



# Les réseaux cellulaires privés : mieux que Wi-Fi

6 Novembre 2020



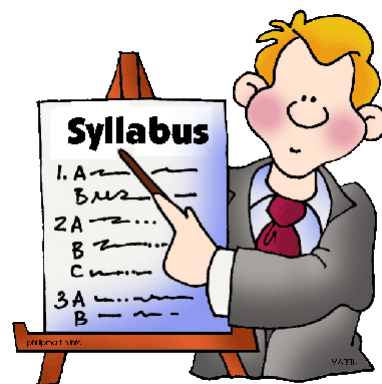
claude@lemarson.com

Le marché CBRS restera un marché de niche : 1,5 G\$ en 2025

## Sommaire

### Réseaux privés cellulaires plutôt que Wi-Fi

- ❖ De quoi avons-nous besoin, aujourd'hui et demain
- ❖ L'état actuel et à venir de la technologie Wi-Fi
- ❖ Limitations et faiblesses de Wi-Fi
- ❖ Les avantages d'un réseau cellulaire
- ❖ Les fréquences ne sont pas extensibles à l'infini
- ❖ Le problème du partage de fréquences
- ❖ La privatisation d'un réseau 4 ou 5G : règles et contraintes
- ❖ Mise en oeuvre concrète d'un cellulaire privé : infrastructure, sécurité, compétences...
- ❖ Les aspects coûts
- ❖ L'initiative CBRS américaine



# Nos installations de demain

## Simplifier, accélérer, sécuriser, partager

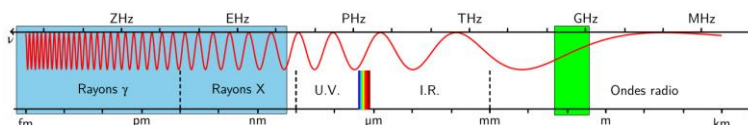
- ❖ Simplifier d'installation : éviter les câbles envahissants
- ❖ Simplicité d'usage : je clique, je me connecte, je fais mon travail et je quitte : mon équipement se charge de l' "intendance"
- ❖ Vitesses très élevées : 100 Gbps
- ❖ Concevoir un mécanisme d'authentification applicable à tous les réseaux, filaires ou sans fil, qui s'intègre dans un système existant d'entreprise
- ❖ Assurer des liens de bout en bout, sans rupture, déconnexion et reconnexion
- ❖ Garantir sans modification une bande passante suffisante pour faire passer les flux de vidéo et de communication des entreprises modernes
- ❖ Assurer des fonctions de chiffrement de bout en bout
- ❖ Disposer de passerelles pour s'intégrer dans des infrastructures lourdes
- ❖ Disposer d'une offre suffisamment large pour faire baisser les prix
- ❖ S'appuyer sur des standards clairs et incontestables et ne pas avoir à gérer une usine à gaz
- ❖ Roaming indispensable à l'intérieur des réseaux cellulaires, mais aussi entre le cellulaire et le Wi-Fi
- ❖ Compatibilité des équipements au-delà des frontières
- ❖ Maîtriser les compétences et limiter la taille des équipes
- ❖ Ne pas altérer la santé des usagers...



Wi-Fi ou le partage de fréquences

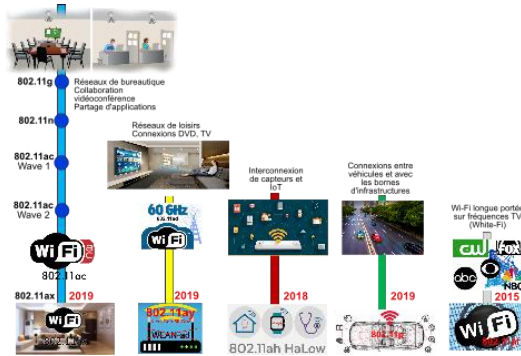
## Les inconvénients (supposés) de Wi-Fi

