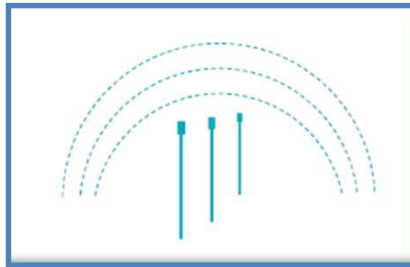


# La Magie du Sans Fil

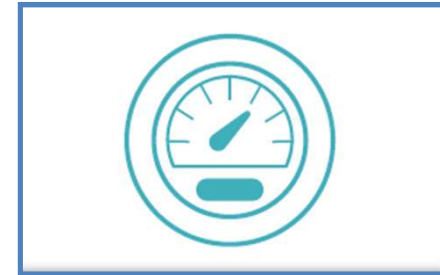
Comment assurer une communication fiable entre un point A et un point B dans un réseau sans Fil?



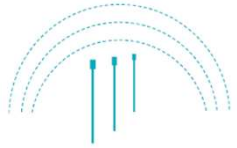
**Couverture**



**Spectre**



**Capacité**



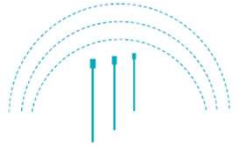
# Le spectre

## Éléments clés:

- ✓ Spectre radiofréquence
- ✓ Canal radio
- ✓ Débit de données maximal
- ✓ Spectre sous licence
- ✓ Spectre sans licence
- ✓ Mode de duplexage TDD
- ✓ Mode de duplexage FDD

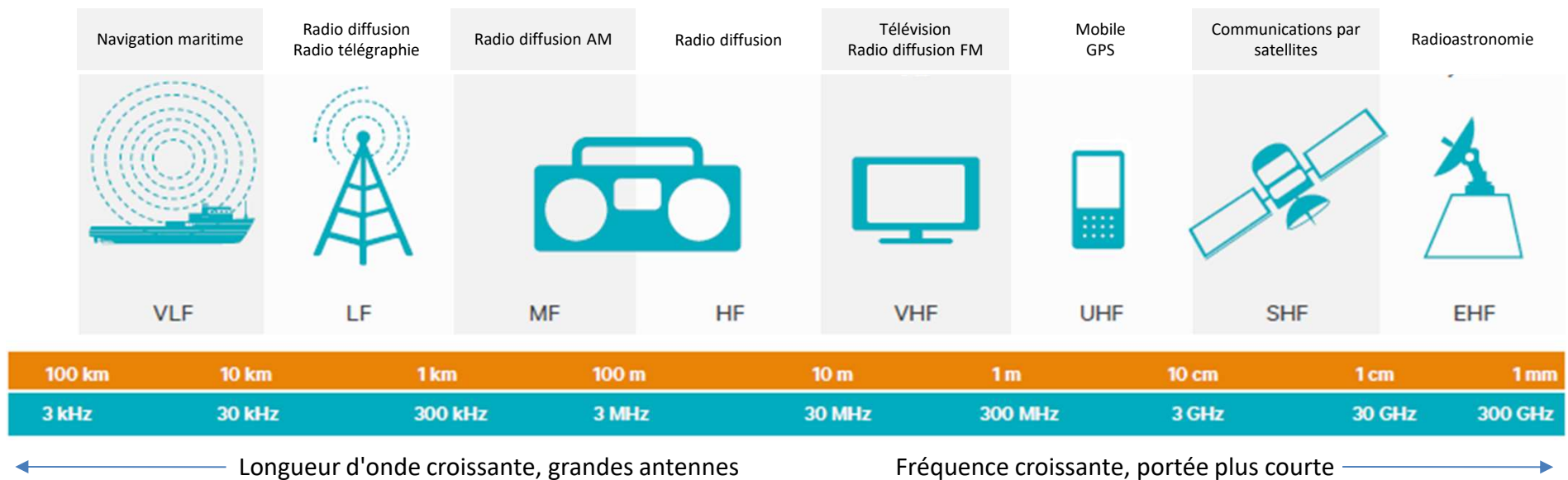
Les canaux radio sont comme des autoroutes construites sur un terrain limité





# Le spectre

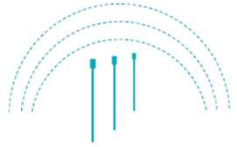
Le spectre correspond aux ondes radio utilisées par toutes les communications sans fil



Le spectre est divisé en plages de fréquences (bandes) pour différents types de communication sans fil

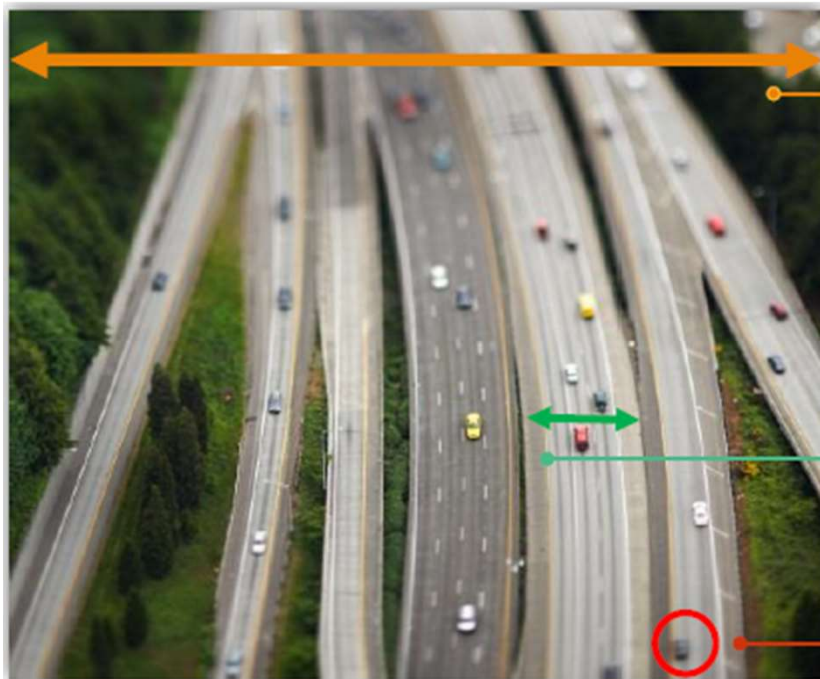
**Le spectre est attribué par les gouvernements locaux.**

Au maroc, l'ANRT joue le rôle de régulateur des télécommunications



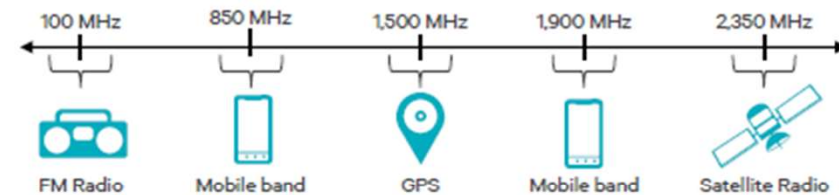
# Le spectre

**Le spectre est comme un terrain- une ressource finie;**  
Les canaux radio sont comme des autoroutes construites sur un terrain limité!



## Spectre Radiofréquence (terrain)

Gamme de fréquence pour différents types de communication sans fil



## Canal Radio (Autoroute)

Spectre pour un lien de communication spécifique

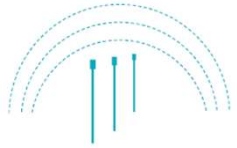


105.3 FM Radio Channel

## Données (Véhicule)

Bits d'information transportés sur un canal radio





# Le spectre

## Le spectre est l'élément vital de la connectivité mobile

Le mobile doit surmonter le spectre qui est une ressource limitée pour fournir des débits rapides



**Spectre sous licence mobile**  
Spectre dégagé à usage exclusif  
garantissant qualité de service,  
mobilité et contrôle

**More**  
Spectrum



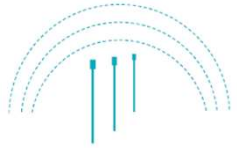
**More**  
Capacity



**More**  
Data Rates



- Récepteurs avancés et améliorations de liaisons radio pour véhiculer plus de bit par Hz
- Techniques des antennes multiples pour créer plusieurs chemins et transporter plus de données



# Le spectre

## Spectre sous licence

Usage exclusif  
(Technologies mobiles: 2G, 3G, 4G)



## Spectre sans licence

Usage partagé entre plusieurs technologies  
(LTE, WIFI, BT, ...)



## Bases du haut débit mobile



couverture  
universelle



Qualité de service  
(QoS) garantie,  
Abonnement



Mobilité  
totale



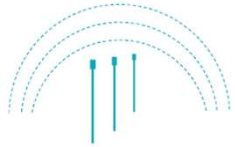
Portée limitée,  
Couverture locale



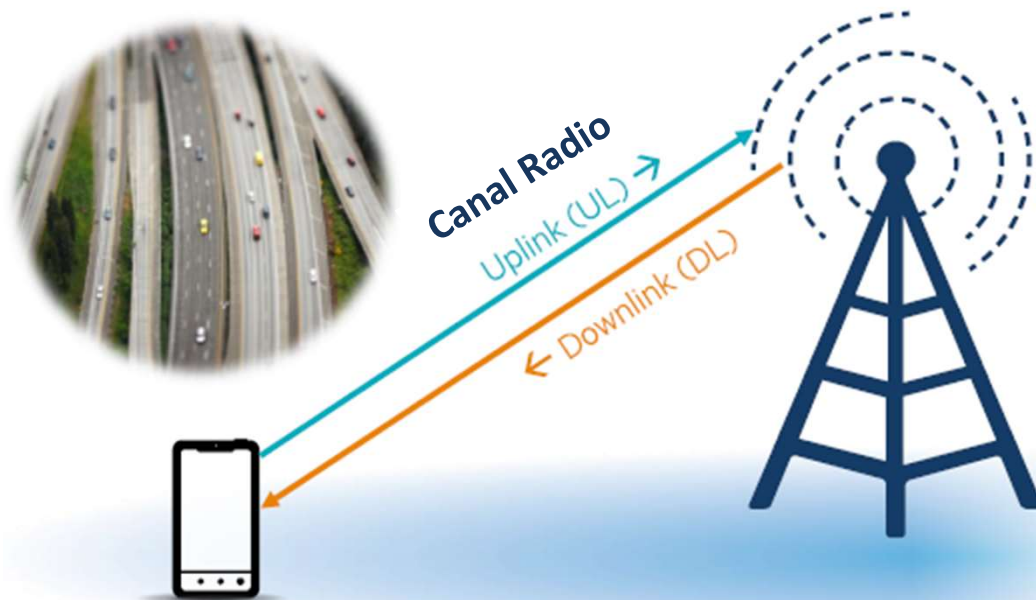
Déploiement  
simple



Résidentiel, Entreprise,  
Maison connectée

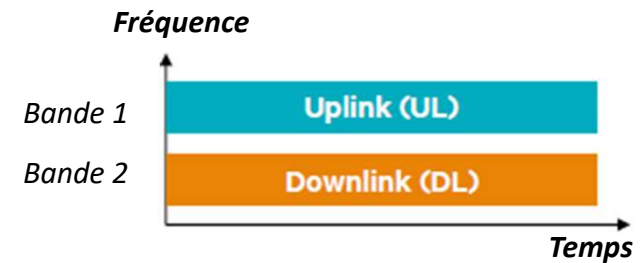


# Le spectre



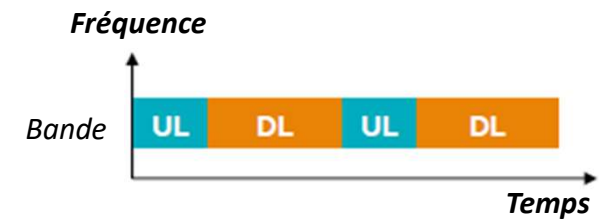
## Frequency Division Duplex (FDD)

