



Réseaux Sans Fil & Réseaux Mobiles



Pr. : Essaid SABIR

Contact : e.sabir@ensem.ac.ma

Ecole d'ingénierie : GI2

Année : 2018/2019

- ❑ 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^{ème} siècle dans le contexte de l'expansion industrielle et du développement du chemin de fer.

Etapes cruciales

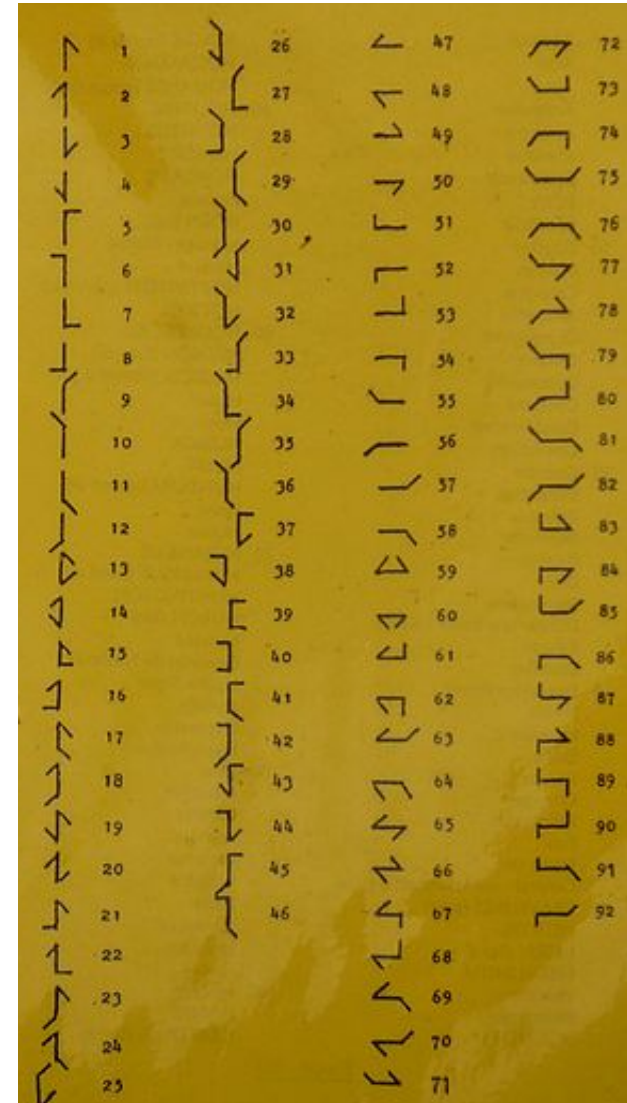
- ❑ Télégraphe électrique (transmission de données)
- ❑ Téléphone (à commutation manuelle puis automatique)
- ❑ Découverte des ondes : le réseau devient sans fil et planétaire !

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.



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^{ère} 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 : 1^{ère} **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^{er} **Laser**.
- ❑ 1962 : 1^{er} **satellite de communication** ("Telstar-1"), destiné aux communications téléphoniques et télévision.
 - ➔ 1^{ère} 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^{er} 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.

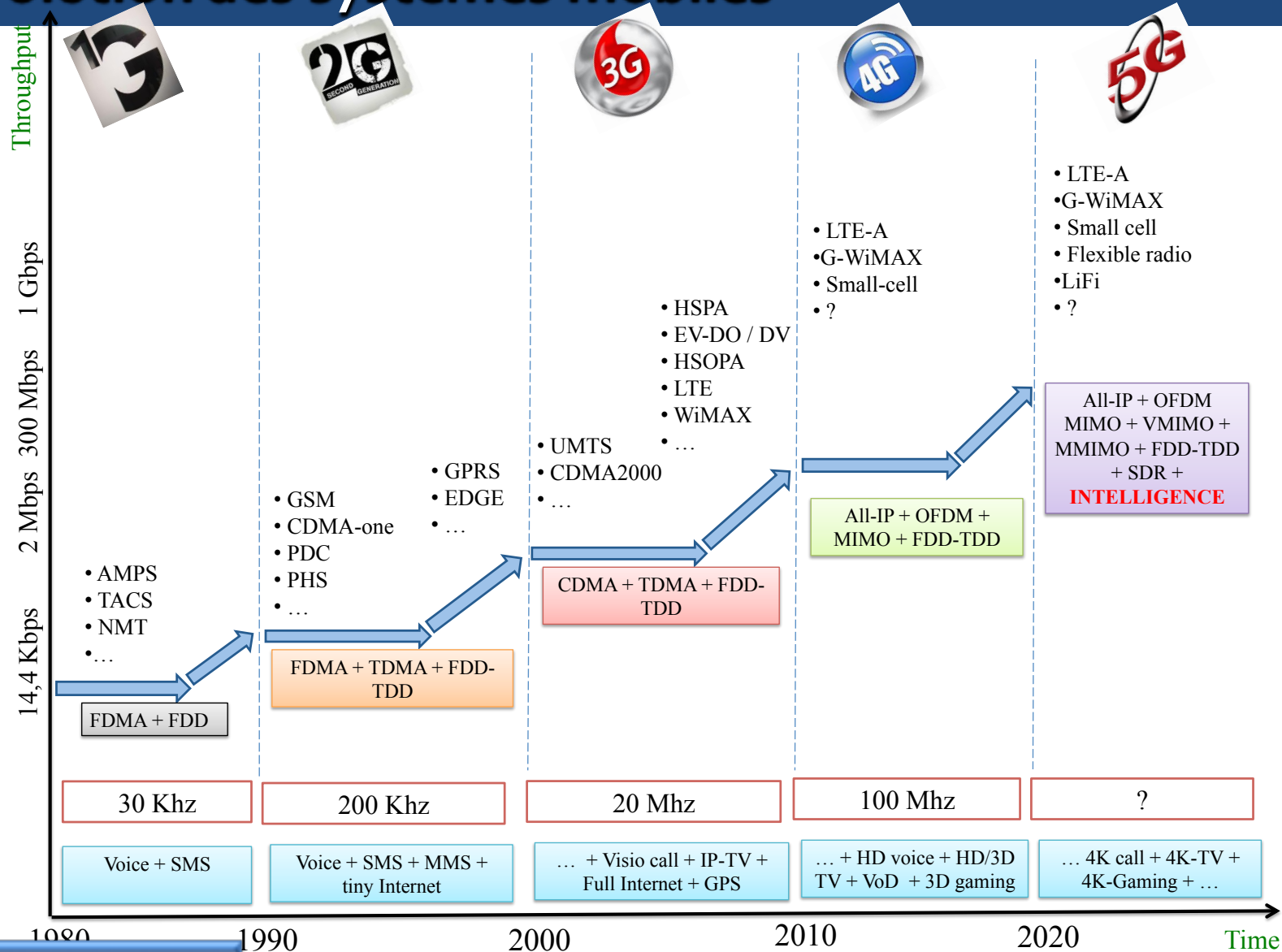
Il était une fois les télécommunications !

