

# Réseaux Sans Fil & Réseaux Mobiles



Pr. : Essaid SABIR

Contact : [e.sabir@ensem.ac.ma](mailto:e.sabir@ensem.ac.ma)

Ecole d'ingénierie : GI2

Année : 2018/2019

# Plan

- ❑ Introduction & généralités
- ❑ Méthodes d'accès
- ❑ Présentation de la couche physique WIFI
- ❑ Présentation de la couche MAC (CSMA/CA)
- ❑ Evolution de la norme IEEE 802.11
- ❑ Déploiement réseau WLAN & étude de site
- ❑ Sécurité des réseaux WIFI



# Introduction et généralités

# Introduction & généralités

## De communiquer vers télécommuniquer !



## Il était une fois les télécommunications !

Les télécommunications sont nées du besoin de transporter une information d'une personne à une autre, sans passer "par" l'homme (le réseau postal, télégraphe optique).

### Définition

Le terme télécommunications regroupe l'ensemble des techniques et moyens mis en œuvre pour transmettre de l'information à destination d'un ou plusieurs points distants du point d'émission.

En télécommunications, les sources d'information les plus fréquentes sont : parole, musique, images, vidéo, données

## Il était une fois les télécommunications !

Le début des télécommunications électriques remonte au milieu du 19<sup>ème</sup> siècle dans le contexte de l'expansion industrielle et du développement du chemin de fer.

### Etapes cruciales

- Télégraphe électrique (**transmission de données**)
- Téléphone (**à commutation manuelle puis automatique**)
- Découverte des ondes : **le réseau devient sans fil et planétaire !**

## Il était une fois les télécommunications !

- 1792 : Invention du **télégraphe optique** par **Claude Chappe**



- 1832-38 : **Samuel Morse** invente un système de transmission codée pour l'alphabet (**télégraphe électrique**). Son **code** tient compte de la fréquence relative des lettres dans la langue anglaise pour optimiser le temps de transmission d'un message.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

## Il était une fois les télécommunications !

- 1866 : Un câble sera posé à travers l'atlantique.
- 1870 : Première **liaison télégraphique** par ligne aérienne et sous-marine entre Londres et Calcutta (11 000 Km)



### Début de la téléphonie !

- 1876 : Alexander Graham Bell dépose (quelques heures avant Elisha Gray !) un brevet concernant un moyen de transmettre électriquement des sons à l'aide d'une résistance variable  
→ **début du téléphone.**

**Principe :** Transformer les vibrations sonores en variations électriques, transporter ces dernières sur un support approprié et enfin convertir les variations électriques en vibrations sonores.

## Il était une fois les télécommunications !

- 1878 : 1<sup>ère</sup> centrale téléphonique : 21 abonnés dans le Connecticut !
- 1889 : Irrité par la partialité des opératrices de communication manuelle, **Almon Strowger**, invente un sélecteur automatique
  - ➔ Automatisation du réseau téléphonique
- 1886-88 : **Découverte des ondes électromagnétiques** par **Heinrich Hertz**.
- 1895 : **Guglielmo Marconi** utilise ces ondes pour envoyer le premier message sans fil ➔ Base de la radiotélégraphie, de la radiocommunication et de la radiodiffusion.
- 1895 : **Alexandre Popov** invente l'**antenne**.
- 1901 : **Guglielmo Marconi** transmet un télégramme par ondes d'Angleterre à Terre-Neuve.

## Il était une fois les télécommunications !

### Apparition des signaux numériques

- ❑ 1938 : **Alec Reeves** invente la modulation par impulsions codées : 1ère représentation numérique d'un signal analogique.
- ❑ 1948 : Invention du **transistor** → essor de l'électronique.
- ❑ 1948 : **Claude Shannon** développe les bases de théorie de l'information : Base de la numérisation.

### Premiers pas de la téléphonie mobile

- ❑ 1956 : Premier câble transatlantique téléphonique (TAT1) : 60 circuits téléphoniques.
- ❑ 1956 : Premier réseau de radiotéléphonie français (10 000 abonnés).

## Il était une fois les télécommunications !

### La conquête de l'espace

- 1957 : Premier **satellite artificiel** : Spoutnik-1.
- 1960 : Théodore Maiman conçoit le **1<sup>er</sup> Laser**.
- 1962 : **1<sup>er</sup> satellite de communication** ("Telstar-1"), destiné aux communications téléphoniques et télévision.  
→ 1<sup>ère</sup> émission de télévision entre USA et Europe.
- 1965 : Premier satellite géostationnaire « Early Bird » : simultanément pour téléphonie et télévision.
- 1965 : **3 millions d'abonnés au téléphone en France**.
- 1969 : Premiers pas d'un homme sur la Lune transmis en direct.
- 1970 : **1<sup>er</sup> Switch numérique**

## Il était une fois les télécommunications !

Tournez à droite... vous êtes arrivé !

- 1971 : Début du système de repérage par satellite **GPS**. Le système sera entièrement opérationnel en 1995 (28 satellites) !

Internet débarque !

- 1972 : Naissance du InterNetworking, organisme chargé de la gestion d'**Internet**.
- 1973 : L'Angleterre et la Norvège rejoignent Internet (1 ordinateur par pays !).
- 1980 : La sonde spatiale Voyager-1 transmet des photos de Jupiter de Saturne.
- 1981 : Lancement du Satellite Télécom 1A (France).

## Il était une fois les télécommunications !

### Les débuts de la téléphonie mobile

- **1982** : Premier réseaux cellulaire analogique.
- **1984** : Début des **réseaux cellulaires** de radiocommunications mobiles aux USA.
- **1986** : Ouverture du service de mobiles " Radiocom 2000 " (1G, en voiture !)
- **1987** : Mise en service en France du premier réseau entièrement numérique à intégration de services(**RNIS**).
- **1988** : Premier câble transatlantique optique (2x280 Mbit/s).
- **1992** : Ouverture du premier réseau cellulaire numérique (**GSM**).
- **1997** : Arrêt de l'usage du Morse dans les télécoms.

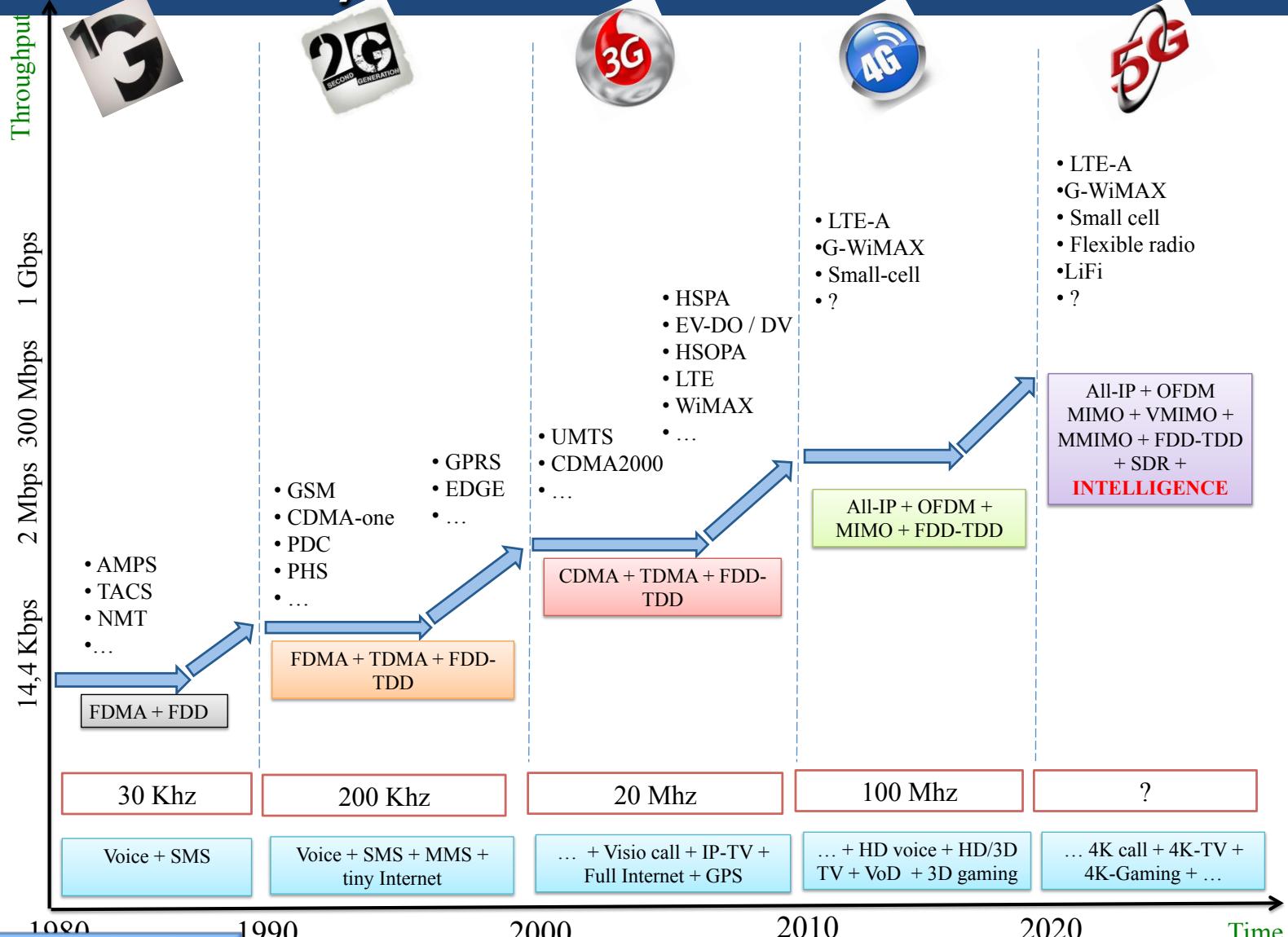
## Il était une fois les télécommunications !

Et puis...

- 2003 : Nouveau record de débit longue distance avec l'**internet nouvelle génération IPv6** : débit à flux unique sur TCP (Transfer Control Protocol) de 983 Gbit/s pendant plus d'une heure entre le CERN et Chicago.
- 2003 : Commercialisation de l'**ADSL** au Maroc: jusqu'à 4 Mbit/s en réception et 4 Mbit/s en émission (1699 Dhs/mois !).
- 2005 : Lancement de l'**UMTS (3G)** au Maroc.
- 2007 : La **TNT (Télévision Numérique Terrestre)** au Maroc.
- 2006 et + : **Vers la convergence voix et données.**
- 2015 : Lancement de **LTE (4G)** au Maroc.

