

# La régulation du spectre

Adrien Demarez ([adrien.demarez@anfr.fr](mailto:adrien.demarez@anfr.fr))  
*Prospective du spectre et affaires internationales\**



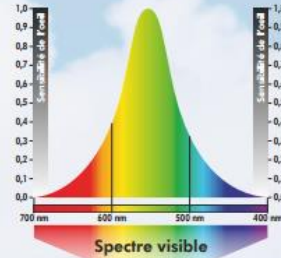
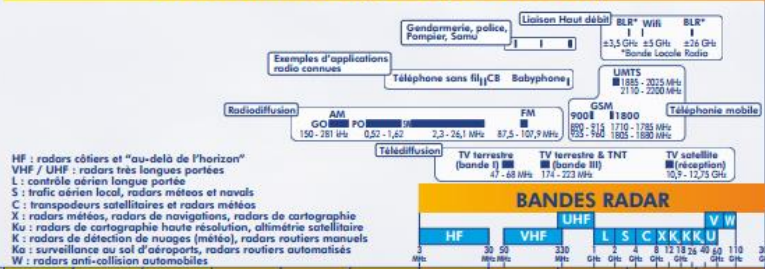
**IMT Lille Douai**  
École Mines-Télécom  
IMT-Université de Lille



\* this presentation highlights some results or topics under discussion in CEPT and views from ANFR. It includes also some personal thoughts to trigger reactions.

# Le spectre radio...

## SPECTRE RADIOFREQUENCE (3 Hz - 300 GHz)

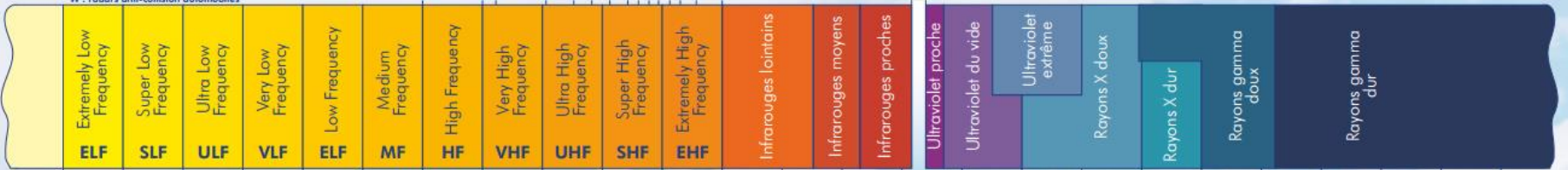


Le spectre électromagnétique est la décomposition du rayonnement électromagnétique selon ses différentes composantes en terme de longueur d'onde ou d'énergie des photons, les deux grandeurs étant liées par la constante de Planck  $h$  ( $E = h \cdot \nu$ )  
 Si la lumière désigne un rayonnement électromagnétique visible par l'œil humain, les ondes radio, les ondes X et  $\gamma$  sont également des rayonnements électromagnétiques. À partir des rayons X, les longueurs d'ondes sont rayonnements utilisés : comme on a affaire à des particules très énergétiques, l'énergie correspondant au photon X ou  $\gamma$  détecté est plus utile.  
 Cette énergie est exprimée en électron-volt [eV], soit l'énergie d'un électron accéléré par un potentiel de 1 volt.

Un rayonnement électromagnétique est caractérisé par un flux de particules sans masse, les photons, associé à une onde, l'onde électromagnétique. En associant simultanément des propriétés antagonistes d'ondes et de particules, la connaissance par l'Homme du rayonnement électromagnétique a fait naître la théorie de la dualité onde-particule dont le concept est l'un des fondements de la mécanique quantique.

La compatibilité électromagnétique, ou CEM, est l'aptitude d'un appareil ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement. Dans la perspective du spectre électromagnétique, la CEM s'applique potentiellement sur l'ensemble du spectre radiofréquence (en pratique jusqu'à 40 GHz).

Le rayonnement électromagnétique peut également être utilisé à des fins d'espionnage mais aussi de guerre électronique. L'utilisation de radio-émetteurs, notamment en téléphonie mobile, s'accompagne de nouvelles exigences en terme d'ondes et santé pour s'assurer qu'aucun danger n'est induit sur les individus selon les conditions d'exposition.



## ONDES RADIO (9 kHz - 3000 GHz)

### MICRO-ONDES

### INFRAROUGE

### ULTRAVIOLET

### RAYONS GAMMA

## OPACITE DE L'ATMOSPHERE AUX ONDES ELECTROMAGNETIQUES



Pollution électromagnétique générée de manière non intentionnelle par l'ensemble des équipements électriques et/ou électroniques  
 Communication pour sous-marins en plongée  
 Réseaux électriques  
 Portail antivol et autres matériels à boucle à induction  
 Etiquetage RFID  
 Jouets radiocommandés  
 Télédiffusion  
 Radars de détection maritime et aérien, radars météorologiques  
 Emetteurs radio grandes ondes et FM  
 Micro-onde  
 Téléphonie mobile  
 Liéon satellite  
 Radars routiers  
 Télémétrie  
 Vision thermique  
 Losers  
 Satellites d'exploration spatiale  
 Cabine à bronzon  
 Photoradiographie  
 Imagerie par rayon X  
 Microscopes électroniques  
 Synchronons  
 Cristallographie  
 Accélérateurs de particules  
 Explosion nucléaire  
 Radiothérapie  
 Rayons cosmiques



# Pourquoi réguler le spectre ?

*Ou dit autrement : pourquoi ne peut-on pas simplement allouer de manière automatique des canaux radio à différents usagers ? (un peu comme malloc() alloue des zones mémoires à différents programmes)*

- **Premier élément de réponse : les filtres, amplificateurs et autres composants sont imparfaits !**
    - Les émetteurs rayonnent de l'énergie en dehors de leur canal (facile à comprendre !)
    - Les récepteurs captent aussi de l'énergie en dehors de leur canal (désensibilisation/blocking)
  - **Second élément de réponse : les typologies de déploiement sont très variables**
    - Les émetteurs de radiodiffusion peuvent émettre des kilowatts ou megawatts pour couvrir de très larges zones
    - Les émetteurs de téléphonie mobile peuvent émettre quelques dizaines de watts avant antenne
    - Les émetteurs wifi / SRD émettent quelques dizaines de milliwatts et couvrent des zones très variables avec des caractéristiques très diverses
    - Les transmissions satellites se font sur de très larges distances avec un signal très atténué au niveau du récepteur (mais en ligne de vue directe)
    - En fonction de la largeur de bande et de l'usage considéré, les récepteurs sont plus ou moins exigeants sur la « propreté » de l'environnement radio
- ⇒ Dédier des canaux radio à certains usages n'est pas suffisant et ne peut être fait de manière automatique (ou par le marché) car **certains usages coexistent mal sur des canaux voisins**
- ⇒ Besoin d'une régulation du spectre internationale prenant en compte les spécificités de chaque usage, avec des études techniques de coexistence pour chaque nouvel usage

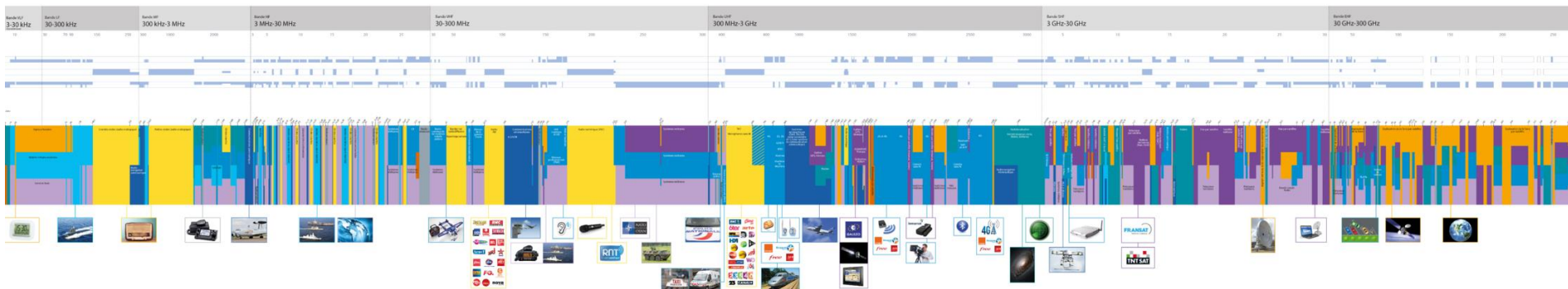
# L'Agence Nationale des FRéquences



- **L'ANFR** est une administration Française, dédiée à la régulation du spectre
  - Gère la totalité du spectre en France en assurant les intérêts des usagers du spectre et gère les documents qui font foi en droit pour le partage du spectre entre usagers (TNRBF)
  - Les usagers du spectres (appelés « affectataires ») sont: Aviation Civile, Arcep, CSA, Ministère de la défense, Espace (CNES), Haut Commissaire de la République, Ministère de l'intérieur, Administration de la Météorologie, Administration des ports et de la navigation, Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche, Télécommunications sur les Territoires d'Outre-Mer.
  - Chaque affectataire gère ensuite « son » spectre : par exemple l'Arcep est souveraine pour gérer l'allocation de son spectre envers les opérateurs mobiles
- **Missions nationales** : « police » du spectre (contrôles, instruction des plaintes en brouillages, etc), base de données des sites radioélectriques, etc.
- **Missions internationales** : « diplomatie » du spectre. L'ANFR représente la France dans les instances de régulation du spectre (CEPT/ECC, RSCOM, RSPG, UIT...). L'ANFR effectue aussi les études techniques de coexistence et gère les accords aux frontières



## ORGANISATION DU SPECTRE DES FRÉQUENCES (3 kHz-300 GHz)





# Instances internationales de régulation

## Legal Framework

GLOBAL

Recommendations  
Reports



Radio Regulations  
Radiocommunications Services  
One Treaty between States

REGIONAL

48 countries



2

Decisions  
Recommendations

3

Decisions  
Recommendations

4

Standards  
Harmonised Standards EN

NATIONAL

Government

ANFR

Governmental Users

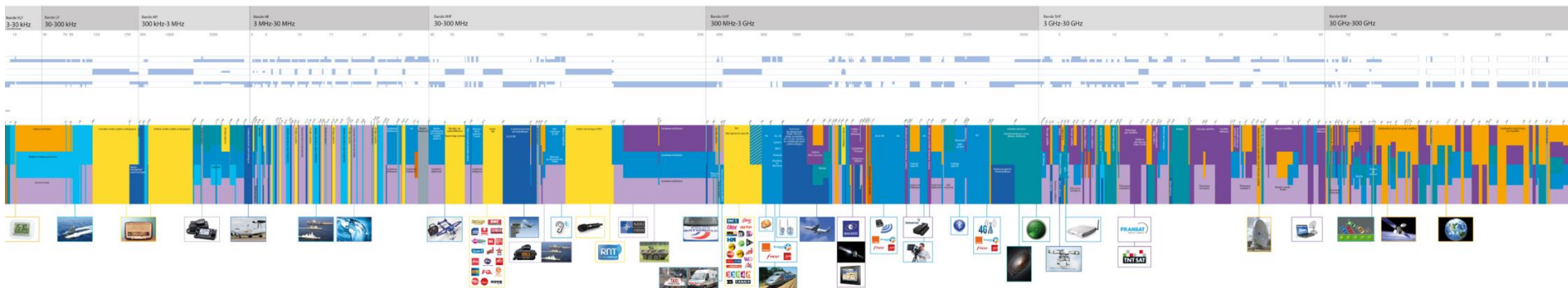
Regulation Authorities (ARCEP, CSA)

Individual / General Authorisations

1

- Cadre international fixé par un traité appelé Règlement des Radiocommunications (RR) : partage du spectre entre *services*, e.g.
  - service de terre (fixe, mobile/IMT, radiodiffusion, radionavigation, ...)
  - services spatiaux (fixe, mobile, radiodiffusion, exploration de la terre, ...)
- Plusieurs services peuvent être définis en parallèle dans une même bande. Distinctions entre services primaires et secondaires : un service primaire a droit à protection, un service secondaire ne peut pas prétendre à protection et ne doit pas brouiller un service primaire
- Ce cadre est ensuite transposé en droit national (TNRBF pour la France)
- Des réunions appelées Conférences Mondiales des Radiocommunications (CMR / WRC) ont lieu tous les 4 ans pour le mettre à jour
  - Marathon de 4 semaines, extrêmement politique
- La préparation des CMR se fait au sein de commission d'études à l'UIT-R (l'UIT comporte aussi deux autres secteurs : UIT-T et UIT-D dont on ne parlera pas ici). L'UIT émet aussi de nombreuses recommandations en provenance de ces commissions

## ORGANISATION DU SPECTRE DES FRÉQUENCES (3 kHz–300 GHz)



- **Commission Européenne (CE)**
  - Décision « spectre » 676/2002/EU : RSPG et RSCOM
  - Radio Equipment Directive (RE-D) 2014/53/EU : rôle de l'ETSI / marquage CE
  - Les décisions CE sont juridiquement contraignantes pour les états membres (EM)
  - Collaborations et mandats envers la CEPT (études techniques et recommandations) et l'ETSI (normes harmonisées)
- **Conférence Européenne des Postes et Télécommunications (CEPT)**
  - Créée en 1959. Représente 48 pays en zone européenne
  - Coordonne les positions des membres pour la CMR
  - Rédige la réglementation (non juridiquement contraignante mais globalement appliquée en pratique) dans des décisions et recommandations
  - Effectue les études techniques sous-jacentes (rapports ECC)
  - Réponds aux mandats de la Commission Européenne dans le cadre du MoU (rapports CEPT)
- **ETSI (European Telecommunication Standards Institute)**
  - Organe de normalisation géré par les industriels : Technical Standards (TS) et Technical Reports (TR)
  - A également une fonction « officielle » vis-à-vis de la RE-D : normes harmonisées (EN-\*)
    - Présomption de conformité des produits placés sur le marché / marquage « CE »
  - Interagit avec la CEPT (notamment via des « SRDOCS » pour solliciter des études)

# Regulation & standards en Europe

RSPG, RSCOM



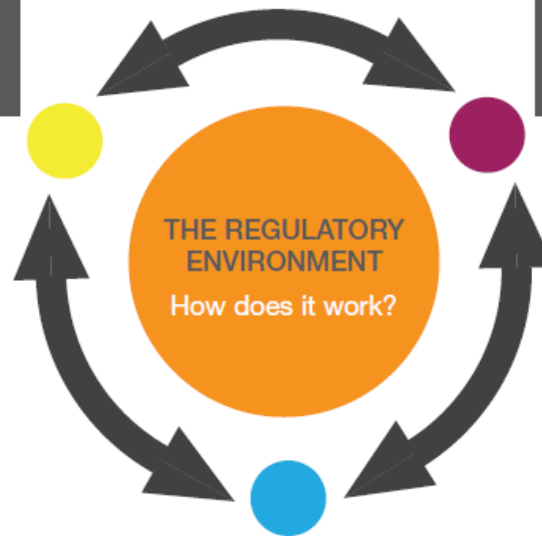
Policy positions  
Legal certainty  
Political support

ECC-PT1



Harmonizing National  
Frequency Allocations

Coordinating  
International  
Negotiations



Harmonized Standards  
and other standards &  
specifications to support  
EU legislation & market  
development



[https://www.etsi.org/images/files/Brochures/ETSI\\_ECC%20Brochure\\_2017\\_Web.pdf](https://www.etsi.org/images/files/Brochures/ETSI_ECC%20Brochure_2017_Web.pdf)



# Quelques rappels de radio

**Adrien Demarez** ([adrien.demarez@anfr.fr](mailto:adrien.demarez@anfr.fr))  
*Prospective du spectre et affaires internationales\**



**IMT Lille Douai**  
École Mines-Télécom  
IMT-Université de Lille



\* this presentation highlights some results or topics under discussion in CEPT and views from ANFR. It includes also some personal thoughts to trigger reactions.