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

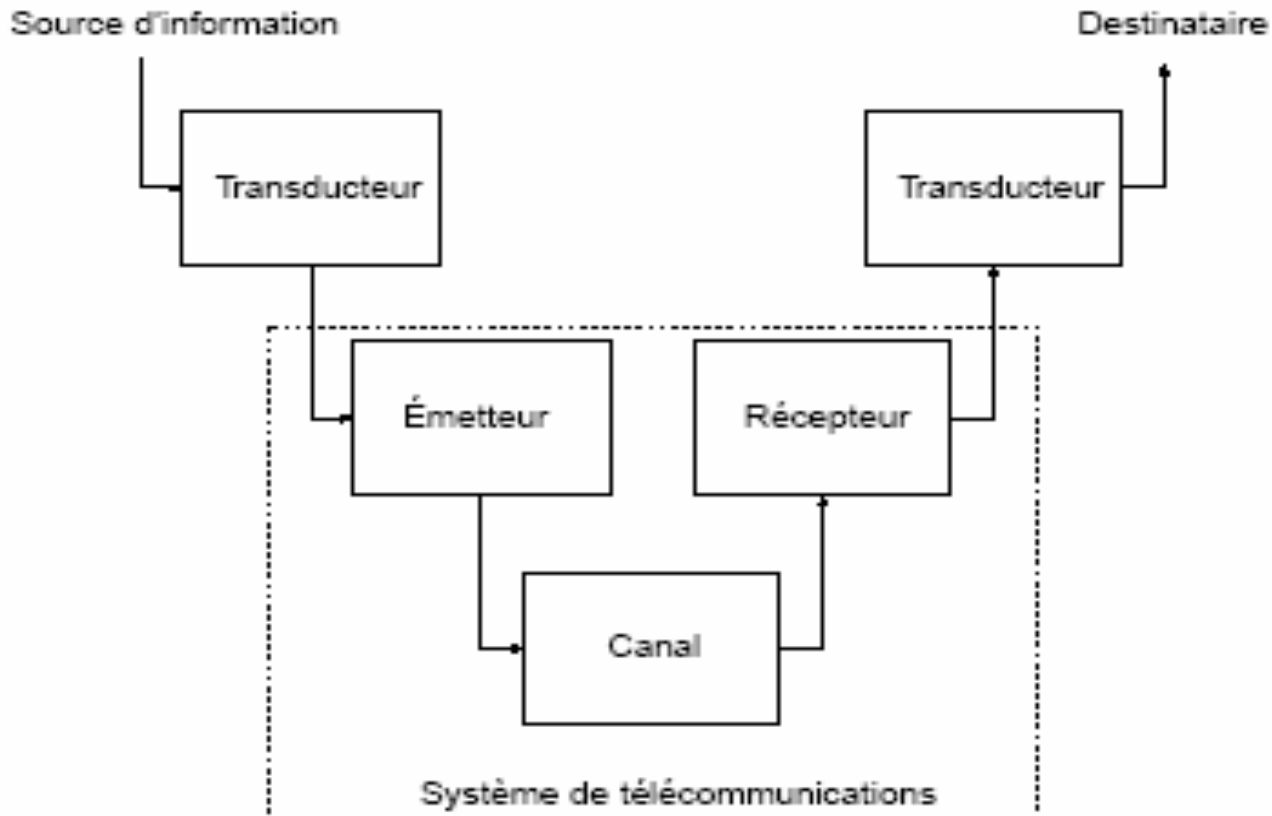
Evolution des systèmes mobiles





Concepts de base des télécommunications

Chaîne de télécommunications



Chaîne de télécommunications numérique

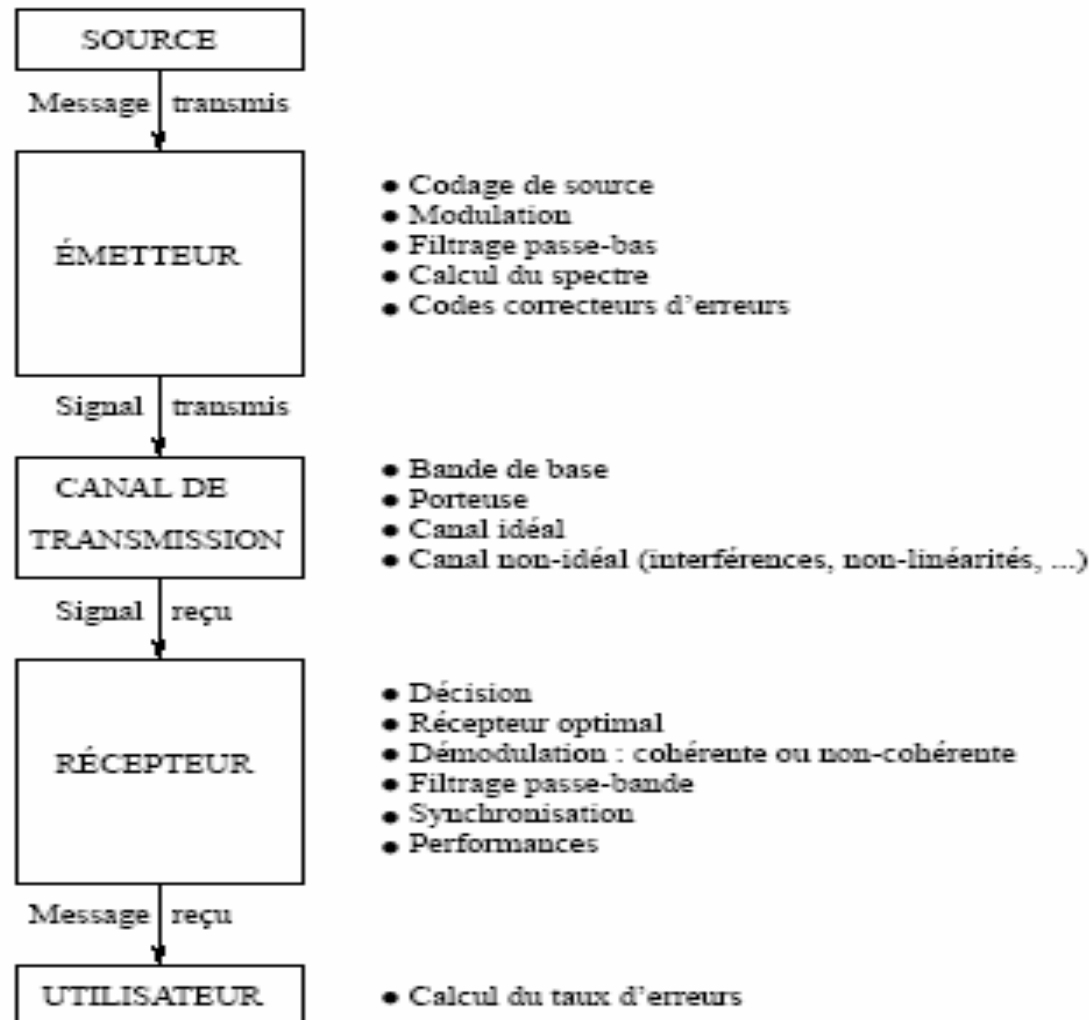


Schéma d'un système de transmission

- ❑ **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.



Éléments 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 **détecter 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 **exempte 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 séquençement.

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.

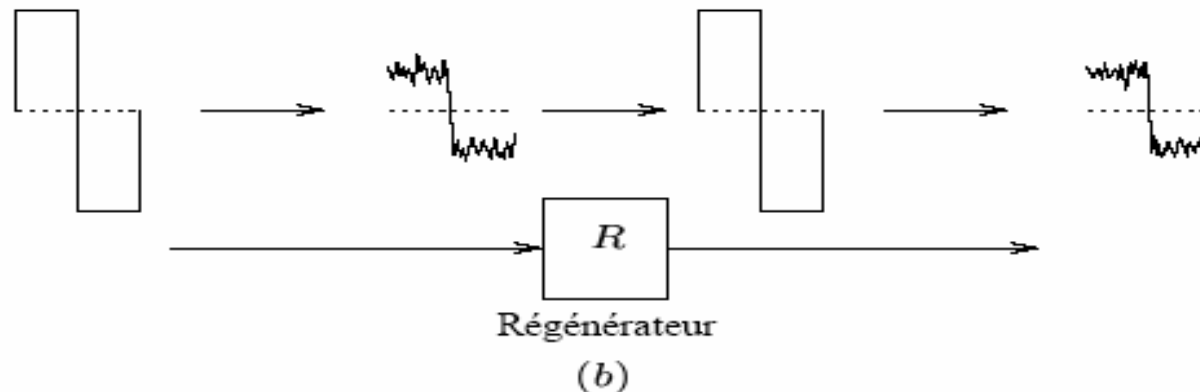
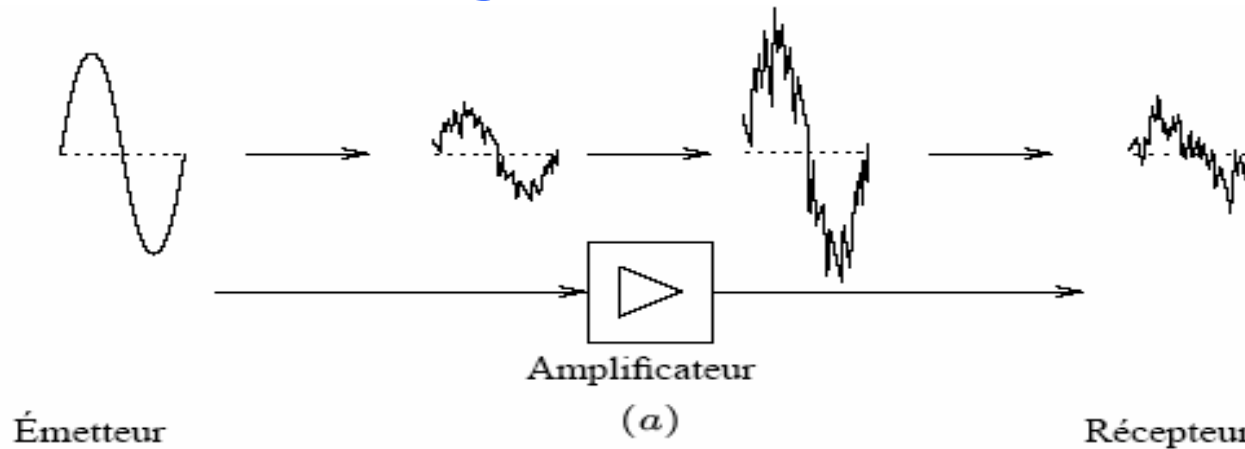
En électronique, il est par exemple représenté par des tensions différentes.

