

# Chapitre 1

---

## Réseaux Sans Fil et Réseaux Mobiles

### Rappels de Concepts de Base

Master Systèmes de Télécommunications

# Plan général

---

## Introduction

- 1<sup>ère</sup> Chapitre: **Rappels des Concepts de base**
- 2<sup>ème</sup> Chapitre : **Réseaux personnels sans fil (WPAN)**
- 3<sup>ème</sup> Chapitre : **Réseaux locaux sans fil : IEEE502.11**
- 4<sup>ème</sup> Chapitre : **Réseaux Métropolitains sans fil**
- 5<sup>ème</sup> Chapitre : **Réseaux mobiles 3G, 4G et 5G**
- 6<sup>ème</sup> Chapitre : **Introduction à la radio cognitive**

# Histoire

## Réseaux analogiques (“L’âge de l’arbre”)

- **1876**, Alexander Graham Bell invente le téléphone. L’architecture du réseau est basée sur des connections point à point, établies manuellement. Les compagnies téléphoniques construisent et contrôlent tous les composants du réseau.

## Les réseaux numériques (première ébauche de grille dans l’arbre)

- **1948**. Claude Elwood Shannon invente le concept d’information numérique. L’architecture réseau est basé sur des commutateurs numériques, les “switchs”.

## Les réseaux IP (la grille envahit l’arbre)

- **1981**. Jon Postel, Steve Crocker, et Vint Cerf inventent le réseau Internet qui substitue les routeurs aux commutateurs. Le réseau est administré par de multiples organisations.

## Réseaux Abstraits (L’âge du *Boogie Woogie*)

- L’IP sans fil (**1999**) et accès large bande (*Broadband Access*) (**2005**)
- Le réseau devient abstrait. Les accès (technologies câblées, large bande, Wi-Fi, WiMax...), et les services (eMail, Skype, Messenger, UMA...) sont gérés par de multiples organisations.

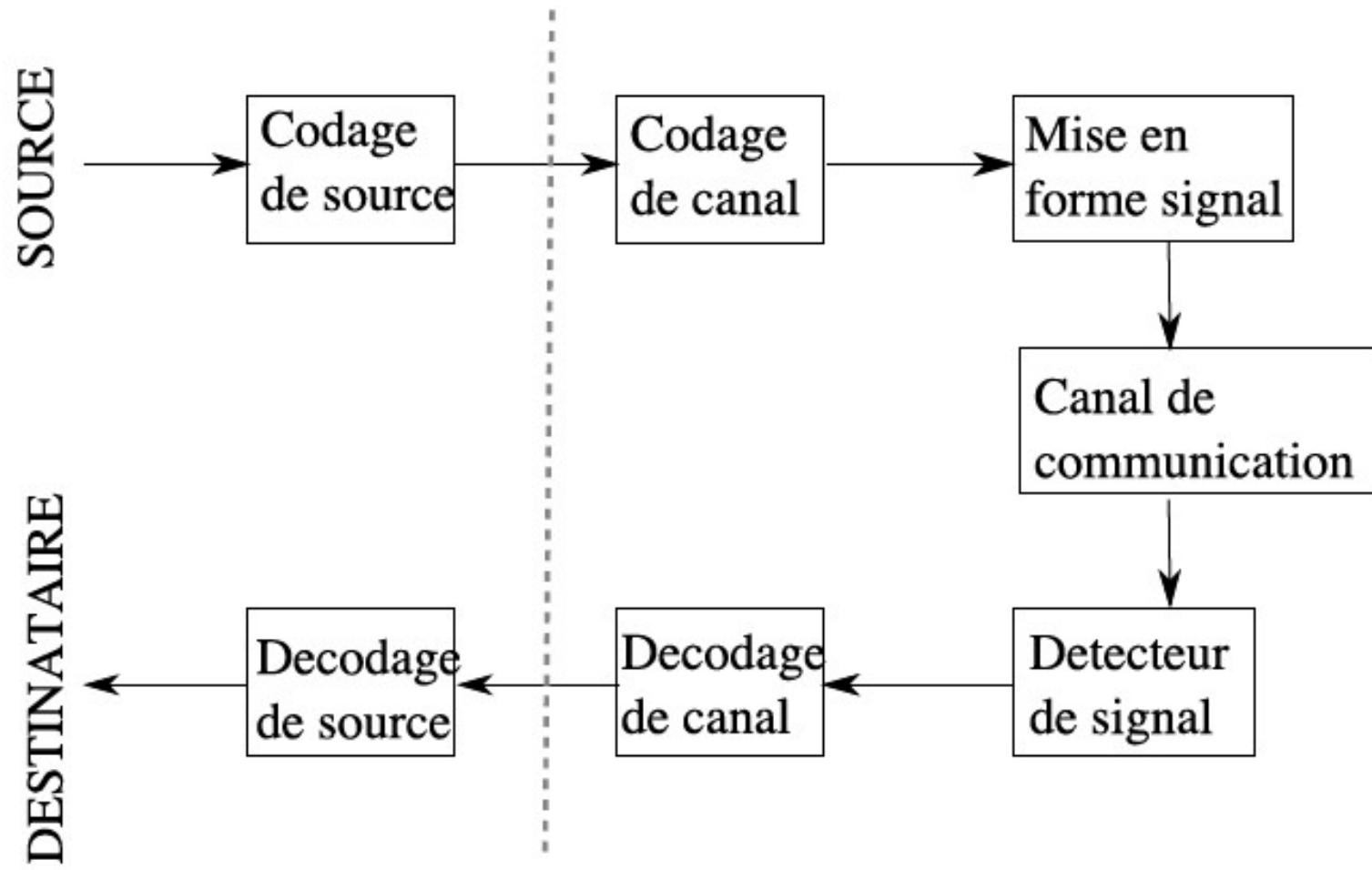
# La préhistoire

- 1838 : Samuel Morse : théorie et du codage.
- 1858 : câble transatlantique
- 1864 : équations de Maxwell
- 1897 : Marconi dépose le brevet de la TSF
- 1907 : Lee de Forest : l'amplificateur à triode.
- 1915 : Première liaison téléphonique (par ondes courtes) transcontinentale par Bell System.
- 1937 : Alec Reeves : PCM
- 1948 : Invention du transistor + Shannon
- 1962 : Premier satellite TV (Telstar I)
- 1965 : Premier satellite geo (Intelsat I)

# Les technologies sans fils : introduction

- Une mobilité plus importante des utilisateurs rend les réseaux traditionnels (filaires) inadaptés.
- Apparition de nombreuses technologies sans fils standardisées.
- Aucune technologie sans fils n'est parfaite : c'est toujours un équilibre entre différents facteurs (portée, débit, etc.).
- Augmentation constante des performances grâce à la recherche et dès demain des performances accrues permettront de nouveaux usages.

# Chaîne de communication (couche physique)



# Paramètres de Transmission

- Capacité du canal  $C$
- Fréquence porteuse  $f_0$
- Bande passante  $W$
- Temps-symbole  $T_S$  et débits  $D_S, D_{source,b}$
- Puissance émise par 1 bit utile  $E_b$
- Rapport signal-à-bruit  $SNR_{dB}$
- Taux d'erreurs  $TEB, TEP$

# Réseaux sans fils

---

- **WPAN** : Wireless Personnal Area Network
  - BlueTooth
  - IrDA
- **WHAN** : Wireless Home Area Network
  - HomeRF
- **WLAN** : Wireless Local Area Network
  - IEEE 802.11a, 802.11b, 802.11g
  - HiperLan

# Réseaux sans fils

---

- **WMAN** : **Wireless Metropolitan Area Network**
  - IEEE 802.16
- **WWAN** : **Wireless Wide Area Network**
  - GSM
  - GPRS, I-Mode, UMTS
- Réseaux de satellites

