



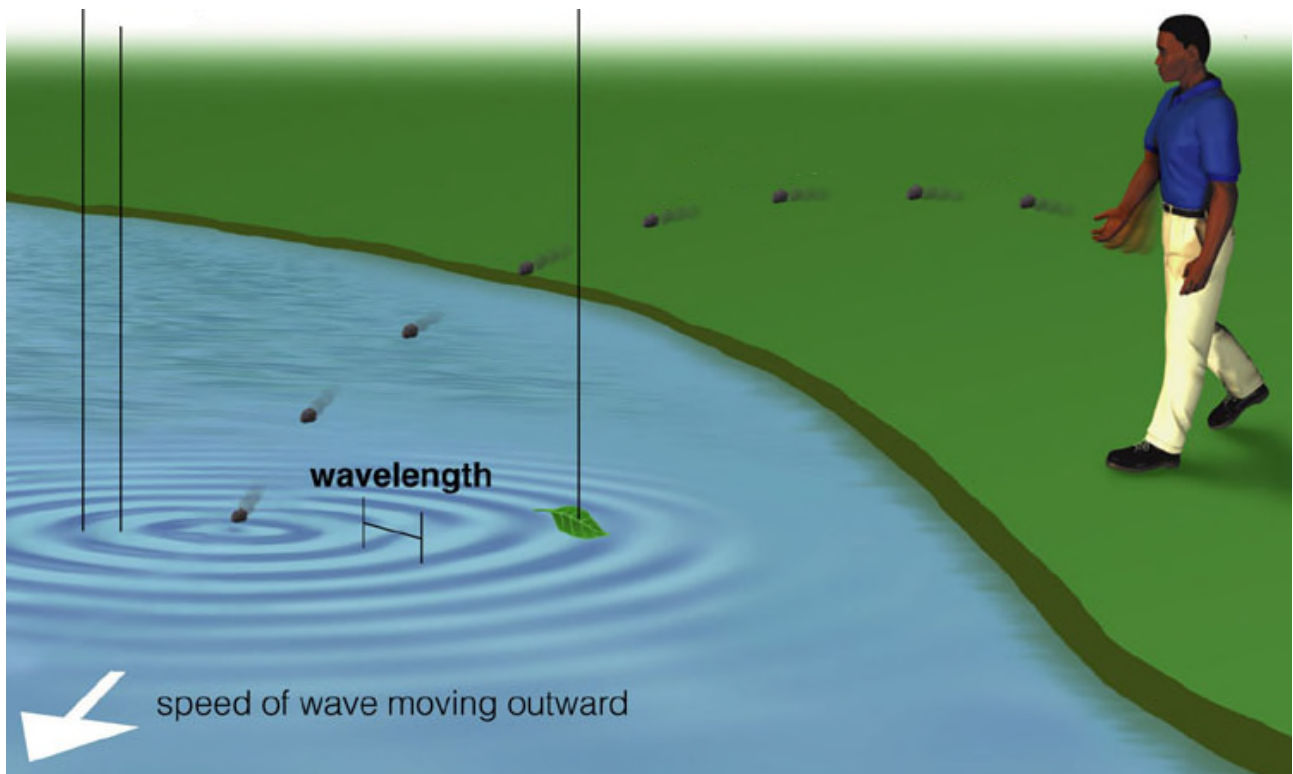
Robin des loits

[www.robindestoits.org](http://www.robindestoits.org)

# Onde

La feuille monte et descend selon la fréquence et l'amplitude de la vague

maximum  
minimum

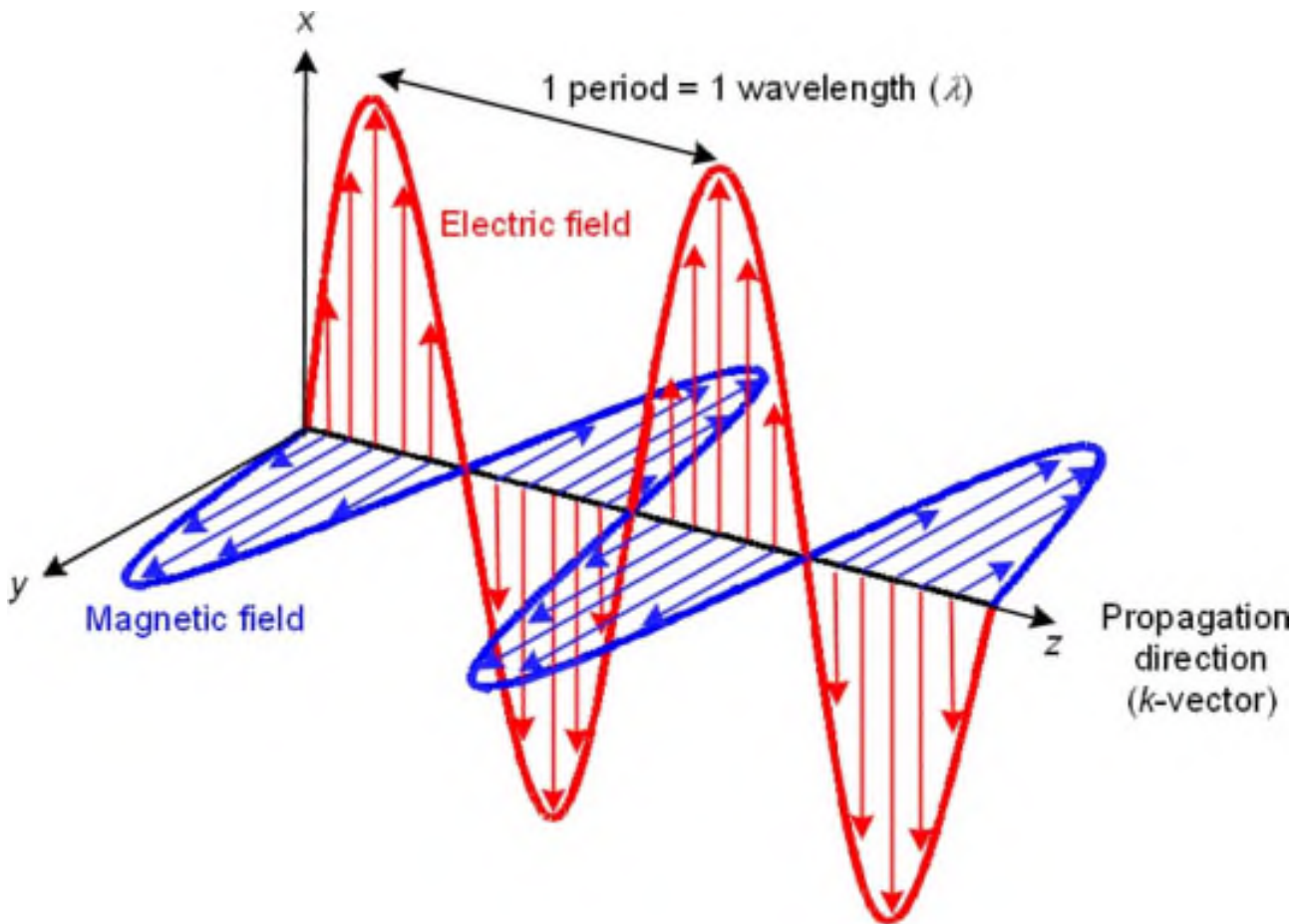


v

Longueur d'onde ( $\lambda$  en m) – Vitesse (v) – Fréquence (f, en Hertz)  $v = \lambda \times f$

Phénomène périodique

# Radiation électromagnétique ou CEM



- Généré par des particules chargées électriquement en mouvement (par ex. le courant électrique domestique).
- Propagation : dans tous milieux (matériel ou non).

