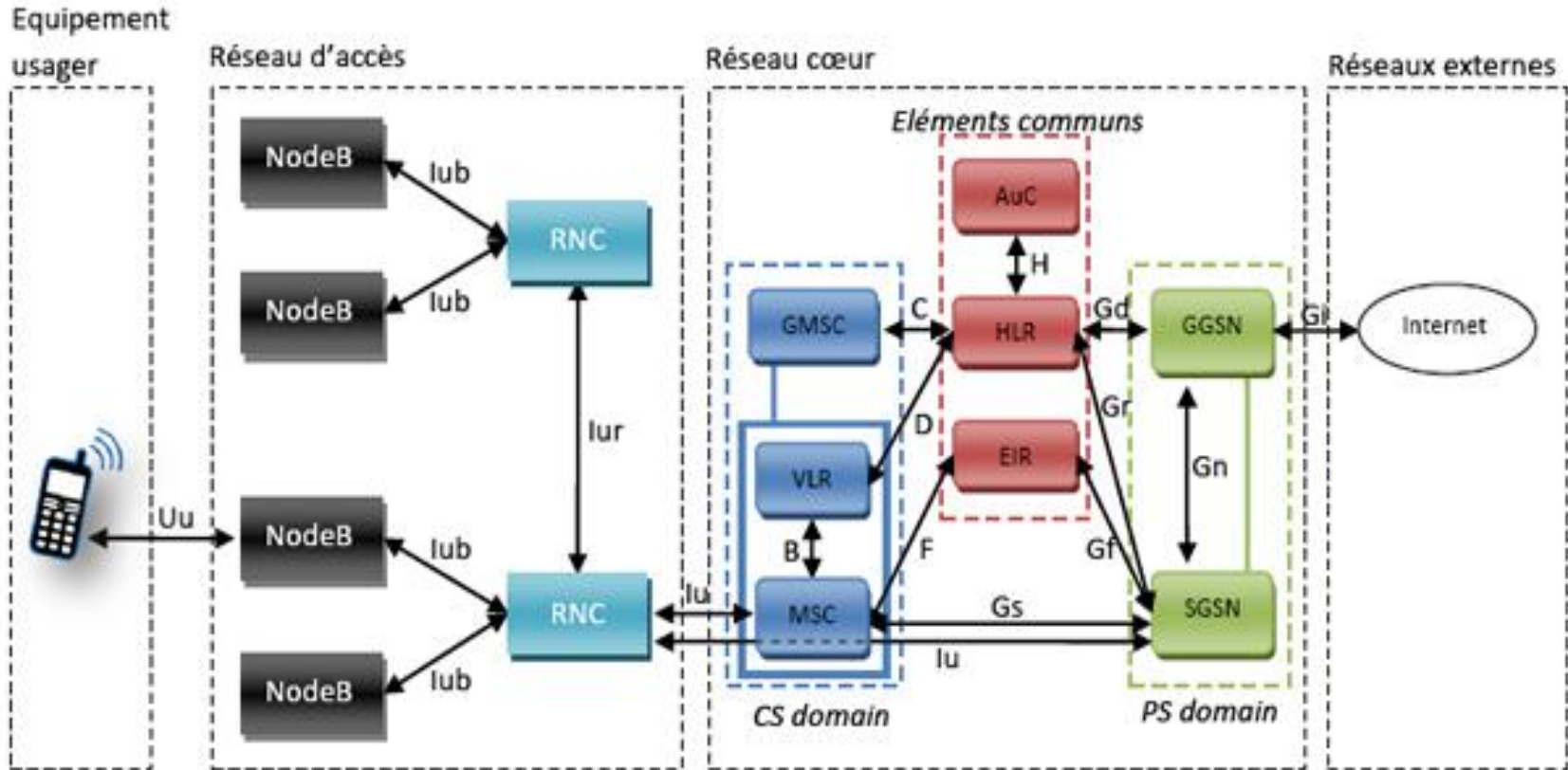
- Chaque porteuse est divisée en intervalles de temps (IT) appelés slots.
- La durée d'un slot a été fixée à  $T_{\text{slot}} = (75/130) \text{ ms} = 0.5769 \text{ ms}$ .
- Un slot accueille un élément de signal radioélectrique appelé burst.