# Quelques rappels de radio...

- Propagation d'un signal :

- Equation de Friis en espace libre :

$$Pr \text{ (dBm)} = Pt \text{ (dBm)} + Gt \text{ (dBi)} + Gr \text{ (dBi)} - 20 \log_{10}(f \text{ _MHz}) - 20 \log_{10}(d \text{ _km})$$

Champ électrique  $E = \sqrt{\frac{120\pi \cdot P_t G_t}{4\pi d^2}} = \frac{\sqrt{30 P_t G_t}}{d}$ , indépendant de la fréquence

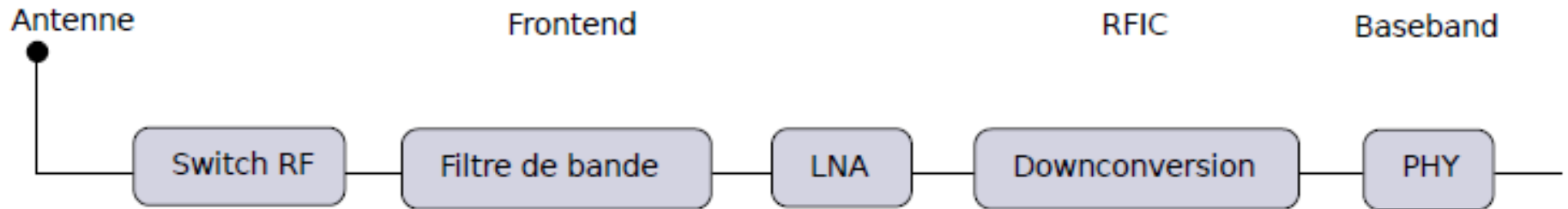
Distance de sécurité DREP =  $\frac{\sqrt{30k \cdot P_t G_t}}{E_{ref}}$  (avec  $k = 2$  et  $E_{ref} = 61 \text{ V/m}$ )

Surface de captation de l'antenne  $S_r = \frac{\lambda^2 G_r}{4\pi}$ . Formule de Friis :

$$P_r = \frac{E^2}{120\pi} \cdot S_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi d)^2} = \frac{P_t G_t G_r c^2}{(4\pi df)^2}$$

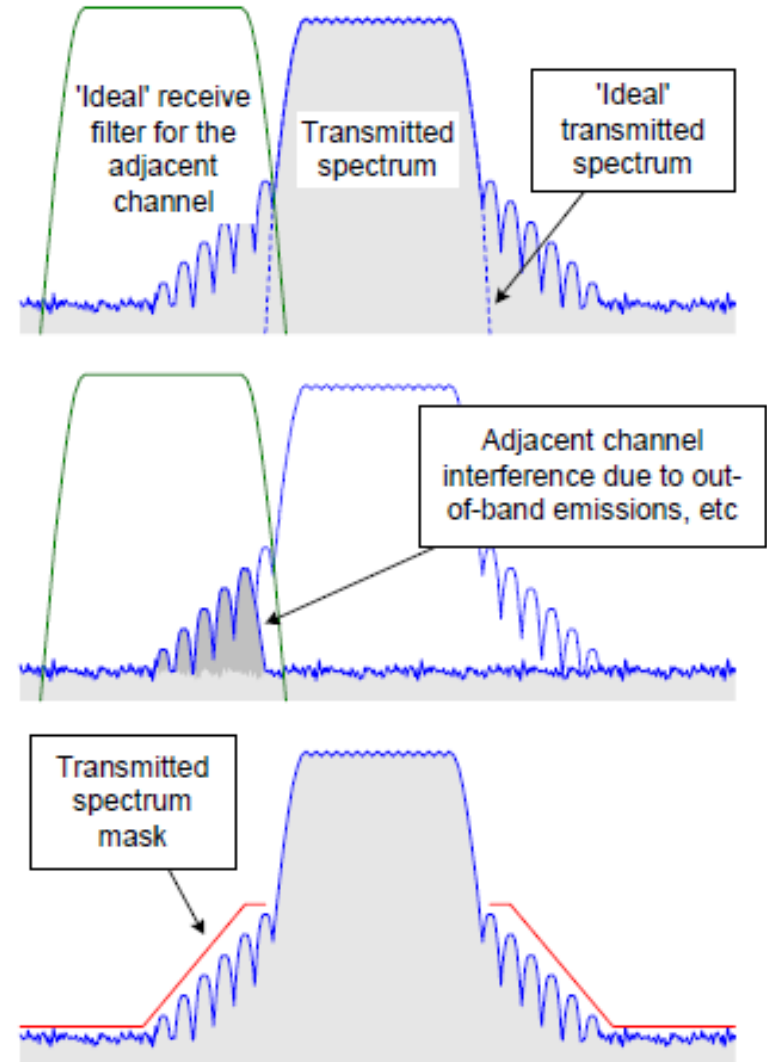
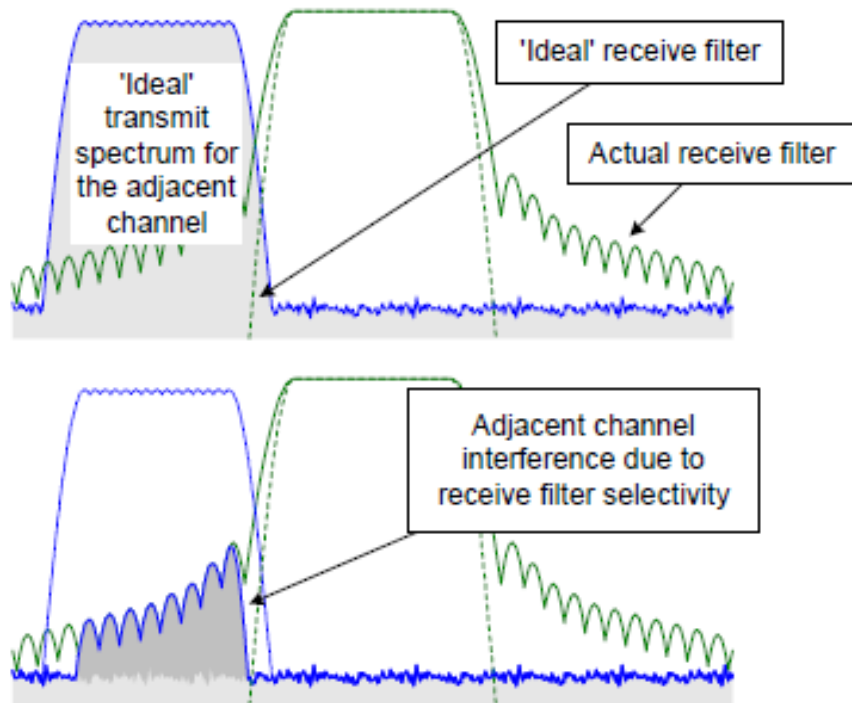
- La couverture de service dépend d'un niveau de signal minimum (sensibilité de référence).
- Le débit dépend notamment
  - Du nombre d'utilisateurs qui se partagent la ressource radio
  - De la quantité de fréquences utilisées (taille du canal)
  - Du rapport signal/bruit et du nombre d'antennes MIMO, pour les technologies capables d'implémenter des modulations adaptatives
  - Des pertes de paquet (TCP slow-start / congestion avoidance), et parfois de la latence si la fenêtre TCP est trop petite.
  - De l'overhead de la technologie sous-jacentes (données de contrôle, porteuses pilotes, etc)

# Chaînes radio en réception

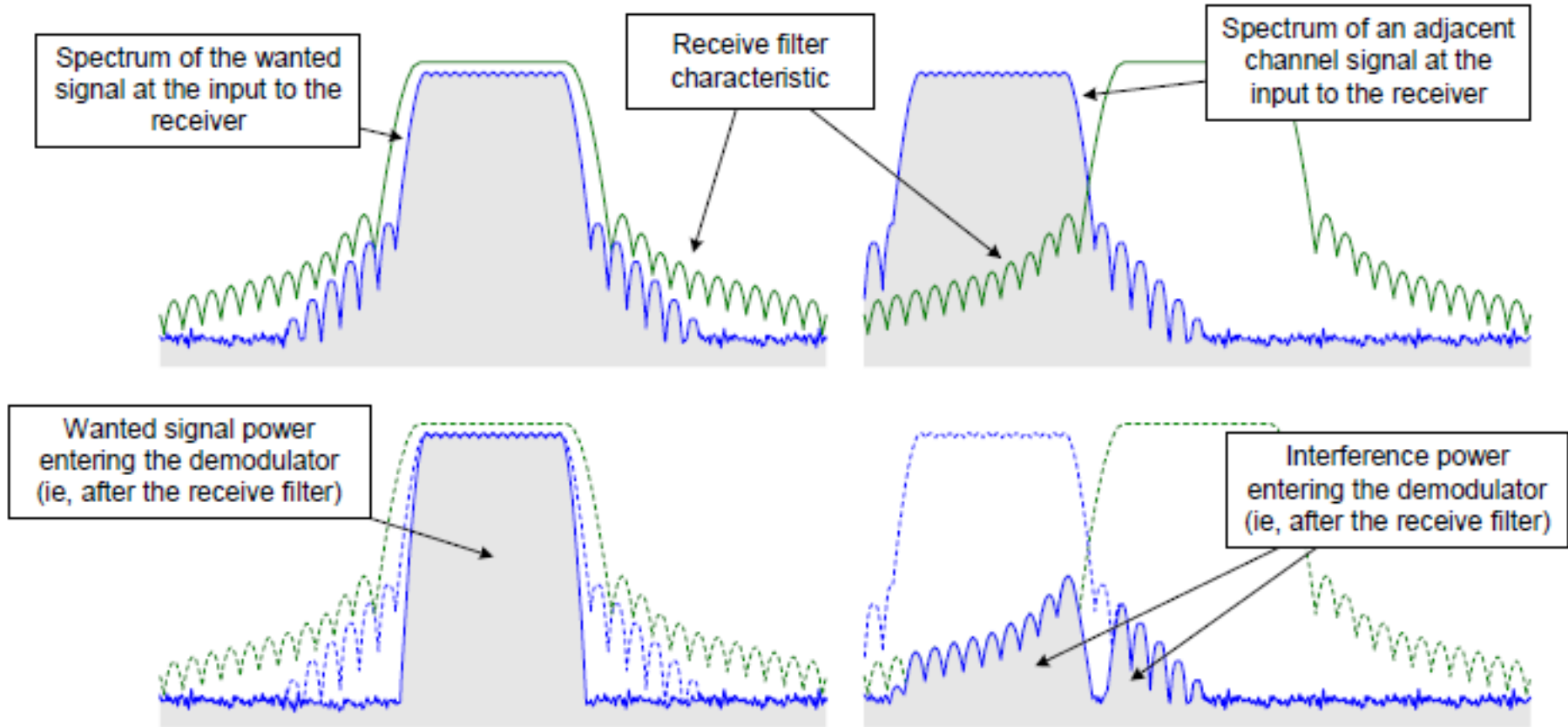


- De manière (très) synthétique, on peut distinguer
  - Le frontend : switch RF, filtre de bande, PA/LNA...
  - Le RFIC ("transceiver") : conversion de fréquence (Pout 5 dBm)
  - Le chipset/DSP baseband : couche PHY/MAC
  - Le CPU : gère les applicatifs du terminal, et parfois la couche MAC
- Nécessité d'un *filtre de bande*
  - Si un émetteur RF rayonne fortement au voisinage de notre récepteur, il peut faire saturer le LNA ( $\Rightarrow$  distorsions, désensibilisations, voire blocage !)
  - Le filtre de bande permet d'éliminer les émissions lointaines (mais pas les émissions dans la bande). **Bande  $\neq$  canal !**
- Filtres imparfaits  $\Rightarrow$  usages incompatibles! *ex. : TDD vs FDD, satellite vs BWA/IMT, TNT vs LTE 800 MHz...*  $\Rightarrow$  Nécessité d'une régulation du spectre

# Imperfection des filtres



# Imperfection des filtres



Source : WiMAX Forum



# Etude de cas #1 : la 5G

**Adrien Demarez** ([adrien.demarez@anfr.fr](mailto:adrien.demarez@anfr.fr))  
*Prospective du spectre et affaires internationales\**



**IMT Lille Douai**  
École Mines-Télécom  
IMT-Université de Lille



\* this presentation highlights some results or topics under discussion in CEPT and views from ANFR. It includes also some personal thoughts to trigger reactions.

# Le 3GPP

- Le 3GPP est constitué de 6 organismes : **ETSI** (Europe), **ARIB** (Japon), **ATIS** (USA), **CCSA** (Chine), **TTA** (Corée), **TTC** (Japon)
- Groupes de spécification : **CT** (Core network & Terminals), **GERAN** (GSM/EDGE), **SA** (Systems & service Aspects), **RAN** (Radio Access Network)
- **RAN** : constitué de 5 sous-groupes
  - **RAN1** : couche PHY bande de base (OFDMA, SC-FDMA...)
  - **RAN2** : couche MAC
  - **RAN3** : UTRAN et E-UTRAN
  - **RAN4** : radio (contraintes de sensibilité, coexistence/interférences...)
  - **RAN5** : procédures de tests & spécifications (terminaux)
- Meetings tous les 2 mois pour faire évoluer les **TS** (Technical Specifications) et **TR** (Technical Reports) via des **CRs** (Change Requests)
- Les *releases* continuent d'évoluer, même lorsqu'elles sont finalisées. Certaines fonctionnalités peuvent être *backportées* dans les release précédentes (e.g. bandes de fréquences)
- Exemple de *Technical Report*, synthétisant les CRs pour la bande 3.5 GHz :  
[http://www.3gpp.org/ftp/tsg\\_ran/TSG\\_RAN/TSGR\\_53/Docs/RP-111235.zip](http://www.3gpp.org/ftp/tsg_ran/TSG_RAN/TSGR_53/Docs/RP-111235.zip)

# Le 3GPP : évolution technologique

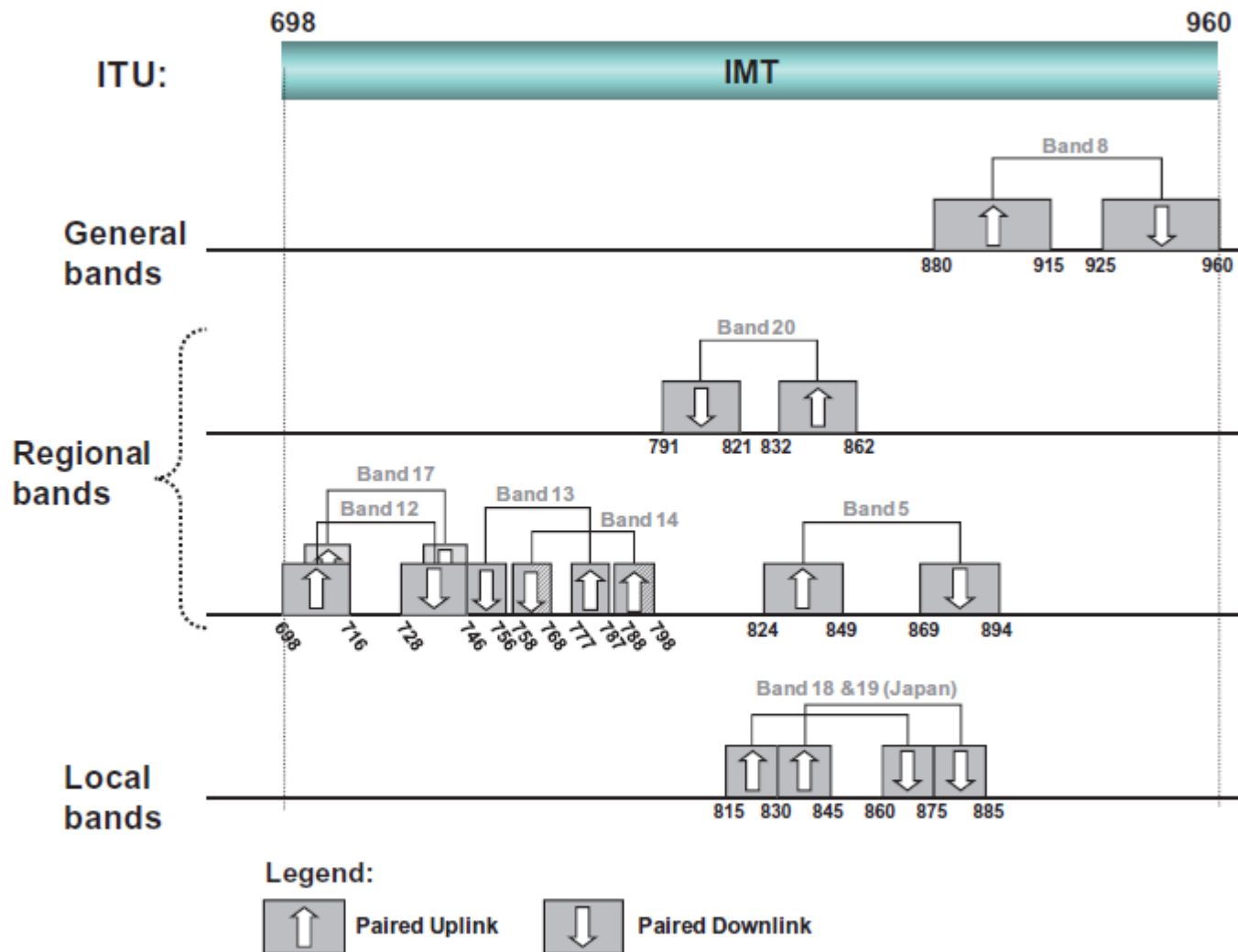
## ● GSM

- Très robuste : modulation GSMK. TDMA/FDD avec frequency hopping
- Déployé dans des bandes basses (890-915 MHz)
- Data possible avec GPRS/EDGE. Débit amélioré en EDGE avec support de la 8-PSK, mais toujours limité par la taille des canaux (200 kHz)

## ● UMTS

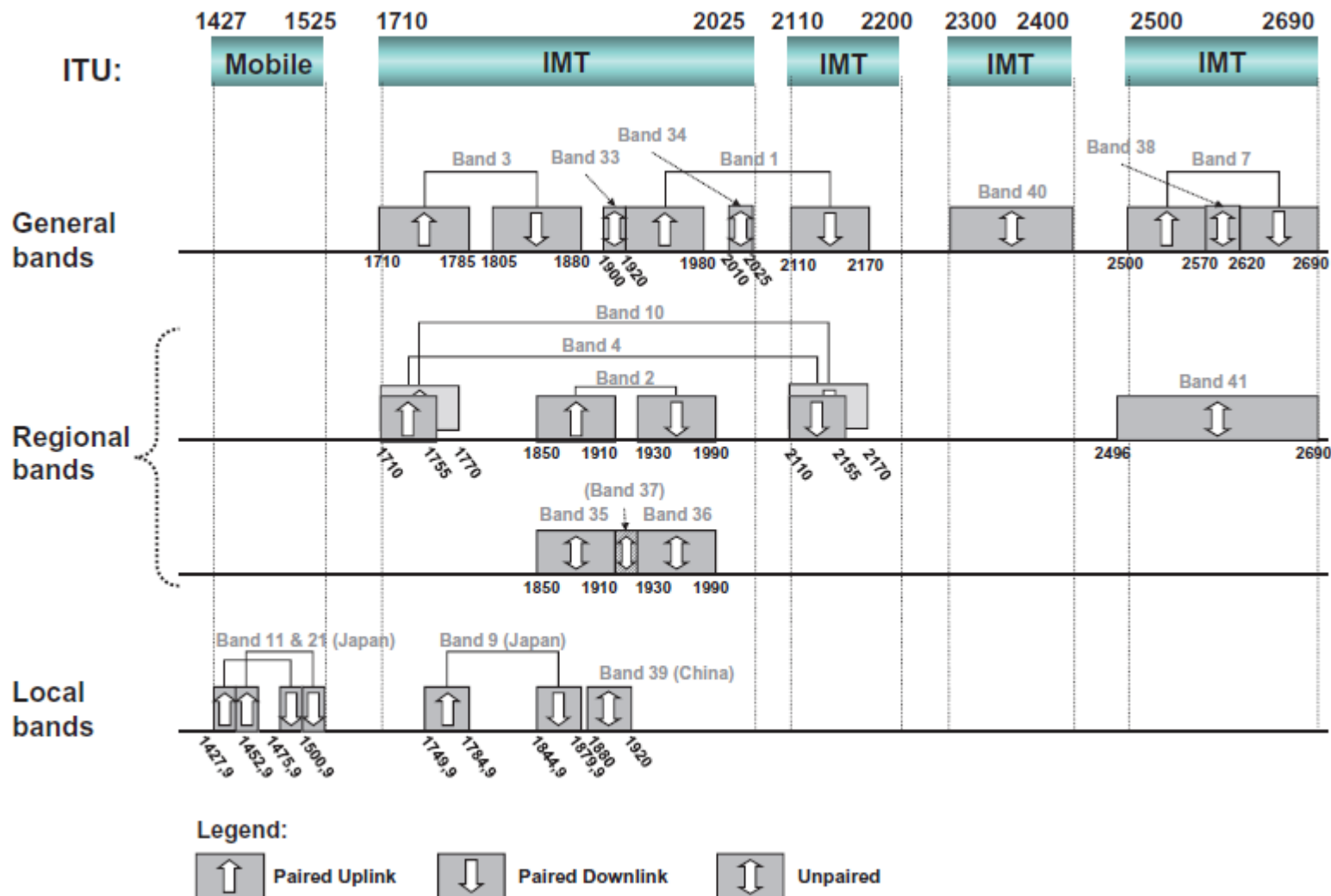
- Technologie 3G/IMT-2000. Basée sur WCDMA/FDD et canaux de 5 MHz
- Evolution (et non révolution) du cœur de réseau. Modes CS et PS
- Evolutions majeures :
  - R5 : HSDPA, HARQ, 16QAM...
  - R6 : HSUPA
  - R7 : HSPA+, MIMO 2x2, 64QAM, simplification du cœur de réseau...
  - R8 : arrivée du LTE, mais la couche WCDMA continue d'évoluer
- LTE (R8, R9) : couche physique très semblable au WiMAX, cœur de réseau très simplifié (tout-IP), canaux de 20 MHz... Pas encore 4G au sens de l'ITU
- LTE-Advanced (R10) : conforme IMT-Advanced ("vraie 4G"). MIMO d'ordre supérieur (8 antennes), carrier-aggregation (CA)...