Dans le vide,  $c = \lambda \times f$

Composé de 2 champs électrique et magnétique perpendiculaires.

- Agit sur toutes les charges électriques à proximité : électrons, ions (par ex. le proton  $H^+$  présent dans l'eau).
- Très large spectre :  $f$  : [1 Hz, 300 EHz] EHz : ExaHz ( $10^{18}$ , trillion) ' %  
[300 000 km, 1 pm] pm : picomètre ( $10^{-12}$ )
- Plus la fréquence est élevée, plus le rayonnement est énergétique.  
Ex. : les rayonnements gamma, à plus de 30 EHz (radiations nucléaires).

# Transport d'énergie et interaction

## Onde matérielle

L'énergie de la vague se propage dans l'eau, laissant les molécules d'eau en place : les vagues passées, le milieu (l'eau) revient à l'équilibre et l'insecte à sa place initiale (pas de transport de matière).



Champ électromagnétique (ne nécessite pas de support physique)

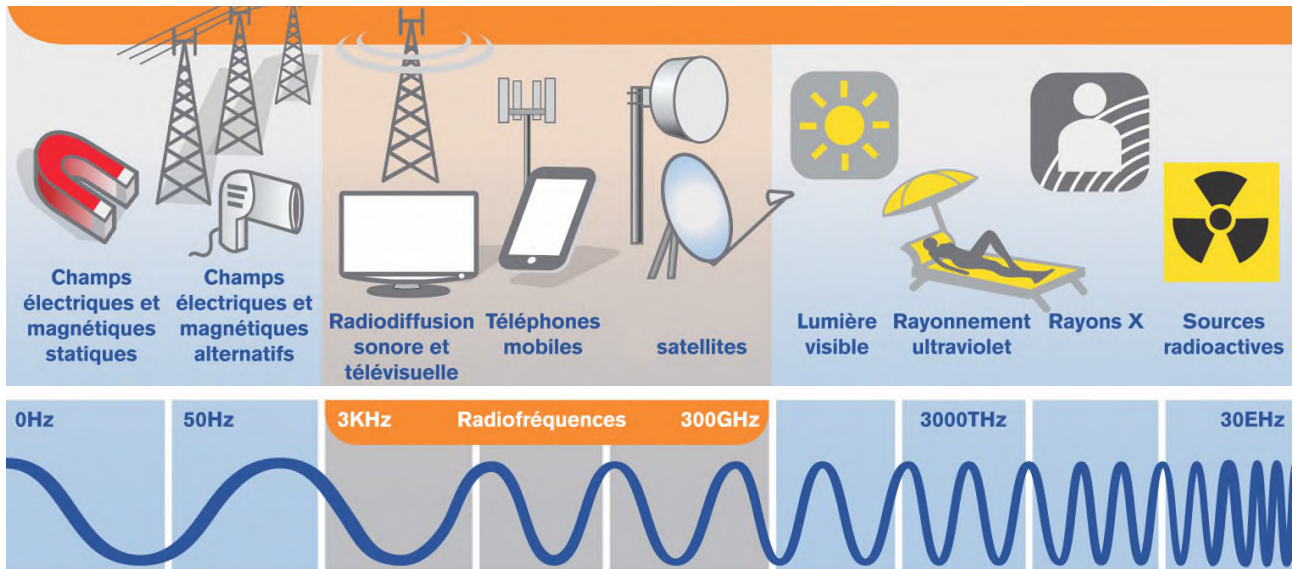
Les CEM interagissent avec les cellules des être vivants, car elles sont le siège de courants électriques ( $e^-$ ,  $H^+$ ) et il s'y trouve des charges libres.

Exemples :

- 2 m d'ADN dans chacune des 50 billions de cellules du corps humain.
- Les mitochondries (des centaines par cellule).
- Une molécule d'eau (60% du corps) se décompose ( $H^+$ ) et se réassemble

$\pm 2000$  fois par seconde (les protons sautent de molécule en molécule). # Tous les CEM sont actifs sur le plan biologique.

# Spectre électromagnétique



Très basses fréquences (BF): [3 Hz, 300 kHz] dont courant 50Hz

Radiofréquences (RF) : (3 KHz-300 MHz)

Micro-ondes (MO) : [300 MHz, 300 GHz]

