

# Ressource R404

## Réseaux cellulaires – Partie 1

---



IUT Béziers, dépt. R&T © 2014 - 2023

<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)**

# Les différentes technologies

---

- **1G** : Radiocom 2000 analogique
- **2G** : **GSM** (Global System for Mobile) 9,05 kbps
- **2.5G** : **GPRS** (Global Packet Radio Service) 171,2 kbps
- **2.75G** : **EDGE** (Enhanced Data Rate for GSM Evolution) 384 kbps
- **3G** : **UMTS** (Universal Mobile Telecommunications System) 1,9 Mbps
- **3.5G** (3G+) : **HSPA** (High Speed Packet Access) 14,4 Mbps
- **3.75G** (3G++, H+) : **HSPA+** (High Speed Packet Access +) 21 Mbps
- **3.75G** (H+ Dual Carrier) : **DC-HSPA+** (Dual-Cell HSPA +) 42 Mbps
- **3.9G** (4G) : **LTE** (Long Term Evolution) 300 Mbps
- **4G** : **LTE-Advanced** 1 Gbps
- **4.5G/4.9G** : **LTE-A Pro** 3 Gbps
- **5G** : **NR** (New Radio) jusqu'à 100 fois plus rapide que la 4G ?

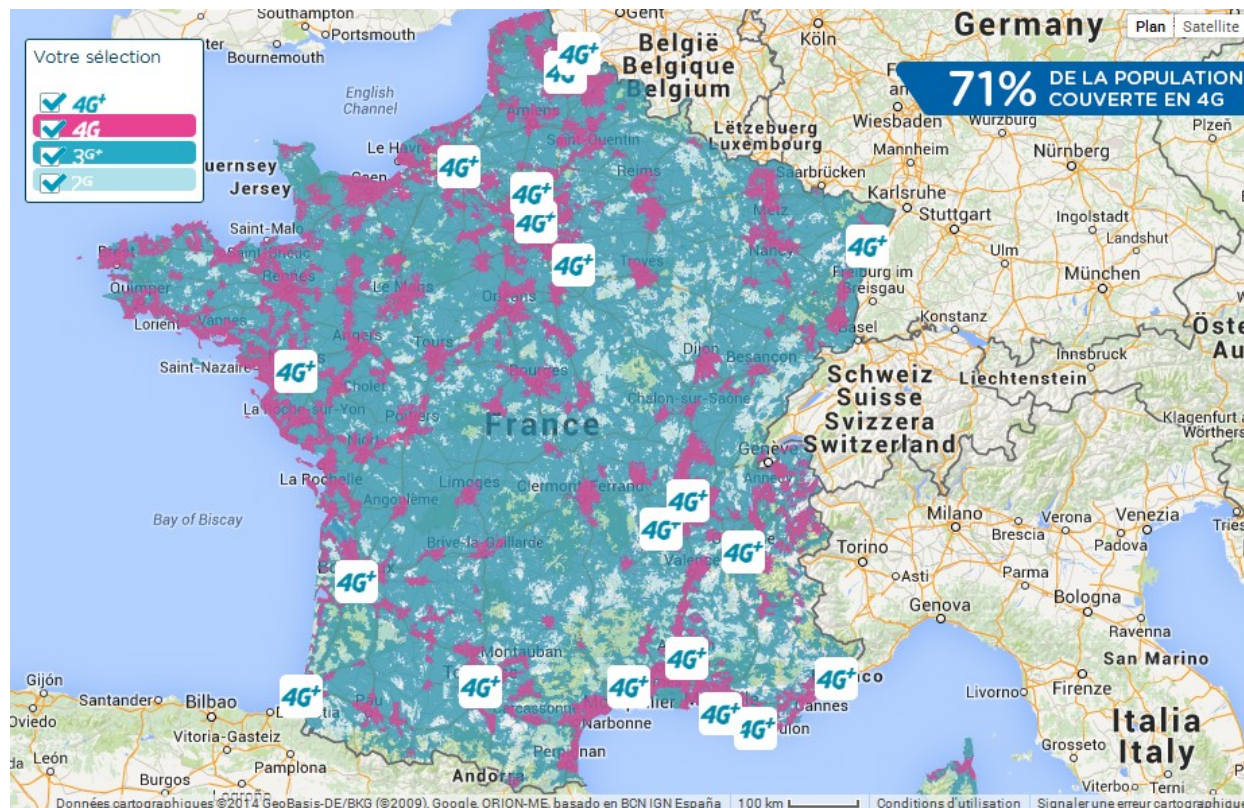
# Réseaux cellulaires

---

- 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).

