

---

# Quelques exemples de technologies sans fil

équipe Privatics - Inria Rhône-Alpes

[vincent.roca@inria.fr](mailto:vincent.roca@inria.fr)

3 octobre 2018

## Vue d'ensemble

- Deux exemples :
  1. technologies IEEE-802.11\* (Wifi)
  2. réseaux LTE/LTE Advanced et 4G
  3. réseaux satellites

## Partie 2 :

# Réseaux LTE/LTE Advanced et 4G

Nombreux transparents inspirés/empruntés à wikipedia, "LTE introduction" (Ericsson), et Moray Rumney (Agilent)... Merci.

## Introduction

### ● une migration depuis 3G en Europe



- UMTS (Universal Mobile Telecommunications System)
  - atteint 250 Kbps
- HSPA (High Speed Packet Access), évolution d'UMTS
  - atteint 14,4 Mbps (théorique) en downlink, et 5,8 Mbps en uplink

### ● une migration depuis CDMA2000 aux US

#### ○ A propos de CDMA, LTE et Qualcomm

« La famille des technologies CDMA, normalisée par l'organisme [3GPP2](#) a été développée de bout en bout par la société américaine [Qualcomm](#). En tant que propriétaire des droits, [Qualcomm](#) réalisait une grande part de son chiffre d'affaires avec ses licences CDMA tout en investissant en parallèle sur les normes concurrentes telle le [LTE](#), **quitte à en ralentir la finalisation en multipliant les développements.** »

- source: <https://fr.wikipedia.org/wiki/CDMA2000>

## Introduction... (suite)

### ● LTE (Long Term Evolution)



- travaux démarrés en 2004 par le 3GPP
- déploiement commercial depuis décembre 2009 (Suède)
- qualifié 3,9G car ne respecte pas tout le cahier des charges
  - commercialisé comme 4G car apporte des gains significatifs

### ● LTE Advanced



- véritable 4G, conforme au cahier des charges
- évolution de LTE



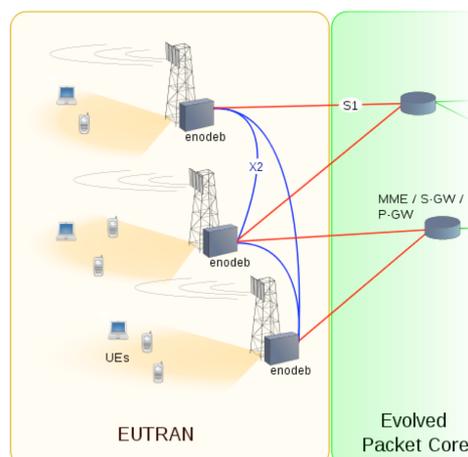
## Architecture

### ● eUTRAN : réseau d'accès radio

- eNode B : station de base, connectée avec voisins et EPC
- support IPv6 natif ou double stack

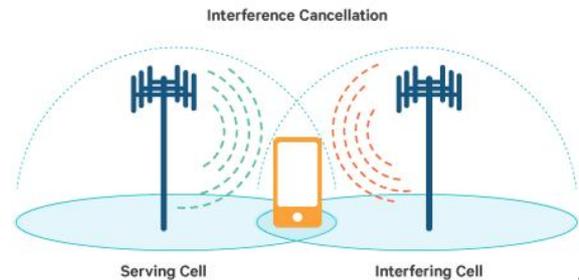
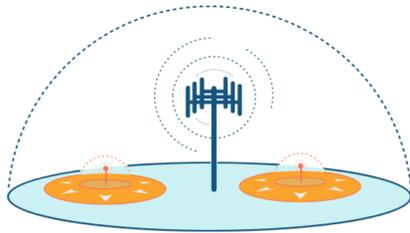
### ● EPC : réseau de cœur de l'opérateur

- réseau **full-IP** (signalisation, données, voix)
- IP de bout en bout permet une interconnexion facile avec Internet et une réduction des latences de communication



