



De la 5G à la 6G

13 Mai 2020



Sommaire

De la 5G à la 6G

- ❖ La feuille de route des réseaux cellulaires à haut débit
- ❖ L'affectation des fréquences : la foire d'empoigne
- ❖ Le spectre au-delà de 5Ghz, jusqu'au THz
- ❖ Ce qui caractérise la 5G et les technologies sous-jacentes
- ❖ Les réseaux cellulaires privés
- ❖ Ce que sera à court terme la ...6G
- ❖ Filaire et sans fil, l'architecture réseaux à venir
- ❖ Le problème majeur de la santé



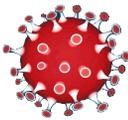
Les cellulaires très haut débit sont indispensables

Mais on ne sait pas encore toujours pourquoi...



- ❖ En 2020, on commence à peine à imaginer les besoins
- ❖ En 1998, on utilisait des modems V34, 33,6 Kbps sur réseau téléphonique commuté ou liaisons spécialisées 2 fils de type téléphonique : à peine plus de vingt ans...
- ❖ Programmation avec le langage Hayes (commandes AT), sorte d'assembleur des télécommunications
- ❖ Personne n'aurait imaginé l'évolution des communications filaires et sans fil

- ❖ Le paysage réseau va se simplifier vers le très haut débit
- ❖ Le sans fil va prendre de plus en plus d'importance, au détriment du filaire optique réservé aux backbones, autour de 10 Gbps
- ❖ Les autres technologies joueront un rôle de complément ou d'extrémité : Wi-Fi, xDSL, câble,



- ❖ Le monde change... avant même le Covid-19
- ❖ Les modes de travail ne reviendront jamais à ce qu'ils étaient et les nouvelles pratiques ont besoin de permanence dans les connexions, de liberté, de performances, de disponibilité et de respect de la santé



Les employés de TI auront plusieurs employeurs et contrats



Augmentation du stress



Augmentation de la durée effective du travail et de la fatigue



Rémunération au temps passé, sur une base horaire



« Loyer » mensuel télécom pour pouvoir...travailler

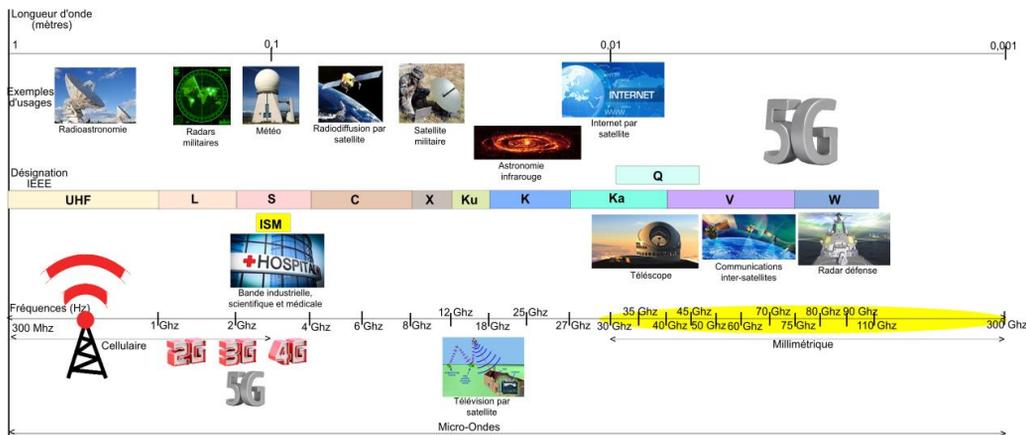


Les frontières du travail vont disparaître

Les « gens de TI » seront connectés en totale ubiquité : nomadisme



Le spectre des fréquences...



Trois grands domaines :

- ❖ sub Ghz, avec des services qui occupent le spectre d'une centaine de Mhz (communications radio dans un avion par exemple) à 1 Ghz (TV, communications sans fil)
- ❖ la zone entre 1 et 30 Ghz, dite centimétrique, qui englobe donc la limite artificielle de 5 ou 6 Hz et
- ❖ l'espace millimétrique entre 30 et 300 Ghz et au-delà vers le Thz (sub millimétrique)
- ❖ Distinction entre ondes ionisantes, qui modifient la structure atomique des cibles (configuration des électrons) et ondes non ionisantes