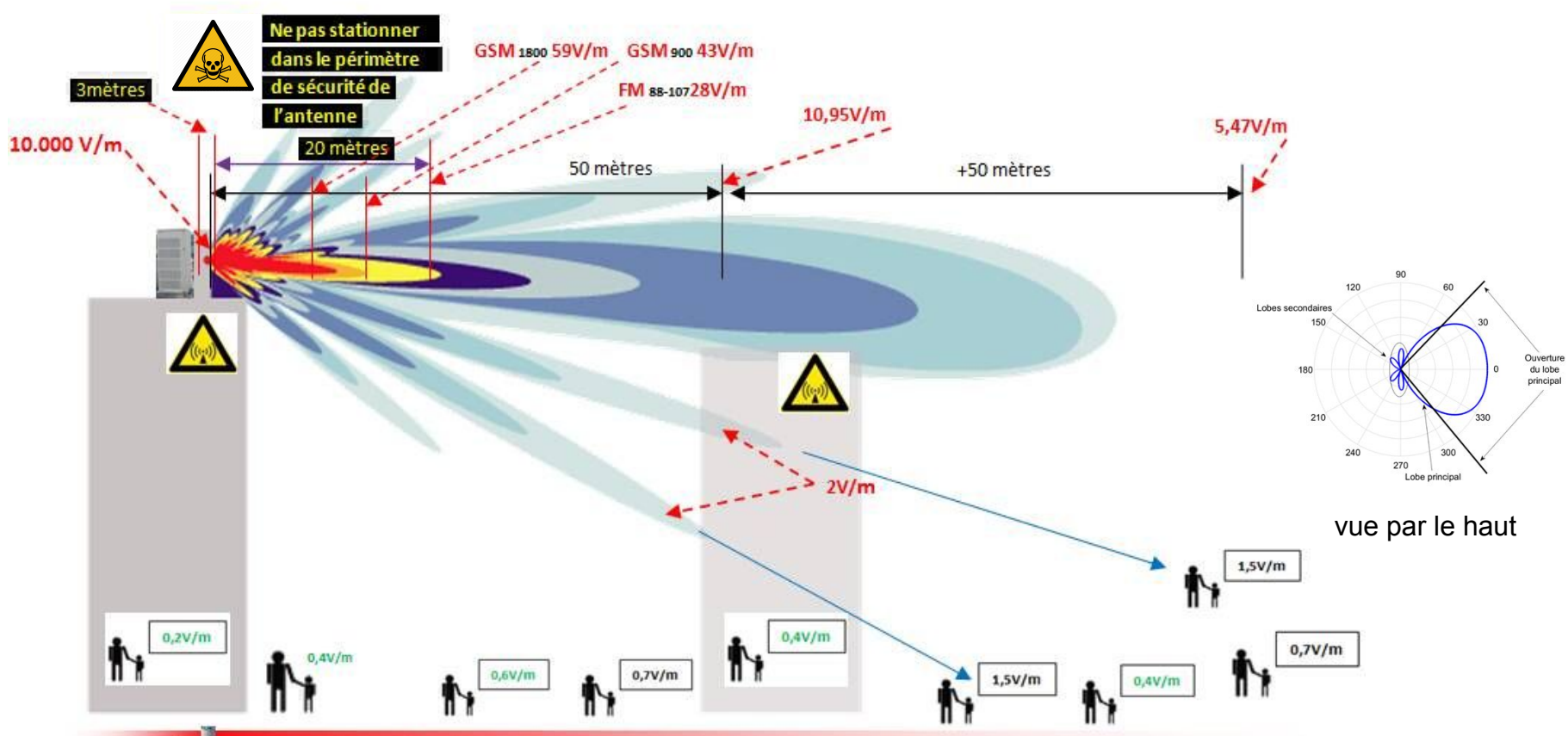
\*Réseau cellulaire : 2G, 3G, 4G, 5G (700, 800, 900, 1800, 2100, 2600, 3500 MHz).

- WiFi (2,4 GHz, 5,5 GHz..), Wimax, Bluetooth, DECT (1,8 GHz)..
- Four MO (2,45 GHz).
- Compteurs communicants (électricité, gaz, eau, chaleur).
- Babyphone, système d'alarme, radar, objets connectés.
- Antennes de communication.

[3 kHz, 300 GHz]

*Rayonnements non ionisants et ionisants (limite : UV à  $10^{16}$  Hz)*






# Lobe principale et lobes secondaires



Caractéristiques principales d'une antenne: Type, Puissance emise, Azimut, Tilt



# Génération de Téléphonie Mobile

1979-90	1991-97	1998-07	2008-19	2020-??
<b>1G</b>	<b>2G</b>	<b>3G</b>	<b>4G</b>	<b>5G</b>
				
TACS ETACS	GSM, GPRS EDGE	UMTS HSDPA	LTE	
2 Kbps	20-250 Kbps	10-40 Mbps	Lat 20 ms 0.1-3 Gbps	Lat 1-4 ms 0.1-10 Gbps
France	900 MHz 1.8 GHz	900 MHz 2.1 GHz	700, 800, MHz 1.8, 2.6 GHz	700 MHz 3.5, 26 GHz 1.5 GHz (2023)

# Niveau d'exposition et inflorescence d'antennes

## Nombre d'antennes par technologie

	2G	3G	4G	5G	Total
Total	59 929	94387	93564	35808	283 688

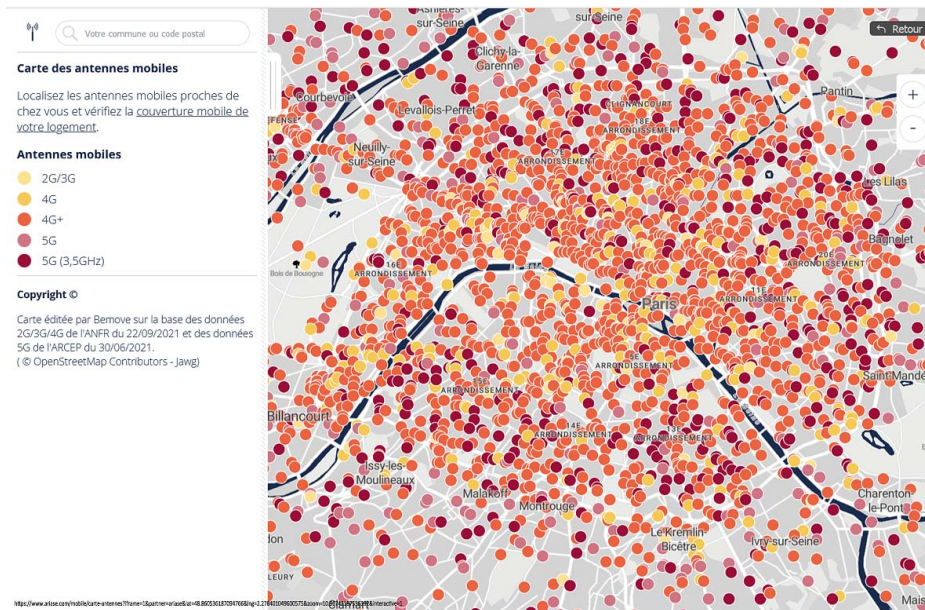
**Nombre de stations autorisées de mai à décembre 2020 : 4339**

**Nombre de stations autorisées depuis janvier 2021 : 5365**

source : <https://www.couverture-mobile.fr/?page=statistiques>



# Couverture parisienne en antennes et niveau d'exposition



Rien que sur Paris actuellement entre 20 et 50 projets par arrondissement. (source observatoire des ondes Paris)

Ex : dans le 20<sup>e</sup> 101 existantes et 50 nouveaux projets.

# Niveau d'exposition en 5G

## DOSSIER D'INFORMATION MAIRIE

(extrait)

Technologie	4G	4G	2G	3G	4G	3G	4G	4G	5G
Bande de fréquence	700 MHz	800 MHz	900 MHz	900MHz	1800MHz	2100 MHz	2100 MHz	2600 MHz	3500 MHz
HMA* /sol	31.75m	31.75m	31.75m	31.75m	31.75m	31.75m	31.75m	31.75m	32.76m
HMA NGF*	79.75m	79.75m	79.75m	79.75m	79.75m	79.75m	79.75m	79.75m	80.76m
PIRE (Puissance Isotrope Rayonnée Équivalente en dBW)	32.40	32.40	26.40	29.40	34.80	31.80	34.80	35.80	75.00
PAR (Puissance Apparente Rayonnée en dBW)	30.20	30.20	24.20	27.20	32.60	29.60	32.60	33.60	72.85
Angle d'inclinaison (en degrés)	9	8	8	8	7	7	7	6	3

PIRE : 75 dBw, soit 31 622 000 Watts !!!