# Introduction & généralités

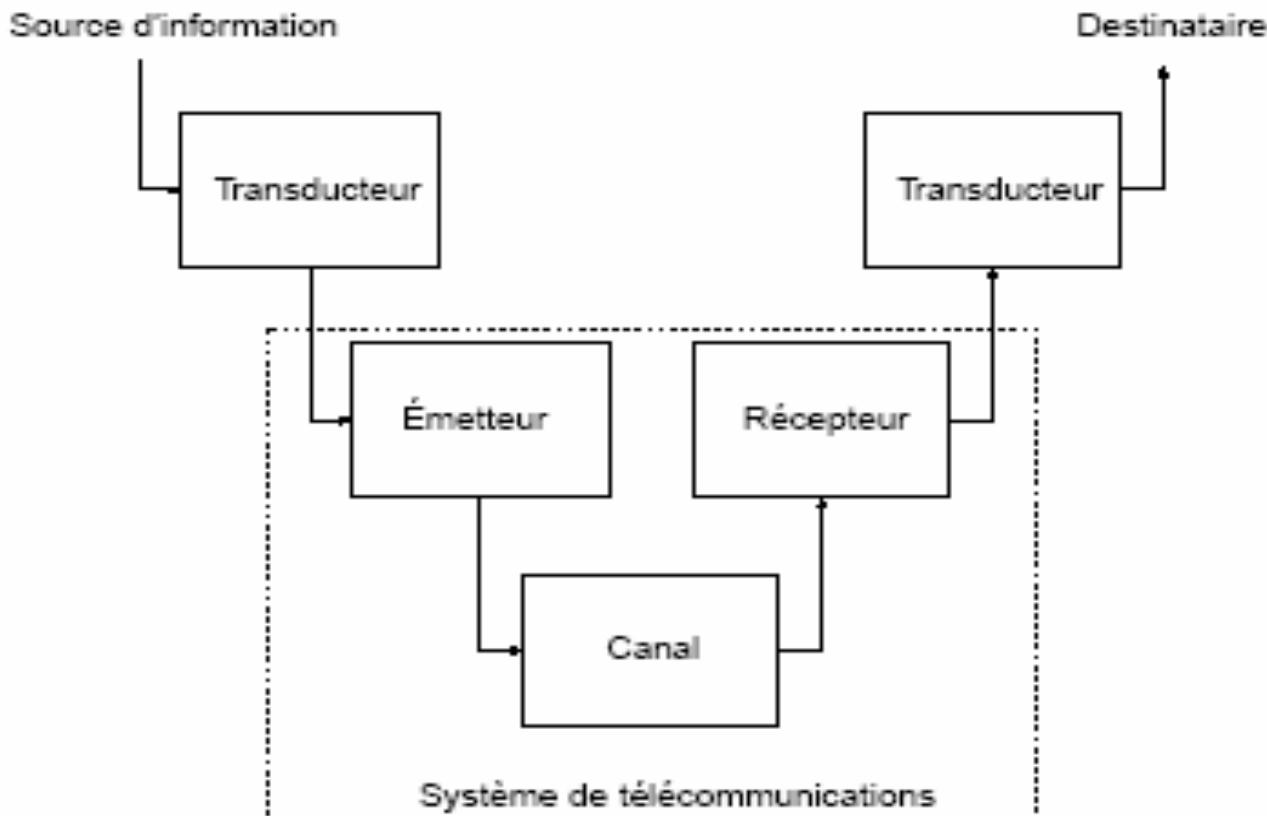
## Evolution des systèmes mobiles



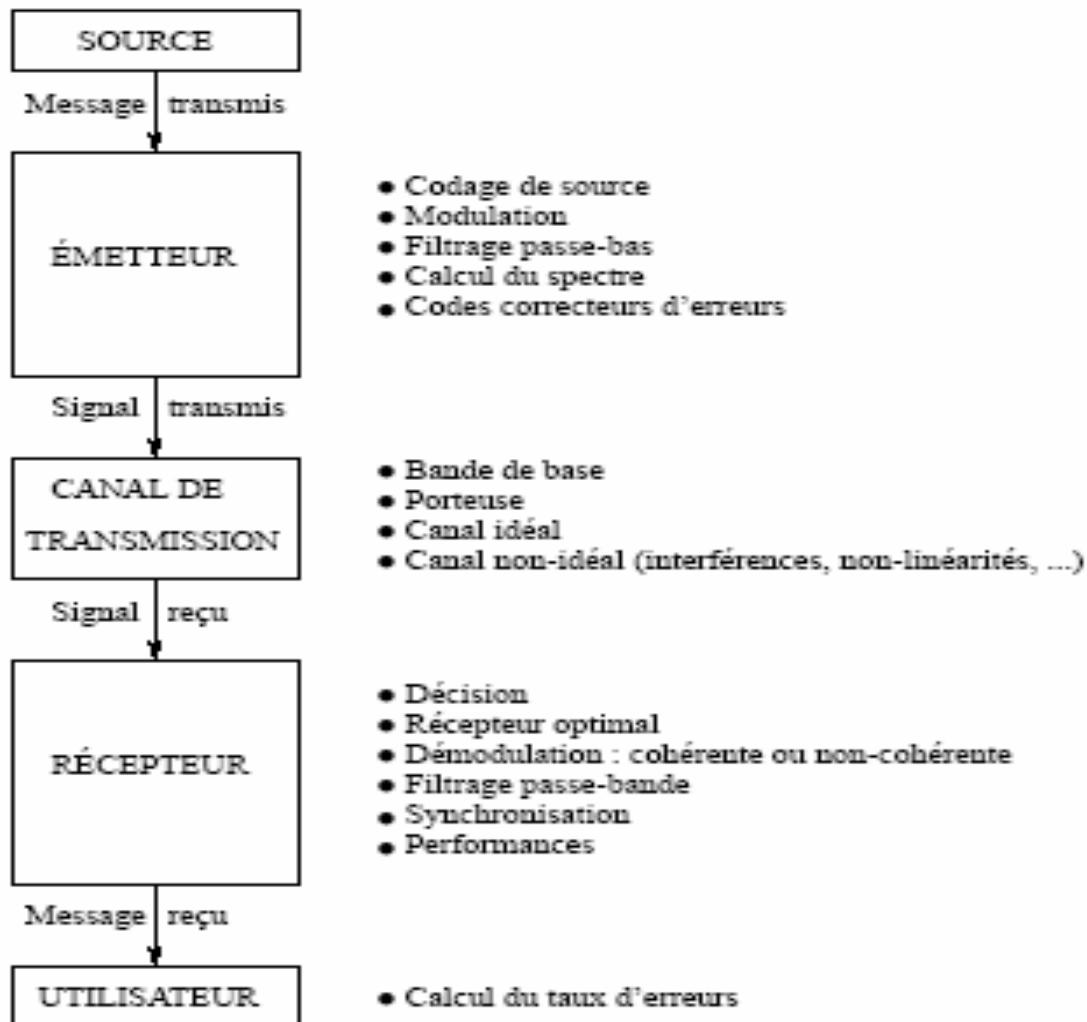


# Concepts de base des télécommunications

## Chaîne de télécommunications



## Chaîne de télécommunications numérique



## Schéma d'un système de transmission

- **Source** : tout système en évolution (physique, biologique...) peut être considéré comme source ou émetteur d'un message.
- **Signal** : c'est le **véhicule de l'information**. Il peut être une onde électromagnétique (radio), le courant électrique (téléphone)...
- **Canal** : c'est le milieu ou le support physique qu'emprunte le signal (câbles coaxiaux, fibre optique, air...).
- **Bruit** : signaux parasites qui se superposent au signal.

## Eléments d'une chaîne de télécommunication

- **Codage source** : le but est de **réduire la redondance** de la source pour diminuer la taille du fichier.
- **Codage canal** : le but est de **rajouter une redondance structurée** aux symboles transmis pour protéger l'émission contre les erreurs (cela augmente le débit).
- **Codage en ligne** : le but est de **transformer les symboles logiques** en **un signal physique** pour le transmettre sur le canal.
- **Décodage canal** : le but est de **déetecter la présence d'erreurs**. Il demande la retransmission des données, ou corrige les erreurs.
- **Décodage source** : le but est de **décompresser les données** pour régénérer les symboles originaux.

## Modèle OSI



## Modèle OSI : Couche Physique

- ❑ Adaptation du signal au canal de transmission
  - ❑ Transformation d'un signal numérique en un signal analogique prêt à être transmis
- ❑ Fournit l'interface avec le support physique
  - ❑ Synchronisation des horloges émission et réception
  - ❑ Transmission synchrone et asynchrone
  - ❑ Modes simplex, half-duplex et full-duplex
  - ❑ Transmission série ou parallèle
  - ❑ Réception série ou parallèle

## Modèle OSI : Couche Liaison de Données

- ❑ Transmet des données entre entités homologues d'un système source et d'un système destinataire **adjacents** de manière **fiable** et **efficace**.
- ❑ Assure le **partage de la ressource réseaux**
- ❑ Utilise un circuit de transmission de données et le transforme en une liaison de données efficace qui paraît **exempté d'erreurs** de transmission
  - ❑ Nécessité de délimiter les unités de données,
  - ❑ de lutter contre les erreurs et la duplication,
  - ❑ d'assurer le contrôle de flux et le séquencement.

## Modèle OSI : Couche Réseau

- Acheminement** des données de bout en bout (traverser plusieurs nœuds).
- Trouver le **bon chemin** entre un émetteur et un récepteur : routage
- Autres fonctionnalités
  - Contrôle de flux et de congestion
  - Gestion des erreurs
  - Segmentation et réassemblage
- Paquet : unité d'information au niveau réseau (NPDU). Taille variable (entête, information)

## Modèle OSI : Couche Transport

- Assurer le transport de **bout en bout** des données d'une façon sûre et efficace indépendamment de la nature des réseaux sous-jacents .
- **Garantie de la QoS** : elle surveille les paramètres de QoS et elle doit déterminer si elle est en mesure de respecter ses engagements.
- La notion de QoS peut être définie par un ensemble de **paramètres** (délai de transit, débit, etc.) caractérisant les besoins des entités applicatives.
  - Négociation Lors de la phase d'établissement de la connexion

## Modes de communications

On distingue **deux types de communications**

- **Communication point-multipoint (la radiodiffusion)** : **Un seul émetteur envoie un message** à plusieurs récepteurs.
  
- **Les communications point à point** : Un seul émetteur communique avec un seul récepteur. Il peut dans ce cas y avoir échange bidirectionnel d'information.

## Signaux numériques

**Définition :** Le bit est l'information élémentaire en informatique. Il ne peut prendre que deux valeurs, 0 ou 1.

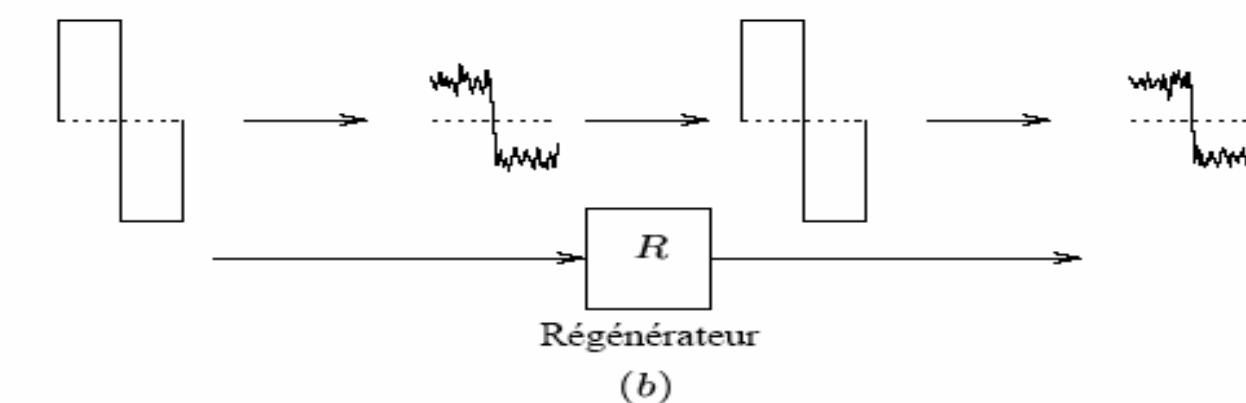
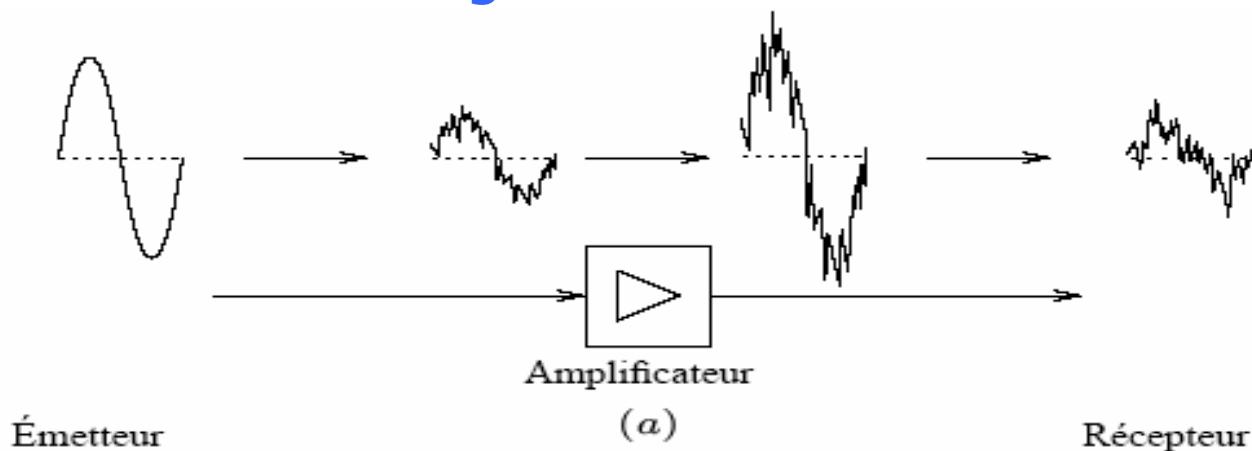
En électronique, il est par exemple représenté par des tensions différentes.