Les ondes millimétriques

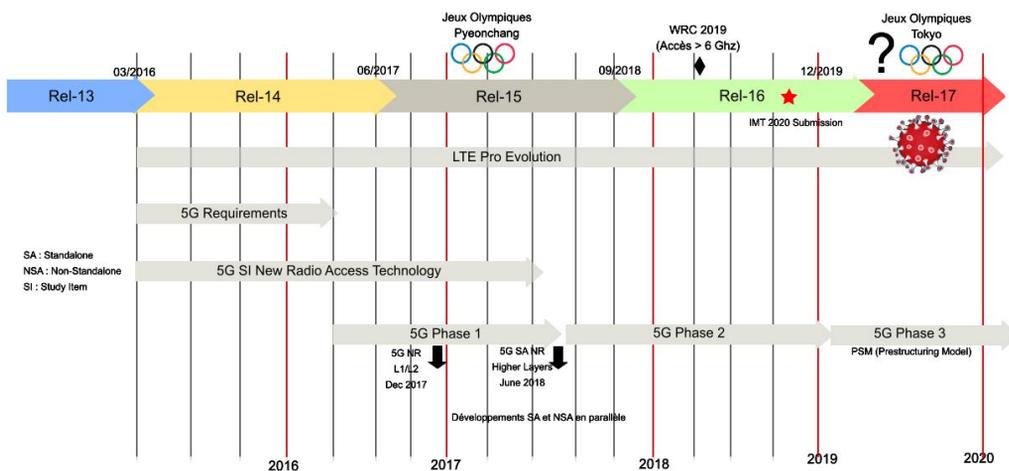


- ❖ Entre 30 et 300 Ghz
- ❖ Avantages :
 - ❖ Disponibilité sur des spectres larges.
 - ❖ Interférences faibles avec l'environnement.
 - ❖ La taille des antennes diminue avec la montée en fréquence.
- ❖ Inconvénients :
 - ❖ Plus la fréquence est élevée, plus il est difficile de pénétrer les immeubles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

- ❖ Le domaine TeraHz (10^{12} 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...



La feuille de route de la 5G



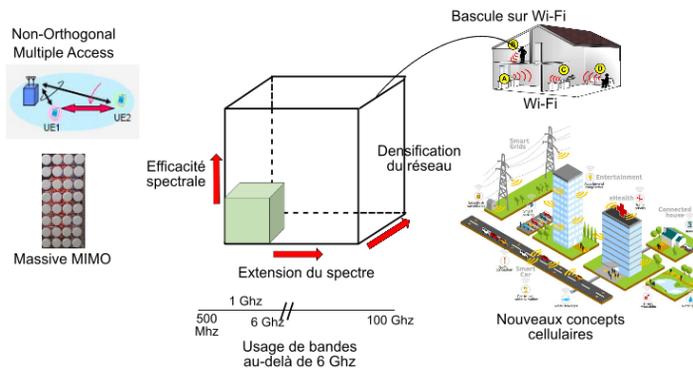
Ce qui caractérise la 5G et les technologies sous-jacentes



- ❖ Capacités de transfert très importantes et des connexions en masse, de l'ordre de 1000 fois le trafic 4G.
- ❖ Compatibilité avec un grand nombre de dispositifs et de besoins, au-delà des mobiles, vers les capteurs et autres objets à venir.
- ❖ Diminution du temps de latence à moins de 1 ms, dans les cas les plus favorables, contre 10 ms pour la 4G et 340 ms pour une connexion satellitaire, sera l'élément central de cette stratégie.
- ❖ Flexibilité pour exploiter au mieux les différentes bandes de fréquences, qui seront attribuées entre 10 et 100 GHz, voire au-delà : cumul de bandes élémentaires
- ❖ La 5G sera beaucoup moins coûteuse : 50 à 90 % de réduction au niveau du bit utile, baisse que l'on espère voire se répercuter dans les abonnements.