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

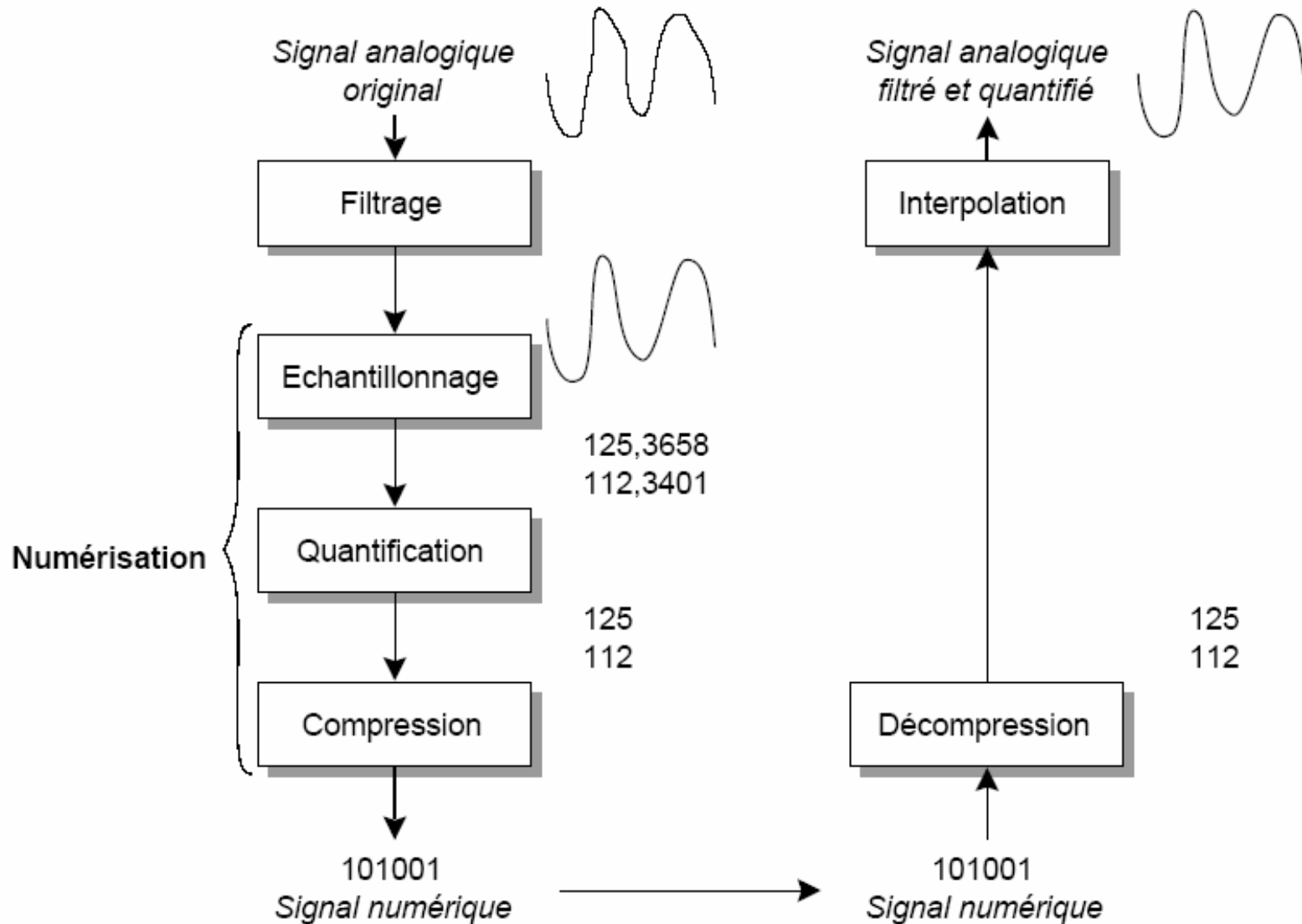
Définition : La numérisation est le nom du procédé qui réalise la conversion de l'analogique vers le numérique.

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

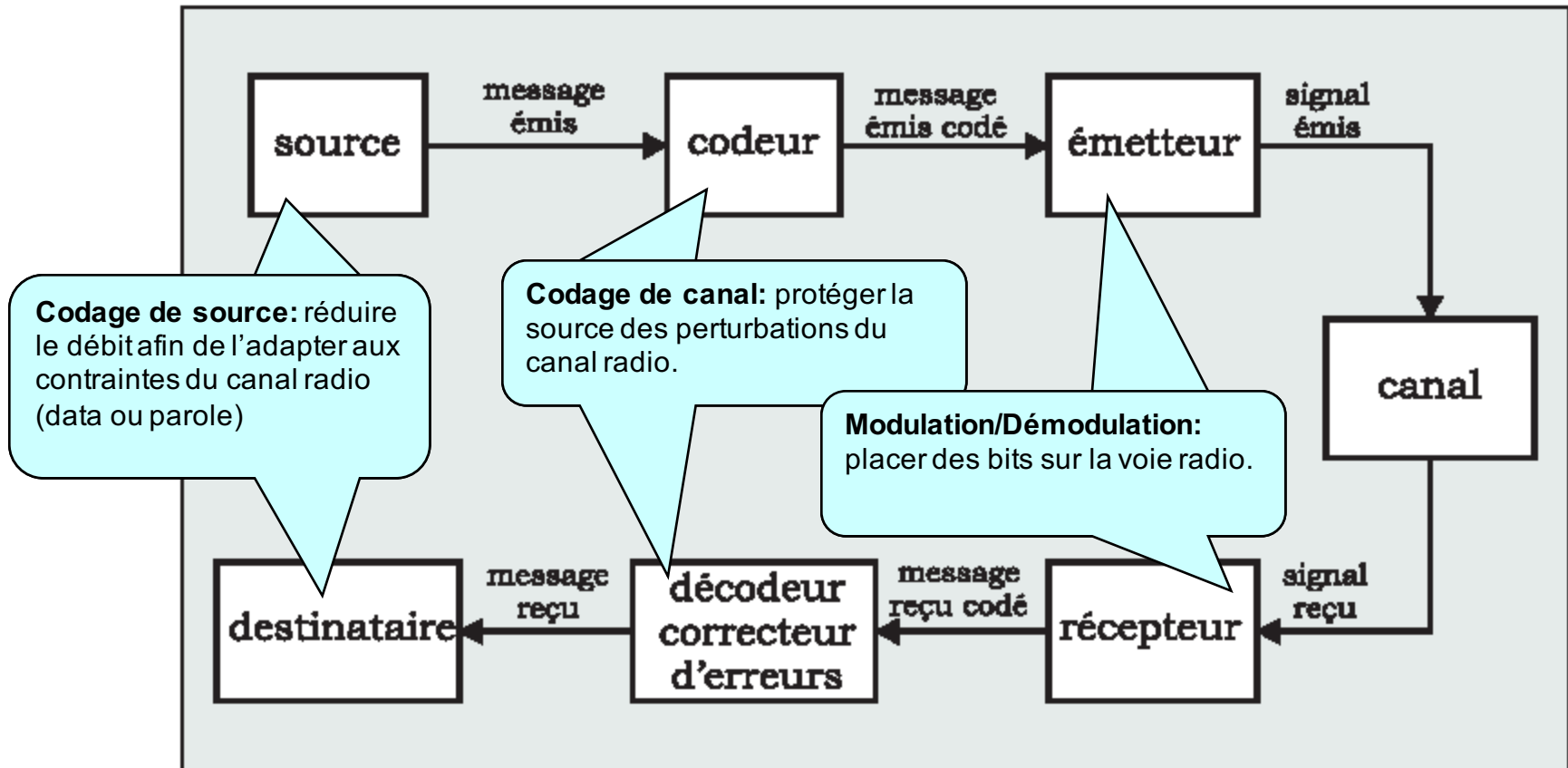
- Fréquence
- (Résolution)
- Bande passante

Numérique

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

Chaîne de transmission numérique

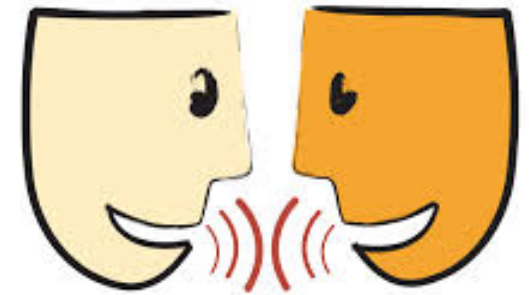
A partir de la 2^{ème} génération tous ces systèmes sont numériques



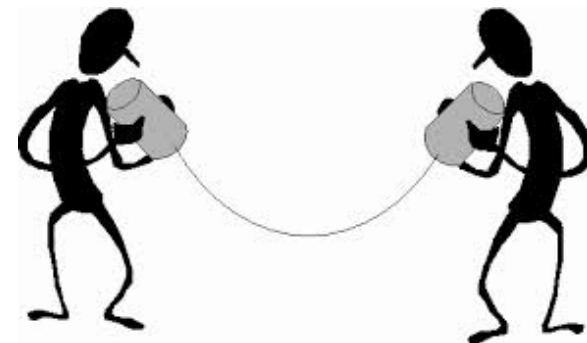
Transmission des données binaires

Deux méthodes se présentent

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

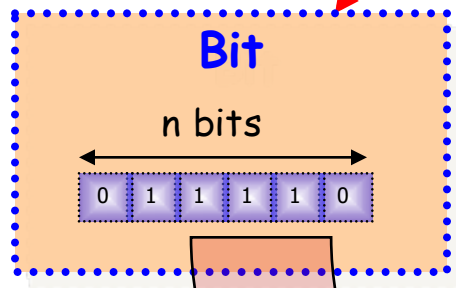


Transmission par modulation d'une porteuse : Méthode permettant d'adapter le signal au canal de transmission.



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)


- $T_s = nT_{bit} \rightarrow R = 1/nT_{bit}$
 $\rightarrow R = D_s/n$
 $\rightarrow R = D_s/\log_2(M)$

Débit: $D_s = 1/T_{bit}$ (en bits/s)