Le spectre « apparié » permet une meilleure couverture

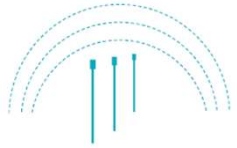


## Time Division Duplex (TDD)

Le spectre « non apparié » permet une transmission DL / UL asymétrique pour une plus grande capacité de DL







# Le spectre

## Le canal radio a un débit maximal de données

$$\text{Débit maximal} \approx W \cdot n \cdot M - \text{Overhead}^1$$

Débit maximum théorique dans des conditions idéales, mesuré en bits par seconde (bps)

### Largeur du Spectre



La largeur du canal radio (autoroute) construite sur le spectre (terrain)



### Nombre des Antennes



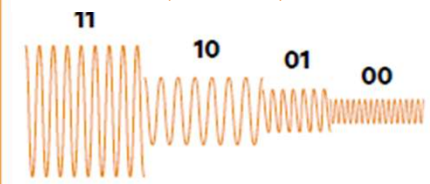
Le nombre de trajets séparés dans l'espace (Autoponts)



### Ordre de la Modulation



Le nombre de bits (passagers) transmis par signal (véhicule)



<sup>1</sup> The overhead est constituée de bits supplémentaires pour chaque paquet, au-delà de la charge utile (payload), contenant les informations nécessaires pour transporter correctement le paquet de bout en bout sur le réseau.



# La capacité

## Éléments clés:

- ✓ Capacité
- ✓ Accès multiple
- ✓ Loi de Shannon
- ✓ Agrégation de porteuses (Carrier Aggregation CA)

**La capacité d'un canal radio est comparable à la capacité d'un tuyau d'eau**





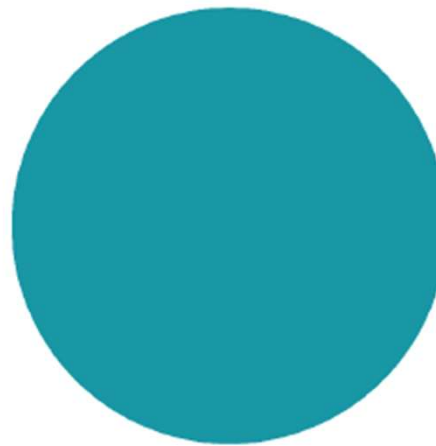
# La capacité

## Capacité

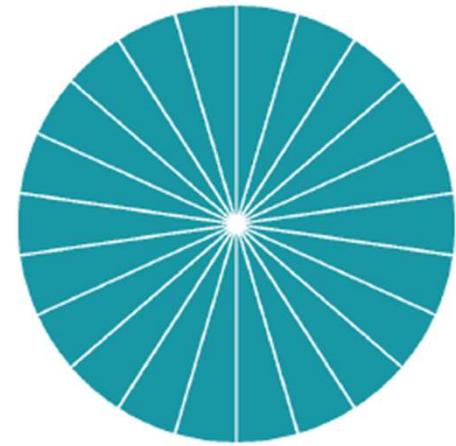
Quantité théorique maximale de données pouvant être transmises de manière fiable sur un canal radio bruyant à un moment donné



**La capacité du canal radio est partagée entre plusieurs utilisateurs**



**Un seul utilisateur**  
100% de la capacité



**Plusieurs utilisateurs**  
Capacité partagée

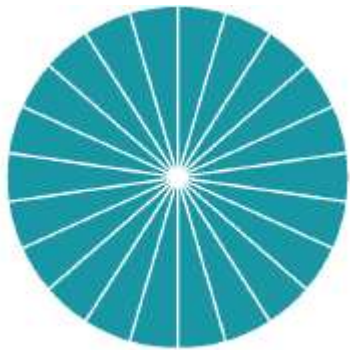


# La capacité

Le capacité d'un canal radio est finie

$$\text{Capacité}^* \approx W \cdot n \cdot \log_2(1 + SNR)$$

Quantité théorique maximale de données pouvant être transmises de manière fiable sur un canal radio bruyant à un moment donné



Partagée entre  
plusieurs utilisateurs

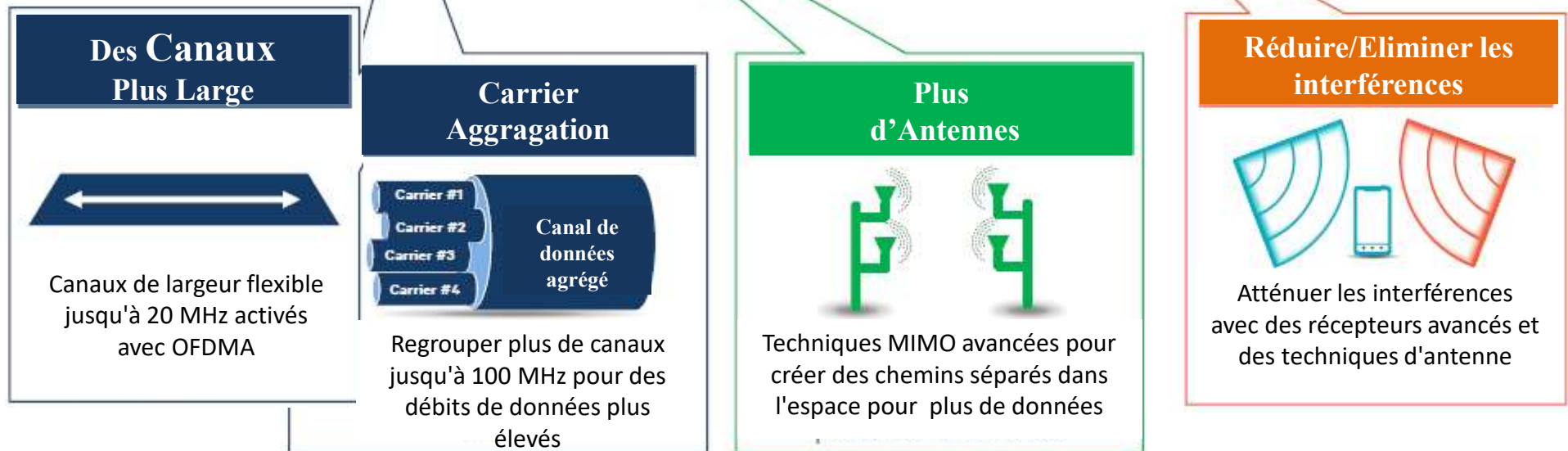
\* Capacité de Shannon



# La capacité

## Comment augmenter la capacité?

$$C \approx W \cdot n \cdot \log_2(1 + SNR)$$





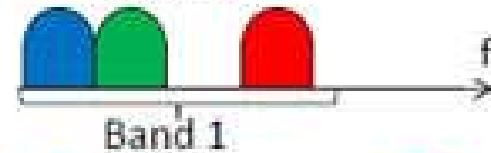


# Agrégation de Porteuses

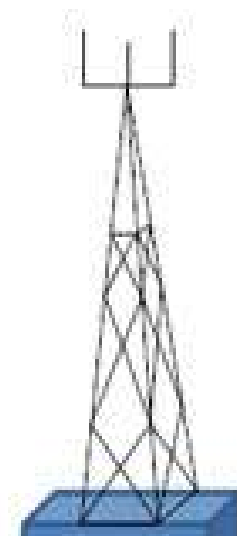
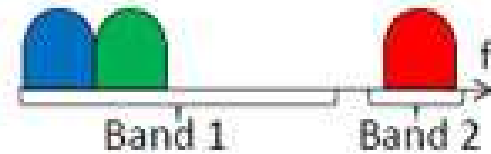
CA Intra-bande,  
porteuses contiguës