- ❖ Faible portée ❌
- ❖ Très compliqué de réaliser une installation de bout en bout sur de longues distances ❌
- ❖ Important câblage lié à une infrastructure complexe ❌
- ❖ Architectures compliquées avec les différents types de routeurs ✅
- ❖ Obligation d'établir des passerelles pour passer d'un domaine Wi-Fi à l'autre ❌
- ❖ Diversité des modes : payant, gratuit ❌
- ❖ Partage de bande passante : on en revient aux réseaux Ethernet des années 70 ➕
- ❖ Performances limitées ✅
- ❖ Sécurité très contestée ✅
- ❖ Sensible aux perturbations : il suffit d'un simple micro-ondes pour le brouiller ➕
- ❖ Difficultés à franchir les obstacles ➕
- ❖ Nécessite des compétences spécifiques ✅
- ❖ Inquiétude sanitaire sur les ondes 2,4 Ghz ✅



Wi-Fi ou le partage de fréquences

# Le Wi-Fi 802.11ax (Wi-Fi 6)

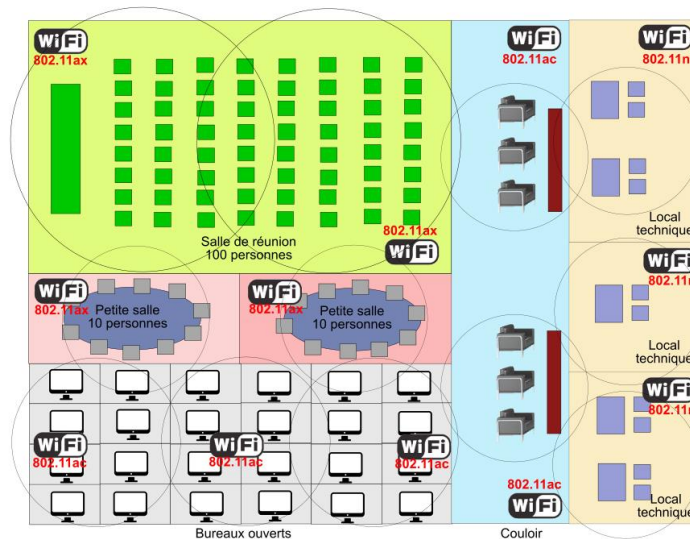


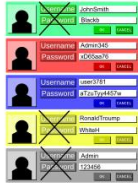
- ❖ La course est lancée vers le Gbps et au delà
- ❖ L'IEEE a dévoilé de nouvelles normes, 802.11ac pour 1 Gbps sur la bande 5 Ghz et 802.11ad à 60 Ghz
  - ❖ 802.11ac est le successeur de 802.11a : 5 Ghz, OFDM, MIMO et augmentation des bandes d'usage, de 20 à 40, 80 ou 160 Mhz contre 20 Mhz en 802.11a . Le cabinet In-Stat estime à 1 milliard d'équipements 802.11ac installés, essentiellement des smartphones et tablettes
  - ❖ Le 802.11ax est arrivé en 2018, au même niveau que la 5G (en nominal)
  - ❖ 802.11 ad, adapté au transport de données sur de courtes distances (passe mal les murs), s'oppose à Bluetooth. (convergence des travaux de WiGig et de la Wi-Fi Alliance. Plutôt destiné au marché des loisirs.
  - ❖ Sans oublier des extensions possibles du 802.11n
- ❖ La dénomination change : 802.11n en Wi-Fi 4, 802.11ac en Wi-Fi 5 et 802.11 ax en Wi-Fi 6

	802.11ac	802.11ax
Bandes de fréquences	2,4 / 5 Ghz	2,4 / 5 Ghz
Bande passante par canal (Mhz)	20, 40, 80, 80 + 80, 160	20, 40, 80, 80 + 80, 160
Espacement entre sous-porteuses	312,5 KHz	78,125 KHz
Durée du symbole OFDM/OFDMA	3,2 microsec + 0,8/0,4 microsec CP	12,8 microsec + 0,8/1,6/3,2 microsec CP
Modulation maximale	256-QAM	1024-QAM
Débit binaire radio	433 Mbps (80 Mhz, 1SS) 6933 Mbps (160 Mhz, 8 SS)	600,4 Mbps (80 Mhz, 1 SS) 9607,8 Mbps (160 Mhz, 8 SS)



