

Les ondes et nous

Conférence pour l'UP - Chateaubriant

8 novembre 2024

Bernard Remaud

bernard.remaud@univ-nantes.fr



<https://un-peu-de-physique.fr/>



La science de Bernie

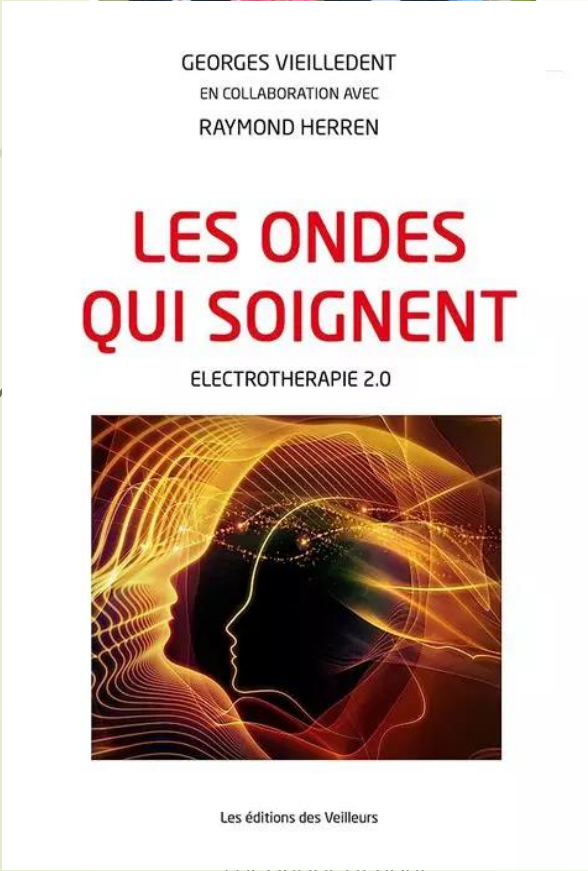


YouTube

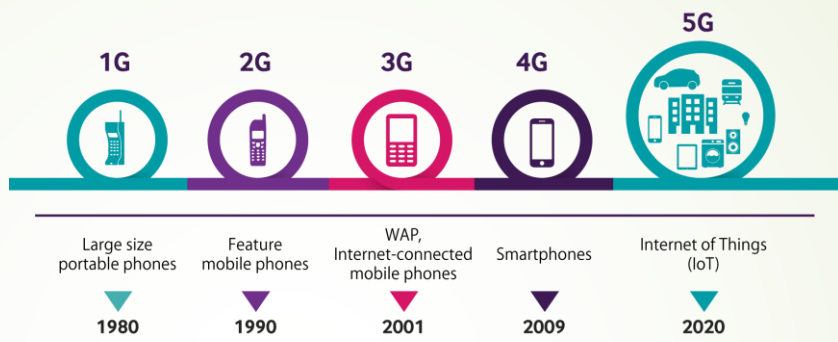
La science de Bernie

Cette œuvre est sous licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale 4.0 International.