Modulation et Démodulation

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

Signal porteur ou porteuse

$$m(t)$$

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

AM

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

Modulation d'Amplitude

FM

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

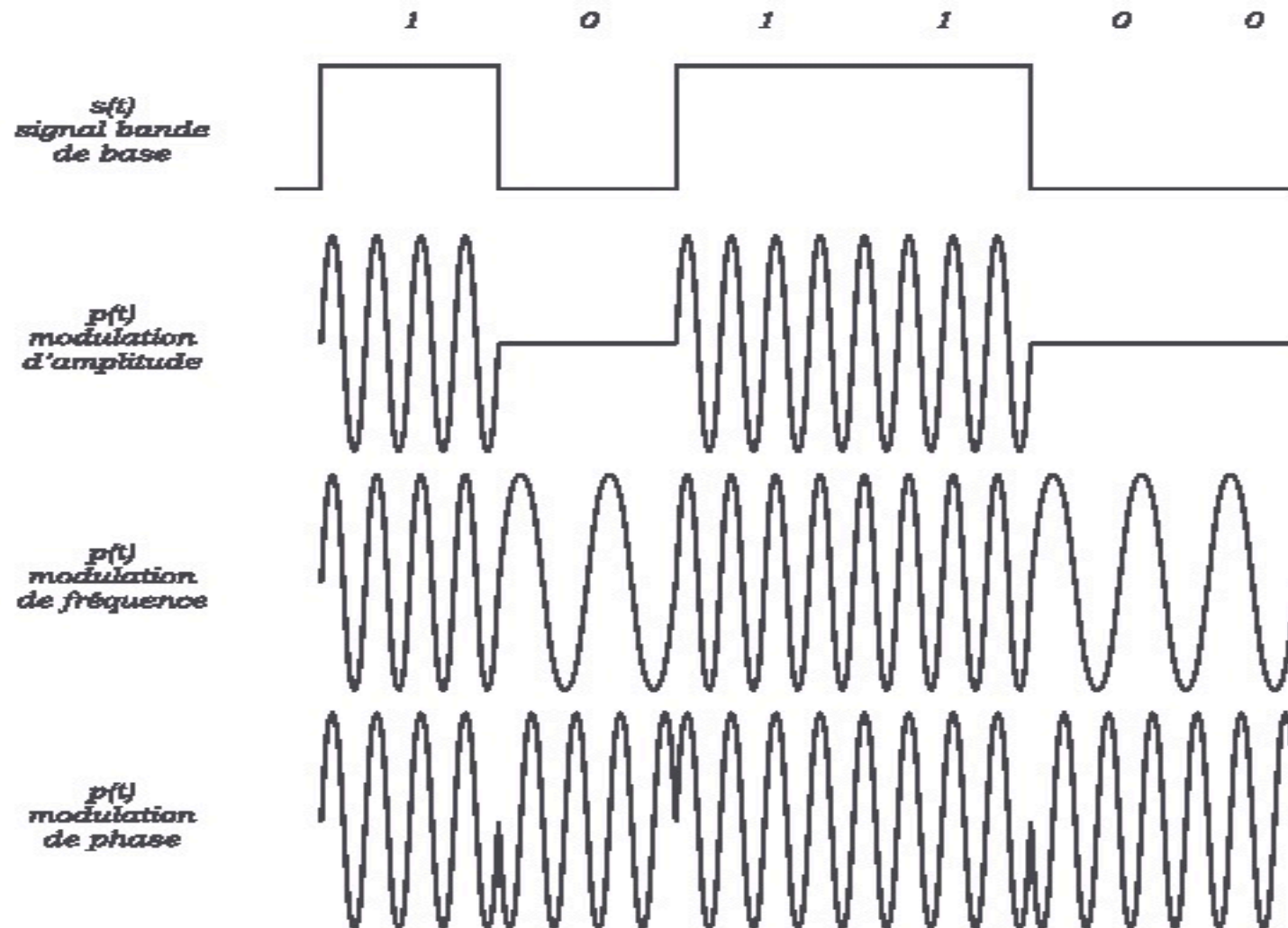
Modulation de fréquence

PM

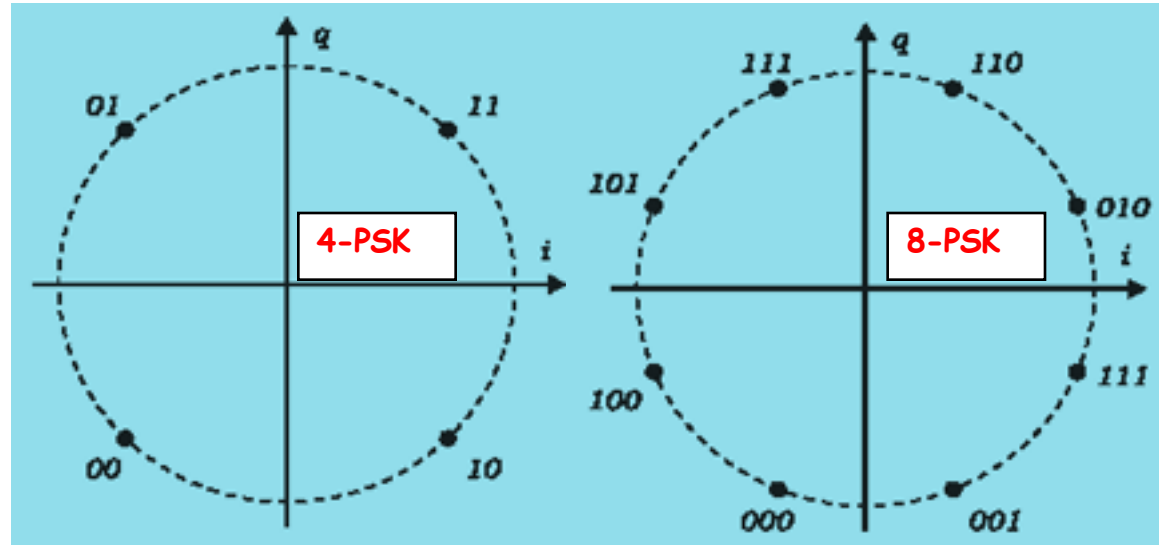
$$s(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \varphi(t))$$

Modulation de Phase

Modulation et Démodulation

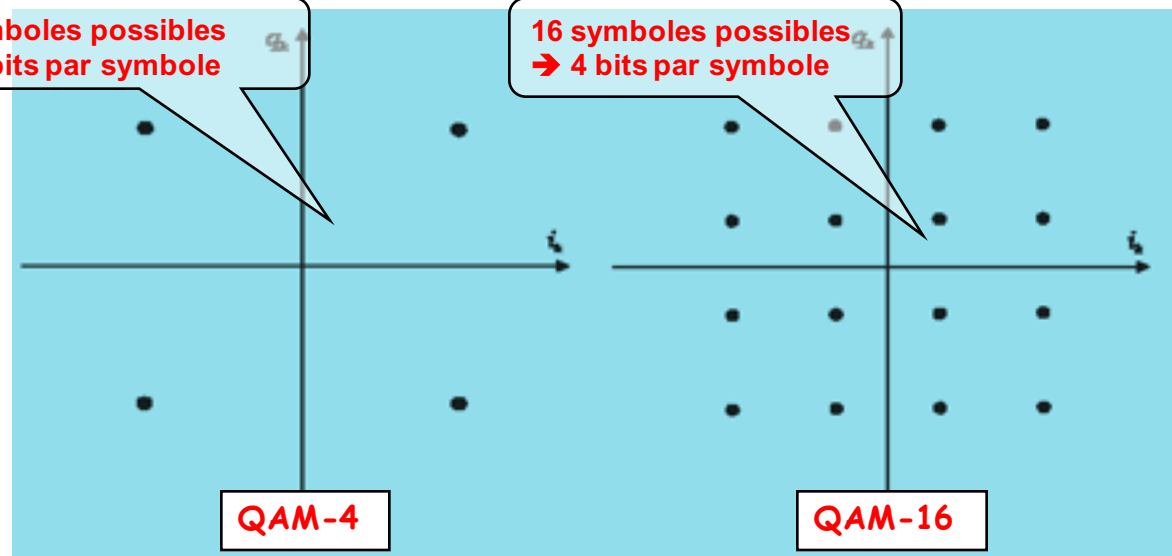


Modulation numérique



4 symboles possibles
→ 2 bits par symbole

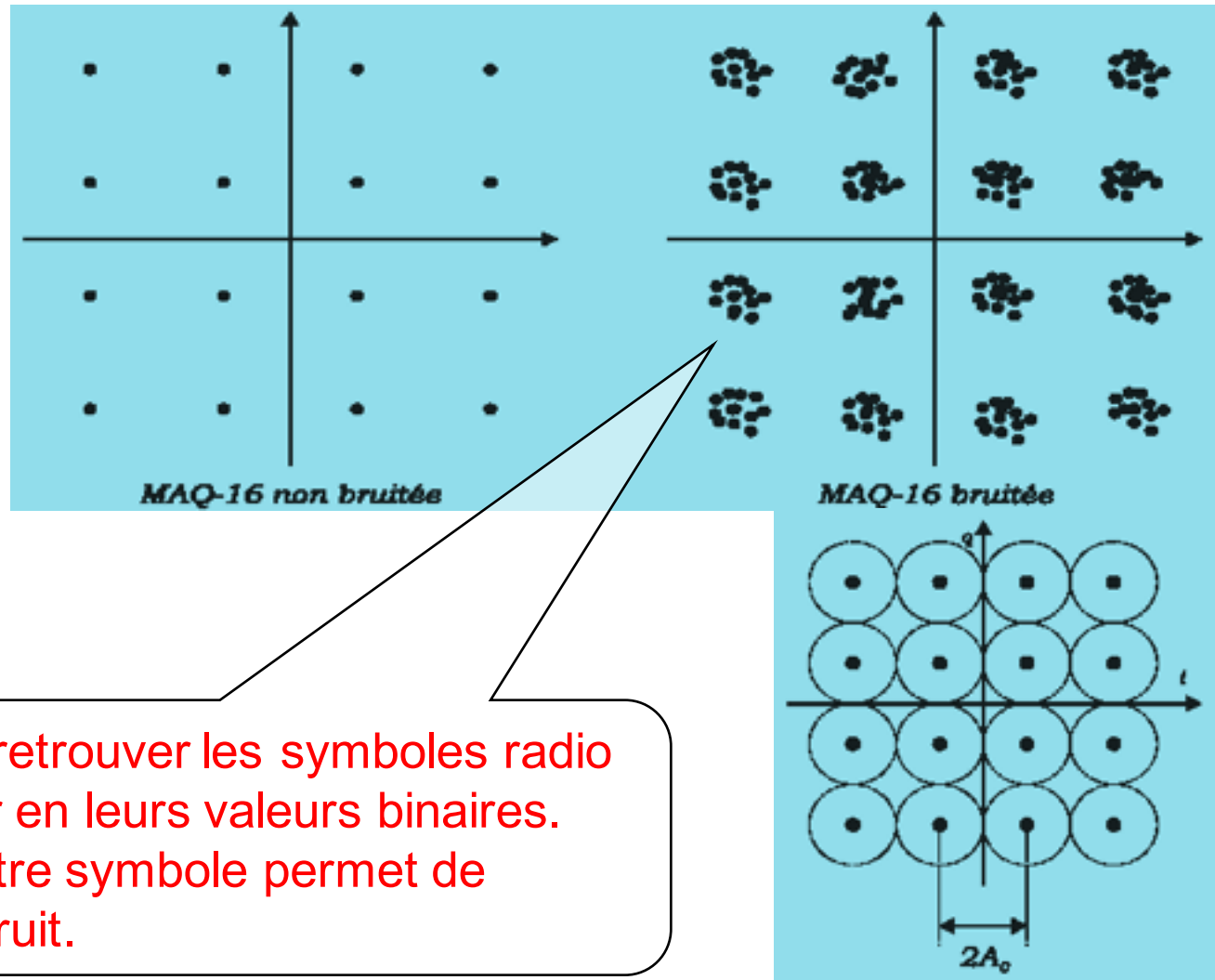
16 symboles possibles
→ 4 bits par symbole