Soit une exposition théorique de

**300 V/m à 100m !!!**

Exemple plus courant (extrait d'un autre dossier DIM) :

- Antennes 3G 28 DBW soit 630W
- Antennes 4G 35 DBW soit 3200 Watts
- Antennes 5G 46,7 DBW soit 46700 Watts.

Un calcul rapide, en ne considérant qu'une seule antenne 5G, donne un champ électromagnétique de 12 V/m à 100m.

Le rapport est donc d'un facteur 10 par rapport à la 3G et 5 par rapport à la 4G!

# Niveau d'exposition en 5G

La transmission par paquets, saccadée constitue, d'après nombre d'études, la cause principale des effets biologiques ; cette composante basse fréquence se révèle plus impactante que l'émission haute fréquence sur la porteuse de l'onde.

Concernant la 5G, une 2ème composante basse fréquence est due au faisceau orientable, à balayage de 50 Hz. Ce balayage ne manque pas de provoquer un effet "stroboscopique ou de scintillement" sur les personnes se trouvant sur sa trajectoire.

Dès lors, il est inconcevable, lors de mesures, d'appliquer un coefficient de pondération de 13,5 DB.

Un indicateur rendant compte des ondes pulsées serait également à prendre en compte (cf infra)

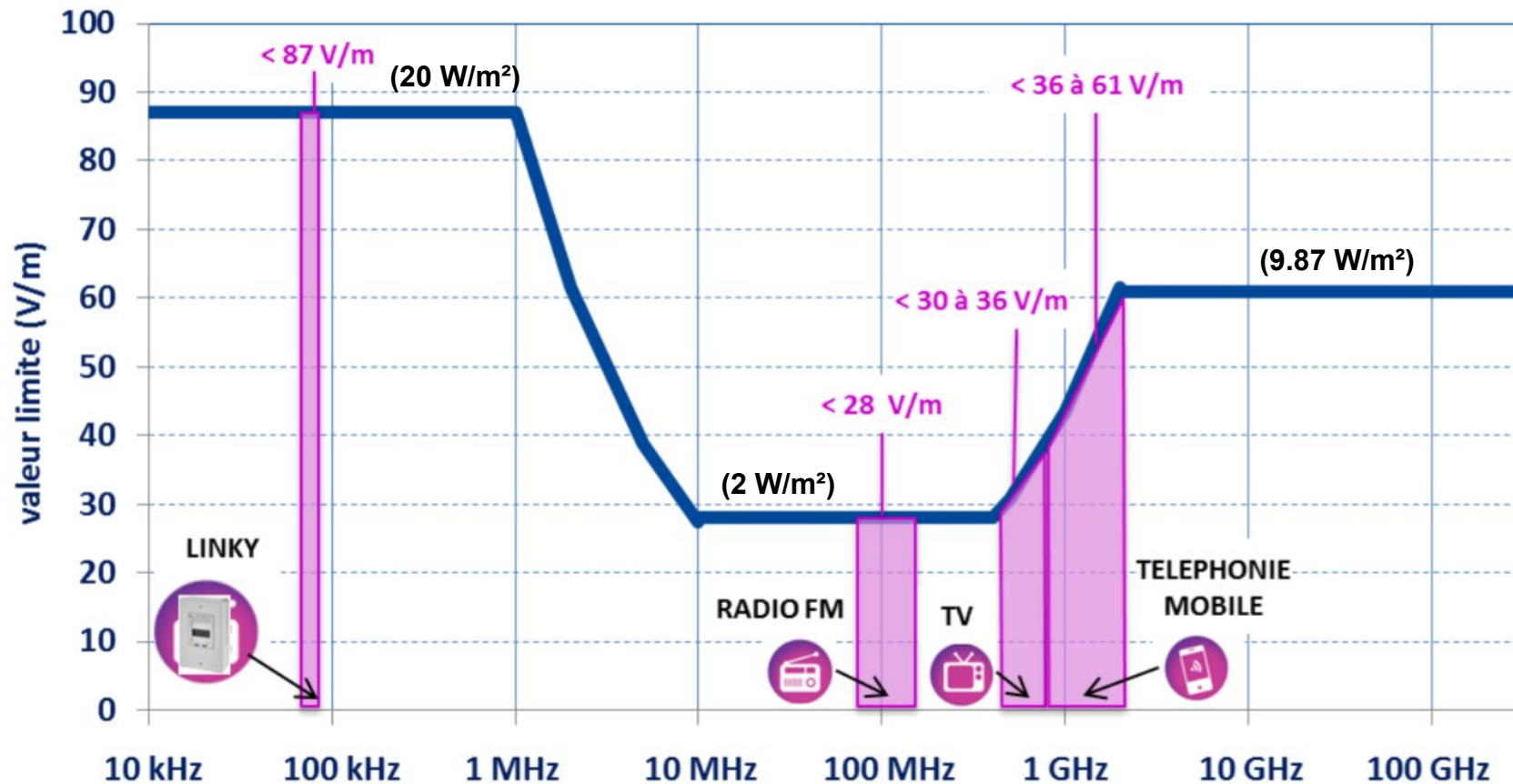
# Niveau d'exposition en 5G

Concernant la 5G, les valeurs moyennées sur 6 mn sont encore moins applicables, en raison de la vitesse de transmission ou de téléchargement.

Avec un débit par exemple 10 fois supérieur à la 4G, un téléchargement qui prendrait 6 mn en 4G ne prendrait que 36 s en G.

Donc, l'exposition serait très forte durant 36 s puis plus rien.

# Limites Réglementaires en France



source:  
ANFR

# 5G : 5e génération des normes de la téléphonie mobile

## *Par rapport à la 4G :*

- Vitesse de transfert fois 10 (400 Mb/s) – Temps de latence divisé par 10 (1 ms) – Capacité : 1 M objets connectés / km<sup>2</sup> –
- Intègre les satellites de communication
- Ouvre la porte à un IdO généralisé

## Comment ?

- Fréquences dans ces 3 parties du spectre :

1. Fréquences « courantes » : 700 MHz 5G bas débit zones rurales

2. Bande des 3,5 GHz

3. Bande des 26 GHz et ondes millimétriques\* (> 30 GHz)

- Multiplication des antennes

Une antenne / 100 mètres en milieu urbain, par opérateur

Note : forte atténuation du signal selon la distance pour les fréquences 2 et 3 , d'où complément par la fibre optique pour la 5G terrestre 3,5 GHz