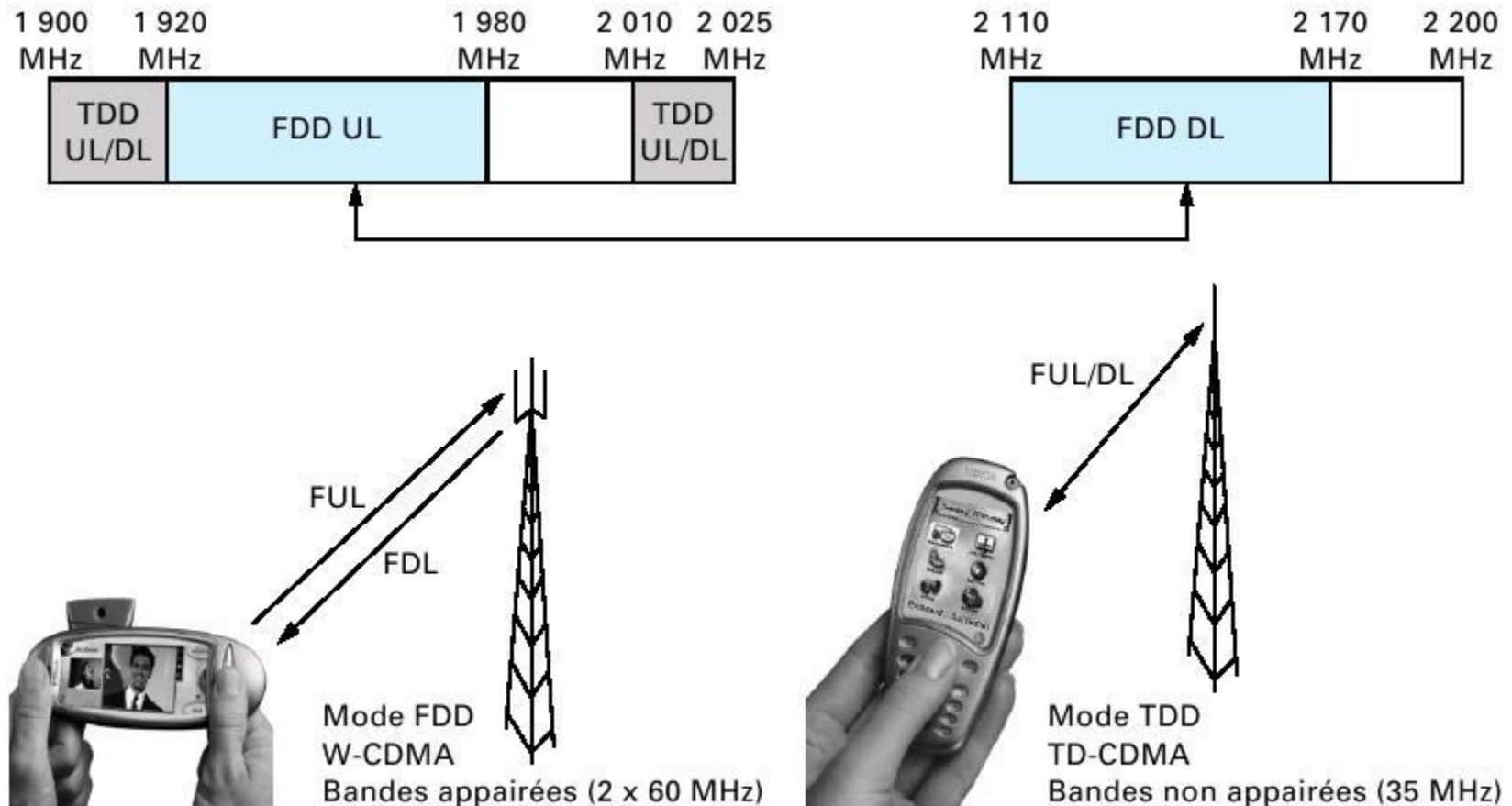
# UMTS: Architecture

- Terminal
- le réseau d'accès radio (RAN : Radio Access Network ou UTRAN : UMTS Terrestrial RAN) ;
- le réseau cœur (CN : Core Network).
- Sous-système de fonctionnement et de soutien (OSS)

# UMTS: Architecture

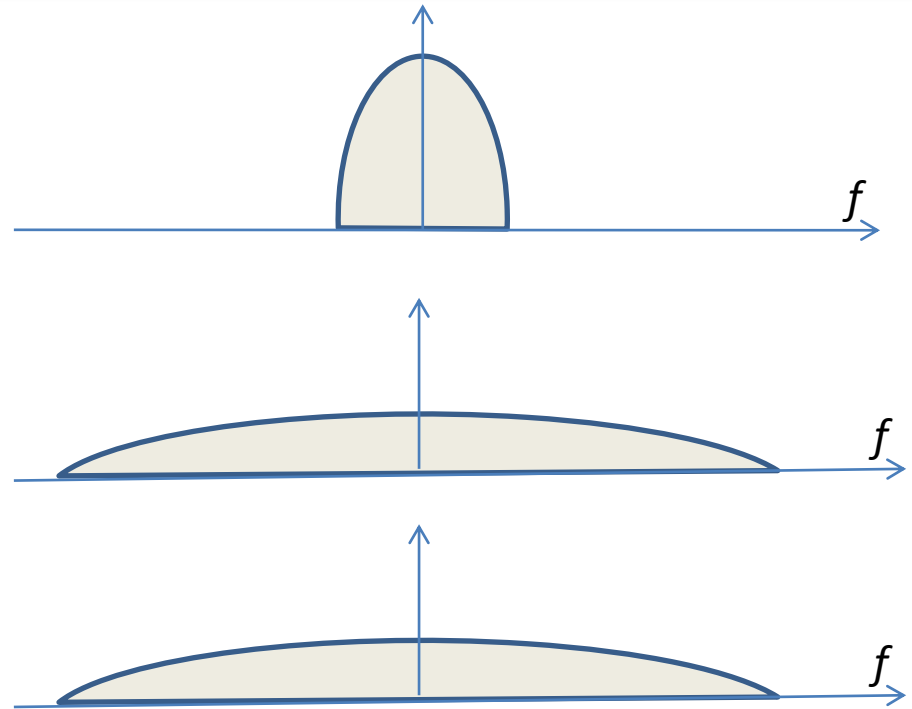
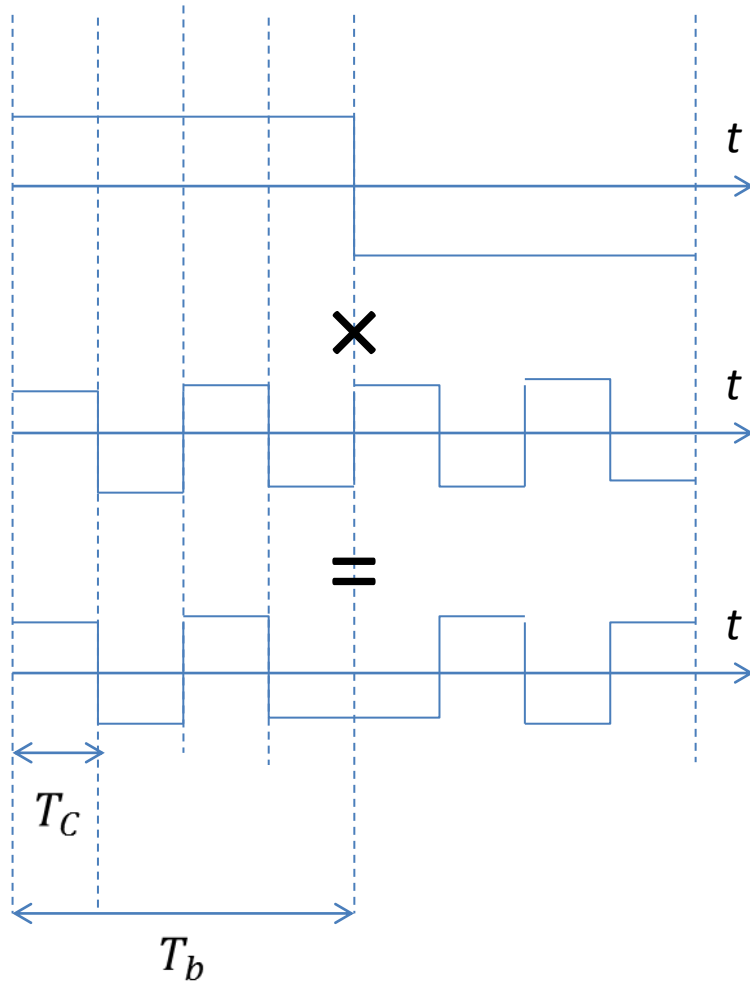