# Réseaux locaux sans fils

---

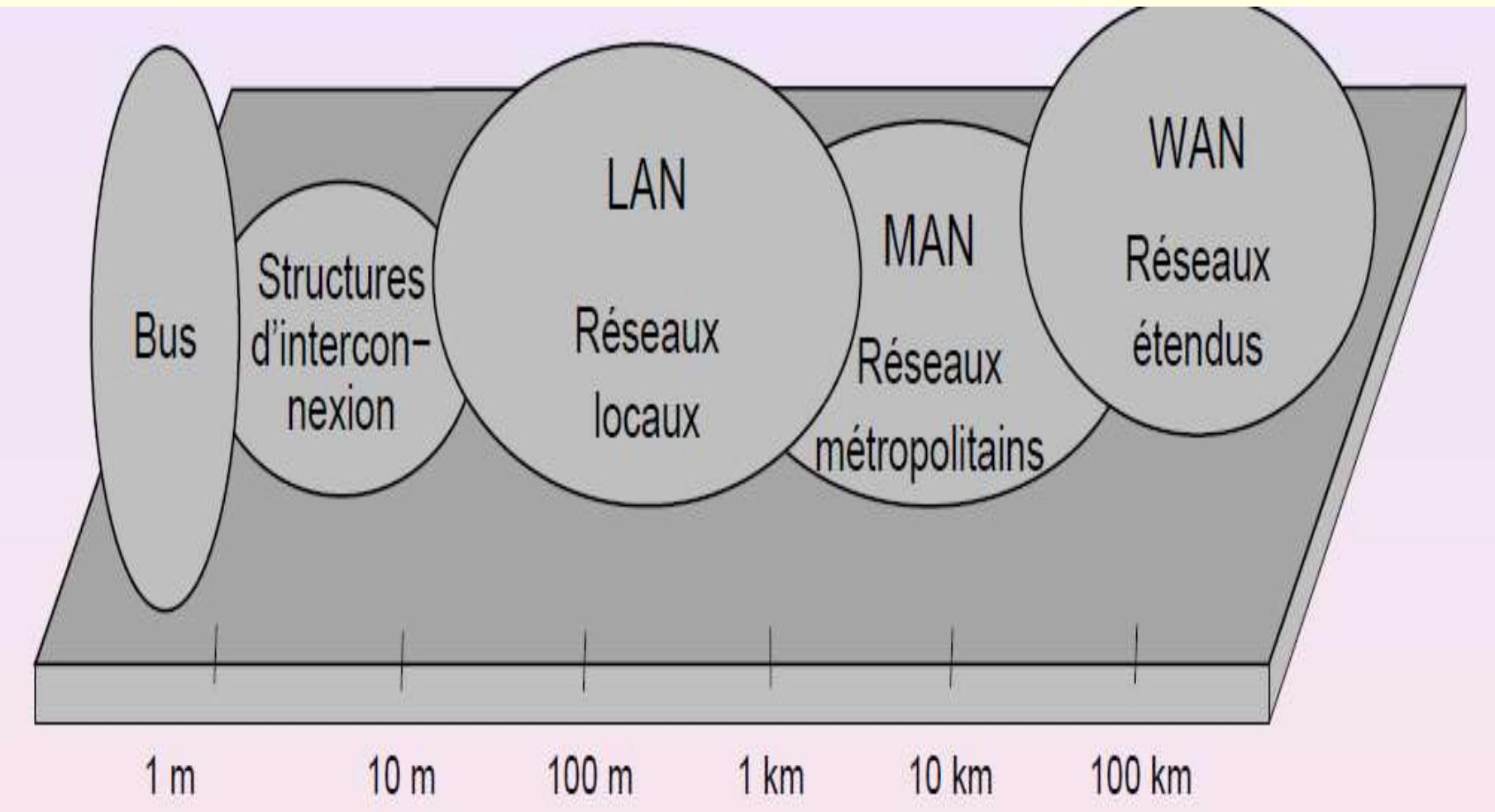
## ■ WPAN / WHAN

- Quelques mètres autour de l'utilisateur
- se déplacent avec l'usager
  - pas de station relais
- Bluetooth : 1Mbps
- IrDA : 4Mbps

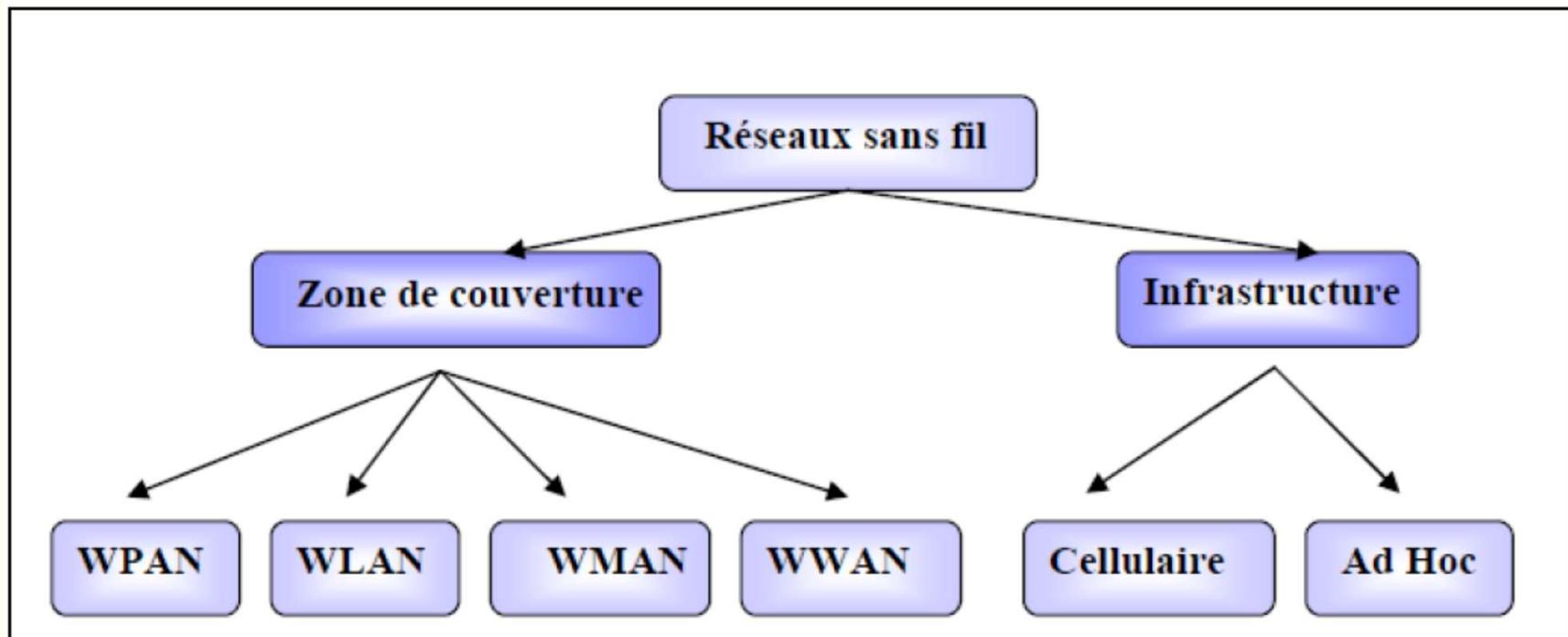
## ■ WHAN / WLAN

- De 50 à quelques centaines de mètres
- couvrent une localisation fixe
  - station relais
- IEEE 802.11, HiperLan, HomeRF, AirPort, DECT,

# Métriques des différents réseaux

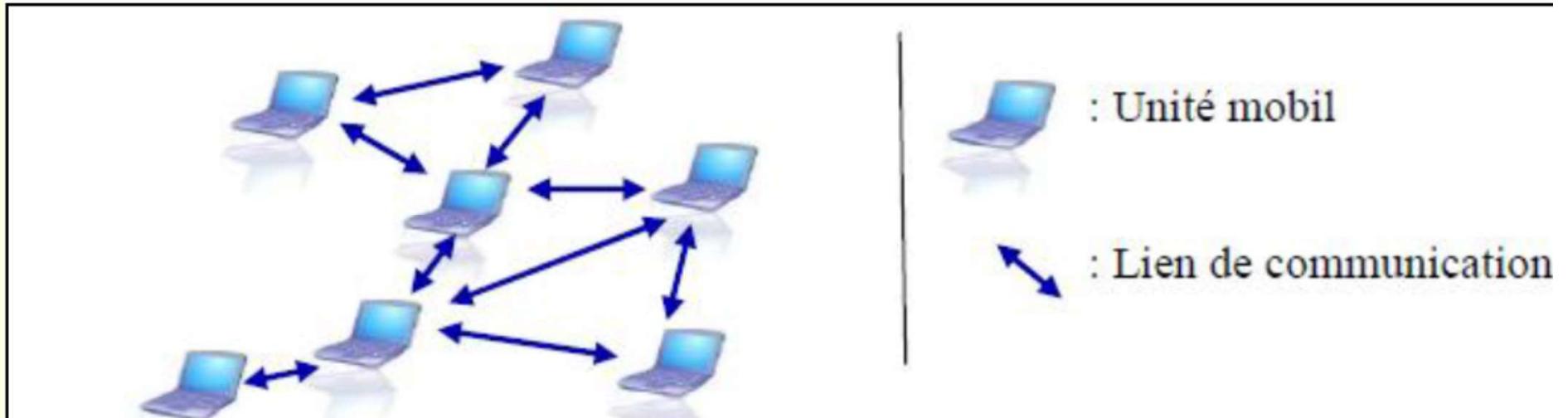


# Classification des réseaux sans fil



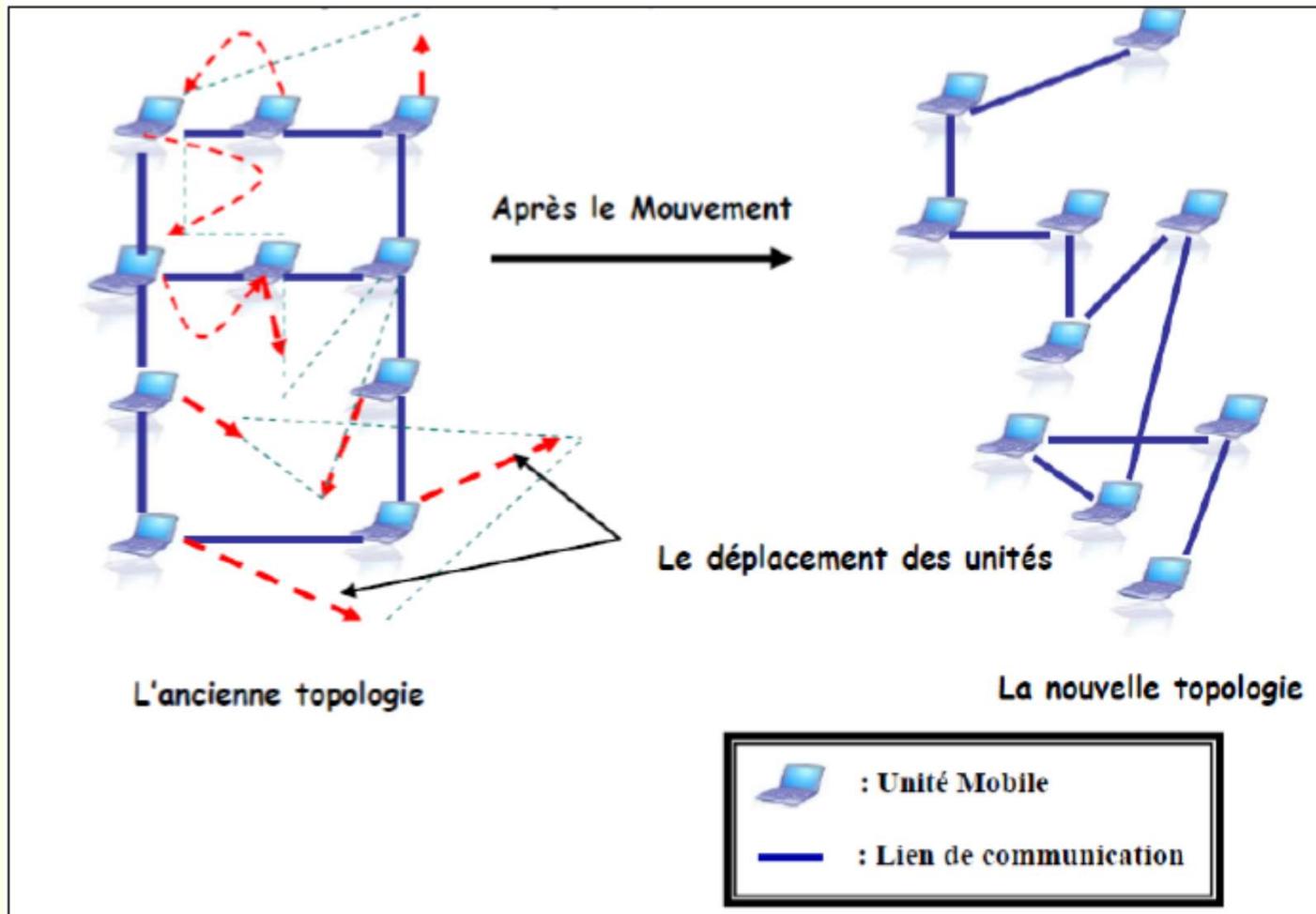
Les réseaux sans fil peuvent avoir une classification selon deux critères. Le premier est la zone couverture du réseau. Au vu de ce critère il existe quatre catégories : les réseaux personnels, les réseaux locaux, le réseau métropolitain et les réseaux étendus. Le second critère est l'infrastructure ainsi que le modèle adopté. Par rapport à ce critère on peut diviser les réseaux sans fils en : réseaux avec infrastructures et réseaux sans infrastructure,

