

# Communication

## Le milieu air

---

*Fabien Dutoit*

---

*SYM – Systèmes mobiles*

---

## Le milieu air

- *L'informatique mobile est une grande consommatrice de capacité « air »*
- *Le segment air est banalisé : il n'est pas aisé d'en augmenter la capacité.*
- *Rappel : la relation de Shannon nous donne :*

$$C = W \cdot \log_2 \left( 1 + \frac{S}{N} \right)$$

- *$W$  : largeur de bande, ne peut être augmentée indéfiniment*
- *$S/N$  : le rapport signal sur bruit dépend de la qualité de la transmission*

## Le milieu air

- *L'utilisation du milieu air nécessite l'emploi d'antennes émettrices et réceptrices*
- *Une transmission en milieu air est caractérisée par :*
  - *Le gain des antennes (caractéristiques géométriques)*
  - *Le milieu (pas toujours homogène, et variable en fonction par exemple des conditions atmosphériques)*
  - *La distance de transmission*
  - *La puissance d'émission*

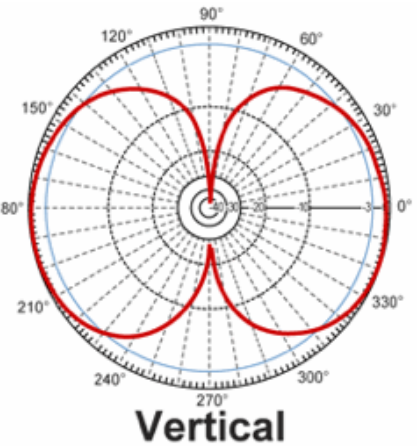
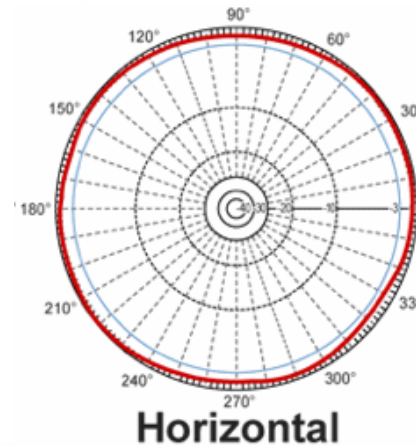
## Le milieu air

*De meilleures antennes sont généralement aussi des antennes de plus grande dimension:  
 $\text{gain} \approx \text{dimension}^2$  pour une parabole*

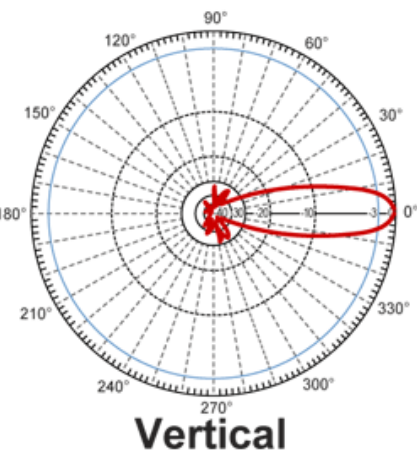
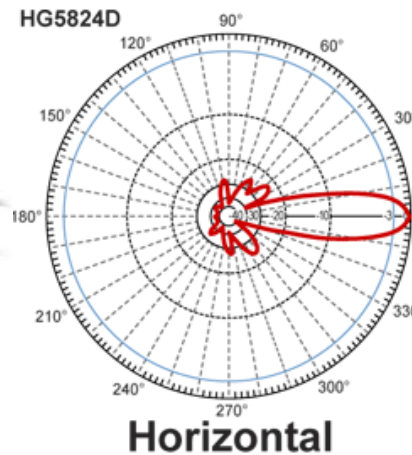


# Le milieu air – gain des antennes

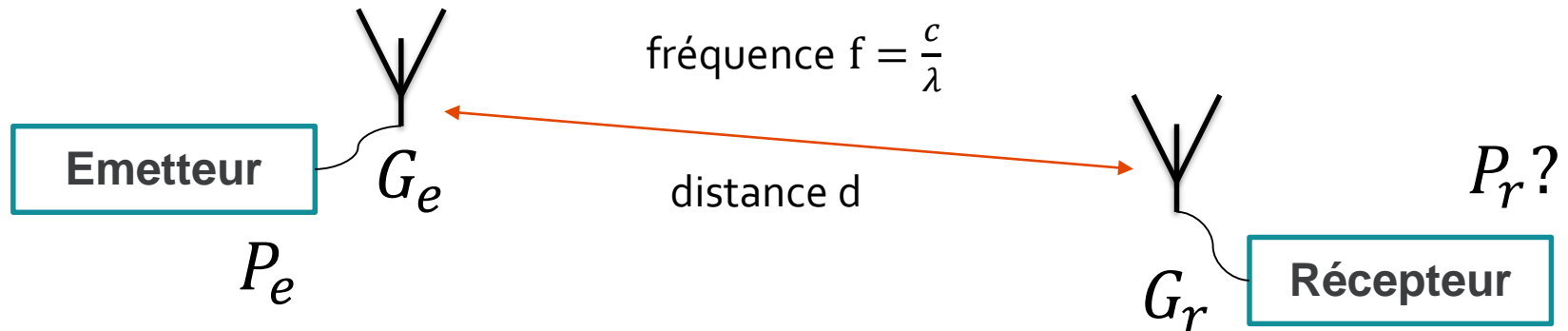
*Antenne omnidirectionnelle*



*Antenne parabolique*



## Le milieu air – bilan d'une liaison



Puissance de réception:

$$P_r = P_e G_e G_r \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2$$

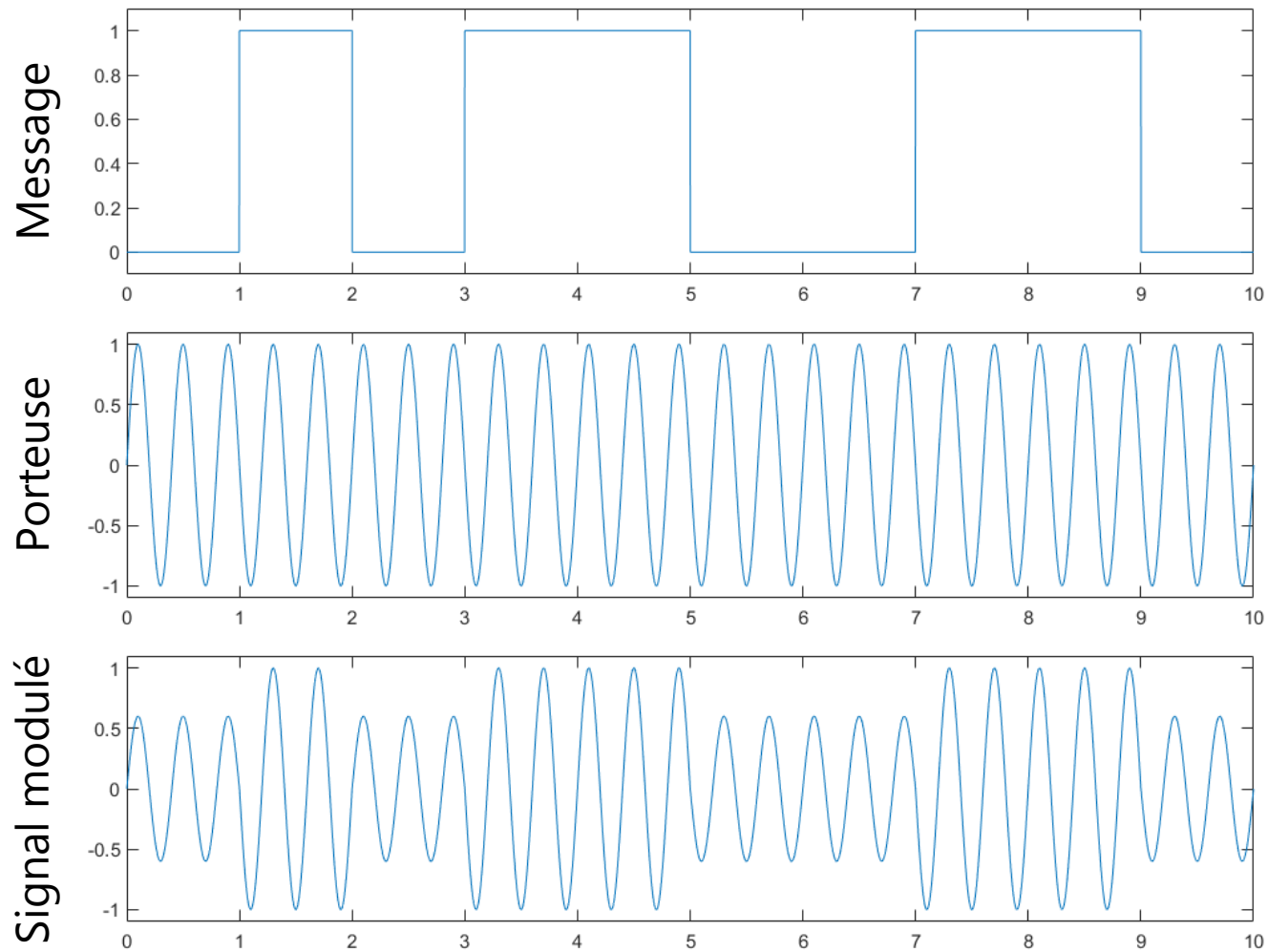
A retenir:

- La  $P_r$  diminue proportionnellement au carré de la distance
- La  $P_r$  diminue proportionnellement au carré de la fréquence