# Une installation courante (moderne) Wi-Fi





WPA3 pallie à l'insuffisance de certains mots de passe de connexion et à la... naïveté de certains utilisateurs



Les informations échangées avant l'établissement de session Wi-Fi seront systématiquement chiffrées en 128 bits



Mathy Vanhoef

Il y a de plus en plus d'équipements à connecter en Wi-Fi, qui n'ont pas d'écran pour établir les paramètres de session. WPA3 devrait donner une réponse à ce problème.



WPA3 apporte une "suite de sécurité 192 bits" aux agences américaines, conformément aux besoins spécifiques exprimés par le CNSA.



## Le principal reproche fait à WiFi : la sécurité Wi-Fi WPA3

Ce n'est pas mérité

Wi-Fi ou le partage de fréquences

7 / 21

## Wi-Fi 7 en 2024

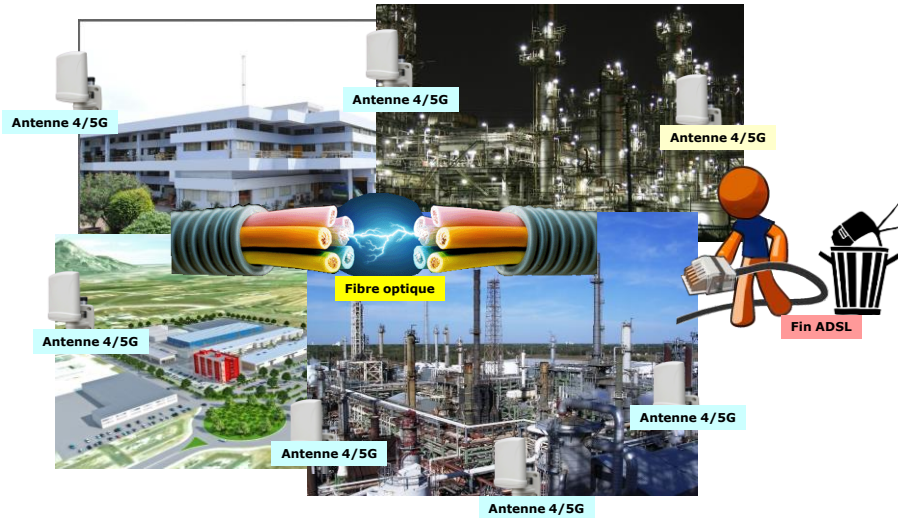
- ❖ Wi-Fi 7 ou Wi-Fi 802.11 beEHT ("Extremely High Throughput")
- ❖ Wi-Fi 6 c'était surtout la capacité et la latence, mais va connaître des problèmes de congestion (embouteillages) Wi-Fi 7 c'est le débit : jusqu'à 30 Gbps (46 Gbps potentiel)
- ❖ Aux USA, un bloc de 1 Ghz a déjà été réservé entre 5,9 et 7,1 Ghz : "quid" des usagers déjà installés
- ❖ Deux fois plus de bande passante : 320 Mhz et agrégation de blocs non contigus par la technique Multi-RU
- ❖ 16 antennes au lieu de 12 : amélioration de la modulation de fréquence OFDMA
- ❖ Possibilité d'utiliser simultanément la même fréquence en émission et réception grâce à la technique IBFD ("In-Band Full Duplex")
- ❖ Rétro-compatibilité des terminaux et points d'accès



