

# Ressource R404

## Réseaux cellulaires – Partie 1

---



IUT Béziers, dépt. R&T © 2014 - 2025

<http://www.borelly.net/>

[Christophe.BORELLY@umontpellier.fr](mailto:Christophe.BORELLY@umontpellier.fr)

# Contenus de la ressource

---

- Réseaux d'opérateurs pour mobiles.
- Connaître l'architecture des réseaux mobiles actuels (2G-5G, xG), notions de cœur de réseau.
- Connaître les débits et les services offerts par les réseaux.
- Connaître les bases de la couche radio et les procédures d'accès au réseau.
- Connaître les critères d'évaluation de la qualité de service dans un réseau cellulaire (couverture/cartographie, choix des protocoles, services, ...).

**Cours 3+1 (1h15), TD 4 (1h15), TP 3 (2h45) – App CM 2**

# Les différentes technologies (1)

---

- **1G** : 1970 **NMT** (Nordic Mobile Telephon) Suede (1981)
  - 1978 **AMPS** (Advanced Mobile Phone System) Bell labs (US) – Analogique
  - 1979 **TZ-801** à **TZ-803** par **NTT** (Nippon Telegraph and Telephone)
  - 1985 - **Radiocom 2000** en France
- **2G** : 1987 - **GSM** (Global System for Mobile) 9,05 kbps (1991)
  - **ETSI** (European Telecommunications Standards Institute)
- **2.5G** : 1997 - **GPRS** (Global Packet Radio Service) 171,2 kbps – Release 97 (2001)
- **2.75G** : 1998 - **EDGE** (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) 384 kbps – Release 98
- **3G** : 1999 - **UMTS** (Universal Mobile Telecommunications System) 1,9 Mbps (2004)
  - **3GPP** (3rd Generation Partnership Project) Release 99
- **3.5G** (3G+) : 2002 - **HSPA** (High Speed Packet Access) 14,4 Mbps – Release 5
- **3.75G** (3G++, H+) : 2004 - **HSPA+** (High Speed Packet Access +) 21 Mbps – Release 6
- **3.75G** (H+ Dual Carrier) : 2008 - **DC-HSPA+** (Dual-Cell HSPA +) 42 Mbps – Release 8

# Les différentes technologies (2)

---

- **3.9G** (4G) : **LTE** (Long Term Evolution) 300 Mbps
- **4G** : 2011 - **LTE-Advanced** 1 Gbps – Release 10 (2013)
- **4.5G/4.9G** : 2016 - **LTE-A Pro** 3 Gbps – Release 13
- **5G** : 2018 - **NR** (New Radio) jusqu'à 10 fois plus rapide que la 4G – Release 15
- **5G-Advanced** : 2023 – Release 18
- **6G** prévue pour 2025-2029... (débit 50/100 fois la 5G – 1 Tbps)

# Réseaux cellulaires

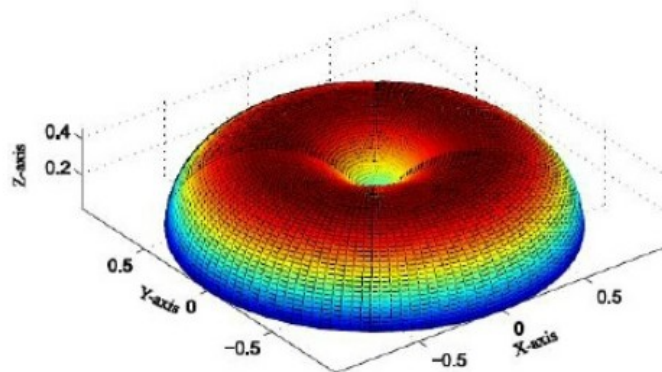
---

- Les réseaux radios sans fil permettent à un utilisateur de se déplacer tout en gardant l'accès aux services proposés par l'opérateur.
- On installe donc des antennes fixes aux endroits « stratégiques » du territoire.
- Chaque antenne définit une ou plusieurs **cellules** (zone où l'on peut recevoir le signal d'une antenne donnée sur une fréquence donnée).

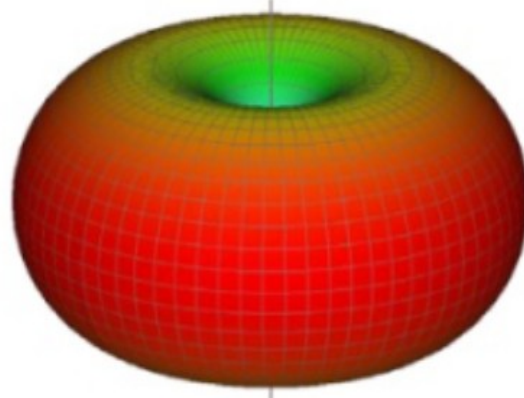
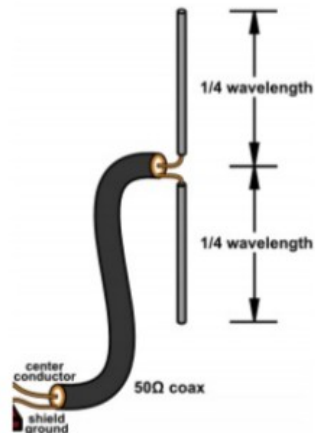
# Diagrammes de rayonnement

<https://arduino103.blogspot.com/2018/11/antenne-graphique-diagramme-de-radiation.html>