# IMT : bandes basses



Source : "4g : Lte/Lte-advanced for Mobile Broadband" (Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold)

# IMT : bandes moyennes



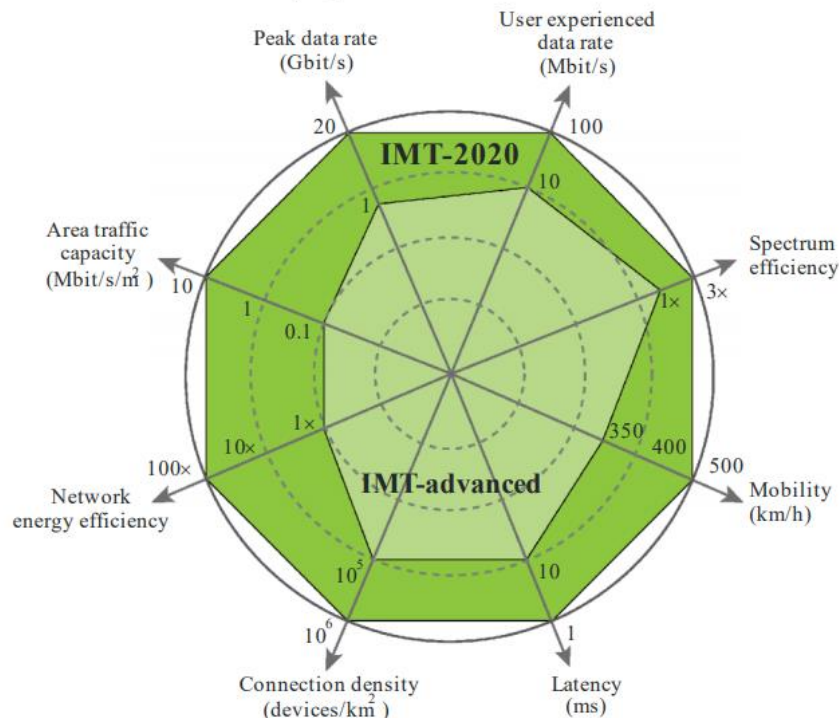
Source : "4g : Lte/Lte-advanced for Mobile Broadband" (Erik Dahlman, Stefan Parkvall, Johan Skold)



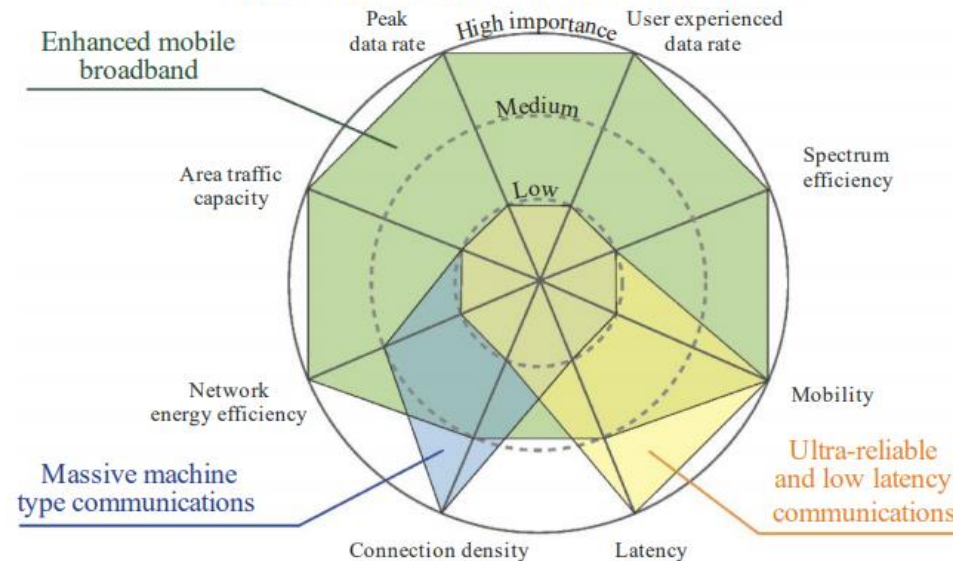
# Cahiers des charges ITU : KPIs

- L'ITU-R (WP-5D) émet un « cahier des charges » pour les technologies 3G/4G/5G
  - 3G -> IMT-2000
  - 4G -> IMT-advanced (M.2134)
  - 5G -> IMT-2020 (M.2083, M.2410)
- Les organismes de normalisation (3GPP, IEEE, etc) doivent ensuite prouver que leur spécification permet d'atteindre ces performances cible (e.g. 3GPP TR 38.913)

Enhancement of key capabilities from IMT-Advanced to IMT-2020



The importance of key capabilities in different usage scenarios



# Efficacités spectrales comparées

		IMT-Advanced (4G)		IMT-2020 (5G)	
		DL	UL	DL	UL
Peak data rate (Mbits/s)		1000	500	20000	10000
Peak spectral efficiency (bits/s/Hz)		15	6,75	30	15
Average/cell spectral efficiency	Indoor	3	2,25	9	6,75
	Micro	2,6	1,8	7,8	5,4
	Urban	2,2	1,4		
	Rural / high-speed	1,1	0,7	3,3	1,6
5th percentile spectral efficiency (cell edge)	Indoor	0,1	0,07	0,3	0,21
	Micro	0,075	0,05	0,225	0,15
	Urban	0,06	0,03		
	Rural / high-speed	0,04	0,015	0,12	0,045

	GPRS	EDGE	WCDMA	HSDPA	HSPA+
Cell max data rate (Mbits/s)	0,104	0,384	5,76	14,4	42
Bandwidth (MHz)	0,2	0,2	5	5	5
Min frequency reuse factor	3	3	1	1	1
Max spectral efficiency (Bits/s/Hz)	0,173333	0,64	1,152	2,88	8,4

# Un peu d'OFDM...

- Mono-porteuse :
  - Un flux de données binaires est transformé en flux de *symboles*. Un symbole est un couple de paramètres {amplitude, phase} pouvant prendre des valeurs discrètes parmi une *constellation* :
    - 64QAM == 64 symboles possibles == 6 bits/symbole
    - 16QAM == 16 symboles == 4 bits/symbole
    - QPSK == 4 symboles possibles == 2 bits/symbole
    - Plus il y a de symboles possibles, plus la modulation est sensible au bruit
  - on émet un flux de données à haut débit symbole (donc large-bande). En présence d'un canal sélectif en fréquence, ce signal est fortement affecté  $\Rightarrow$  nécessité d'égaliser. Mais la complexité de l'égalisation croît exponentiellement avec la taille du canal
- Multi-porteuses :
  - au lieu d'émettre un unique flux haut-débit/large-bande, on transforme ce flux en  $N_p$  sous-flux de débit  $N_p$  fois plus faible (donc de spectre  $N_p$  fois plus étroit), que l'on émet en parallèle sur  $N_p$  porteuses distinctes
  - on s'arrange pour que ces porteuses soient "orthogonales", i.e. respectent un espacement précis qui permet de récupérer l'information grâce à cette propriété mathématique plutôt que par filtrage  $\Rightarrow$  pas de perte de spectre
  - Le signal résultant est la somme de  $N_p$  sinusôides indépendantes, ayant chacune leur amplitude et leur phase propre définies par l'information qu'elles véhiculent  $\Rightarrow$  fort PAPR

# Un peu d'OFDM...

- Avantages :
  - Très bonne résistance de l'OFDM face aux multi-trajets et à la sélectivité fréquentielle : bien adaptée aux canaux large-bande
  - Grande flexibilité permise par l'OFDM sur le chargement des sous-porteuses (modulation indépendante sur chaque porteuse)
  - Egalisation très simplifiée algorithmiquement, toute la complexité est en numérique (DSP, FPGA, ASICs...)
  - L'OFDM s'associe très bien avec les techniques multi-antennes MIMO
  - Le mode TDD permet de choisir le ratio downlink/uplink approprié
- Inconvénients :
  - L'OFDM a un PAPR (Peak to Average Power Ratio) élevé, ce qui complique sa mise en œuvre ⇒ besoin d'amplificateurs très linéaires
  - L'OFDM est très sensible aux défauts de synchronisation fréquentielle et au bruit de phase ⇒ besoin d'oscillateurs stables
  - Le TDD nécessite des précautions particulières (synchronisation TDD avec les opérateurs voisins, ajustement du TTG vs rayon de cellule)
  - Dans le cas de réseaux denses, coexistence entre secteurs/cellules moins finement modélisée que sur les réseaux WCDMA

# Un peu d'OFDM : grille de ressources LTE

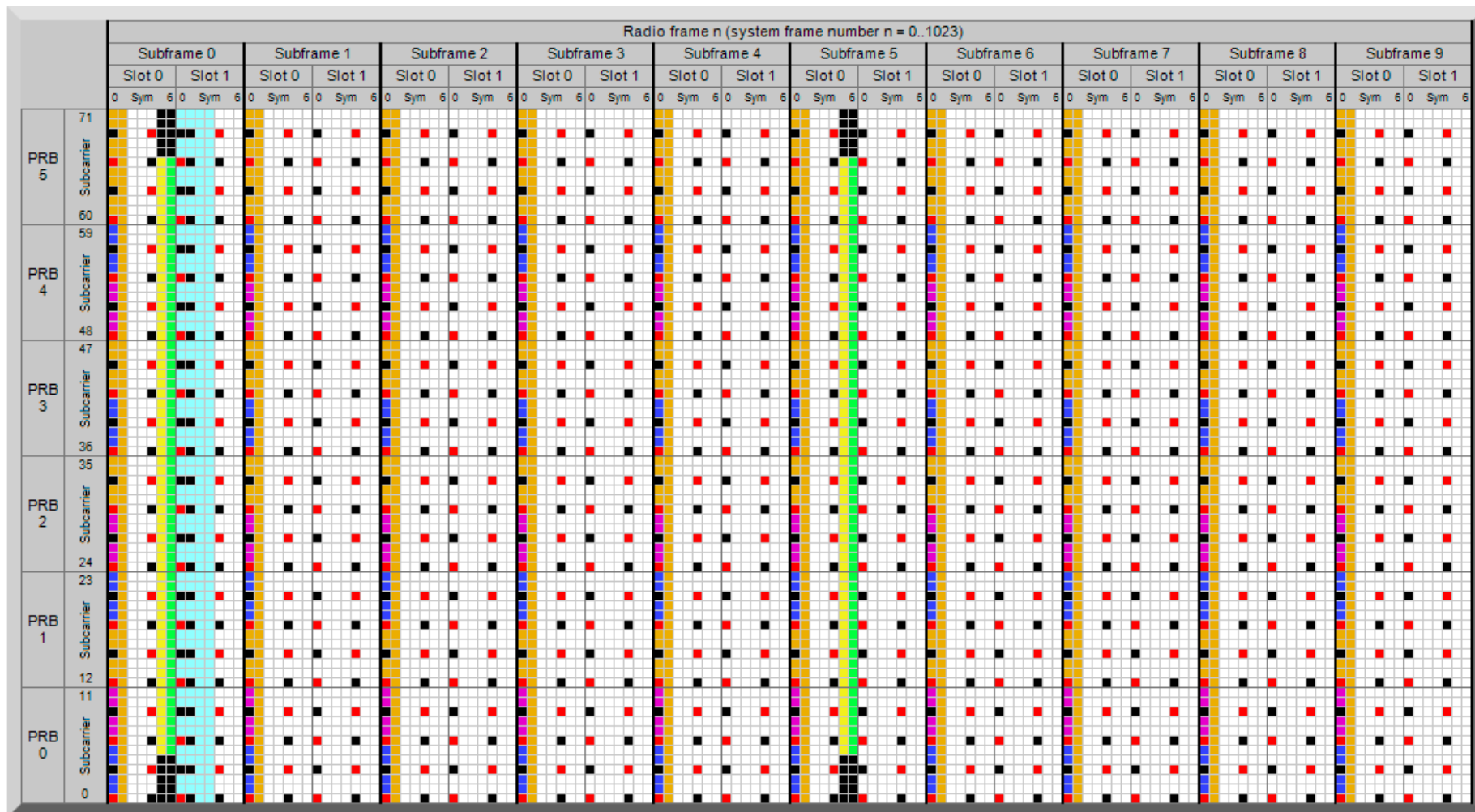


Image source : [https://www.sqimway.com/lte\\_resource\\_grid.html](https://www.sqimway.com/lte_resource_grid.html)



# Techniques multi-antennes

- Diversité d'espace en réception (SC, MRC...)
- Beamforming : plusieurs antennes à l'émissions (typiquement 4, séparées par  $\lambda/2$ . Pondération/déphasage sur chacune d'entre elles pour contrôler le lobe de rayonnement/réception afin de viser un terminal particulier ou de diminuer les interférences en provenance de directions données

- Codage espace-temps/STBC ("matrix A") : plusieurs antennes à l'émission.

Redondance spatio-temporelle pour fiabiliser la transmission :  $SNR = \sum_i \frac{|h_i|^2 E_x}{2\sigma^2}$

$$(x_1, x_2) \Rightarrow \begin{pmatrix} x_1 & -x_2^* \\ x_2 & -x_1^* \end{pmatrix}, \begin{cases} y(t_1) = h_1 x_1 + h_2 x_2 \\ y(t_2) = -h_1 x_2^* + h_2 x_1^* \end{cases}, \begin{cases} \hat{x}_1 = h_1^* y(t_1) + h_2 y^*(t_2) \\ \hat{x}_2 = h_2^* y(t_1) + h_1 y^*(t_2) \end{cases}$$

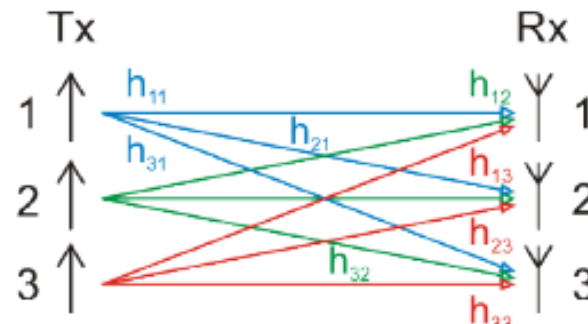
- MIMO Spatial Multiplexing ("matrix B") : plusieurs antennes à l'émission comme à la réception. Emission de messages indépendants sur chacune des antennes d'émission, et traitement de signal approprié dans le récepteur pour démêler les données mélangées. Augmentation de l'efficacité spectrale proportionnelle au nombre d'antennes !

$$\mathbf{Y} = \mathbf{H} \cdot \mathbf{X} + \mathbf{N} \Rightarrow \hat{\mathbf{X}} \approx \mathbf{H}^{-1} \mathbf{Y}$$

(Présume fading plat. Vrai sur chaque porteuse en OFDM)

$$C = E \left\{ \log_2 \det \left( \mathbf{I}_{N_r} + \frac{SNR}{N_t} \mathbf{H} \mathbf{H}^* \right) \right\} \\ \leq \min(N_t, N_r) \log_2(1 + SNR)$$

(Fonctionne surtout en NLOS car nécessite des trajets multiples!)