THE EVOLUTION OF MOBILE COMMUNICATIONS FROM 1G TO 5G



LIBERTÉS POLITIQUE FORÊTS COVID-19 ALTERNATIVES TOUTE

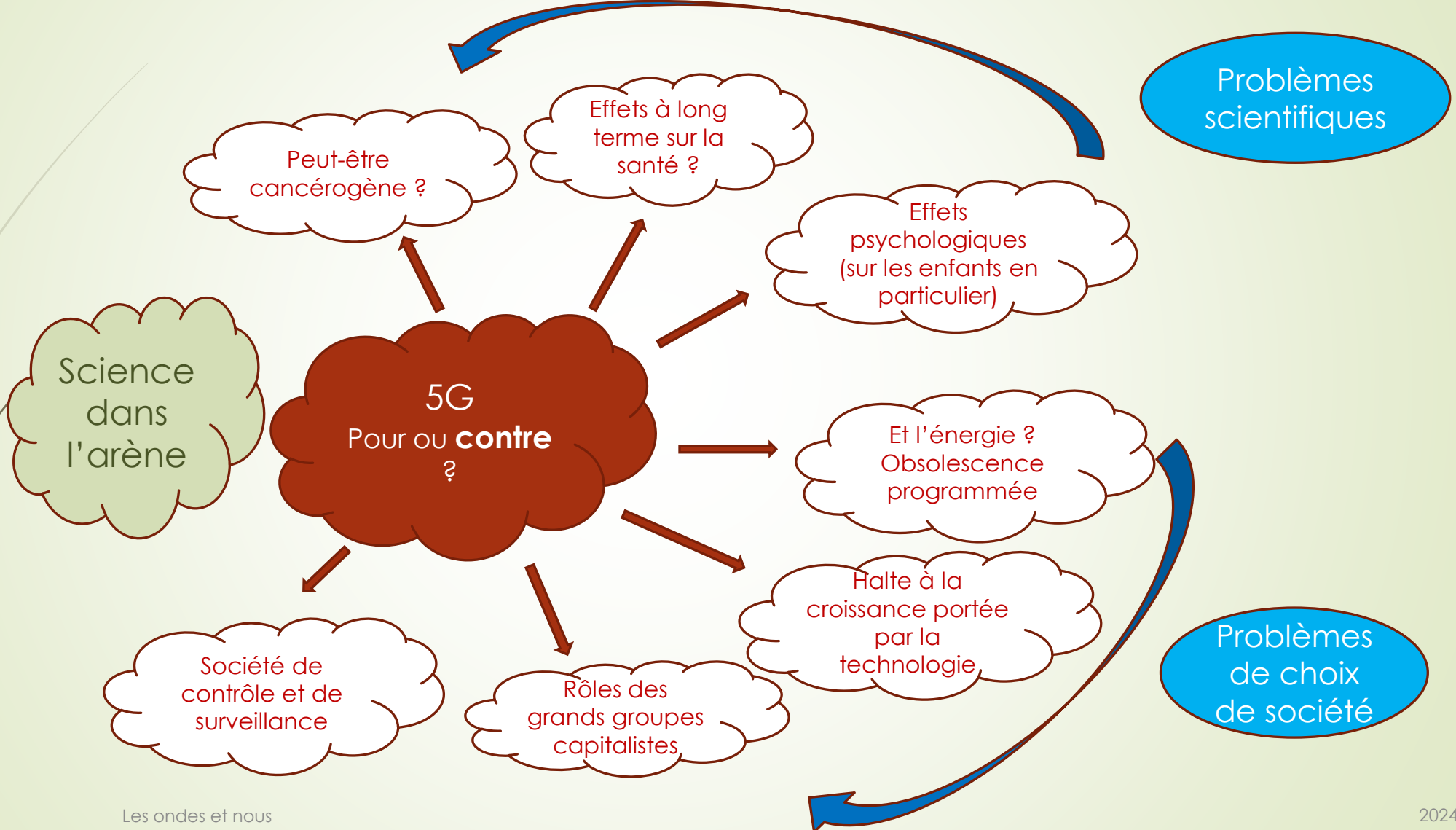
Accueil > Enquête >

Avec la 5G, nous sommes tous des rats de laboratoire

22 février 2019 / Louise Delamotte (Reporterre) Durée de lecture: 10 minutes

La France s'apprête à déployer la 5G, qui repose en partie sur l'utilisation d'ondes à très haute fréquence. Aucune étude épidémiologique n'ayant été faite, scientifiques, médecins, et jusqu'aux services de l'État s'alarment.





- Une onde familière – le son
- Caractériser les ondes (et les champs)
- Comment les ondes interagissent-elles avec la matière (vivante)
- Les ondes dans notre environnement

Les **ondes** sont les fondements de notre Univers et de notre société :

Transmettre l'information



Transmettre de l'énergie

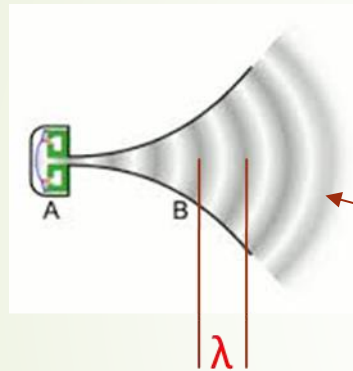


Détecter et analyser notre environnement

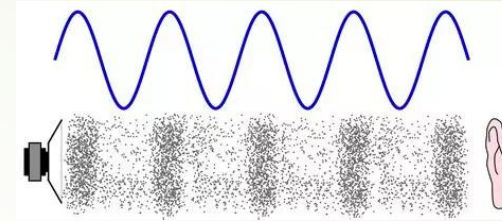


Une onde familière – Le son

L'exemple du son dans l'air



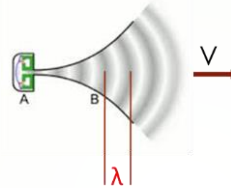
Fréquence (Hertz)
Nombre de vibrations
par seconde



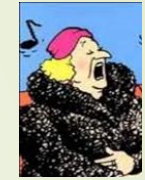
- une **perturbation** d'un milieu (de l'eau par exemple) ou d'un champ (un champ électrique par exemple)
- qui se propage de proche en proche (**effet domino**)
- sans transport global de matière (uniquement **transfert d'énergie**)

Les paramètres des ondes sonores

- La **vitesse de propagation V** de la perturbation (pas la vitesse des particules), se mesure en m/s, km/s.
- La **période T** : inverse de la fréquence, se mesure en seconde, microseconde
- La **fréquence F ou (ν)** : nombre d'oscillations par seconde, se mesure en Hz, kHz, MHz (du nom de Hertz)



64 Hz



2 048 Hz

- La **longueur d'onde (λ)** : distance entre 2 crêtes, se mesure en mètres (km, mètre, nanomètre)