QAM-4

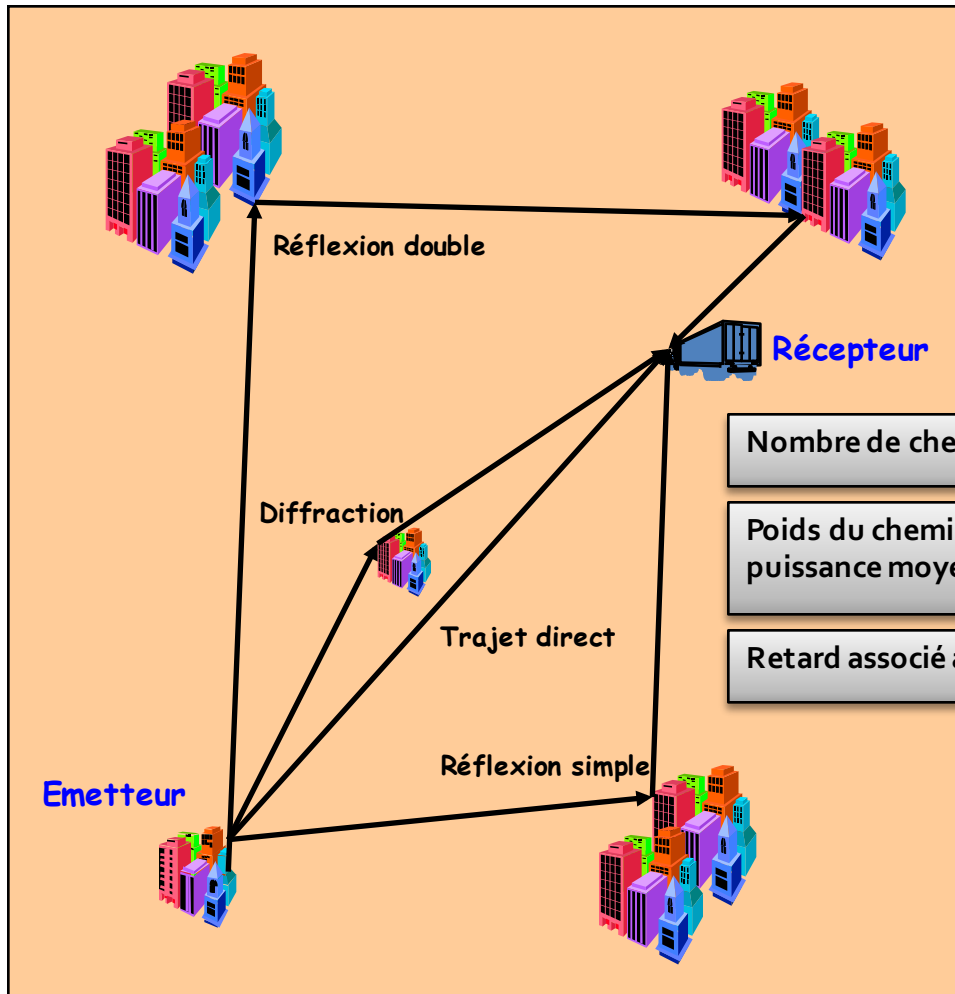
QAM-16

Modulation numérique



Démoduler c'est retrouver les symboles radio est les interpréter en leurs valeurs binaires. L'espacement entre symbole permet de s'immuniser au bruit.

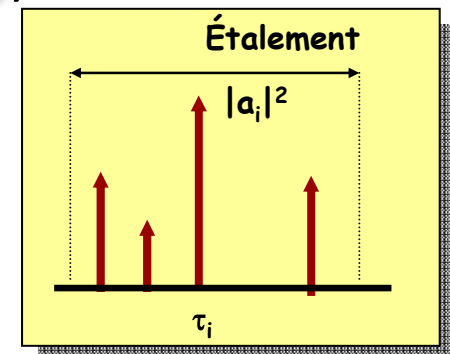
Le Canal Radio : Trajets multiples



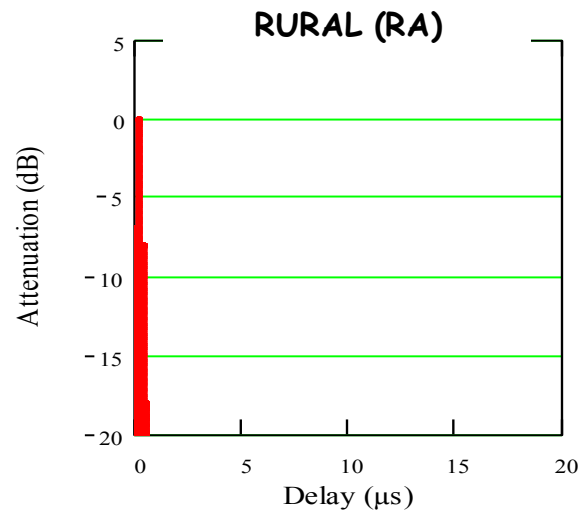
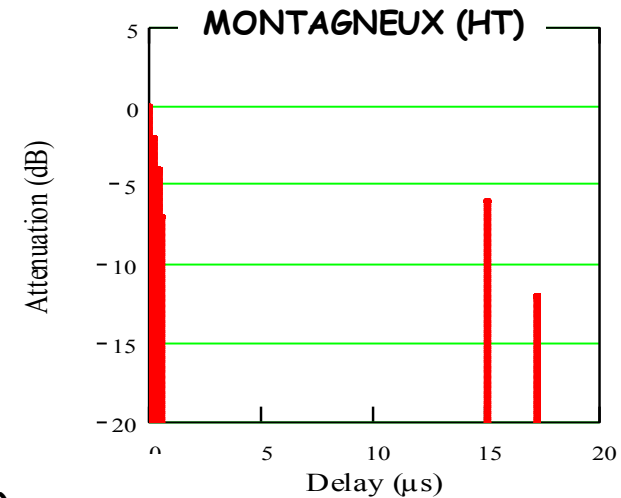
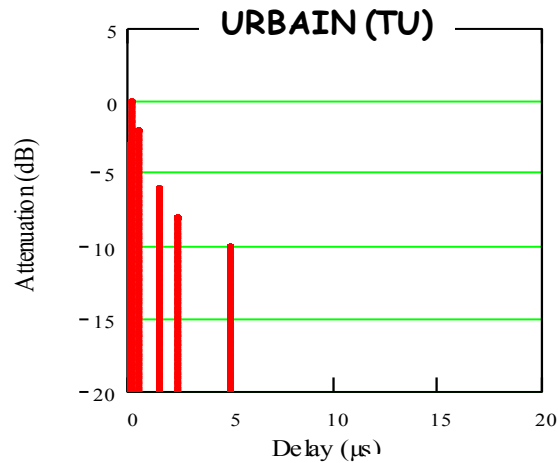
Réponse impulsionnelle caractérisée par le modèle

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

- Nombre de chemin
- Poids du chemin #i de puissance moyenne $|a_i|^2$
- Retard associé au chemin #i



Le Canal Radio : Exemples



Atténuation d'un signal

Les Watt se perdent !

$f = 900 \text{ MHz}$
 $P_e = 20 \text{ W} = 43 \text{ dBm}$

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

$P_r = -48.5 \text{ dBm}$
 $\sim 1.4 \cdot 10^{-8} \text{ W}$

$P_r = -54.5 \text{ dBm}$
 $\sim 3.5 \cdot 10^{-9} \text{ W}$

$P_r = -68.5 \text{ dBm}$
 $\sim 1.4 \cdot 10^{-10} \text{ W}$

$d = 1 \text{ km} - \text{PL de } 91.5 \text{ dB}$

$d = 2 \text{ km} - \text{PL de } 97.5 \text{ dB}$

$d = 10 \text{ km} - \text{PL de } 111.5 \text{ dB}$



Conséquences fâcheuses

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

→ 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 :

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

$i = 0$: forme de losange

$i \neq 0$: invariant par rotation de 120°

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)