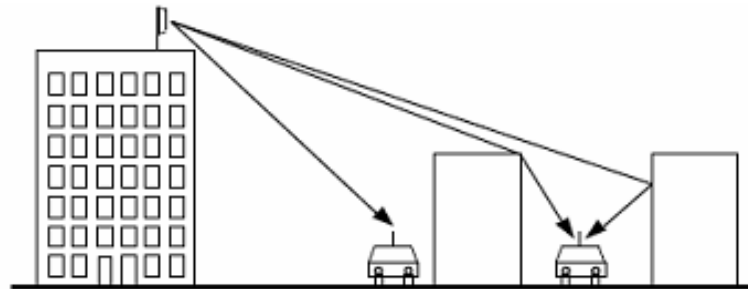
# Zone de couverture

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



# 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

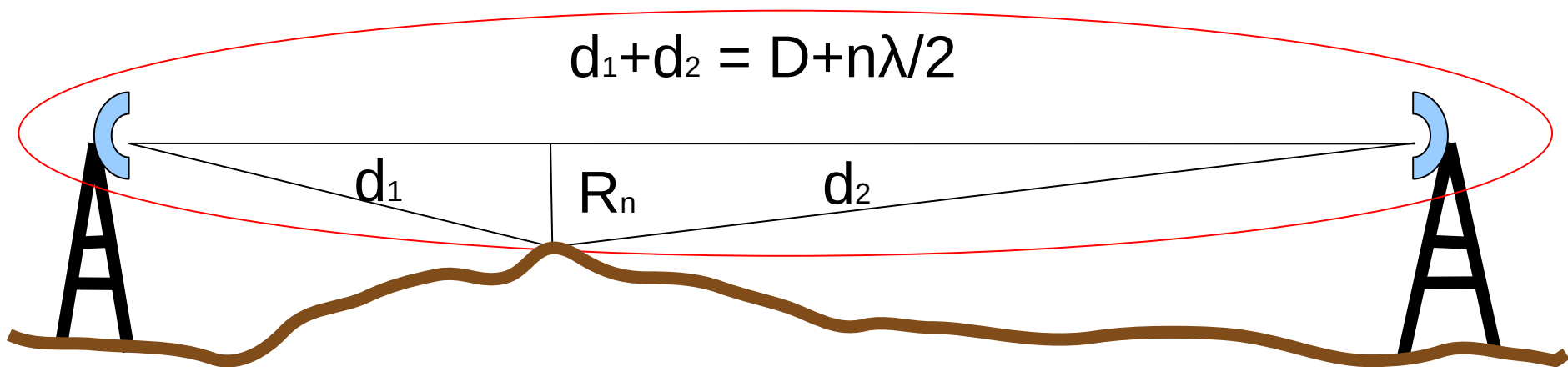
---

- 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.

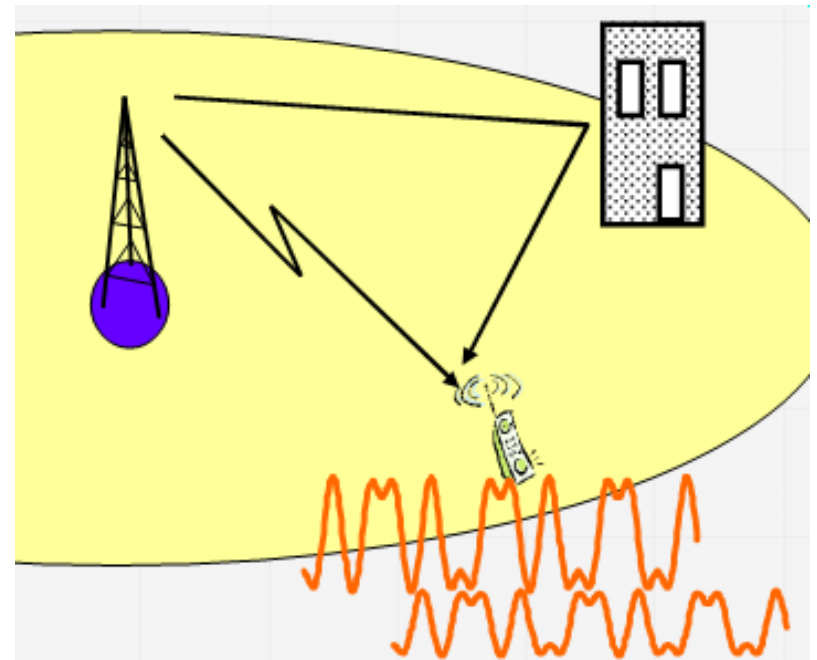
$$R_n = \sqrt{\frac{n \cdot \lambda \cdot d_1 \cdot d_2}{d_1 + d_2}} \Rightarrow R_{n(m)} \approx 547,533 \cdot \sqrt{\frac{n \cdot d_{1(Km)} \cdot d_{2(Km)}}{F_{Mhz} \cdot (d_{1(Km)} + d_{2(Km)})}}$$