CA Intra-bande,  
Porteuses non contiguës



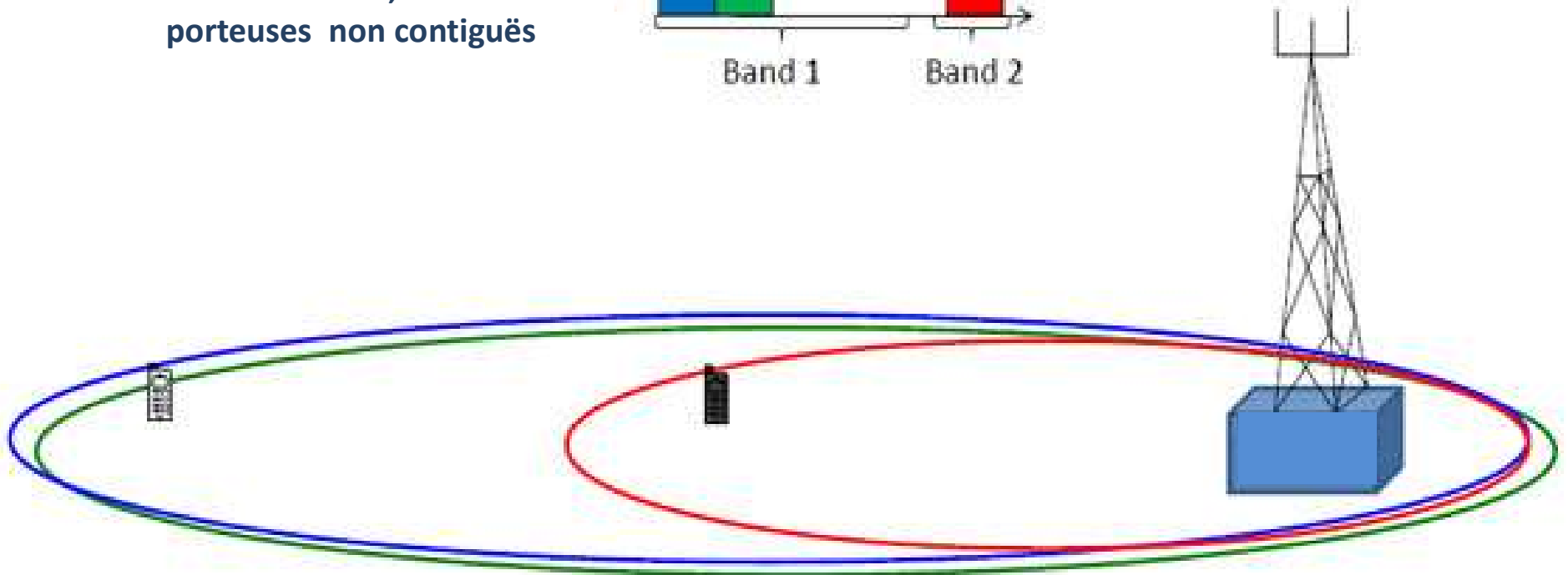
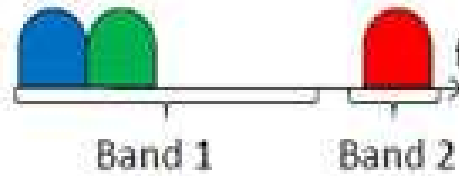
CA Inter-bande,  
Porteuses non contiguës





# Agrégation de Porteuses

CA Inter-bande,  
porteuses non contiguës



**L'agrégation de porteuses sur les trois porteuses  
n'est possible que pour le mobile noir**

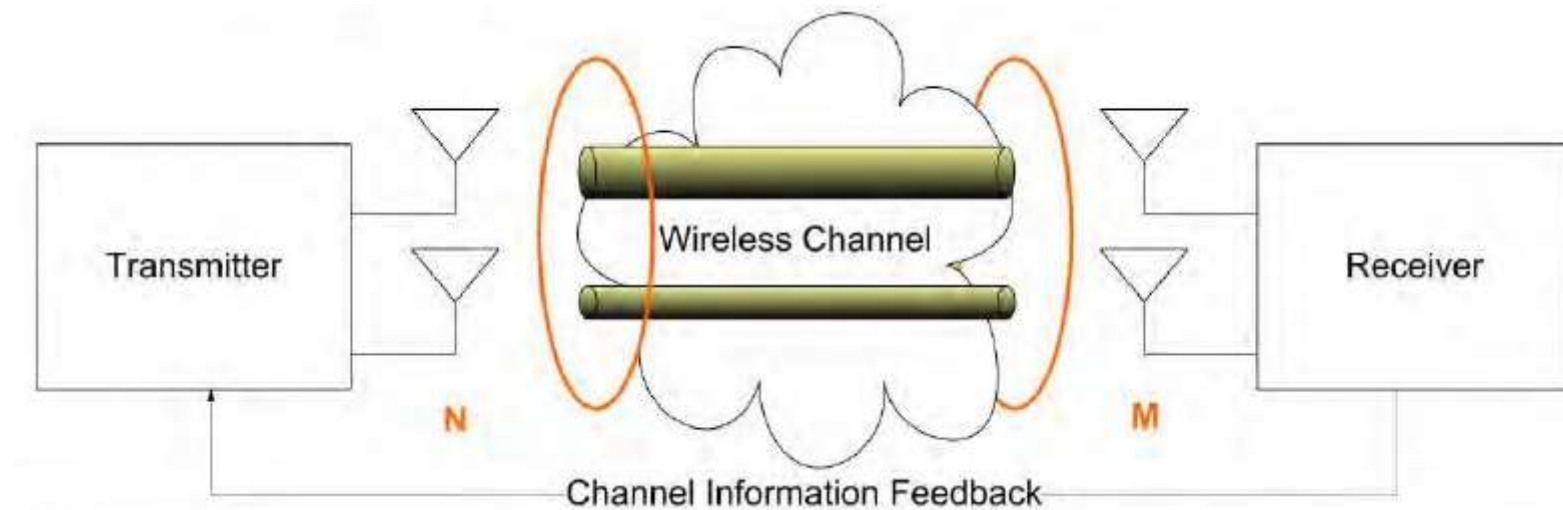


# MIMO

## Multiple-Input Multiple Output

### *MIMO crée des canaux de transmission (Pipes) parallèles*

- Les Pipes sont orthogonaux dans le domaine spatio-temporel
  - Le nombre de Pipes est égal au rang du système
  - Le rang du système MIMO est limité par le nombre d'antennes d'émission ou de réception et par l'environnement multi-trajets
- Le canal à visibilité direct (LOS) limite le rang**



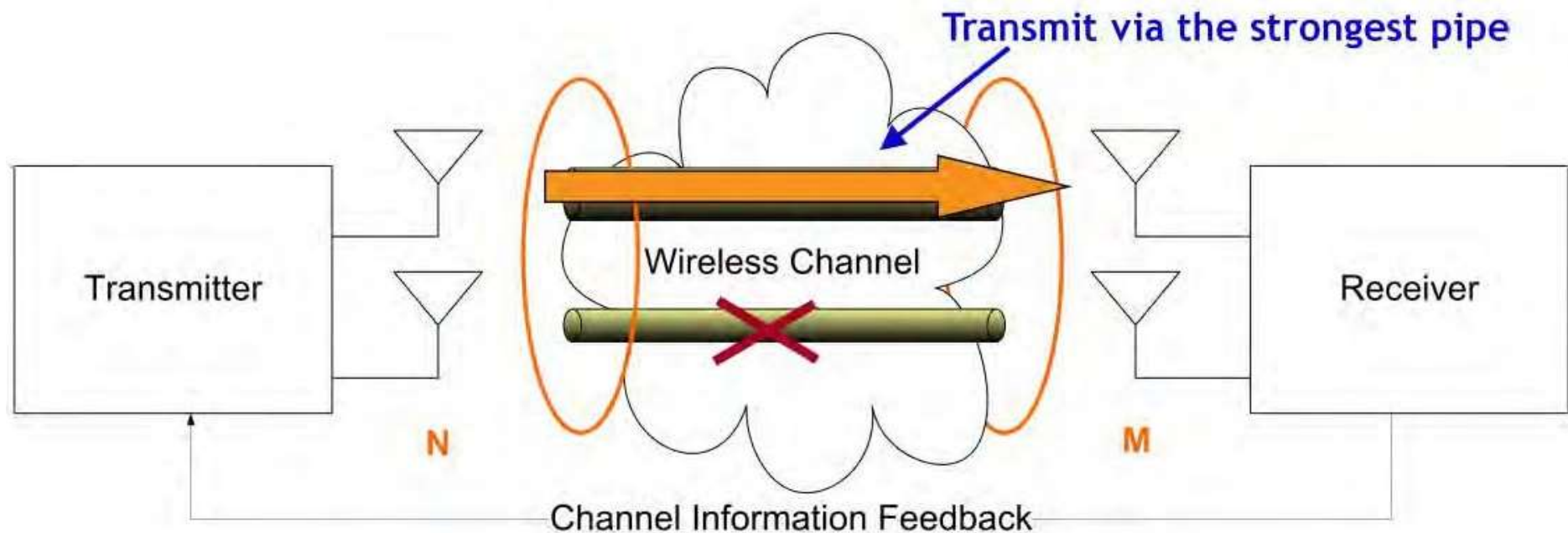


## Types de Gain MIMO

***Le gain MIMO dépend de la façon dont les Pipes de données parallèles sont utilisés***

▪ **Le flux de donnée est émis via Strong Pipe ---- Beamforming**

- ✓ Dans le cas de mauvaises conditions de canal
- ✓ Utilise toute la puissance sur Pipe le plus fort
- ✓ Augmente la couverture et améliore le SNR



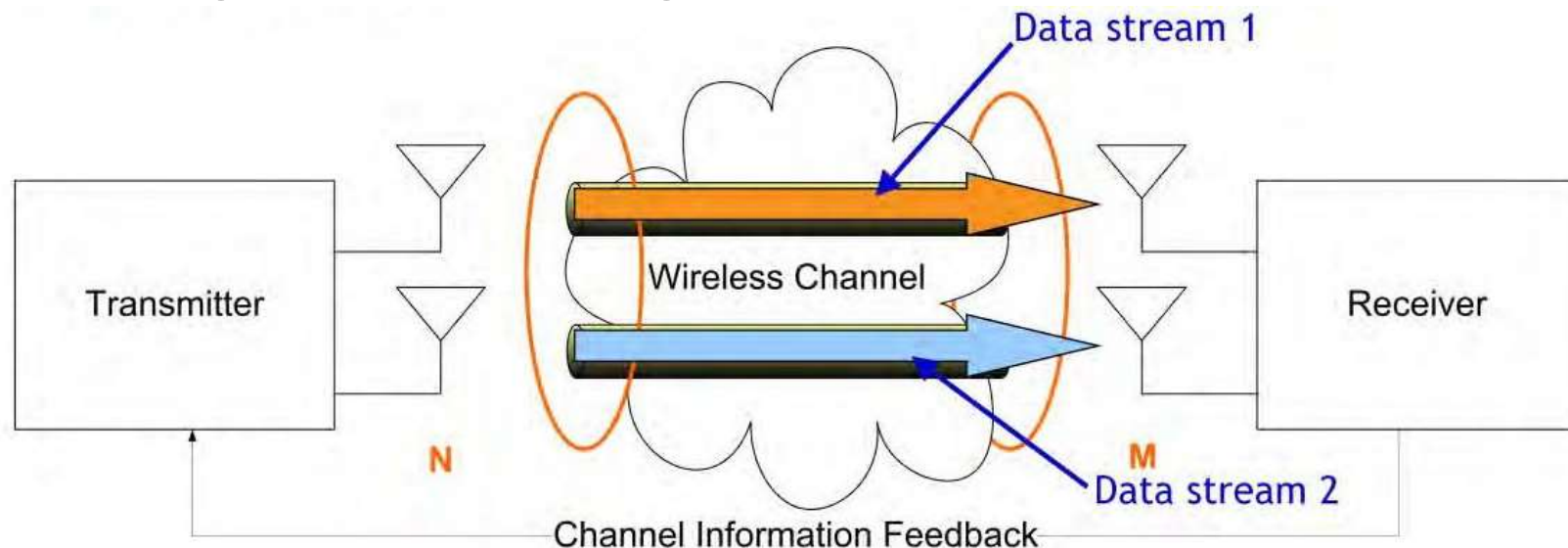


## Types de Gain MIMO

***Le gain MIMO dépend de la façon dont les Pipes de données parallèles sont utilisés***

▪ **Différents flux de données sur différents Pipes---- Multiplexage Spatial**

- ✓ Dans le cas de bonnes conditions de canal
- ✓ La puissance est répartie entre les flux de données
- ✓ Augmentation du débit globale

