
Quelques exemples de technologies sans fil

équipe Privatics - Inria Rhône-Alpes

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



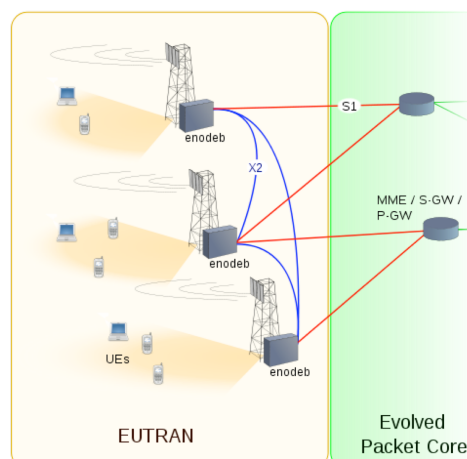
Architecture

● 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

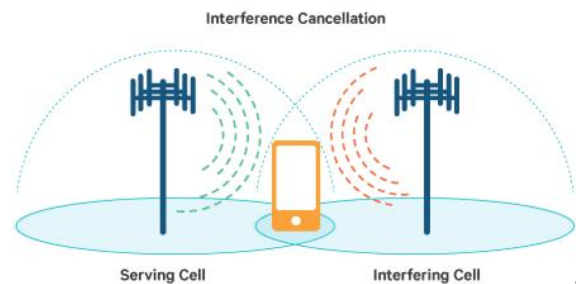
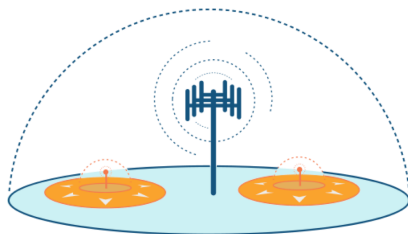
- en zone rurale (basse fréquence), cellules de taille 5 km (perf. optimales) à 100 km (perf. raisonnables)
- en zone urbaine (haute fréquences, par ex. 2,6 GHz), cellules de taille 1 km ou moins

- 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



Modulations

- repose sur OFDM pour le flux descendant

- unité de base : « ressource block », constitué de 12 sous-porteuses (15kHz chaque) et 7 symboles OFDM (durée 0.5ms)

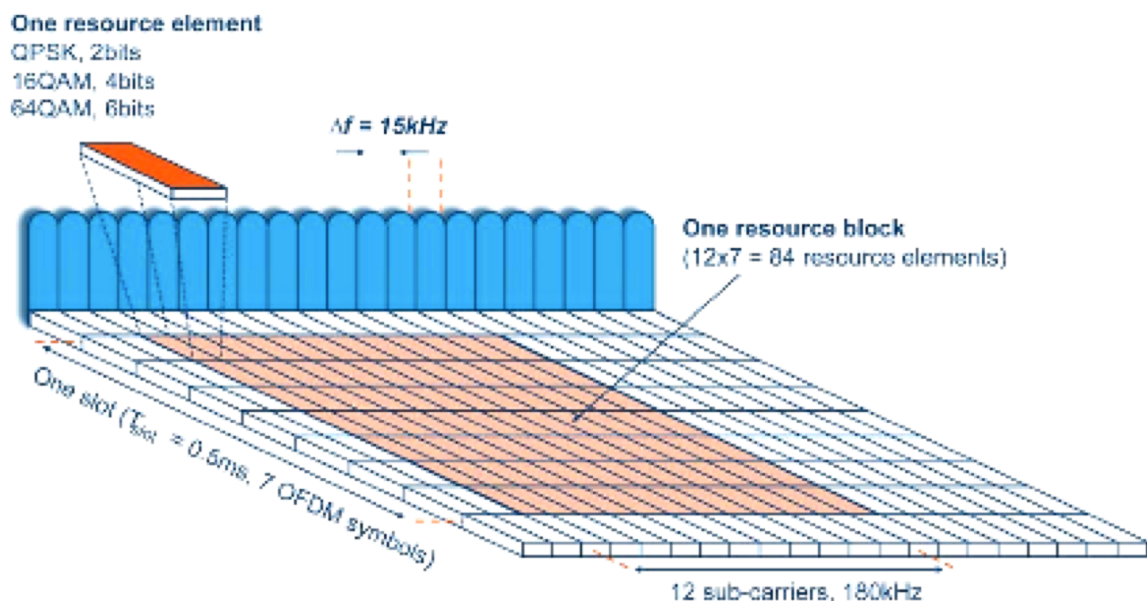


Figure 4: The LTE downlink physical resource based on OFDM

Modulations... (2)