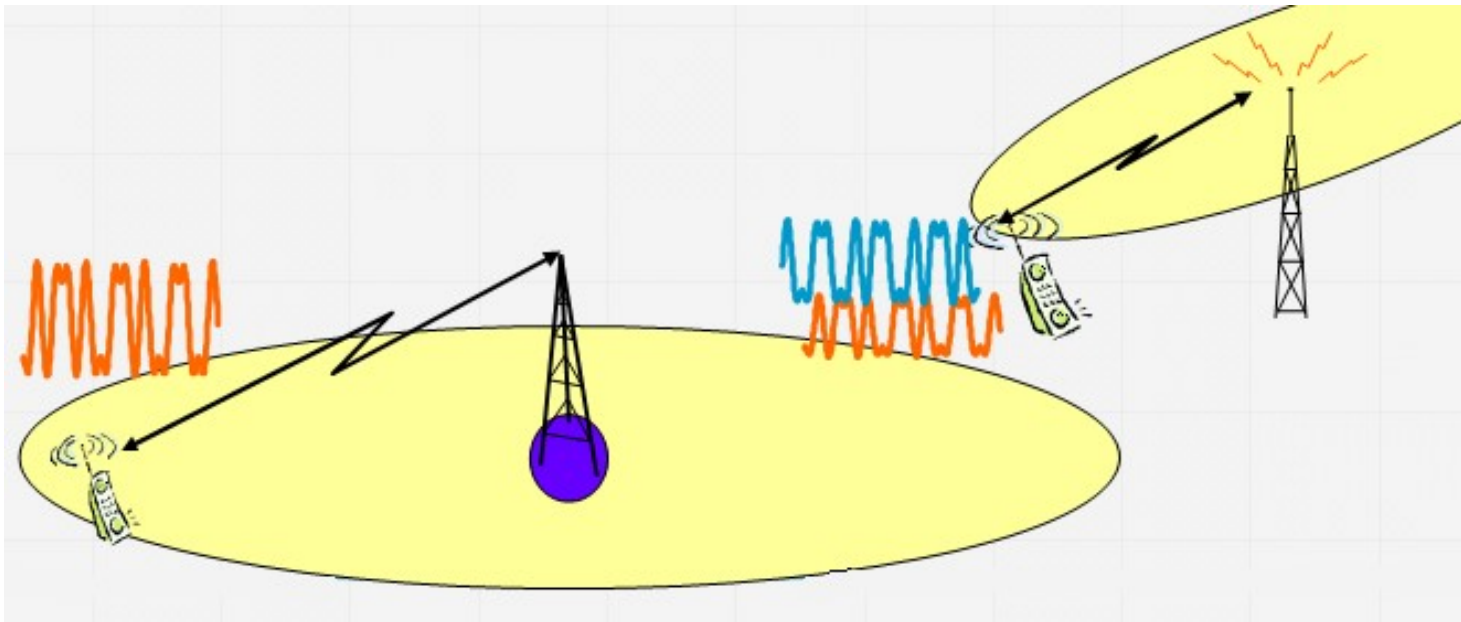
# Interférences IIS

- Interférences Inter-Symboles (**temporel**)
- Un symbole (1 ou plusieurs bits) est codé en général sur un Intervalle de Temps (IT).
- Lorsqu'une partie des symboles « voisins » se retrouvent dans l'IT d'un symbole donné (délais, réflexions,...), cela perturbe le décodage.



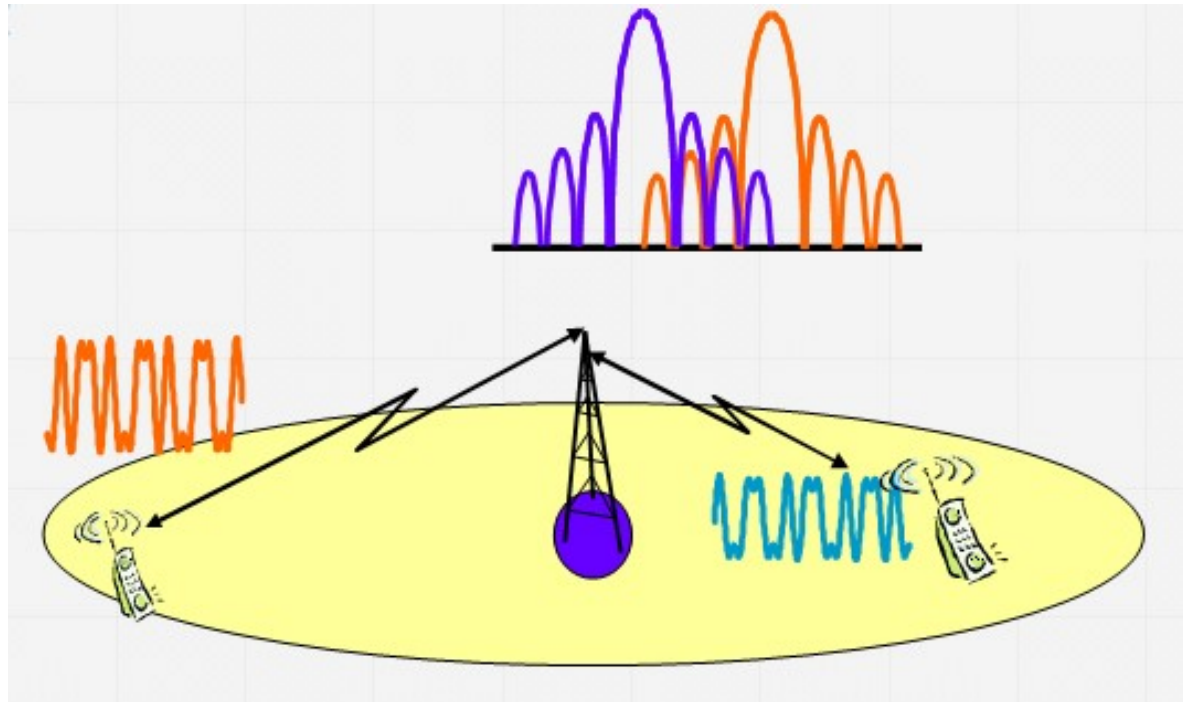
# Interférences ICC

- Interférences Co-Canal
- Interférences dues à une **même fréquence** utilisée par des équipements différents et proches spatialement