Les challenges techniques



Les réseaux cellulaires privés

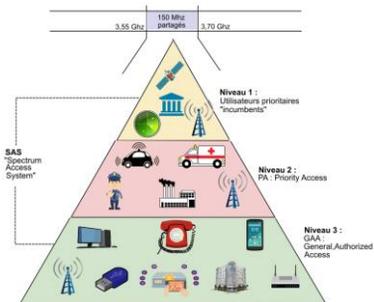
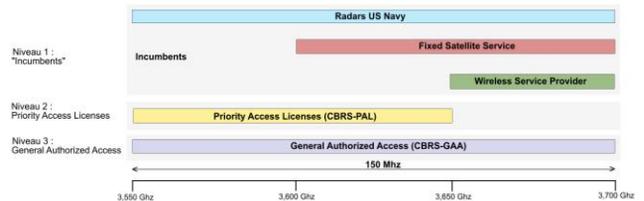


- ❖ Suite des PMR (Private Radio Mobile)
- ❖ Réponse au problème de l'attribution et partage des fréquences
- ❖ Remplace Wi-Fi ou complément (bout en bout)
- ❖ Adapté à la topologie d'un campus
- ❖ La portée d'une antenne 4G est 3 à 5 fois celle d'un routeur Wi-Fi
- ❖ Meilleure efficacité spectrale : 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

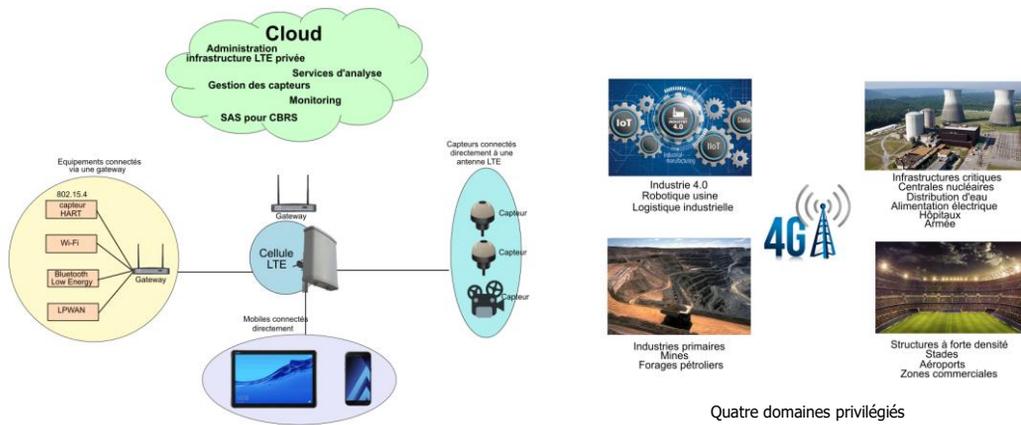


L'initiative CBRS

- ❖ Le gouvernement américain a pris une initiative très intéressante en 2018, d'autoriser le partage de zones de fréquences autour de 3,5 Ghz en mode CBRS (Citizens Broadband Radio Service), en fait 150 Mhz, de 3,55 à 3,70 Ghz.
- ❖ Confirme le concept de partage de fréquence qui a fait beaucoup de progrès
- ❖ Règle en partie le problème des fréquences affectées mais peu utilisées
- ❖ **Une hiérarchie à trois niveaux**
 - ❖ Les mieux servis (« incumbent access »), déjà présents sur la bande et resteront privilégiés et à qui il faut éviter toute perturbation, issue des autres services.
 - ❖ Service PAL (Priority Access Licenses), qui se positionne sur la partie basse de la bande, 100 Mhz de 3550 à 3650 Mhz.
 - ❖ Les GAA (General Authorized Access), 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 (en dynamique).



Les réseaux cellulaires privés



Quatre domaines privilégiés



La 5G : pourquoi ?



Réalité virtuelle et Réalité augmentée.
Prise en compte du ressenti de l'utilisateur.



Les drones vont participer à la réalité économique du marché. Leur fiabilité dépendra de la qualité du réseau environnant.



La 6G sera pour les **véhicules autonomes**, l'un des 3 piliers de base, avec l'IA et les capteurs sur la chaussée



L'éducation à distance se fera sans contrainte et sera de plus en plus multimedia. Elle sera fortement consommatrice de bande passante 6G.



Les **connexions neuronales (BCI)** sont présentées comme une possibilité concrète en 2030. Elles ne feront rien sans la 6G.



La **médecine de demain** est celle de patients connectés et surveillés. Le **télediagnostic** bénéficiera des avantages de la 6G.

6G



Les **grands logiciels intégrés** : CRM, ERP, SCM... seront de gros consommateurs de 6G, car à 50 %, leurs clients sont mobiles.



La **Blockchain** en mode distribué et privé peut constituer un important gisement d'applications 6G.



Les **villes intelligentes** auront besoin d'une couverture avancée et d'une disponibilité permanente.