 $\lambda = 5,3 \text{ m}$  $\lambda = 0,2 \text{ m}$ 

$$\lambda = V / F$$

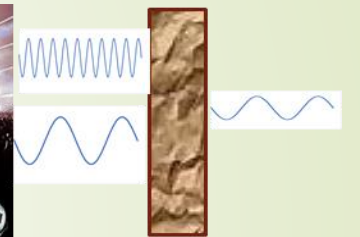
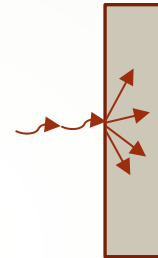
Longueur d'onde = vitesse de l'onde/fréquence

Vie et mort des ondes sonores

Les ondes transportent à distance de l'énergie et de l'information.

Toutes les fréquences sont absorbées :
les ondes sont transformées **en chaleur**

Désordonnée



Pour certaines fréquences, les ondes peuvent
être transformées en une autre forme
d'énergie (**mécanique**)

Ordonnée (résonante)



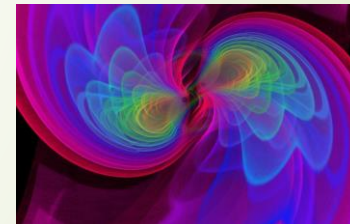
Les 2 grands types d'ondes

10

Les ondes qui se propagent **dans un milieu** (air, eau, solide...)
Ce sont les ondes sonores (dans les fluides) et plus généralement les ondes mécaniques

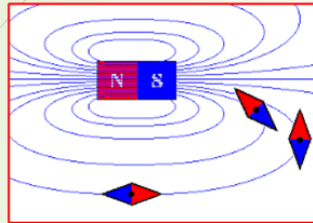


Les ondes qui peuvent se propager **dans le vide** (sans support):
Ce sont les ondes de champ



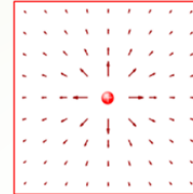
Les ondes électro-magnétiques (ondes de champ)

Un aimant crée un **champ** magnétique

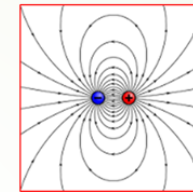


Une charge électrique crée un **champ** électrique (modifie les propriétés de l'espace)

Une charge positive



Deux charges: positive et négative



Un champ est une propriété de l'espace autour d'une source électrique ou magnétique

Comment les mesure-t-on :

- Champ électrique en volts par mètre (V/m)
- Champ magnétique en Teslas (μT en général)



L'intensité des champs décroît très vite en fonction de la distance
 $1/d^2$ ou $1/d^3$

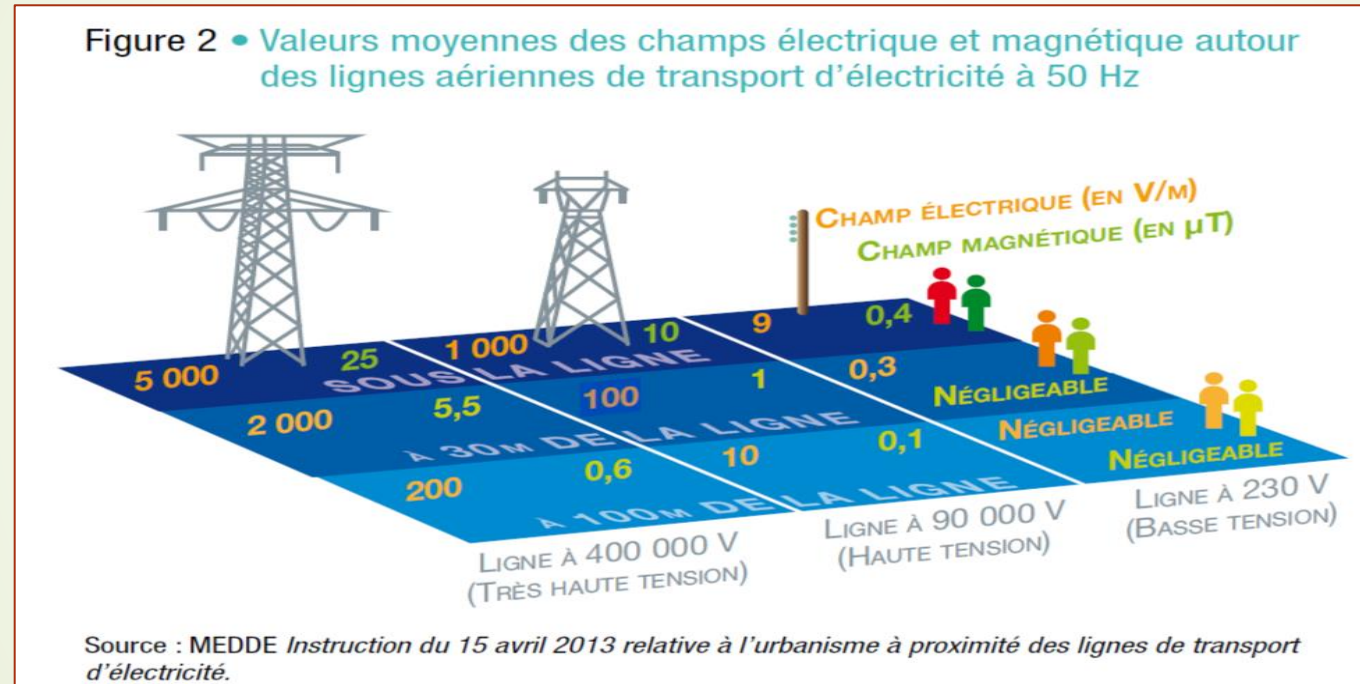
La principale source de champs électrique et/ou magnétique est :
le courant alternatif 50 Hz