# Réseau en mode ad hoc



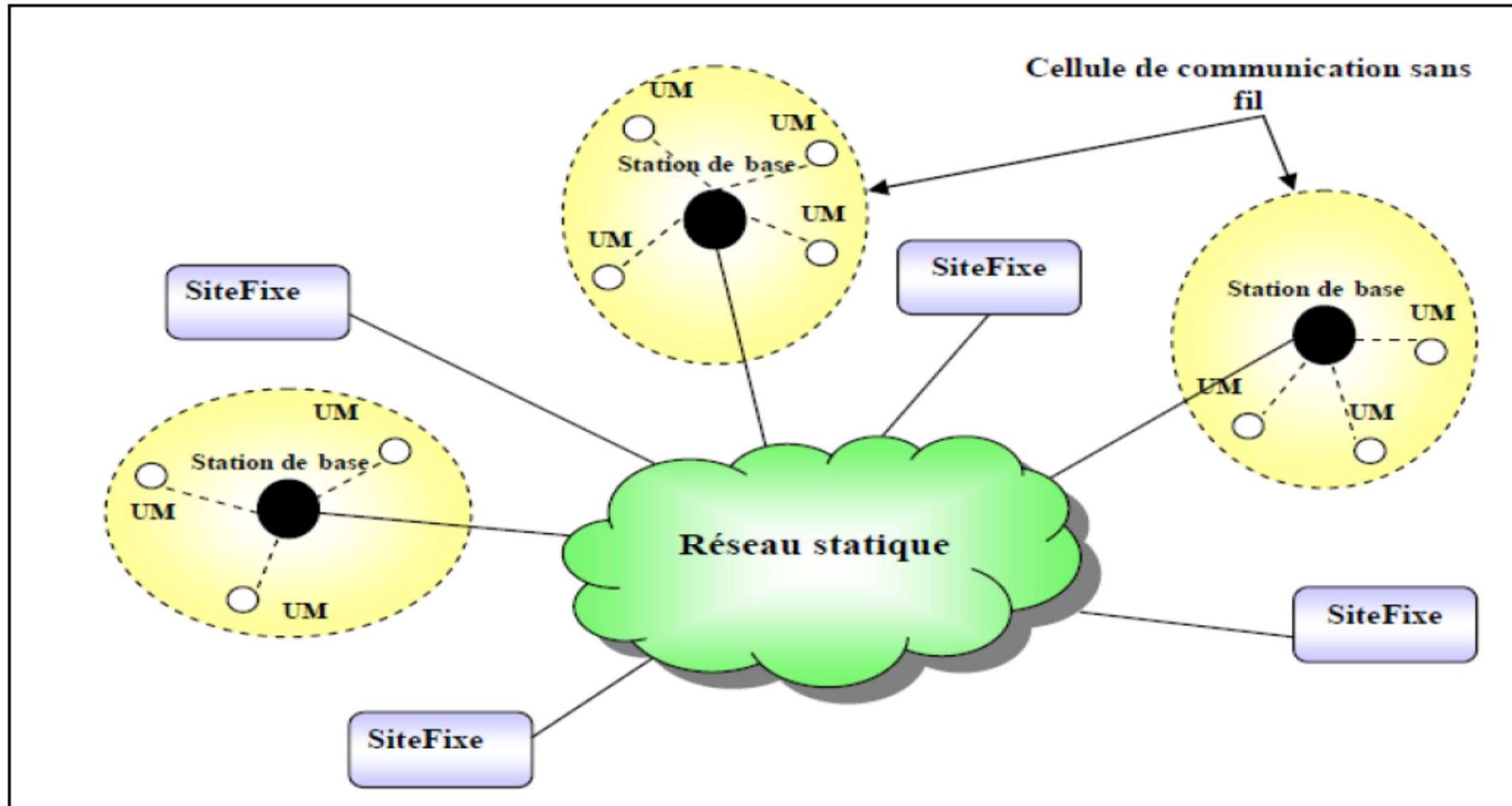
Un réseau ad hoc est un réseau sans fil auto-configurable.

# Le changement de la topologie des réseaux ad hoc



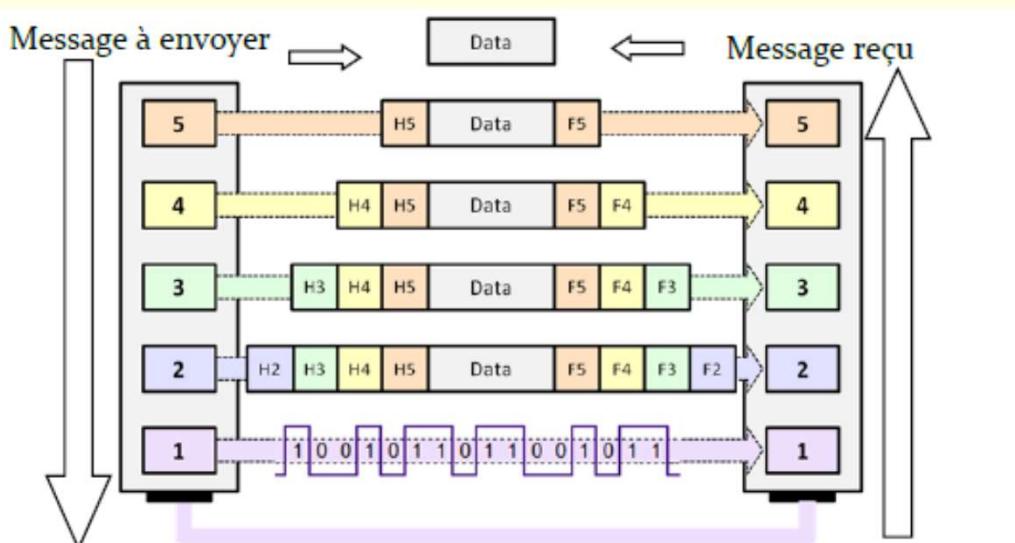
La topologie des réseaux ad hoc est dynamique et décentralisé. Elle peut changer aléatoirement, et les unités mobiles sont libres de se déplacer arbitrairement. De ce fait, la déconnexion de ces unités est très fréquente.