# UMTS: Interfaces radio et fréquences

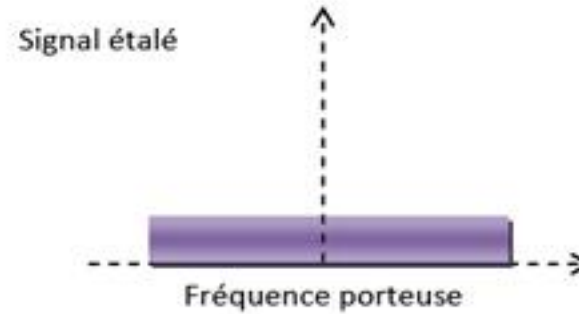
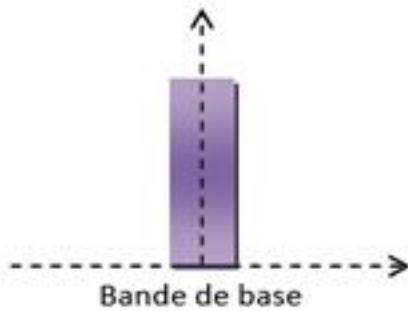
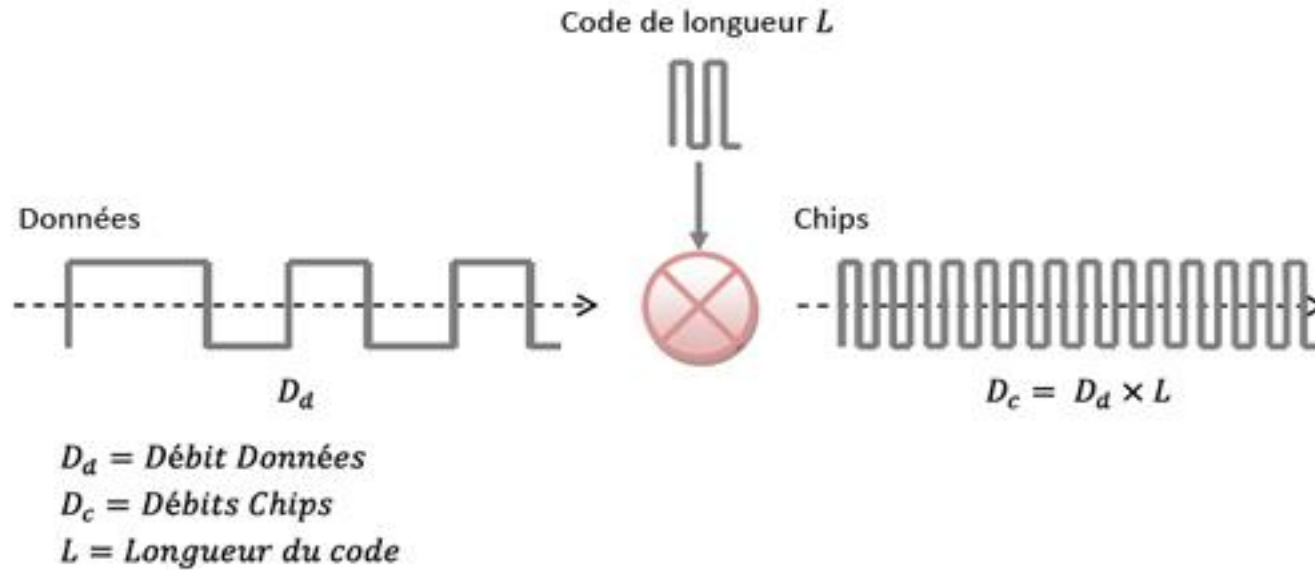