\* Fréquences : de 30 à 300 GHz => longueurs d'onde : de 10 à 1 mm

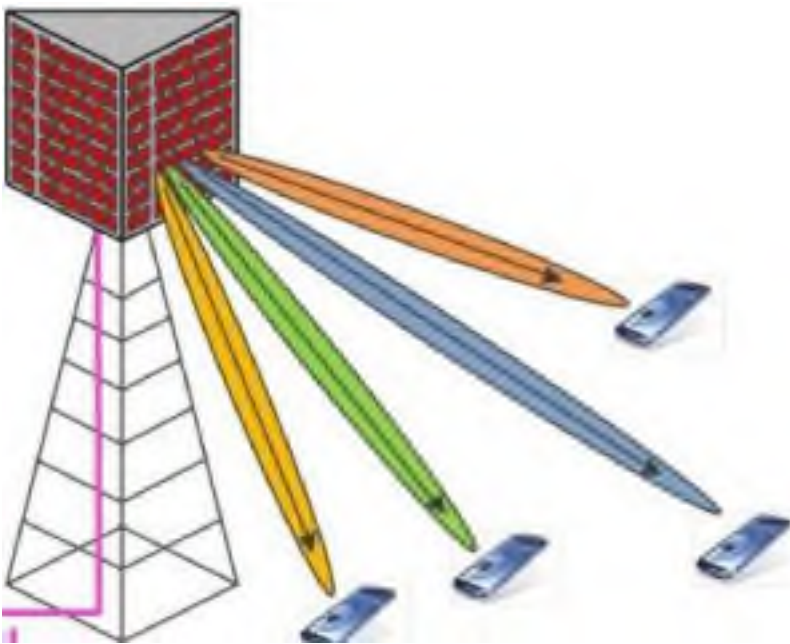


# Antennes mMIMO et beamforming

Techniques d'antennes pour compenser l'atténuation rapide des CEM de 3GHz et plus (pour améliorer puissance et stabilité du signal émis)

**Antennes MIMO** (massive Multiple In Multiple Out) Antennes avec des éléments rayonnants indépendants.

- Les données sont découpées et transmises en parallèle.
- À plusieurs utilisateurs en parallèle.



## Beamforming

- Focalisation du signal de RF.
- Concentration de l'énergie émise par l'antenne.

Faisceau orientable avec balayage à 50 Hz (composante BF supplémentaire)

Notes :

- Techniques utilisées pour le Wifi.
- Nécessite beaucoup de puissance de calcul (énergie).
- Problème de la mesure de l'intensité du CEM (exposition aléatoire).

# Satellites

- Plus de 100 000 satellites 5G en projet  
Dont SpaceX : service commercial en août 2021,  
avec  $\pm 1600$  sat. (5 MW). 42 000 prévus. – À remplacer toutes les  
quelques années (orbite basse).
- Plus brillants que 99 % des 9000 étoiles visibles.
- 10 FOIS PLUS DE SATELLITES QUE D'ÉTOILES VISIBLES.
- Nombre de satellites en service fin 2017 : moins de 2000.

## Conséquences

- Suite aux rayonnements émis par les satellites, risque de  
dégradation de l'ionosphère et la magnétosphère  
# changement des propriétés EM de la Terre.
- Atteinte de la couche d'ozone suite à la combustion des  
carburants des fusées.
- Augmentation de l'effet de serre du fait des suies noires de  
cette combustion.
- Pollution lumineuse et destruction d'un patrimoine de  
l'humanité.

Appel signé par plus de 2000 astronomes professionnels :

[astronomersappeal.wordpress.com](http://astronomersappeal.wordpress.com)

# Origine de la pollution électromagnétique

## *Superposition des technologies et des réseaux sans fil :*

- Radio (... et DAB+), TV.
- Téléphonie : 2G, 3G, 4G et bientôt 5G.
- Autres : WiFi, Bluetooth, DECT, CPL, ASTRID, TETRA, radars...

## *Multiplication des*

- Objets électriques et électroniques.
- Objets connectés en 2019 : 39 milliards (19+20)

Étude Deloitte 2021 : le ménage étasunien moyen dispose de 25 objets connectés

(dont les compteurs communicants). Tous émettent des radiations non ionisantes. —  
Antennes.

## *# Exposition aux CEM prolongée, omniprésente et en croissance très rapide.*

Effets biologique et sanitaires déniés par l'industrie et la plupart des institutions nationales et internationales (OMS/ICNIRP, UE...)

*sur la seule base des effets thermiques sur les tissus, le crédo étant*  
*« pas d'effet thermique, pas d'effet sanitaire ».*

## *# TOUS COBAYES DEPUIS 1990 (APPARITION DE LA 2G) !*

ICNIRP : Commission internationale pour la protection des rayonnements non ionisants

# Le plus de la 5G : quelle augmentation du rayonnement ambiant due aux antennes d'un réseau 5G ?

Densification des antennes (millimétriques) :

- x 4 par rapport à la 4G, dans les meilleures conditions.
- Plus selon : pluviométrie, arbres...  
# Rayonnement (densité de puissance) multiplié par 6 au minimum.

Par exemple, à une distance relativement proche d'une antenne (5 m), une augmentation de :

- 0,1 à 0,6 W/m<sup>2</sup>

*Remarque*

*Les micro antennes 5G seront placées sur le mobilier urbain (abris-bus...), en intérieur ou en invisible.*

*Selon la directive de l'UE, pas besoin de permis d'urbanisme.*

Radiation Analysis in a Gradual 5G Network Deployment Strategy Ahmad El Hajj, Tarek Naou

(Université américaine de Beyrouth). Septembre 2020.