# Réseaux mobiles avec infrastructure

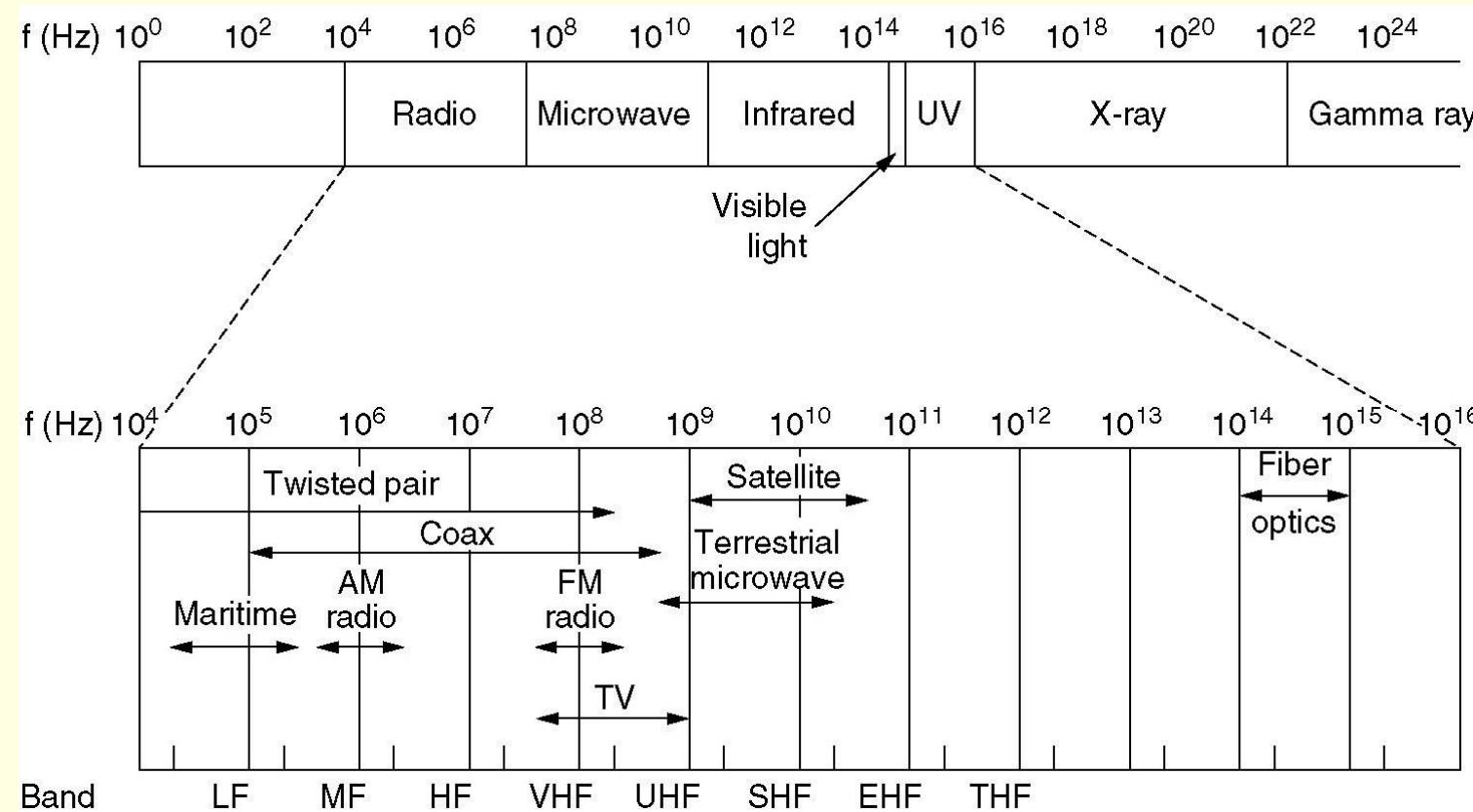


# Modèle OSI

Modèle OSI			
	Type de Donnée	Couche	Fonction
Couches Hautes	Donnée	7. Application	Point d'accès aux services réseaux
		6. Présentation	Gère le chiffrement et le déchiffrement des données, convertit les données machine en données exploitable par n'importe quelle autre machine
		5. Session	Communication Interhost, gère les sessions entre les différentes applications
Couches Matérielles	Segments	4. Transport	Connexions bout à bout, connectabilité et contrôle de flux
	Paquet/Datagramme	3. Réseau	Détermine le parcours des données et l'adressage logique
	Trame	2. Liaison	Adressage physique
	Bit	1. Physique	Transmission des signaux sous forme binaire

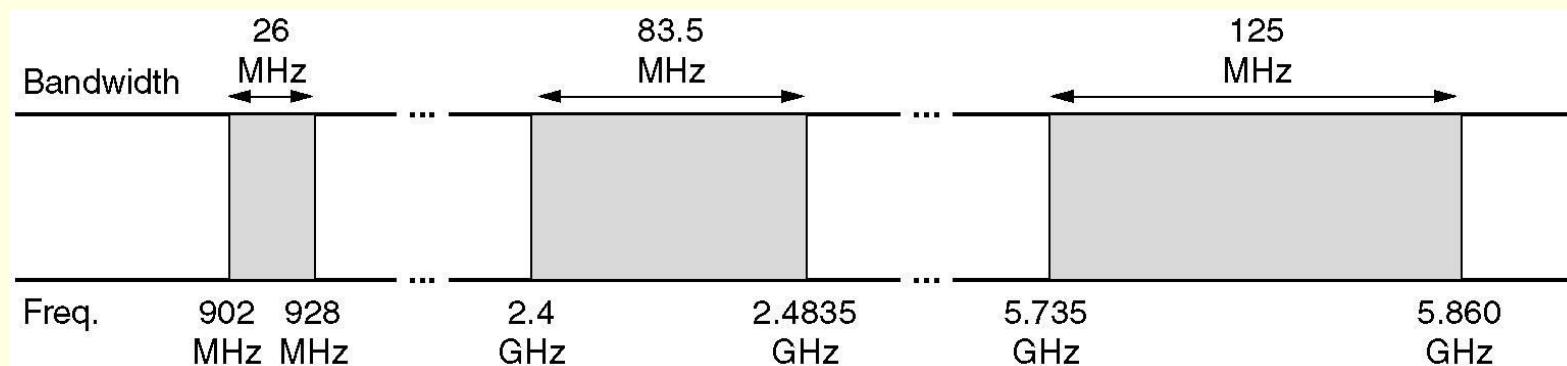


# Le Spectre Electromagnétique



# La bande ISM

- **ISM Spectrum (Industrial, Scientific and Medical)**
  - Utilisation sans licence individuelle



Bande ISM aux États-Unis

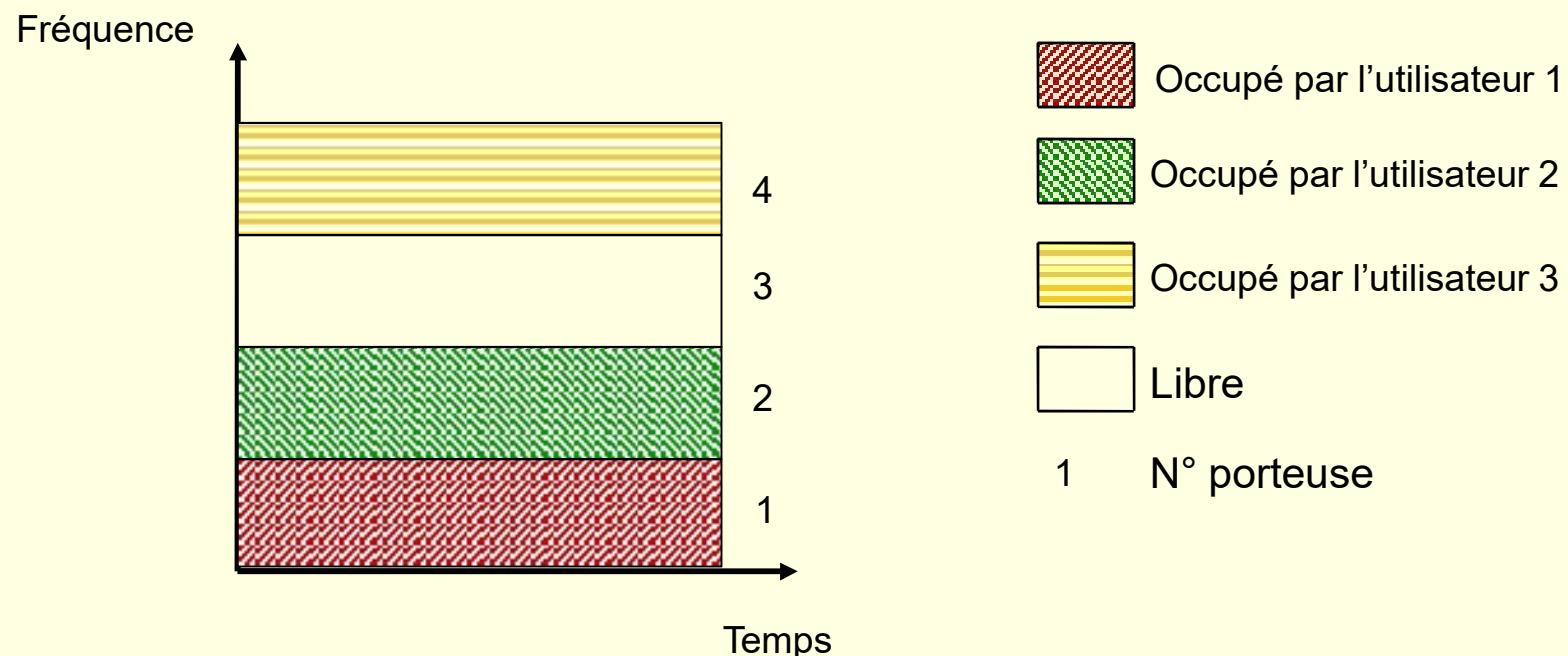
# Méthodes d'accès

---

- **FDMA (Frequency Division Multiple Access)**
  - AMRF (Accès Multiple par Répartition de Fréquences)
- **TDMA (Time Division Multiple Access)**
  - AMRT (Accès multiple à Répartition dans le temps)
- **CDMA (Code Division Multiple Access)**
  - AMRC (Accès multiple à Répartition en Code) code

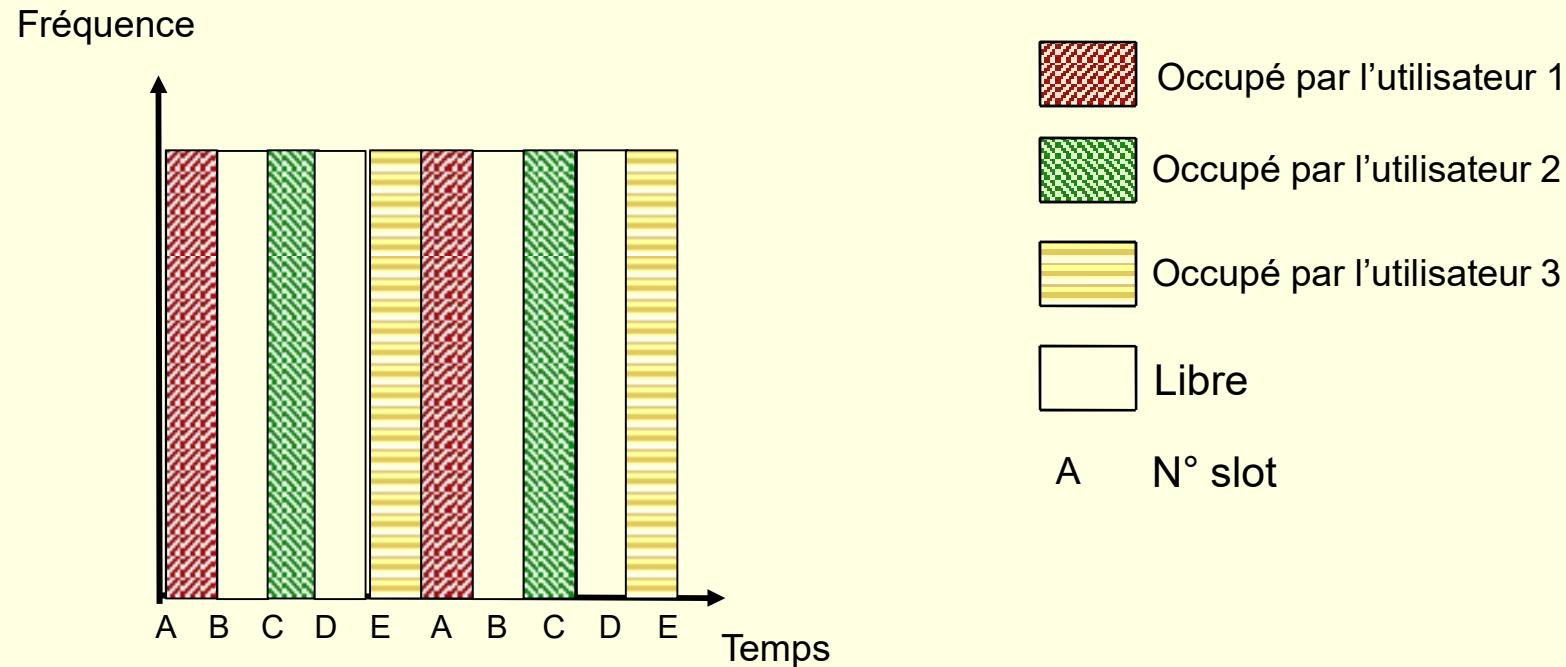
# FDMA

- Bande de fréquences divisée en plusieurs sous-bande allouées de façon continue à un utilisateur
- Utilisé principalement dans les réseaux analogiques