## Unipole Antenna

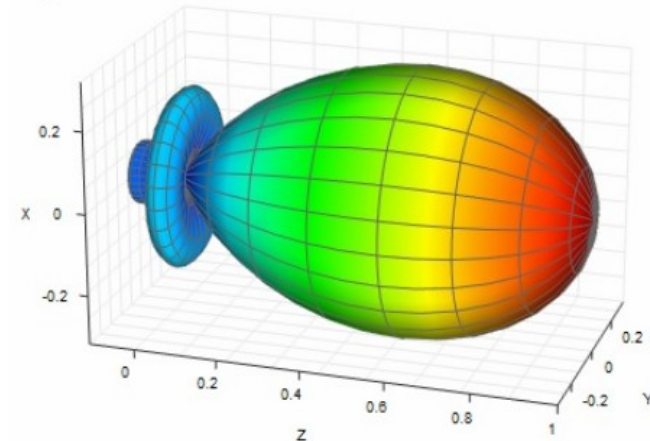
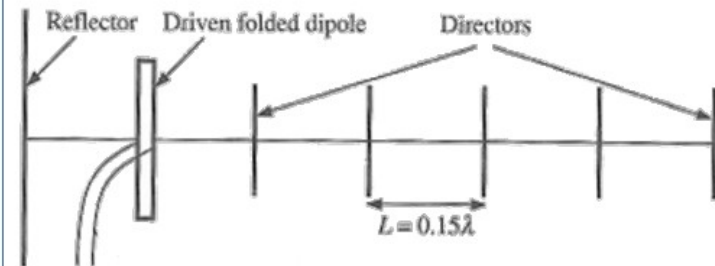


## Dipole Antenna



## Yagi Antenna

direction of maximum radiation ---->



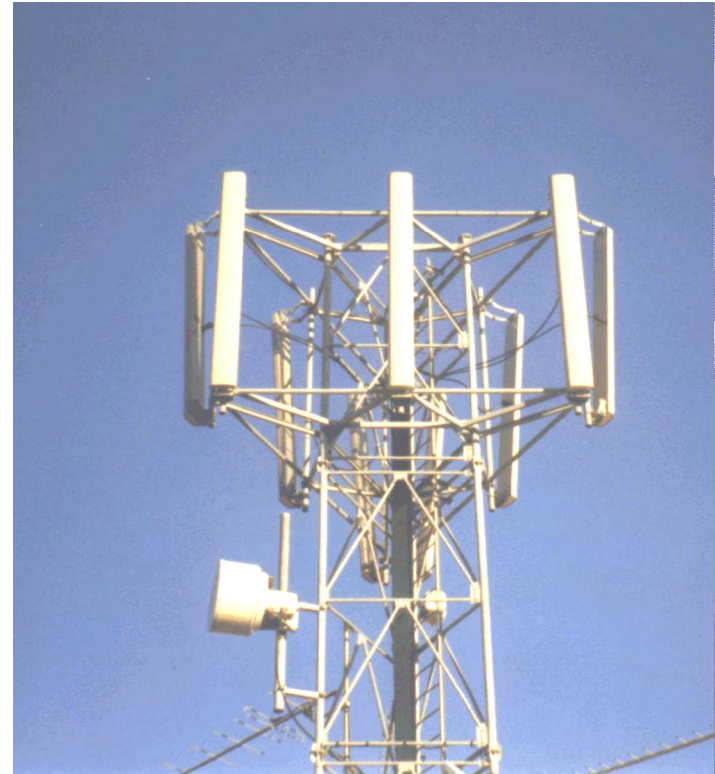
**A 6 elements Yagi can offer a gain up to 11.2 dBi.  
A 11 elements Yagi can double that gain !!!**



See the wiki for a Yagi Antenna with build dimensions for 433Mhz antenna.

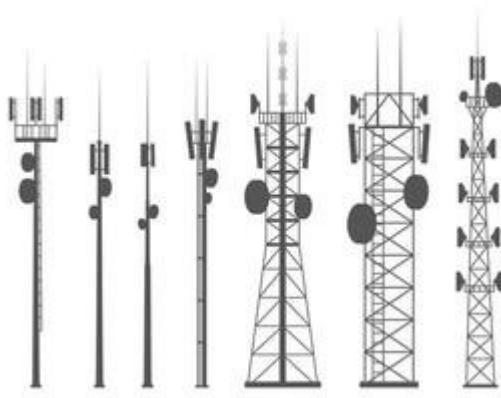
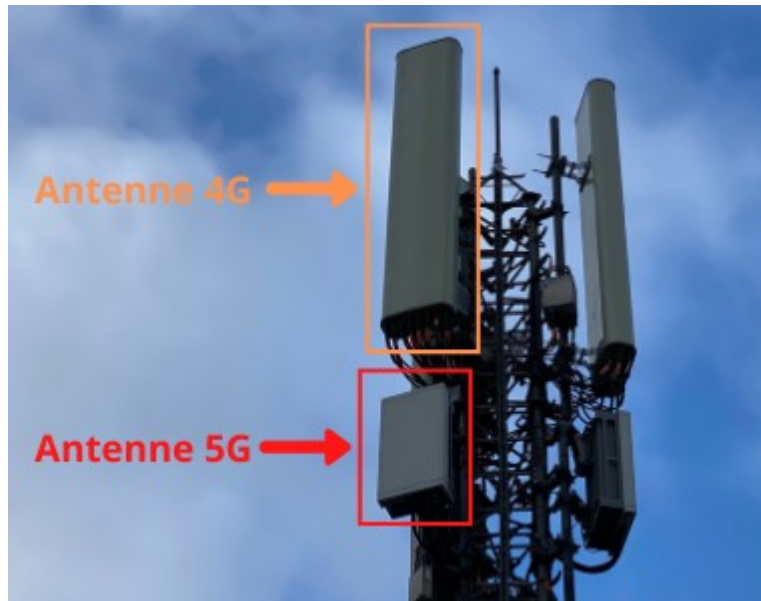
# Les antennes

- Regroupement des équipements fixes du réseau radio
- Antennes de plusieurs cellules (e.g. 3 cellules)
- Interconnexion avec les autres équipements du réseau par Liaisons Spécialisées ou Faisceaux Hertziens
- 2G : **BTS** (Base Transceiver Station)
- 3G : **nodeB**
- 4G : **eNodeB** (Evolved Node B)
- 5G : **gNB** (next generation Node B)