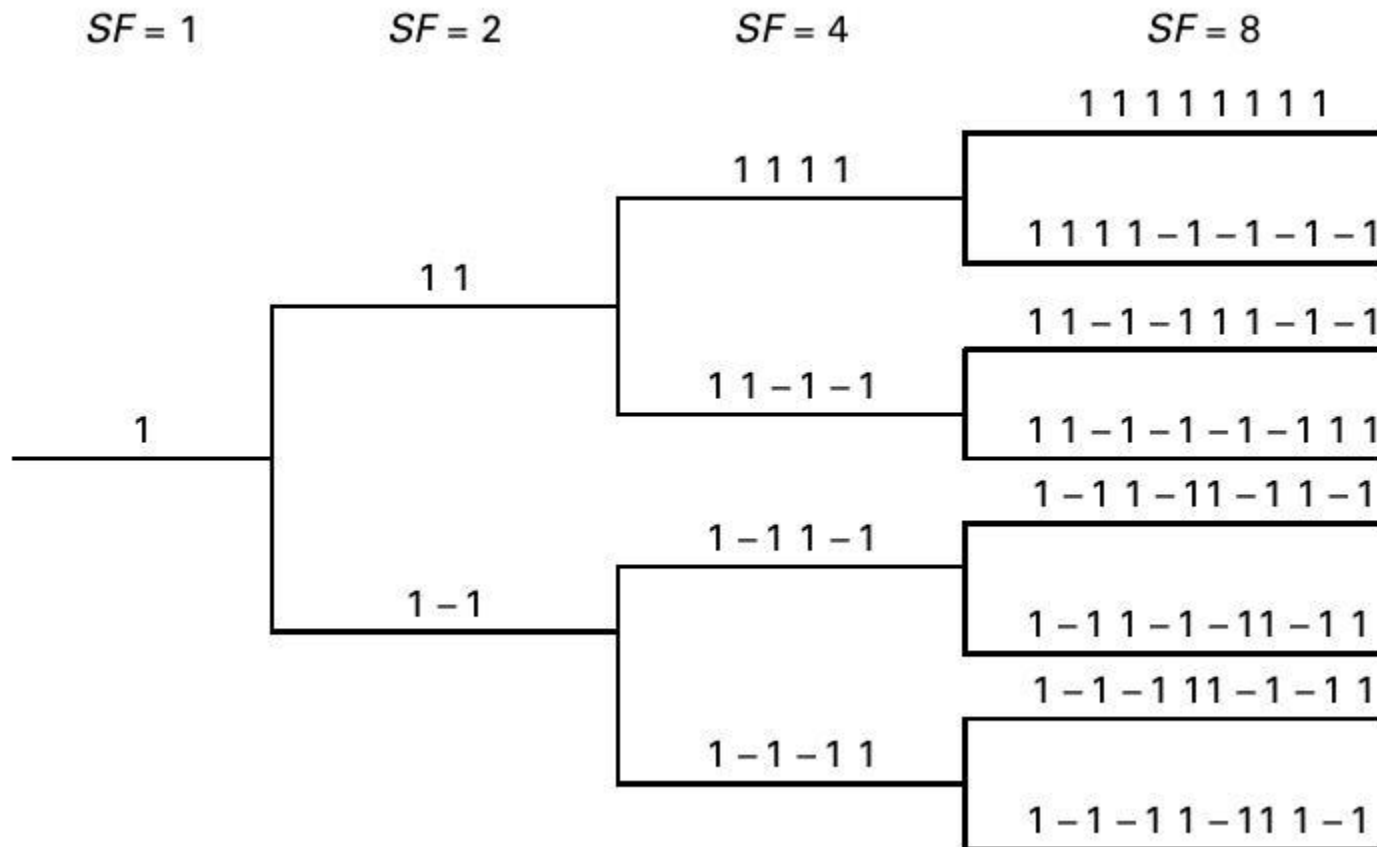
# Direct-Sequence CDMA



# UMTS: DSSS



# Codes OVSF



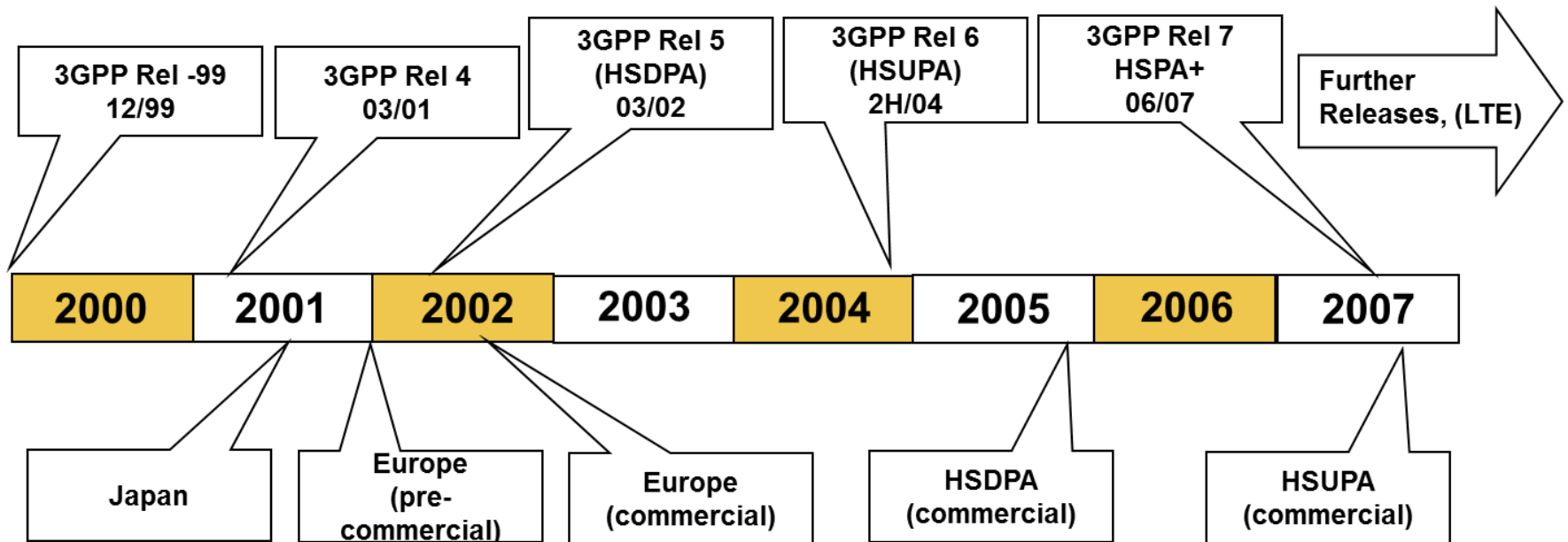
# Services de l'UMTS

Service	Délai	Exemple d'application	Débit	Tolérant à des erreurs
Conversationnel (temps réel)	<< 1 s	Téléphonie	28.8 kbps	Oui
		Vidéophonie	32-384 kbps	Oui
Interactif	environ 1 s	commerce électronique	Non garanti	Non
		Service de location	Non garanti	Non
Streaming	< 10 s	Audio / Vidéo Haute qualité	32-128 kbps	Oui
Arrière-plan (Background)	> 10 s	Fax	Non garanti	Oui
		Email	Non garanti	Non