## Le milieu air – La modulation

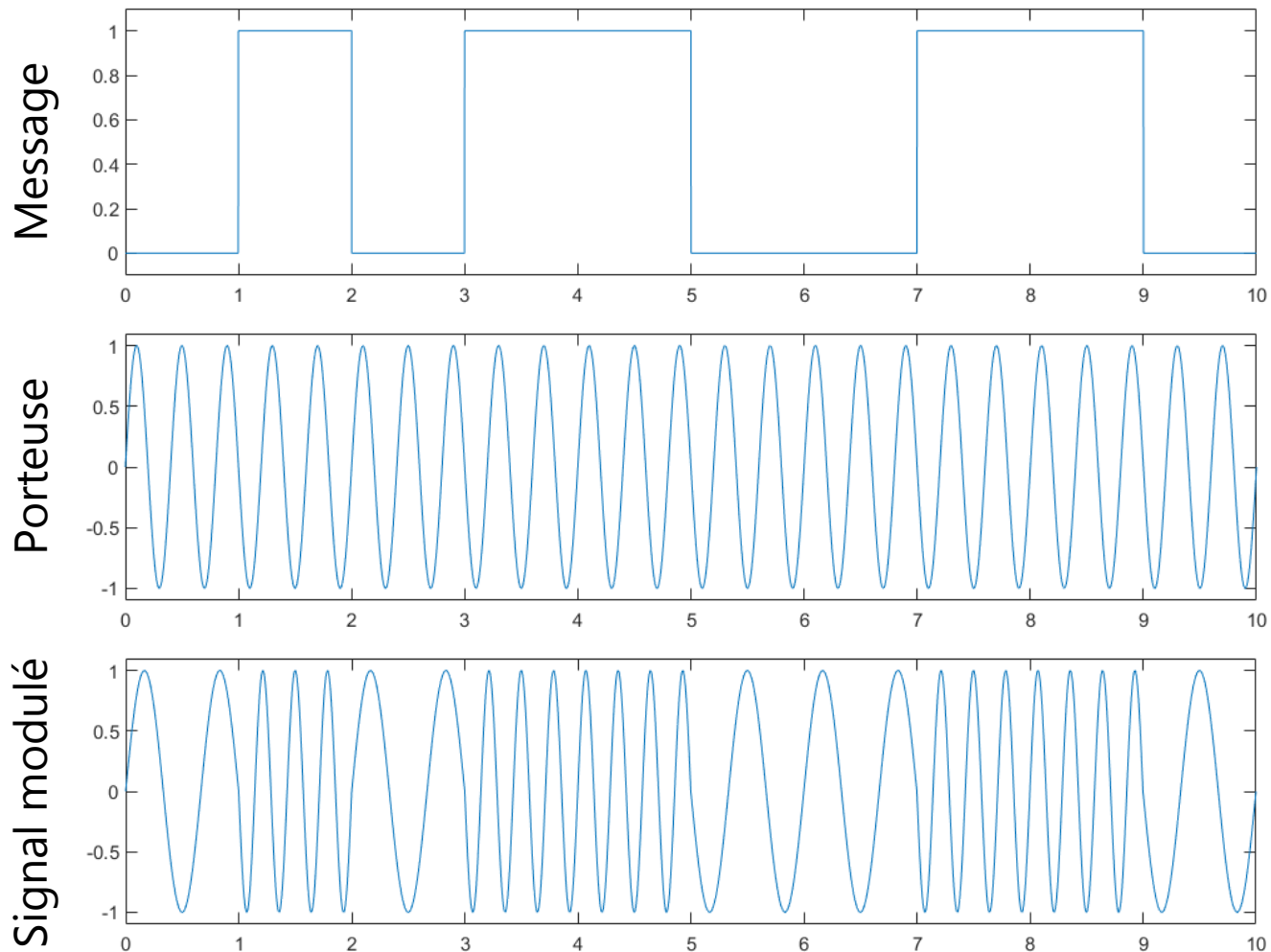
- *La modulation est la transformation d'un message à transmettre en un signal adapté à la transmission sur un support physique*
- *Les objectifs de la modulation sont:*
  - *une transposition dans un domaine de fréquences adapté au support de transmission*
  - *une meilleure protection du signal contre le bruit*
- *Trois types de modulation de base existent, en faisant varier les trois paramètres de l'onde porteuse:*
  - *L'amplitude*
  - *La fréquence*
  - *La phase*

# Le milieu air – La modulation d'amplitude

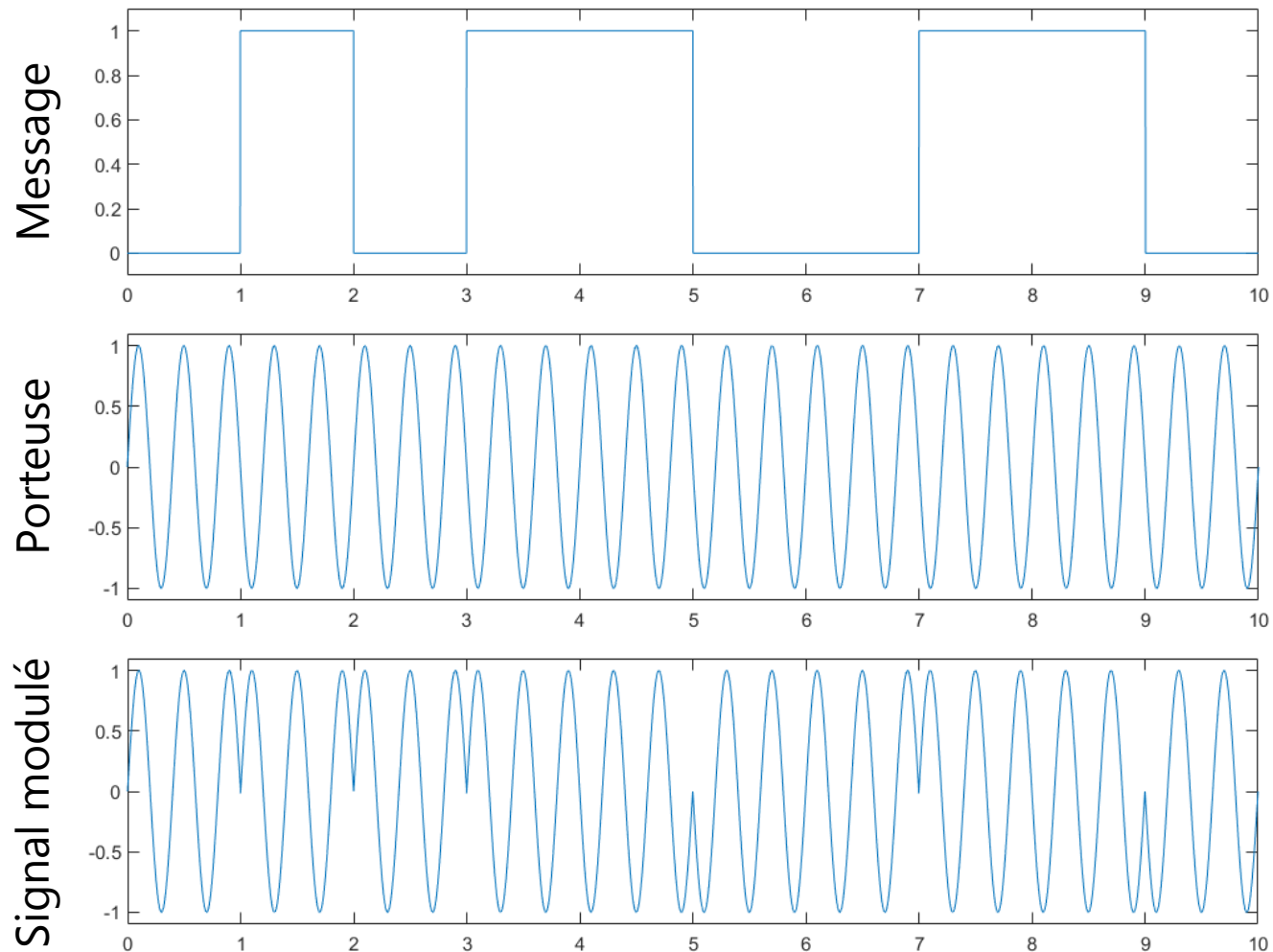




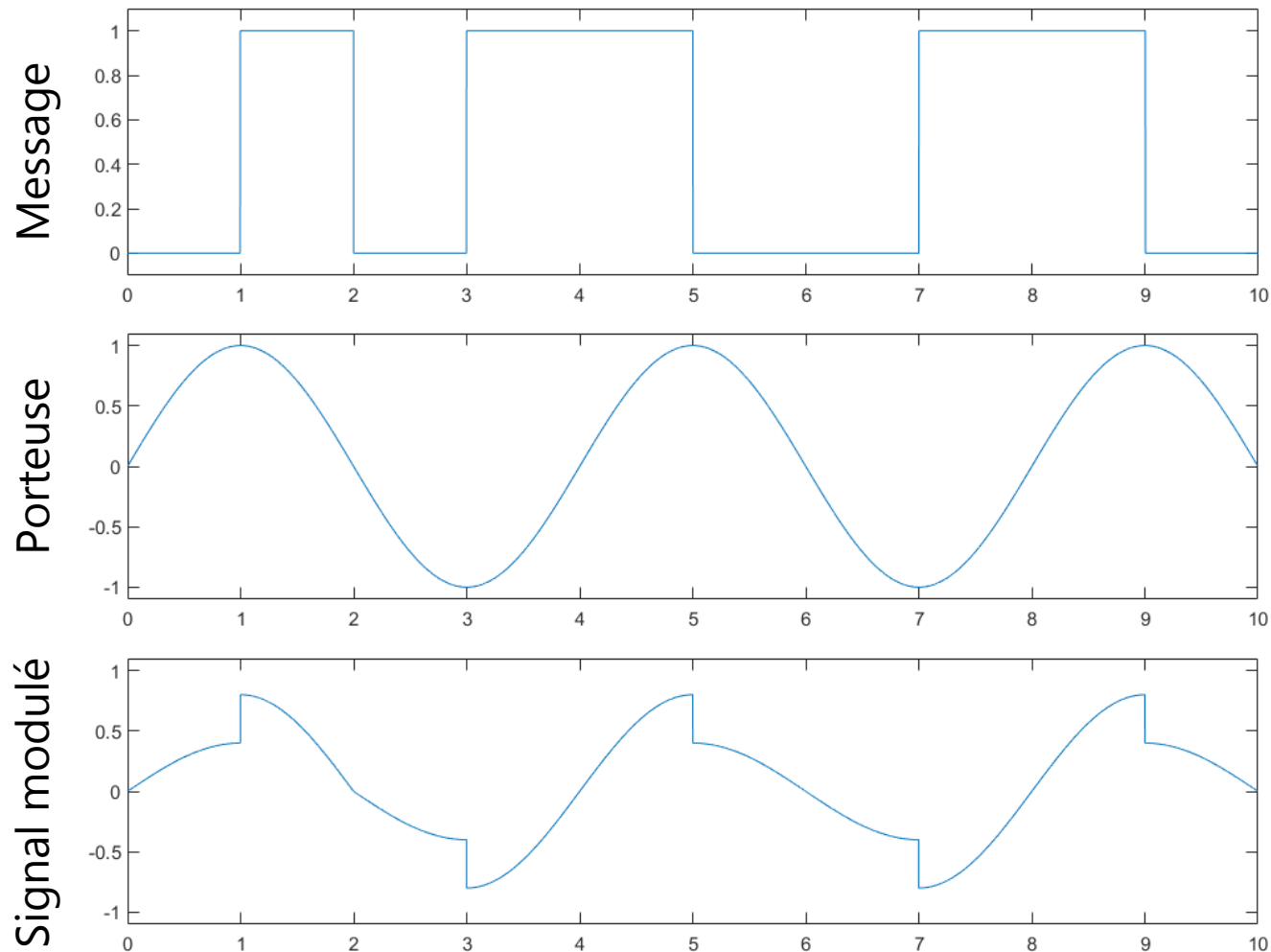
# Le milieu air – La modulation de fréquence