**Définition :** Un octet, ou byte en anglais, est un ensemble de 8 bits.

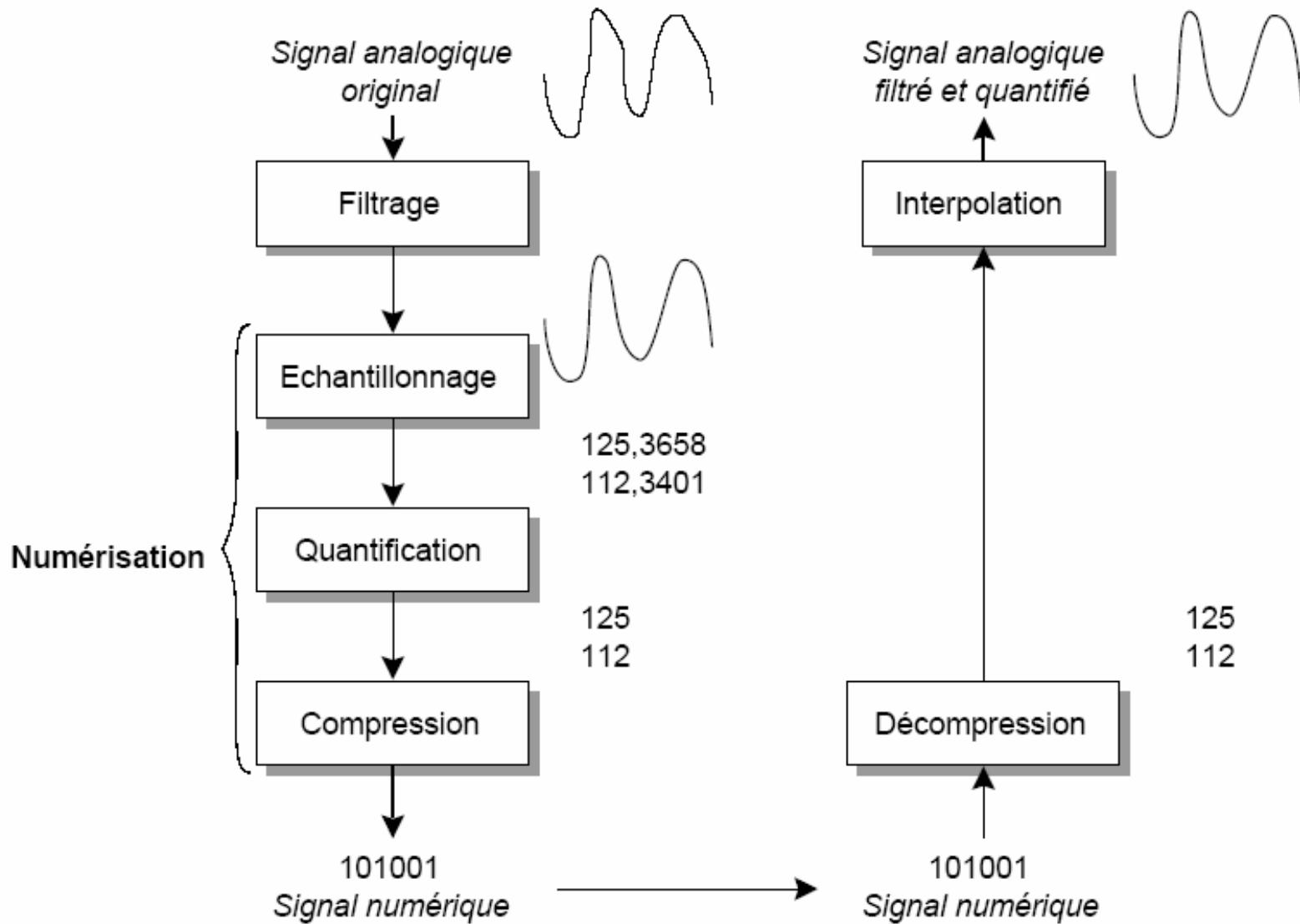
**Définition :** La numérisation est le nom du procédé qui réalise la conversion de l'analogique vers le numérique.

## Pourquoi numériser ?

- Résistance au bruit
- Traitement et stockage



## Conversion A/N et conversion N/A



## Numérisation : Echantillonnage

**Définition [Fréquence d'échantillonnage] :** Nombre de mesures effectuées dans un temps donné pendant la conversion d'un signal analogique en données numériques.

**Théorème [Théorème de SHANNON] :** Pour pouvoir reconstituer un signal correctement, le nombre d'échantillons pendant une seconde doit être strictement supérieur au double de la plus haute fréquence contenue dans le signal.

## Numérisation : Quantification

**Définition :** le passage d'un espace continu de valeurs à un espace discret de valeurs est appelé **quantification**.

Ce procédé introduit une **approximation** ! La distorsion ainsi introduite par cet écart entre la valeur exacte et la valeur quantifiée s'appelle l'**erreur de quantification**.

**Définition [Débit] :** En multipliant le nombre de bits nécessaires à coder l'amplitude par la fréquence d'échantillonnage, on obtient **le débit associé à un signal**. Il s'exprime en **bits par seconde**

**Définition [rapidité de modulation] :** Le nombre de symboles transmis pendant une seconde est mesuré en **bauds**.

## Numérisation : Compression/Codage

**Définition [Taux de compression]** : le Nombre de bits avant compression divisé par le Nombre de bits après compression

- Type de codage/compression
  - Codage sans perte
  - Codage avec perte
  - Codage perceptif

## Numérisation : Compression/Codage

### Limite théorique pour la transmission dans un canal

- ❑ la capacité d'un canal de transmission de largeur de bande  $w$ , de rapport signal à bruit S/N vaut

$$C = W \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

### Limite théorique pour la compression sans perte

- ❑ le nombre de bits minimum pour coder un symbole est toujours supérieur à l'entropie de source.

$$H_b(X) = -\mathbf{E}[\log_b P(X = x_i)]$$

## Analogique VS Numérique

### Analogique

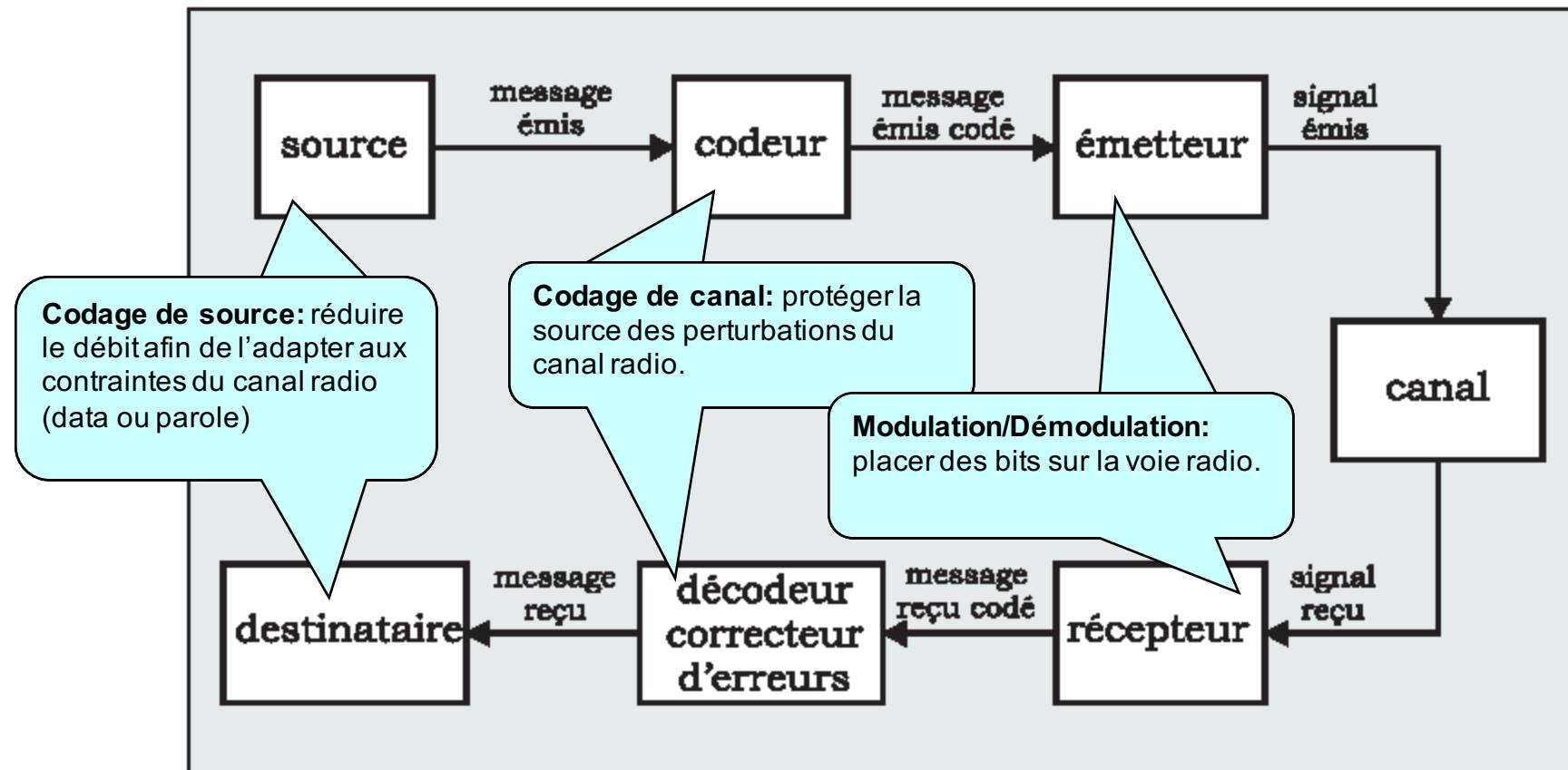
- Fréquence
- (Résolution)
- Bande passante

### Numérique

- Bit, byte (octet)
- Fréquence d'échantillonnage
- Quantification
- Débit
- Taux de compression

## Chaine de transmission numérique

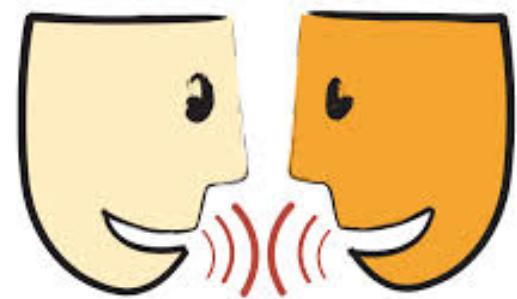
A partir de la 2<sup>ème</sup> génération tous ces systèmes sont numériques