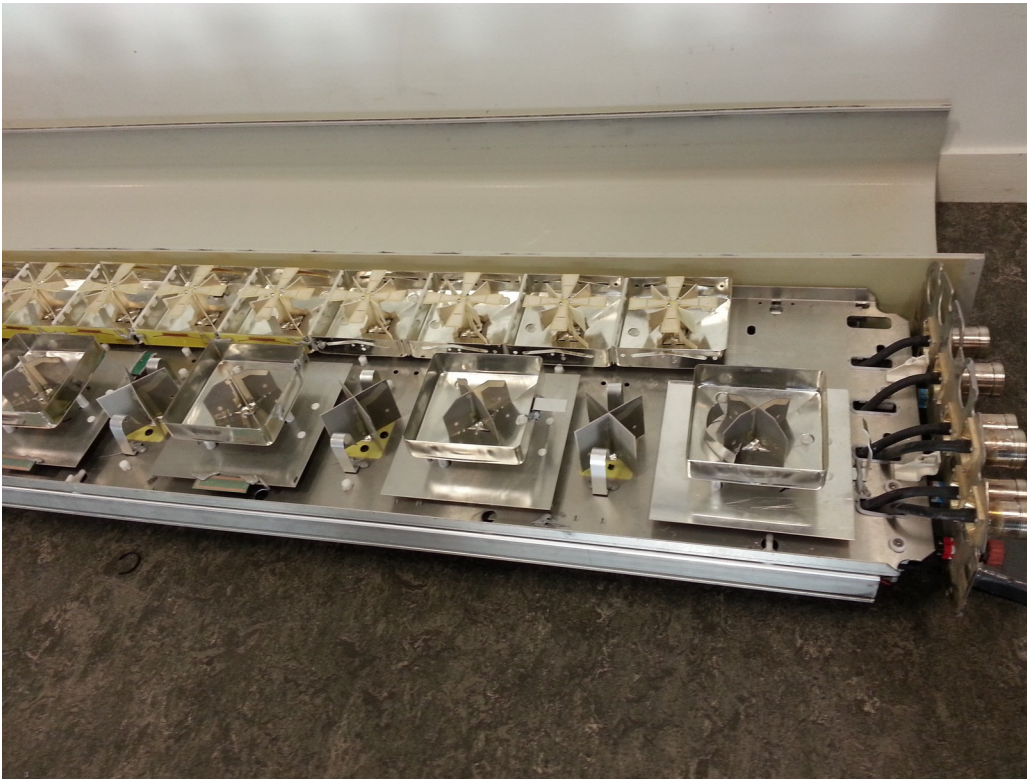


# Exemples



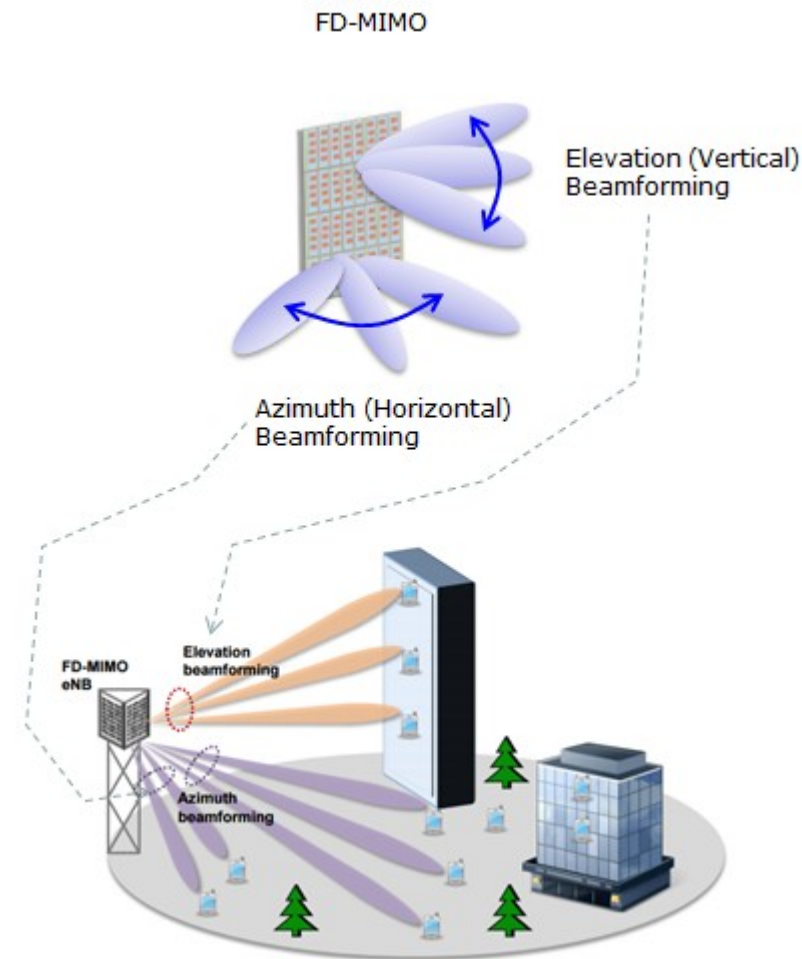
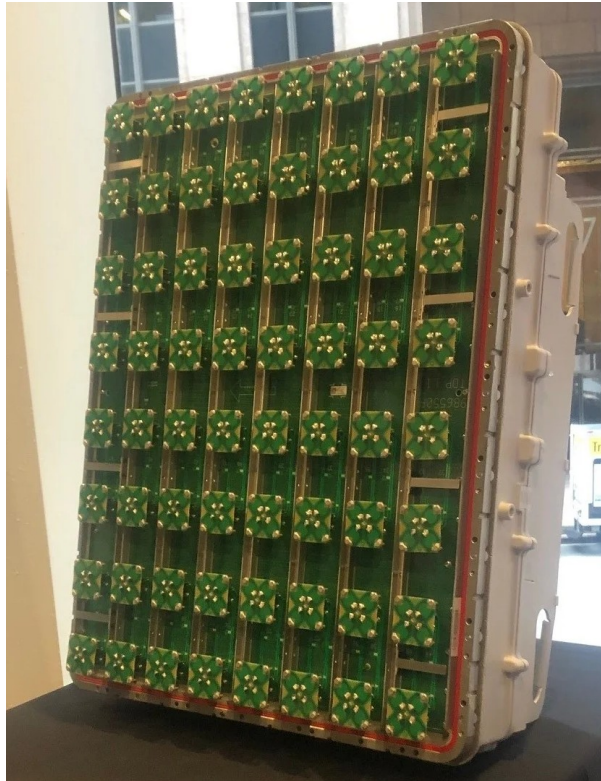