# Le milieu air – La modulation de phase



# Le milieu air – La modulation d'amplitude – Limites



## Le milieu air

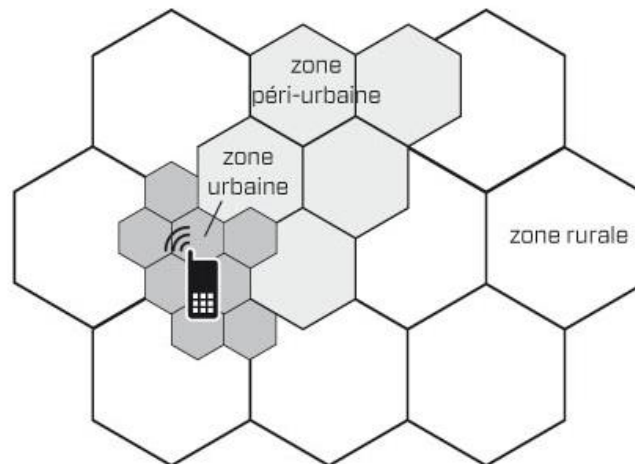
*Augmenter la capacité du milieu air peut se faire de différentes manières :*

- *Travailler à des fréquences plus élevées*  
*l'affaiblissement augmente avec  $f^2$*
- *Utiliser moins de largeur de bande*  
*GSM transmet à 13 kbit/s un signal qui en demande 64 kbit/s*
- *Planifier plus de cellules de dimensions plus petites*
- *Améliorer le rapport signal/bruit*  
*difficile...*
- *Utiliser de meilleures techniques de transmission*

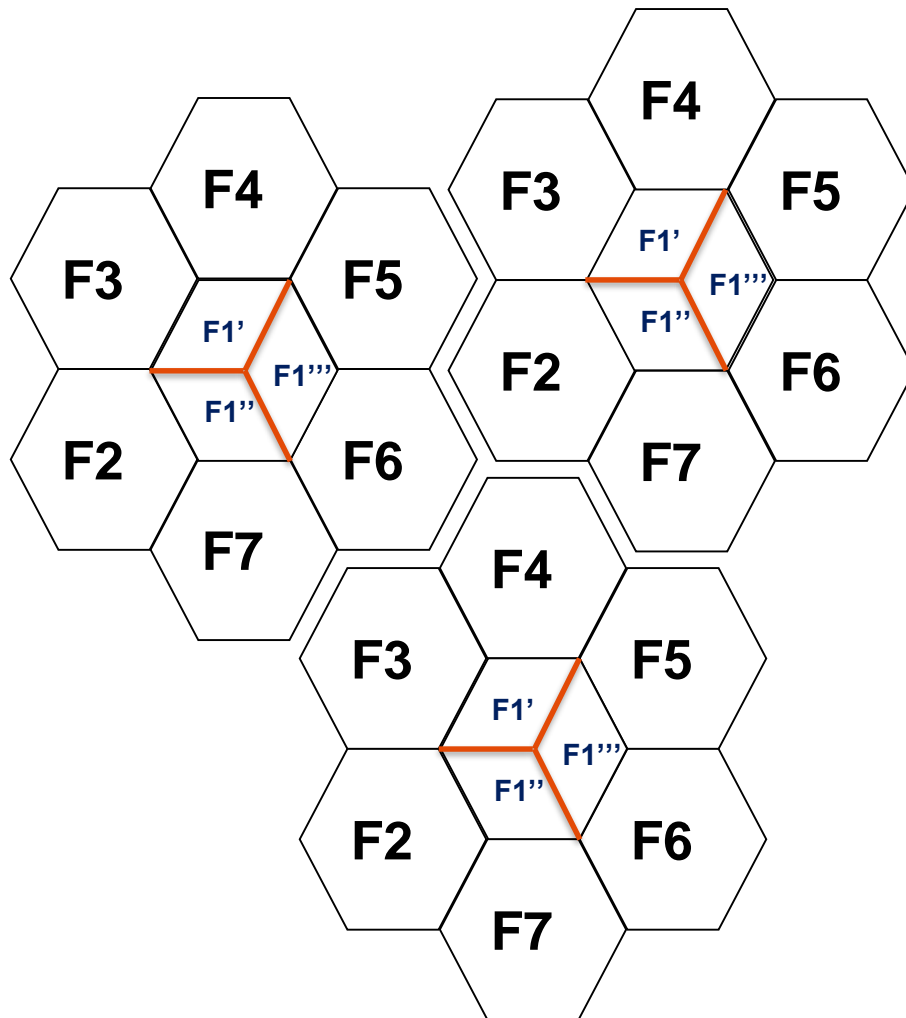
## Le milieu air

*Augmenter la puissance est difficile pour diverses raisons :*

- *Energie disponible dans le terminal mobile*
- *Pollution électromagnétique*
- *Structure cellulaire du réseau*
  - *une cellule ne peut servir qu'un nombre limité d'utilisateurs*
  - *un signal trop fort dans une cellule perturberait des cellules plus lointaines (nombre de fréquences disponibles limité)*

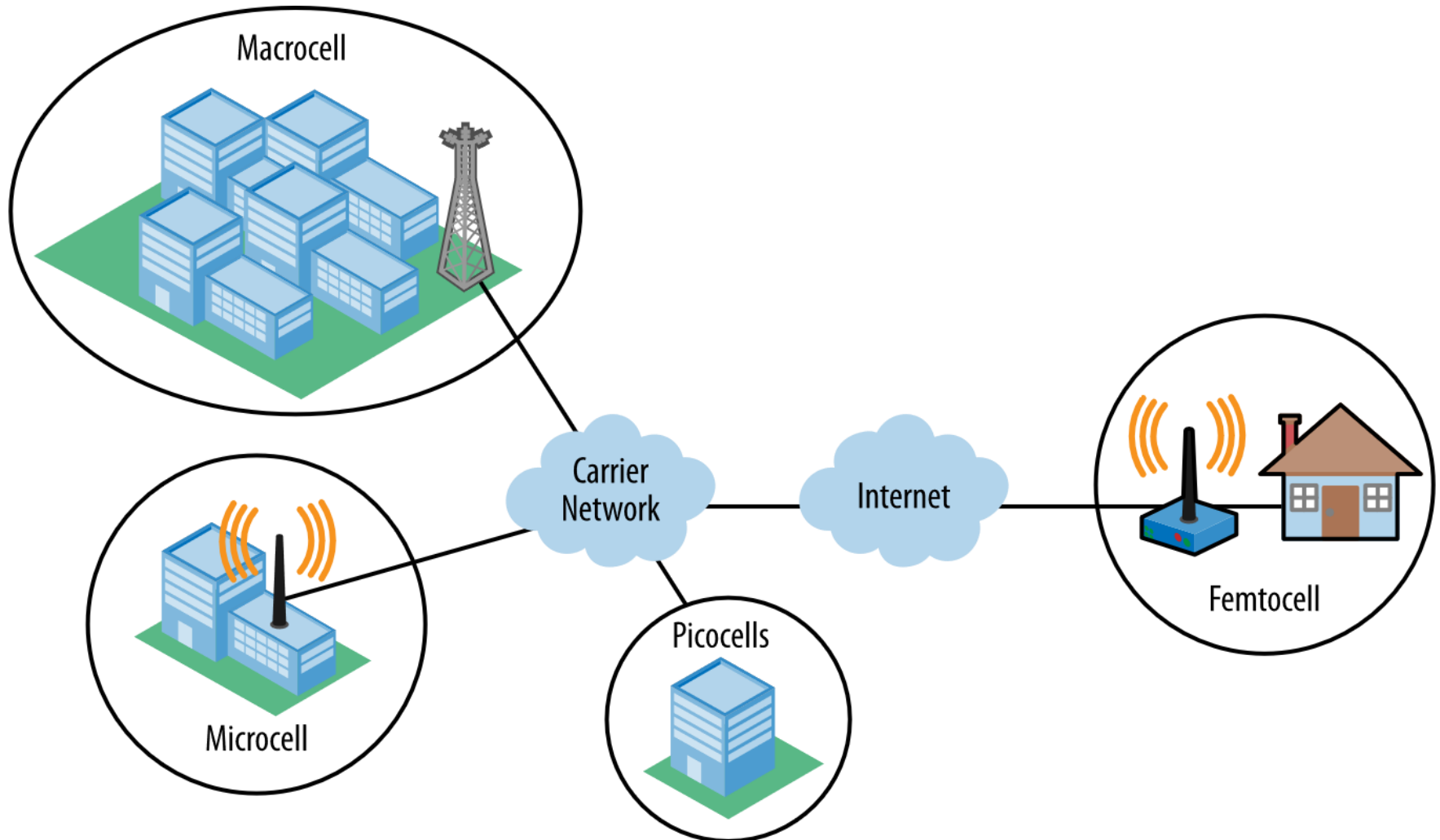


# Réseaux cellulaires



- *Les fréquences disponibles sont limitées et les opérateurs doivent les réutiliser*
- *Pour éviter que 2 cellules travaillant sur le même jeu de fréquences ne s'interfèrent, il faut les éloigner le plus possible*
- *Dans cet exemple, les cellules sont organisées dans des clusters de taille 7*