Wi-Fi ou le partage de fréquences

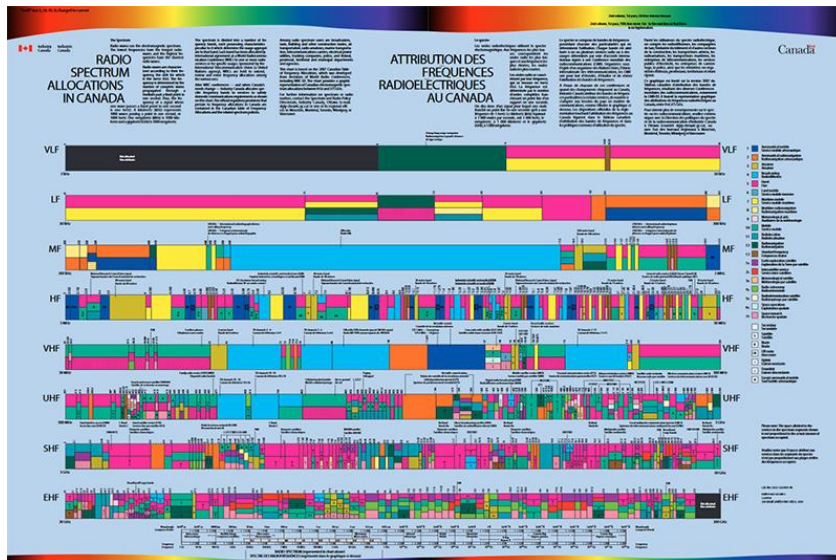
8 / 21

# Refonte autour de la fibre et du cellulaire 4G/5G/6G



Wi-Fi ou le partage de fréquences

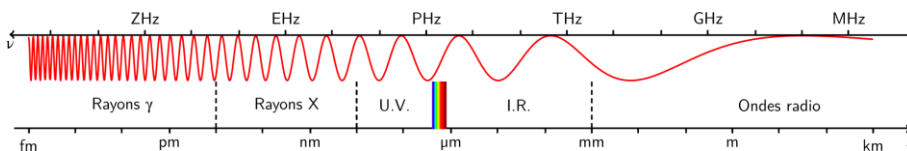
# Comment harmoniser l'attribution des fréquences !



Wi-Fi ou le partage de fréquences

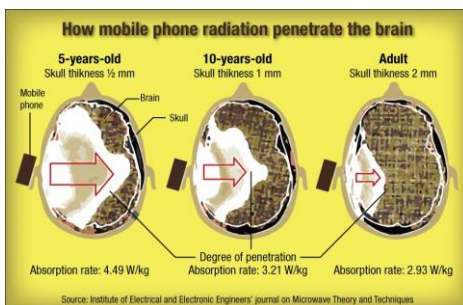
# La dangerosité potentielle des réseaux sans fil

- ❖ Le flou le plus total et nombreuses plaintes dans tous les pays.
- ❖ Distinction entre la dangerosité des antennes et celle des mobiles.
- ❖ On n'a aucune idée sur les effets « possibles » à long terme
  - ❖ L'environnement électromagnétique est très diversifié : Wi-Fi, Bluetooth, WiMax, télévision hertzienne, Rayons X, four à micro-onde, Rayons gamma, téléphones DECT
  - ❖ Les risques potentiels
    - ❖ Energie rayonnée :  $W = hc/\lambda$  ou  $W = hf$
    - ❖ Etre exposé pendant 24 heures à une antenne de 1V/m provoque les mêmes inconvénients que le fait de téléphoner avec un mobile pendant 30 sec
- ❖ Pas d'idées claires sur le cumul des ondes.