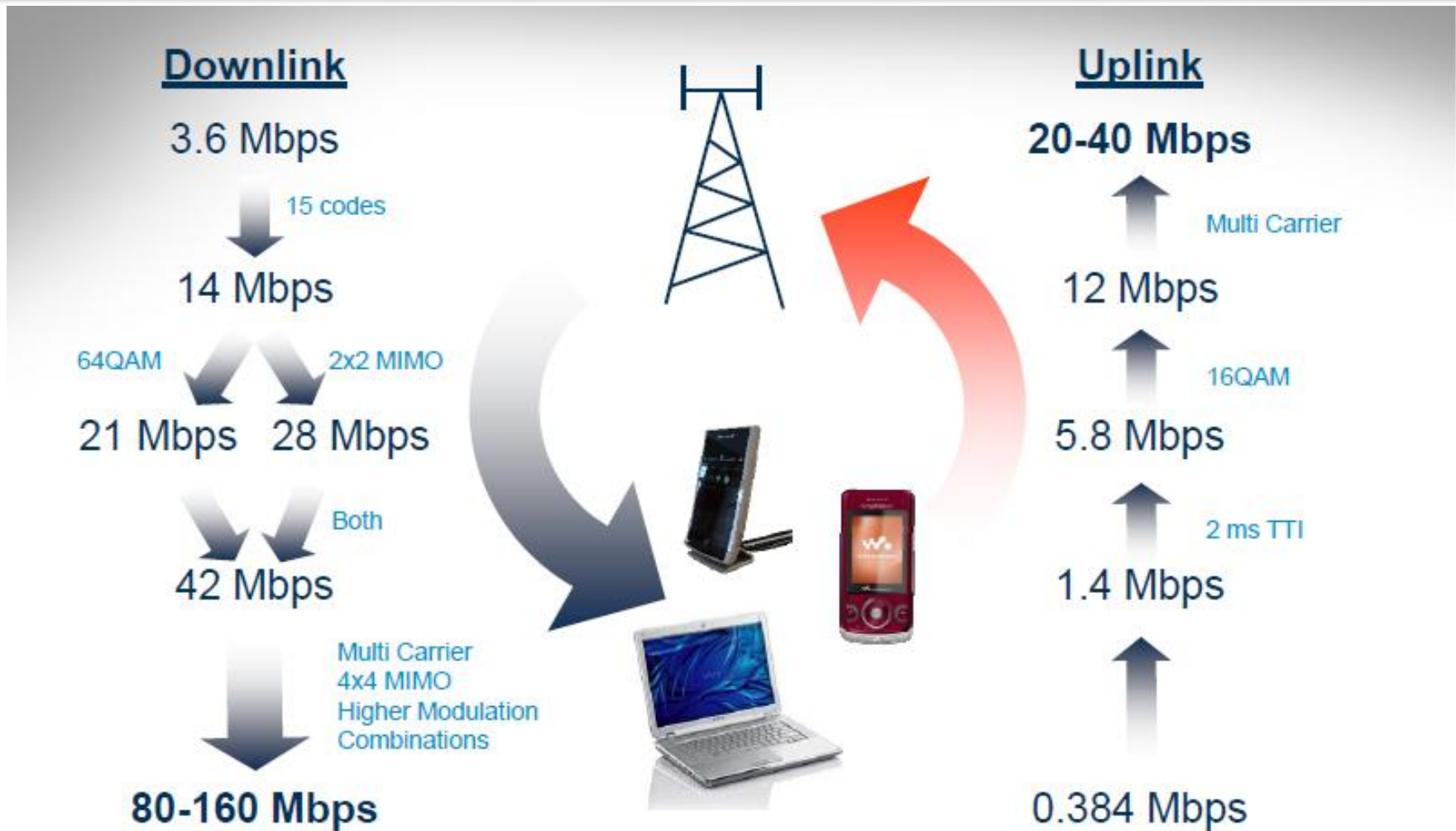
# HSDPA/HSUPA

- La technologie HSDPA (High Speed Downlink Packet Access) représente l'évolution principale du UMTS pour le sens descendant :Release 5
- le HSUPA (High Speed Uplink Packet Access) spécifiée dans la version Release 6 du 3GPP pour le sens montant.