# Réseaux cellulaires



# Réseaux cellulaires

Small Cell Type	Cell Radius	Power Level (Watts)	Number of Users
Microcell	1 mile env. 1600 m.	10	1,800 per baseband unit
Metrocell	500 – 1,000 feet env. 150-300 m.	5	200
Picocell	750 feet env. 200 m.	1	32
Femtocell	50 - 60 feet env. 20 m.	0.1	4 - 6



# Le milieu air

Désignation internationale	Désignation francophone	Fréquence	Longueur d'onde	Autres appellations	Exemples d'utilisation
<a href="#">ELF</a> ( <i>extremely low frequency</i> )	EBF (extrêmement basse fréquence)	3 Hz à 30 Hz	100 000 km à 10 000 km		Détection de phénomènes naturels
<a href="#">SLF</a> ( <i>super low frequency</i> )	SBF (super basse fréquence)	30 Hz à 300 Hz	10 000 km à 1 000 km		<a href="#">Communication avec les sous-marins</a>
<a href="#">ULF</a> ( <i>ultra low frequency</i> )	UBF (ultra basse fréquence)	300 Hz à 3 000 Hz	1 000 km à 100 km		<a href="#">Appareil de recherche de victimes d'avalanche</a>
<a href="#">VLF</a> ( <i>very low frequency</i> )	TBF (très basse fréquence)	3 kHz à 30 kHz	100 km à 10 km	ondes myriamétriques	<a href="#">Communication avec les sous-marins</a> , Implants médicaux, Recherches scientifiques...
<a href="#">LF</a> ( <i>low frequency</i> )	BF (basse fréquence)	30 kHz à 300 kHz	10 km à 1 km	grandes ondes ou ondes longues ou kilométriques	<a href="#">Radionavigation</a> , <a href="#">Radiodiffusion GO</a> , <a href="#">Radio-identification</a>
<a href="#">MF</a> ( <i>medium frequency</i> )	MF (moyenne fréquence)	300 kHz à 3 MHz	1 km à 100 m	petites ondes ou ondes moyennes ou hectométriques	<a href="#">Radio AM</a>
<a href="#">HF</a> ( <i>high frequency</i> )	HF (haute fréquence)	3 MHz à 30 MHz	100 m à 10 m	ondes courtes ou décamétriques	Communication pour les vols long courrier, <a href="#">Radio-identification...</a>
<a href="#">VHF</a> ( <i>very high frequency</i> )	THF (très haute fréquence)	30 MHz à 300 MHz	10 m à 1 m	ondes ultra-courtes ou métriques	<a href="#">Radio FM</a> , <a href="#">Télévision</a>
<a href="#">UHF</a> ( <i>ultra high frequency</i> )	UHF (ultra haute fréquence)	300 MHz à 3 GHz	1 m à 10 cm	ondes décimétriques	<a href="#">GSM</a> , <a href="#">GPS</a> , <a href="#">Wi-Fi</a>
<a href="#">SHF</a> ( <i>super high frequency</i> )	SHF (super haute fréquence)	3 GHz à 30 GHz	10 cm à 1 cm	ondes centimétriques	<a href="#">Micro-onde</a>
<a href="#">EHF</a> ( <i>extremely high frequency</i> )	EHF (extrêmement haute fréquence)	30 GHz à 300 GHz	1 cm à 1 mm	ondes millimétriques	Radars anticollision pour automobiles, Liaisons vidéo transportables
<a href="#">Terahertz</a>	Térahertz	300 GHz à 3 000 GHz	1 mm à 100 µm	ondes submillimétriques	

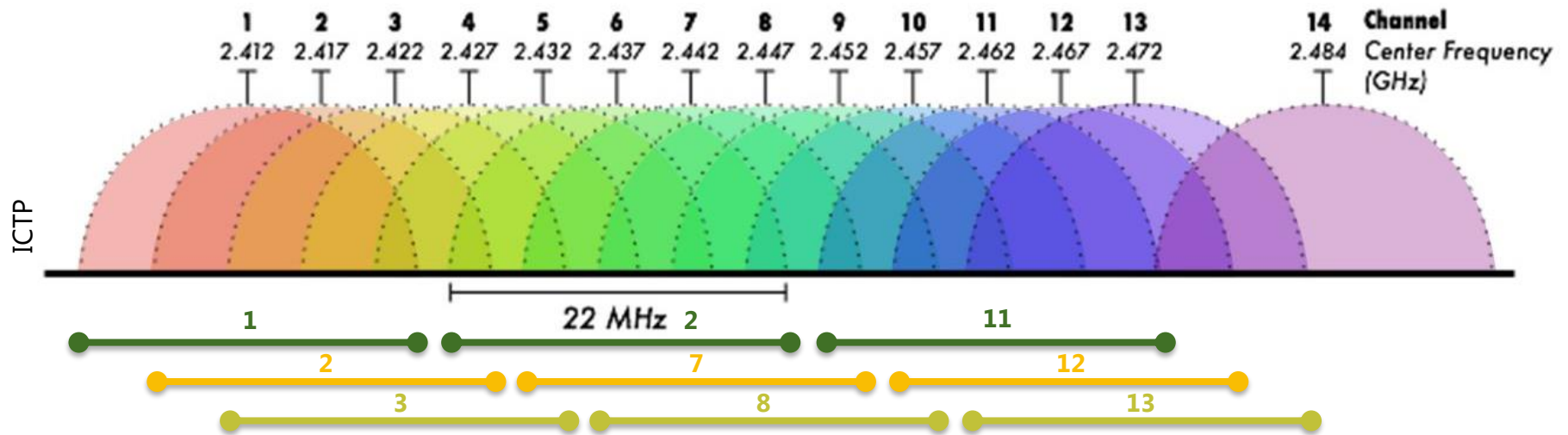
# Bande ISM

## Industrielle, scientifique et médicale

6,765 - 6,795	MHz (soit 6,78 MHz $\pm$ 15,0 kHz)
13,553 - 13,567	MHz (soit 13,56 MHz $\pm$ 7,0 kHz)
26,957 - 27,283	MHz (soit 27,12 MHz $\pm$ 163,0 kHz)
40,660 - 40,700	MHz (soit 40,68 MHz $\pm$ 20,0 kHz)
433,05 - 434,79	MHz (soit 433,920 MHz $\pm$ 0,2 %)
<b>2,4 - 2,5</b>	<b>GHz (soit 2,450 GHz <math>\pm</math> 50,0 MHz)</b>
5,725 - 5,875	GHz (soit 5,800 GHz $\pm$ 75,0 MHz)
24 - 24,25	GHz (soit 24,125 GHz $\pm$ 125,0 MHz)
61 - 61,5	GHz (soit 61,25 GHz $\pm$ 250,0 MHz)
122 - 123	GHz (soit 122,50 GHz $\pm$ 500,0 MHz)
244 - 246	GHz (soit 245,00 GHz $\pm$ 1,0 GHz)

# Bande ISM 2,4 GHz

## Les canaux WiFi 802.11



## Le milieu air

- *Ne pas interférer avec des gammes d'ondes pré-assignées (TV, FM, radiocommunications...)*
- *Assurer un débit binaire satisfaisant*
- *Ne pas imposer la vue directe, avoir un minimum de pénétration des obstacles courants (murs, bâtiments)*
- *Eviter les bandes de fréquences notoirement perturbées (phénomènes parfois locaux)*
- *Limiter la puissance émise*
- *Limiter les nuisances visuelles (antennes)*

# Global System for Mobile Communications

- *Première norme de téléphonie mobile numérique*
- *GSM est un réseau conçu pour la voix avant tout*
- *Il supporte la mobilité (env. 120 km/h, resp. 60 km/h) au-delà du périmètre d'un émetteur, et l'itinérance entre réseaux*
- *Utilise une bande de fréquences autour de 900 MHz (1800 MHz pour DCS 1800)*
- *GSM est la pierre de base des systèmes mobiles actuellement, Swisscom a toutefois annoncé son abandon pour fin 2020*

## GSM / General Packet Radio Service

- *GSM DATA ~9 kbit/s (commutation de circuit)*
- *GPRS norme complémentaire au GSM*
  - *commutation de paquets*
  - *permet d'utiliser plusieurs canaux en parallèle (max. 171 kbps, ~40 kbps en pratique)*
- *GPRS reste un réseau considéré comme secondaire: la téléphonie prime sur la transmission de données. GPRS peut donc se trouver temporairement indisponible (catastrophes, grands événements)*

# GSM / **W**ireless **A**pplication **P**rotocol

*Redéfinition du protocole HTTP, des langages HTML et JavaScript pour les adapter aux périphériques mobiles*



- *HTTP → WAE - Wireless Application Environment*  
*Equivalent mobile d'HTTP, n'utilise pas TCP mais WTP (Wireless transaction protocol) sur UDP*
- *WML - Wireless Markup Language*  
*Très simplifié par rapport à HTML*  
*Plusieurs cartes (pages) dans un document*

## Enhanced Datarate for GSM Evolution

- *Débit maximum théorique de 473 kbps*
- *Optimisation du segment air sur la partie descendante*
  - *En pratique, norme IMT-2000 (International Mobile Telecommunications) fixe le débit descendant à 384 kbps*
- *Le débit montant maximum ~100 kbps*
- *Alternative crédible à UMTS, souvent trop cher pour équiper les zone rurales « Poor man's UMTS »*
- *Transmission dissymétrique remise en question actuellement par les applications mobiles*



## Universal Mobile Telecommunication System

- *Déclinaison européenne de la 3G*
- *Technologie à étalement de spectre (Spread Spectrum)*
- *Débit maximum théorique de 1,920 Mbps*
- *En pratique, les opérateurs offrent rarement plus de 384 kbps (IMT-2000, cf. EDGE).*
- *UMTS définit des profils d'utilisation dépendant de l'environnement d'utilisation :*
  - *en zone rurale : 144 kbit/s, vitesse max. 500 km/h*
  - *en zone urbaine : 384 kbit/s vitesse max. 120 km/h*
  - *dans un bâtiment : 1920 kbit/s vitesse max. 2-3 km/h (homme au pas)*

# Universal Mobile Telecommunication System

- *Bandes de fréquences :*
  - *TDD : 1.885 à 1.920 GHz, et 2.01 à 2.025 GHz*
  - *FDD : 1.920 à 1.980 GHz uplink et 2.110 à 2.170 GHz downlink (symétriques)*
  - *Satellite link : 1.98 à 2.01 GHz uplink, et 2.17 à 2.20 GHz downlink (symétrique)*
- *Les plans d'attribution nationaux peuvent différer, les différents opérateurs se répartissant la bande disponible de manière plus ou moins équitable...*
- *HSDPA - High Speed Downlink Packet Access*  
*C'est une amélioration logicielle de l'UMTS permettant des débits théoriques de 42 Mbps*