# Antenne 2G-3G-4G

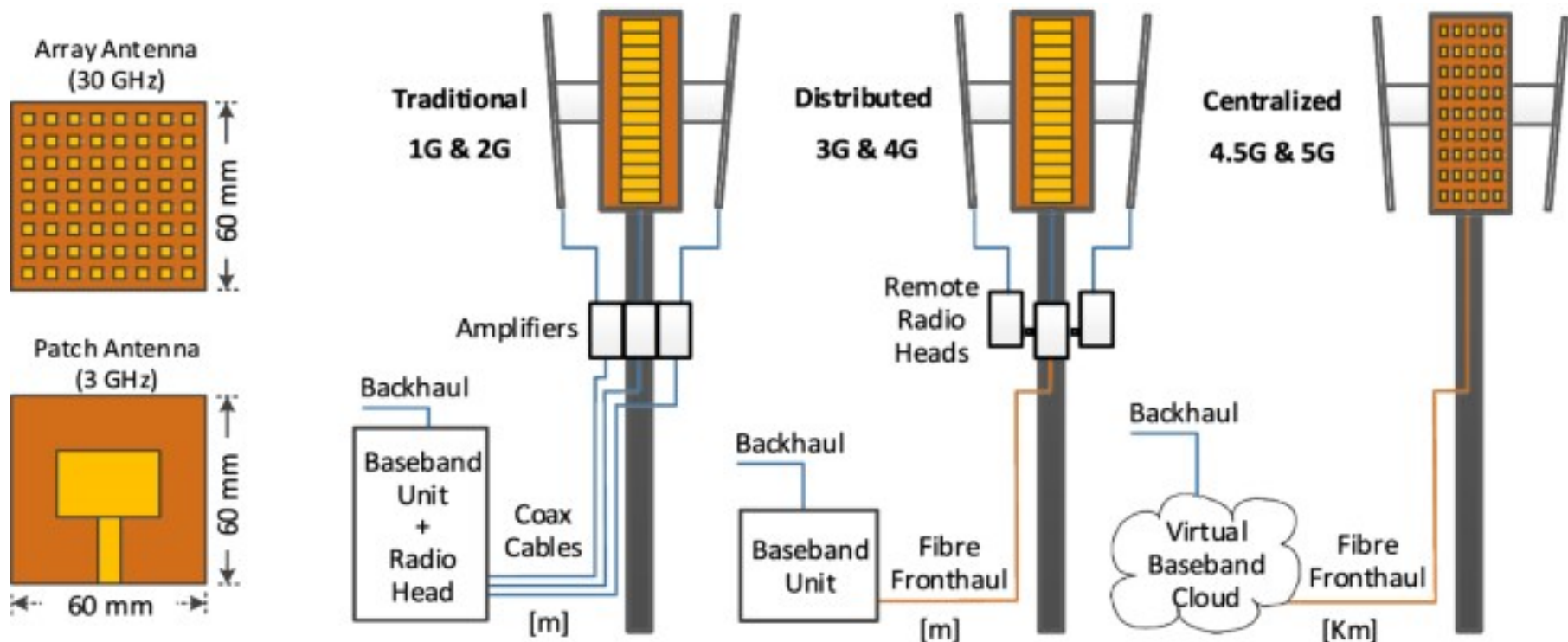


# Réseaux d'antennes 5G

## Full Dimension MIMO



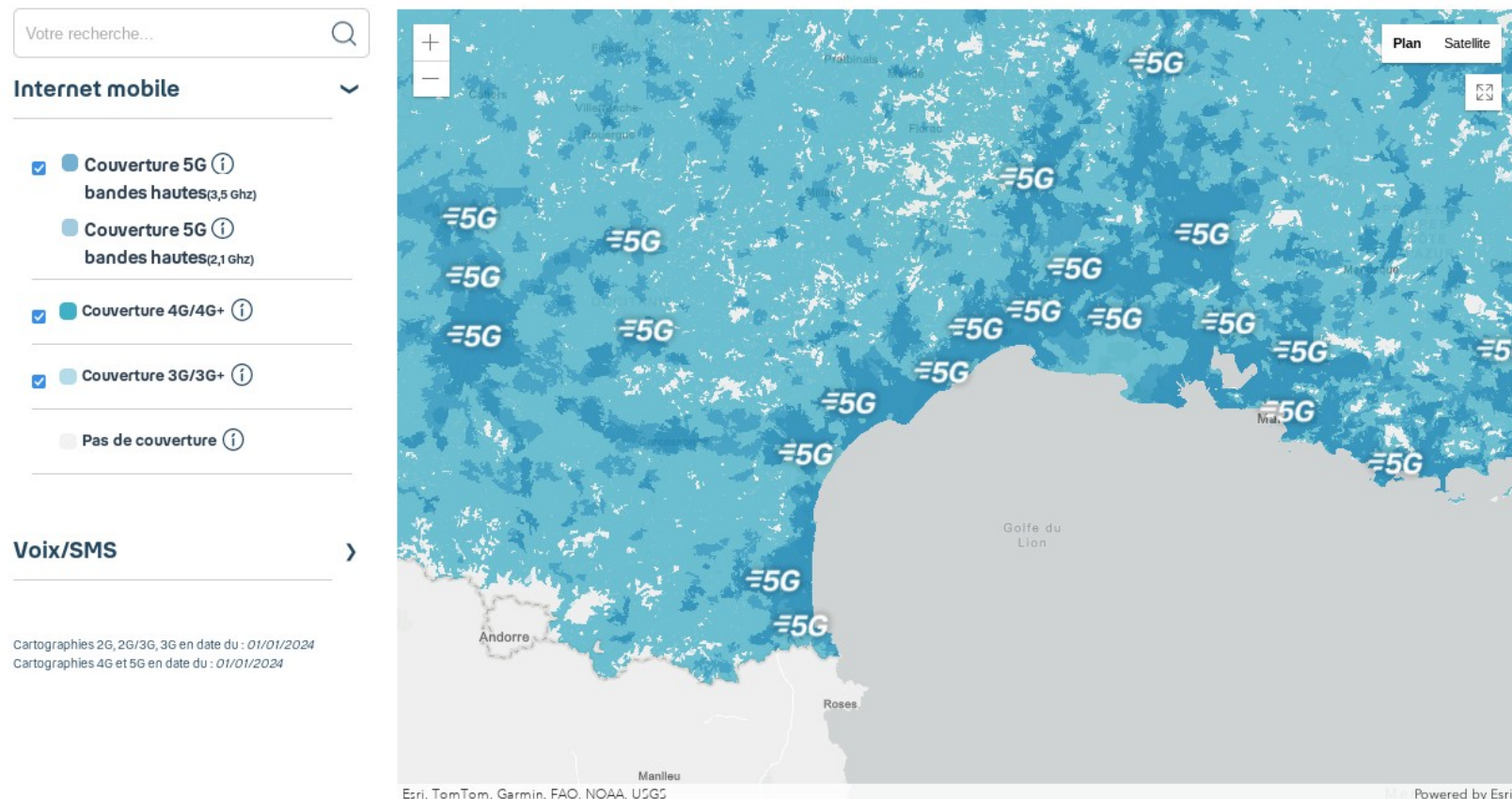
# Evolution des supports radio





# Zone de couverture

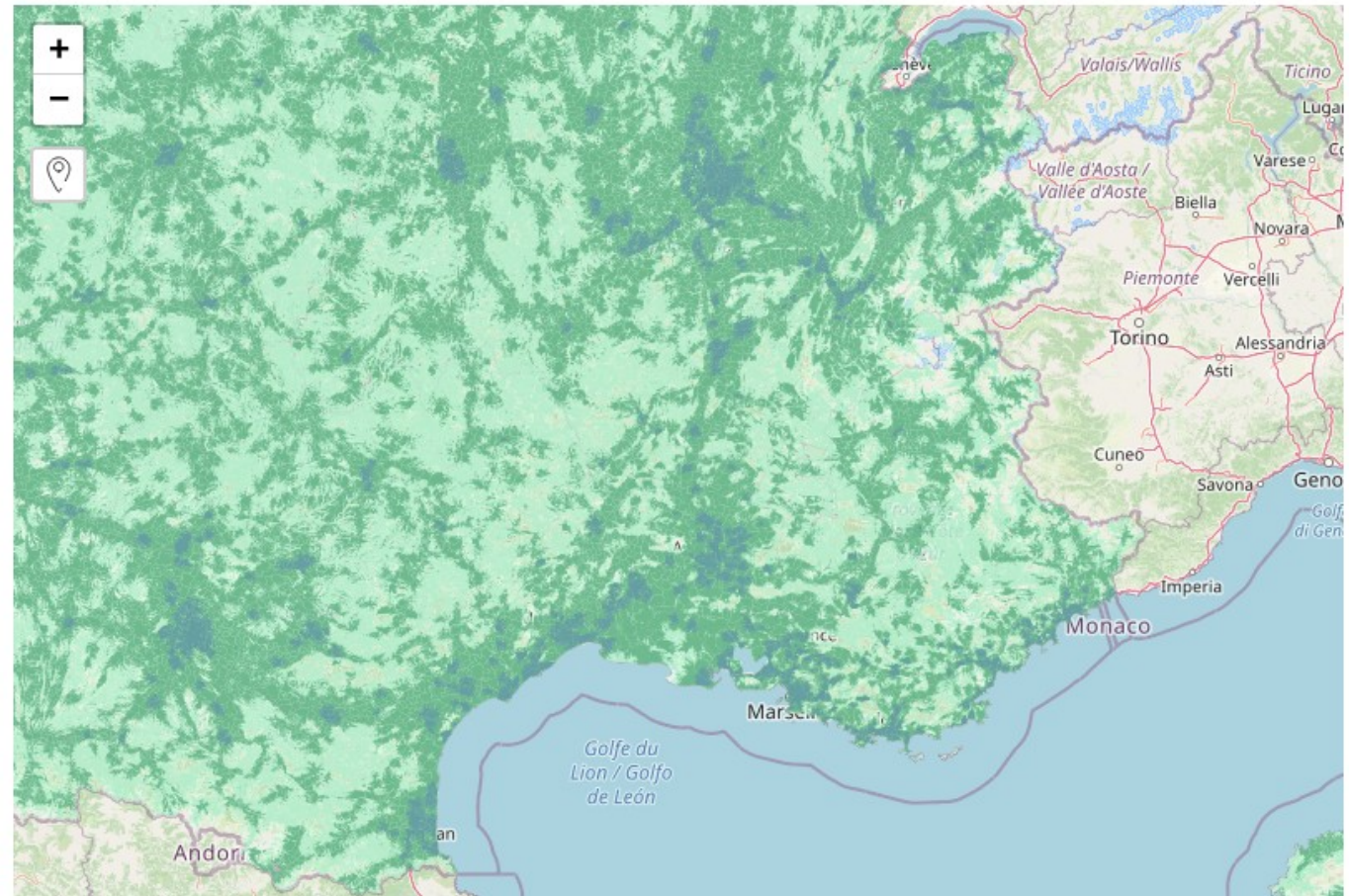
- La totalité des cellules d'un opérateur forme ce que l'on appelle la **zone de couverture**.



# Couverture autre opérateur

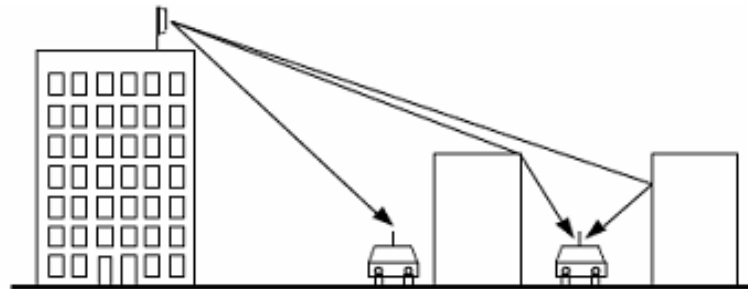
INTERNET MOBILE

VOIX / SMS



# Propagation des ondes radio

- Un onde électromagnétique peut subir plusieurs altérations sur son trajet :
  - Diffractions, réflexions, diffusions (évanouissements rapides).
  - Trajets multiples (en milieu urbain peu de trajets directs).
  - Obstacles (pouvant être mobiles) donnant des effets de masque (shadowing - évanouissements lents).
- Le signal reçu est la somme de toutes ces ondes :