# Evolutions de l'UMTS

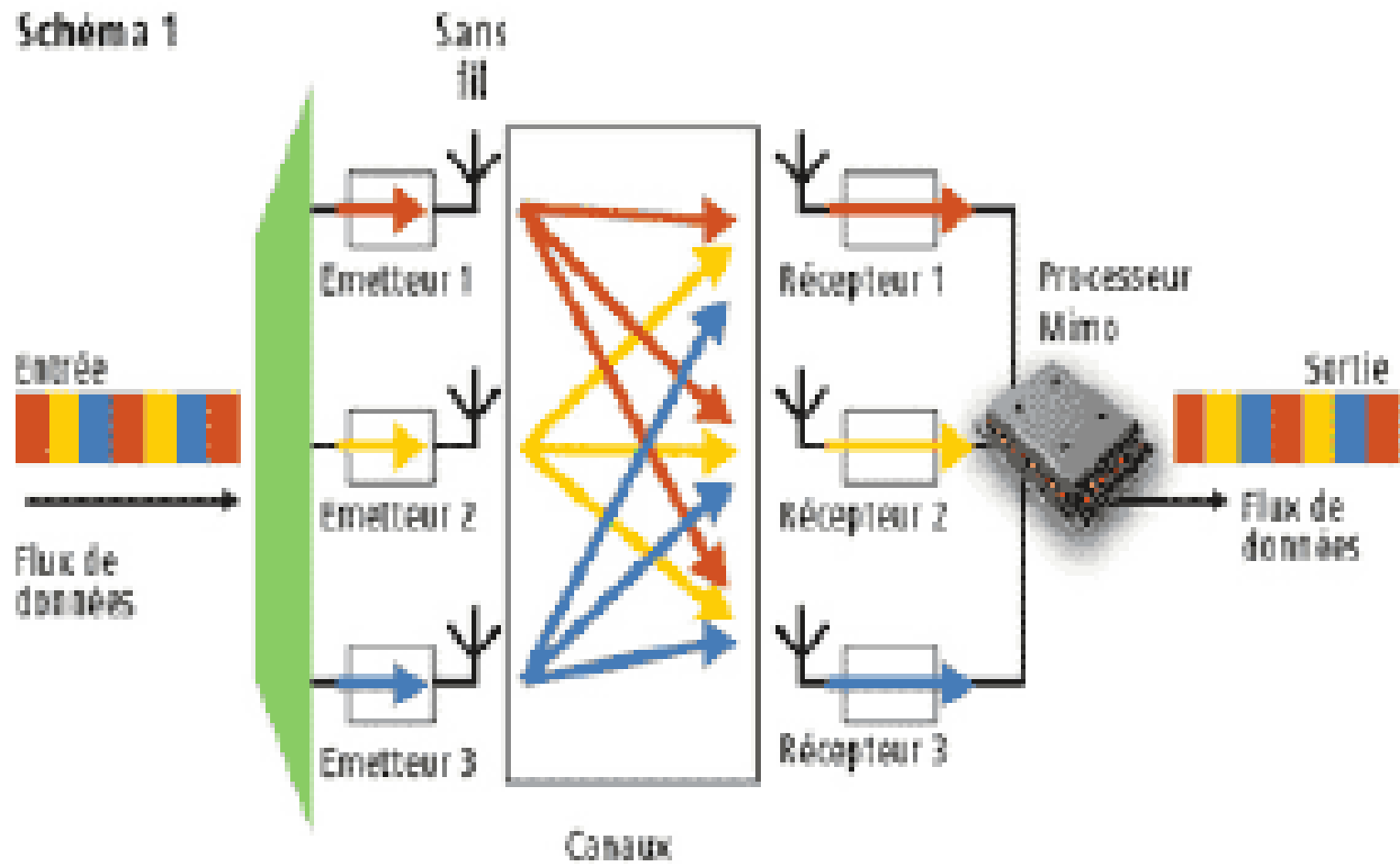


# HSPA: évolutions



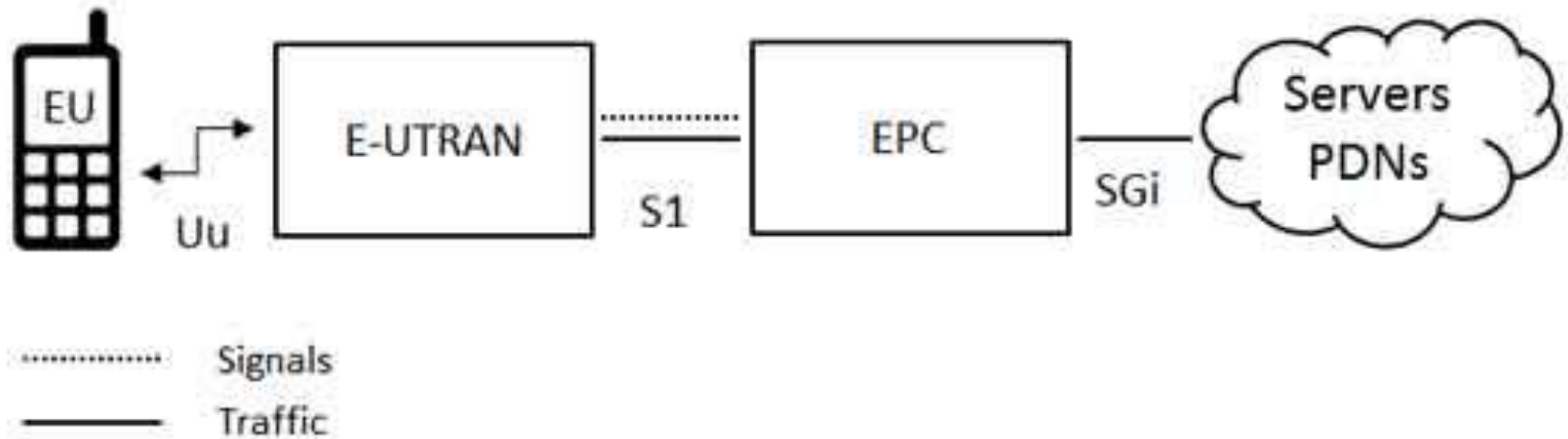
# MIMO

Schéma 1





# LTE: Architecture

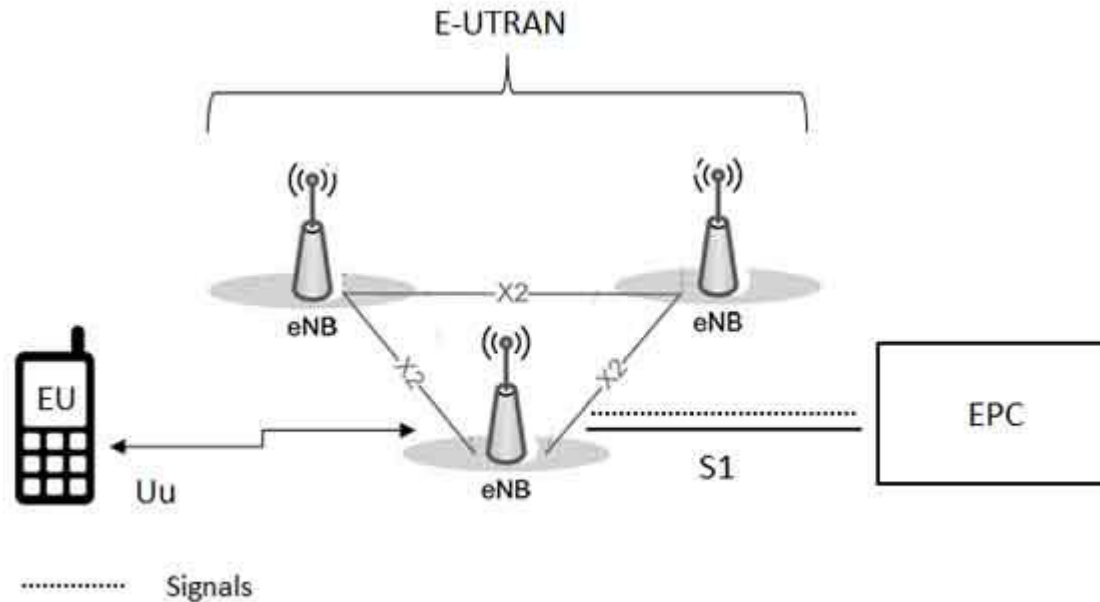


The User Equipment (UE).

The Evolved UMTS Terrestrial Radio Access Network (E-UTRAN).

The Evolved Packet Core (EPC).