Un gros besoin d'**architectures sans fil "seamless"**. La structure satellitaire de la 6G est prévue pour cela.



Comme les 4G et 5G, la 6G sera déclinable en **architectures privées**.



Les **objets IoT industriels** auront besoin de sécurité, de disponibilité et de latence courte. Ils seront les premiers clients de la 6G.

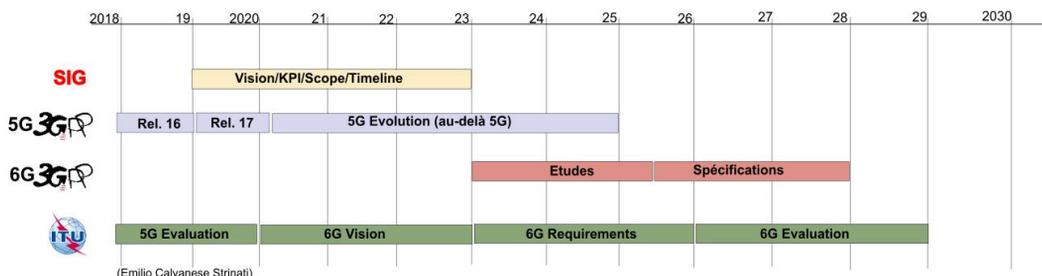


...et bientôt la 6G

- ❖ Vitesses de l'ordre du Tbps
- ❖ Couverture spatiale « seamless » de très grande envergure, qui va s'exprimer différemment en bits/hz/sec/m²/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 : 10⁻¹² J/b.
- ❖ Fréquences d'usage entre 1 et 3 Thz.
- ❖ Latence inférieure à 1 ms.
- ❖ 1 Tbps avec vitesse courante distribuée à l'utilisateur à 1 Gbps.
- ❖ Versions « dégradées » pour les IoT.
- ❖ Jusqu'à 10 millions de devices au km² (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.
- ❖ Le standard 6G se déclinera aussi en 6G privé.
- ❖ 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 qui devra couvrir toute la planète, sans s'appuyer sur une infrastructure dense de stations de base au sol.
- ❖ Une gestion des ressources satellitaires et des usagers, qui va faire appel lourdement aux technologies d'Intelligence Artificielle. 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.



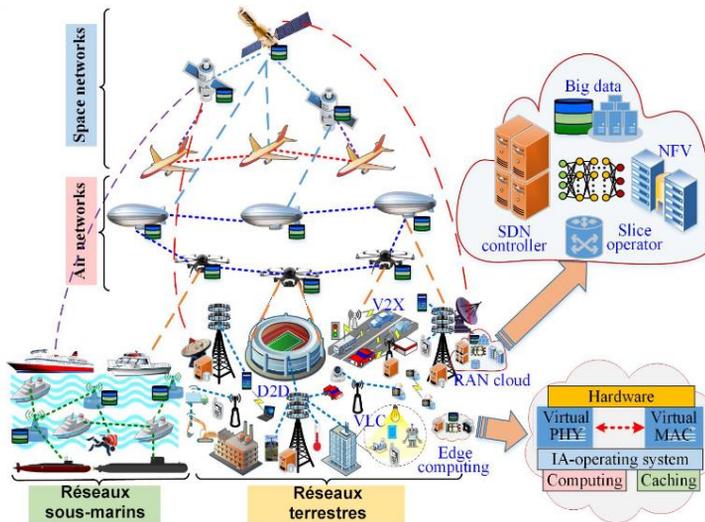
...et bientôt la 6G



- ❖ Avant d'atteindre la 6G, il faut résoudre un certain nombre de problèmes techniques, dont certains sont encore du domaine de la recherche.
- ❖ LIS (Large Intelligent Surface), des surfaces constituées d'éléments passifs, qui vont servir d'intermédiaires entre les stations de base et les utilisateurs, de manière à démultiplier les capacités MIMO. Les éléments constitutifs de ces surfaces sont des réflecteurs, qui reçoivent en entrée un signal radio qu'ils réfléchissent à destination des usagers, avec un décalage de phase. Ce ne sont pas de simples relais.
- ❖ On manque encore d'expérience dans les très hautes fréquences, autour du TeraHz.
- ❖ Intégration de l'holographie et du VLC dans la 6G, problème qui n'a jamais été traité en termes de cohabitation avec un mode cellulaire classique