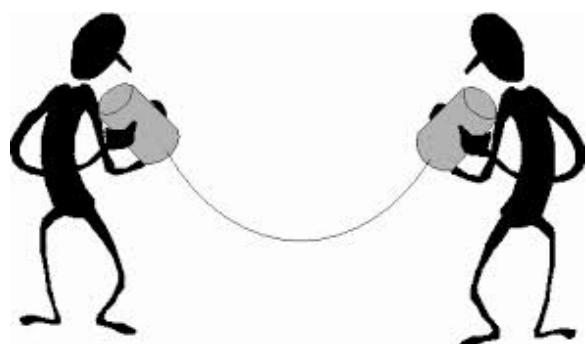
## Transmission des données binaires

Deux méthodes se présentent

**La transmission en bande de base :** Méthode correspondant à l'émission directe sur le canal de transmission.

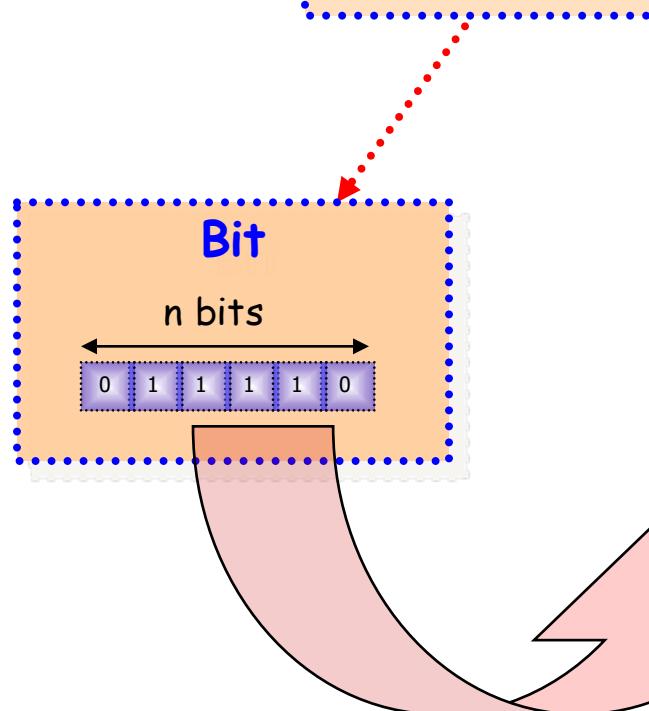


**Transmission par modulation d'une porteuse :** Méthode permettant d'adapter le signal au canal de transmission.



## Modulation et Démodulation

### Associer des bits à des symboles radio



### Symboles Radio

□ états d'amplitude

□ états de phase

□ états de fréquence

$M = 2^n$  symboles radio possibles

Rapidité de Modulation:  $R = 1/T_s$  (en bauds)

$$\square \quad T_s = nT_{bit} \quad \rightarrow R = 1/nT_{bit}$$

$$\rightarrow R = D_s/n$$

$$\rightarrow R = D_s/\log_2(M)$$

Débit:  $D_s = 1/T_{bit}$  (en bits/s)

## Modulation et Démodulation

$$p(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \phi)$$

Signal porteur ou porteuse

$$p(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \phi)$$

$m(t)$

The diagram shows a red arrow pointing from the label  $m(t)$  to the amplitude term  $A$  in the equation  $p(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \phi)$ .

AM

$$s(t) = A(t) \cos(2\pi f_0 t + \phi)$$

Modulation d'Amplitude

FM

$$s(t) = A \cos(2\pi f_0(t) t + \phi)$$

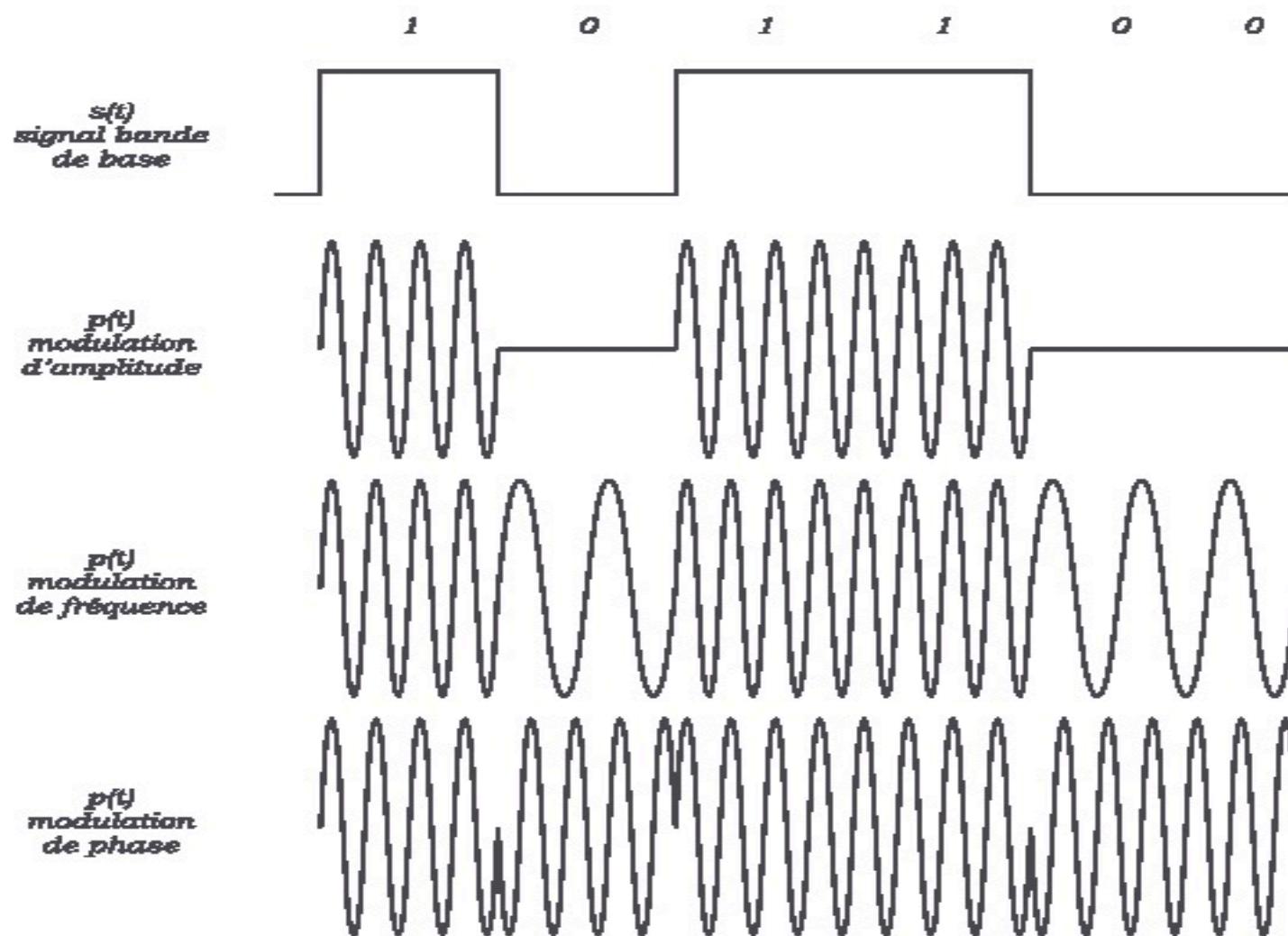
Modulation de fréquence

PM

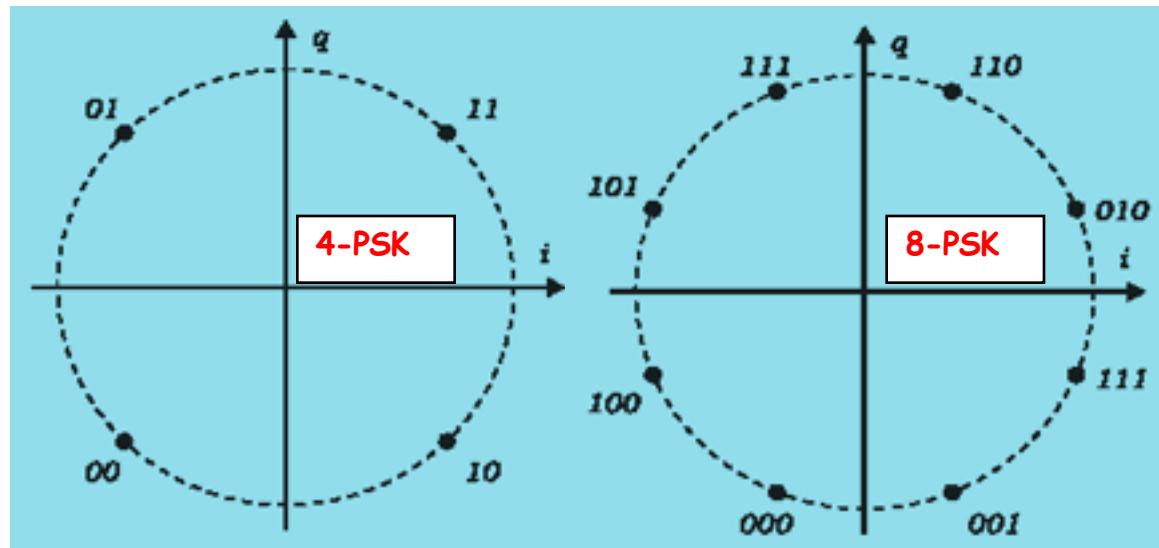
$$s(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \phi(t))$$