# Considérations générales : débit

- Débit pic d'une technologie  $\neq$  capacité d'un secteur !
  - Une majorité d'utilisateurs sont en QPSK et 16QAM (bordure de cellule ou de secteur, interférences, dongle USB...)
  - Le MIMO "spatial multiplexing" ne fonctionne pas en LOS
- Un utilisateur en faible modulation diminue la capacité d'ensemble et coûte plus cher qu'un utilisateur près de la BS ou avec un CPE outdoor (nécessite davantage de ressource-blocks temps-fréquences pour un même débit)
- $\Rightarrow$  capacité d'un secteur dépendant des clients !
- Considérons : sur un secteur/canal de 10 MHz, capacité de 12 MB/s
  - Impossible de *garantir* 1MB/s à chaque client, car impossible économiquement de se limiter à 12 clients/secteur !
  - Mais tous les clients ne font pas de trafic simultanément
  - Sur l'ADSL, taux de contention élevé ( $\sim 30$ ) car le multiplexage statistique se fait sur beaucoup de clients
  - Sur la radio, taux de contention de  $\sim 10 \Rightarrow$  100 clients possibles à 1MB/s

# Considérations générales : couverture

- Quelques centaines de mètres à quelques kilomètres (jusqu'à 15km en zone rurale, environ 1km en zone urbaine)
- Principaux facteurs :
  - Bande de fréquences
  - Puissance d'émission, gain d'antenne et sensibilité de la BS et du CPE (uplink généralement limitant)
  - Milieu de propagation, obstacles, météo...
  - Interférences
  - Usage (deep indoor vs light indoor vs outdoor)
  - En mode TDD : peut être limité par TTG/RTG (8km par défaut sur canaux de 5 ou 10 MHz, 16km sur canaux de 7 MHz)
- La couverture (ou les zones de couverture des différentes modulations) ne sont pas des cercles bien concentriques ! Nombreux "trous" au milieu des cellules...
- Avantages & inconvénients des bandes élevées (2.5, 3.5 GHz) : propriétés de propagation/diffraction défavorables, mais beaucoup de capacité disponible
  - Peu adapté à de larges cellules si puissance/gain du terminal limités
  - Bien adapté pour des plus petites cellules en zone dense urbaine
  - Pas de différence majeure entre 2.5 GHz et 3.5 GHz

# Quelles bandes de fréquences 5G ?

700 (B28), 800 (B20), 900 MHz (B8),  
1500 MHz, 1800 MHz (B3), 2 GHz (B1),  
2.6 GHz (B7), 3.4-3.8 GHz (B42/B43/n78)

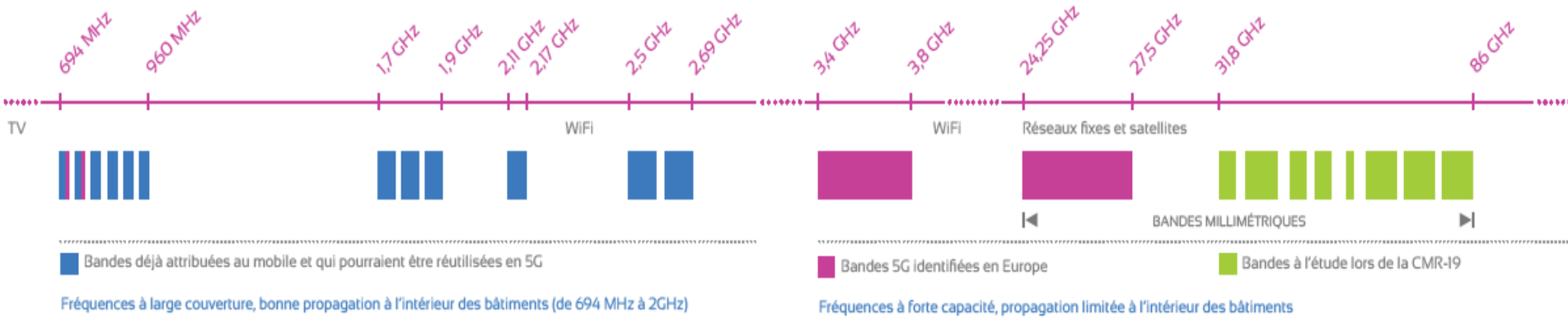


26 GHz + 42 GHz  
+ 66-71 GHz  
=  
**11 GHz**

=

**1200 MHz**

DE NOUVELLES BANDES DE  
FRÉQUENCES DÉJÀ IDENTIFIÉES



**Bandes « basses » déjà allouées en 2G / 3G / 4G**  
Un potentiel, y compris la bande 700 MHz  
Couverture, fiabilité, faible temps de latence, machine to machine



**3.4-3.8 GHz première bande 5G**  
compromis  
couverture/capacité



**24.25-27.5 GHz bande « pionnière 5G »**  
Principalement des  
« hot spots »



**D'autres bandes hautes à l'étude lors de la CMR en 2019**



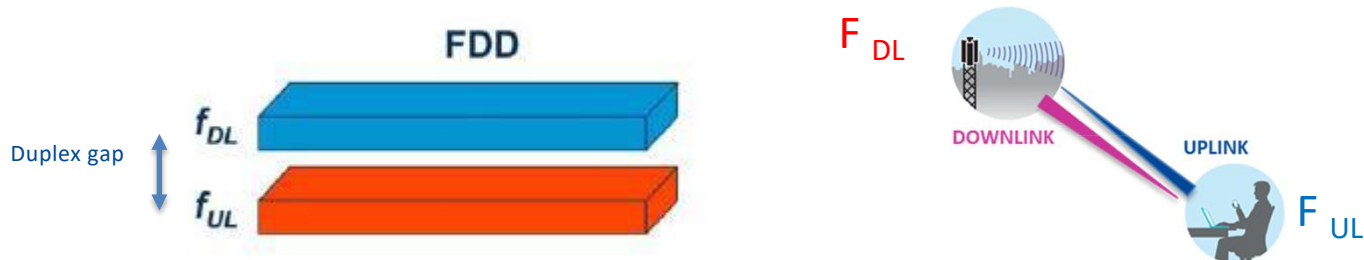
# La 5G/TDD : questions de synchronisation



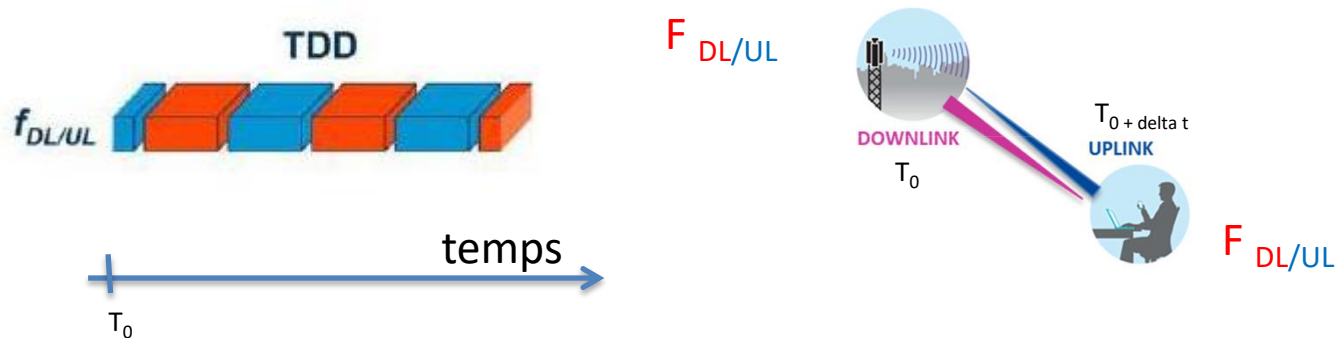
# Qu'est-ce que le TDD ?

Le LTE comme la 5G NR supportent deux types de modes de transmission : le mode Frequency Division Duplex (FDD) et le mode Time Division Duplex (TDD).

Dans le mode FDD, une fréquence est utilisée dans le sens descendant (DL) et une autre fréquence dans le sens montant (UL). L'écart entre la fréquence descendante et la fréquence montante s'appelle l'écart duplex.



Dans le mode TDD, la même fréquence est utilisée au cours du temps en alterna, soit dans le sens descendant (DL), soit dans le sens montant (UL). **Nécessité de définir un ratio UL/DL.**





# La 5G est (essentiellement) TDD !

La bande 3.4-3.8 GHz (B42/B43/n78), comme la bande 26 GHz, est TDD

## • Avantages du TDD

- Flexibilité sur la structure de trame (ratio UL/DL, statique/dynamique)
- Réciprocité du canal de propagation (AAS / massive-MIMO)
- Economies d'échelle : UE identique partout dans le monde quel que soit la partie de la bande qui est ouverte
- Pas besoin de spectre apparié



*"The answer to the Ultimate Question of Life, the Universe, and Everything is... 42 !"*  
Douglas Adams – The Hitchhiker's Guide to the Galaxy

## • Le TDD entraine des cas d'interférences BS-BS et UE-UE

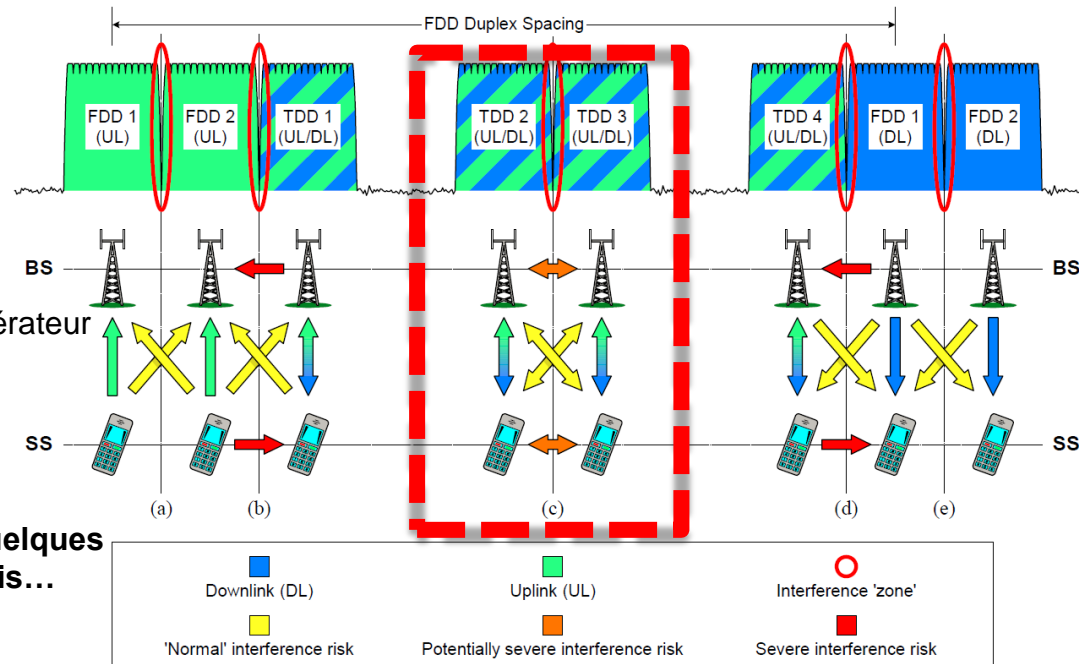
- **Solution 1** : bandes de garde + filtres
- **Solution 2** : synchronisation
- **Solution 3** : isolation géographique

## • Situations nouvelles en Europe

Le TDD était autrefois cantonné à de la BLR (i.e. déploiements ruraux)

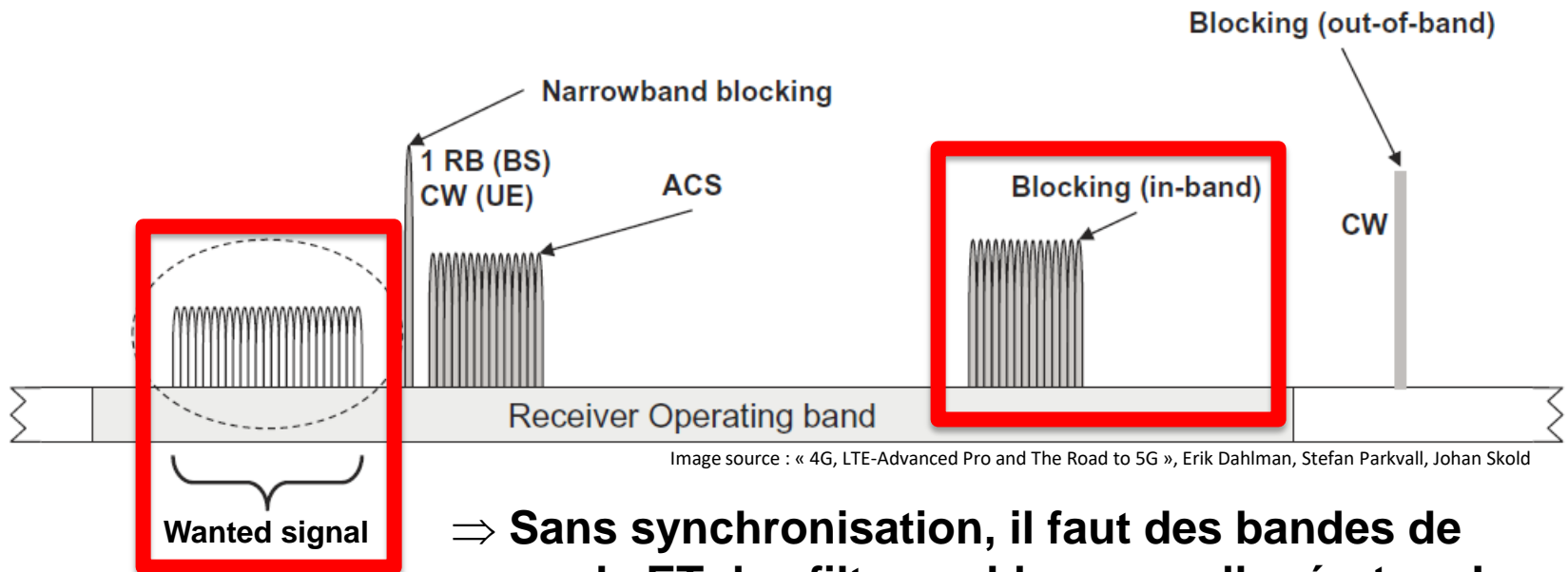
- Peu de problématiques de synchro inter-opérateur
- Peu de problématiques à la frontière
- Antennes non-AAS en capacité d'intégrer des filtres spécifiques si nécessaires

⇒ On pense souvent à tort qu'il suffit de quelques bandes de garde pour résoudre les soucis...



# Solution 1 : filtres + bandes de garde /1

- **Les specs 3GPP présument une synchronisation parfaite !**  
⇒ Les problématiques d'interférences UE-UE et BS-BS ne sont pas prises en compte !
- **L'ECC-PT1 a défini des conditions pour le cas synchronisé et non-synchronisé**  
⇒ Voir Rapports ECC203 (4G) et 281 (5G/AAS), de décisions ECC(11)06, EC 2014/276/EU
  - Le mode synchronisé se calque sur le masque d'émission 3GPP
  - Le mode non-synchronisé requiert un masque beaucoup plus strict : -43 dBm/(5 MHz) per cell (AAS TRP)
- **Des bandes de garde seules ne sont d'aucune utilité s'il n'existe pas de filtre RF ad-hoc !**
  - **Tx** : sans filtre personnalisé pour l'opérateur, impossible de tenir la baseline restrictive du mode non-synchronisé
  - **Rx** : sans filtre personnalisé, le **in-band blocking** (e.g. saturation du LNA/Mixer et du RF frontend) **peut se produire entre deux opérateurs dans la bande passante du filtre RF quel que soit l'écart fréquentiel**

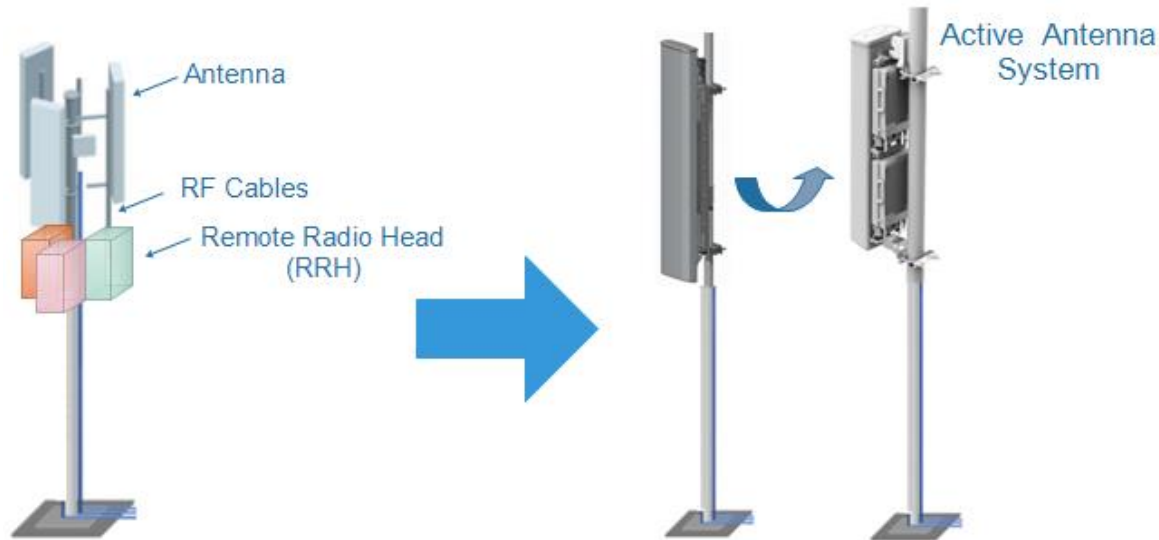


⇒ **Sans synchronisation, il faut des bandes de garde ET des filtres ad-hoc pour l'opérateur !**

# Solution 1 : filtres + bandes de garde /2

## Pas de filtre personnalisé sur les AAS !

- Dans les AAS : **le RRH et les antennes sont fusionnés en une seule entité** : aucun moyen simple d'ajouter du filtrage additionnel externe (tel que des filtres à cavité)  $\Rightarrow$  seuls les équipementiers BS sont en capacité d'implémenter un filtrage dédié
- **Les opérateurs Européens sont trop petits pour obtenir des variantes AAS personnalisées**  
 $\Rightarrow$  équipements génériques (e.g. 3.4-3.6 GHz ou 3.4-3.8 GHz)
- Les limites sont maintenant définies en  $TRP \stackrel{\text{def}}{=} \frac{1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} P(\theta, \varphi) \sin\theta d\theta d\varphi = \text{intégration spatiale du rayonnement ce qui se rapproche de la puissance conduite}$

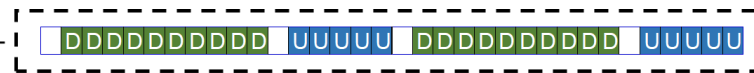


$\Rightarrow$  **En 5G, il est plus que jamais souhaitable de se synchroniser !**

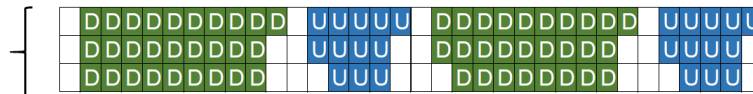
# Solution 2 : TDD synchronisé /1

- Voir rapport ECC 216 !
- Une manière d'éviter les interférences BS-BS et UE-UE est de s'arranger pour que les équipements susceptibles de s'interférer émettent en même temps et reçoivent en même temps
- Ceci implique un accord multilatéral sur deux points (§3.2)
  - **Horloge commune de référence (§2.2)** : Pour le LTE et la NR, il est nécessaire d'avoir une référence de **phase** (et pas seulement de fréquence) avec une précision de l'ordre de +/- 1.5µs
  - **Configuration de trame commune (ou compatible, §2.3)** afin d'éviter les superpositions Tx/Rx. Ceci implique notamment une taille de trame commune et un ratio DL/UL commun, deux aspects qui affectent les performances

**BASILINE frame structure** ←



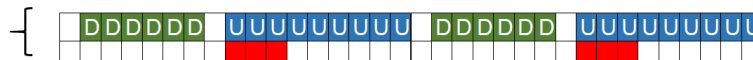
Example of frames synchronized with baseline frame:  
Compatible frame structures.  
No cross link interference.



Example of frames unsynchronized with baseline frame:  
Compatible frame structures  
With different start of frame.  
Leading to cross link interference.



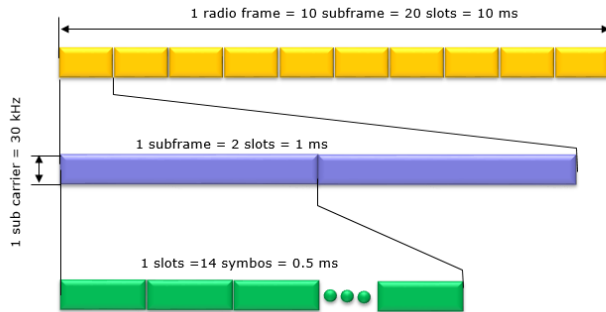
Example of frames unsynchronized with baseline frame:  
Different frame structures  
With the same start of frame.  
Leading to cross link interference.