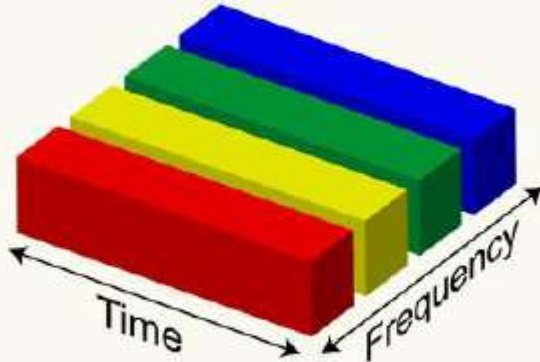






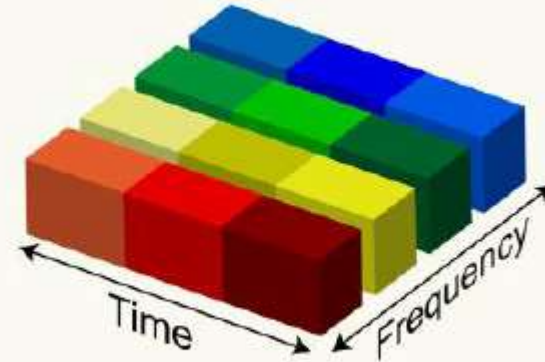
# Méthodes d'Accès Multiple

## FDMA



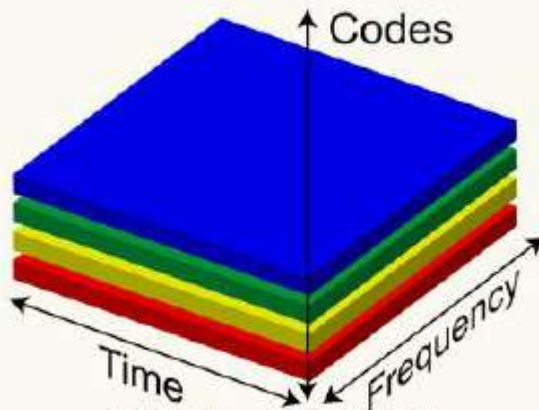
AMPS, NMT, TACS

## TDMA



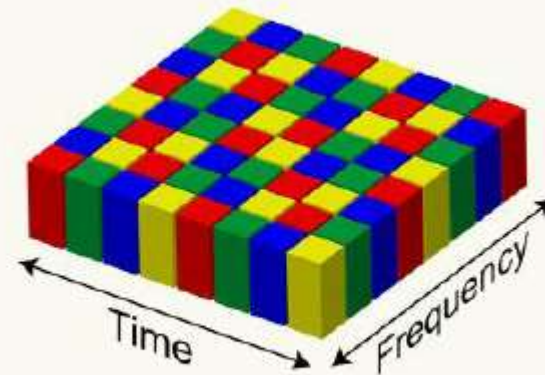
TDMA, PDC  
GSM, GPRS/EDGE

## CDMA



CDMA, WCDMA

## OFDMA

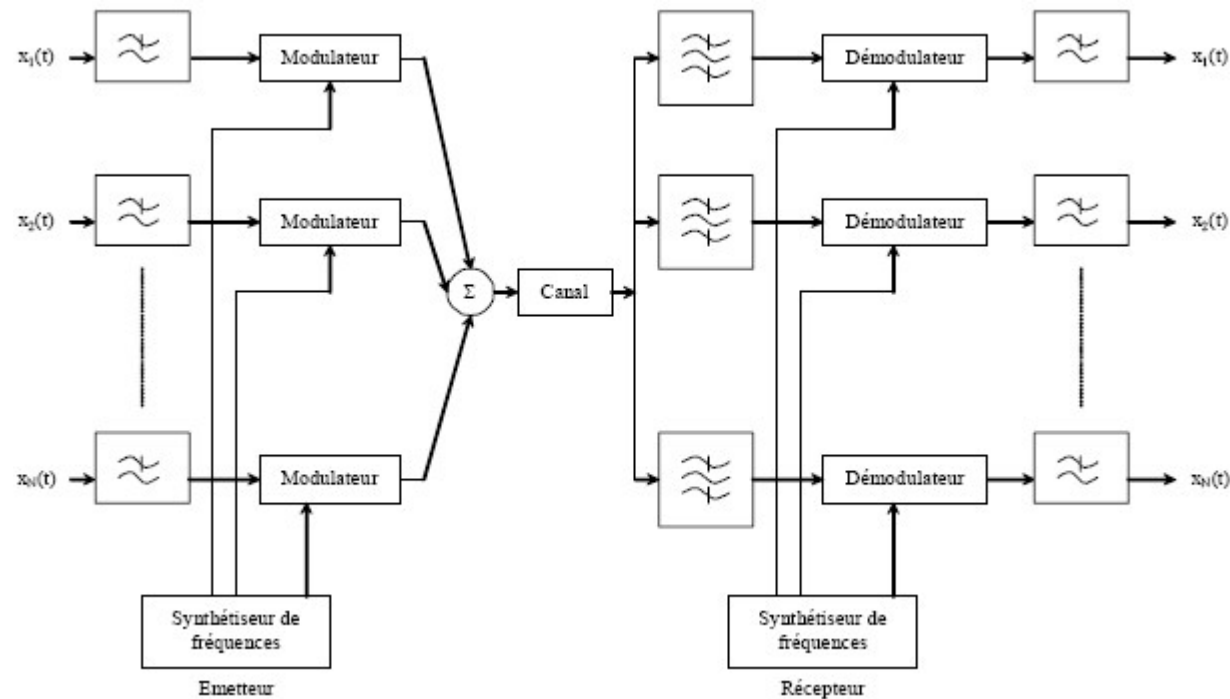


LTE, WiMAX

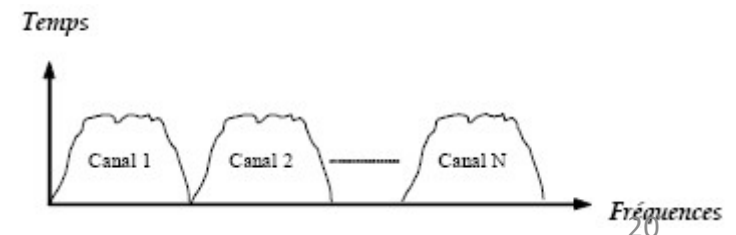


# Méthodes d'Accès Multiple

## FDMA (Frequency Division Multiple Access)



- Transmettre les signaux provenant de  $N$  utilisateurs différents sur des bandes de fréquences distinctes
- Fréquence porteuse qui siège au centre de la bande

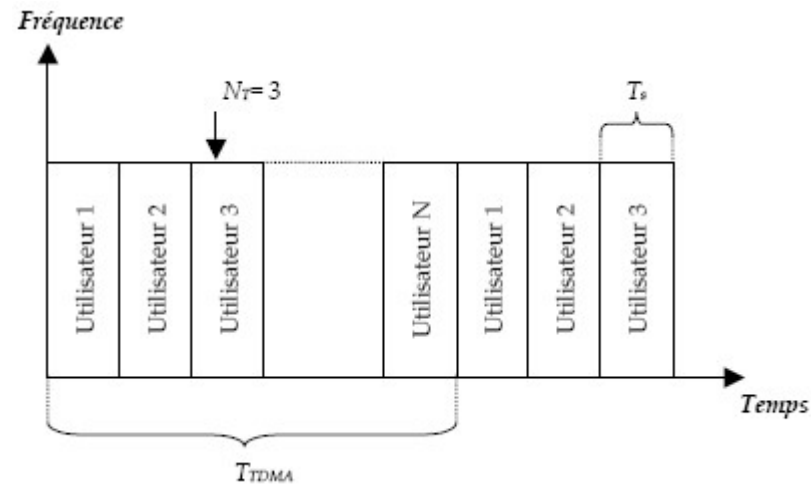




## TDMA (Time Division Multiple Access)

La porteuse est émise sur des intervalles de temps: Time Slots (TS), de durée  $T_s$ ,

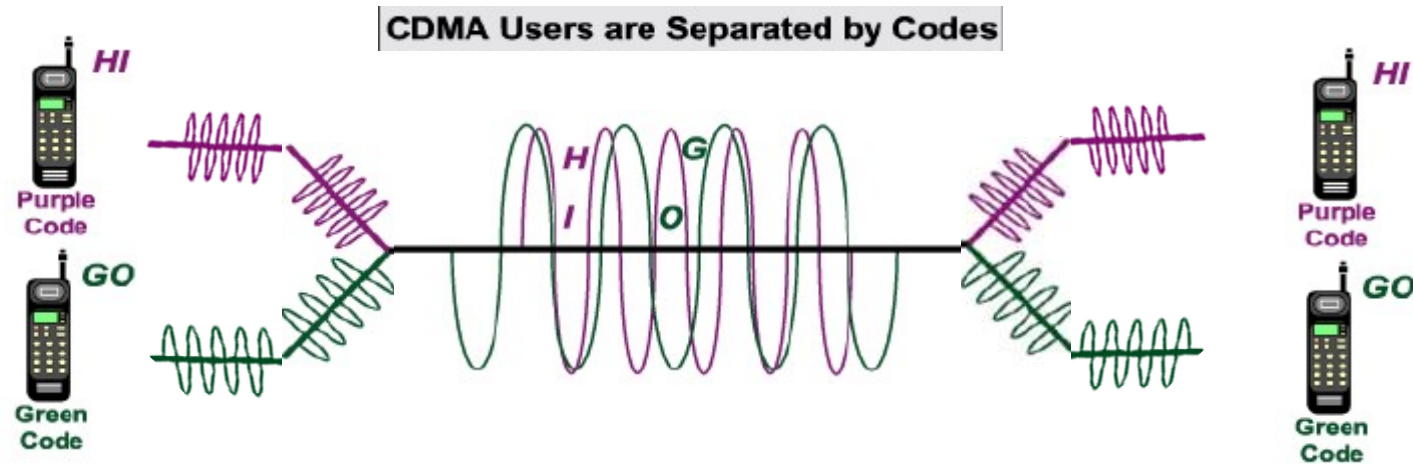
Pendant chaque  $T_s$  un utilisateur peut transmettre ses données.