Modulation de Phase

## Modulation et Démodulation

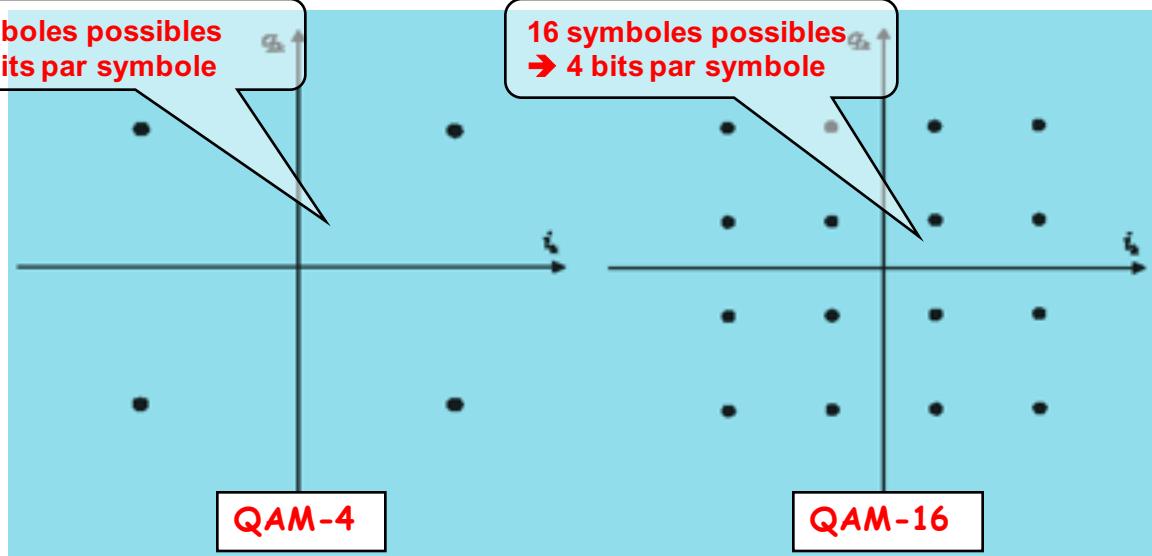


## Modulation numérique

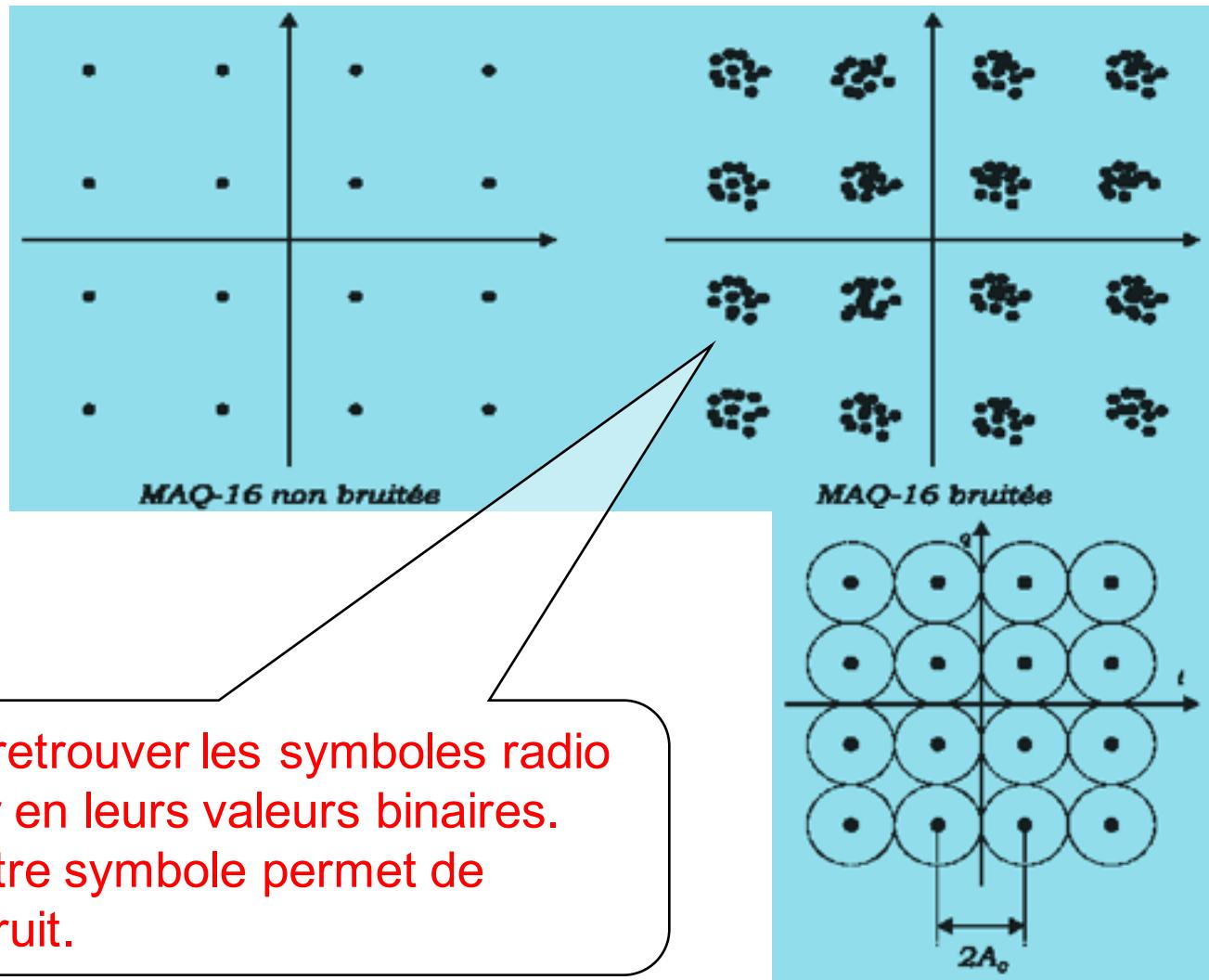


4 symboles possibles  
→ 2 bits par symbole

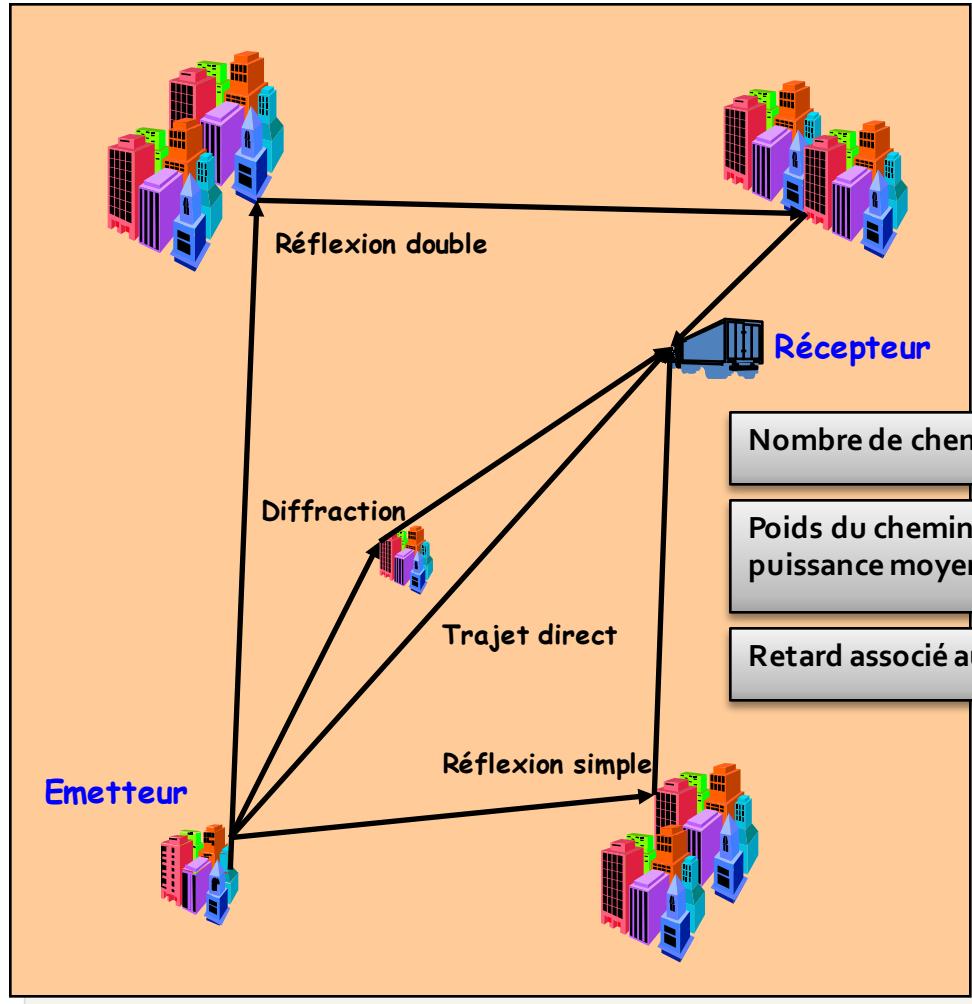
16 symboles possibles  
→ 4 bits par symbole



## Modulation numérique

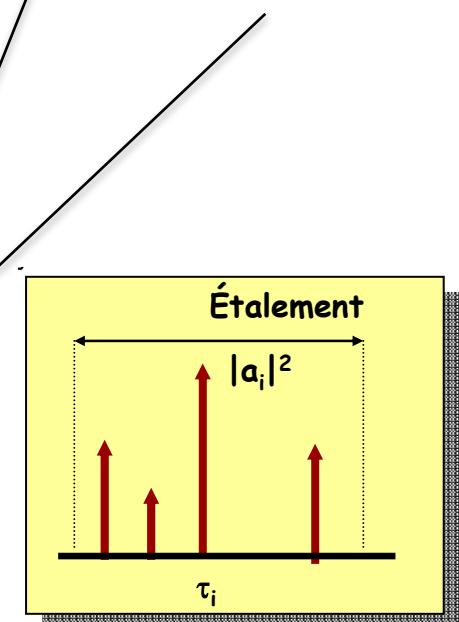


## Le Canal Radio : Trajets multiples

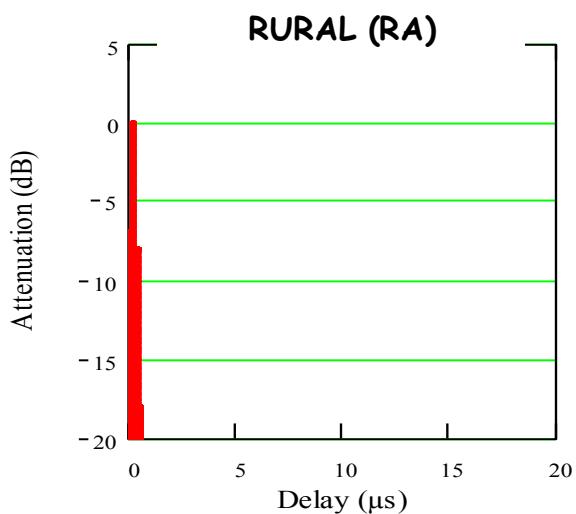
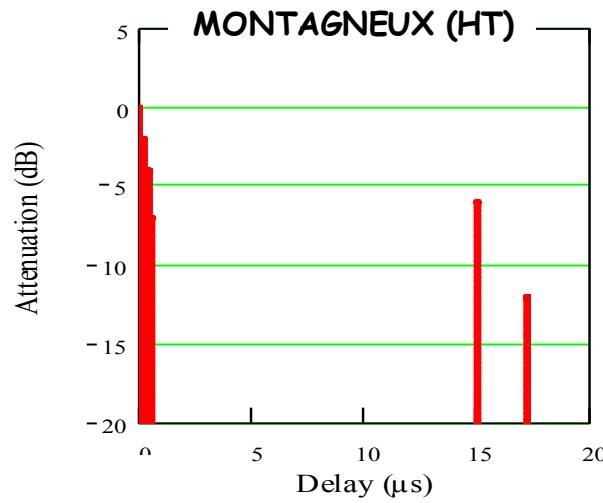
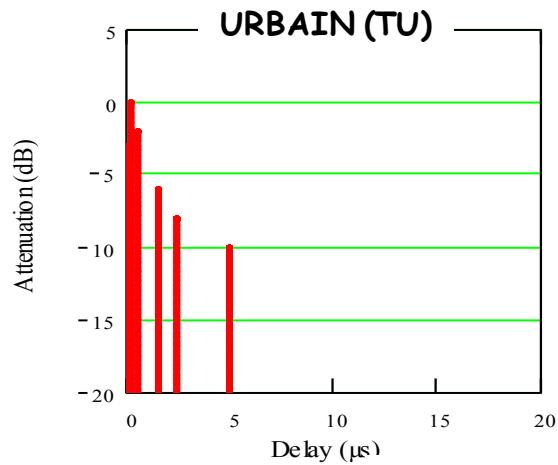


Réponse impulsionnelle caractérisée par le modèle

$$h_\tau(t) = \sum_{i=1}^N a_i \delta(t - \tau_i)$$



## Le Canal Radio : Exemples



## Atténuation d'un signal

Les Watt se perdent !