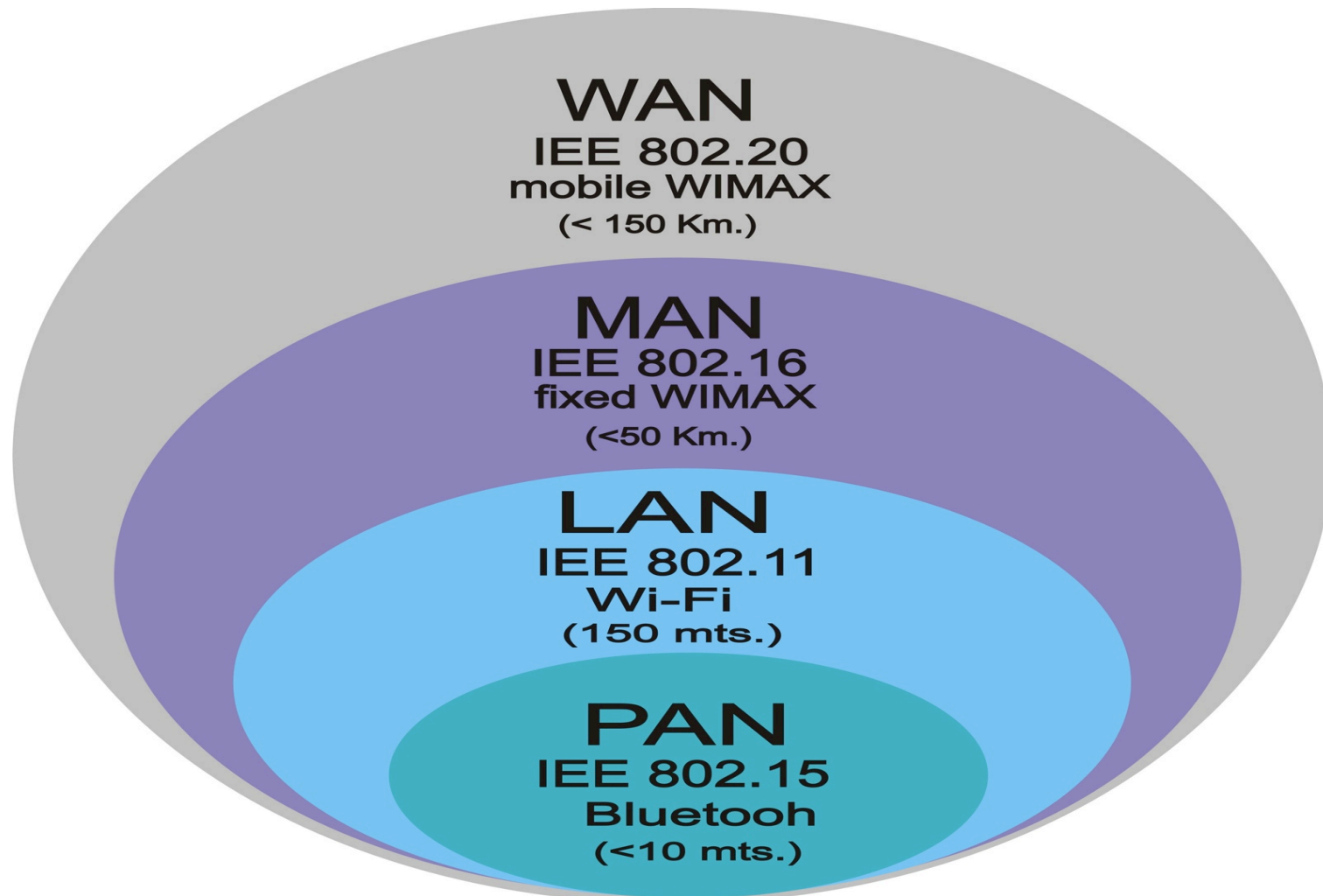
D/R est appelé **facteur de réutilisation**

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



Gestion de l'accès au Canal

Catégorisation des réseaux

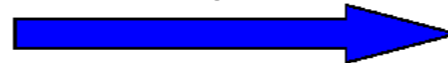


L' Organisation Radio: le Duplex

Un Seul Sens (diffusion)



Simplex



Alternat (PMR)



Half Duplex



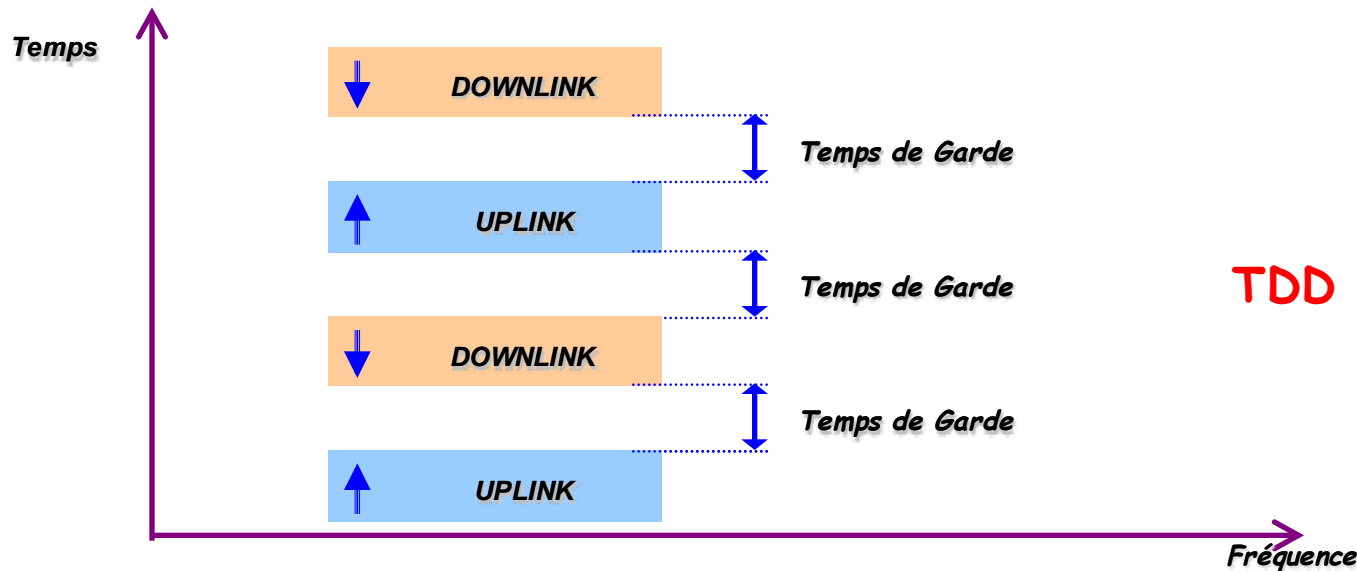
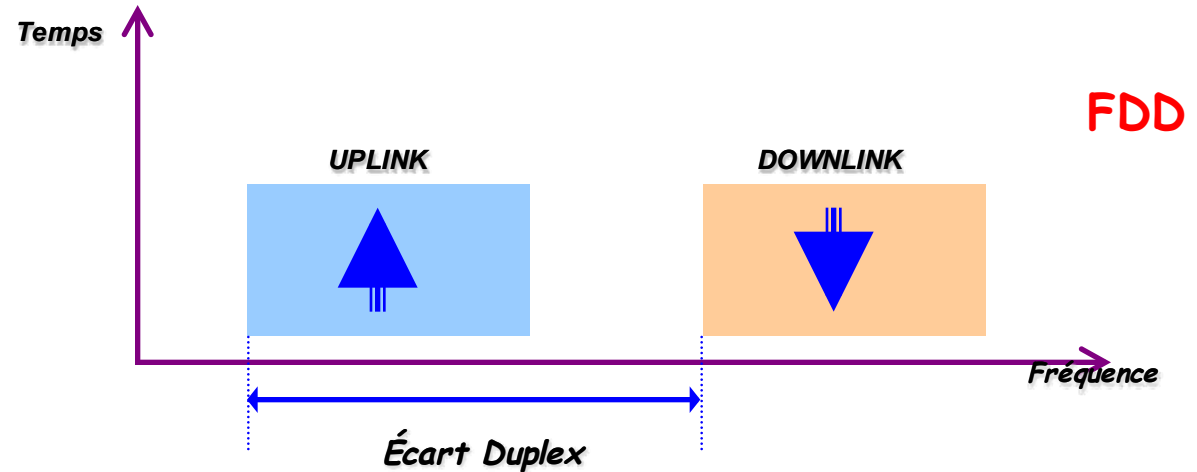
Simultané (Public)