Ce qui nous attend avec la 6G

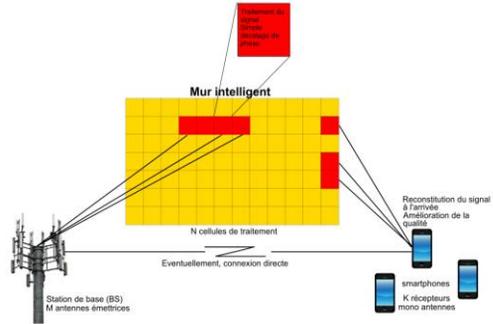


VLC : Visible Light Communication

- ❖ VLC : Visible Light Communication (Communication par la Lumière Visible) ou LiFi.
- ❖ Utilise la lumière visible de 380 nm (fin des ultraviolets) à 780 nm (début des infrarouges)
- ❖ Libère les fréquences
- ❖ Les signaux électriques sont convertis en signaux optiques, via un ou plusieurs LED
- ❖ L'intensité lumineuse varie en fonction des données à transmettre.
- ❖ Avantages
 - ❖ Le spectre de lumière couvre une bande de fréquence de 300 THz, gratuite et non régulée.
 - ❖ Pas d'interférence avec les fréquences radio
 - ❖ La lumière, contrairement aux ondes radio, ne passe pas les murs ce qui permet de cloisonner les données. Mais cette caractéristique limite la portée du Li-Fi en intérieur.
 - ❖ Une source lumineuse équipée de Li-Fi peut être utilisée pour éclairer et transmettre des informations en même temps.
 - ❖ Enorme bande passante.
 - ❖ Pas de risques pour la santé.
- ❖ Inconvénients
 - ❖ L'utilisateur doit se trouver à proximité d'un luminaire en fonctionnement (plafonnier ou lampe de bureau).
 - ❖ Un équipement Li-Fi ne peut capter le réseau lorsqu'il est dans la poche d'un vêtement.
 - ❖ Faible portée (quelques mètres seulement pour des communications bidirectionnelles), limitée par les cloisons opaques (meubles, murs).
 - ❖ Intérieur seulement.
 - ❖ Interférences avec d'autres sources lumineuses.
 - ❖ Technologie encore confidentielle.



Les murs intelligents



- ❖ Un LIS (Large Intelligent Surface) est une surface intelligente, dont la finalité est d'améliorer la qualité des signaux perçus par les usagers dans les réseaux cellulaires de haut niveau, 5G, 6G et au-delà.
- ❖ Le LIS se place entre l'émetteur et les récepteurs : simple panneau installé aux endroits stratégiques, les murs d'une maison ou d'un bureau, adaptés en conséquence, pour servir de relais intelligents.
- ❖ Une technique consiste à tamiser le mur de cellules actives capables de recevoir une onde cellulaire incidente, d'effectuer un traitement élémentaire dessus, sans avoir besoin de la stocker et réémettre une onde de sortie, à destination des clients récepteurs. Avec modification de ses paramètres, dont la phase (le mur le plus « simple » ne fait qu'introduire un décalage de phase, toujours le même, sur l'onde incidente, avant de la réémettre).
- ❖ Le traitement va s'effectuer via des micro modules intégrés aux cellules, qui peuvent être de simples capteurs passifs ou de véritables petites centrales de traitement, avec des MEMS (microsystèmes électromécaniques), capables d'appliquer des algorithmes complexes.



L'alimentation par l'environnement

Photovoltaïque
Transformation de l'énergie solaire en énergie électrique. Impossible pour l'instant à exploiter pour des mobiles. Problèmes de rendement. Envisageable pour des objets fixes.

Induction électromagnétique
Récupération de l'énergie générée par les variations d'un champ magnétique. Quelques réalisations concrètes. Ne d'intérêt que si l'on n'a aucune forme d'alimentation à proximité. Surtout pour les trappes du grand nord Canadien...

Corps humain
Nombreuses solutions crédibles : nanogénérateurs, turbines sanguines, etc. par récupération des mouvements naturels produits par notre corps. Le développement des nanotechnologies appliquées au corps humain, va "booster" ces techniques.

Pyroélectricité
Application du cycle de Olsen sur des matériaux ferroélectriques. Peu de chances de déboucher à court terme.

Piézoélectricité
Sans doute, l'une des techniques les plus prometteuses. Fondée sur la récupération des déformations de cristaux piézoélectriques.