Champs découplés – basses fréquences

Voir : « [Champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence : Les effets sur la santé](#) »
Direction générale de la santé (DGS) - 2014

Propriétés des courants de très basse fréquence (comme le courant électrique 50Hz)



Limite légale
87 V/m et 6,25 µT
Source ANFR

<https://www.anfr.fr>

Champ magnétique terrestre
47 µT

Voir : « Champs électromagnétiques d'extrêmement basse fréquence : Les effets sur la santé »
Direction générale de la santé (DGS) - 2014




Et Linky ?



A 30 cm
0,25 et 1 V/m
0,01 μ T et 0,05 μ T

Champ magnétique
d'un appareil IRM
3 à 10 Teslas

Figure 3 • Valeurs des champs électrique et magnétique à proximité d'appareils électriques à 50 Hz

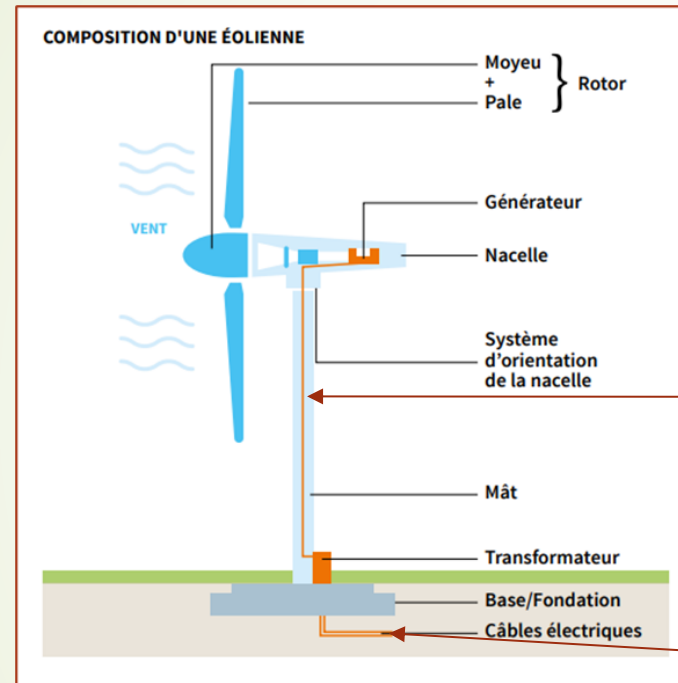
	5 cm		30 cm		1 m		
 Radio réveil	166	1,6	16	0,08	8	0,02	CHAMP ÉLECTRIQUE (EN V/m)
 Bouilloire	18	1,08	11	0,06	6	0,02	
 Grille-pain	57	3	10	0,21	6	0,06	CHAMP MAGNÉTIQUE (EN μ T)
 Alimentation d'ordinateur	178	0,55	25	0,02	4	0,01	
 Plaques de cuisine à induction	94	0,57	32	0,2	4	0,13	
 Sèche cheveux	187	0,72	28	0,05	7	0,04	
 Télévision	364	0,01	75	0,01	10	0,01	

Source : Afsset, *Effets sanitaires des champs électromagnétiques extrêmement basses fréquences*, Rapport d'expertise collective, mars 2010, Annexe 6 • Données de mesure Supélec, p. 137 à 163 www.anses.fr/sites/default/files/documents/AP2008et0006Ra.pdf