# 'Smart' cities





# Objets connectés

5G: 1M objets/km<sup>2</sup>



2020 ~20 kM objets

2025 ~55 kM objets

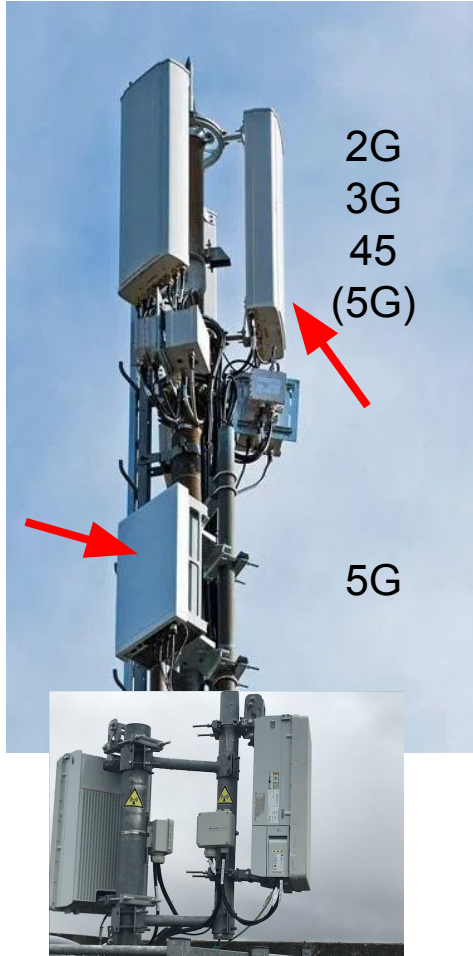
---



# Antennes 2G, 3G, 4G

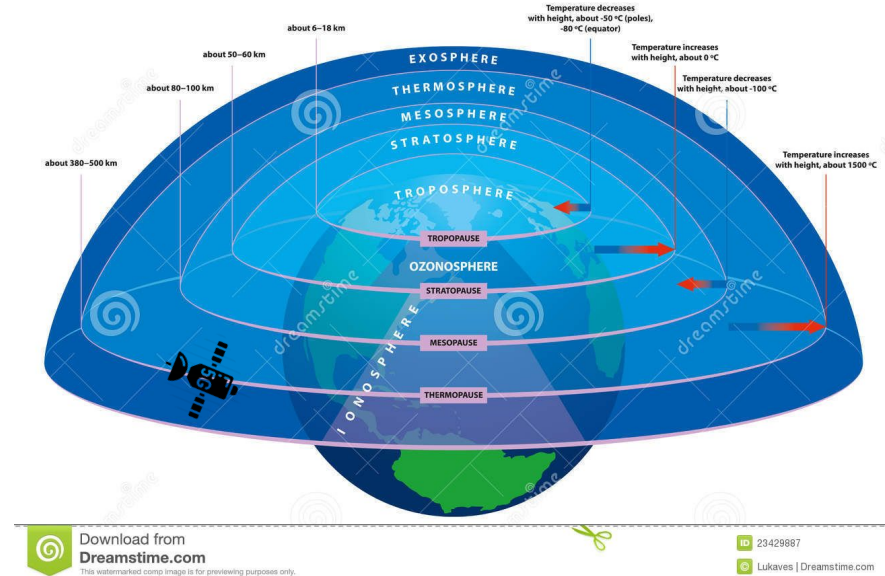


# Antennes 5G





# 20K+ Satellites (Starlink, Amazon...)

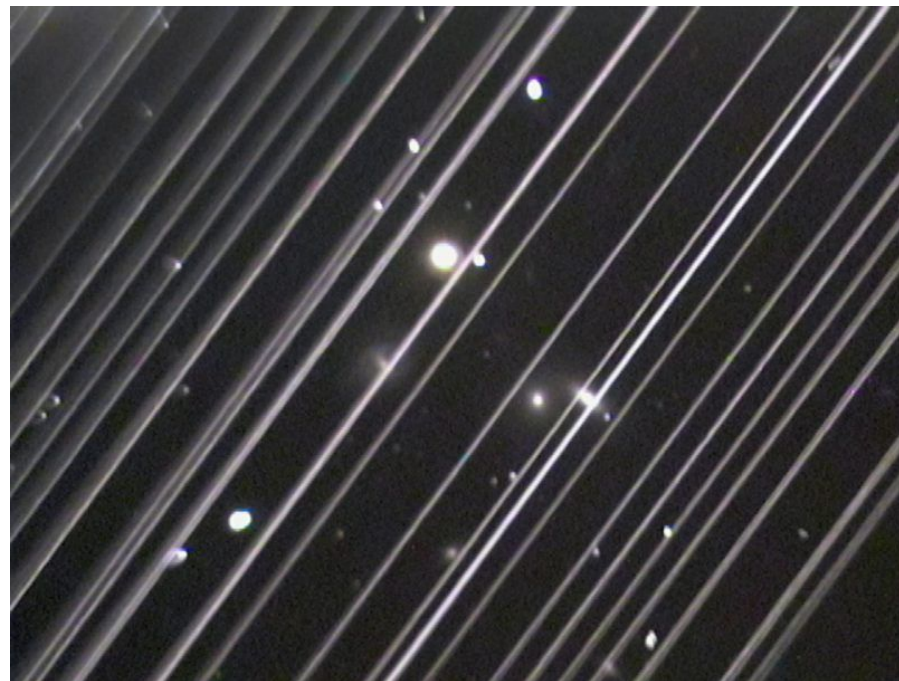


Orbite terrestre basse (~400-600 Km)