Thermoélectricité
Transformation du gradient de température entre deux conducteurs, en énergie électrique. Peu suivie, dépend de la mise au point de nouveaux matériaux.

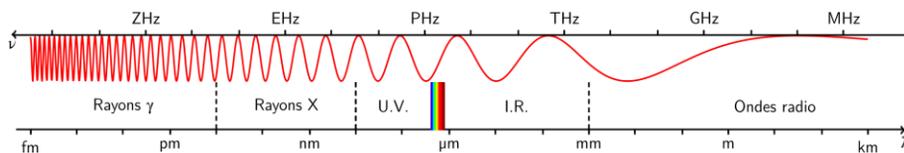
RF Harvesting
Exploitation de métamatériaux qui peuvent convertir un signal d'antenne en énergie réutilisable. Les rendements sont encore très mauvais et on voit mal comment ils pourraient s'améliorer.



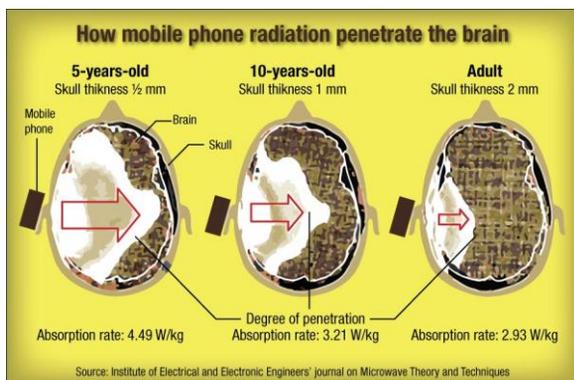


La dangerosité potentielle des réseaux sans fil

- ❖ 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.



La dangerosité potentielle des réseaux sans fil

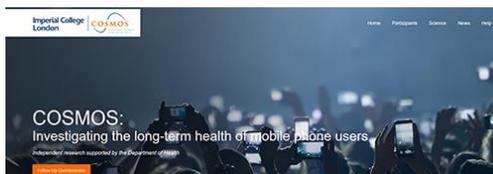


- ❖ Les règles
 - ❖ L'intensité d'un champ électromagnétique est exprimée en V/m et la loi fixe les limites selon la fréquence (de 40 à 80 V/m selon les pays)
 - ❖ Certaines organisations préconisent de la ramener à...6 V/m
 - ❖ Le PIRE : Puissance Isotrope Rayonnée Equivalente mesure la puissance émettrice 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



Soyons sérieux...mais prudents

- ❖ 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...au même titre que le café et les légumes vinaigrés !!! : 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, mais il utilise la fréquence de 2,4 Ghz, qui donne les « meilleurs résultats » en termes d'agitation moléculaire
 - ❖ Les routeurs Wi-Fi sont limités à 100 mW dans la bande 2,4 Ghz
- ❖ Choix entre smartphone et DECT
 - ❖ L'émission du DECT est très élevée : entre 0,7 et 1,3 V/m et la base continue d'émettre même hors activité téléphonique
- ❖ Les malades sont-ils malades ?
 - ❖ 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.
 - ❖ Ils deviennent sensibles à des champs de plus en plus faibles : l'électrosensibilité pourrait être reconnue officiellement comme une maladie par l'OMS



- ❖ L'organisme britannique « Mobile Telecommunications and Health Research Program » effectue une étude pour suivre 250.000 usagers pendant 25 à 30 ans : troubles du sommeil, tumeurs, cancers et autres désordres neurologiques ou cardio-vasculaires : projet COSMOS (www.ukcosmos.org)
- ❖ L'ANSES montre aussi qu'au-delà de 1650 h d'usage (une heure par jour pendant 4 ans, il y a un risque de tumeur cérébrale (gliome) et du nerf auditif (neurinome de l'acoustique)





De la 5G à la 6G

13 Mai 2020

Nos prochains rendez-vous

- Mardi 19 Mai 2020 : Les preuves d'autorité en Blockchain
- Mercredi 27 Mai 2020 : La planification des projets Scrum
- Mercredi 3 Juin 2020 : Les réseaux LPWAN, comment choisir
- Mercredi 10 Juin 2020 : Les runtime modernes : PHP, Java, LLVM...
- Vendredi 26 Juin 2020 : Certifications contre diplômes
- Mardi 30 Juin 2020 : Les techniques nouvelles de POO