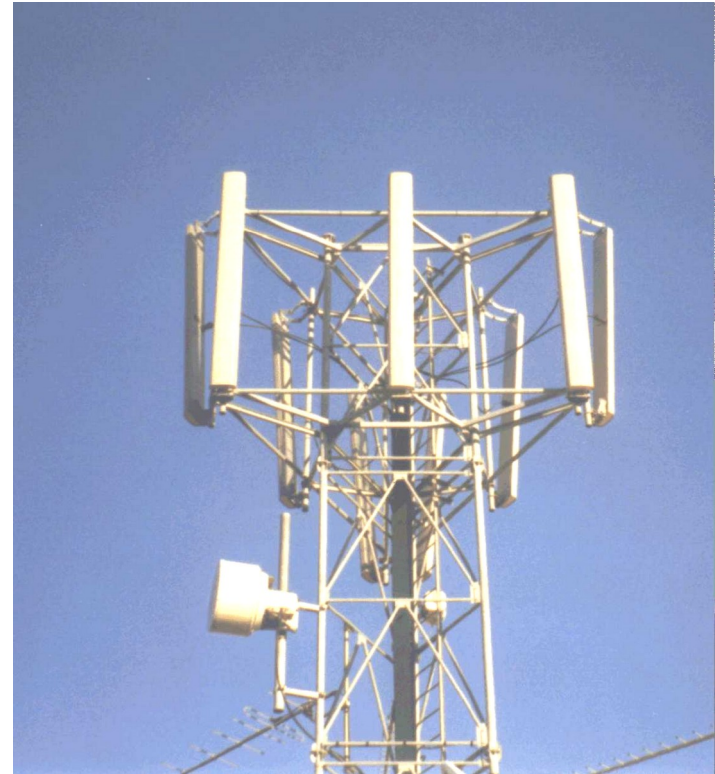
# Interférences ICA

- Interférences des Canaux Adjacents
- Utilisation de **fréquences voisines** engendrant des interférences au niveau du spectre.

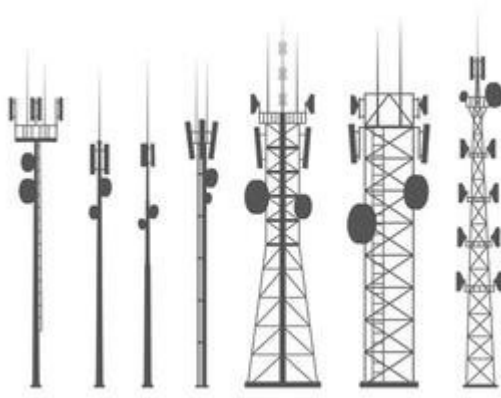
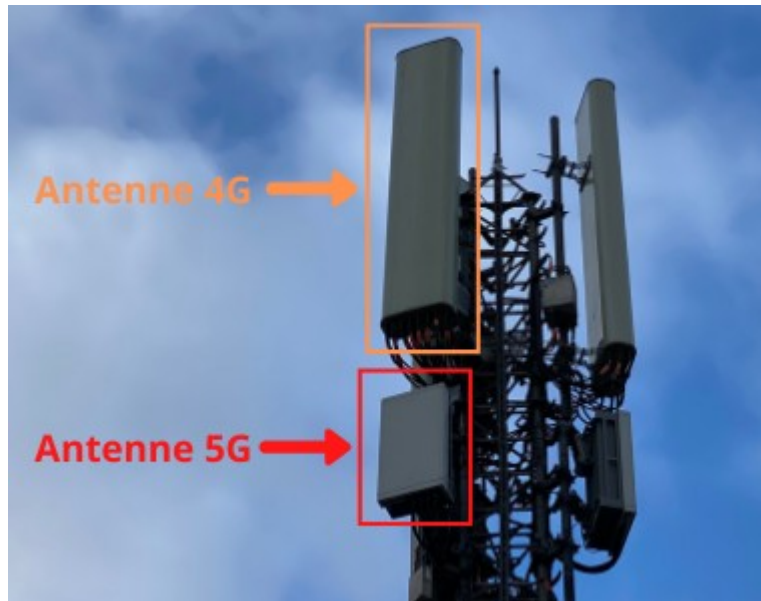


# Les antennes

- 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)