Full Duplex

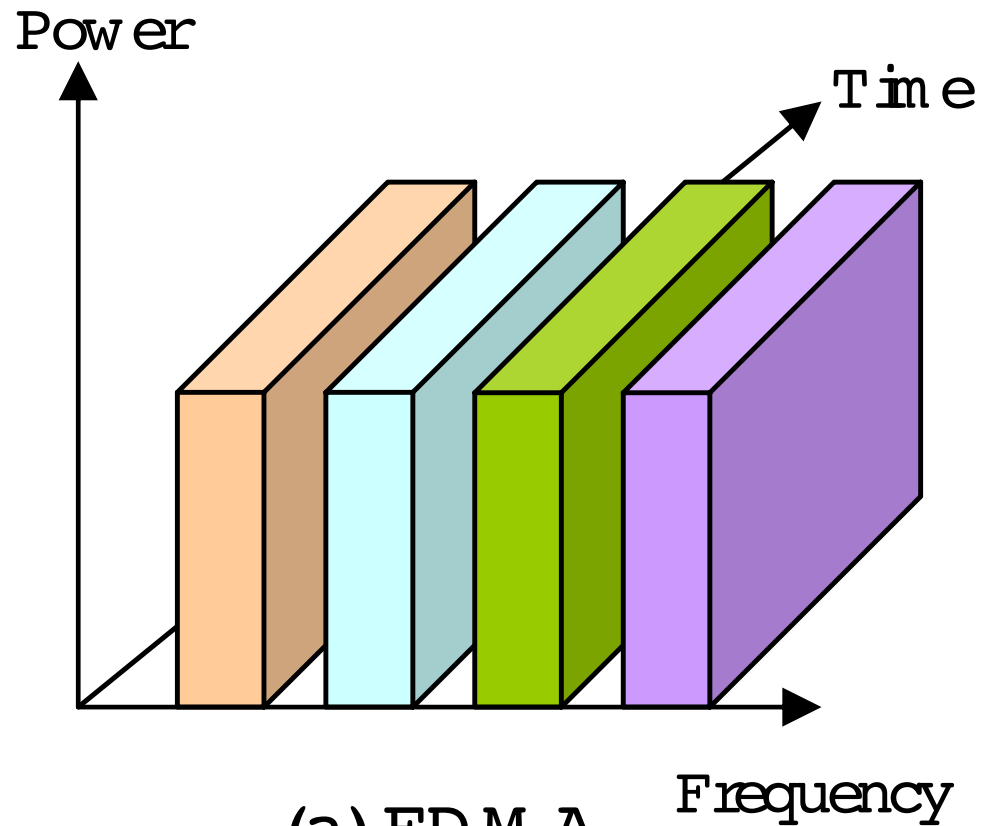


L' Organisation Radio: le Duplex



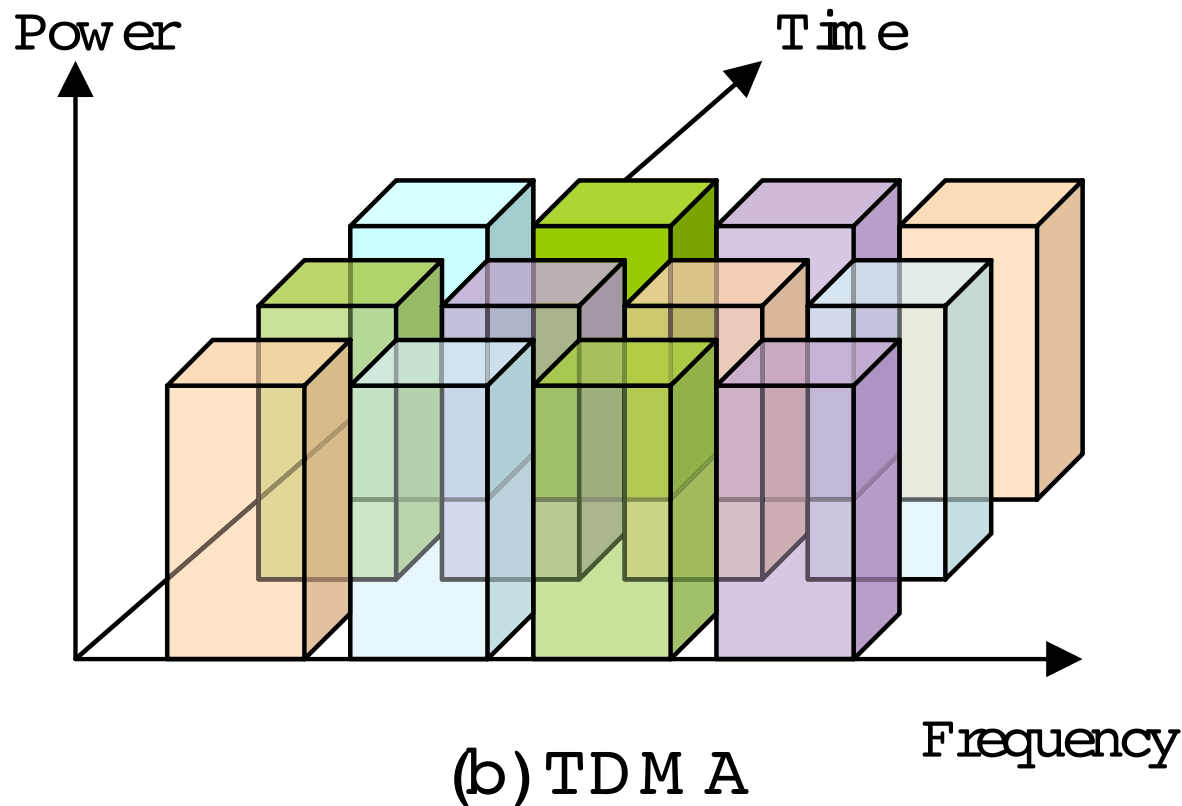
Accès Multiple

Multiplexage fréquentiel (FDMA)



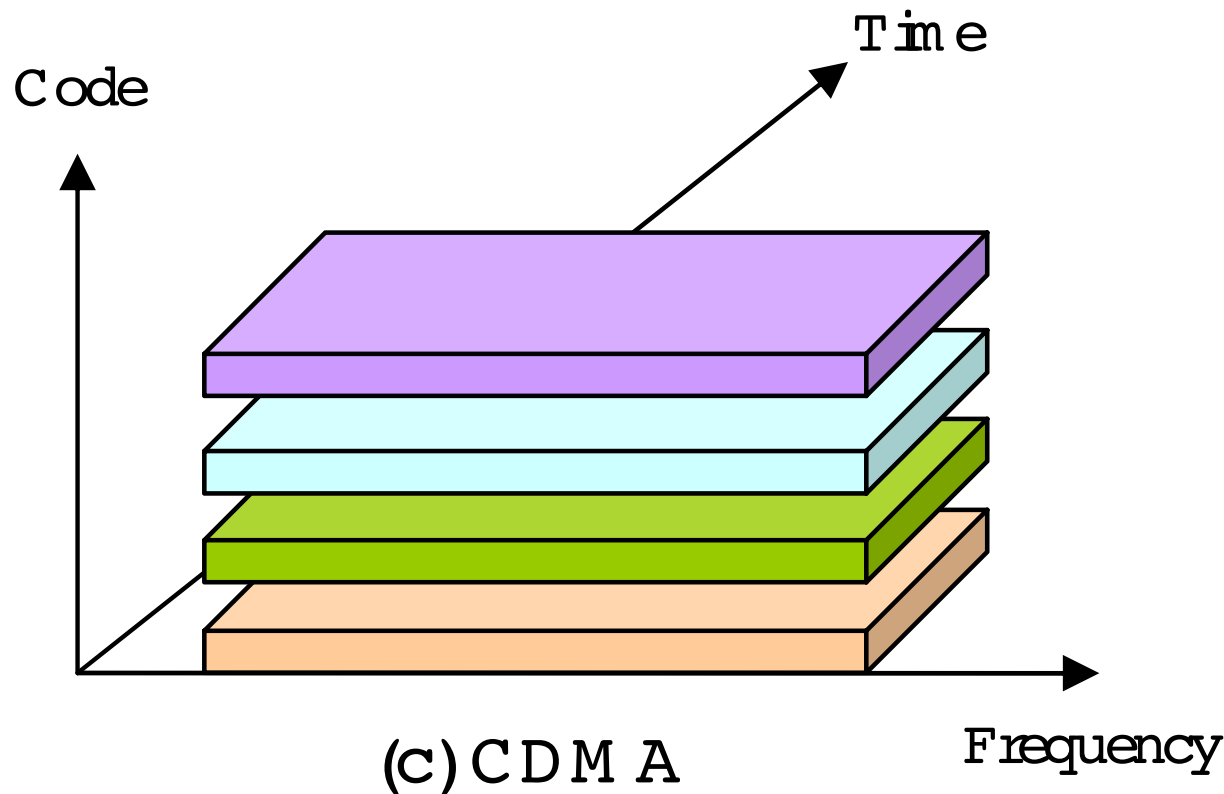
Accès Multiple

Multiplexage temporel (TDMA)



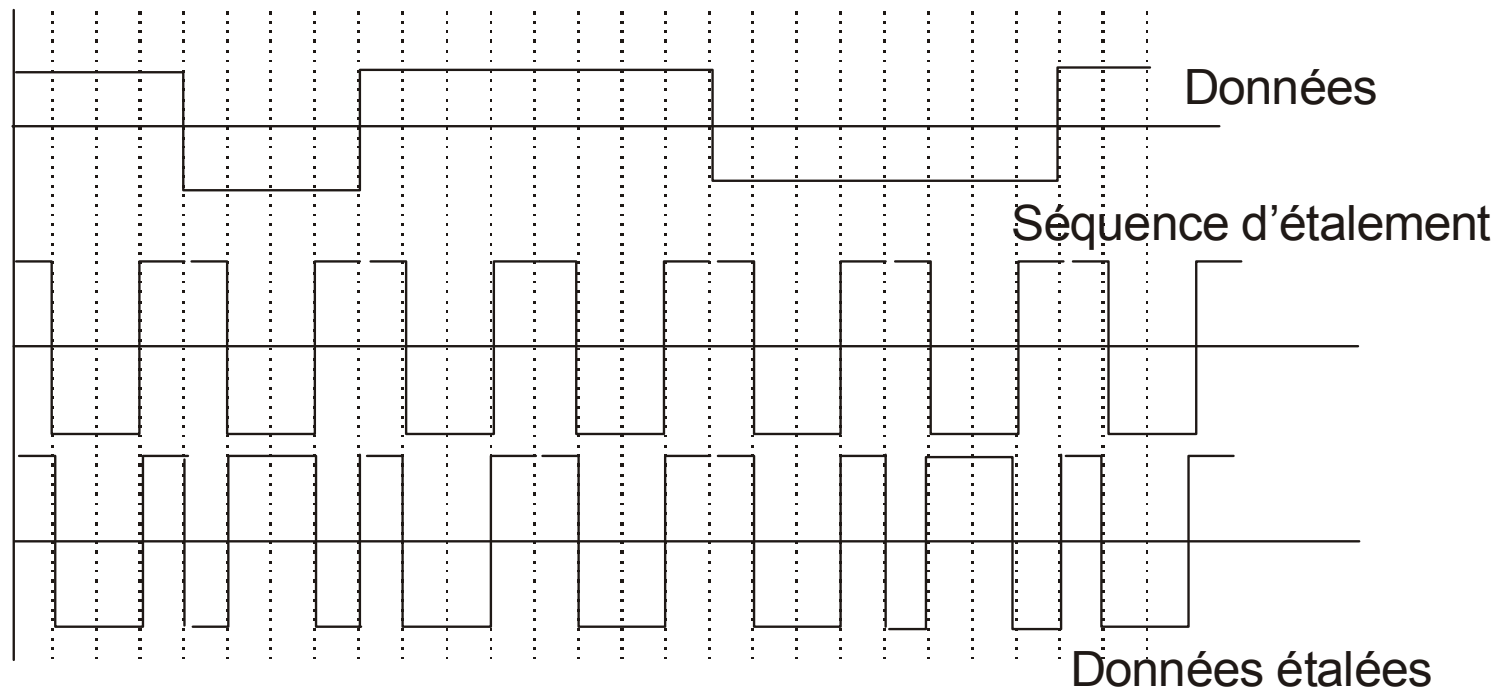
Accès Multiple

Multiplexage par codes orthogonaux (CDMA)