Limite légale
87 V/m et 6,25 μ T
Source ANFR

<https://www.anfr.fr>



<https://www.mtaterre.fr/>

Exemple : puissance de crête 2 MWc

Sortie de l'éolienne

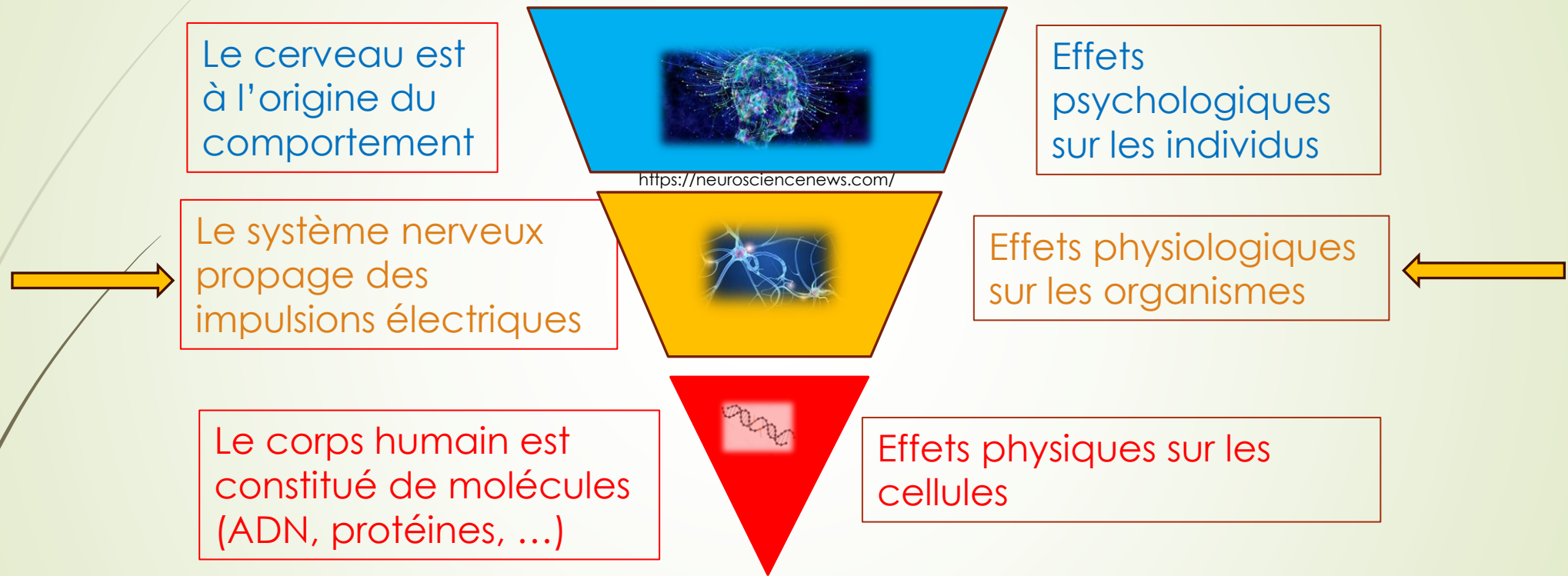
- Tension 700 V
- Intensité 3 000 A (env.)
- Alternatif fréquence variable

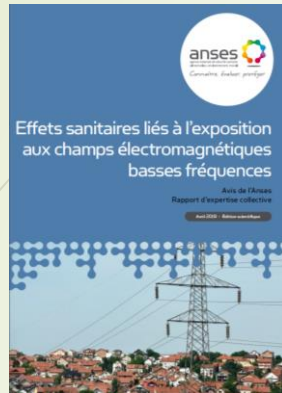
Sortie du transformateur

- Tension 20 000 V
- Intensité 100 A (env.)
- Alternatif 50 Hz

Caractéristiques proches d'une ligne moyenne tension (entre 15 000 et 30 000 volts)

Les 3 niveaux d'effets potentiels sur un corps humain





« Les études épidémiologiques ont suggéré une association entre la proximité de ces lignes et le risque de développement de leucémies de l'enfant (OMS, 2007), sans qu'un mécanisme biologique qui pourrait expliquer un tel effet ait été identifié... »

« Les méta-analyses réalisées à partir des études épidémiologiques ne sont en revanche pas en faveur d'une augmentation du risque d'autres cancers de l'enfant (tels que les cancers du cerveau) ou des cancers de l'adulte. »