## Architecture... (2)

- eUTRAN : taille des cellules adaptée
  - en zone rurale (basse fréquence), cellules de taille 5 km (perf. optimales) à 100 km (perf. raisonnables)
  - en zone urbaine (haute fréquences, par ex. 2,6 GHz), cellules de taille 1 km ou moins
- eUTRAN : le réseau d'accès peut être hétérogène
  - macro, pico et femto cellules peuvent cohabiter
  - meilleure densité d'utilisateurs
- eUTRAN : amélioration du signal en bordure
  - suppression d'interférences en bordure de cellule



inria

source: <https://www.qualcomm.com/invention/research/projects/lte-advanced/hetnets>

7

## Modulations

- repose sur OFDM pour le flux descendant
  - unité de base : « resource block », constitué de 12 sous-porteuses (15kHz chaque) et 7 symboles OFDM (durée 0.5ms)

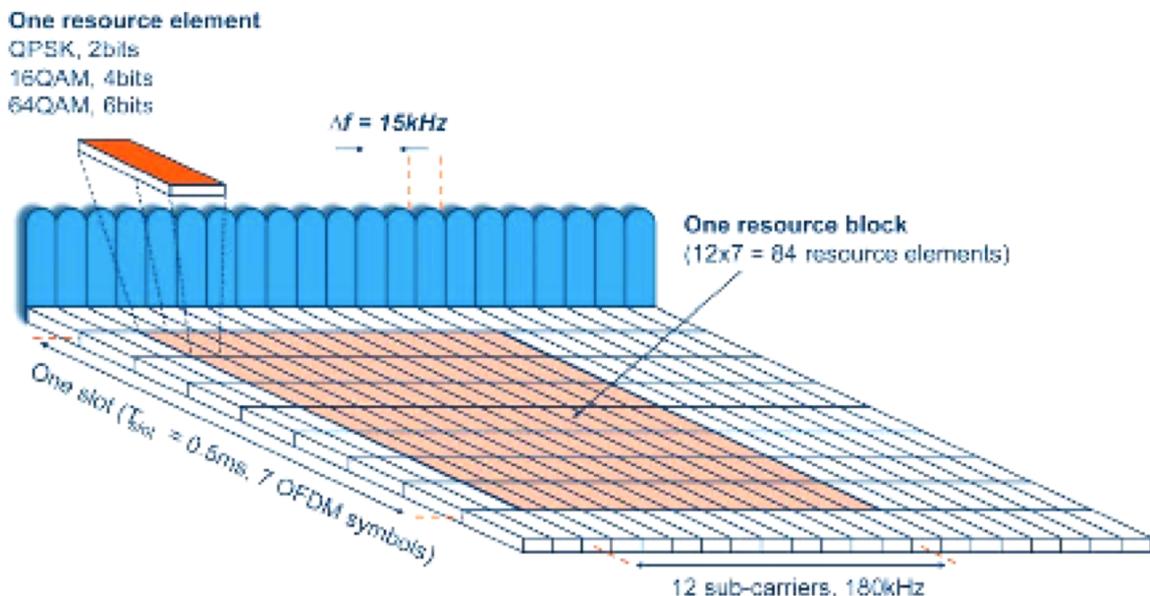


Figure 4: The LTE downlink physical resource based on OFDM

inria

8

## Modulations... (2)

- repose sur OFDM pour le flux descendant

- un terminal a un nombre de « ressource blocks » qui dépend des besoins en débit et des ressources radio disponibles
- allocation redéfinie chaque TTI (transm. time interval) = 1ms pour un terminal
- les ressource blocks ne sont pas nécessairement contigus