# Puissance reçue

---

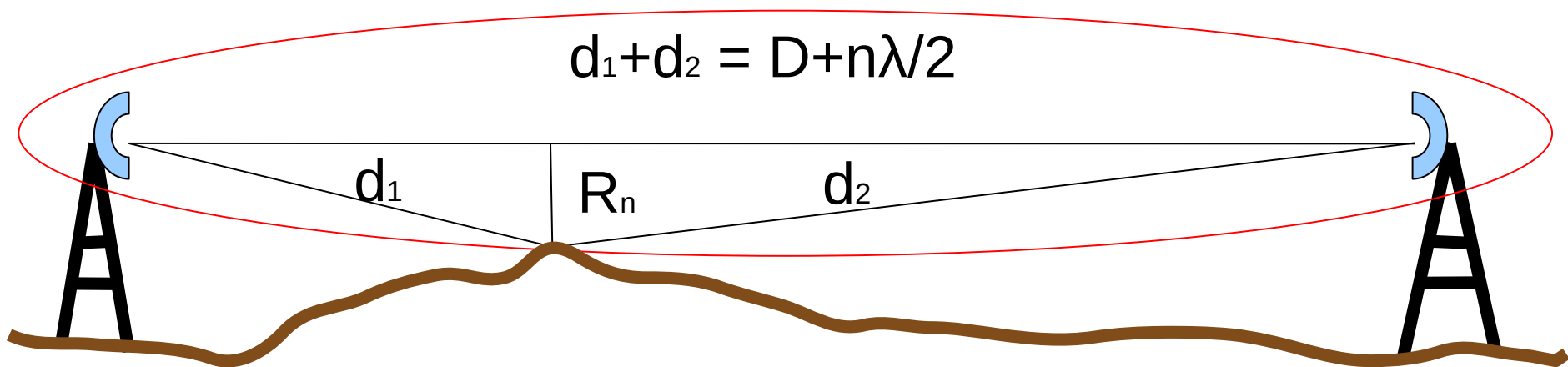
- Dans le vide, on a en décibel ( $10 \cdot \log_{10}(P)$ ) :
  - $P_r = P_e + G_e + G_r - \text{Pertes}$
- Atténuation en espace libre (Free Space Loss) :
  - $A_{\text{FSL}} \text{ (dB)} = 32,45 + 20 \cdot \log_{10}(d_{\text{Km}}) + 20 \cdot \log_{10}(f_{\text{MHz}})$
- Dans le cas général, on a :
  - $P_r = P_e + G_e + G_r - [A_{\text{FSL}} + A_{\text{shadow}} + A_{\text{fading}} + \dots]$



# Ellipsoïdes de Fresnel

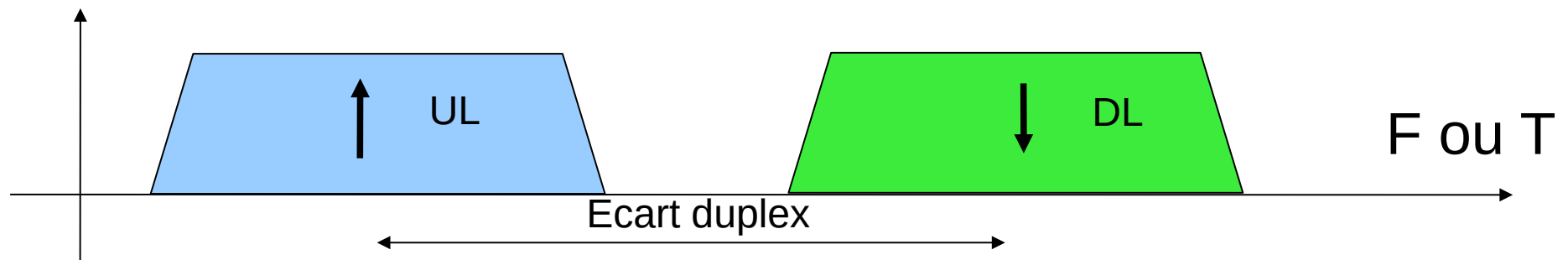
- UIT-R P.526-5
- Permet d'évaluer l'atténuation apportée par un obstacle.
- La règle expérimentale conseille d'avoir une zone dégagée sur 60% de la valeur du rayon du premier ellipsoïde ( $R > 0,6 \cdot R_1$ ) pour ne pas avoir de pertes.

$$R_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \Rightarrow R_{n(m)} \approx 547,533 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot d_{1(Km)} \cdot d_{2(Km)}}{F_{Mhz} \cdot (d_{1(Km)} + d_{2(Km)})}}$$