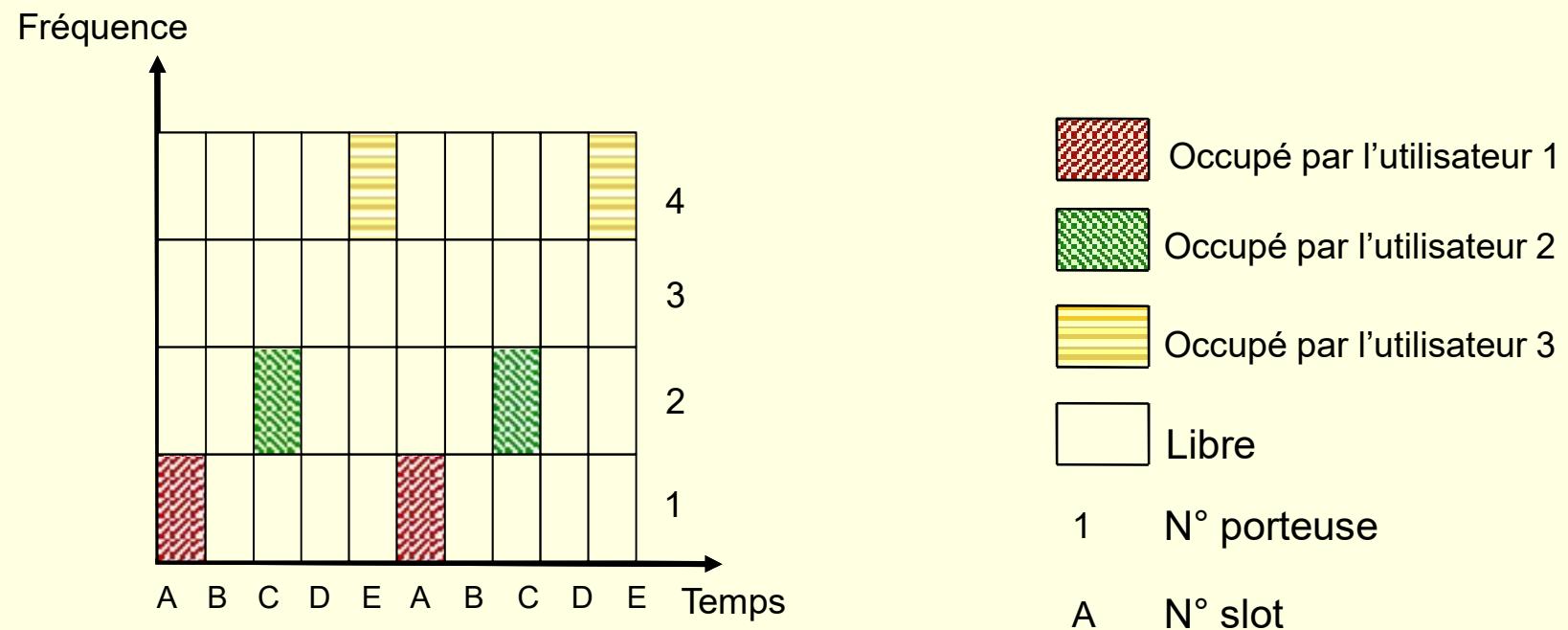


# TDMA

- Totalité de la bande de fréquences alloué à un utilisateur pendant des intervalles de temps donnés (slot)
- Utilisé principalement dans les réseaux numériques



# Combinaison FDMA-TDMA



# CDMA

---

Allocation de la totalité de la bande de fréquences

- à tous les utilisateurs
- de manière simultanée
- Code binaire particulier à chaque utilisateur
- Méthode permettant de multiplexer plusieurs utilisateurs au moyen de codes distincts (Orthogonaux)
- Appelé aussi : **SSMA** (Spread Spectrum Multiple Access)

# Spread Spectrum

---

## ■ Étalement du spectre

3 propriétés :

- Le signal occupe une Bande Passante plus large que ce qui est nécessaire à la transmission de l'information
  - Immunité aux interférences
  - Immunité au brouillage (*jamming*)
  - Accès multi-utilisateurs (*multi-users access*)
- La largeur de bande est étalée au moyen d'un code indépendant des données
- Le récepteur doit se synchroniser sur le code pour récupérer les données

# Spread Spectrum

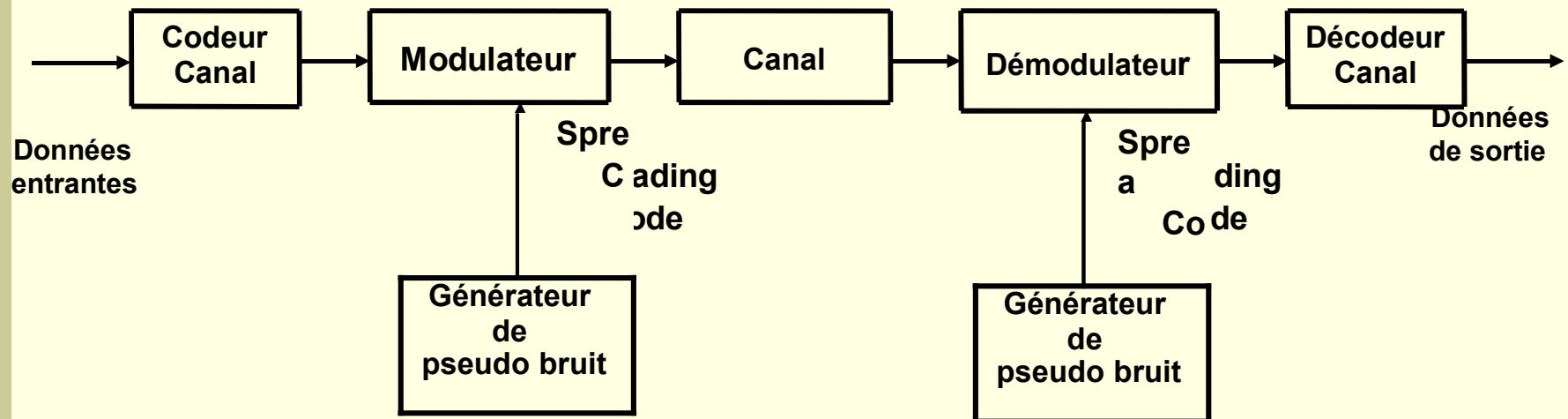


Schéma général d'un système de communication à étalement de spectre

# Frequency Hopping Spread Spectrum

---

## ■ Etalement du spectre à sauts de fréquences

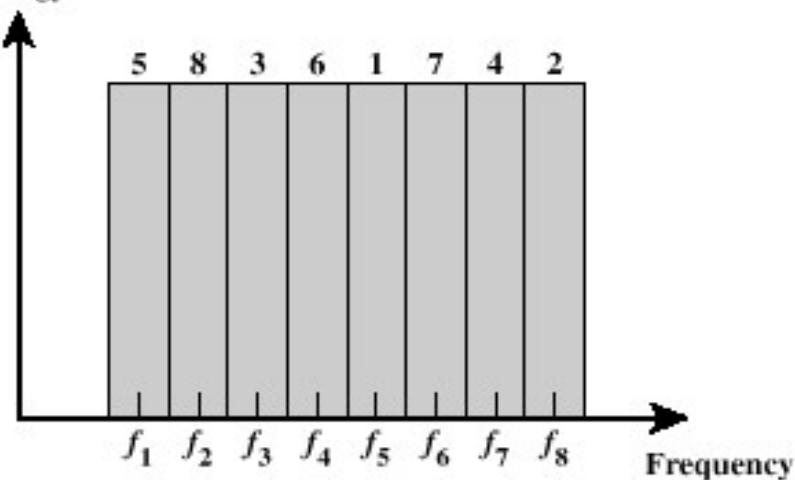
- Le signal est commutés rapidement et de façon pseudo aléatoire entre les différentes fréquences à l'intérieur de la bande allouée
- Les sauts se font à intervalles de temps fixes
- A chaque intervalle successif, une nouvelle fréquence est utilisée
- la séquence des canaux utilisés est imposé par le code *spreading code* (code d'étalement)
- le récepteur saute d'une fréquence à l'autre en synchronisation avec l'émetteur en utilisant le même code

## ■ Avantages

- immunité aux écoutes indiscrètes
- résistance au brouillage : brouiller une seule fréquence ne perturbe que quelques bits