**D** Downlink  
**U** Uplink

**■** Simultaneous UL / DL transmission  
**□** Guard period

# 3GPP & structure de trames TDD en 5G

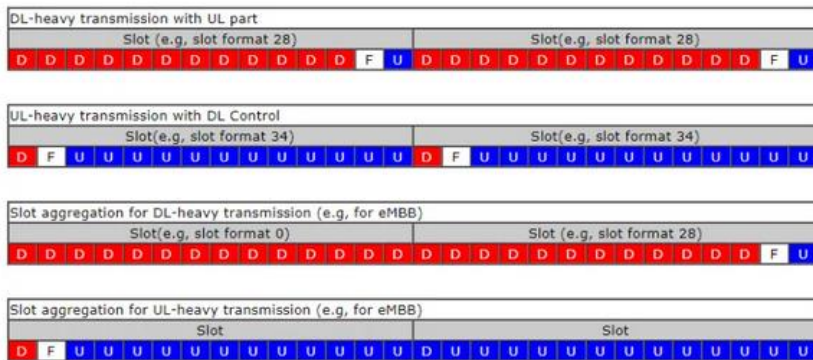


Cas considéré : Espacement entre sous porteuses de 30 kHz

## Pourquoi avons-nous besoin de tant de « slot formats »?

L'objectif principal est de rendre le scheduling NR flexible.

En appliquant un slot format ou en combinant différents slot format, on peut implémenter différents types de scheduling comme dans l'exemple suivant :



D : downlink

U : uplink

F : flexible

**TS 38.213**

# Solution 2 : TDD synchronisé /2

## Les couloirs du temps...

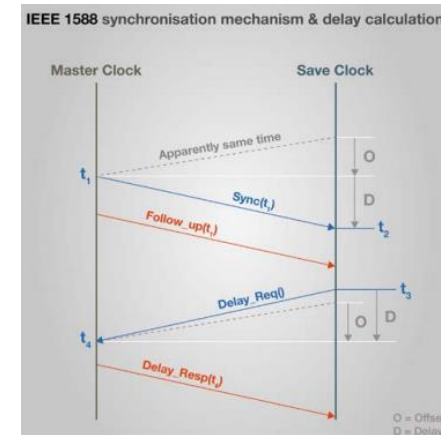
- Le mot synchronisation est utilisé « à toutes les sauces »
- Pour notre besoin (interférences TDD) : on parle d'une référence de phase e.g. UTC +/- 1.5  $\mu$ s
  - De nombreuses sources (e.g. Allouis, NTP, etc.) ne permettent pas de tenir cette précision !
  - eLoran le permet en théorie, mais avenir incertain
  - Autres approches (e.g. horloges décentralisées) encore plus incertaines



- Principales approches à ce stade
  - **GNSS/GPS** : le plus direct et le plus simple en outdoor. Mais : pas de couverture indoor + vulnérable au jamming/spoofing GPS !
  - **Packet networks (IEEE1588/PTP + SyncE)** : Profils G.827x de l'ITU-T Q13 pour le transfert d'horloge (nécessite toujours une source traçable jusqu'à UTC). G.8275.1 requiert que chaque noeud entre la source et la destination ait un support hardware pour compenser l'erreur introduite par l'équipement
  - **Network listening** : récupération d'horloge depuis une macrocell voisine (3 sauts max)

- Une horloge désynchronisée entraine des interférences RF !

- En cas de perte de la référence de temps, l'oscillateur local de la station de base peut fonctionner en roue libre pendant une période de temps qui dépend de sa qualité avant que sa dérive n'excède les +/- 1.5 $\mu$ s (un TCXO dérive plus vite qu'un OCXO, qui dérive plus vite qu'un OCXO asservi sur une référence de fréquence SyncE...).
- Pour une macrocell typique, cette durée "holdover" est entre 2 heures et 2 jours (N.B. la majorité des brouillages GPS observés semble a priori localisée dans l'espace et dans le temps sur des durées inférieures au holdover)
- Sujet pour l'ANFR : comment mesurer une désynchronisation ?
- Sujet pour l'Arcep : faut-il qu'une infrastructure commune de supervision des horloges soit implémentée ?

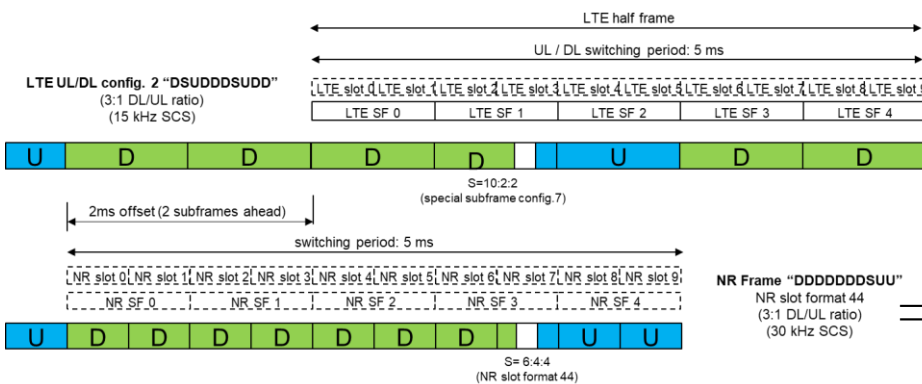




# Solution 2 : TDD synchronisé /3

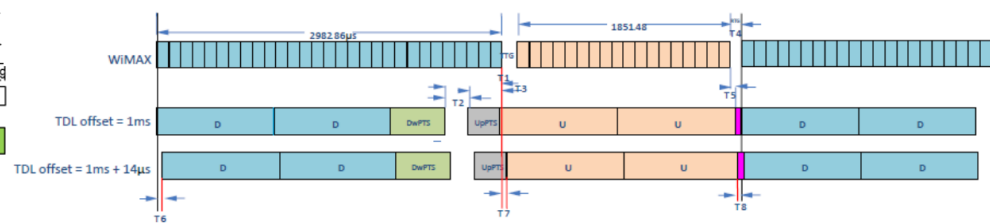
## La trame de fond...

- La structure de trame impacte les performances : latence, ratio UL/DL, couverture...
- La régulation EU est neutre technologiquement, la synchro TDD ne l'est pas !
  - Pas toujours techniquement possible d'implémenter une trame commune entre technologies (e.g. Ubiquiti \*M3)
  - Théoriquement faisable entre WiMAX/LTE sous certaines conditions (cf. ECC report 216 §2.3)
  - Théoriquement faisable entre LTE et 5G-NR (cf. ECC report 296), mais **sous-optimalité non-négligeable !**
    - La 5G ne peut plus tenir les engagements de latence urLLC ! (~10ms de pénalité)
    - La 5G ne peut plus non plus mettre en œuvre des nouveautés telles que self-contained subframe
  - Les équipementiers n'implémentent pas toujours l'ensemble des configurations du standard 🗨️
    - En pratique : pas possible de synchroniser WiMAX+LTE+5G



NR Frame "DDDDDDSUU"  
NR slot format 44  
(3:1 DL/UL ratio)  
(30 kHz SCS)

⇒ La synchronisation inter-technologies a souvent un coût sur les performances



# GP vs max inter-site distance

## TDD Guard period between DL-UL matters...

- GP leads to a maximum cell size and « synchronized area »
  - For proper operation between BS-UE, the GP must be larger than 2x propagation time + time needed for switching from DL to UL inside the UE
  - For proper operation between sites in co-channel, GP must also be larger than the propagation time to the farthest base station that it might interfere with, otherwise end of DL of aggressor will start to hit beginning of UL of the victim... (N.B. interference can be mutual)
- In the example of LTE subframe S#7 (« French reference frame »)
  - GP is 2\*OFDM symbols i.e. 142.7μs (GP = 4384\*Ts, with Ts defined as 1/(15000\*2048)), i.e. The signal can travel 43km during that time
  - Max cell radius is 21km
  - If sites farther than 43km are likely to interfere due to propagation conditions (e.g. sites in line-of-sight on top of a hill), synchronization won't protect them unless a bigger GP is set
- Intra vs inter-operator concerns
  - No BS-BS adjacent-channel interference expected beyond ~20km
  - Within a country, co-channel case is mostly an intra-operator concern (and optimizations such as automatic adjustment of GP may be implemented).
  - In co-channel cross-border cases, « inter-operator GP » (i.e. gap between end of latest DL and beginning of first UL) should be considered for studies if the configured GP are not equal

Config	DwPTS	GP	UpPTS	Max inter-site distance (km)
0	3	10	1	214
1	9	4	1	86
2	10	3	1	64
3	11	2	1	43
4	12	1	1	22
5	3	9	2	193
6	9	3	2	64
7	10	2	2	43
8	11	1	2	22

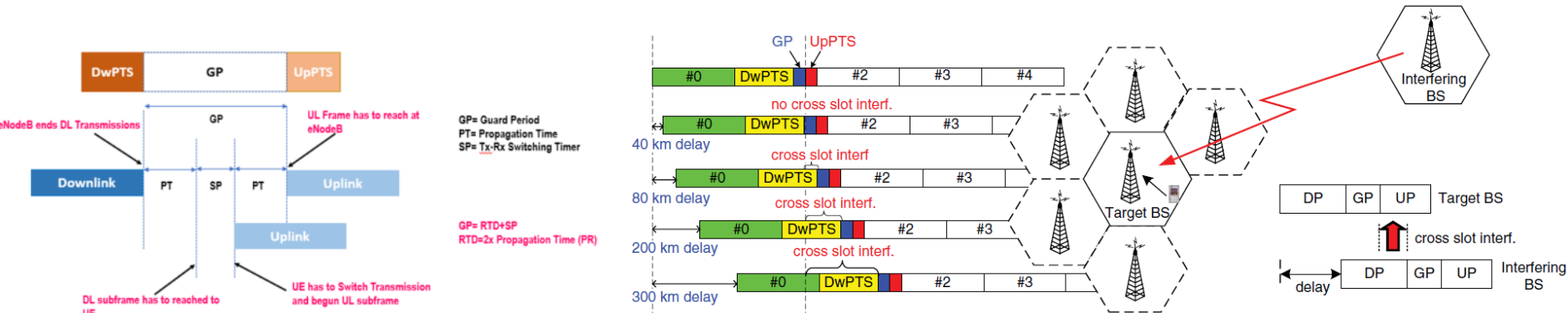


Image source : « LTE optimization engineering handbook », Zhang Xincheng

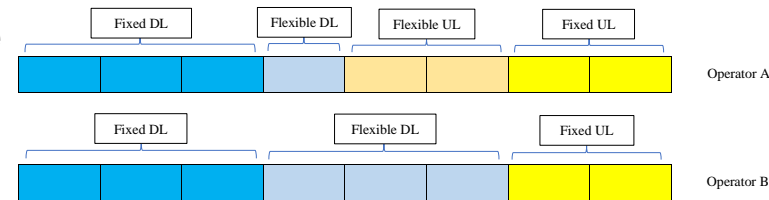
# Solution 2 : synchronized TDD operation /4

## Quelques mots sur la « semi-synchronisation »

- **1<sup>ère</sup> définition : protection des canaux de contrôle (spécifique à 5G-NR)**
  - Synchronisation des horloges + protection du début/fin de la trame afin de protéger les canaux de contrôle 5G
  - Ratio UL/DL dynamique/flexible sur la charge utile au milieu de la trame
  - Les éventuelles « collisions » temporelles n'impacteront que des données usager et non des données de contrôle. La perte de paquet peut être statistiquement acceptable pour l'opérateur sous certaines circonstances (e.g. small cells non colocalisées et non chargées à 100%)
- **2<sup>nd</sup>e définition plus générale : interférences asymétriques**
  - Si les interférences UE-UE peuvent être négligées devant les interférences BS-BS et si les opérateurs alignent les horloges, alors l'opérateur qui a le plus de downlink est agresseur et l'opérateur qui a le plus d'uplink est victime
  - Donc, partant d'une trame de référence, les opérateurs peuvent librement choisir de réduire leur ratio DL/UL à leurs risques et périls mais sans dommage pour les opérateurs voisins

- **Techniquement, c'est une variante du mode synchronisé**

- Horloge commune + accord inter-opérateur sur quelles parties de la trame sont DL / flexibles / UL
- Peu de recul => **réglementation applicable est pour l'instant celle du mode non-synchronisé**. C'est probablement excessivement restrictif, mais besoin de plus de recul pour être plus permissif



⇒ **La semi-synchronisation sera sûrement utile pour des small cells, mais n'est pas une solution résolvant les challenges sur les macrocells bande C**

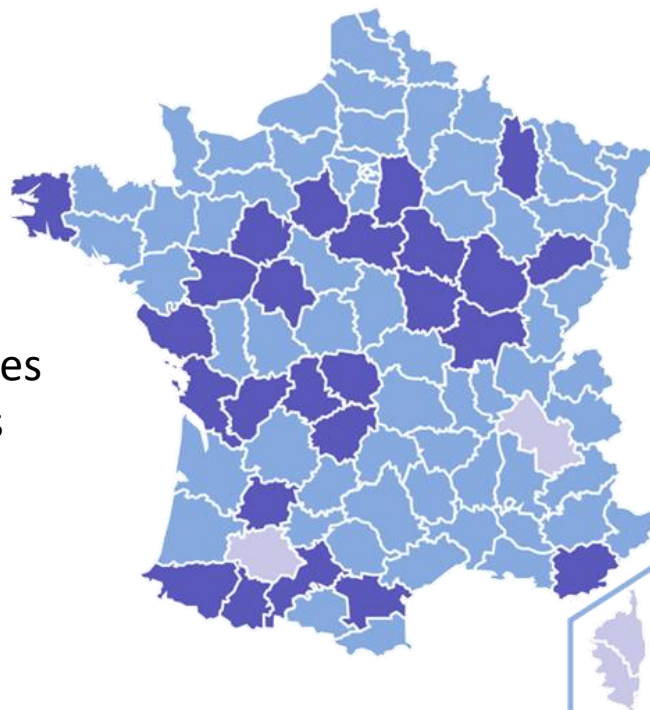
# Solution 3 : isolation

- **ECC report 296 : toolbox sur la coexistence entre systèmes non-synchronisés**
    - Distances jusqu'à **60km en co-canal**, et jusqu'à **16km en canal adjacent**
    - Les microcells outdoor doivent être synchronisées avec la couche macro (sauf exception)
    - Les picocells indoor peuvent être non-synchronisées sous certaines conditions (installation par un professionnel)
  - **Discussions au niveau national (Arcep)**
    - Etudes complémentaires au rapport 296 (e.g. agresseur 4G/WiMAX avec 0° tilt)
    - Résultats préliminaires : distances nécessaires jusqu'à **80km en co-canal, 40km en canal adjacent !**
  - **Révision de la rec (15)01 : cross-border coordination**
    - **Sujet majeur** : pas de trame commune pan-européenne ! Distances de séparation inacceptables pour petits pays
    - Pour le moment, seuils différents pour les cas synchro [67 dB $\mu$ V/m/5 MHz] et non synchro [32 dB $\mu$ V/m/5 MHz]
    - Pourrait être envisagé au sein d'un même pays e.g. entre BLR (opérateurs régionaux) et 5G
      - À condition qu'il existe des lignes "frontières" stables internes au pays
      - Mais la 5G n'a pas vocation à rester cantonnée à certains hotspots urbains et longera aussi les axes routiers/ferroviaires dans les territoires...
- ⇒ **Les distances de séparation nécessaires sont très importantes en cas de réseaux TDD non synchronisés et sans filtre dédié !**

# Quelle cohabitation 5G dans la bande 3400-3800 MHz ?

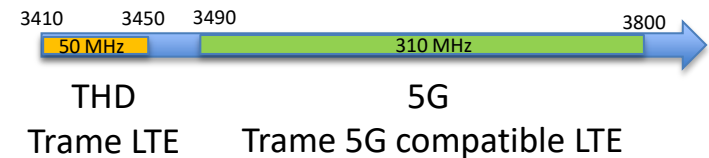
En 2017, l'Arcep a renforcé sa régulation des réseaux fixes pour faciliter et accélérer, notamment dans les zones d'initiative publique, le déploiement de la fibre. Dans le même temps, **pour apporter des améliorations rapides répondant aux besoins les plus immédiats des Français**, l'Autorité s'attache à permettre la mise en place de l'ensemble des technologies.

Dans cette perspective, **l'Arcep a décidé d'attribuer aux acteurs de l'aménagement numérique la bande 3410 - 3460 MHz pour le déploiement du THD (très haut débit) radio.**



Date de fin des autorisations en 2026

Disponibilité des fréquences



	Procédure d'attribution en cours
	Fréquences attribuées

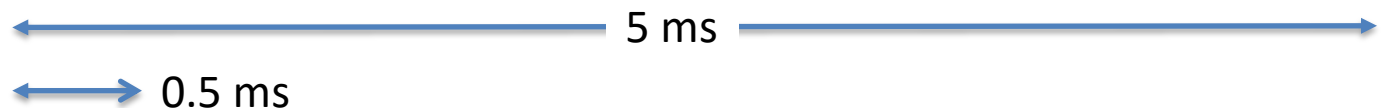
# Une trame 5G, compatible 4G pour la France, UK, Monaco

En mode TDD, une trame détermine le séquençement de la durée de transmission dans un sens puis dans un autre, ainsi que le temps de renversement.

Une horloge commune permet de faire fonctionner tous les équipements ensemble. A date, **la trame retenue en France métropolitaine (DDDSUDDDD), définie par la décision n°2019-0862 de l'Arcep a également été retenue par le Royaume-Uni et Monaco.**

La trame 5G dite « DDDSUDDDD » est compatible avec la trame LTE DSUDD (config. n°2) **pour le THD.**

		subframe number 0		1		2		3		4	
		slot number 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Trame 4G (scs 15 kHz)	DSUDD (5ms)	D		S		U		D		D	
Trame 5G (scs 30 kHz)	DDDSUDDDD (5ms)	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D

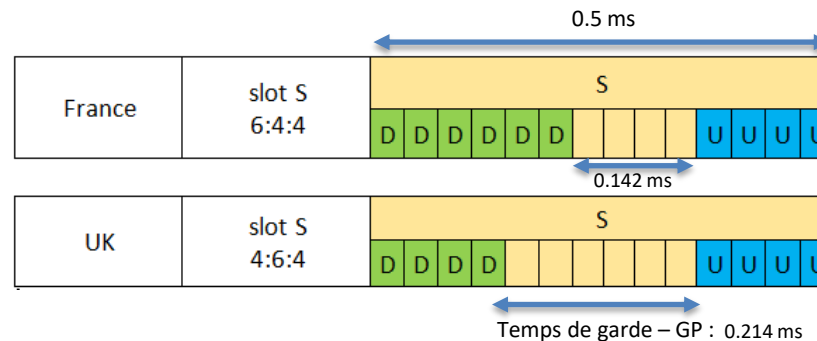




# France – Royaume Uni : slot S différent

Avec une période garde GP de **4 symboles OFDM** (0.142 ms) pour la France, le rayon de cellule maximal correspond à  $3.10^5 \text{ km/s} \times 142.10^{-6} \text{ s} / 2 = 42,6 \text{ km} / 2 = 21.3 \text{ km}$ . Dans de bonnes conditions de propagation (propagations exceptionnelles) des perturbations peuvent être engendrées par des trajets supérieurs à 42.6 km.