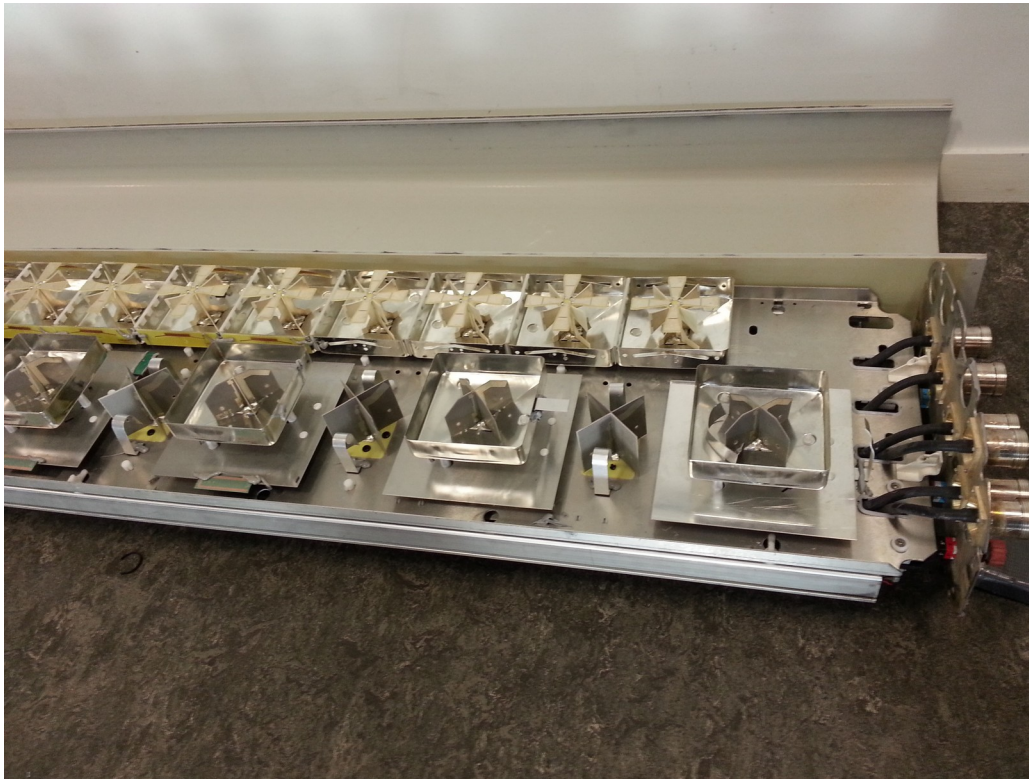


# Exemples

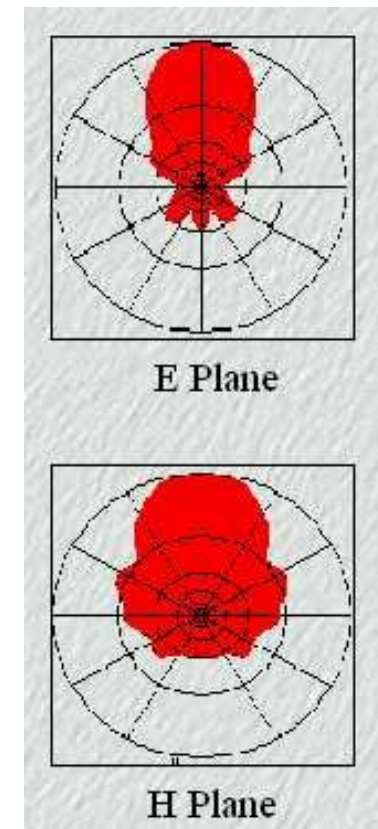
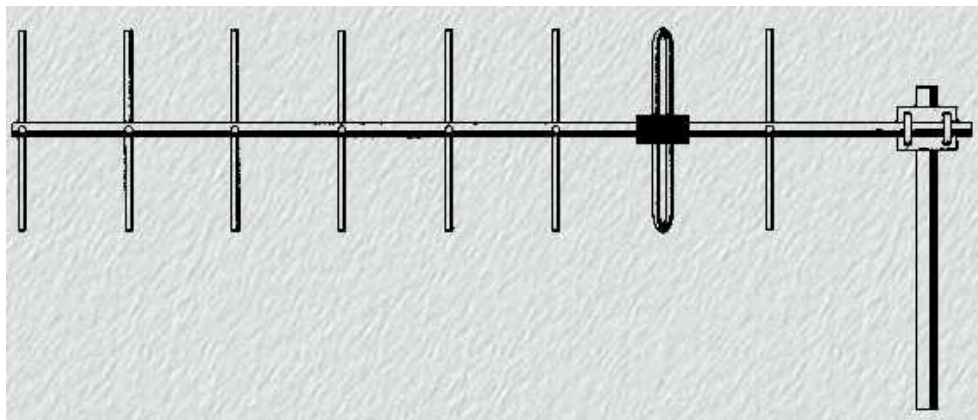
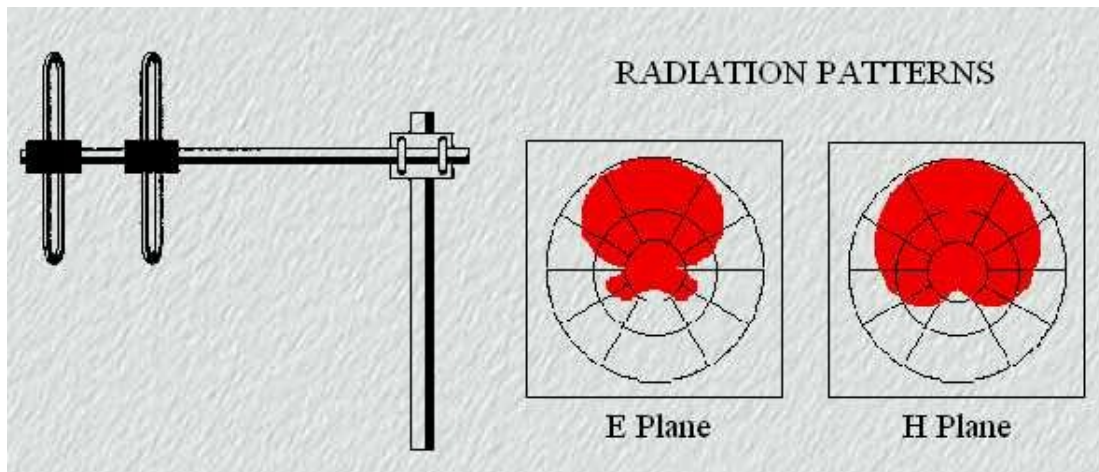