## LongTerm Evolution

- *LTE est une extension de la 3G, appelée à tort « 4G » par de nombreux opérateurs.*
- *LTE introduit des débits de l'ordre de 150 Mbps*
- *Les instances de normalisation définissent la 4G comme démarrant à 1 Gbps*
- *Les débits au-dessus de 1 Mbps posent de sérieux problèmes de mobilité et de diffusion à travers des obstacles naturels ou artificiels; mais les antennes très nombreuses sont aussi très discrètes.*
- *Problème récurrent de l'effet Doppler !*

## LongTerm Evolution

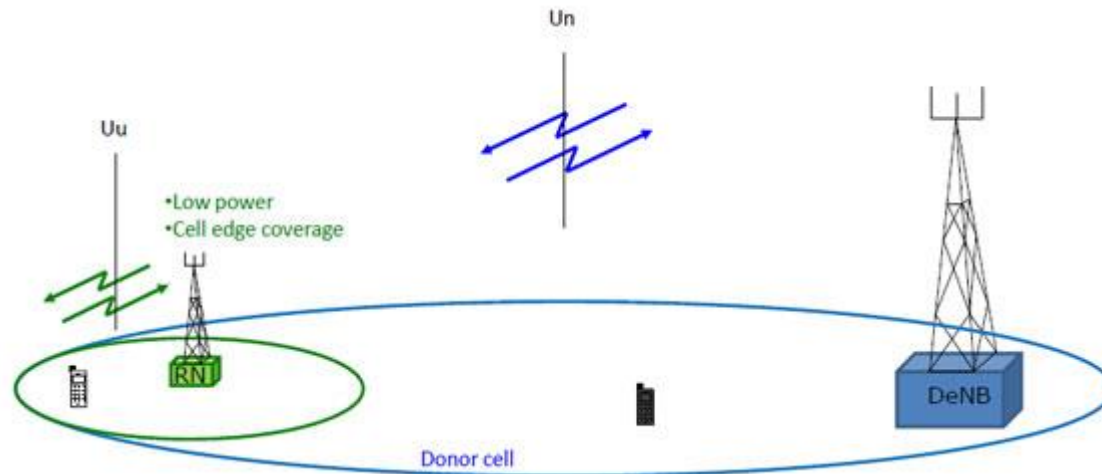
- *Nombreuses bandes de fréquences associées à LTE (plus de 20)*
- *Bandes entre 800 MHz et 3.8 GHz (LTE, LTE Advanced)*
  - *Certaines fréquences utilisées pour GSM sont recyclées pour LTE*
- *Rayon de couverture variable, entre la centaine de mètres et quelque 50 kilomètres en zone rurale*
- *En UE, fréquences autour de 2.5 et 2.7 GHz utilisées; les cellules ont un rayon de quelques kilomètres au maximum*

## LongTerm Evolution

- *Le réseau LTE repose entièrement sur un réseau à commutation de paquet incompatible avec la transmission des appels téléphoniques vocaux traditionnels*
- *Les téléphones rebasculent en 3G/2G pour passer ou recevoir un appel. Cela allonge le temps d'établissement de l'appel de env. 10 secondes*
- *Le standard VoLTE permet d'ajouter cette fonctionnalité à LTE, disponible depuis mi-2015 chez Swisscom, depuis 2016 chez Sunrise et depuis 2018 chez Salt !*
- *ViLTE standard qui permettra la visioconférence*

## Long Term Evolution Advanced

- *Amélioration du standard LTE, permettant de meilleurs débits, environs 300 Mbps*
  - *Agrégation de porteuses*
  - *Performance radio accrues (256QAM, MIMO 8x8, ...)*
  - *Possibilité d'utiliser des relais en bordure de cellule*



## Résumé réseaux mobiles

- *GSM 2G*                      *9.6 Kbps*
- *GPRS 2.5G*                *35 Kbps à 171 Kbps*
- *EDGE 2.75G*              *120 Kbps à 384 Kbps*
- *UMTS 3G*                   *384 Kbps à 2 Mbps*
- *HSPA 3.5G*                *600 Kbps à 10 Mbps*  
*en moyenne 1-3 Mbps*
- *LTE 4G*                     *en moyenne 2 Mbps à 30 Mbps*

## 5G (horizon 2019-20)

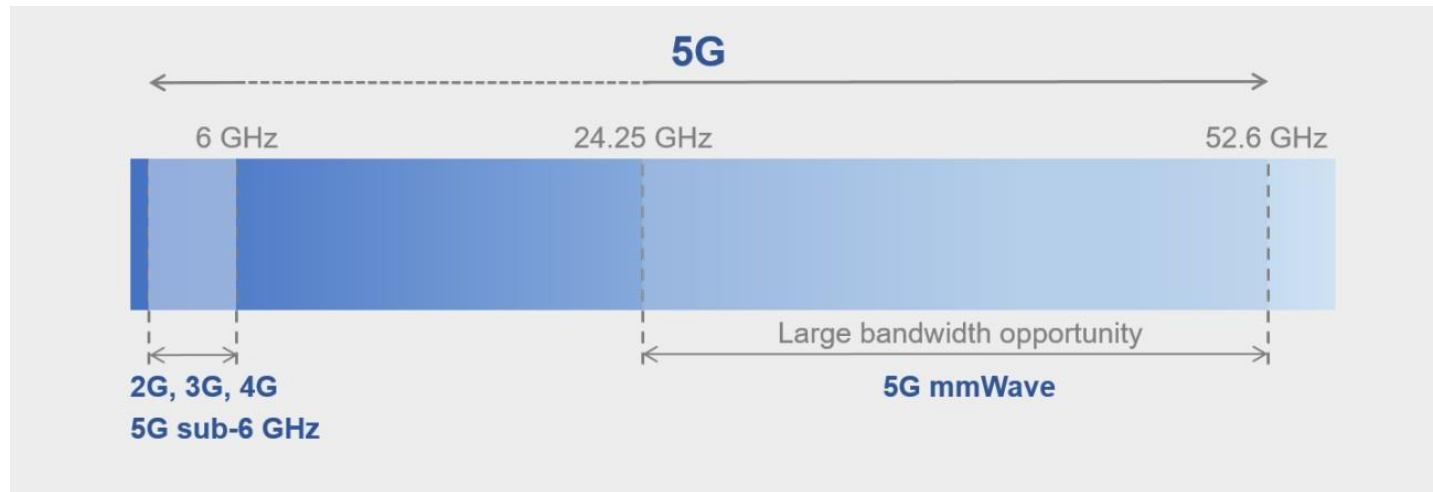
- *Prévu initialement pour 2020, les premiers smartphones compatibles pourraient être commercialisés dès fin 2019*
- *En cours de standardisation, 1<sup>ère</sup> phase réalisée en septembre 2018, 2<sup>ème</sup> phase prévue pour 2020*



## 5G (horizon 2019-20)

- *Les exigences souhaitées:*
  - *Débit*                    *1 à 10 Gbps*
  - *Volume*                *9 Go / heure ou 500 Go / mois et abonné*
  - *Latence*                *< 5ms*
  - *Connexions*    *300'000 appareils par point d'accès (IoT)*
- *Avantages par rapport à la 4G:*
  - *Jusqu'à 1'000x moins gourmand en énergie*
  - *Possibilité de garantir une capacité réseau par application*
  - *Conçu pour être évolutif*
  - *Utilisation du beamforming et beam-tracking*

## 5G (horizon 2019-20)



### **700MHz à 1.8GHz**

- *Téléphonie en intérieur*
- *IoT*

### **26 à 28GHz**

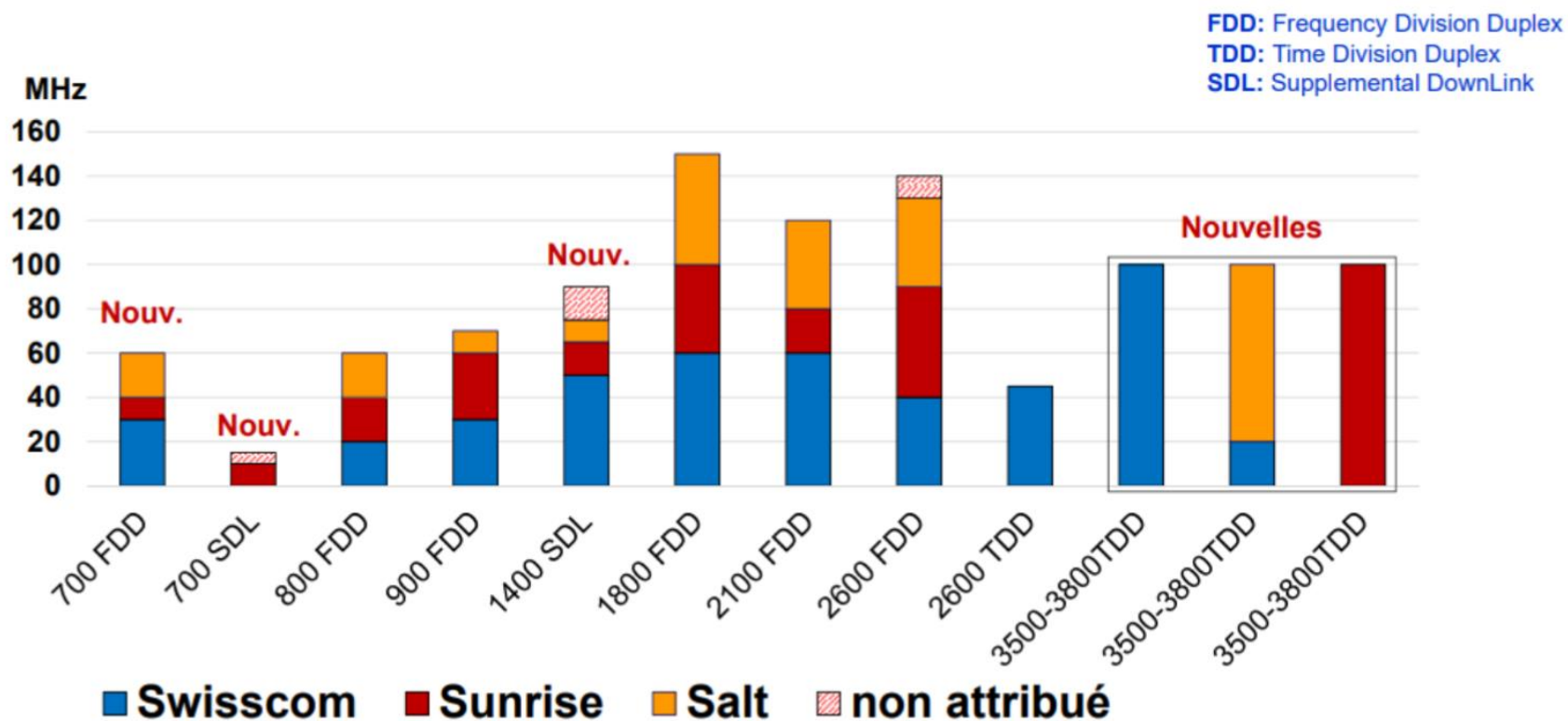
- *Ultra haut débit*
- *Pas encore attribué en Suisse*