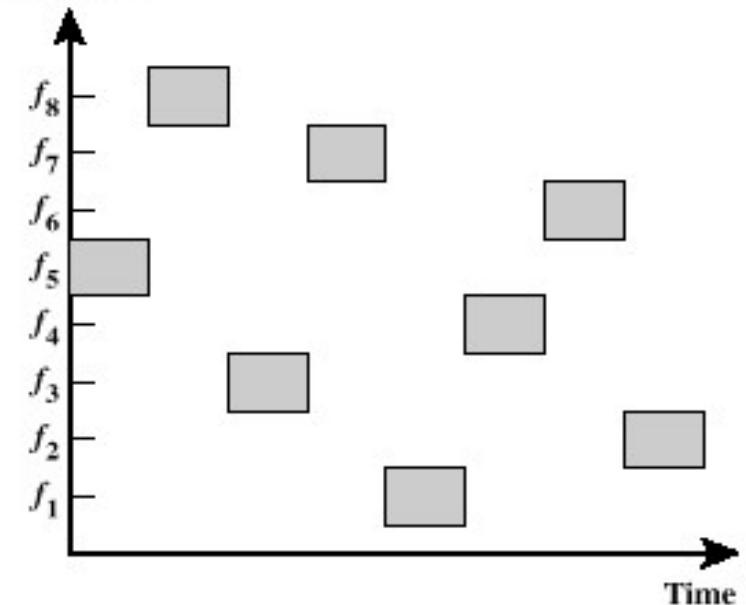
# FHSS

Energy



(a) Channel assignment

Frequency



(b) Channel use

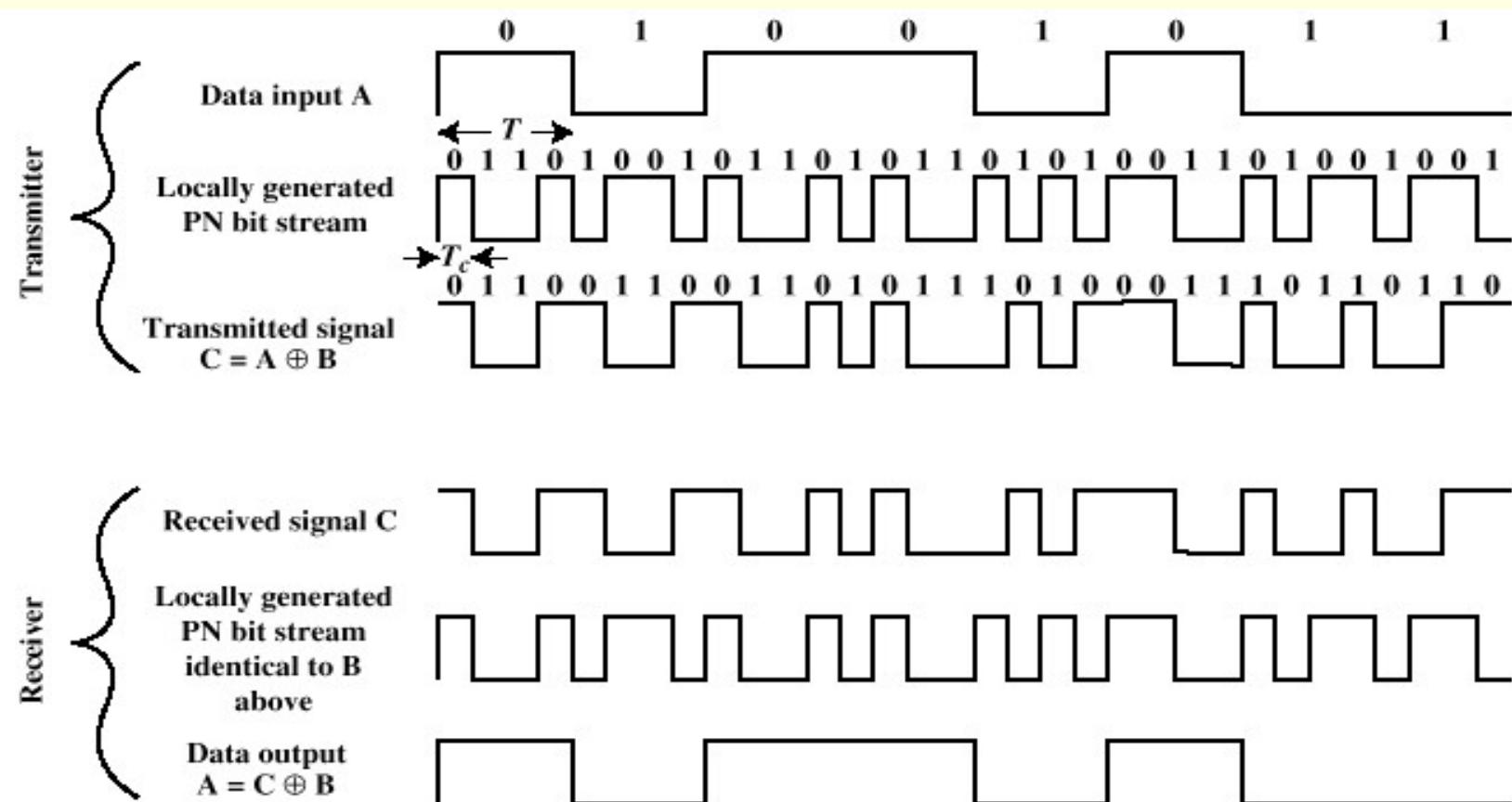
Frequency Hopping Example

# Direct Sequence Spread Spectrum

---

- Chaque bit du signal original est représenté par une série de bits dans le signal transmis
- Le *spreading code* étale le signal sur une plus large bande de fréquence
  - l'étalement est directement proportionnel au nombre de bits utilisés
- Le code est généré de façon pseudo aléatoire
  - le récepteur sait générer le même code et corrèle le signal reçu avec ce code pour extraire les données

# DSSS



Example of Direct Sequence Spread Spectrum

# CDMA : Principe

---

- Temps bit divisé en  $n$  intervalles appelés *chips* (en général 64 ou 128)
- Un code  $n$ -bit unique (*Chip sequence*) assigné à chaque utilisateur
  - transmission de 1 => envoi de la chip sequence
  - transmission de 0 => envoi de la chip sequence inversée (complémentée à 1)
- Exemple 8-bit chip sequence : 11010111
  - transmission de 1 => envoi de 11010111
  - transmission de 0 => envoi de 00101000

# CDMA : Principe

Chip Sequence	1	1	0	1	0	1	1	1
Spreading Sequence	1	1	-1	1	-1	1	1	1
Transmission de '1'	1	1	-1	1	-1	1	1	1
Transmission de '0'	-1	-1	1	-1	1	-1	-1	-1
Pas de transmission	0	0	0	0	0	0	0	0

# CDMA : Exemple

## ■ Exemple de transmission entre 4 utilisateurs

(Source : A. Tanenbaum – Computer networks - 4th Edition)

### □ Codes

Utilisateur	Chip Sequence	Spread Sequence
A	0 0 0 1 1 0 1 1	-1 -1 -1 1 1 1 -1 1 1
B	0 0 1 0 1 1 1 0	-1 -1 1 -1 1 1 1 -1
C	0 1 0 1 1 1 0 0	-1 1 -1 1 1 1 -1 -1
D	0 1 0 0 0 0 1 0	-1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1

Tous les codes doivent être orthogonaux deux à deux :

$$S \bullet T \equiv \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i T_i = 0$$

En clair : il y a autant de paires identiques que de paires différentes

# CDMA : Exemple

---

- Méthode utilisée pour générer des chip sequence orthogonale :  
*Walsh code method*
- Autres propriétés des chip sequence :
  - $S \bullet T = 0 \Rightarrow S \bullet T = 0$
  - $S \bullet S \equiv \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i S_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\pm 1)^2 = 1$
  - $S \bullet \bar{S} = -1$

# CDMA : Exemple

- Lorsque deux stations émettent en même temps les signaux s'ajoutent linéairement :  
Par exemple si A envoie 1, B envoie 0, C se tait et D envoie 0 cela donne :

Utilisateur	Bit transmis	Spread Sequence
A	1	-1 -1 -1 1 1 -1 1 1
B	0	1 1 -1 1 -1 -1 -1 1
C	-	0 0 0 0 0 0 0 0
D	0	1 -1 1 1 1 1 -1 1
<b>S (Somme)</b>		1 -1 -1 3 1 -1 -1 3

# CDMA : Exemple

Temps bit	Stations				Sommes								
	A	B	C	D									
N°1	-	-	1	-	$S_1 =$	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1
N°2	-	1	1	-	$S_2 =$	-2	0	0	0	2	2	0	-2
N°3	1	0	-	-	$S_3 =$	0	0	-2	2	0	-2	0	2
N°4	1	0	1	-	$S_4 =$	-1	1	-3	3	1	-1	-1	1
N°5	1	1	1	1	$S_5 =$	-4	0	-2	0	2	0	2	-2
N°6	1	1	0	1	$S_6 =$	-2	-2	0	-2	0	-2	4	0

# CDMA : Exemple

- Décodage : produit du signal reçu et de la spreading sequence correspondant à la station dont on veut décoder le signal
- Exemple : décodage du bit émis par la station C au temps bit N°4 :

$$S_4 \bullet C \equiv \frac{1}{8} \sum_{i=1}^8 S_{4i} C_i$$

$S_4$	-1	1	-3	3	1	-1	-1	1
$C$	-1	1	-1	1	1	1	-1	-1
$S_4 \times C$	1	1	3	3	1	-1	1	-1

$$\begin{aligned} S_4 \bullet C &= (1 + 1 + 3 + 3 + 1 - 1 + 1 - 1) / 8 \\ &= 8 / 8 = 1 \end{aligned}$$

En effet :

$$\begin{aligned} S_4 \bullet C &= (A + B + C) \bullet C = A \bullet C + B \bullet C + C \bullet C \\ &= 0 + 0 + 1 = 1 \end{aligned}$$

Les 2 premiers termes s'annulent car les produits intérieurs des chips sequence ont été choisis orthogonaux

# CDMA : Exemple

---

- Pour les 6 temps bit encodés précédemment, on décode pour la station **C** :

$$S_1 \bullet \mathbf{C} = (+1+1+1+1+1+1+1) / 8 = \mathbf{+1} \Rightarrow \mathbf{C=1}$$

$$S_2 \bullet \mathbf{C} = (+2+0+0+0+2+2+0+2) / 8 = \mathbf{+1} \Rightarrow \mathbf{C=1}$$

$$S_3 \bullet \mathbf{C} = (+0+0+2+2+0-2+0-2) / 8 = \mathbf{0} \Rightarrow \mathbf{pas de C}$$

$$S_4 \bullet \mathbf{C} = (+1+1+3+3+1-1+1-1) / 8 = \mathbf{+1} \Rightarrow \mathbf{C=1}$$

$$S_5 \bullet \mathbf{C} = (+4+0+2+0+2+0-2+2) / 8 = \mathbf{+1} \Rightarrow \mathbf{C=1}$$

$$S_6 \bullet \mathbf{C} = (+2-2+0-2+0-2-4+0) / 8 = \mathbf{-1} \Rightarrow \mathbf{C=0}$$

# Historique

---

- Première génération : G1
  - Analogique
  - Transmission de la voix
- Deuxième génération : G2
  - Numérique
  - Transmission de la voix
- G2.5 (Extension de G2)
  - Numérique
  - Voix et données
- Troisième génération : G3
  - Numérique
  - Voix et données (Internet, e-Mail, multimédia, etc.)