$$f = 900 \text{ MHz}$$

$$P_e = 20 \text{ W} = 43 \text{ dBm}$$

$$P_r = -48.5 \text{ dBm}$$

$$\sim 1.4 \cdot 10^{-8} \text{ W}$$

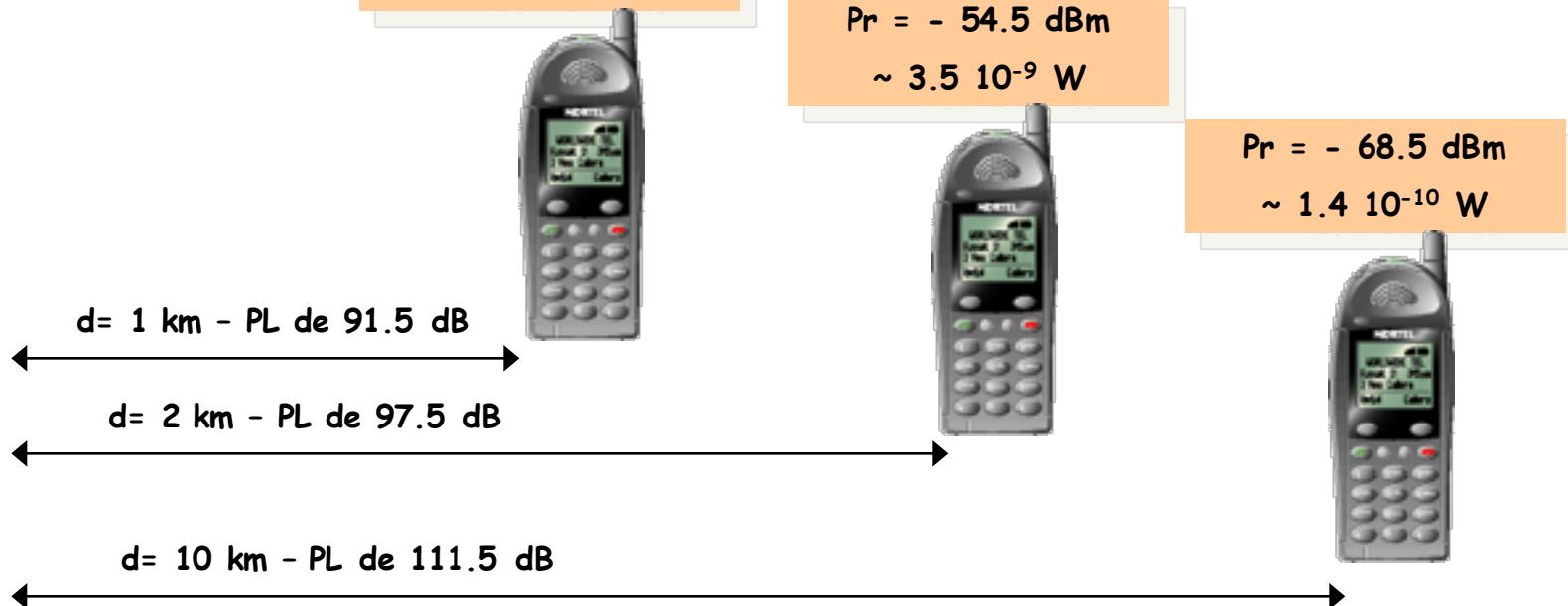
$$P_r = \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 P_e$$

$$P_r = -54.5 \text{ dBm}$$

$$\sim 3.5 \cdot 10^{-9} \text{ W}$$

$$P_r = -68.5 \text{ dBm}$$

$$\sim 1.4 \cdot 10^{-10} \text{ W}$$



## Conséquences fâcheuses

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



$$P_r = \left( \frac{c}{4\pi df} \right)^2 P_e$$

### → La fréquence joue !

- Un système conçu à  $f_0$  est pénalisé d'un facteur 4 en puissance quand on double la fréquence (GSM versus DCS) et que l'on garde les mêmes puissances nominales.
- La distance maximale atteignable est divisée par 2
- La surface du site circulaire théoriquement couvert est divisée par 4

## Concept cellulaire : La cellule

- ❑ Le territoire est divisé en "**cellules**", desservies chacune par une station de base, l'ensemble de ces cellules formant un seul réseau.
- ❑ L'opérateur affecte **une ou plusieurs fréquences** à chaque station de base.
- ❑ Les mêmes canaux de fréquence sont **réutilisés** dans plusieurs cellules selon la capacité du système à résister aux interférences.

## Concept cellulaire : La couverture

### □ Couverture d'une cellule isolée

- Dépend de la sensibilité de la station de base : Liée au rapport  $S/N$  tolérable !
- Dépend de la puissance d'émission

### □ Couverture d'un réseau

- Dépend du seuil  $S/(N+I)$
- Dépend de la distance de réutilisation (plus petite distance entre deux cellules utilisant la même fréquence)

## Concept cellulaire : Motif de réutilisation

**Définition :** Un motif cellulaire est l'ensemble des cellules dans lequel chaque fréquence de la bande est utilisée une fois et une seule fois.

### Le modèle hexagonal

On peut montrer que les motifs optimaux sont de taille K tel que :

$$K = i^2 + ij + j^2 \text{ avec } i, j \in \mathbb{N}$$

$i = 0$  : forme de losange

$i \neq 0$  : invariant par rotation de  $120^\circ$

Les motifs réguliers les plus courants sont composés de 3, 4, 7, 9, 12 et 21 cellules. Dans GSM, le motif est souvent pris égale à 12.

## Concept cellulaire : Motif de réutilisation

**Distance de réutilisation :** La plus proche distance de réutilisation d'une fréquence est alors :

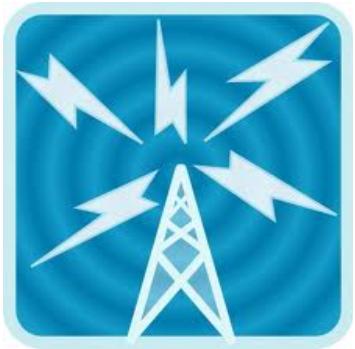
$$D = \sqrt{3} K R$$

où  $D$  est la distance de réutilisation

$R$  est le rayon d'une cellule ( cercle circonscrit à l'hexagone)

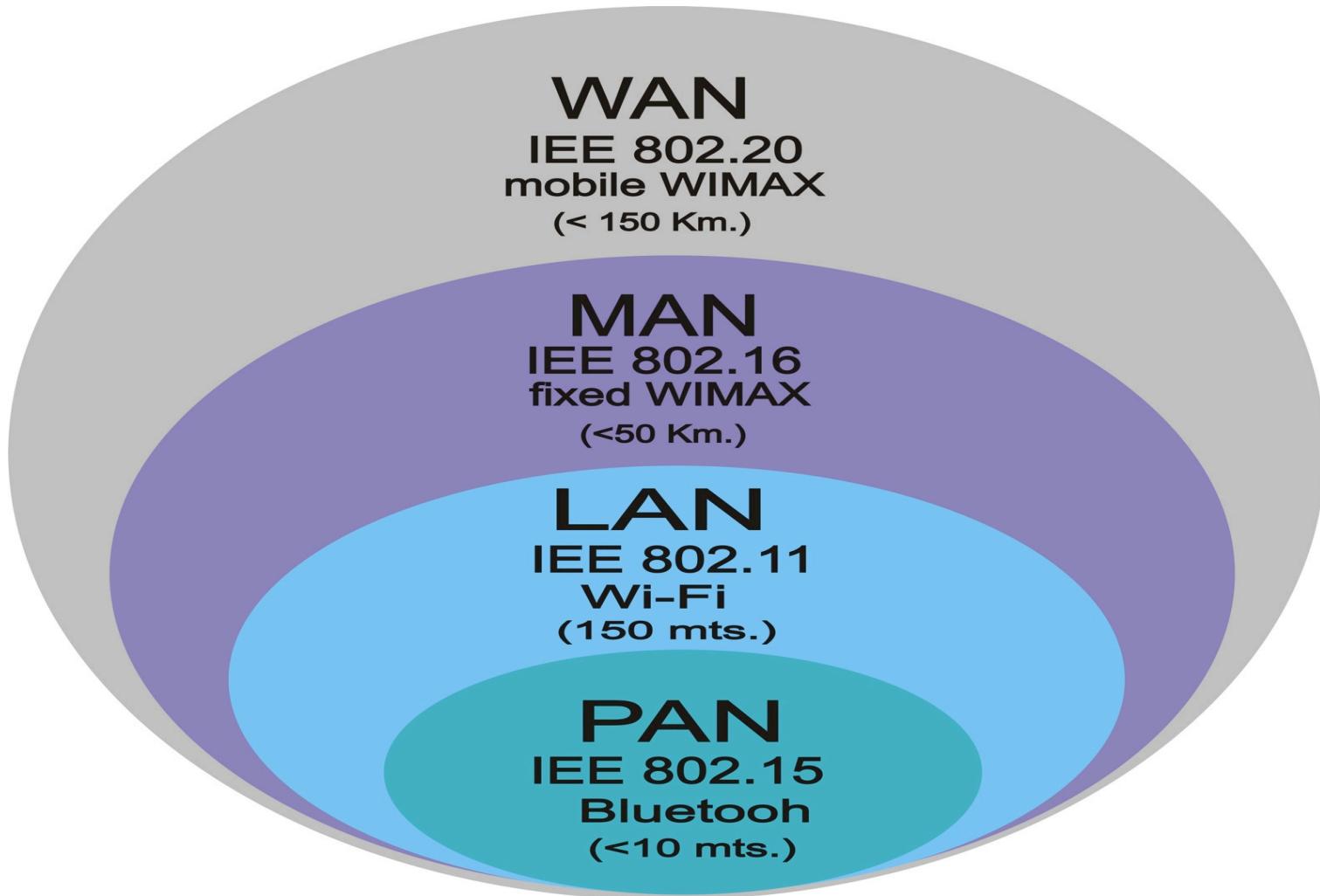
$D/R$  est appelé **facteur de réutilisation**

→ Plus le motif est grand, plus la distance de réutilisation est grande



# Gestion de l'accès au Canal

## Catégorisation des réseaux



## L' Organisation Radio: le Duplex

Un Seul Sens (diffusion)



Simplex



Alternat (PMR)



Half Duplex



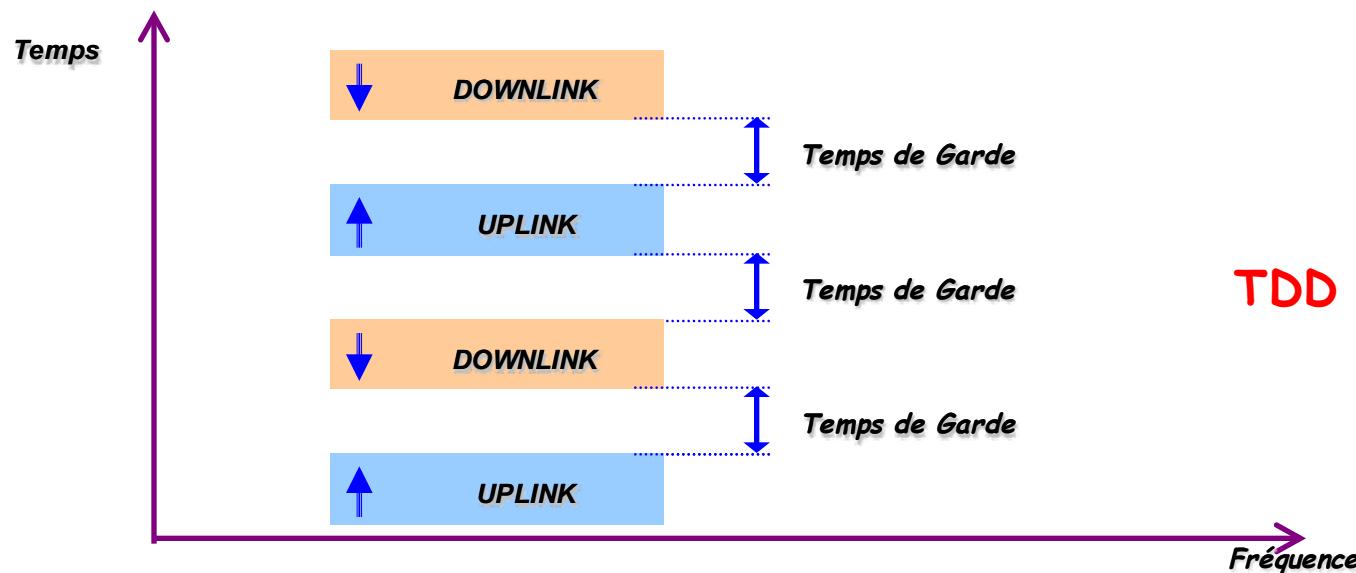
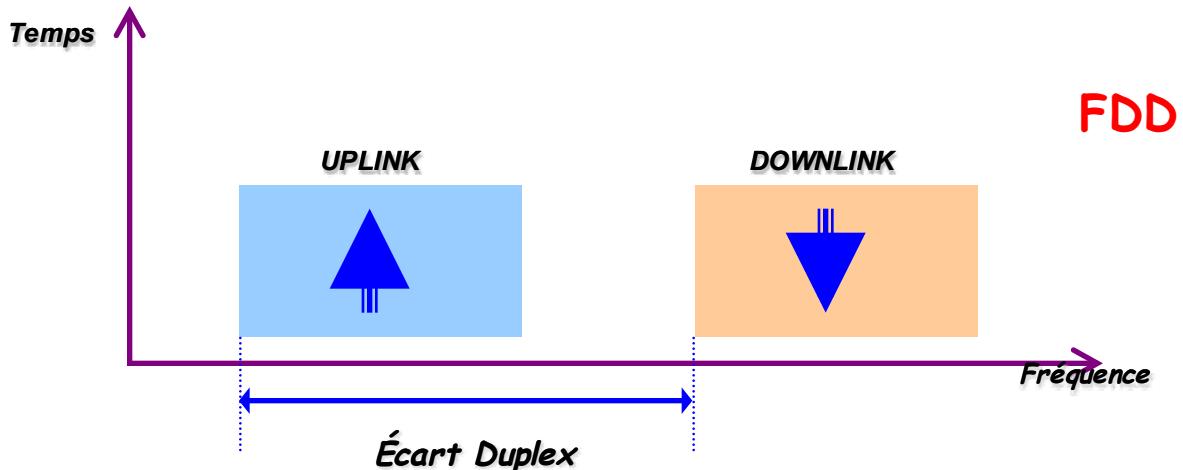
Simultané (Public)