Enfilade de satellites StarLink visible par la terre

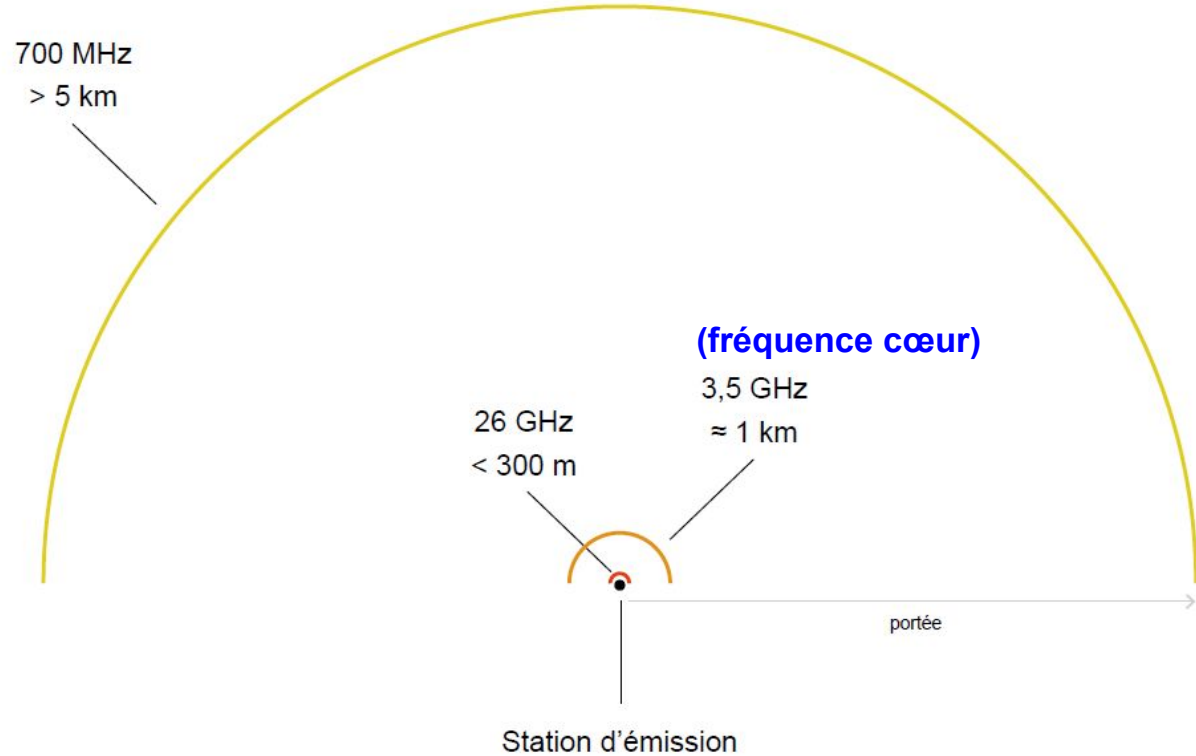


Perturbation d'observation Astronomique

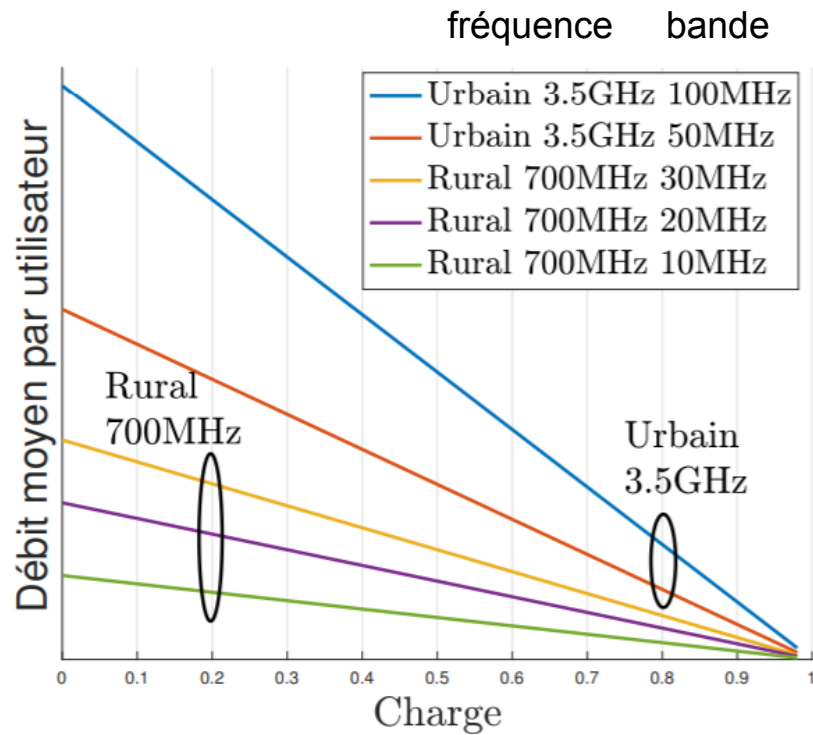
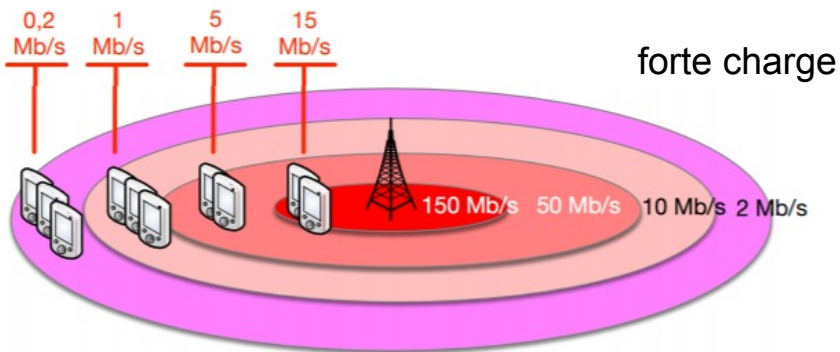
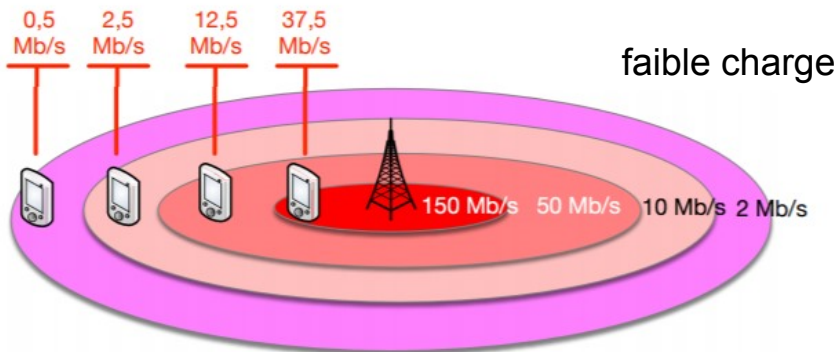


# Fréquences 5G

	Pénétration à l'intérieur	Portée	Débit
700 MHz $\lambda \sim 50\text{cm}$	++	++	--
3,5 GHz $\lambda \sim 9\text{cm}$	-	+	+
26 GHz $\lambda \sim 12\text{mm}$	--	--	++



# Le débit ~ distance, fréquence, bande, charge





# Beamforming

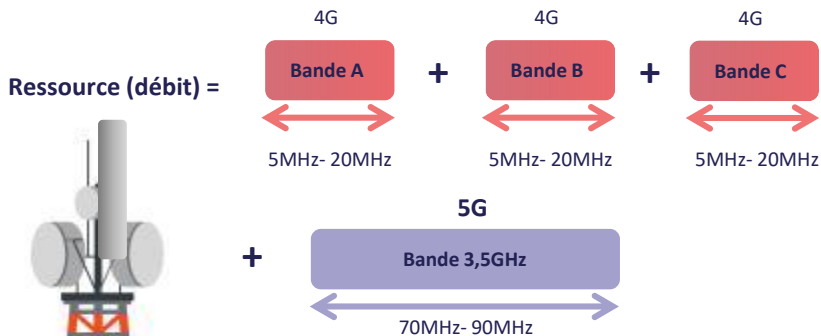
Antenne 4G



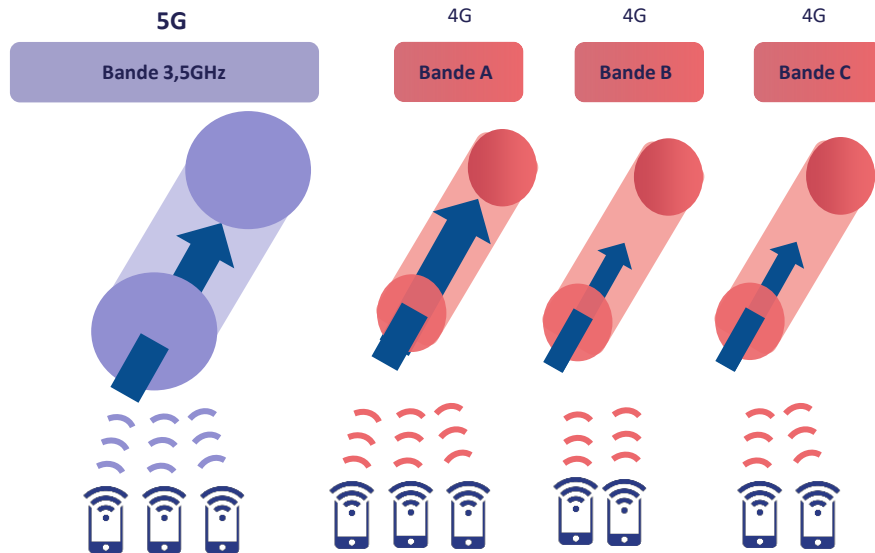
Antenne 5G



# La 5G à 3,5GHz



La 5G à 3,5GHz vient rajouter une ressource supplémentaire, plus large et plus efficace que les bandes 4G. Le débit à partager dans la zone est donc plus important