# Métriques des différents réseaux

- Les BUS :
  - inférieurs à 1 mètre,
  - ils interconnectent les processeurs, les mémoires, les entrées-sorties d'un ordinateur ou d'un multiprocesseur.
- Les structures d'interconnexion :
  - quelques mètres,
  - ils permettent d'interconnecter plusieurs ordinateurs dans une même pièce pour former des réseaux fermés à très haut débit,
  - débit de plusieurs centaines de Mbit/s.
- Les réseaux personnels (WPAN) :
  - quelques mètres,
  - ils interconnectent les équipements personnels : GSM, portables, organisateurs, etc.

# Métriques des différents réseaux

- Les réseaux locaux (WLAN) :
  - plusieurs centaines de mètres,
  - ils interconnectent les équipements informatiques d'une même entreprise, d'une même université,
  - débit de quelques Mbit/s à quelques Gbit/s.
- Les réseaux métropolitains (WMAN) :
  - interconnexion de plusieurs sites dans une même ville,
  - interconnexion des réseaux locaux situés dans des bâtiments différents.
- Les réseaux étendus (WWAN) :
  - ils interconnectent des sites et des réseaux à l'échelle d'un pays,
  - ils sont soit terrestres, soit satellitaires.

# La portée des réseaux sans fil

- La portée est très souvent une indication théorique :
  - Elle peut être réduite en fonction des obstacles.
  - Elle dépend aussi de la bande de fréquence utilisée (exemple : la bande de fréquence des 2,4 GHz utilisée par de nombreux types de réseau est freinée par l'eau et donc aussi par les humains qui en sont constitués à 70%).
  - Elle est aussi dépendante de la puissance rayonnée qui est une fonction de la portée et du débit : plus on va loin, moins on peut offrir de débit.
- La puissance autorisée est une limitation politique et non technologie. Elle varie selon les pays.
- On peut augmenter la portée en concentrant le signal dans une même direction grâce une antenne "unidirectionnelle".
- Cette méthode est surtout utile pour relier deux points distants et elle est appelée alors "liaison point-à-point".

# Réseaux sans fil avec ou sans signalisation

- Les réseaux avec signalisation ont été mis en place par les opérateurs de télécommunication pour le téléphone :
  - Ils permettent d'échanger des données avec les téléphones mobiles de troisième génération (3G).
  - Ils permettent de garantir une bande passante dans le cas d'une commutation de circuits et donnent des possibilités de garantie pour un transfert de paquets. Une fois établie, la connexion de type circuit est entièrement dédiée à l'échange entre deux correspondants.
- Les réseaux locaux de type Ethernet sont des appelés sans signalisation.
  - Internet utilise principalement des réseaux de ce type.
  - Les paquets échangés entre tout le monde se partagent la même bande passante ce qui rends plus difficile la garantie d'un débit.
  - Sa mise en œuvre est plus simple et moins chère.

# Réseaux sans fil personnel (WPAN) (1/3)

- Le plus connu de ces réseaux est Bluetooth mais de nouvelles technologies apparaissent :
  - UWB permet le haut débit,
  - Zigbee permet la connexion d'équipements à très faible coût.
- Bluetooth ou la "dent bleue" était le surnom d'un roi du Danemark (940-981).
  - Technologie mise au point par le suédois Ericsson.
  - Un appareil maître peut communiquer avec 7 autres appareils esclaves.
  - Elle est prévue pour remplacer les câbles qui relient les périphériques entre eux. Ce type de liaison est plutôt dédié aux connexions point à point. Elle peut permettre aussi l'interconnexion de PDA ou téléphones.
  - On peut constituer 10 groupes (80 appareils) dans un même rayon.

# Réseaux sans fil personnel (WPAN) (2/3)

- Bluetooth ou le standard IEEE 802.15.1 :
  - Des débits maximum de 750 Kb/s dans un rayon de 10 mètres.
  - Il utilise la bande de fréquences des 2,4 GHz (la même que WiFi et les fours micro-ondes) qui ne nécessite pas de licence.
- Ultra Wide Band - UWB :
  - Il utilise une grande partie du spectre pour l'échange de données. Le signal pour chaque bande de fréquence est donc très faible et ne perturbe pas les autres signaux qui se trouvent sur leur propre bande.
  - Standard IEEE 802.15.3 : il permet de transmettre à un débit de plusieurs centaines de Mb/s sur une distance de quelques dizaines de mètres.
  - On peut avoir jusqu'à 6 systèmes UWB dans un même rayon, chacun pouvant avoir un débit maximum de 50 Mb/s. Ils peuvent être agrégés entre eux.

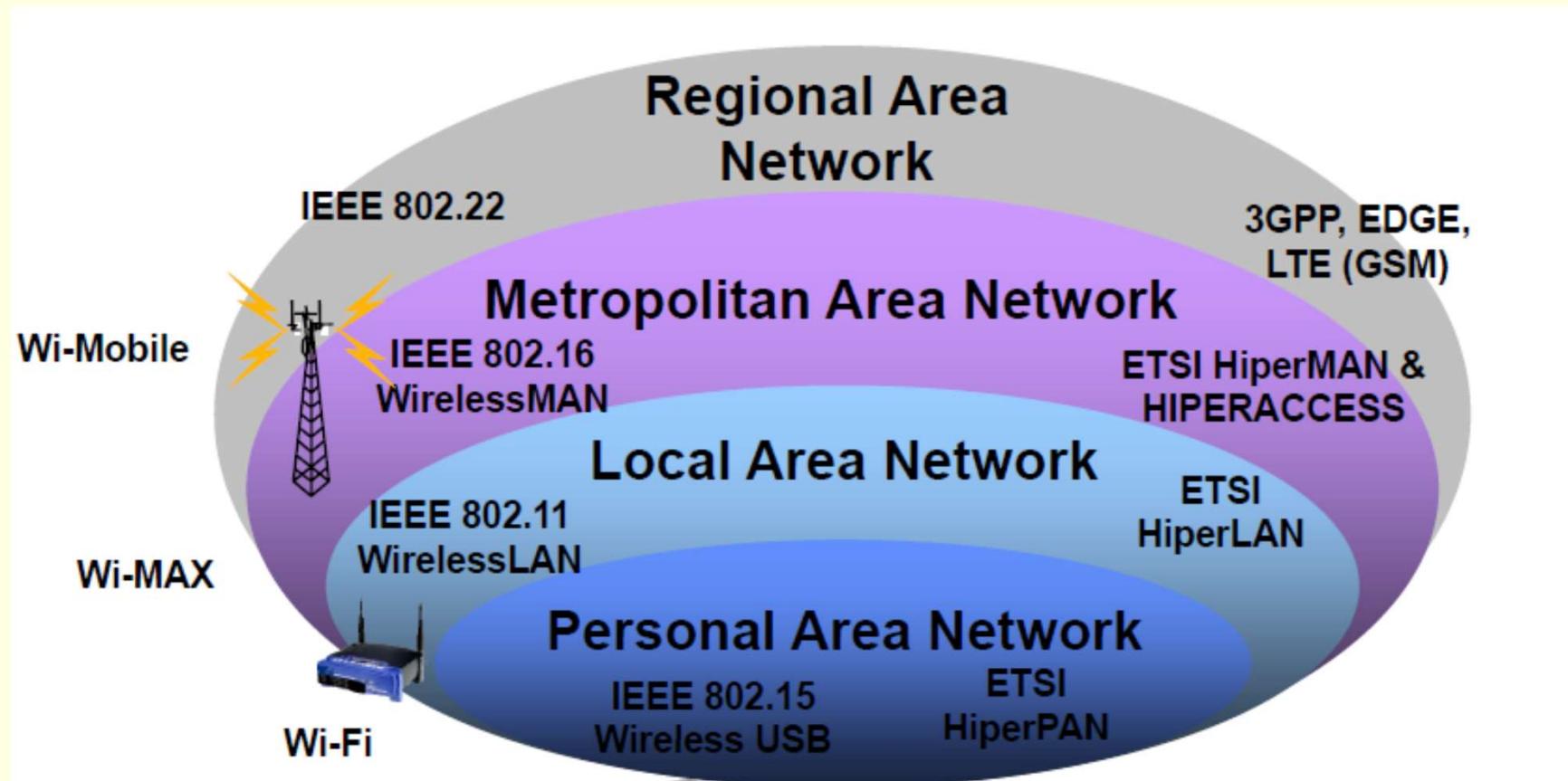
# Réseaux sans fil personnel (WPAN) (3/3)

- Zigbee, un réseau pour transporter les commandes essentiellement et non les données :
  - Il permet de mettre en place des réseaux personnels sans fils en étoile à très bas coût.
  - Il existe deux versions de Zigbee :
    - IEEE 802.15.4 qui permet de communiquer à 250 Kb/s jusqu'à 10 mètres pour relier aux maximum 255 appareils (bande de fréquence des 2,4 GHz).
    - IEEE 802.15.4a qui est limité à 20 Kb/s mais permet une portée de 75 mètres pour un maximum de 65 000 appareils (bande de fréquence des 900 KHz).
  - Adapté pour la communication d'objet à objet qui ne nécessite pas un grand débit.
  - Un très faible coût qui devrait permettre son intégration dans un grand nombre d'objets.
  - Une autonomie de deux ans avec de simples piles alcalines.
  - Objectif : rendre une simple ampoule communicante.