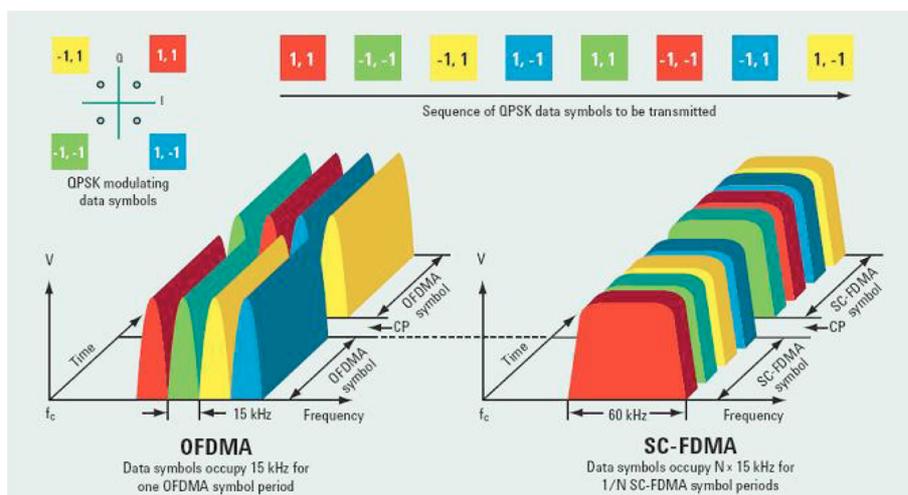
- débit max (cas de LTE) :

- une bande 20 MHz (limite de LTE) contient 1200 sous porteuses (15 kHz), (il en faut 12 par ressource blocks)
- une seconde contient 2000 slots (0.5 ms)
- soit  $1200 / 12 * 2000 = 200\ 000$  ressource blocks / sec. à répartir entre terminaux, pour une antenne simple donnée

## Modulations... (3)

- repose sur SC-FDMA pour le flux montant

- single-carrier frequency division multiple access
- OFDM + DFT (Discrete Fourier Transform)
- moindre consommation énergétique (utile pour un terminal)
- mais débit moindre (moins gênant)



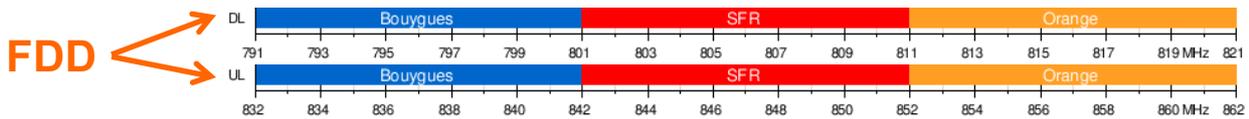
# Bandes de fréquences

- > 30 bandes qui s'étalent de 450 MHz à 3,8 GHz
  - au niveau mondial, disponibilité variable suivant le pays

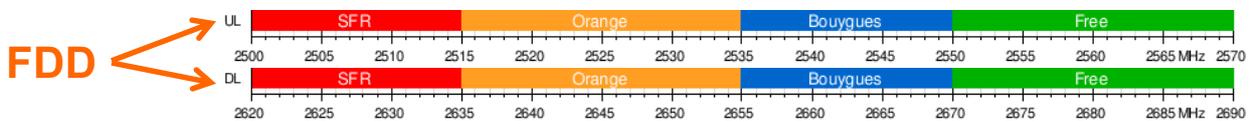
- en France

- bande des 800MHz (zones rurales), 4G

- libérée par la TV analogique



- bande des 2600 MHz (centres urbains), 4G



- tarifs 683 M€ (Bouygues), 891 M€ (Orange), 1 065 M€ (SFR)

*Inria* Informaticques acchémétriques ○ bande 1800 MHz, partage 2G-4G

11

# Bandes de fréquences... (2)

- en France...

- bande des 700 MHz, 4G



- la licence est associée à des obligations de couverture minimale

Échéance	17 janvier 2022	17 janvier 2027	8 décembre 2030
Population métropolitaine		98 %	99,6 %
Zone prioritaire	50 %	92 %	97,7 %
Population de chaque département		90 %	95 %
Axes routiers prioritaires			100 %
Communes du programme "zones blanches"		100 %	
Lignes de train (couverture nationale)	60 %	80 %	90 %
Lignes de train (couverture régionale)		60 %	80 %

## Performances et caractéristiques

- désormais voix sur IP (VoLTE, Voice over LTE)
  - signalisation basée sur IMS et SIP
  - compression d'entête pour réduire les latences (RoHC)
  - si non disponible, le téléphone bascule en 2G ou 3G
    - suspension des communications 4G durant l'appel
    - nécessite une procédure spéciale lors du roaming entre zones supportant ou non VoLTE/4G
  - à terme VoLTE permet d'arrêter 2G et 3G sur les zones couvertes par la 4G
  - meilleur codec audio
    - AMR-WB, sur la bande 50 Hz – 7 kHz (au lieu de 300 Hz – 3,4 kHz)