# E-UTRAN (The access network)



L'E-UTRAN gère les communications radio entre le mobile et le EPC évolué et a juste un composant, les stations de base évoluées, appelées eNodeB ou eNB.

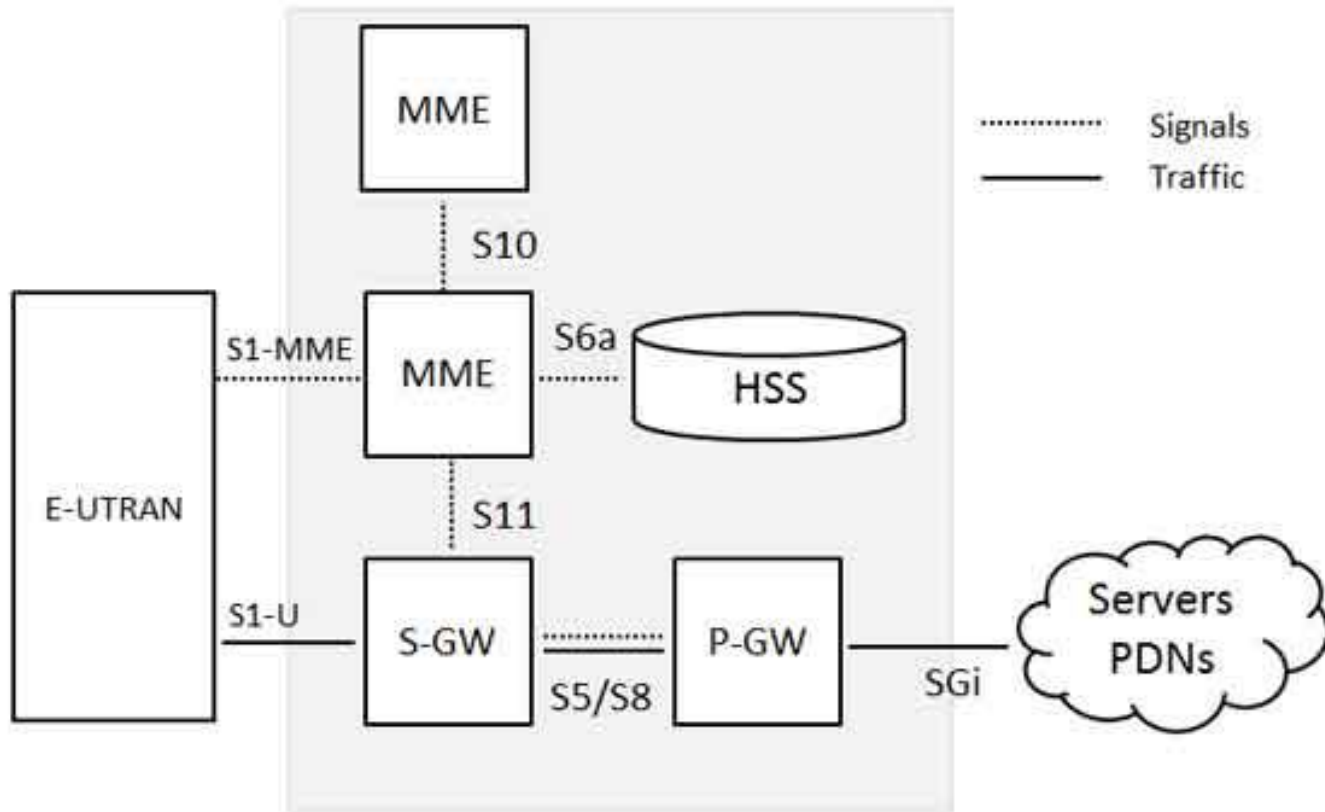
Chaque eNB est une station de base qui contrôle les mobiles dans une ou plusieurs cellules.