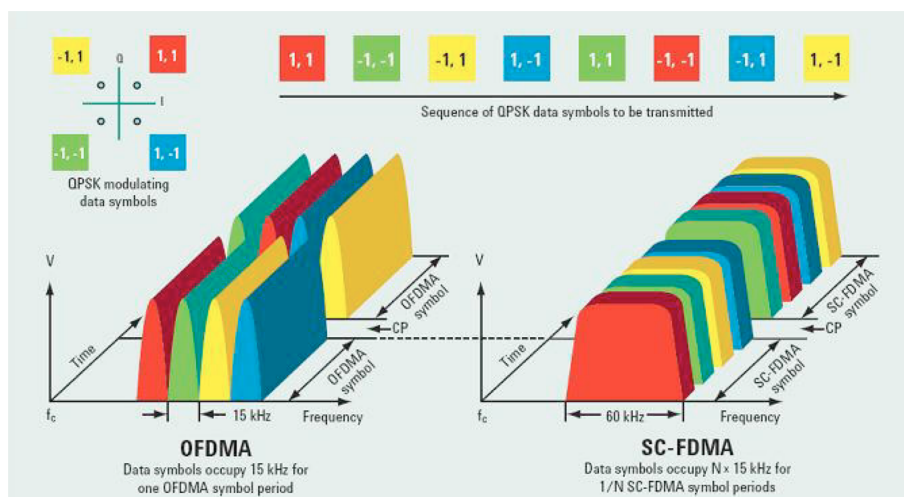
- repose sur OFDM pour le flux descendant

- 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)



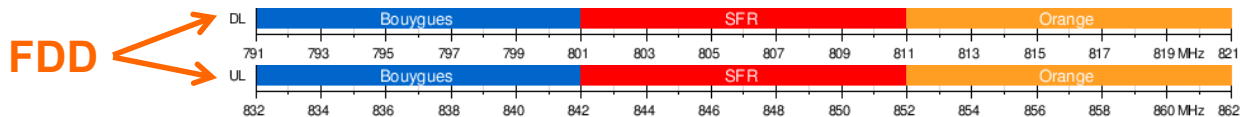
Bandes de fréquences

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

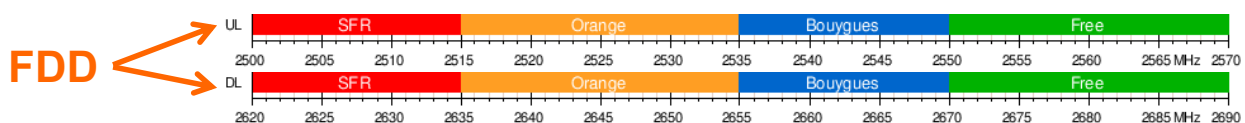
● en France

○ 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)



○ 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 %



12

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) ¹¹											
Catégorie		1	2	3	4	5	6 ^{A 1}	7	8 ^{A 2}	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
Caractéristiques fonctionnelles minimales ^{A 3}											
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) ^{B 12}							
Catégorie		11	12	13 ^{B 1}	14 ^{B 2}	15	16
Débit crête (Mbit/s)	Descendant	600	600	390	3900	750	1000
	Montant	50	100	150	NA ^{B 3}	NA	NA
Caractéristiques fonctionnelles minimales ^{B 4}							
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		

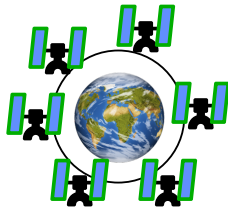
Vue d'ensemble

- 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)



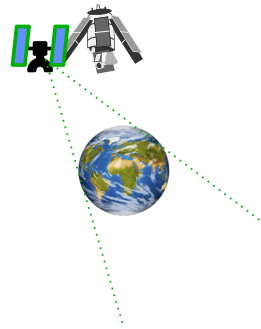
Low Earth Orbits

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

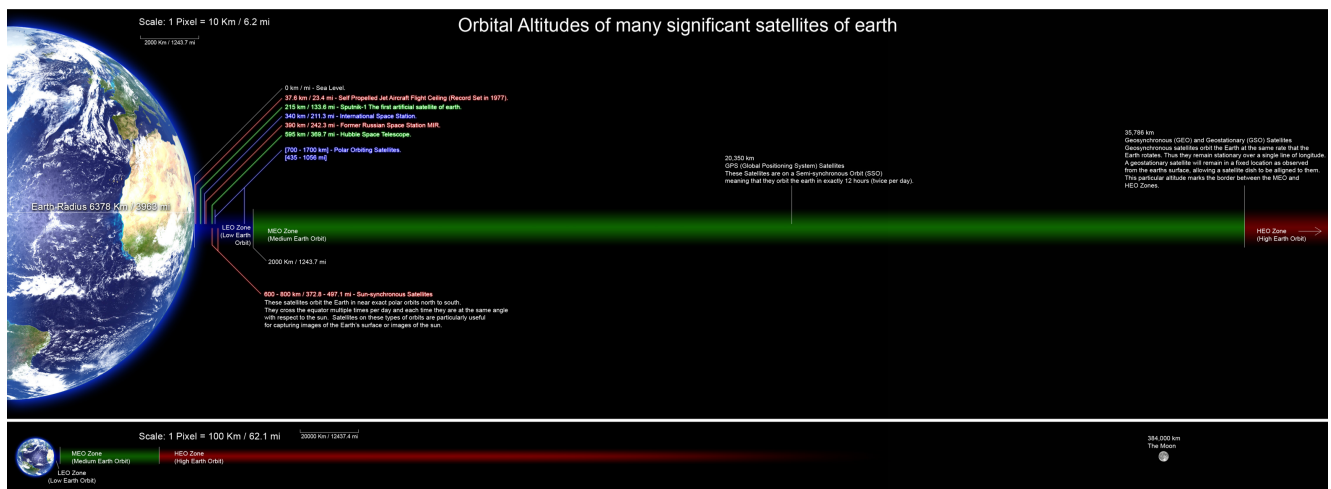
Height: 35,780 km

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/>