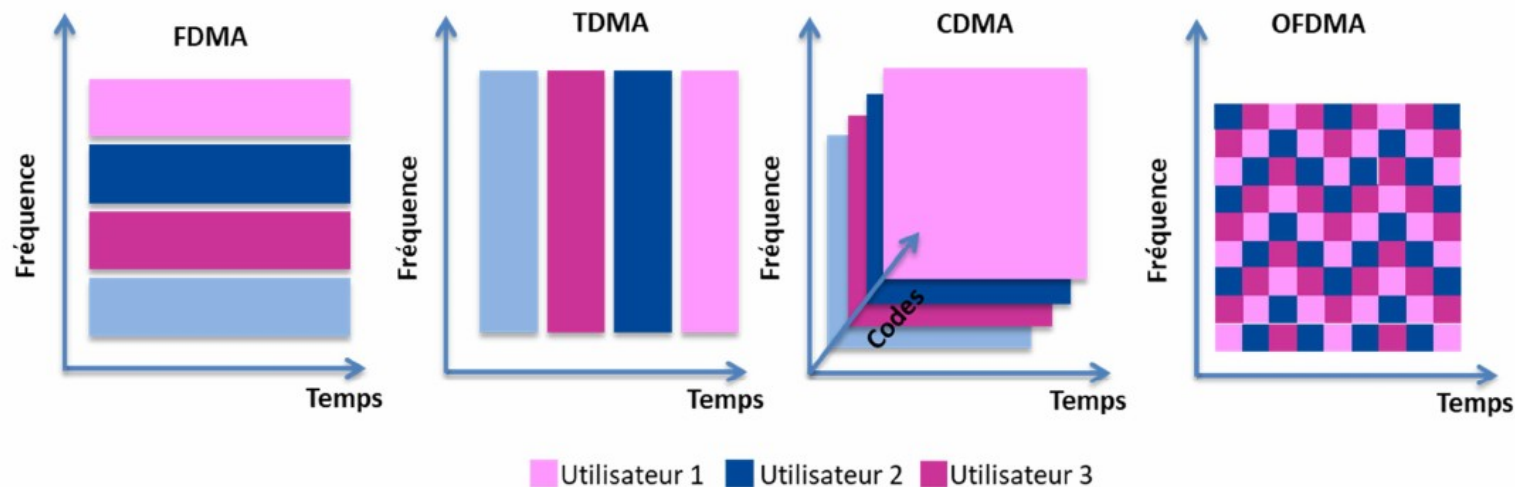
# Techniques de duplexage

- Séparation du sens **montant** (UL) et **descendant** (DL)
- **FDD** : Frequency Division Duplexing
- **TDD** : Time Division Duplexing



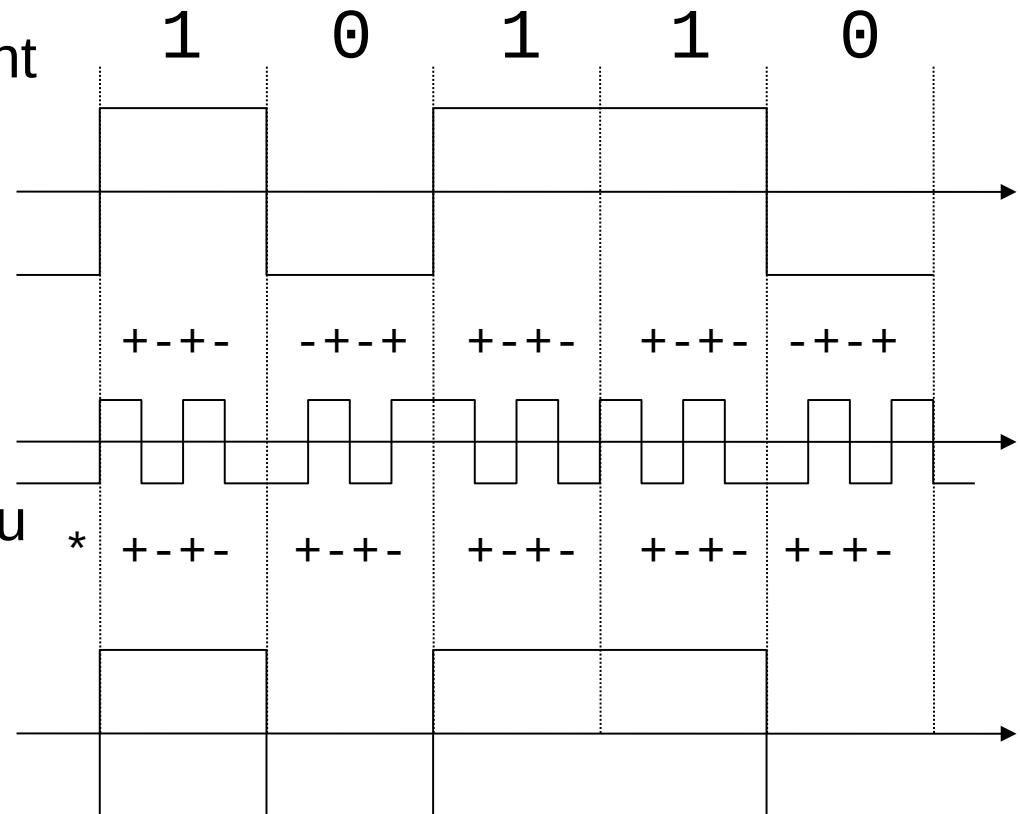
# Techniques d'accès multiple

- Accès au réseau par plusieurs utilisateurs de façon simultanée.
- **TDMA** : Time Division Multiple Access
- **FDMA** : Frequency Division Multiple Access
- **CDMA** : Code Division Multiple Access
- **OFDMA** : Orthogonal Frequency Division Multiple Access