La station de base qui communique avec un mobile est connue comme son eNB de service.

- Le Mobile communique avec une seule station de base et une cellule à la fois et il existe deux fonctions principales prises en charge par eNB:
  - L'eNB envoie et reçoit des transmissions radio
  - Le eNB contrôle le fonctionnement de bas niveau de tous ses mobiles, en leur envoyant des messages de signalisation tels que des commandes de transfert.

- Chaque eNB se connecte à l'EPC au moyen de l'interface S1 et peut également être connecté à des stations de base proches par l'interface X2, qui est principalement utilisée pour la signalisation et le transfert de paquets pendant le transfert.

# EPC



- Le composant HSS (Home Subscriber Server) a été transféré d'UMTS et GSM et est une base de données centrale qui contient des informations sur tous les abonnés de l'opérateur de réseau.
- La passerelle du réseau de données par paquets (PDN) (P-GW) communique avec le monde extérieur, c.-à-d. Paquet de données de réseaux PDN, en utilisant l'interface SGi. Chaque réseau de données par paquets est identifié par un nom de point d'accès (APN). La passerelle PDN a le même rôle que le noeud de support GPRS (GGSN) et le noeud de support GPRS de service (SGSN) avec UMTS et GSM.

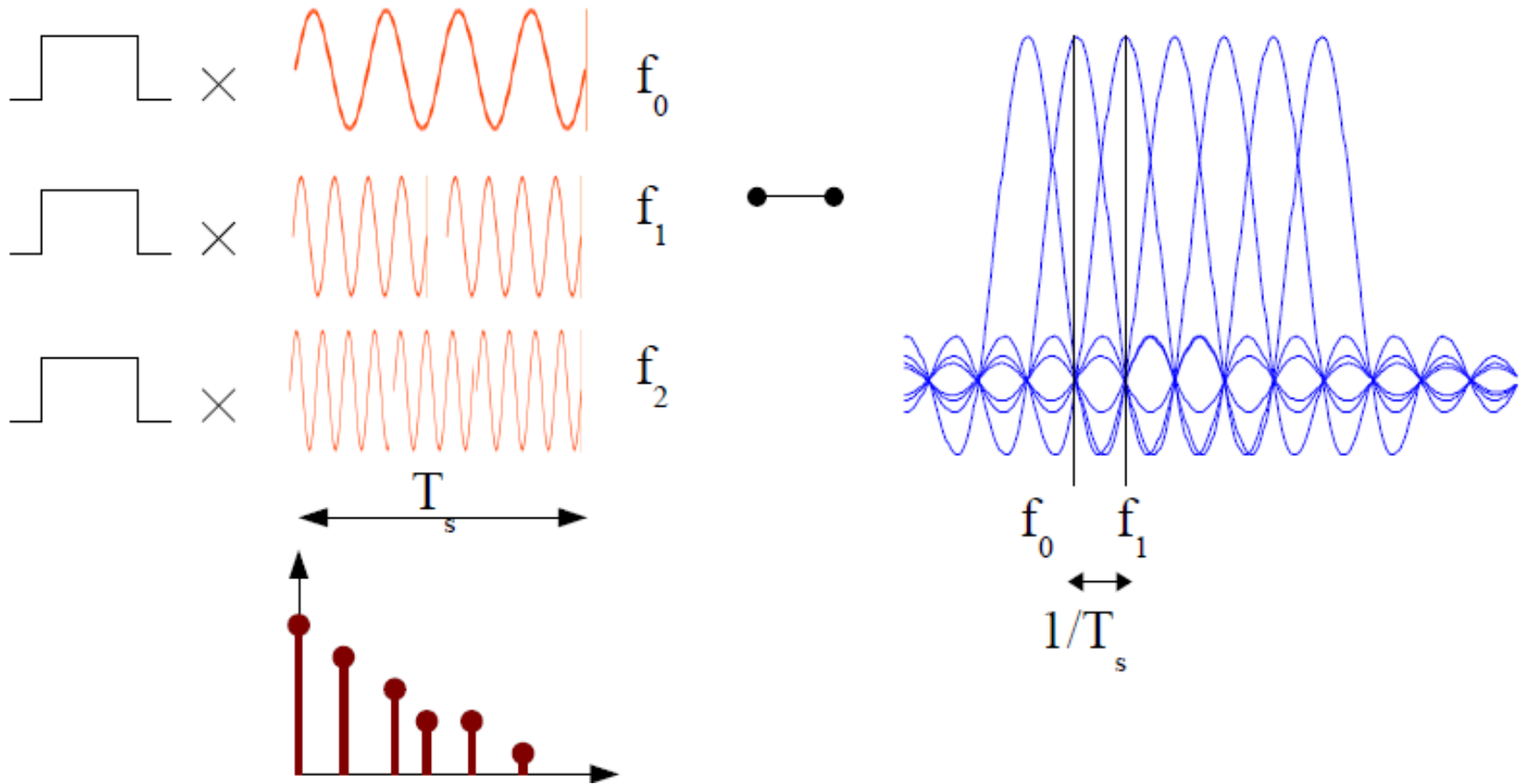
- La passerelle de service (S-GW) agit comme un routeur et transmet les données entre la station de base et la passerelle PDN.
- L'entité de gestion de mobilité (MME) contrôle le fonctionnement de haut niveau du mobile au moyen de messages de signalisation et d'un serveur d'abonné domestique (HSS).

# Orthogonal Frequency Division Multiplexing

- Dans les systèmes OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), la bande passante d'origine est subdivisée en plusieurs sous-porteuses.
- Chacune de ces sous-porteuses peut être modulée individuellement.
- Comme les multiples sous-porteuses en OFDM sont transmises en parallèle, on a un taux de symbole faible



# OFDM



# OFDM vs OFDMA