The conversation – 18Juillet 2018

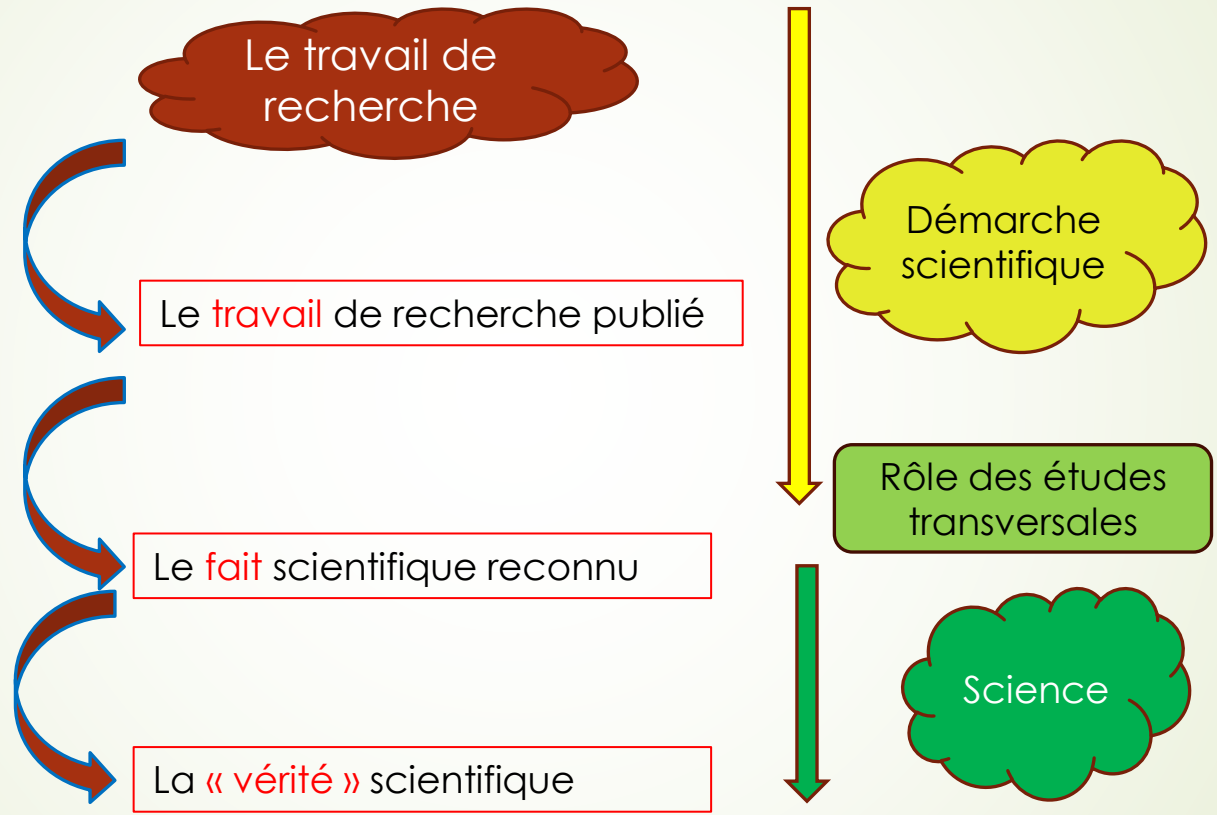
Tests sur modèles (laboratoire)

		Éléments de preuve de l'existence de l'effet étudié chez des modèles				
		Éléments de preuve suffisants pour conclure à l'existence d'un effet	Éléments de preuve limités pour conclure à l'existence d'un effet	Éléments de preuve non conclusifs	Absence de données de qualité	Les données disponibles ne montrent pas d'effet
Éléments de preuve de l'existence de l'effet étudié dans les études épidémiologiques	Éléments de preuve suffisants pour conclure à l'existence d'un effet	Effet avéré pour l'Homme				
	Éléments de preuve limités pour conclure à l'existence d'un effet	Effet probable pour l'Homme	Effet possible pour l'Homme			
	Éléments de preuve non conclusifs	Effet possible pour l'Homme	Les données disponibles ne permettent pas de conclure à l'existence ou non de l'effet étudié			
	Absence de données de qualité					
	Les données disponibles ne montrent pas d'effet				Probablement pas d'effet chez l'Homme	

épidémiologiques

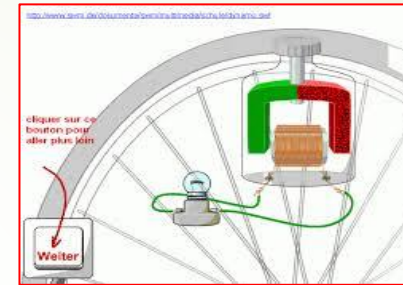
Leucémie infantile

Cancer du sein, tumeurs cérébrales, sclérose en plaques

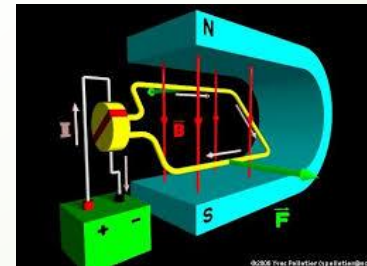


Les ondes électromagnétiques

Un aimant (**magnétisme**) qui bouge dans un circuit crée du courant **électrique** (la dynamo)



Un courant **électrique** (mouvement de charges électriques) crée un champ **magnétique** (moteur électrique)

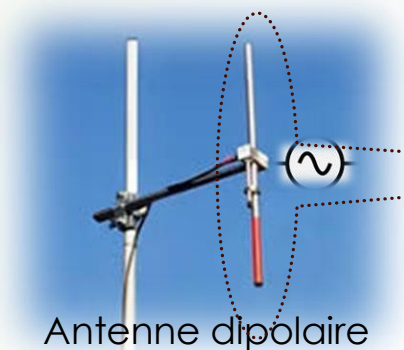


Les ondes de champ électro-magnétique (2)