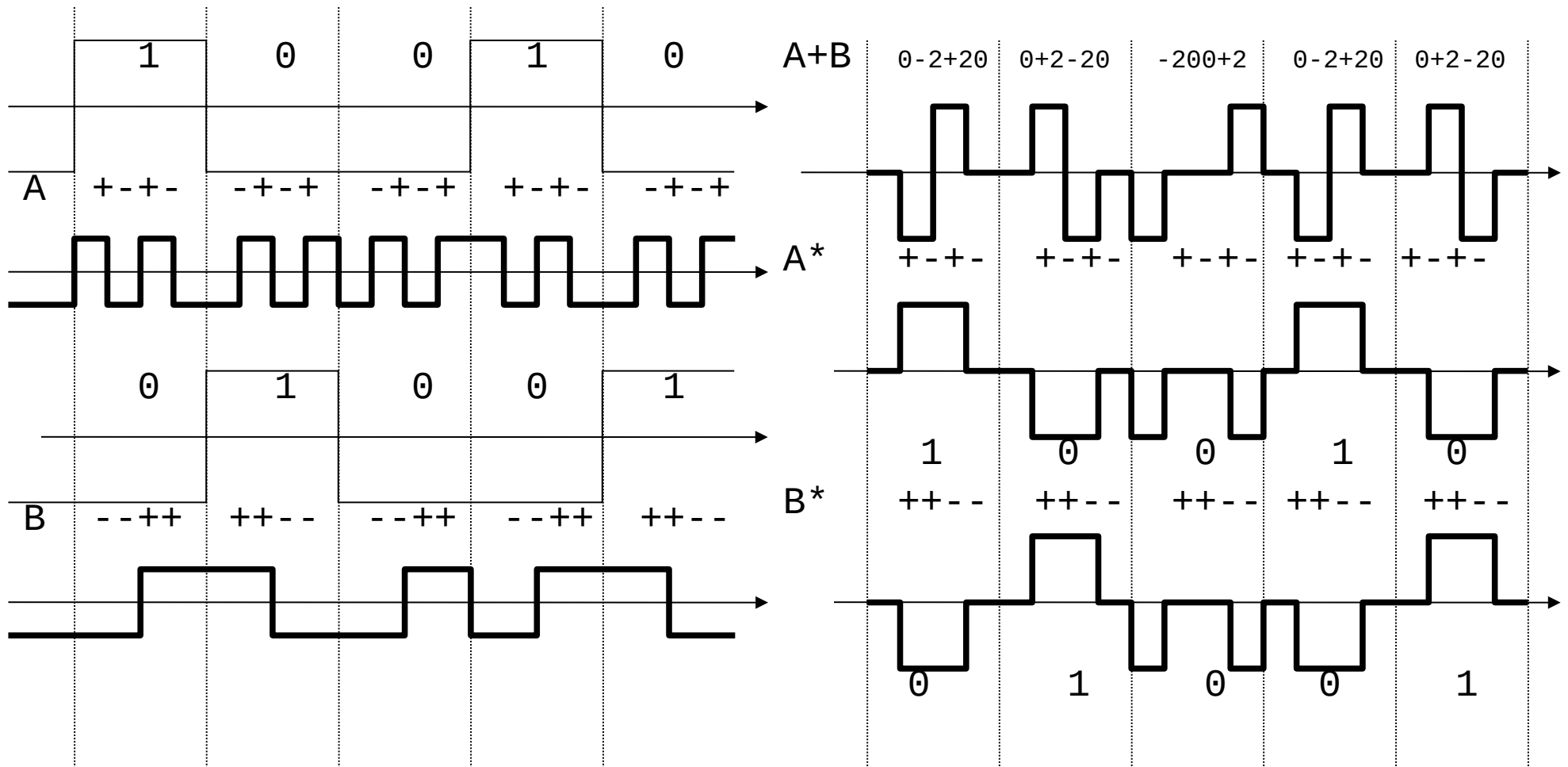


# CDMA

- Découpage d'un bit en n « chips » implique un étalement du spectre d'un facteur n.
- Moins de sensibilités aux interférences
- Le décodage se fait par multiplication et sommation
- Suivant les codes utilisés, le système doit être synchrone ou non.
- Exemple codes orthogonaux :
  - + + + +, + - + -, + + - -, + - - +



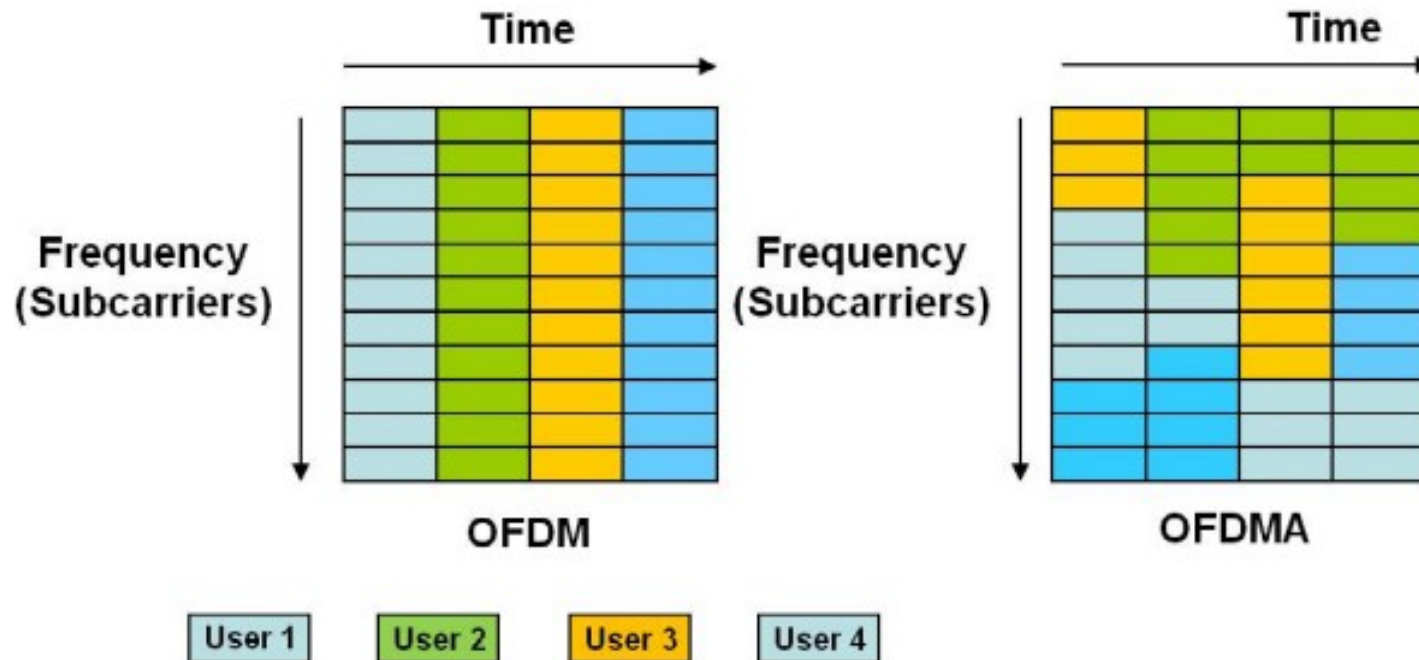
# CDMA (2 utilisateurs)



# OFDM / OFDMA

OFDM = Orthogonal Frequency Division Multiplexing

OFDMA = Orthogonal Frequency Division Multiple Access



# Références

---

- <http://www.3gpp.org>
- <https://www.anfr.fr> (Présentation générale de la 5G - 2019)
- <https://www.sharetechnote.com/>
- Massive MIMO Systems for 5G Communications – 2021  
(<https://doi.org/10.1007/s11277-021-08550-9>)