Wi-Fi ou le partage de fréquences

# La dangerosité potentielle des réseaux sans fil ...dont Wi-Fi



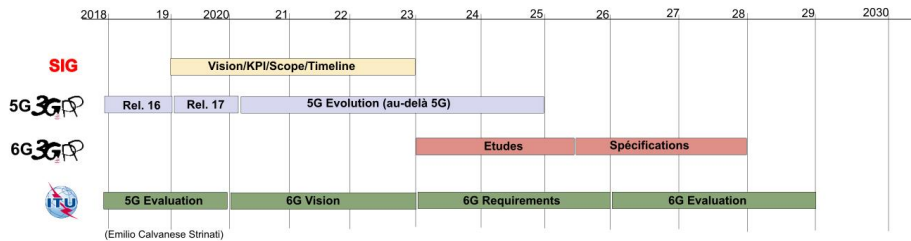
- ❖ L'OMS annonce qu'il peut y avoir un lien direct entre l'usage du mobile : les ondes émises sont classées en catégorie 2B, potentiellement cancérigènes...à partir de 30 mn d'utilisation, le mobile peut être potentiellement cancérigène
- ❖ Le Wi-Fi a mauvaise réputation
  - ❖ Dans la pratique le WI-Fi émet jusqu'à 6 fois moins qu'un smartphone,
  - ❖ Les routeurs Wi-Fi sont limités à 100 mW dans la bande 2,4 Ghz
- ❖ Le SICEM : Syndrome d'Intolérance aux Champs Electromagnétiques se manifeste par des maux de tête, des fourmillements, de l'insomnie, dépression, déficits d'attention et pertes de mémoire.

- ❖ Les règles
  - ❖ L'intensité d'un champ électromagnétique est exprimée en V/m et la loi fixe les limites selon la fréquence (de 40 à 80 V/m selon les pays)
  - ❖ Certaines organisations préconisent de la ramener à...6 V/m
  - ❖ Le PIRE : Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente mesure la puissance émettrice maximale de l'équipement
  - ❖ Le DAS : Débit d'Absorption Spécifique (ou SAR : Specific Absorbtion Rate) — mesure l'énergie absorbée par l'utilisateur, ramenée en W par kg de tissus : entre 1 et 2 W/kg maximum selon les pays
  - ❖ Les antennes entraînent une exposition beaucoup plus faible que le téléphone lui-même : énergie qui diminue avec le carré de la distance

Wi-Fi ou le partage de fréquences

# ...et bientôt la 6G

- ❖ Il sera plus facile (en principe) de migrer d'une installation 5G à 6G plutôt que de Wi-Fi, avec une version privée 6G (entre autre)
- ❖ Vitesses de l'ordre du Tbps avec vitesse courante distribuée à l'utilisateur : entre 1 et 10 Gbps
- ❖ Couverture spatiale « seamless » de très grande envergure, qui va s'exprimer différemment en bits/hz/sec/m<sup>2</sup>/joule. On ne sera plus dans une efficacité spectrale liée uniquement aux fréquences, mais dans une efficacité liée en plus au volume couvert par les fréquences et l'énergie consommée. 1 pJ/b : 10<sup>-12</sup> J/b.
- ❖ Fréquences d'usage entre 1 et 3 Thz.
- ❖ Latence inférieure à 1 ms.
- ❖ Versions « dégradées » pour les IoT.
- ❖ Jusqu'à 10 millions de devices au km<sup>2</sup> (IoT).
- ❖ Délai de transit entre 10 et 100 µs.
- ❖ Compatibilité avec la vitesse de déplacement (1 000 km/h).
- ❖ Grande fiabilité : 1 erreur par milliard.
- ❖ Intégration des modes de communication non radio, tels que le VLC (Visible Light Communication) et le mode holographique, qui devront coexister avec un mode radio classique.
- ❖ Un réseau de satellites couvrira toute la planète, sans s'appuyer sur une infrastructure dense de stations de base au sol.
- ❖ Une gestion des ressources satellitaires et des usagers, fera lourdement aux technologies d'IA : la 6G sera un gigantesque réseau de satellites "intelligents".
- ❖ Prise en compte progressive des techniques de rechargement « harvesting », issues de sources présentes dans l'environnement.