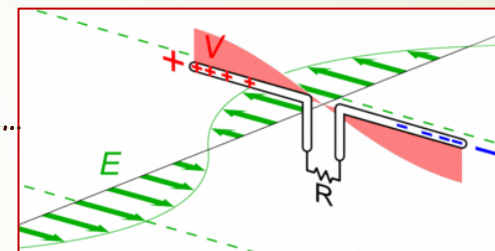
23

Des charges électriques en mouvement créent un champ électrique et un champ magnétique variables

Exemple :
une antenne alimentée en courant alternatif



Antenne dipolaire



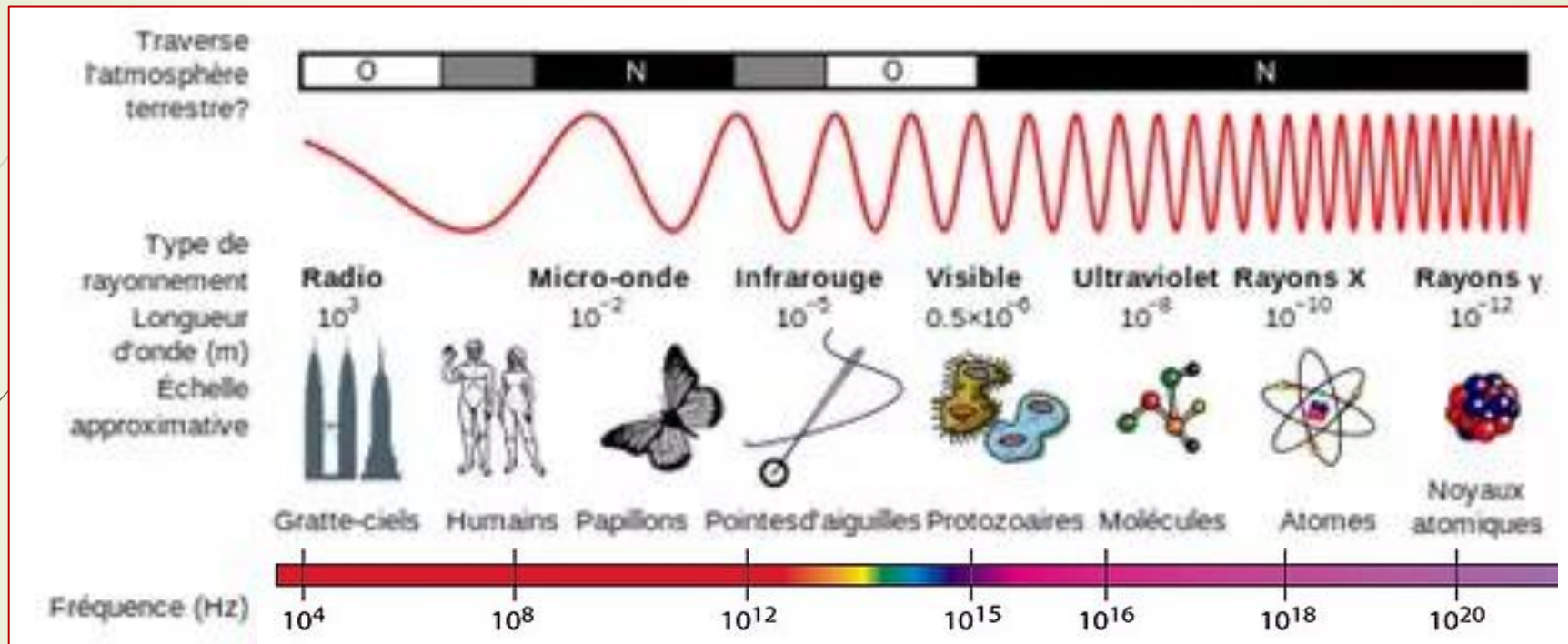
Wikipedia - antenne radioélectrique

Les 2 champs oscillants peuvent être couplés et s'auto-entretenir.
C'est une onde électro-magnétique qui se propage à la vitesse de la lumière (Maxwell 1850)

Fréquence minimum 100 000 Hertz (longueur d'onde < 3 000 mètres)

Le spectre des ondes électromagnétiques

24



<https://pdfprof.com/>

Énergie des photons X 1 000 000

Les « grains » d'énergie (photons) ont une énergie proportionnelle à la fréquence

Vie et mort des ondes électro magnétiques

Sources ordonnées/ désordonnées

Ondes radio

- Radio FM
- Ordinateurs
- Téléphones mobiles

Ondes radio

Univers à 2,3°K

**Ondes visibles**

Soleil ou imitations
Leds

Rayons gamma (quelques)

Radioactivité des corps humains (Potassium)