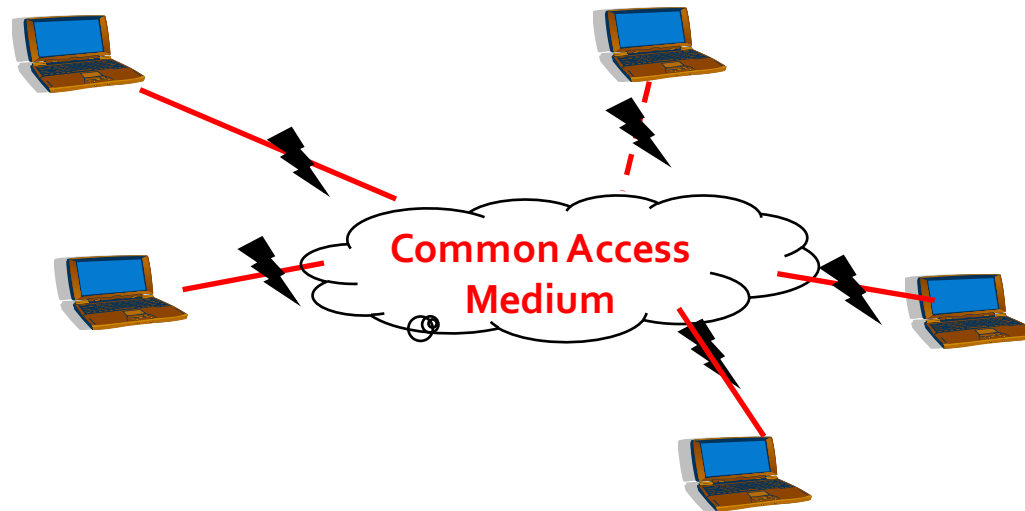


Accès Multiple

Etalement de spectre par CDMA



Méthodes d'accès aléatoires



Aloha = "Bonjour" en Hawaïien

- ❑ 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 $i < \text{MaxAttempts}$

Send packet

Wait ACK or Timeout

if ACK **received** **Then**

Quit

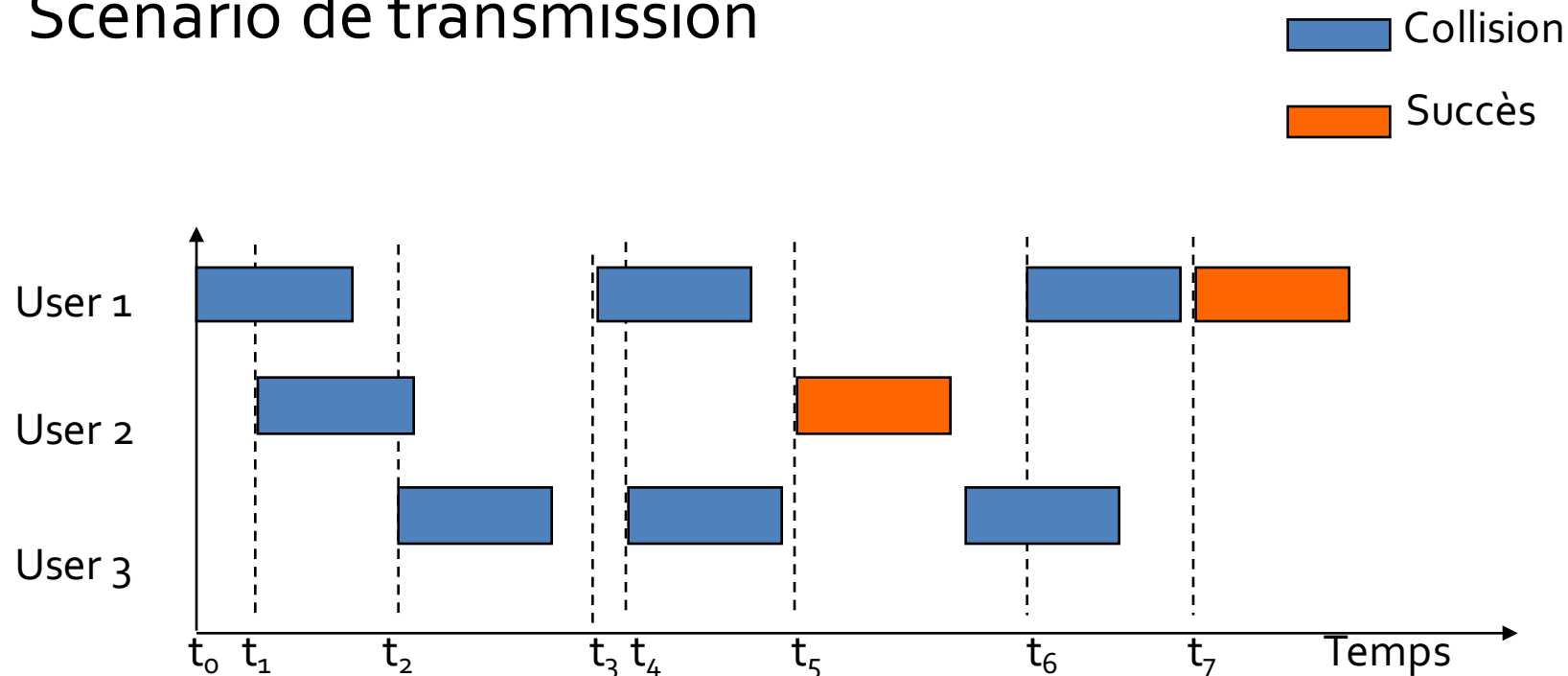
Else (Timeout)

Wait random time

i++

Méthodes d'accès aléatoires : Aloha

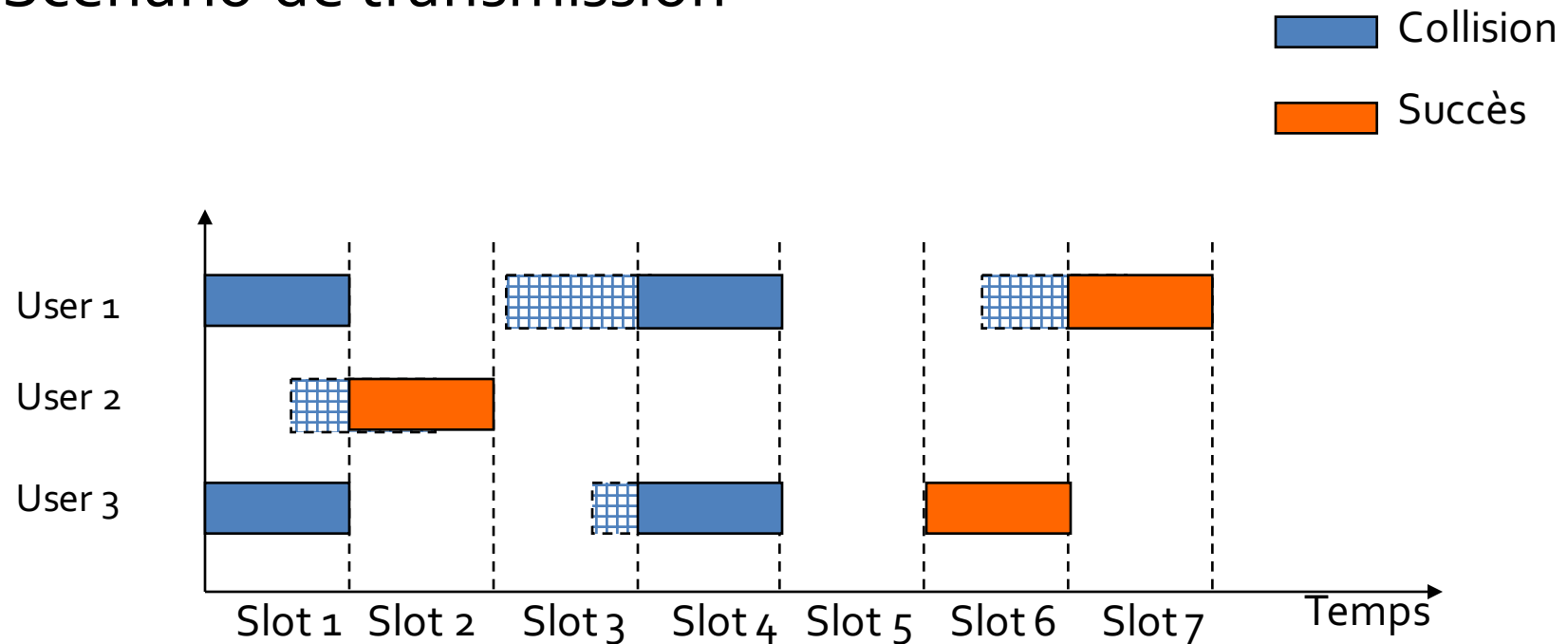
Scénario de transmission



Seulement 18% de bande passante utilisée !

Méthodes d'accès aléatoires : Slotted Aloha

Scénario de transmission



Débit maximum de 37% de la bande passante !