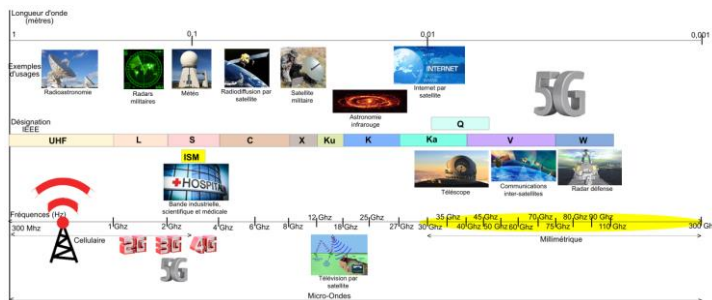


Wi-Fi ou le partage de fréquences

13 / 21

# Les ondes millimétriques

- ❖ Entre 30 et 300 Ghz
- ❖ Avantages :
  - ❖ Disponibilité sur des spectres larges.
  - ❖ Interférences faibles avec l'environnement.
  - ❖ La taille des antennes diminue avec la montée en fréquence.
- ❖ Inconvénients :
  - ❖ Plus la fréquence est élevée, plus il est difficile de pénétrer les immeubles de grande.
  - ❖ Sensibilité à l'environnement physique : feuillage des arbres, gaz de l'atmosphère, etc.



- ❖ Le domaine TeraHz (10<sup>12</sup> hz), s'étend de 100 Ghz à 30 Thz (entre 0,01 et 3 mm), précédemment désigné infrarouge lointain ou ondes sub millimétriques
- ❖ Fort pouvoir pénétrant, à travers certains matériaux non conducteurs ne contenant pas d'eau (vêtements, papier, bois, carton, plastiques...)
- ❖ Peu énergétique et non-ionisant, il est "a priori" peu nocif
- ❖ La FCC a ouvert les premières bandes à des fins de tests, avec des licences de 10 ans
- ❖ Aucun consensus international, comme d'habitude...

Wi-Fi ou le partage de fréquences

14 / 21

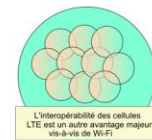
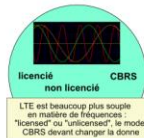
# Le principe du partage

- ❖ Pourquoi faut-il s'orienter le partage de fréquences : trois raisons principales :
  - ❖ Pénurie de fréquences
  - ❖ Réutilisation de fréquence peu utilisées
  - ❖ La technologie de "monitoring" cellulaire a fait beaucoup de progrès ces dernières années, qui permet désormais de partager une même bande, sans provoquer de phénomènes d'interférences secondaires entre les usagers.
- ❖ La position de la GSMA (Global System for Mobile Communications) : 750 opérateurs dans 220 pays, 400 professionnels de la mobilité
  - ❖ Accès à de nouvelles fréquences aux services mobiles
  - ❖ Ce qui ne remet pas en cause les licences exclusives
  - ❖ Le partage n'a d'intérêt que si les fréquences partagées correspondent à un usage mobile, si elles sont en quantité suffisante, dans les zones où elles sont nécessaires
  - ❖ Les opérateurs privilégient une mise en œuvre du partage simple
  - ❖ Il faut motiver les opérateurs à proposer ce type de service
  - ❖ Le partage doit être compatible avec la 4G, 5G et dans le futur, avec la 6G
  - ❖ Les régulateurs doivent "jouer le jeu"