### **3.5GHz à 3.8GHz**

- *Téléphonie extérieur*
- *5G haut débit «standard»*

## 5G (horizon 2019-20)

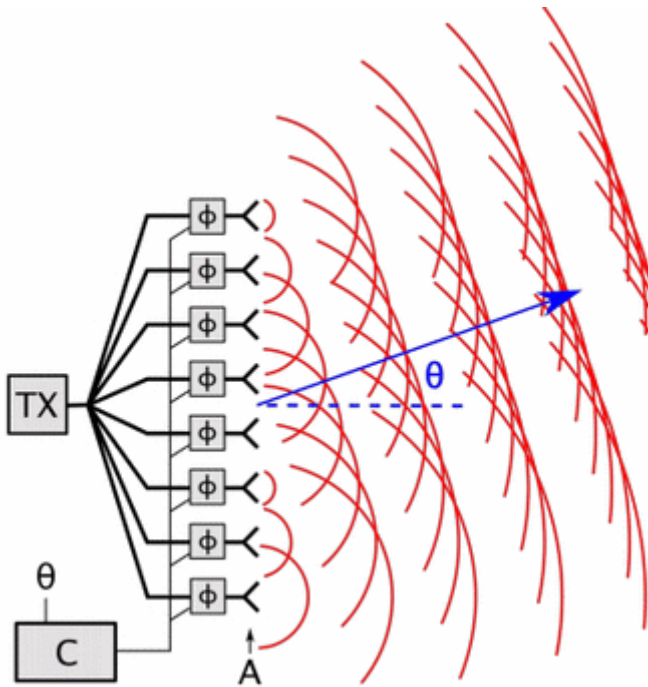
### Futures dotations en fréquences des opérateurs en Suisse



## 5G (horizon 2019-20)

### *Beamforming - Formation de faisceaux:*

- *On souhaite émettre et recevoir uniquement sur un faisceau étroit en direction du récepteur*
- *Utilisation d'array antenna*
- *Le signal est émis par chaque cellule de l'antenne avec des phases et amplitudes contrôlées afin de créer un motif d'interférences constructives et destructives*
- *On transforme ainsi une onde circulaire en un front d'onde dans une direction précise*
- *En arrosant une seule direction, on peut émettre moins fort et on évite les interférences avec les autres usagers*



# 5G (horizon 2019-20)



## 5G – Premières informations

- *Dans un premier temps, les services disponibles sur les réseaux 5G seront très limités*
- *Il est prévu que les premiers périphériques compatibles maintiennent simultanément une connexion vers le réseau 4G*
  - *Consommation...*
- *La possibilité de passer des appels téléphoniques «Vo5G» sera disponible dans une seconde phase*
  - *VoLTE si disponible, sinon 2G/3G...*

## Quelques commentaires

- *La majorité des protocoles sont asymétriques : un « downlink » performant (ex. HSDPA R6 : 7.2 Mbps), et un « uplink » faible (ex. HSDPA R6 : 384 kbps)*
- *De plus en plus d'applications présentent des caractéristiques de liaison moins fortement dissymétriques*
- *La dissymétrie est parfois inversée dans les applications modernes*
- *Lors du design de l'application, cette dissymétrie peut jouer un rôle important !*

## La famille 802.11 (WiFi)

- *WiFi constitue un protocole d'accès au réseau Internet, et **non pas** un réseau (contrairement aux réseaux 2G, 3G, 4G ou 5G)*
- *Certaines extensions de WiFi supportent une itinérance limitée, mais WiFi par lui-même ne la supporte pas*
- *Nombreuses variantes, technologie de base à spectre étalé*
- *Débits variables, de 11 Mbps jusqu'à 5 Gbps*



# La famille 802.11 (WiFi)

## Les différentes normes WiFi

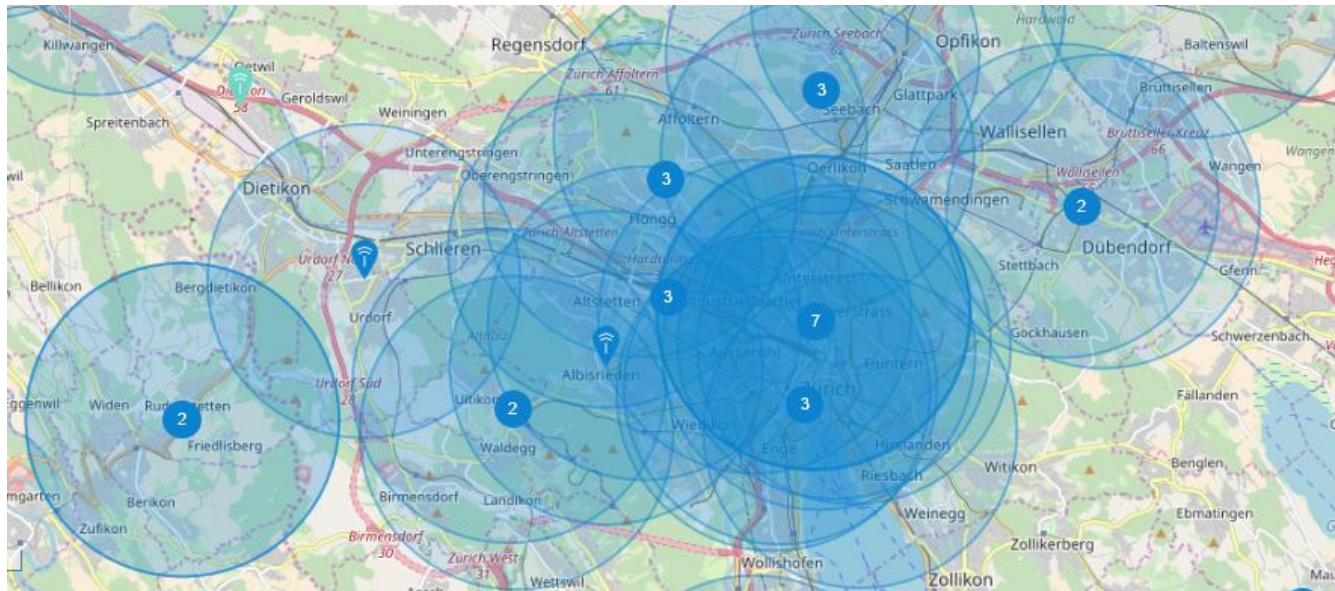
802.11	Bande de fréquence	Débit théorique maximal	Portée	Congestion	Largeur canal	MIMO
a	5 GHz	<b>WiFi 2</b> 54 Mbps	Faible	Faible	20 MHz	Non
b	2,4 GHz	<b>WiFi 1</b> 11 Mbps	Correcte	Elevée	20 MHz	Non
g	2,4 GHz	<b>WiFi 3</b> 54 Mbps	Correcte	Elevée	20 MHz	Non
n	2,4 GHz	<b>WiFi 4</b> 288 Mbps	Bonne	Elevée	20 MHz	Non
n	5 GHz		Correcte	Faible	20 ou 40 MHz	Oui
ac	5 GHz	<b>WiFi 5</b> 5 300 Mbps	Correcte	Faible	20, 40, 80 ou 160 MHz	Oui
ad	60 GHz	6 757 Mbps	Très faible	Faible	2 160 MHz	Oui (+MU-MIMO)
ax	2,4 et 5GHz	<b>WiFi 6</b> 10 530 Mbps	Correcte	Très faible	20, 40, 80 ou 160 MHz	

## LoRaWAN – Wide Area Networks for IoT

- *Réseau étendu permettant une communication à très bas débit (0.3 à 50 kbps)*
- *Destiné principalement à l'Internet des Objets (IoT) et à la communication machine-to-machine (M2M)*
- *Payload de 20 bytes, 0.1-1% duty-cycle*
- *Le but est de pouvoir connecter des millions d'appareils pouvant fonctionner sur batteries une dizaine d'année et communiquer jusqu'à une dizaine de kilomètres*
- *Swisscom exploite le réseau Low Power Network (LPN)*

# LoRaWAN – Wide Area Networks for IoT

- *Création d'un réseau communautaire LoRaWAN*
- *Les particuliers peuvent acheter une passerelle (350 CHF) et l'installer dans leur ville pour étendre le réseau*
- *Très actif dans la région Zurichoise*
- *L'HEIG-VD déploie actuellement un réseau dans le Canton*



## Disponibilité

- *La disponibilité d'une connexion sans fil est limitée*
- *GSM peut être bloqué par des murs trop épais, ou par une zone de couverture insuffisante*
- *WiFi a une portée très limitée*
- *Une connexion mobile peut être volontairement dégradée par l'opérateur*
- *Une application susceptible d'utiliser ce genre de moyen de communication doit se prémunir contre les éventuelles conséquences d'une transmission peu fiable*

# Disponibilité

- *Plusieurs techniques permettent de limiter les inconvénients occasionnés par une perte de connexion réseau*
- *La plus utilisée et la plus connue est le cache (nombreuses variantes !)*
- *Moins connue, mais plus efficace, est l'« information look-ahead » (utilisation dans le cas des sondes spatiales, entre autres)*
- *Dans tous les cas, ceci implique le stockage d'informations sur le périphérique local, ce qui peut être considéré comme un défaut rédhibitoire pour certaines applications*