Avec une période garde GP de **6 symboles OFDM** (0.214 ms) pour le Royaume-Uni, le rayon de cellule maximal correspond à  $3.10^5 \text{ km/s} \times 214.10^{-6} \text{ s} / 2 = 64.2 \text{ km} / 2 = 32.1 \text{ km}$ . Dans de bonnes conditions de propagation (propagations exceptionnelles) des perturbations peuvent être engendrées par des trajets supérieurs à 64.2 km.



**Slot Format 44**

=> La France pourrait être perturbée par les émissions anglaises dans de bonnes conditions de propagation nécessitant un changement de « *slot format S* » localement. Cette solution resterait compatible avec le réseau 5G existant.

# Trames 5G incompatibles entre elles

D'autres pays ont fait le choix d'une trame différente :

- L'Allemagne et la Suisse ont fait le choix d'une trame 5G «pure» DDDSUDDDSU.

Ou d'une implémentation différente de la trame 5G dite compatible LTE :

- L'Italie : identification d'une trame 5G compatible 4G mais avec un offset de +2ms pour être compatible avec le Wimax (autorisation jusqu'en décembre 2023).

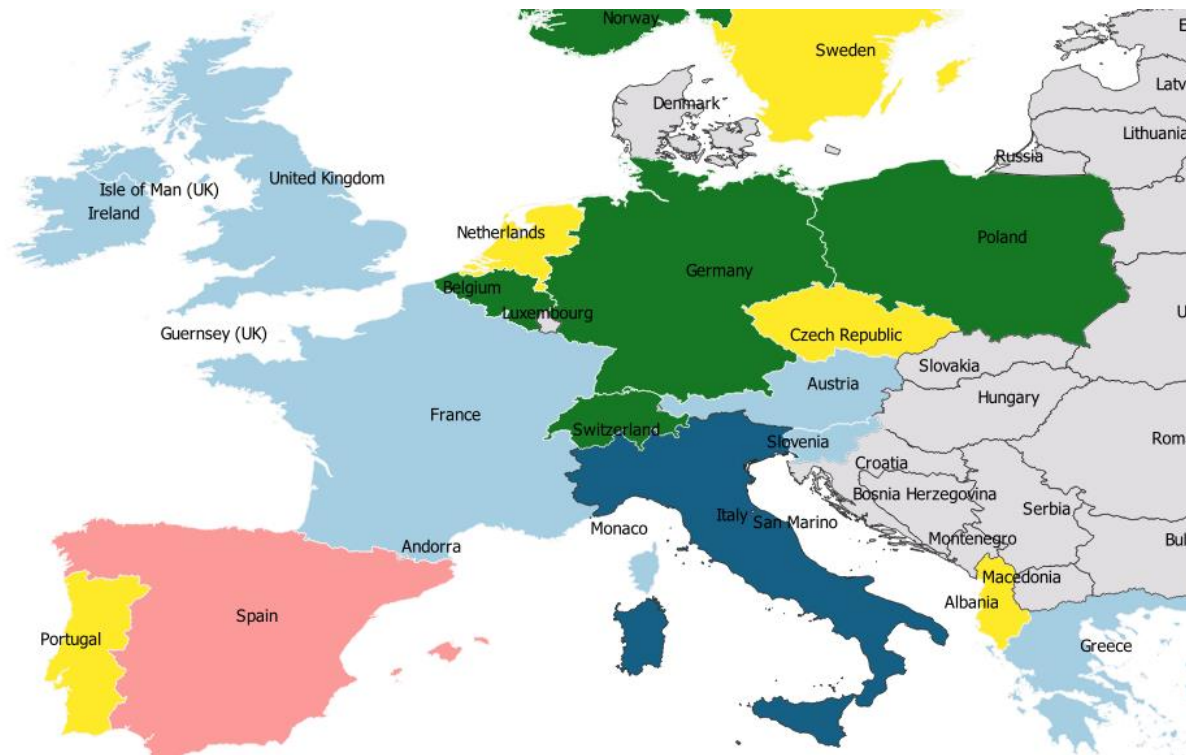
Les choix de ces trois pays ne permet pas la synchronisation totale (même trame, même horloge)

France	DDDSUDDDD (5ms)	D	D	D	S	U	U	D	D	D	D
Allemagne/ Suisse	DDDSU (2.5ms)	D	D	D	S	U	D	D	D	S	U
Italie	DDDSUDDDD + 2ms (5ms)	D	D	D	D	D	D	D	S	U	U

Perte de 43% (et 50 %) des symboles UL à la frontière pour la France (et l'Allemagne), sans implémentation de fonctionnalité de protection (type « Blanking »). Dégrade le beamforming (SRS brouillés) et le débit Downlink (acquitements TCP).

# Quelle trame pour quel pays en Europe ?

- trame DDDSU
- trame DDDSUUUUUU/DDDDDDDSUU+3ms
- potentiellement DDDSUUUUUU
- potentiellement DDDSU
- tame DDDSUUUUUU décalée
- à déterminer/choix non connu



N.B. informations susceptibles d'avoir évolué depuis la création de ce slide!

# Recommandation ECC (15)01

“Cross-border coordination for mobile / fixed communications networks (MFCN) in the frequency bands: 694-790 MHz, 1452-1492 MHz, 3400-3600 MHz and 3600-3800 MHz”

En fonction des déploiements, la recommandation ECC 15 01 définit les seuils applicables en bande de fréquence 3400-3800MHz :

- **Réseaux synchronisés de part et d'autre de la frontière :**

- 67 dB $\mu$ V/m/5MHz at 3m @ 0km
- 49 dB $\mu$ V/m/5MHz @3m @ 6km



**Seuil haut**

Couverture à la frontière

- **Réseaux non-synchronisés de part et d'autre de la frontière :**

- 0 dB $\mu$ V/m/5MHz @3m @0km



**Seuil bas**

Pas de couverture à la frontière

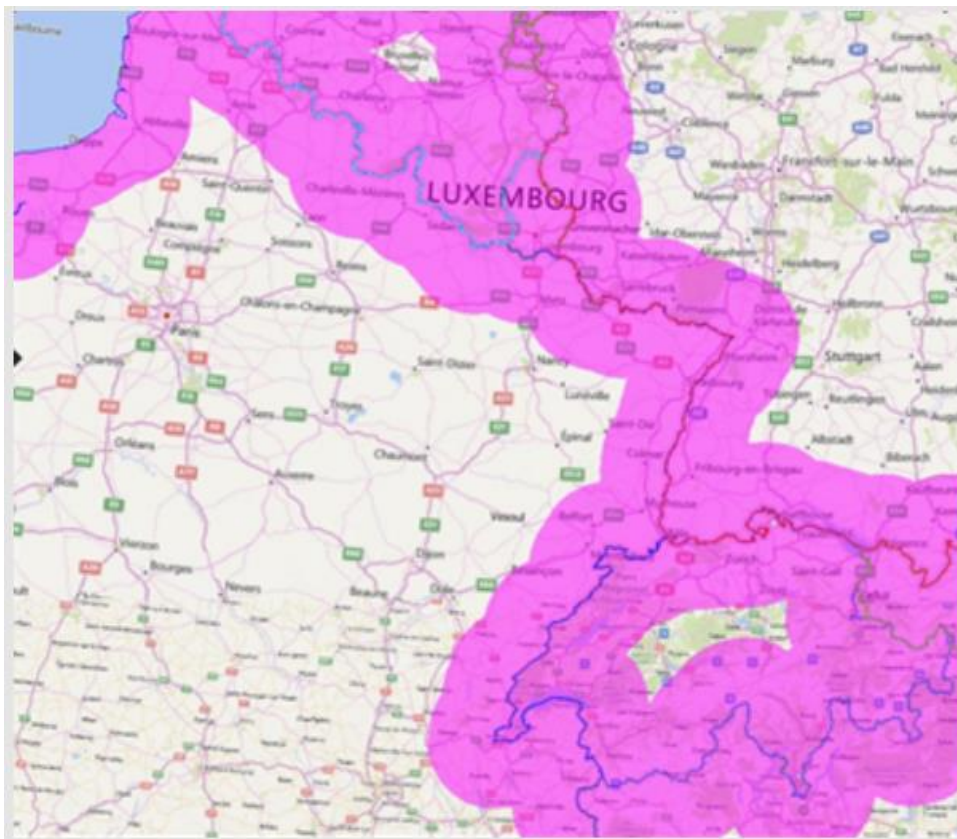
- **Partage de fréquences** en cas de réseaux non-synchronisés à la frontière :

- Approche non privilégiée par les opérateurs :
  - Réduction de la BW des opérateurs
  - Difficile à mettre en place



## Exemple : 0 dB $\mu$ V/m/5 MHz - Pas de couverture à la frontière

La figure ci-dessous représente la zone de brouillage à la frontière, évaluée à partir du dépassement d'un seuil de 0 dB $\mu$ V/m/5 MHz. Cette figure illustre pour des pays comme la Belgique, le Luxembourg ou la Suisse ce que pourrait être la zone d'impact, pour un corridor de coordination de 100 km de large.



# Solution long terme : DL symbol Blanking

En cas de trames différentes entre pays frontaliers, la Recommandation ECC (15)01 propose une option pour une synchronisation partielle :

✓ **Synchronisation avec le « DL symbol blanking »**

Pas d'émission simultanée entre une trame Downlink et une trame Uplink

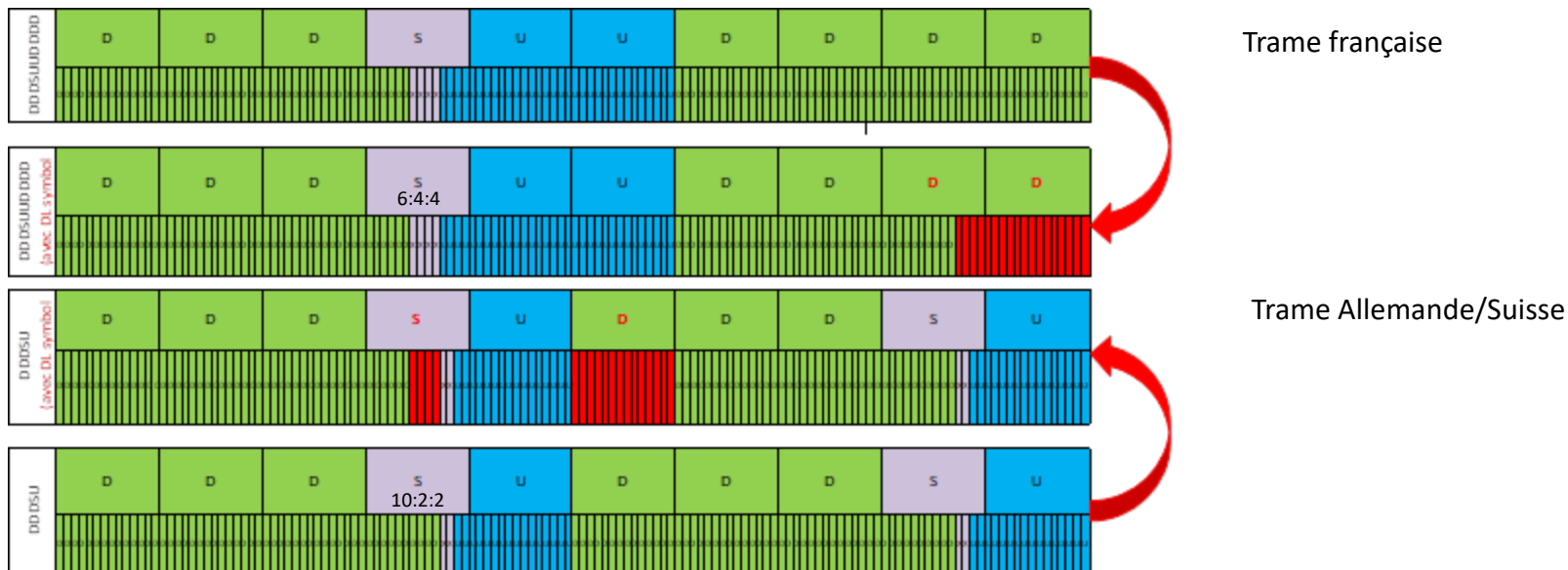
France	DDDSUDDDD (5ms)	D	D	D	S	U	U	D	D	D	
Allemagne/ Suisse	DDDSU (5ms)	D	D	D	S	U		D	D	S	U

- Date de disponibilité au plus tôt fin 2021 (source opérateurs).
- Déploiement avec le seuil haut dans la zone de coordination identifiée.



# Zoom sur le DL symbol Blanking

En rouge sont indiqués les symboles Downlink qui ne sont plus utilisés.



- ❑ Perte de capacité de 17.3 % de symboles DL pour la France comme pour l'Allemagne et la Suisse.
- ❑ Impact supplémentaire possible (à l'étude au PT1) en cas de blanking de symboles de contrôle (SSB).

# Recommandation ECC(20)03

« Frame structures to facilitate cross-border coordination of TDD MFCN in the frequency band 3400-3800 MHz »

Afin de favoriser l'écosystème permettant le développement de la fonctionnalité « DL symbol Blanking », la recommandation ECC (20)03 permet de limiter le nombre de trames à considérer. Les trames DDDSUDDDD (trame NR compatible avec le LTE) et DDDSU (trame NR pure) ont été identifiées.

	Frame A			Frame B		
DL/UL slot pattern	DDDSU DDDSU DDDSU DDDSU (see note 1)			DDDSUDDDD DDDSUDDDD (see notes 1, 4)		
Frame duration	10 ms			10 ms		
Slot Duration	0.5 ms			0.5 ms		
Slot pattern periodicity	2.5 ms			5 ms		
Special slot "S" configuration (i.e., DL:GP:UL symbols)	Downlink	Guard period	Uplink	Downlink	Guard period (note 5)	Uplink
	10	2	2	6	4	4
				4	6	4
Time base (see note 3)	Start of UTC second epoch (see note 2) +/- 1.5 $\mu$ s			Start of UTC second epoch (see note 2) +/- 1.5 $\mu$ s		

Le document sera approuvé lors du prochain WG FM du 19 au 23 octobre.

# Draft ECC report

« Efficient usage of the spectrum at the border of CEPT countries between MFCN TDD networks in the frequency band 3400-3800 MHz »

Les objectifs de ce rapport sont les suivants :

- Etudier le « DL symbol Blanking » :
  - ❑ Les équipementiers se sont mis d'accord pour une définition du « DL symbol Blanking ».
  - ❑ Introduction de la “blanking area” ou coordination zone.
  - ❑ Analyse d'impact sur le nombre de SSB (symboles de contrôle) transmis en fonction du choix de la trame.
- Réviser les seuils de la Recommandation ECC (15)01 :
  - ❑ Permettre des déploiements opérationnel 5G avec antenne active avec des seuils plus élevés.
    - Premières contributions reçues sur le sujet avec la prise en compte uniquement des antennes actives.
    - Etudes à venir avec antennes actives et non actives.
    - Evaluation de la formule proposée par l'Agence (mesure vs simulation) :
$$\begin{aligned} \text{Data (dB}\mu\text{V/m/5 MHz)} &= \text{SSB RSRP (30 kHz)} + \Delta\text{SSB}_{\text{min}} + 10 \log(5000/30) \\ &= \text{SSB RSRP (30 kHz)} + \Delta\text{SSB} + 22,2 \text{ dB} \end{aligned}$$

# Type d'équipements 5G (base stations) – 3400/3800 MHz

## Equipements de Type 1 (vendor 1):

- Gain d'antenne pour le Data beamforming : 24-25 dBi
- Gain d'antenne fixe pour le SSB : 17 dBi



Fixe SSB, 17 dBi

A densité spectrale de puissance (dsp) égale entre Data et SSB (pas d'offset de puissance), il y a un **écart min de 7 dB** ( $\Delta_{SSB\_min}$ ) entre SSB et Payload (Data).

## Equipements de Type 2 (vendor 2):

- Gain d'antenne pour le Data beamforming : 25 dBi
- Gain d'antenne pour le Sweeping SSB : 24-25 dBi



Sweeping SSB, 24-25 dBi  
(balayage)

A densité spectrale de puissance (dsp) égale entre Data et SSB (pas d'offset de puissance), il y a un **écart min de 1 dB** ( $\Delta_{SSB\_min}$ ) entre SSB et Payload (Data).