# Antenne 2G-3G-4G

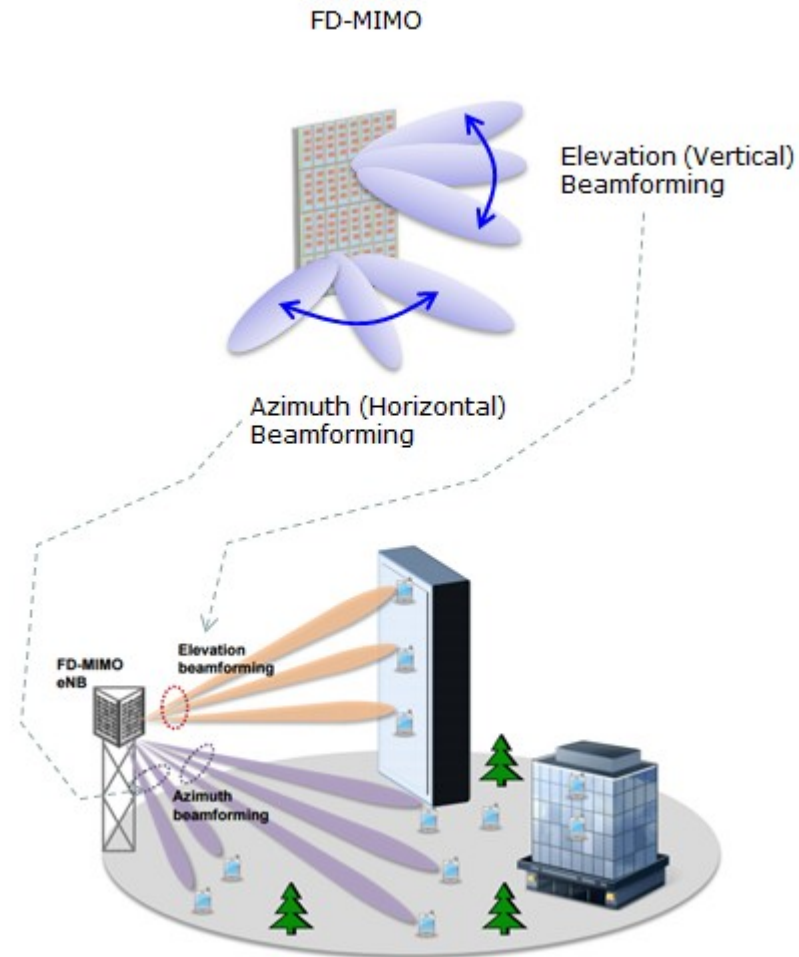
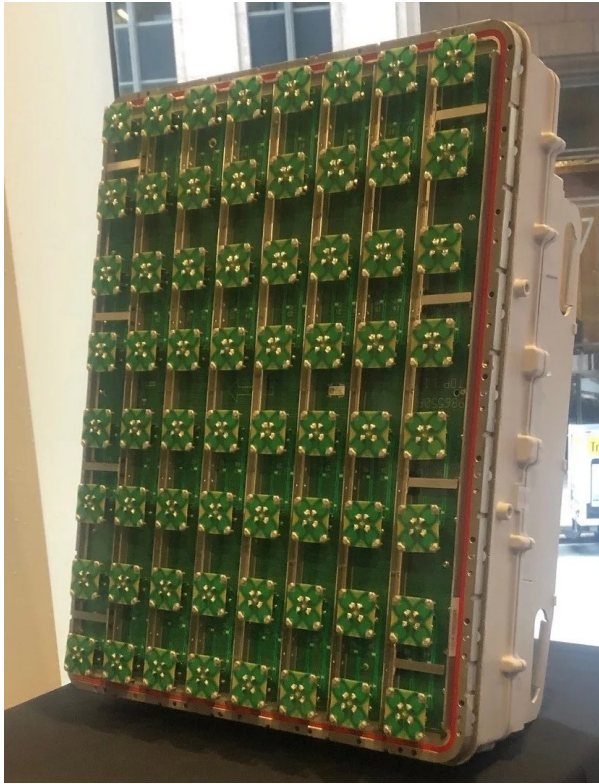