## Conséquences

- *Emettre requiert de la puissance (25mW LoRa – 50 mW Wifi – 1 W mobile). Une application devrait donc limiter la durée d'émission pour épargner les batteries, donc utiliser des protocoles légers*
- *Certains acteurs prônent l'utilisation exclusive de «thin clients», et d'applications «web». La transmission d'informations de présentation sur des connexions à débit limité structurellement, et le surcoût en consommation semblent pénaliser lourdement cette approche*

## Conséquences

- *Communiquer sur des protocoles de basse capacité réclame du temps; l'utilisateur mobile déteste attendre plus encore que l'utilisateur traditionnel*
- *Pour des raisons d'organisation, les protocoles utilisés sont souvent à base HTTP (TCP). Il s'agit de protocoles par nature synchrones (REQUEST-RESPONSE), donc imposant l'attente de la réponse*
- *Une grande partie des milieux de transmission utilisés sont asymétriques; mais pour les applications modernes, ils le sont souvent dans le mauvais sens !*

## Conséquences

- *Les limitations de l'infrastructure utilisée peuvent néanmoins être largement compensées par un design soigneux de l'application*
- *Le caractère synchrone de la transmission peut être «caché» par un service asynchrone*
- *Les interruptions de réseau peuvent être masquées par un service de cache ou de pré-chargement des données nécessaires*
- *La faible capacité du canal peut être compensée par un protocole applicatif peu gourmand*



## Conséquences

- *Utiliser HTTP implique presque systématiquement une transmission de texte*
- *Choix de base entre XML et JSON : JSON plus concis, XML peut être validé*
- *Invocation de services WEB:*
  - *XML-RPC: non standardisé, mais concis et intéressant pour une solution ad hoc*
  - *SOAP: extrêmement verbeux et redondant. A déconseiller pour du mobile*
  - *REST: prôné par Google, possibilités plus restreintes*
  - *GraphQL: Développé par Facebook, relativement récent*

## Alternatives à IP

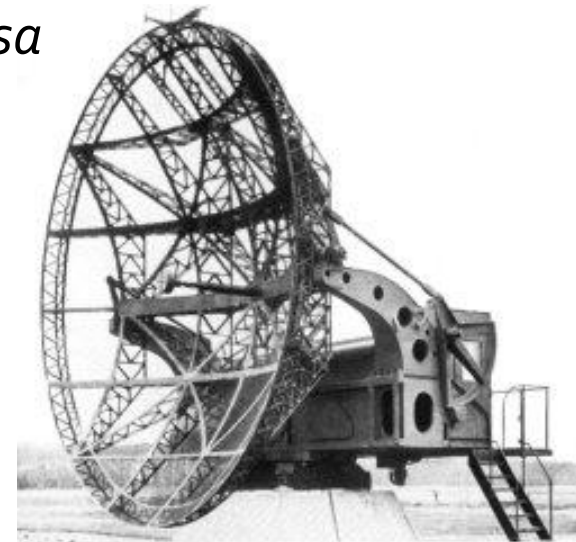
- *TCP/IP sur du mobile n'est pas forcément une solution optimale (overhead souvent supérieur au payload, slow start pas adapté à la latence des réseaux mobiles)*
- *Un service de SMS pouvait s'avérer suffisant, voire avantageux*
- *Les SMS sont échangés en marge du protocole de maintenance d'accès au réseau mobile, ils ne nécessitent donc pas l'ouverture d'une connexion dédiée (-> 3G)*
- *Certaines plateformes rendent l'utilisation de SMS depuis un programme compliquée (iOS) ou à valider activement par l'utilisateur (Android)*

## Couche applicative

- *Presque systématiquement basée sur HTTP : souvent le seul port ouvert et utilisable par des applications*
- *Applications purement WEB (navigateurs pour mobiles)*
  - *Indépendantes (?) de la plate-forme, mais transmission de la présentation*
- *Applications avec client riche (souvent avec un service WEB à prévoir)*
  - *Dépendantes de la plate-forme, mais peuvent offrir un service offline*

# Effets de l'électromagnétisme

- *Percy Lebaron Spencer travaillait à l'amélioration de radars militaires en 1945, il découvre accidentellement le principe du four à micro-ondes en retrouvant une barre de chocolat fondue dans sa poche*
- *Un magnétron est un dispositif qui transforme l'énergie cinétique en énergie électromagnétique, sous forme de micro-onde*
- *Bande des 2.4 GHz (WiFi, Bluetooth, proche des bandes mobiles)*
- *Produit de la chaleur par agitation des molécules d'eau contenue dans la nourriture*
- *Nous sommes composé d'environ 65% d'eau*



Radar de la seconde guerre mondiale

## Electrosmog

- *Les liaisons sans fil impliquent une certaine pollution électromagnétique (électrosmog)*
- *Il n'y a actuellement toujours pas de consensus international, ni d'étude indépendante sérieuse sur ce phénomène*
  - *« Tout ça, c'est des histoires »*
  - *« On va vers un nouveau scandale de l'amiante »*
- *L'électrosmog a aussi des conséquences en termes de compatibilité électromagnétique (applications de télémessure ou médicales, par exemple)*

# Electrosmog (ondes radio)

Pays, région	Champ maximal admis (V/m)
ICNIRP (Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants)	42-58 (GSM), 61 (UMTS)
UE - France	42-58 (GSM), 61 (UMTS)
France – Ville de Paris	12 → 7 (mars 2017)
Belgique	20.6 à 32
Italie, Pologne, Chine, Russie ...	6
Suisse	4-6
Luxembourg	3
Région de Toscane	0.5
Nouvelle Zélande (dés 2010)	0.2
Canton de Salzburg (Autriche)	0.06 (extérieur), 0.02 (intérieur)

# Un débat toujours ouvert

Juin 2016 - Le Conseil National a accepté une motion demandant d'adapter vers le haut les valeurs limites d'émission des antennes de téléphonie mobile

**Téléphonie mobile** Le Conseil des Etats a refusé d'abaisser pour le moment les valeurs limite contre le rayonnement non ionisant dans la téléphonie mobile.

Tribune de Genève – décembre 2016

Selon le directeur de Swisscom, Urs Schaeppi, il sera ainsi extrêmement difficile d'offrir la technologie 5G, annoncée pour 2020, dans le cadre légal actuel

Le Temps – septembre 2017



## Le réseau de téléphonie mobile est proche de la saturation

Après le directeur de Swisscom, celui de Salt demande que les normes soient assouplies en Suisse

Le Temps – avril 2017

# Un débat toujours ouvert

letemps.ch – 9 avril 2019

TECHNOLOGIE

## 5G: après le moratoire vaudois, la tempête

Sans l'assumer totalement, le canton de Vaud décrète un moratoire sur la construction de nouvelles antennes 5G, dans l'attente de plusieurs rapports commandés par Berne. D'autres cantons pourraient suivre ces prochains jours. Les opérateurs sont furieux

letemps.ch – 20 septembre 2019

TECHNOLOGIE

## La lutte contre la 5G va s'intensifier en Suisse

Une nouvelle manifestation contre la 5G a lieu ce samedi à Berne. La contestation s'est structurée et a pris la forme d'une association, Frequencia. De leur côté, Sunrise et Swisscom sont exaspérés par les pseudo-moratoires et les oppositions à leurs antennes 5G

21 septembre 2019

Le Monde

## Oiseaux tués, insectes en surchauffe..., démêler le vrai du faux sur les animaux et la 5G

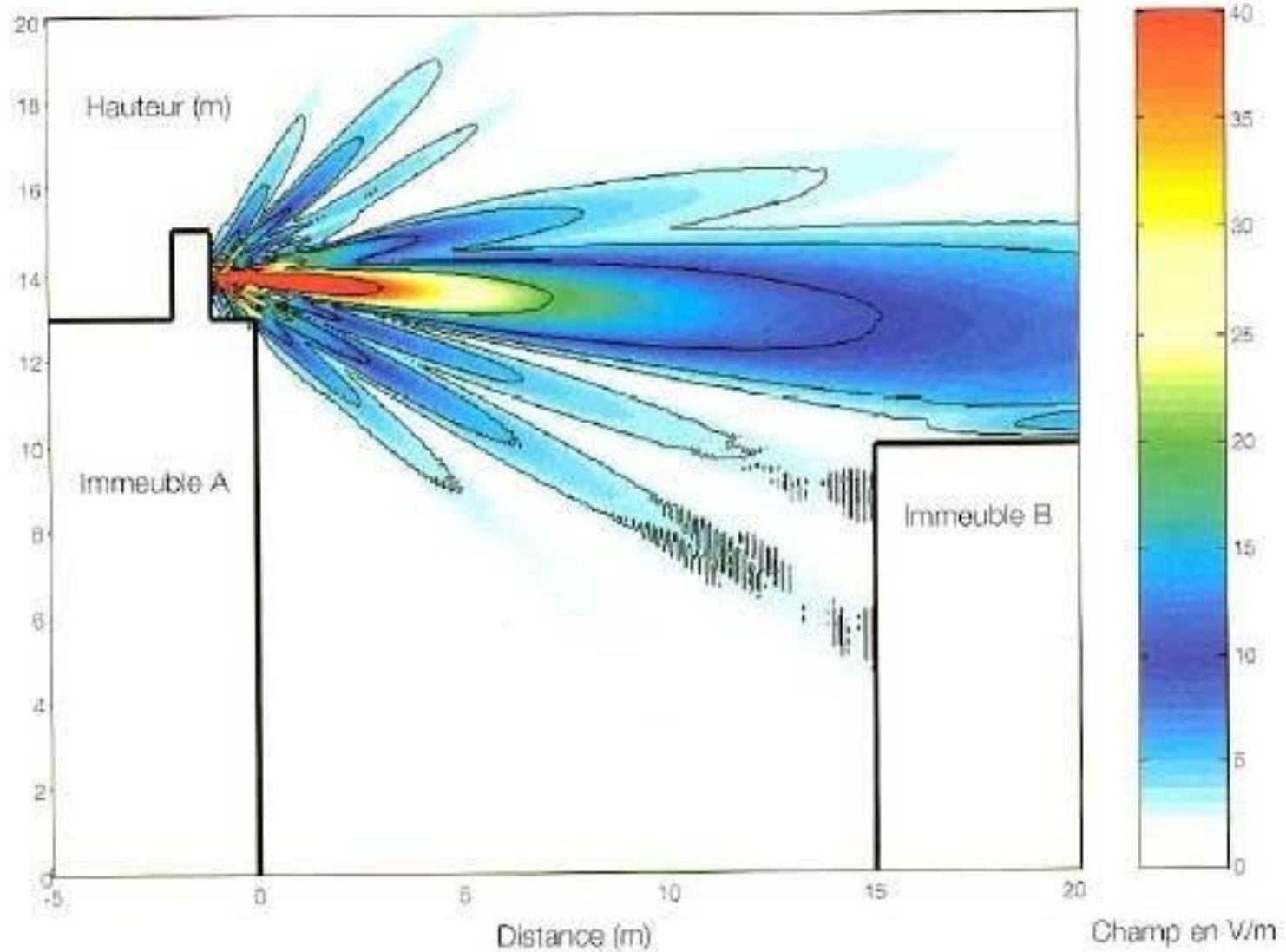
Hypothèses avancées comme des certitudes, conclusions exagérées, images détournées... les arguments douteux des opposants au déploiement du réseau.