# Méthodes d'Accès Multiple

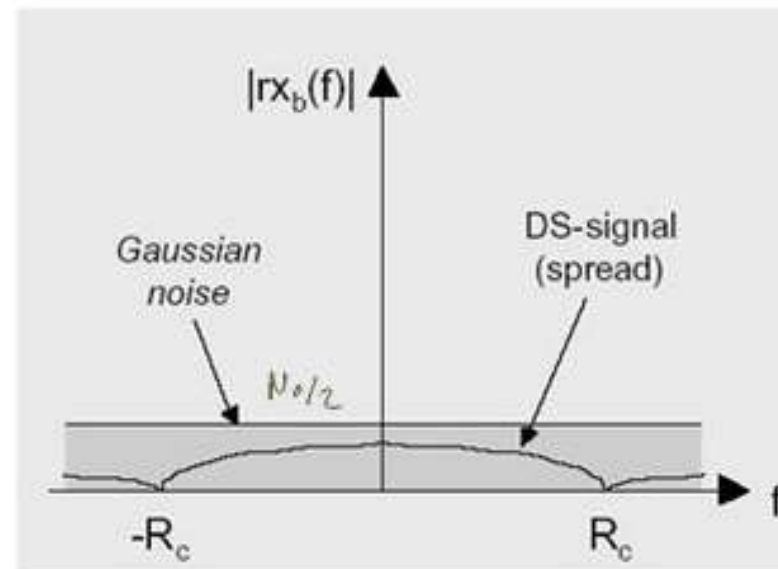
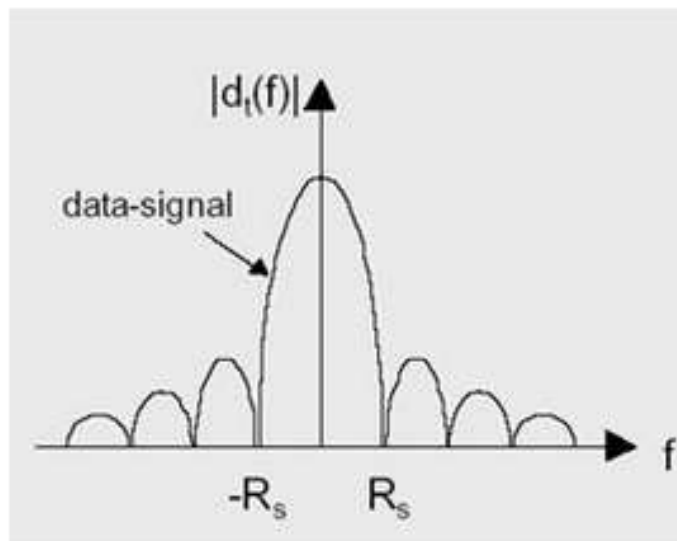
## CDMA Cocktail Party





## Méthodes d'Accès Multiple

**Étalement du spectre** est une technique de transmission radioélectrique dans laquelle un signal est transmis sur une largeur spectrale plus grande que l'ensemble des fréquences qui composeraient le signal original.



### Techniques d'étalement de spectre les plus utilisés

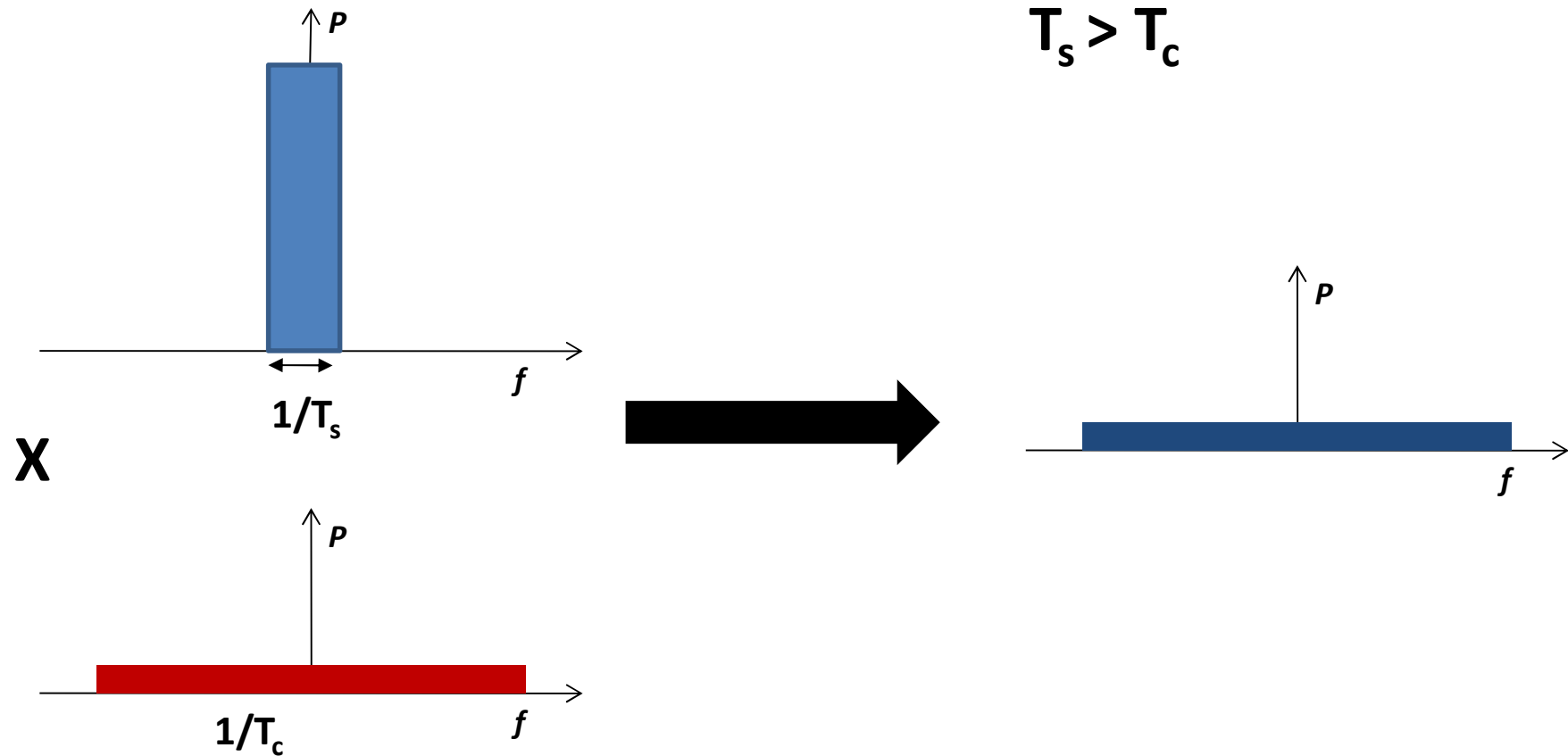
Étalement de spectre à séquence directe (DSSS: Direct-Sequence Spread Spectrum)

Étalement de spectre par saut de fréquence (FHSS: Frequency-Hopping Spread Spectrum)





## Etalement de spectre à séquence directe (DSSS)





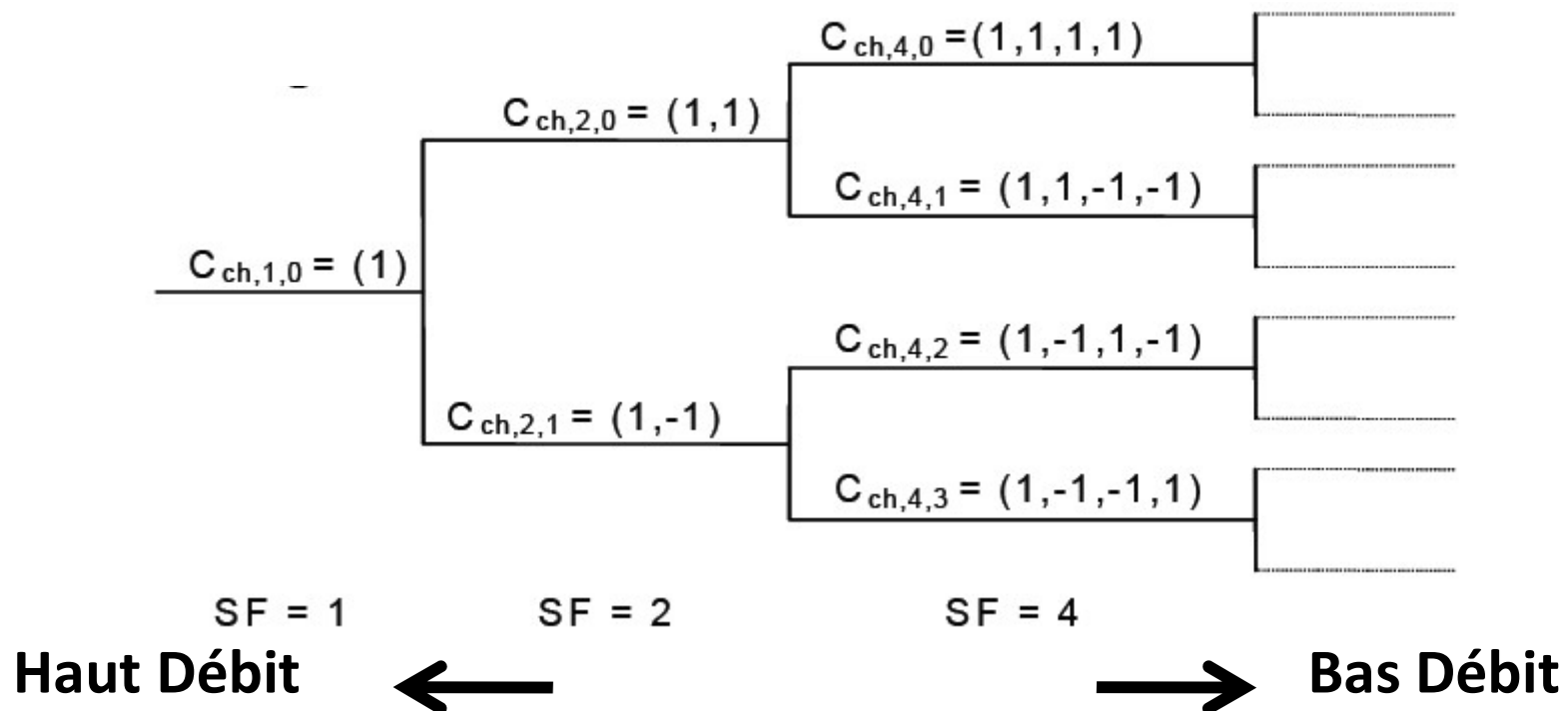
## Codes Orthogonaux (DSSS)