# Diagrammes de rayonnement d'une antenne YAGI



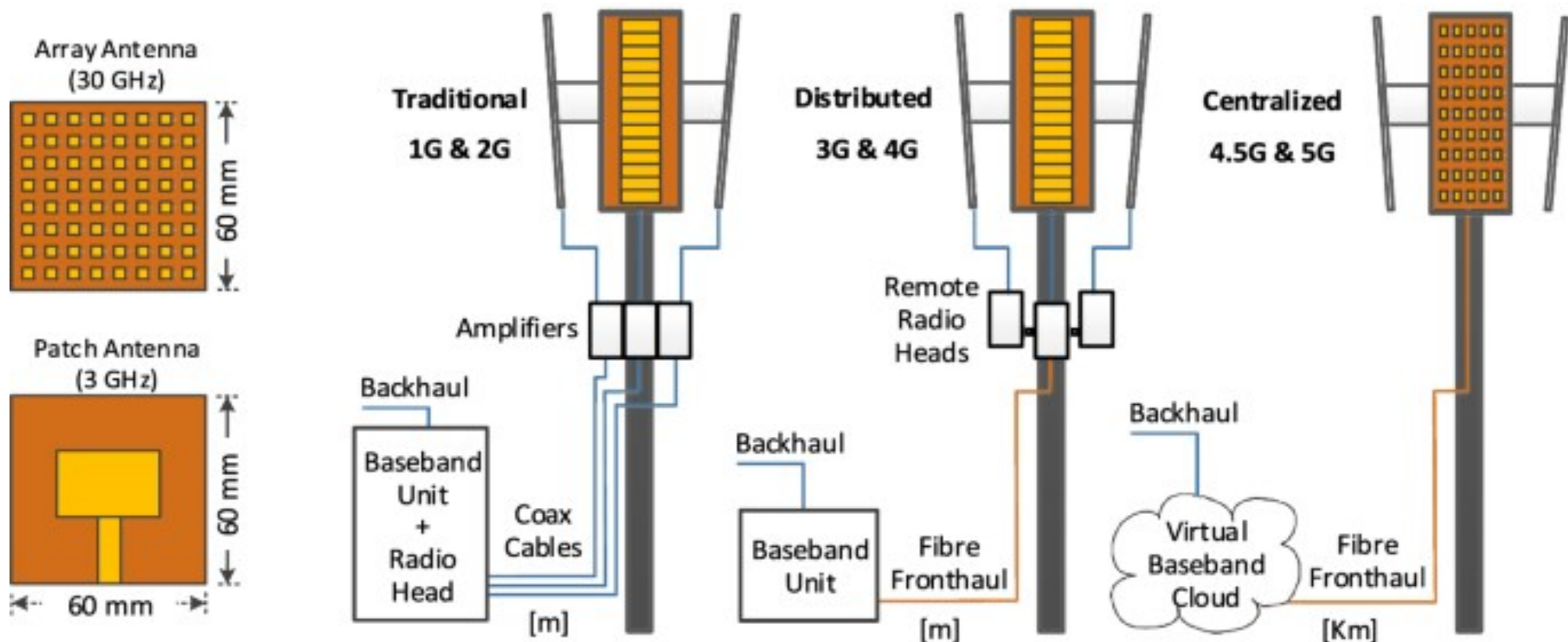
# Réseaux d'antennes 5G

## Full Dimension MIMO



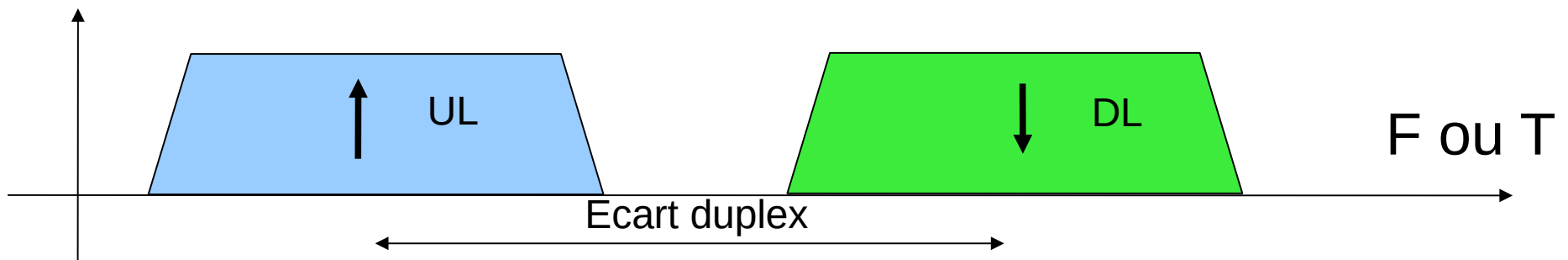


# Evolution des supports radio



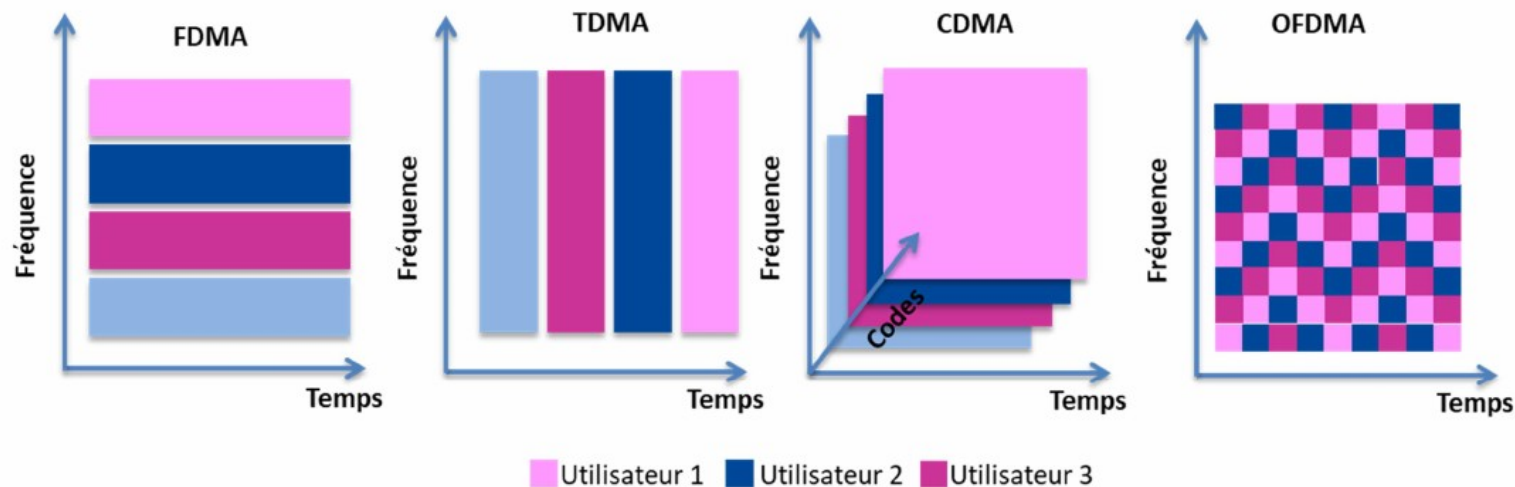
# Techniques de duplexage

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