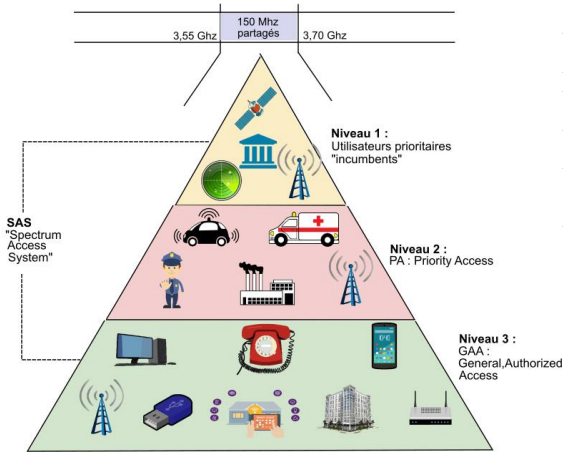
# Les réseaux cellulaires privés

- ❖ Suite des PMR (Private Radio Mobile)
- ❖ Remplace Wi-Fi ou complément (bout en bout)
- ❖ Adapté à la topologie d'un campus
- ❖ La portée d'une antenne 4G est 3 à 5 fois celle d'un routeur Wi-Fi
- ❖ Meilleure efficacité spectrale : 5 bits/hz/sec en 4G et 30 bits/hz/sec en 5G contre 0,5 avec le Wi-Fi
- ❖ La QoS est paramétrable selon les besoins
- ❖ LTE privé ou 5G exploite n'importe quelle fréquence, y compris déjà affectée : 3,5 Ghz aux USA (CBRS) et 5 Ghz avec la technologie Multifire
- ❖ Meilleure compatibilité des terminaux
- ❖ Inconvénients :
  - ❖ Coût d'installation 4G/5G beaucoup plus élevé (CBRS devrait baisser le ticket d'entrée)
  - ❖ Administration plus complexe
- ❖ A court terme, les cellulaires ne remplaceront pas Wi-Fi, ils viendront en complément pour des installations lourdes





# Le partage de fréquences CBRS



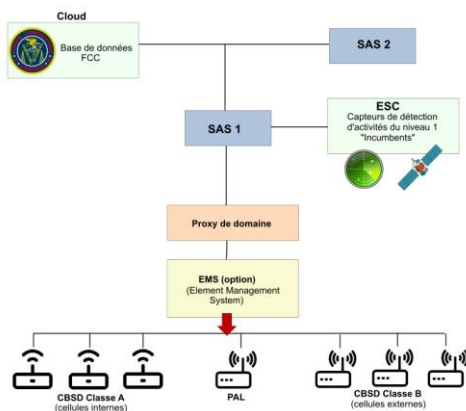
- ❖ La FCC a prévu que trois types d'utilisateurs peuvent coexister et se partager les 150 Mhz disponibles entre 3,55 et 3,70 GHz.
- ❖ Les mieux servis sont les titulaires (« incumbent access »), déjà présents sur la bande.
- ❖ En dessous des titulaires, la FCC a prévu un service dit PAL (Priority Access Licenses), qui se positionne sur la partie basse de la bande, 100 Mhz de 3550 à 3650 Mhz.
- ❖ Il ne pourra pas y avoir, par exemple, plus de 7 licences accordées par entité territoriale (« census »), un ilot de population qui regroupe entre 1.200 et 8.000 personnes.
- ❖ Le niveau le plus « bas » est celui des GAA (General Authorized Access), qui concerne des utilisateurs très divers, qui auront accès à une partie des 200 Mhz, à condition qu'elle ne soit pas déjà exploitée par un niveau supérieur.
- ❖ C'est donc bien une pyramide à trois étages : les « ayant-droits » historiques qui continueront de l'être, les PAL, confinés dans 100 Mhz, à condition de ne pas interférer et les GAA.



Wi-Fi ou le partage de fréquences

17 / 21

# Le principe du partage de fréquences



- ❖ Au cœur du système, le SAS (Spectrum Access System), un service implémenté dans le Cloud FCC, s'assure que les fréquences restent disponibles si les niveaux élevés le demandent : « incumbent » et à un degré moindre PAL, qui peuvent en avoir besoin à tout moment et à quelque endroit que ce soit. Il fait aussi en sorte qu'il y ait toujours 80 Mhz de disponibles pour le niveau GAA et veillera à ce que les fréquences non utilisées par les niveaux élevés, soient réutilisables dynamiquement.
- ❖ SAS est très lourd à mettre en place.
- ❖ Un des éléments clés du mécanisme du SAS est son sous-système ESC (« Environmental Sensing Capability »), des capteurs positionnés dans les sites « incumbents », qui constatent les besoins instantanés de ces usagers privilégiés et d'adapter la politique CBRS en conséquence.
- ❖ Si un capteur détecte une communication « fédérale », il active une zone de protection et indique au SAS qu'il doit « déplacer » dynamiquement les usagers sur d'autres fréquences dans l'espace mutualisé.
- ❖ La garantie de service n'est pas évidente.