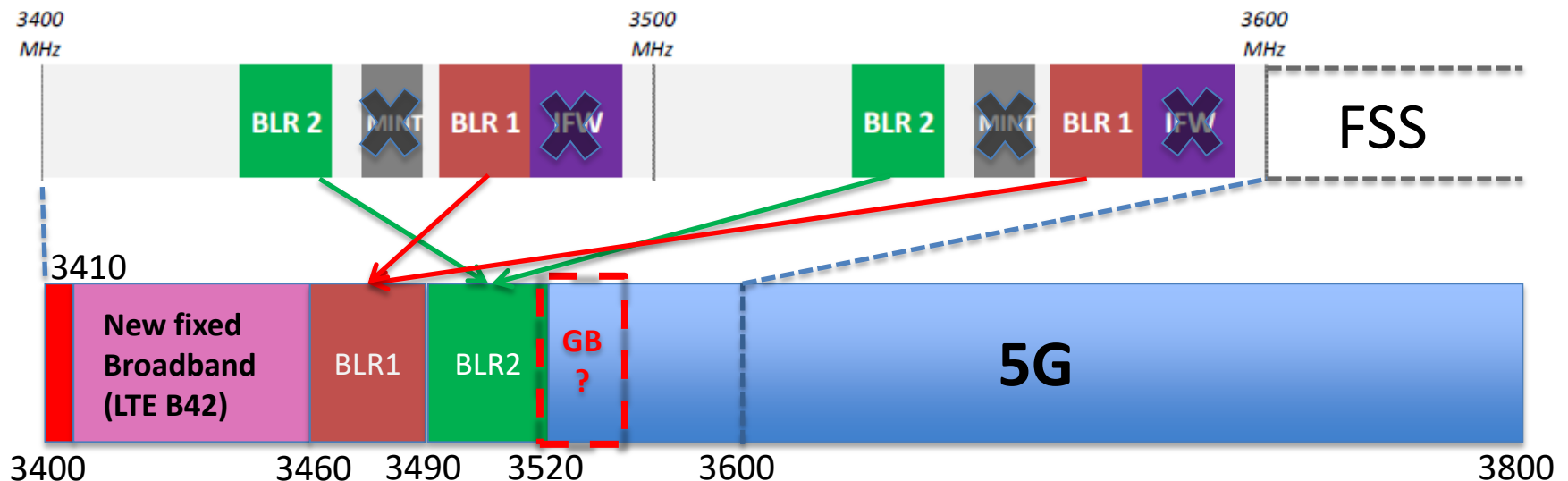
# 3.4-3.8 GHz : 5G et THD-R

- **Le marché ne peut pas toujours décider** (cf. ECC Report 216 §3.3 et 296)
  - **Unanimité** : sans filtrage dédié, il faut un accord multilatéral entre tous les acteurs utilisant la bande ⇒ un unique opérateur peut bloquer un consensus.
  - **Nouveaux entrants** : comment s'assurer que tout nouvel opérateur entrant ne perturbe pas un équilibre établi en refusant de se synchroniser avec l'existant ?
  - **Regional vs national** : si des poches indépendantes et non synchronisées existent avec des opérateurs régionaux, comment un nouvel opérateur national peut-il se synchroniser avec tout le monde pour éviter des distances de séparation importantes ?
  - **Cross-border** : si la France synchronise LTE/4G et que l'Allemagne synchronise 5G/verticaux, comment la Belgique peut-elle éviter des difficultés aux frontières ?
- **Chaque pays devra mettre en place un cadre approprié**
  - En France, trame de référence avec synchro obligatoire entre THD-R (LTE) et WiMAX
  - La sous-optimalité sur la latence est dommageable mais moins grave qu'une absence de synchro
    - Usages urLLC seulement après ~2022 (et pas nécessairement sur la bande C)
    - La latence urLLC présume des équipements géographiquement voisins => cas d'usage moins large que ce que la presse raconte (e.g. opération chirurgicale à distance : latence dominée par le réseau et non par le RAN !)
    - Des opérateurs majeurs (China Mobile, KDDI, Sprint, Softbank, NTT...) font de même : en terme d'image, la France ne sera pas seule à avoir cette sous-optimalité
  - Pas de cadre global (e.g. trame 5G commune pan-européenne) en vue à ce stade



# 3.4-3.8 GHz : refarming in France

- Legacy situation
  - MINT (e.g. FS for public safety)
  - BLR1/BLR2 : 2x15 MHz BWA licenses that **shall expire in 2026** (IFW expired)
  - Some FSS in 3.6-3.8 GHz (see ECC report 254)
  - Regulation : ERC REC 14-03, ECC DEC (07)02, EC DEC 2008/411/EC...
- No later than 2020 : spectrum refarming and defragmentation (under consideration)
  - **ECC report 287** : defragmentation of C-band
  - FS from MINT : migration to higher bands thanks to the ANFR Spectrum Refarming Fund (SRF)
  - **New local fixed broadband** « THDR » in 3410-3460 MHz (based on LTE and EC DEC 2014/276/EU)
  - Legacy BWA moved to 30 MHz channels between THDR and 5G (still old regulation)
  - Regulation : ECC DEC (11)06, EC DEC 2014/276/EU, ECC DEC (18)02...
  - Temporary coordination with FSS above 3600 MHz (no new FSS site)



⇒ **No « clean state » 100% 5G within 3.4-3.8 GHz !**



# ECC & EC deliverables

## RSPG opinions #1 and #2

- [http://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2013/05/RPSG16-032-Opinion\\_5G.pdf](http://rspg-spectrum.eu/wp-content/uploads/2013/05/RPSG16-032-Opinion_5G.pdf)
- [https://circabc.europa.eu/sd/a/fe1a3338-b751-43e3-9ed8-a5632f051d1f/RSPG18-005final-2nd\\_opinion\\_on\\_5G.pdf](https://circabc.europa.eu/sd/a/fe1a3338-b751-43e3-9ed8-a5632f051d1f/RSPG18-005final-2nd_opinion_on_5G.pdf)

**ECC documents :** <https://www.ecodocdb.dk/> , <https://efis.dk/> , <https://cept.org>

## ECC 5G summary and roadmap

- <https://cept.org/ecc/topics/spectrum-for-wireless-broadband-5g>
- [https://cept.org/Documents/ecc-pt1/47734/ecc-pt1-19-011\\_ecc-pt1-19-011-cept-roadmap-5g](https://cept.org/Documents/ecc-pt1/47734/ecc-pt1-19-011_ecc-pt1-19-011-cept-roadmap-5g)

## Most important deliverables for 5G (see ECC PT1(19)011 for more details) :

- **BWA (paired flexible TDD/FDD arrangement)**
  - ECC recommendation 14-03
  - ECC decision (07)02
  - EC decision 2008/411/EC : mobility and BEMs
- **4G in C band**
  - ECC report 203 : BEM for unsynchronized 4G
  - ECC report 216 : sync for TDD networks
  - ECC decision (11)06 : introduces 4G with preferred TDD band plan
  - EC decision 2014/276/EU
  - ECC report 254 : FSS & B43
- **5G in C band**
  - ECC report 281 : BEM TRP
  - ECC report 287 : defragmentation
  - ECC report 296 : synch/semi-synch/isolation
  - ECC decision (18)02 : withdraws BWA
  - CEPT report 67
  - ECC decision (11)06 (updated)
- **5G in mmWaves**
  - ECC Decision (18)06
  - CEPT Report 68
  - ECC Recommendation (19)01

# Etude de cas #2 : Modernisation de la bande de fréquences UHF

Adrien Demarez ([adrien.demarez@anfr.fr](mailto:adrien.demarez@anfr.fr))  
*Prospective du spectre et affaires internationales\**



**IMT Lille Douai**  
École Mines-Télécom  
IMT-Université de Lille



\* this presentation highlights some results or topics under discussion in CEPT and views from ANFR. It includes also some personal thoughts to trigger reactions.

# Contexte préexistant

- < 694 : Broadcasting
- 694 - 703 : MFCN B700-GB
- 703 - 733 : MFCN B700-UL
- 733 - 758 : PPDR
- 758 - 788 : MFCN B700-DL
- 788 - 791 : PPDR
- 791 - 821 : MFCN B800-DL
- 821 - 832 : PMSE
- 832 - 862 : MFCN B800-UL
- 862 - 870 : SRD
- **870 - 876 : Militaire**
- 876 - 880 : GSM-R UL
- 880 - 915 : MFCN B900-UL
- **915 - 921 : Militaire**
- 921 - 925 : GSM-R DL
- 925 - 960 : MFCN B900-DL
- > 960 : aéronautique

MFCN = Mobile Fixed Communication Networks (= opérateurs mobiles)

Décision 2018/1538/EU : nouveau partage de 870-876 et 915-921 MHz entre 3 usagers : Défense, SRD et Rail

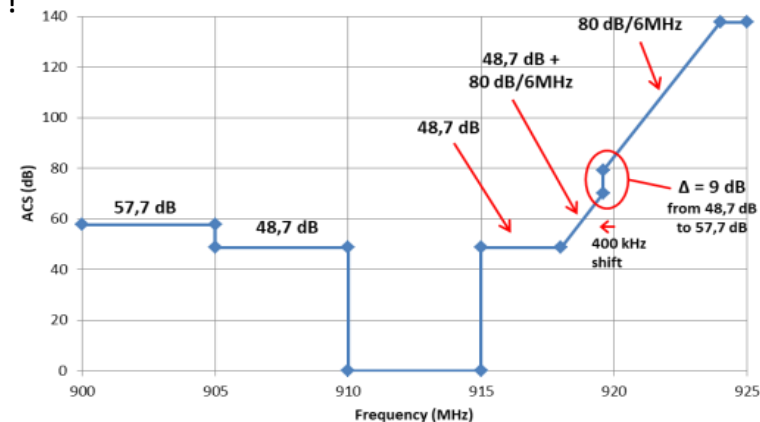
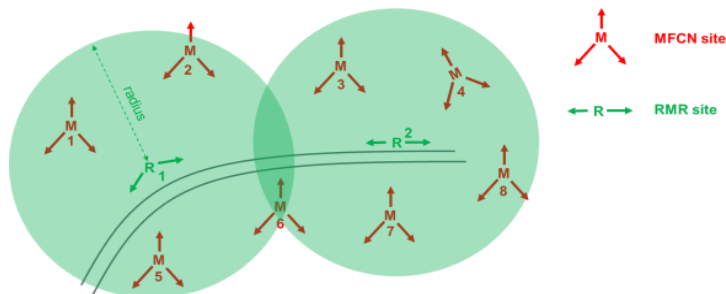
Certains pays avaient déjà alloués 873-876 et 918-921 MHz au GSM-R

Certains pays souhaitaient des usages SRD dès 870 MHz ou dès 915 MHz.

- GSM-R
  - Signalisation essentielle pour le fonctionnement des trains
  - Même technologie que le GSM, mais juste en dessous de la bande GSM 900 MHz (B8)
  - Système critique et harmonisé au niveau Européen, entre 876-880 MHz (UL) et 921-925 MHz (DL)
  - Un passif de coexistence compliqué avec les opérateurs mobiles en France (soucis d'intermodulation)
- FRMCS (Future Railways Mobile Communication System)
  - Modernisation de la signalisation du rail, basée notamment sur la technologie 5G
  - Deux nouvelles bandes de fréquences : 874.4-876 / 919.4-921 MHz FDD & 1900-1910 MHz TDD
  - Sur la bande 900 MHz
    - les fréquences downlink sont situées dans le duplex gap de la B8 et donc imparfaitement filtrées par les récepteurs des stations de base en dessous de 915 MHz => nécessite une étude  
=> ECC report 318
    - Les autres usagers adjacents en dessous de 919.4 sont des SRD => le Rail n'a pas besoin de les protéger spécifiquement mais il pourrait être victime => nécessite une étude  
=> ECC report 313
  - Sur la bande 1900 MHz
    - ces fréquences sont proches de l'uplink de la B1 UMTS => nécessite une étude
    - Le DECT est situé juste en dessous  
=> ECC report 314

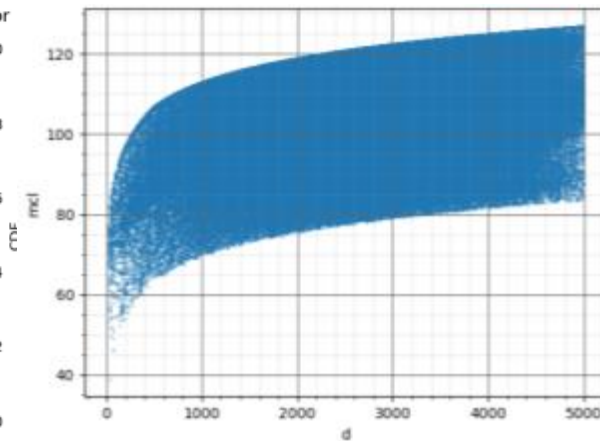
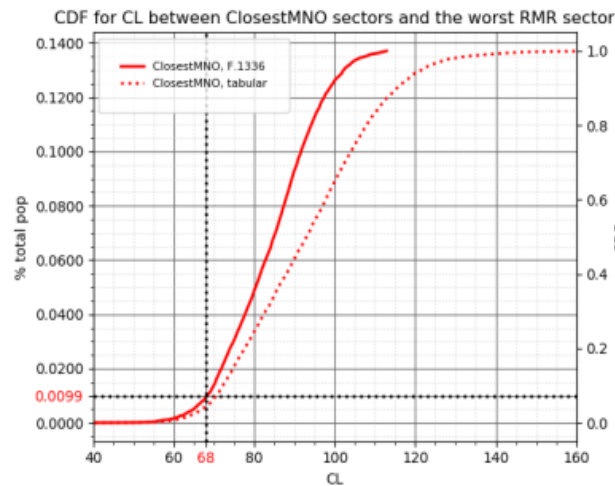
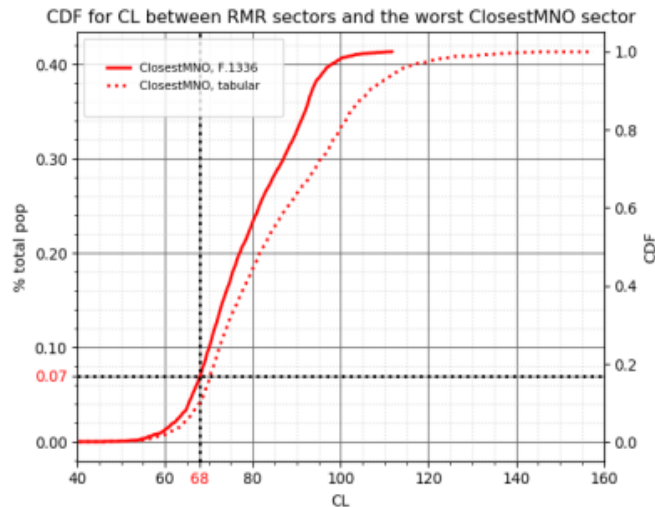
# Le Rail : MFCN victime

- Calcul d'une puissance max à laquelle le Rail à laquelle le Rail peut émettre sans désensibiliser les MFCN de plus de 1 dB, l'idée étant de permettre des déploiements non coordonnés en minimisant les problèmes
  - Dépendant d'hypothèses sur le modèle de propagation, sur le filtrage des stations de base MFCN dans le duplex gap, sur le diagramme d'antennes, etc.
- Modélisation de la sélectivité des victimes MFCN sur la base des spécifications 3GPP MSR 37.104
- Modélisation du diagramme d'antenne sur la base de la recommandation ITU F1336
- Deux approches : MCL et statistique
  - MCL (Minimum Coupling Loss) : calcul de bilan de liaison « worst-case » avec BS agresseur/victime distantes de 100m et se faisant face. Aboutit généralement à des résultats très conservateurs
  - Statistique : on modélise (ou on regarde sur la base des données réelles) la fonction de répartition du couplage-loss, et on détermine un seuil « acceptable » comme seuil de référence / compromis
    - Si ce seuil est trop haut (i.e. on permet au Rail d'émettre fort), cela entrainera un nombre de cas de brouillages important que les administrations et les opérateurs devront résoudre a posteriori
    - Si ce seuil est trop bas, cela sécurise les opérateurs mobiles mais représente une limitation importante pour les opérateurs ferroviaires (forte densification du nombre de sites). Pour rappel, un site télécoms coûte rapidement dans les 100 000 € !
    - La typologie des déploiements Rail est très différente de celle des MFCN



# Le Rail : MFCN victime

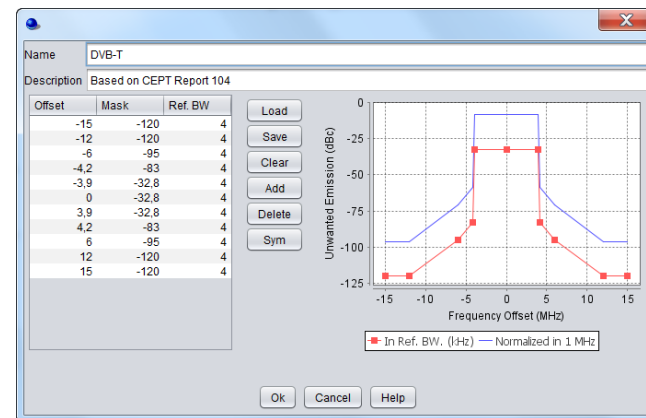
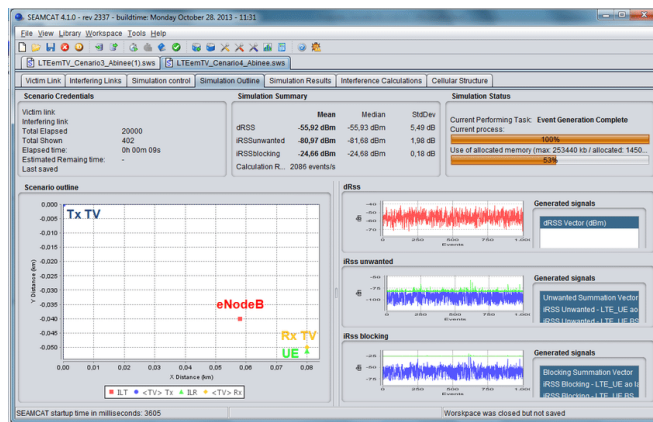
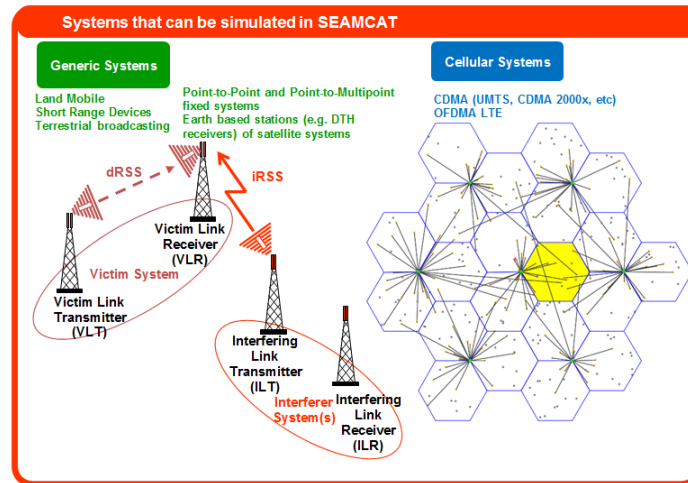
- Approche statistique : CDF du CL



- Il a été décidé qu'il était acceptable que 7% des sites Rail aient un voisin MFCN avec un couplage-loss plus faible que le CL de référence (68 dB)
- Sur la base de ce CL de référence de 68 dB, on calcule la puissance à laquelle le Rail peut émettre. Cette puissance dépend de la taille du canal : en large bande (5 MHz), les RBs sont davantage filtrés que si toute la puissance est concentrée en bas de bande



- <https://www.cept.org/eco/eco-tools-and-services/seamcat-spectrum-engineering-advanced-monte-carlo-analysis-tool>
- Outil de la CEPT pour effectuer des simulations d'interférences sur une base statistique