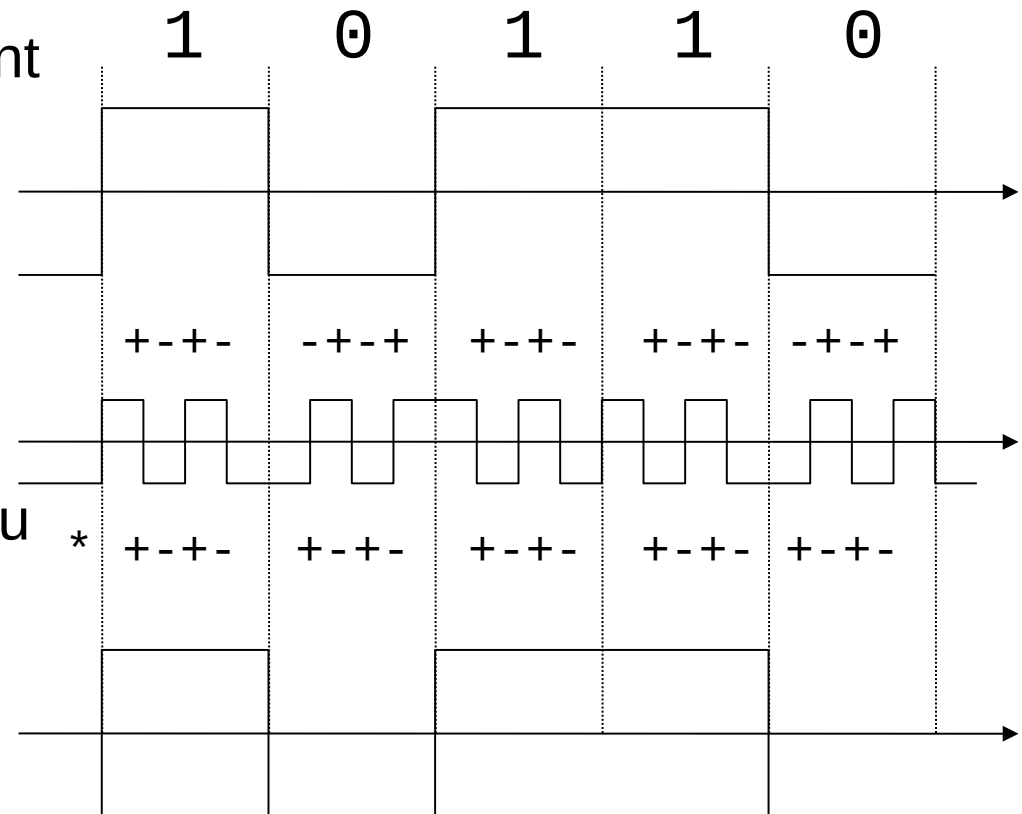
# Techniques d'accès multiple

- 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

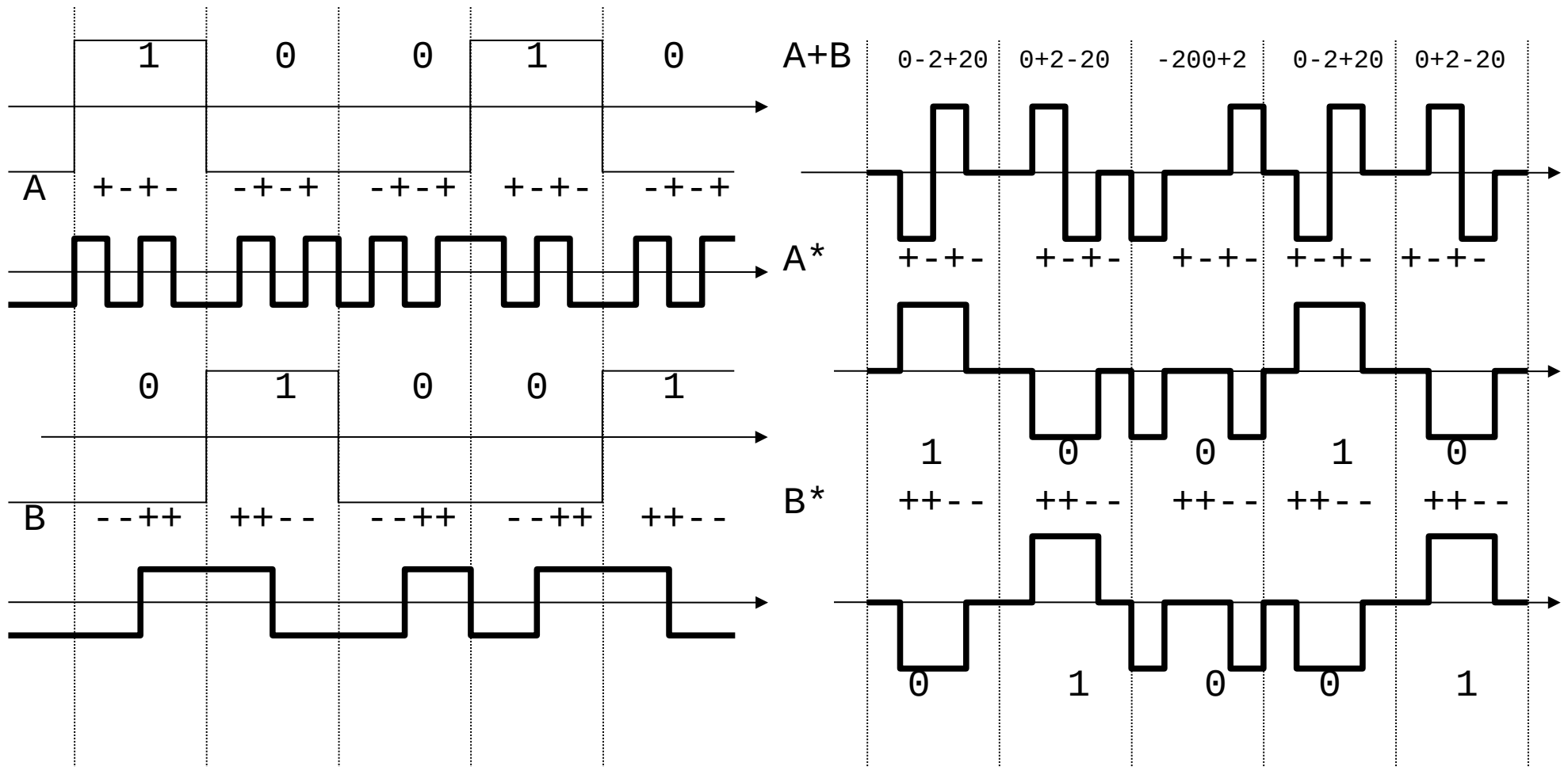


# CDMA

- 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)



# 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>)