### Codes Walsh ou codes OVSF (Orthogonal Variable Spreading Factor)

Générés en utilisant la transformation d'Hadamard  $H_1 = [1]$

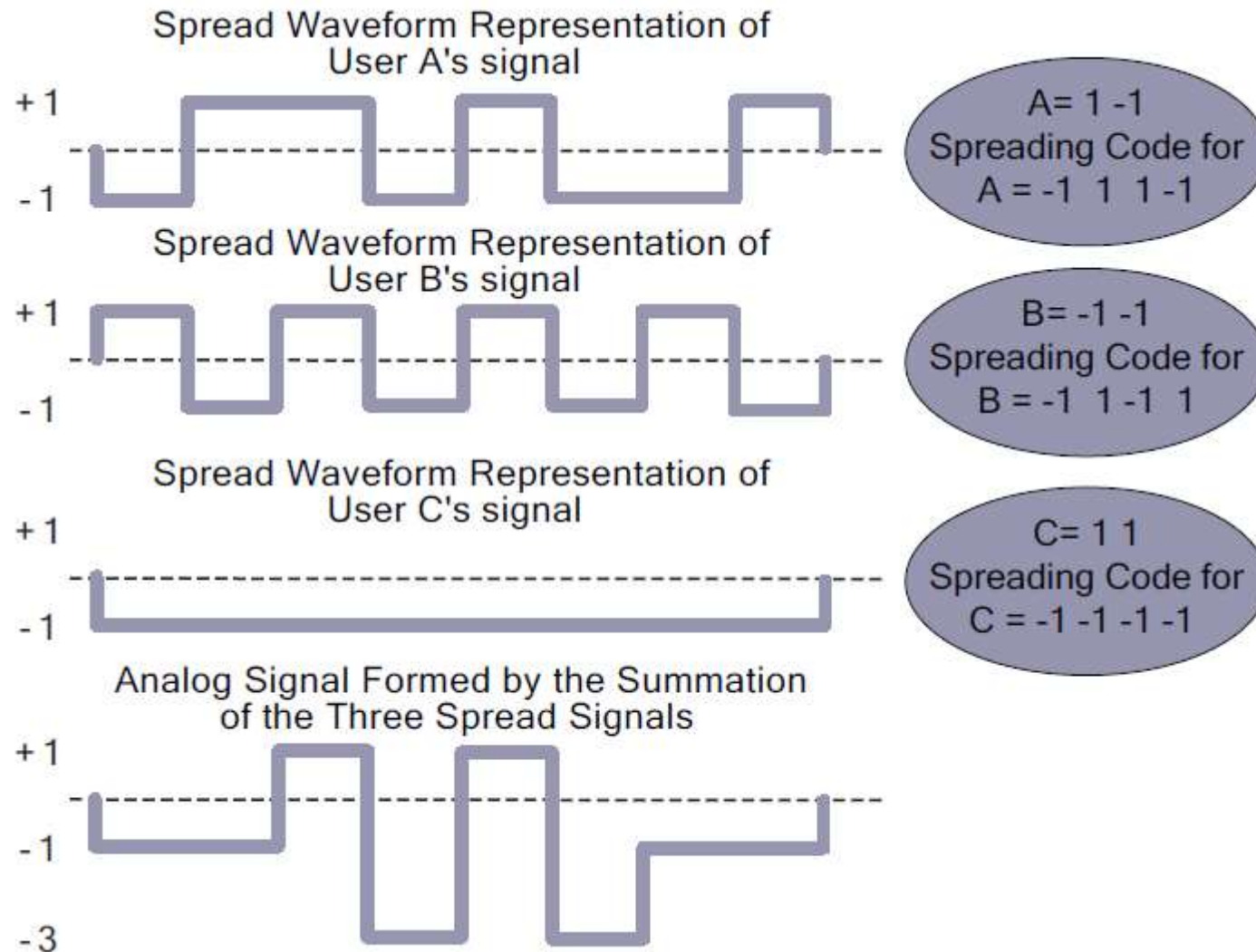
$$H_{2n} = \begin{bmatrix} H_n & H_n \\ H_n & \overline{H_n} \end{bmatrix}$$