## Performances et caractéristiques... (2)

- passage LTE  $\Rightarrow$  LTE advanced
  - agrégation de porteuses (jusqu'à 100 MHz)
  - meilleur MIMO (2, 4 ou 8 antennes)
  - meilleure modulation (jusqu'à 256-QAM)
  - techniques d'optimisation en bordure de cellule
  
- les performances s'améliorent progressivement suivant les versions...

## Performances et caractéristiques (2)

### LTE

### LTE-advanced

Catégories des terminaux LTE et LTE Adv (3GPP rel.11) <sup>11</sup>												
Catégorie		1	2	3	4	5	6 <sup>A1</sup>	7	8 <sup>A2</sup>	9	10	
Débit crête (Mbit/s)	Descendant	10	50	100	150	300	300	300		450	450	
	Montant	5	25	50	50	75	50	100		50	100	
<b>Caractéristiques fonctionnelles minimales<sup>A3</sup></b>												
Largeur de la bande de fréquence de chaque porteuse							1,4 à 20 MHz					
Nombre minimal de porteuses radio agrégées dans le sens descendant		1			1, 2 ou 3			2, 3 ou +				
Nombre de porteuses radio agrégées dans le sens montant		1			1	2		1		2		
Modulations	Descendante	QPSK, 16QAM					64QAM					
	Montante	QPSK, 16QAM			QPSK, 16QAM, 64QAM		QPSK, 16QAM			QPSK, 16QAM		

## Performances et caractéristiques (3)

### LTE-advanced

Nouvelles catégories de terminaux LTE Adv (3GPP rel.12) <sup>12</sup>							
Catégorie		11	12	13 <sup>B1</sup>	14 <sup>B2</sup>	15	16
Débit crête (Mbit/s)	Descendant	600	600	390	3900	750	1000
	Montant	50	100	150	NA <sup>B3</sup>	NA	NA
<b>Caractéristiques fonctionnelles minimales<sup>B4</sup></b>							
Largeur de la bande de fréquence de chaque porteuse		1,4 à 20 MHz					
Nombre de porteuses radio agrégées dans le sens descendant		3 (256QAM) ou +		2 (256QAM)	5 (256QAM)	4 ou +	5
Nombre de porteuses radio agrégées dans le sens montant		1	2	2	Non applicable		
Modulations sur chaque sous-porteuse	Descendante	QPSK, 16QAM, 64QAM, 256QAM					
	Montante	QPSK, 16QAM,		64QAM	Non applicables		

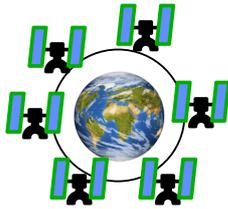
## Vue d'ensemble

- Deux exemples :
  1. technologies IEEE-802.11\* (Wifi)
  2. réseaux LTE de la 4G
  3. réseaux satellites

## Satellite-based transmissions

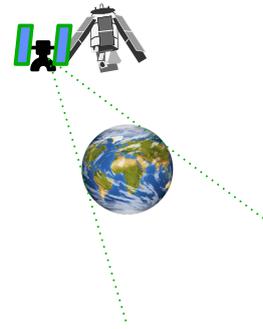
- wide area coverage
- expensive infrastructure
- low capacity if the goal is to transmit **individual** programs
  - large coverage, so bandwidth is shared between many users
  - e.g. satellite-based Internet access... but there are tricks...
- ...but high capacity if the goal is to **broadcast** the same content
  - e.g. DVB-\* systems
- two types
  - Geostationary orbit systems (GEOS):
    - 3 satellites are sufficient, but lower capacity for a given spectrum
  - Low-earth-orbit system (LEOS):
    - many satellites in lower orbit, lower latency, higher capacity, less expensive satellites