- SRD = Short Range Device. AFP = Appareils à Faibles Portée en Français
- Appareils sous autorisation générale (i.e. sans licence, accès partagé)
  - émettant généralement (mais pas toujours) à faible puissance
  - N.B. pas toujours à faible portée (e.g. Lora signifie « Long Range » !)
- Permettre une coexistence (statistiques) entre usages
  - Restrictions sur la puissance, sur le duty-cycle, sur les mécanismes de partages (e.g. LBT)...
  - Conditions générales + conditions plus permissives au cas par cas par type d'usage (études de coexistence sur la base de scenarii de référence e.g. densité de produits, etc)
- Exemples : Wifi, Sigfox/Lora, babyphones, IRM, ITS, chargeurs de téléphone par induction, etc.
- CEPT : recommandation 70-03
  - Mise à jour par le SRD/MG (Hiérarchiquement : ECC > WG-FM > SRD/MG)
  - Différentes « annexes » pour différents types d'usages
- CE : décision 2019/1345/EU
  - Mise à jour tous les 2 ans par la Commission sur recommandation du SRD/MG (mandat permanent)
  - Définit le sous-ensemble ouvert par tous les pays de la zone UE
- <https://www.anfr.fr/toutes-les-actualites/actualites/un-panorama-des-appareils-a-faible-portee/>
- <https://www.arcep.fr/la-regulation/grands-dossiers-reseaux-mobiles/le-guichet-start-up-et-innovation/le-portail-bandes-libres.html>
- [https://www.arcep.fr/uploads/tx\\_gspublication/consultation-frequences-dispositifs-courte-portee\\_dec2020.pdf](https://www.arcep.fr/uploads/tx_gspublication/consultation-frequences-dispositifs-courte-portee_dec2020.pdf)

# Interaction SRD/MG & SE24

## Bandes 862-870 MHz, 870-876 MHz et 915-921 MHz

- Réglementation existante : bande **863-870 MHz**
  - Demande ETSI pour « bandes d’extension » exprimée dès **2008**
- Mise à jour **ERC/REC 70-03** (CEPT) en **2014** pour les bandes 870-876 MHz et 915-921 MHz
  - Résultat mitigé : « **Soft harmonisation** »
  - Fortes réticences de nombreuses administrations pour la mise en œuvre :
    - Applications militaires dans de nombreux pays
    - Extension GSM-R en Allemagne (873-876 MHz & 915-918 MHz)
- Recherche consolidation cadre réglementaire européen au niveau de l’Union européenne en **2016/2017**
  - Nouvelles opportunités pour l’utilisation des bandes **862-870 MHz**, 870-876 MHz et 915-921 MHz
  - Cadre mandat de la CE à la CEPT
- Rapports CEPT :
  - WGSE - SE24 : ECC 261 & ECC 246
  - WGFM - SRD/MG : Addendum au Rapport CEPT 59

# Réglementation existante 863-870 MHz

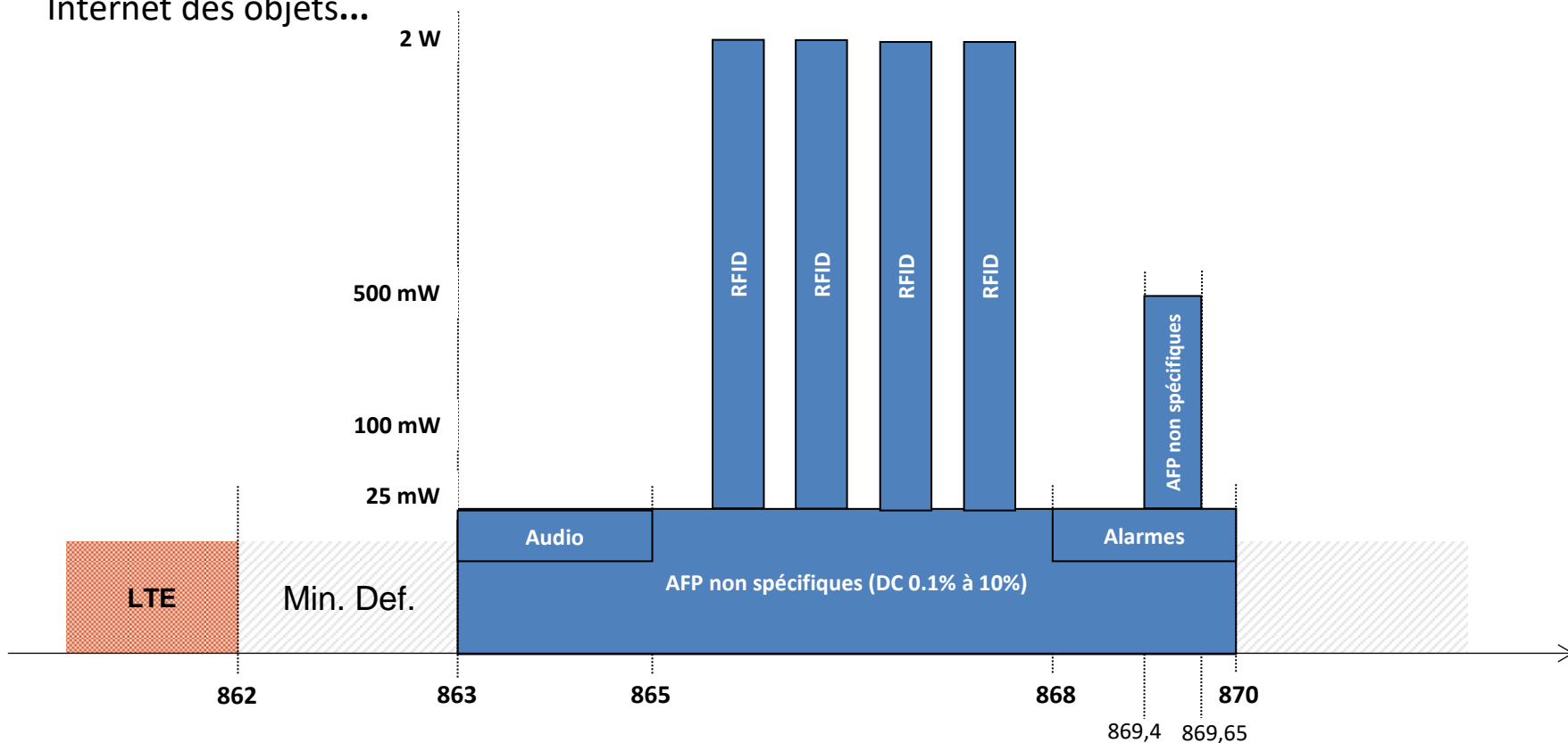
(représentation simplifiée)

## AFP : des usages très divers

Télécommande/télémessure, audio, alarmes, détection de mouvement, domotique...

Emergency réseaux à couverture étendue (LPWAN)

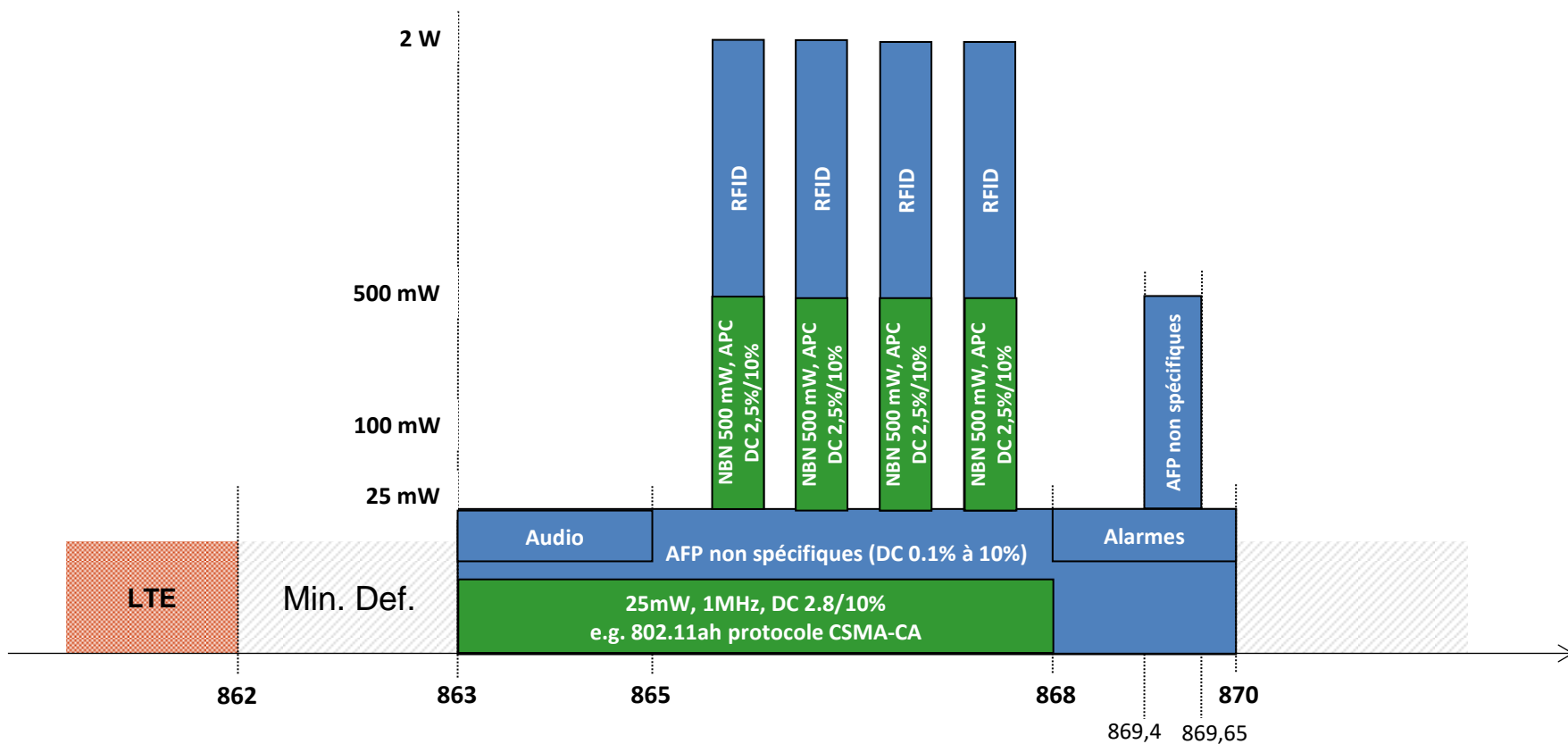
Internet des objets...



# Projet IoT 900

Nouvelles opportunités pour l'utilisation des bandes 862-870 MHz, 870-876 MHz et 915-921 MHz :

- Soumission projet réglementaire européen **mars 2017** (Addendum)



# Objet d'étude : réseaux maillés dans la bande 865-868 MHz

## Réseaux maillés :

- Trois types de composants de réseau (NAP, NN, TN)
- 500 mW

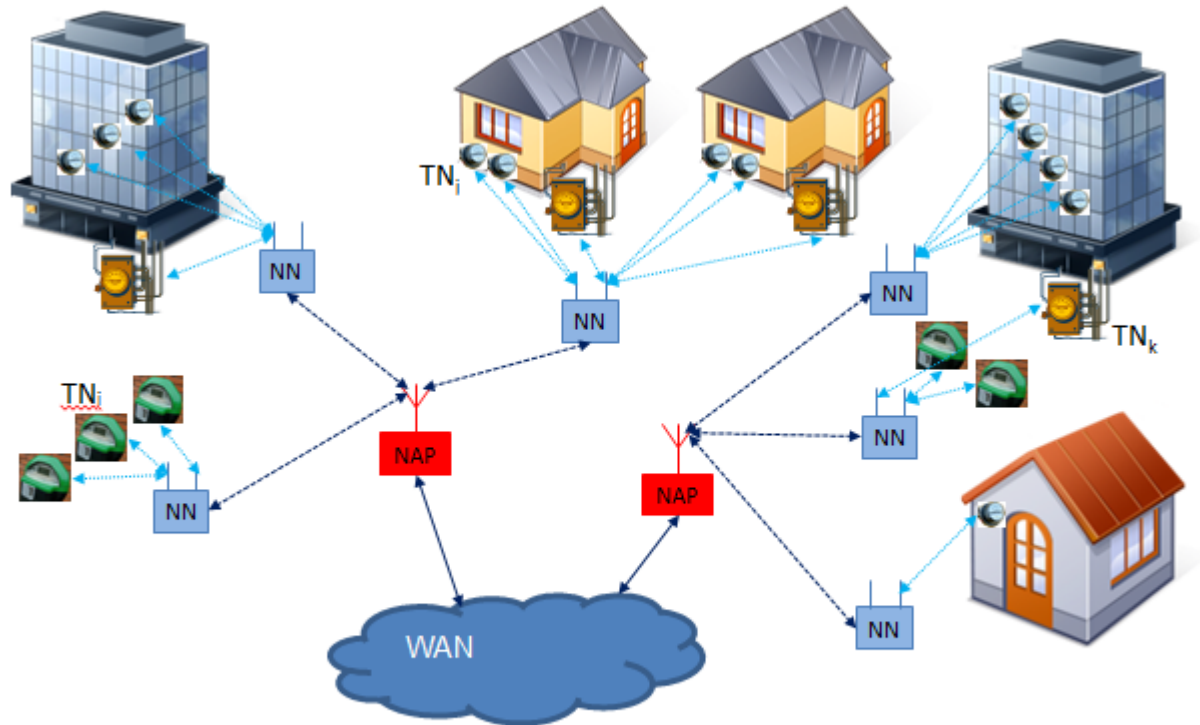


Figure 2: An illustrative example of M3N network hierarchy with Terminal Nodes (TN), Network Nodes (NN) and Network Access Points (NAP)

Table 20: Deployment assumptions for NBN SRDs in dense urban environment

Network Element	Max DC, %	Average DC, %	Max Density, 1/km <sup>2</sup>	Average Density, 1/km <sup>2</sup>
NAP	10	2.5	10	5
NN	2.5	0.7	90	45
TN	0.1	0.1	1900	950



# Etude de cas #3 : les ITS

Adrien Demarez (adrien.demarez@anfr.fr)  
*Prospective du spectre et affaires internationales\**



**IMT Lille Douai**  
École Mines-Télécom  
IMT-Université de Lille



\* this presentation highlights some results or topics under discussion in CEPT and views from ANFR. It includes also some personal thoughts to trigger reactions.

# Mandat ITS

- Mandat de la CE [http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc\\_id=48026](http://ec.europa.eu/newsroom/dae/document.cfm?doc_id=48026)
- Partage de la bande entre ITS routiers et Rail Urbain
- Entre ITS routiers : cadre harmonisé en dépit de 2 technologies (G5 et C-V2X)
- Discussions extrêmement compliquées et politiques
- <https://docdb.cept.org/download/f99dec36-68ac/ECC%20Report%20290.pdf>
- <https://docdb.cept.org/download/19a361a9-d547/CEPTRep071.pdf>
- <https://docdb.cept.org/download/b470d271-048b/ECCDEC0801.PDF>
- <https://docdb.cept.org/download/798c1836-20c6/REC0801.pdf>

# Devenez aussi un agent du spectre !

- Des métiers à la frontière de la technique, du politique, du juridique, des directions stratégiques...
- Implique des connaissances techniques mais aussi des qualités humaines (négociation, patience et flegme, etc), de l'aisance rédactionnelle (notamment en anglais !)
- Un « petit milieu » spécialisé où tout le monde finit +/- par se connaître (=> importance des qualités relationnelles !)
- N.B. implique beaucoup de déplacements (hors-covid !)
- Des métiers à l'avant-garde des développements techniques et industriels

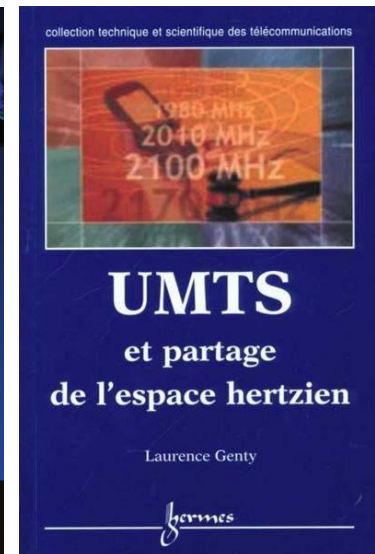
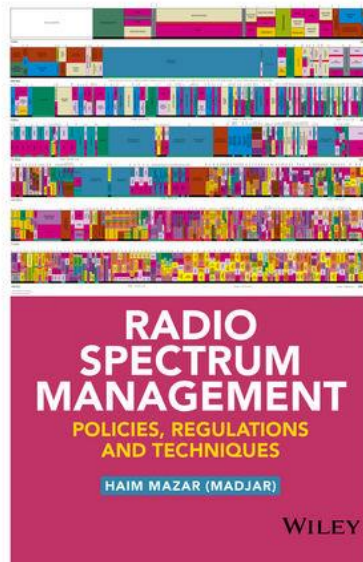
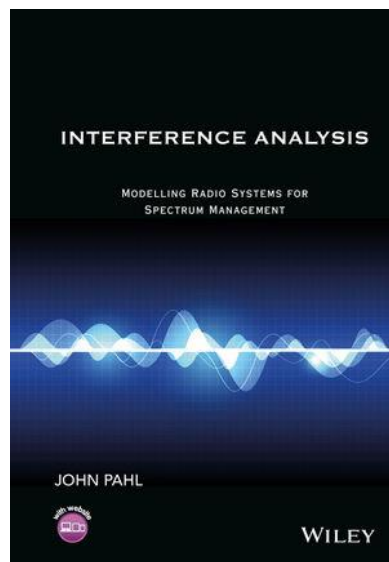
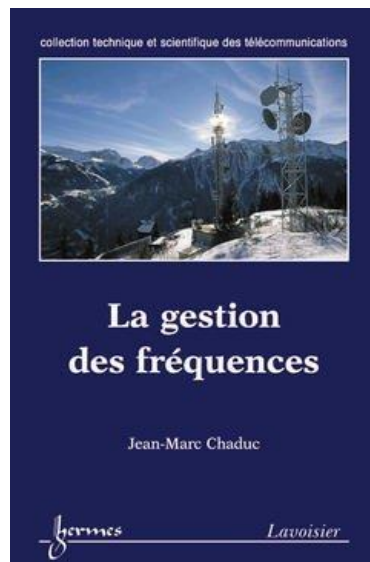


# Pour aller plus loin...

[https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/organisation/gestion\\_spectre.pdf](https://www.anfr.fr/fileadmin/mediatheque/documents/organisation/gestion_spectre.pdf)

<https://docdb.cept.org/> , <https://efis.cept.org/> , <https://www.itu.int/>

<https://www.cartoradio.fr> , <https://www.data.gouv.fr/en/datasets/donnees-sur-les-installations-radioelectriques-de-plus-de-5-watts-1/>



# Questions ?



**MERCI DE VOTRE ATTENTION**

**Agence Nationale des fréquences**

78, avenue du Général-de-Gaulle  
94707 MAISON-ALFORT CEDEX

T. +33 (0)1 45 18 72 72  
F. +33 (0)1 45 18 73 00

[www.anfr.fr](http://www.anfr.fr)

**Rejoignez-nous sur :**



[twitter/anfr](https://twitter.com/anfr)



[dailymotion/anfr](https://dailymotion.com/anfr)



[flickr/anfr](https://www.flickr.com/photos/anfr/)