# La 5G sur des bandes de fréquences actuellement 4G

Ressource (débit) =

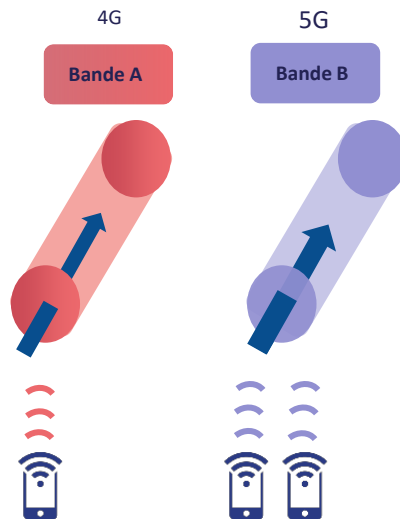
4G **Bande A** + 5G **Bande B**

5MHz- 20MHz 5MHz- 20MHz



Illustration: zone peu dense

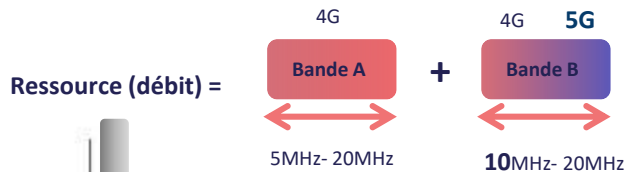
La 5G peut être déployée sur des fréquences actuellement utilisées en 4G. Si la bande est déjà déployée en 4G dans la zone, on peut remplacer la ressource 4G par une ressource 5G plus optimisée en débit.



# La 5G en « Dynamique Spectrum Sharing » (DSS)

Le DSS permet de diviser une ressource en 2 : une partie 4G et une partie 5G. Elle est dite « dynamique » car la répartition entre la 4G et la 5G peut varier dans le temps.

La ressource 4G remplacée par la ressource 5G étant plus petite, le gain en débit est moins perceptible



Un minimum de 10MHz est nécessaire pour le DSS car celui-ci implique une faible perte de largeur de bande pour piloter le partage entre les 2 technologies 🚧

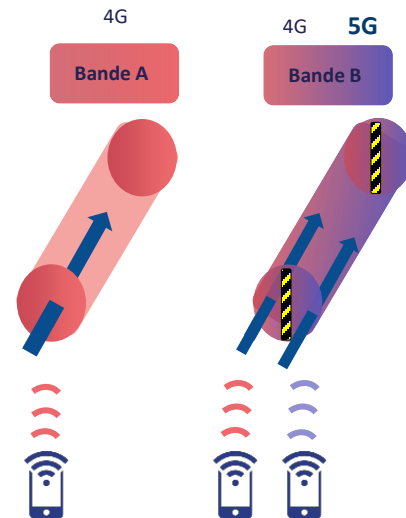


Illustration: zone peu dense



# Impact des ondes millimétriques (I)

Ondes millimétriques : très vite arrêtées (murs, feuilles...)

# Sont quasi absorbées dans les premiers mm de la peau et de la cornée.

# Seraient anodines.

Mais

- Organe le plus grand (2 m<sup>2</sup>).
- N'est pas qu'une barrière physique :
  - une composante du système immunitaire et, à ce titre,
  - une première ligne de défense contre les menaces extérieures.
- Glandes sudoripares : rôle d'antennes # augmentation de l'absorption



# Impact des ondes millimétriques (II)

Joel Moskowitz, professeur à l'École de santé publique de l'Université Berkeley (Californie)

« We Have No reason to believe 5G is Safe »

Exposition de courte durée peut avoir des effets néfastes sur

1. le système nerveux périphérique,
2. le système immunitaire et
3. le système cardiovasculaire.

Exposition à long terme, risques pour

1. la peau (par exemple, le mélanome),
2. les yeux (par exemple, le mélanome oculaire) et
3. les testicules (par exemple, la stérilité).

Joel Moskowitz, [www.saferemr.com/2019/10/5G-Scientific-American.html](http://www.saferemr.com/2019/10/5G-Scientific-American.html)

## Le numérique mondial – Énergie et climat (2019)

- Énergie primaire : 6 800 TWh (4,2 %) (ou plus selon...)
- Électricité : 1 300 TWh (5,5 %) (ou plus selon...) (15+ fois la conso de la Belgique)
- 4,1 milliards d'utilisateurs.
- Équipements classiques (PC, smartphones...) : 19 milliards. – Objets connectés : 20 milliards (# 48 milliards en 2025).

GES (2017) : 5 % (ou plus selon...)

- Fabrication, installation : 45 % (terminaux : 40 %) – Utilisation : 55 %

Remarques :

- 1/5 des GES pour la vidéo en ligne.
- Smartphones : ± 2/3 pour la fabrication, 1/3 pour l'utilisation.
- **Croissance : 9 % / an.**

# Transmission des données et énergie

Pour chaque bit d'information transmis :

1) Consommation d'énergie directe  
(transmission, infrastructure)

5G : x 10 pour la consommation d'électricité des antennes  
(par rapport à un réseau 4G – densification et puissance).

2) Consommation de l'ensemble de processus industriels liés :

- – Extraction et broyage des minerais (métaux).
- – Raffinage des métaux.
- – Fabrication des équipements (individuels, réseaux filaires et sans fil, centres d'information).
- – Transport.
- – Recyclage éventuel et mise en décharge.

Radiation Analysis in a Gradual 5G Network Deployment Strategy Ahmad El Hajj, Tarek Naou  
(Université américaine de Beyrouth). Septembre 2020.

## 5G, énergie et climat

La 5G et l'IdO vont peser lourdement sur la consommation d'E :

- Multiplication massive des objets connectés.
- Multiplication des antennes (x 3-5). 3 x plus d'E par antenne. – Augmentation massive des transferts des données.

# Augmentation de la consommation d'électricité: plus de 2 %.

Représente moins que l'énergie nécessaire

aux processus industriels liés à la mise en œuvre.

Haut Conseil pour le climat (France) : 1 % de toutes nos émissions de GES

**Le bilan énergétique et climatique de la 5G et de l'IdO s'annonce désastreux.**

# Que changera avec la 5G ?

“...l’introduction de la 5G en bande 3,5 GHz... peut contribuer à une augmentation du nombre de points atypiques, ce qui devra faire l’objet d’une vigilance particulière.” (Déploiement de la 5G en France et dans le monde : aspects techniques et sanitaires, p3, CGEDD, IGAS, IGF, CGE - Sept 2020)

Faisceaux concentrés à grande puissance (beamforming)

Pollution de la voie publique

Augmentation de la pollution EM générale de ?