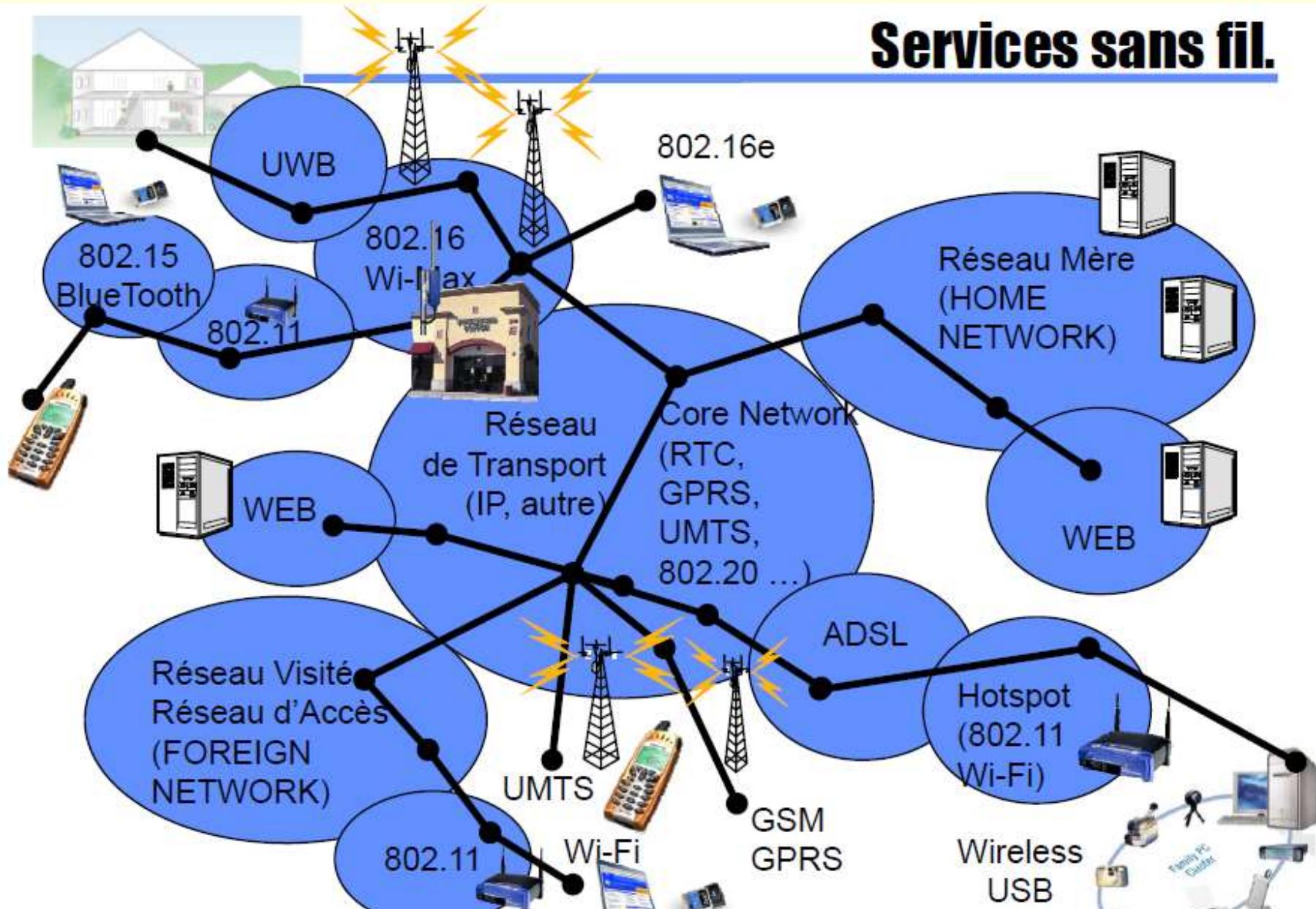
# Réseaux sans fil personnel (WPAN) (3/3)

- Zigbee, un réseau pour transporter les commandes essentiellement et non les données :
  - Il permet de mettre en place des réseaux personnels sans fils en étoile à très bas coût.
  - Il existe deux versions de Zigbee :
    - IEEE 802.15.4 qui permet de communiquer à 250 Kb/s jusqu'à 10 mètres pour relier aux maximum 255 appareils (bande de fréquence des 2,4 GHz).
    - IEEE 802.15.4a qui est limité à 20 Kb/s mais permet une portée de 75 mètres pour un maximum de 65 000 appareils (bande de fréquence des 900 KHz).
  - Adapté pour la communication d'objet à objet qui ne nécessite pas un grand débit.
  - Un très faible coût qui devrait permettre son intégration dans un grand nombre d'objets.
  - Une autonomie de deux ans avec de simples piles alcalines.
  - Objectif : rendre une simple ampoule communicante.

# Projets IP sans fil

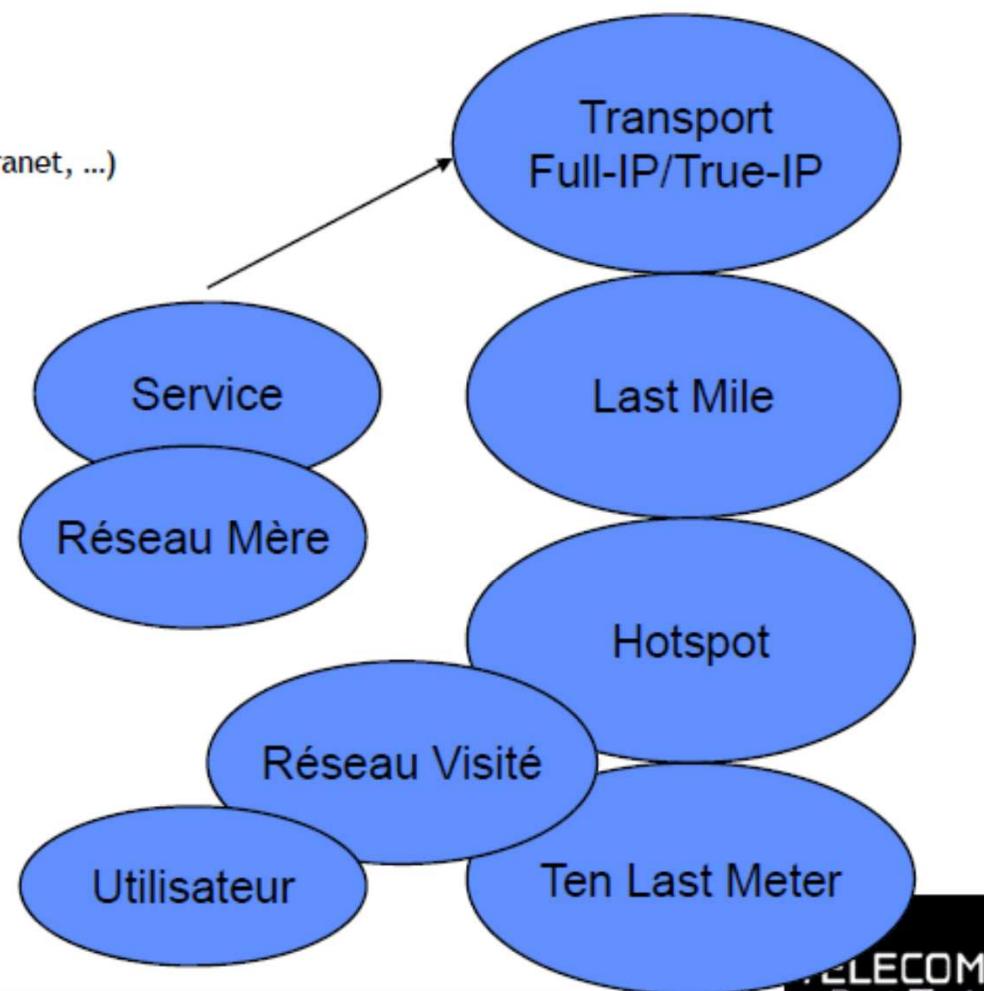


# Services sans fil.



# Services & infrastructures

- Deux classes de services
  - Multimédia
    - Voix
    - Images
  - Données
    - Accès au réseau mère (messagerie, intranet, ...)
    - Accès au WEB
- Infrastructure
  - Réseau Mère
  - Réseau de transport
  - Réseau visité / Réseau d'accès
- Distances.
  - 1km - 10 km (GSM, GPRS, UMTS, LTE)
  - Last Mile (802.16) 2,5 km - 50 km
  - 100 m (Wi-Fi, UWB)
  - 10 m, Bluetooth, 802.15, UWB
- Les débits
  - 802.11 - Wi-Fi (11- 50 Mbit/s)
  - 802.16a - Wi-Max, jusqu'à 75 Mbit/s
  - 802.16e - Wi-Max , 5 Mbit/s
  - UMTS 2 Mbit/s
  - GPRS 32 Kbit/s
  - GSM données-9600 bit/s, voix-13Kbit/s
  - Bluetooth, < 1 Mbit/s



# Evolution des réseaux sans fil.

- 2G Global System for Mobile Communication.
  - Voix 13 Kbit/s - Short Message SMS 160 octets.
- 2,5G General Packet Radio Service.
  - Mode paquet - Débit < 32 Kbit/s
- 3G Universal Mobile Telecommunication System.
  - Mode Paquet - Débit < 2 Mbits.
- 4G Wireless Local Area Network
  - Ethernet sans fil 802.11 - Wi-Fi
    - 802.11b, 11 Mbits/s Portée 25/100 m.
    - 802.11a, 54 Mbits/s **incompatible** 802.11b.
    - 802.11g, 54 Mbits/s **compatible** 802.11b
  - Piconet Bluetooth.
    - Portée 10 m, débit < 1 Mbit/s
- Ultra Wide Band.
  - Wireless USB
- IEEE 802.16, WiMax
  - Quelques kilomètres, débit 15 Mbits/s