Full Duplex

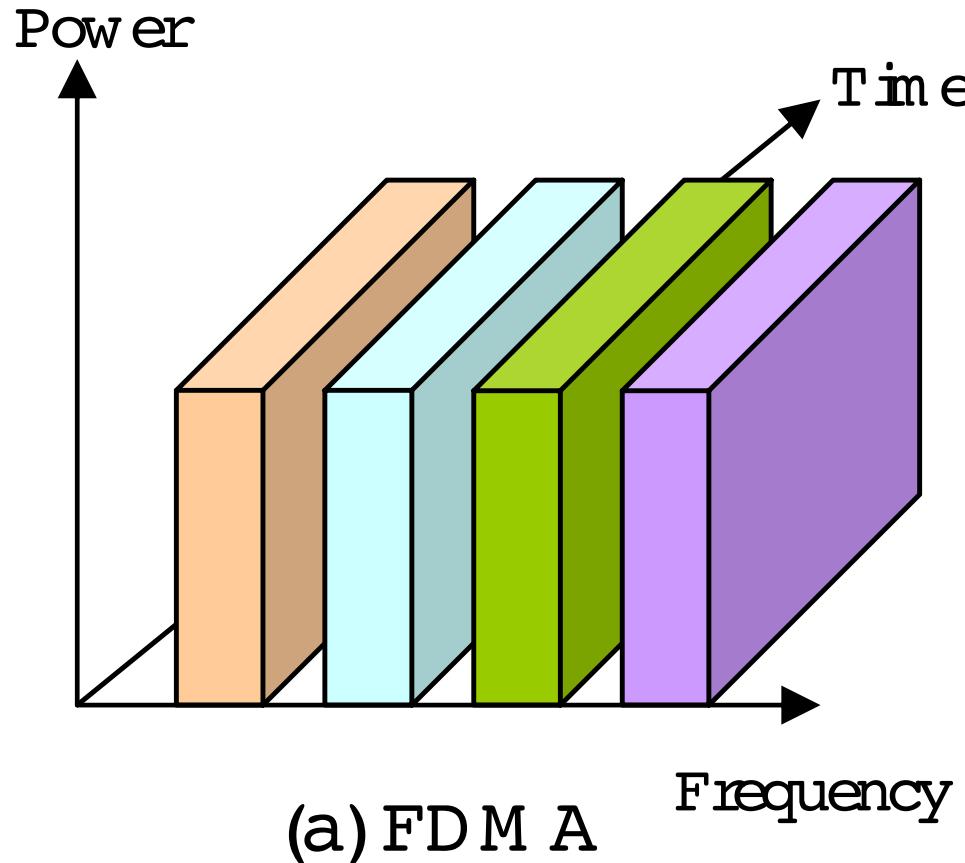


## L' Organisation Radio: le Duplex



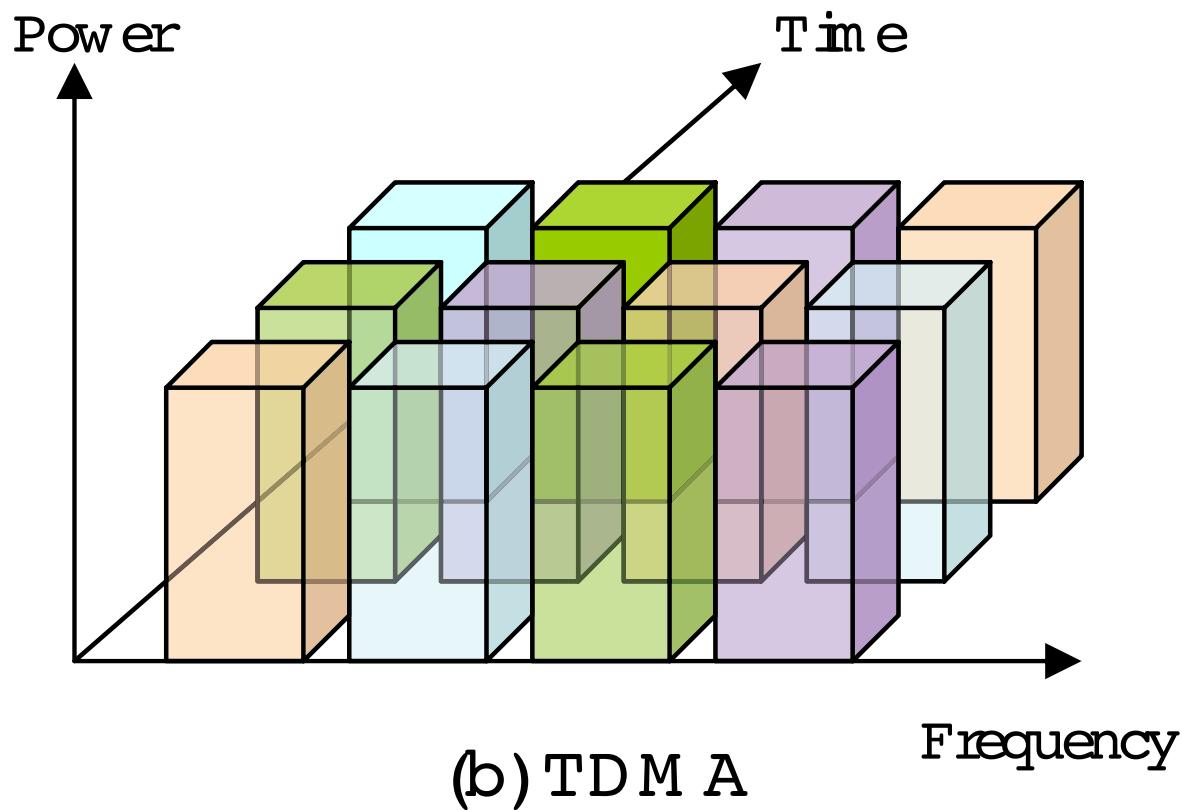
## Accès Multiple

### Multiplexage fréquentiel (FDMA)



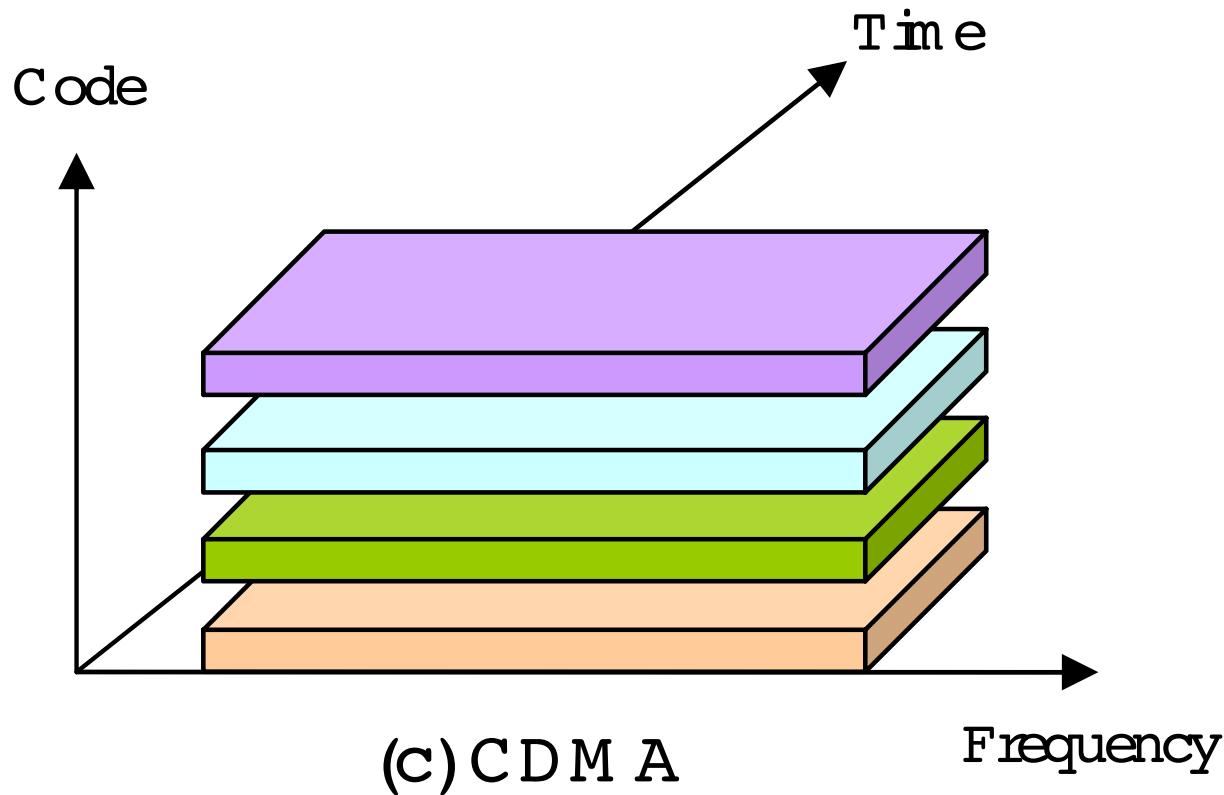
## Accès Multiple

### Multiplexage temporel (TDMA)



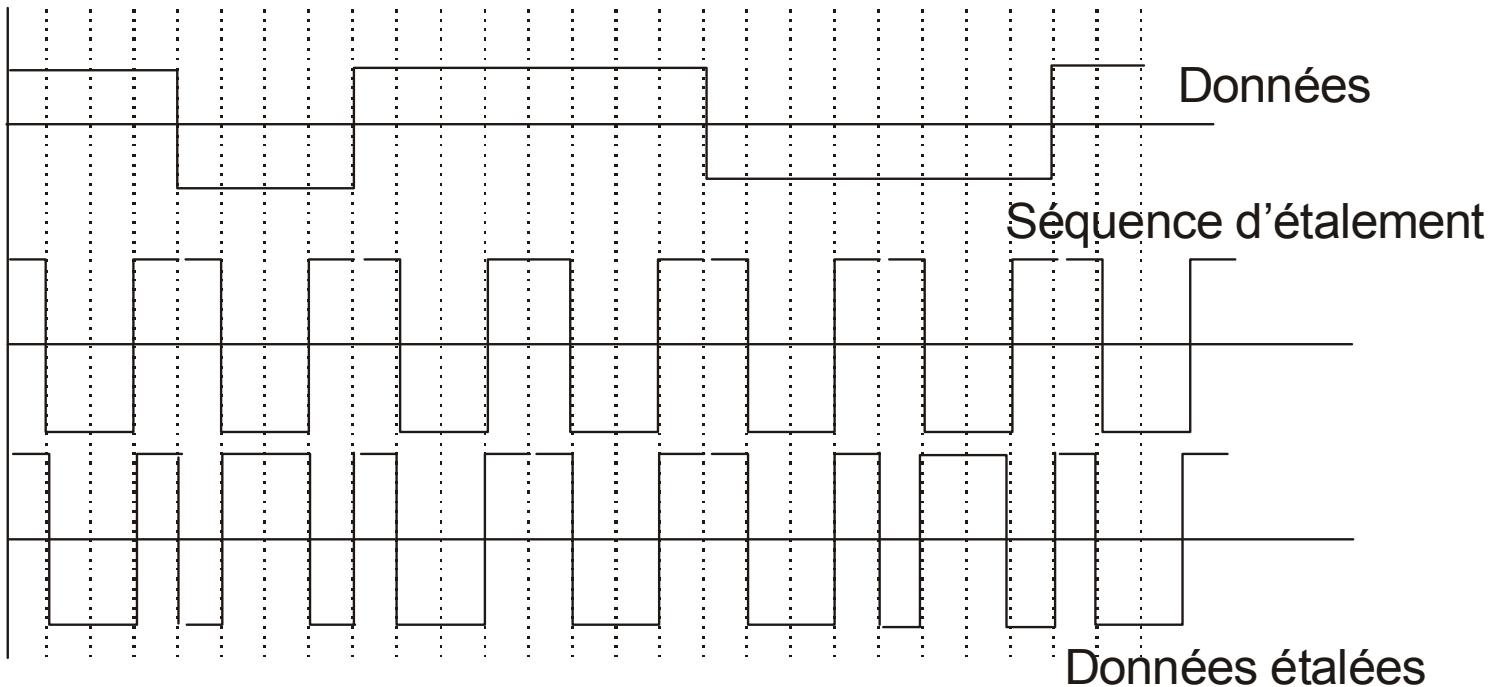
## Accès Multiple

Multiplexage par codes orthogonaux (CDMA)

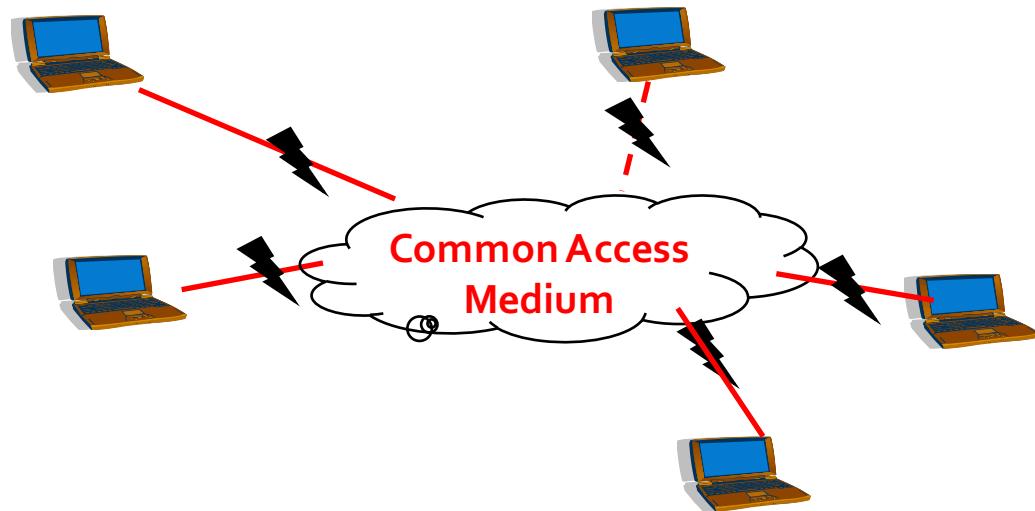


## Accès Multiple

### Etalement de spectre par CDMA



## Méthodes d'accès aléatoires



Aloha = “Bonjour” en Hawaiian

- ❑ Aloha: Norman Abramson, 1970