### Arbre des codes OVSF



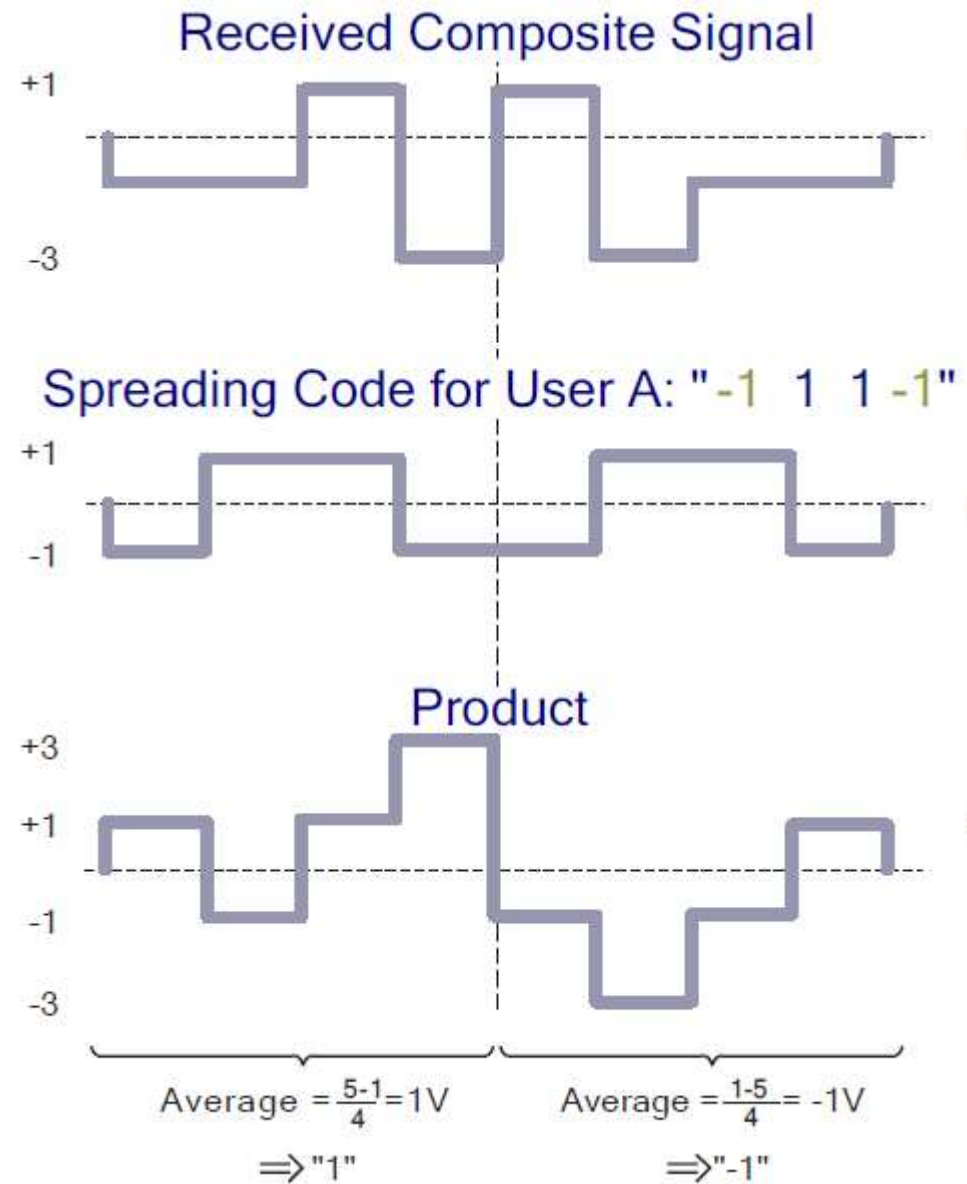


## Etalement du signal



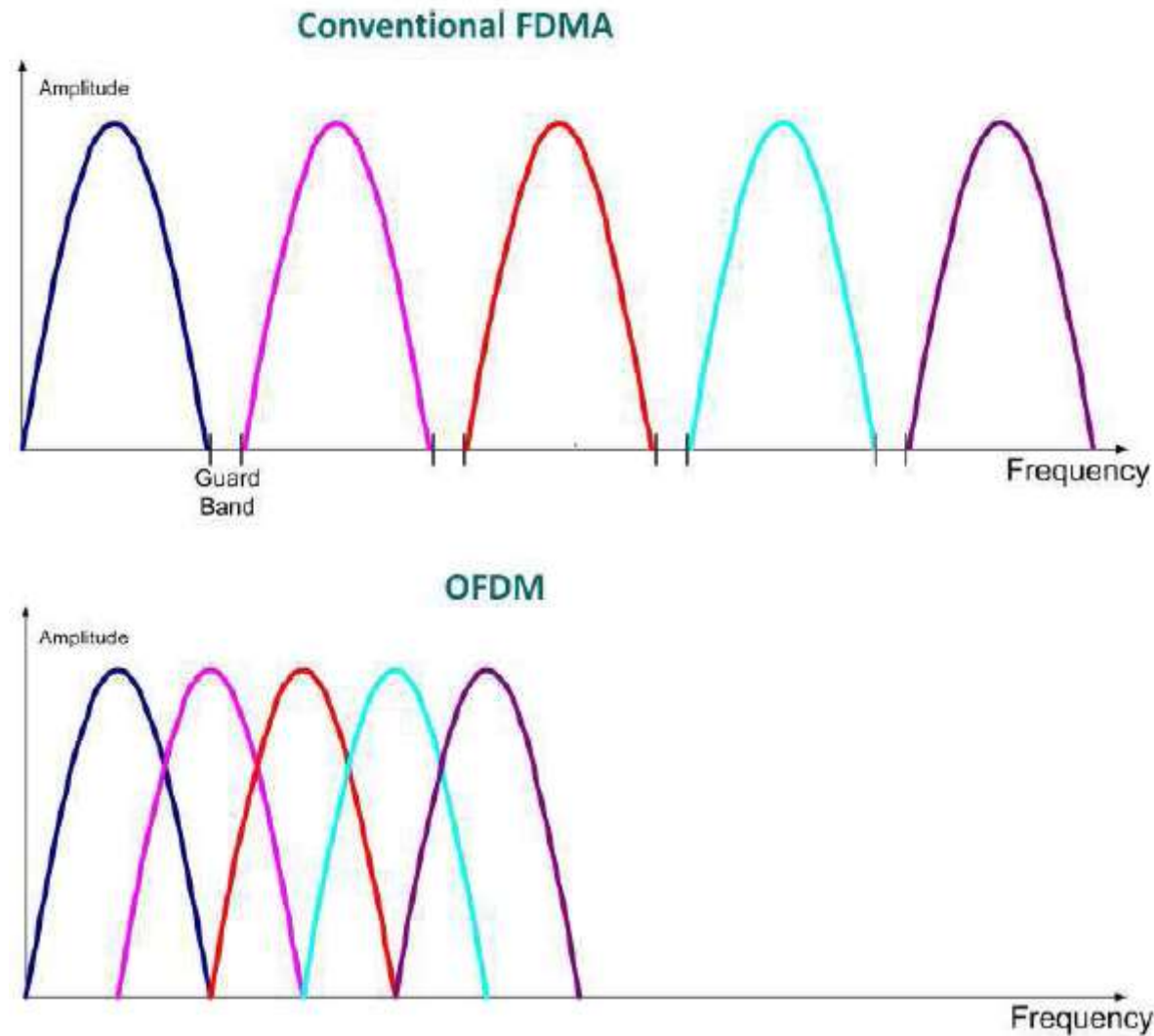


## Désétalement du Signal





## Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

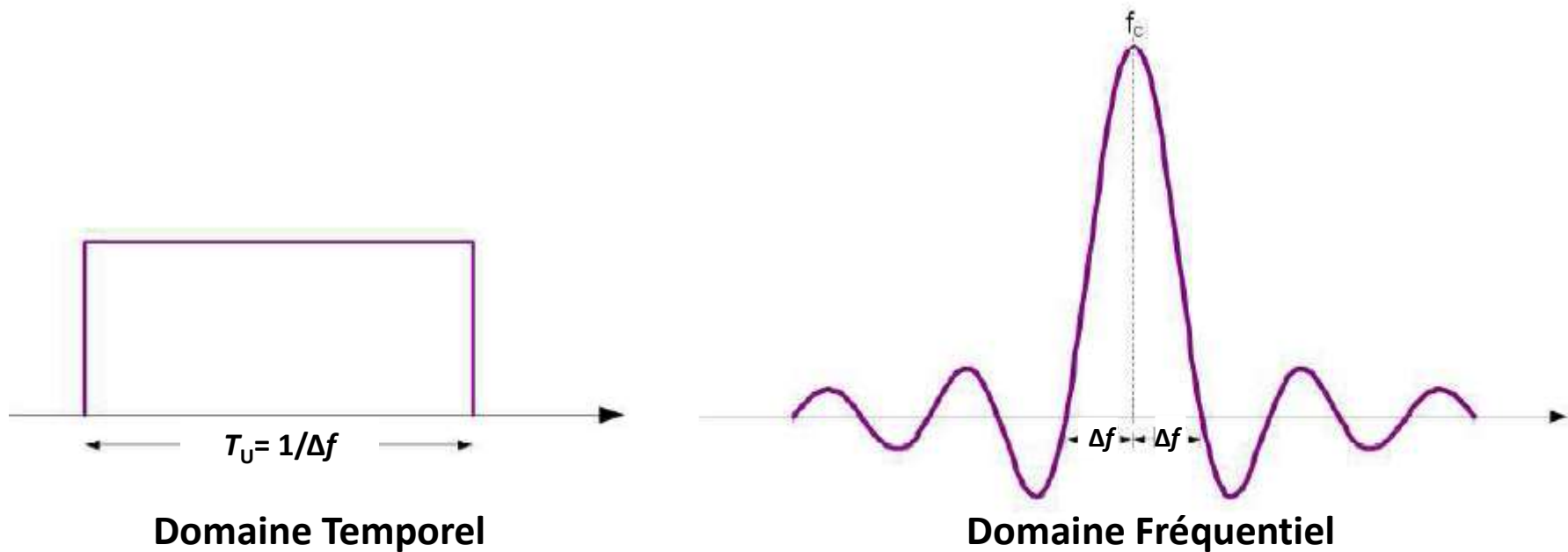






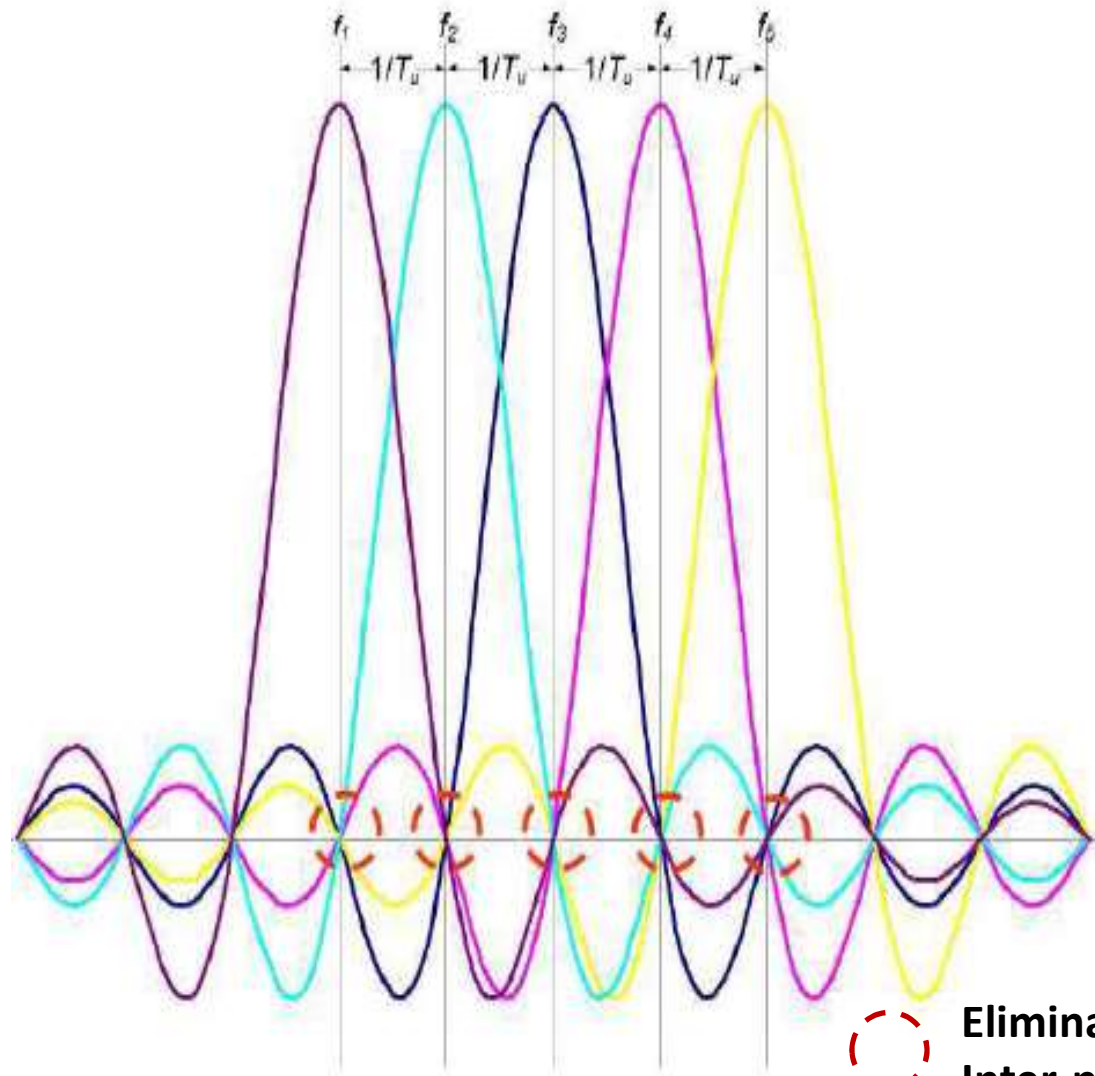
# OFDM

- ❑ Chaque symbole OFDM est une impulsion rectangulaire
- ❑ Une impulsion rectangulaire dans le domaine temporel correspond à un spectre en forme de sinc dans le domaine fréquentiel