Wi-Fi ou le partage de fréquences

18 / 21

# Comparaison Wi-Fi et cellulaire privé

Comparaison entre Wi-Fi 6 (802.11AX) et 4G/5G. Les versions Wi-Fi 7 (2024) et 6G (2030) ne sont pas encore disponibles

	Wi-Fi 6 (802.11AX)	4G/5G
<b>Disponibilité</b>	Connexion sur routeur privé Installation personnalisée	Dépend des opérateurs Il subsiste des zones blanches
<b>Installation</b>	Locale, personnalisation simple	Matériel lourd, antennes, nécessite une compétence spécifique
<b>Partage</b>	Oui, protocole CSMA	Oui, au niveau de la station de base
<b>Vitesse</b>	10 Gbps nominal	5G à 10 Gbps nominal
<b>Densité</b>	Couverture très localisée	4G : 100 000 connexions/km <sup>2</sup> 5G : 1 million de connexions/km <sup>2</sup>
<b>Latence</b>	Plus de 100 ms	LTE : 40 ms, 5G : 10 ms
<b>Qualité de service</b>	Très rudimentaire	Souple et diversifiée
<b>Efficacité spectrale</b>	0,5 bits/hz/sec	30 à 100 bits/hz/sec
<b>Adaptation du terminal</b>	Logiciel terminal et routeur	Logiciel opérateur et SIM sur terminal
<b>Sécurité</b>	Réputée faible	Moyenne (protocoles faibles)
<b>Roaming</b>	Non	Oui, y compris inter-génération
<b>Distance de connexion</b>	Quelques dizaines de mètres	Plusieurs kilomètres
<b>Impacts sur la santé</b>	Peu de conséquences	Dépendent des fréquences Peuvent être élevés
<b>Influence des bâtiments</b>	Elevée	Dépend de la fréquence Peut être élevée
<b>Coûts</b>	Faible	Très élevé
<b>Avenir prévisible</b>	Incertitude au-delà de Wi-Fi 7	Garanti

Wi-Fi ou le partage de fréquences

19 / 21

## Les entreprises y viennent Des exemples de réseaux cellulaires privés

- ❖ Le gouvernement allemand réserve des fréquences dans la gamme de 3,7 à 3,8 GHz pour les réseaux 5G privés
- ❖ D'autres pays procèdent de la même manière : Suède, France, Royaume-Uni, Japon, Hong-Kong et Australie et allouent une part du spectre pour les réseaux 5G privés localisés, en se concentrant principalement sur les 3,7 GHz, 26 GHz et 28 Bandes de fréquences GHz
- ❖ Mercedes-Benz Cars a construit un réseau 5G local pour soutenir les processus de production automobile dans son "Factory 56" à Sindelfingen
- ❖ La KMA (Korea Military Academy) a installé un réseau 5G dans son campus nord de Séoul pour les programmes d'entraînement militaire
- ❖ Les fournisseurs de services utilisent le partage pour remplacer l'accès par fibre optique du dernier kilomètre, proposer des services sans fil fixes et même des offres point à multipoint.



Conglomerats chimiques, raffineries, aéroports, chemins de fer, autoroutes, centrales nucléaires, système de santé et hôpitaux, pompiers, police...

Wi-Fi ou le partage de fréquences

20 / 21



# Les réseaux cellulaires privés : mieux que Wi-Fi

6 Novembre 2020

## Nos prochains rendez-vous

- Vendredi 13 novembre : Les certifications pour remplacer les diplômes
- Vendredi 20 novembre : IA et la démocratie
- Vendredi 27 novembre : La médecine du futur, les barrières explosent
- Vendredi 4 décembre : La transformation digitale, mythe ou réalité
- Vendredi 18 décembre : Panorama des architectures globales du TI
- Mercredi 23 décembre : Une journée comme les autres en... 2070



Wi-Fi ou le partage de fréquences

21 / 21