# Satellite-based transmissions (2)



## Low Earth Orbits

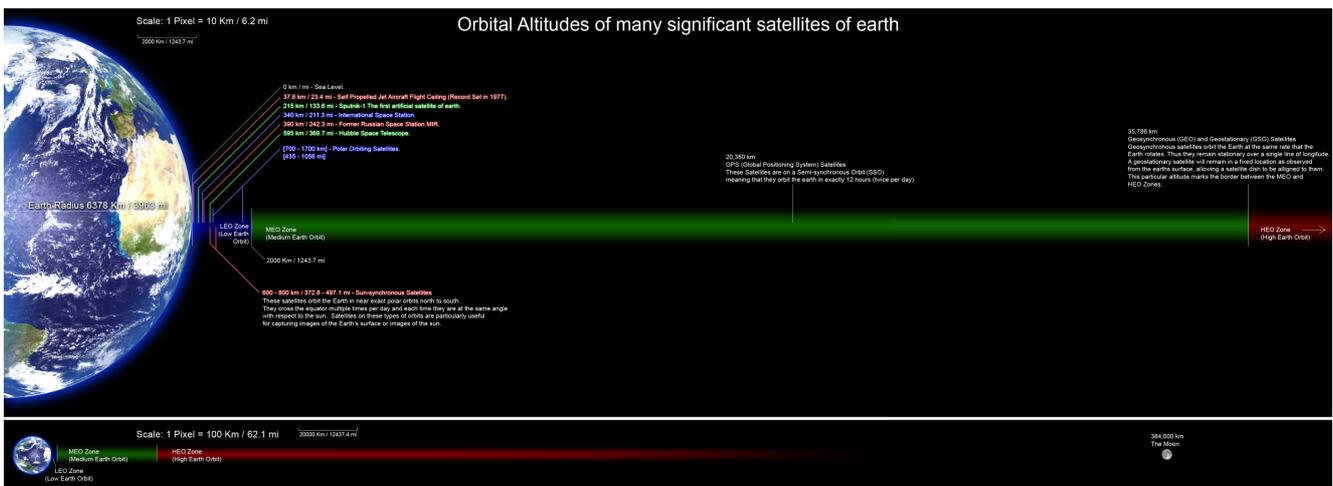
Height: 700-2000 km  
 Rotation Period: 90 min  
 Time in Line of Sight (LOS): 15 min  
 Earth/Sat./Earth latency < 0.1 sec



## Geostationary Orbits

Height: 35,780 km  
 Rotation Period: 24 hours  
 Time in Line of Sight (LOS): 24 hours  
 Earth/Sat./Earth Latency 0.25 sec

# Satellite-based transmissions (3)



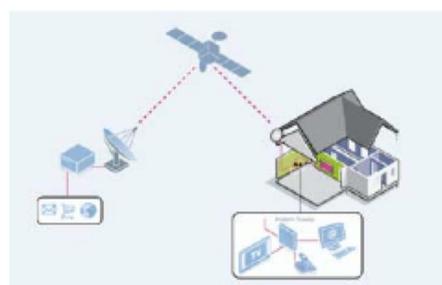
## Satellite-based transmissions (4)

- C-band (approx. 4 GHz downlink, 6 GHz uplink)
  - low capacity and high terrestrial interference
- Ku-band (approx. 12 GHz downlink, 14 GHz uplink)
  - higher capacity, less crowded, but rain interference is the main issue
- Ka-band (approx. 19 GHz downlink, 29 GHz uplink)
  - much greater bandwidth, preferred for high speed Internet via satellite

## Satellite-based transmissions (5)

- constellation examples:
  - Iridium (phone, 66 LEOS, Boeing)
  - GlobalStar (phone, 48 LEOS, Qualcomm Inc., Loral Corp.)
  - ICO (phone, 10 MEOS, Hughes)
  - SkyBridge (broadband, 80 LEOS, Alcatel)
  - Eutelsat (video/radio, 15 GEOS, Eutelsat)
- example: Tooway high speed Internet access through satellites (Eutelsat, ViaSat)

<http://www.tooway.com/>



Ka-band hardware