- ❑ Slotted Aloha: Larry Roberts, 1972
- ❑ CSMA: University of Hawaii, 1975

## Méthodes d'accès aléatoires : Aloha

### L'algorithme Aloha

i=1

While i < MaxAttempts

Send packet

Wait ACK or Timeout

if ACK received Then

Quit

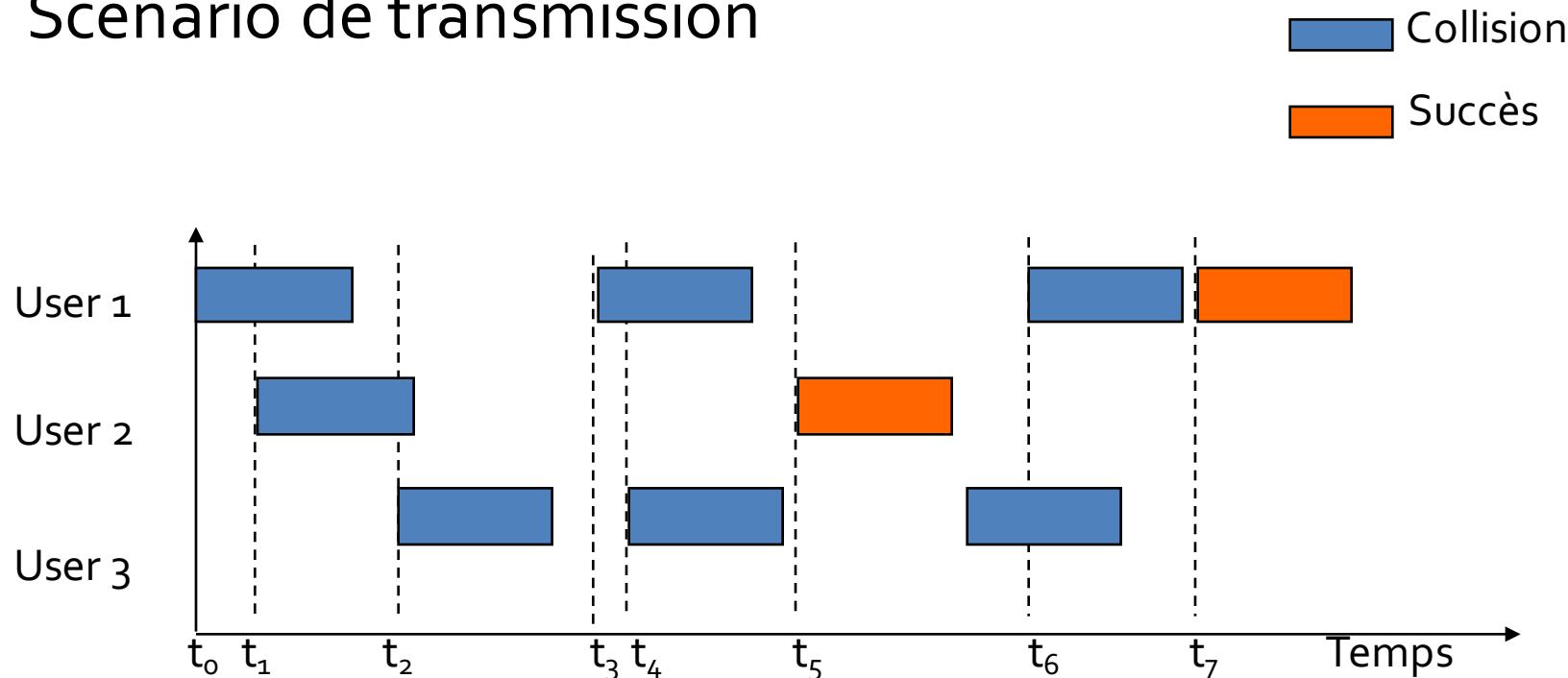
Else (Timeout)

Wait random time

i++

## Méthodes d'accès aléatoires : Aloha

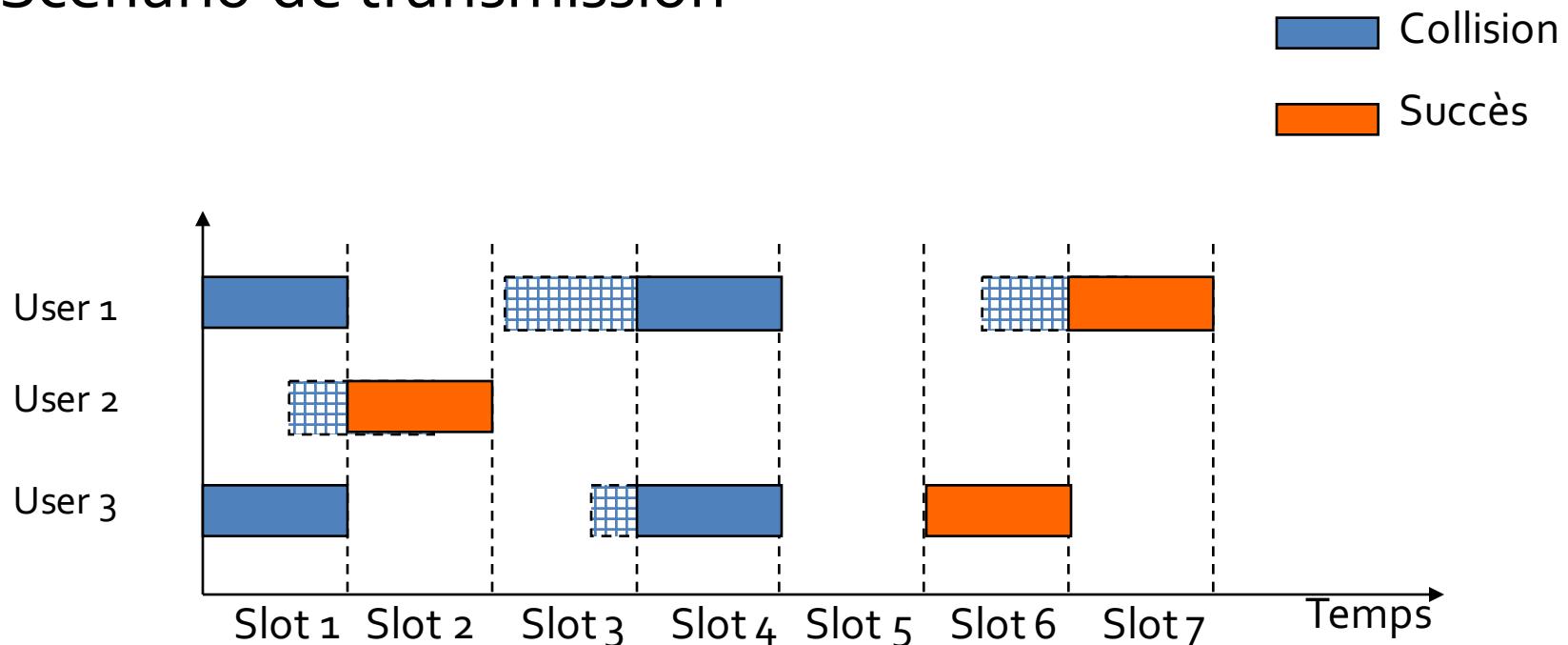
Scénario de transmission



Seulement 18% de bande passante utilisée !

## Méthodes d'accès aléatoires : Slotted Aloha

### Scénario de transmission



Débit maximum de 37% de la bande passante !