# Orthogonalité OFDM



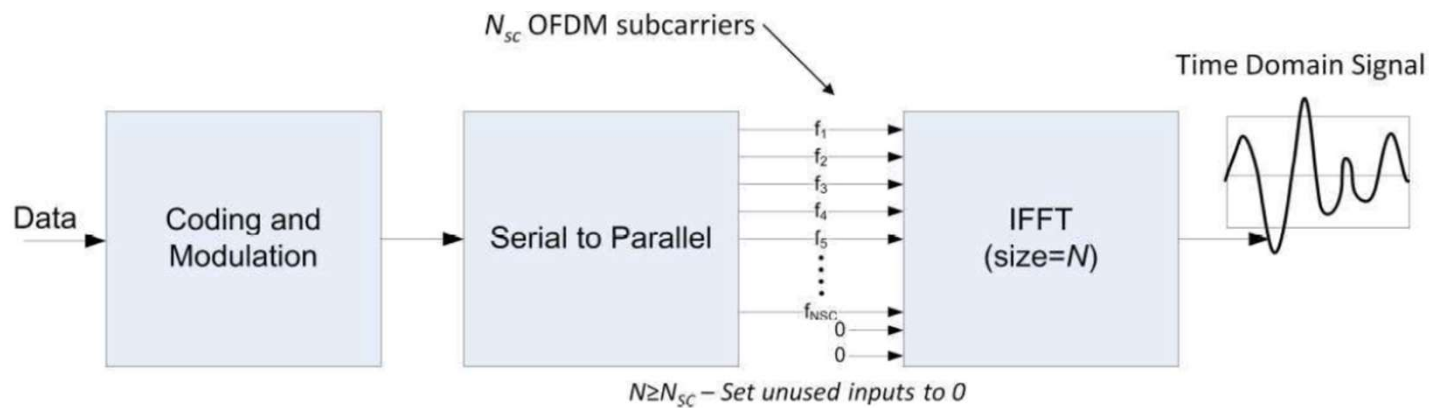
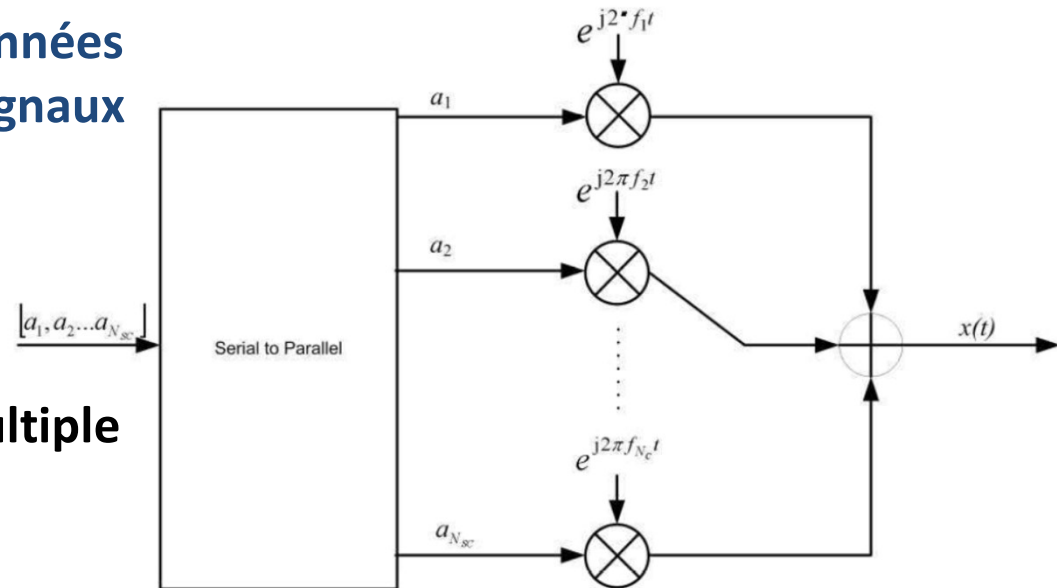
**Elimination des interférences  
Inter-porteuses**



# OFDM

❑ L'OFDM représente un flux de données unique sous la forme de plusieurs signaux parallèles à bande étroite

Individual bits mapped across multiple frequencies





# OFDM

## Avantages and Inconvénients

### Avantages Clés de l'OFDM

- **Augmentation de l'efficacité spectrale**
  - L'orthogonalité des porteuses permet le déploiement d'un grand nombre de porteuses à bande étroite étroitement espacées
- **Robustesse à l'évanouissement par trajets multiples**
  - Préfixe Cyclique et le choix du  $T_u$  (La longueur du symbole)
- **Allocation de bande passante flexible**
  - La bande passante étroite augmente la flexibilité

### Inconvénients de l'OFDM

- **Peak to Average Power Ratio (PARP) élevé**
  - La puissance instantanée varie considérablement par rapport à la puissance moyenne.
    - Amplificateur de puissance à faible efficacité ou
    - Augmentation du coût
- **Sensible aux erreurs de fréquence et de synchronisation**
  - L'émetteur et le récepteur doivent rester synchronisés



## PAPR and the Uplink

**High Peak to Average Power Ratio (PAPR) est un problème important pour la liaison montante**

- Avec OFDM, une grande variations de puissance par porteuse

**Les caractéristiques requise pour un émetteur UE sont:**

- Faible complexité
- Puissance de transmission limitée
- Faible coût

**Ces caractéristiques peuvent être réalisées en utilisant Single Carrier Frequency Division Multiple Access (SC-FDMA)**

- Utilise un précodage Discrete Fourier Transform (DFT) pour obtenir un signal à faible variations de puissance



## SC-FDMA

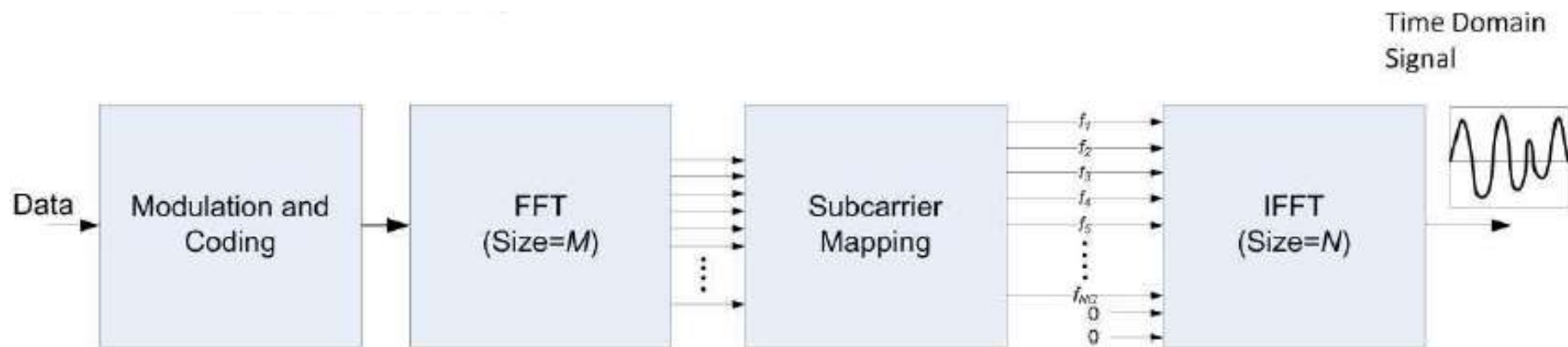
❑ SC-FDMA utilise un précodage DFT des données utilisateur

- Les bits/symboles sont mappés sur plusieurs fréquences

❑ La taille du DFT ( $M$ ) définit le nombre de sous-porteuses allouées au données utilisateur

❑ Le signal dans le domaine temporel ressemble davantage à une porteuse unique

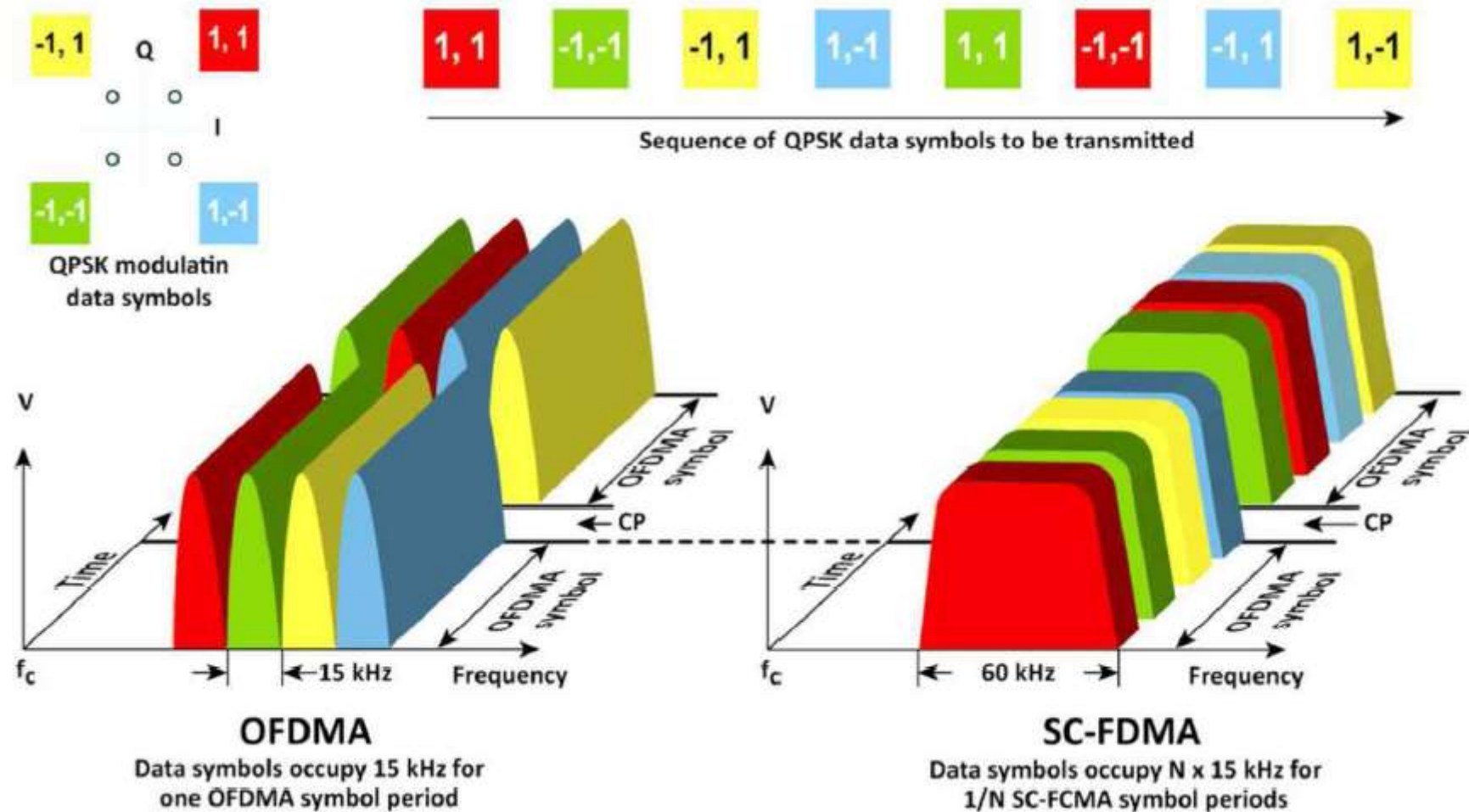
- PARP réduit







## OFDMA vs SC-FDMA: Exemple





# OFDMA

**Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) est un schéma d'accès multiple basée sur la technique OFDM**

- OFDMA alloue des sous-canaux à plusieurs utilisateurs en même temps
- Resource Block (RB) définit un groupe continu (contiguous) des sous-canaux