Par Mathilde Damgé - Publié le 13 septembre 2019 à 11h09 - Mis à jour le 13 septembre 2019 à 12h18





# Rayonnement



## Impact sur les options architecturales

- *De nombreuses applications d'une certaine ampleur utilisent des liaisons sans fil*
- *Il faut être conscient de l'impact électromagnétique réel de la solution que l'on va implémenter, de manière à ne pas se trouver piégé par une législation en cours de mutation*
- *La législation peut varier fortement entre les pays*

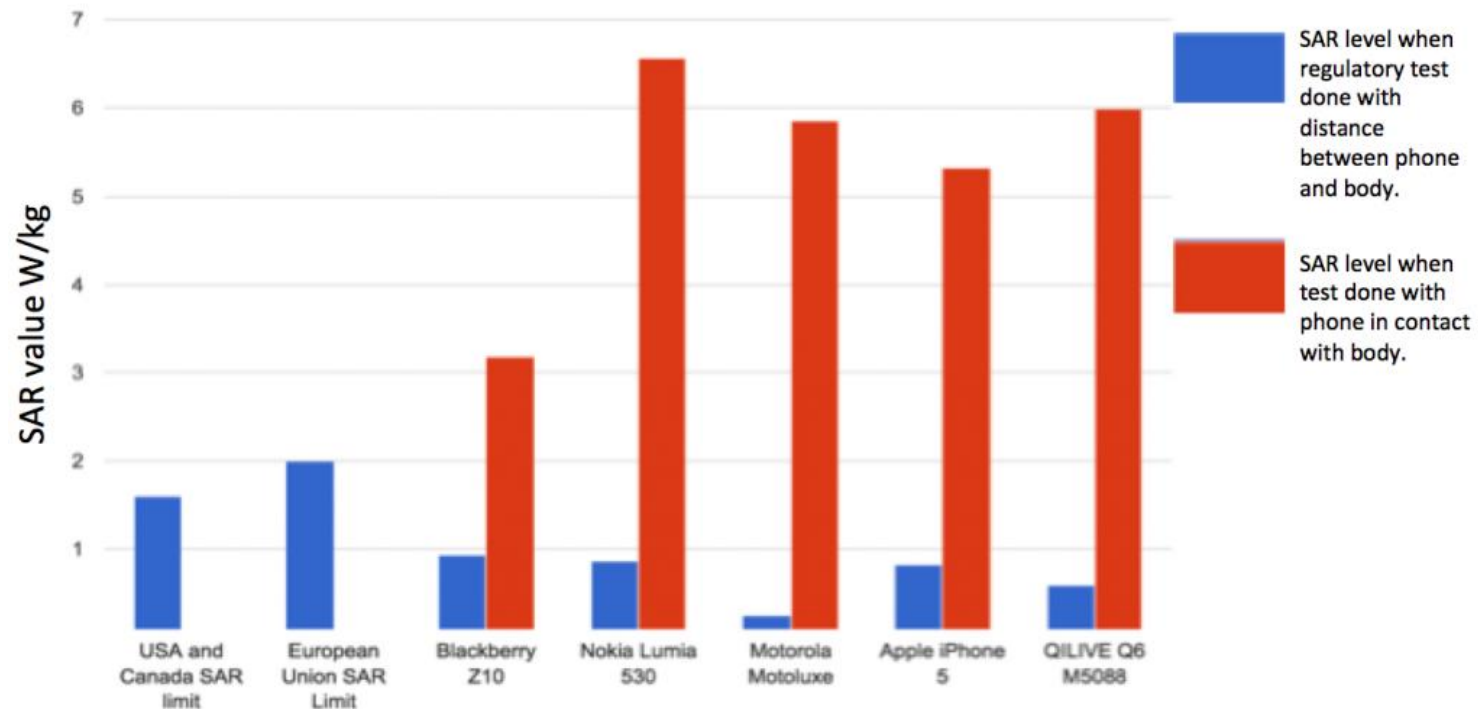
## DAS - Débit d'Absorption Spécifique

- *Mesure du niveau de radiofréquences émis par le portable vers l'utilisateur lorsqu'il fonctionne à pleine puissance*
- *Puissance s'exprime en watts par kilogramme de tissu*
- *Ne doit pas dépasser 2 W/kg*
- *Quelques valeurs actuelles:*
  - *Samsung Galaxy S10* 0,47
  - *iPhone 11 Pro Max* 0,99
  - *Huawei P20 Pro* 0.73



# DAS – Vers un PhoneGate ? – Méthode de mesure adaptée

Cell Phone Radiation SAR Levels  
Released by the French National Frequency Agency June 1, 2017



Regulatory Limits

Cell Phone Models Comparing Regulatory Compliance Tests With Tests In Direct Contact With Body

## « Tout ça, c'est des histoires »

- *Beaucoup de réactions négatives sont conditionnées par des effets psychosomatiques démontrables (pose d'une antenne, par exemple)*
- *On n'a jamais pu démontrer formellement de relation causale entre une pathologie et une source de radiation non ionisante*
- *Les réseaux mobiles sont déployés depuis plus de vingt-cinq ans dans les pays occidentaux*
- *WiFi est massivement utilisé dans les ménages et les entreprises et ne pose pas de problèmes particuliers*

## « Tout ça, c'est des histoires »

- *DECT est déployé dans les entreprises et les ménages depuis presque 30 ans et ne semble pas poser problème*
- *Les micro-ondes ont souvent des champs parasites largement supérieurs au GSM*
- *Les législations en vigueur, très strictes, sont respectées*
- *Le progrès technologique est toujours dénoncé par certaines organisations se réclamant de préoccupations écologiques*

## « Un nouveau scandale de l'amiante »

- *Les dangers de l'amiante ont été dénoncés en 1906 déjà*
- *En octobre 1996 encore, la crainte de l'amiante est dénoncée comme « psychose collective » (Claude Allègre)*
- *La France interdira l'amiante le 24 décembre 1996*
- *Le HCSP (Haut Conseil de la santé publique) estime à 100'000 morts le nombre de victimes en France d'ici 2050*
- *Certains milieux rapprochent ces faits (ainsi que le cas de la thalidomide) de l'attitude actuelle face aux rayonnements électromagnétiques non ionisants*

## « Un nouveau scandale de l'amiante »

- *L'électrosensibilité est connue, bien qu'insuffisamment documentée*
- *Les études - généralement rassurantes - menées jusqu'ici ont été financées par des opérateurs ou des constructeurs, ce qui les décrédibilise*
- *La mortalité des abeilles a crû parallèlement à la multiplication des téléphones mobiles*
- *Les effets cancérigènes des radiations non ionisantes à long terme sont négligés*
  - *Classé comme «cancérigène potentiel» par l'OMS*



## Les conséquences

- *Les réglementations en vigueur vont probablement se durcir dans les prochaines années*
- *Ceci implique, à couverture égale, une multiplication des antennes, donc un coût important d'infrastructure*
- *Ceci peut aussi impliquer une diminution de la couverture, ce qui n'est pas sans incidence sur l'applicatif*
- *Ces facteurs vont inévitablement se répercuter sur les coûts de connexion*

## Enquête récente

*Une vaste étude toxicologique est menée sur des rats et des souris aux Etats-Unis par des chercheurs du NTP (National Toxicology Program):*

- *Les résultats complets, plusieurs fois retardés, sont finalement sortis fin 2018, dans l'anonymat:*
  - *Une «faible incidence» des tumeurs a été observée chez les rats mâles*
  - *Chez les femelles, aucun effet significatif n'a été observé*
  - *Une plus grande espérance de vie a été constaté chez les rats exposés*
  - *Les résultats et la méthodologie sont contestés*

## Les conséquences

- *Le succès d'une application va dépendre avant tout de sa capacité à fonctionner (!)*
- *Dans cette optique, optimiser les communications sera un « must ». Le travail de l'ingénieur en communications sera valorisé*
- *Actuellement, environ 6% de contenu pour 94% d'information inutile. Cela devra changer sous peine d'étouffement des infrastructures*

## Aller plus loin

***Champs électromagnétiques, environnement et santé 2ème édition***  
*De Anne Perrin, Martine Souques – septembre 2018*

## Le futur ?

# Lampadaires 'Lifi' : la lumière devient communication

A Palaiseau, dans l'Essonne, les habitants du quartier Camille Claudel se connectent à internet grâce à la lumière issue de l'éclairage public. Une expérimentation rendue possible grâce à l'intégration de 77 lampadaires spécifiques équipés de routeurs 'Lifi'. Une grande première en France. Retour sur cette réalisation pour le moins innovante et surtout, prometteuse.



# Le futur ?

## Des centaines d'apps mobiles traquent les utilisateurs par ultrasons

<http://www.silicon.fr> – mai 2017

- *Procédé pour désanonymiser les utilisateurs de Tor*  
*Ultrasonic cross-device tracking - uXDT*
- *Une technique qu'emploient les annonceurs pour cacher dans leurs publicités des ultrasons, captés à proximité par le micro des smartphones*  
*→ ping vers le serveur de l'annonceur*
- *Plusieurs centaines d'applications Android intégrant cette technologie sur le Play Store*
- *Plusieurs SDK existent Shopkick, Lisnr ou SilverPush*