Ondes Infra-rouges

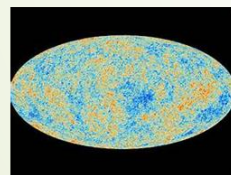
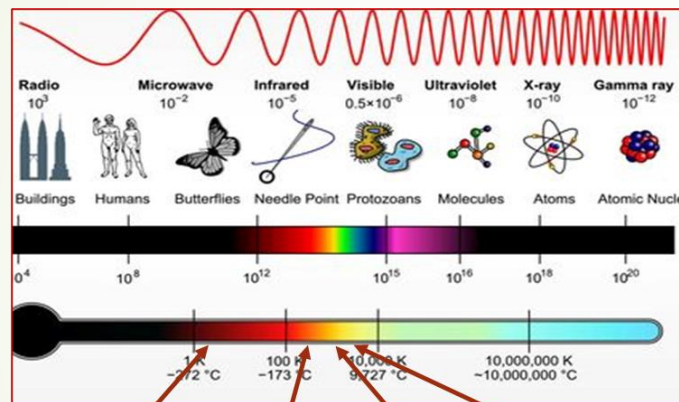
Corps et mobilier en équilibre thermique à 20° C (300° K)

Sources naturelles/ artificielles ?

Les émetteurs d'ondes électromagnétiques (1)

27

1 - Tout corps « chaud » émet des ondes électromagnétiques
Les fréquences émises ne dépendent que de la température en K (Kelvins, degrés Celsius + 273)



2,3° K



300° K

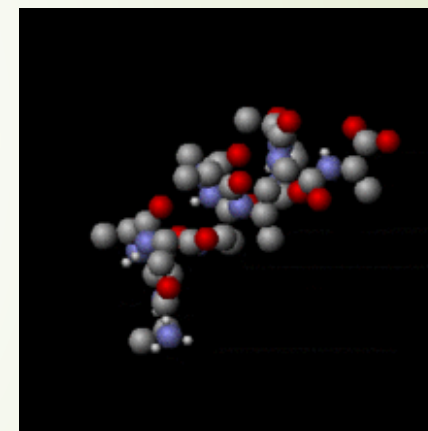


1 500° K

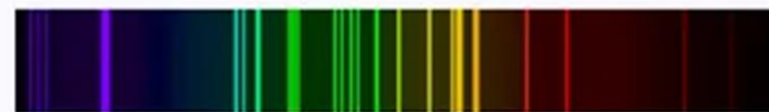
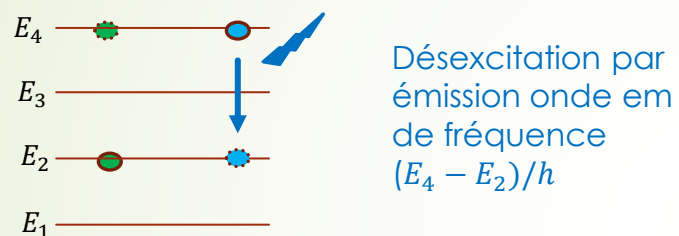


5 800° K

Fausses couleurs



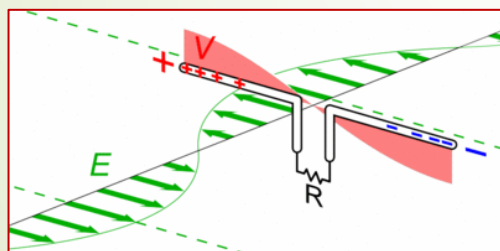
2 – Au niveau atomique (aussi nucléaire) les transitions électroniques



Spectre d'une lampe à vapeur de mercure

<https://scientificsentence.net/>

3 – Les courants électriques hautes fréquences (Antennes)

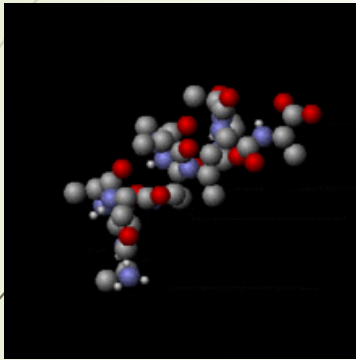


Wikipedia – antenne radioélectrique doublet

Rendement maximum → antenne demi-onde

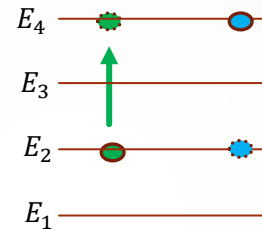
$$\text{longueur de l'antenne } L (\text{mètre}) = \frac{1,5}{F(\text{MHz})}$$

Réception = Processus Inverses de l'émission

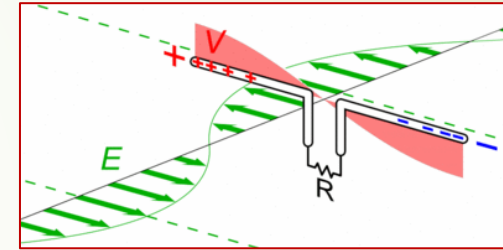


Chaleur

Excitation
(électrique)
fournit énergie



Énergie
chimique



Wikipedia - antenne radioélectrique
doublet

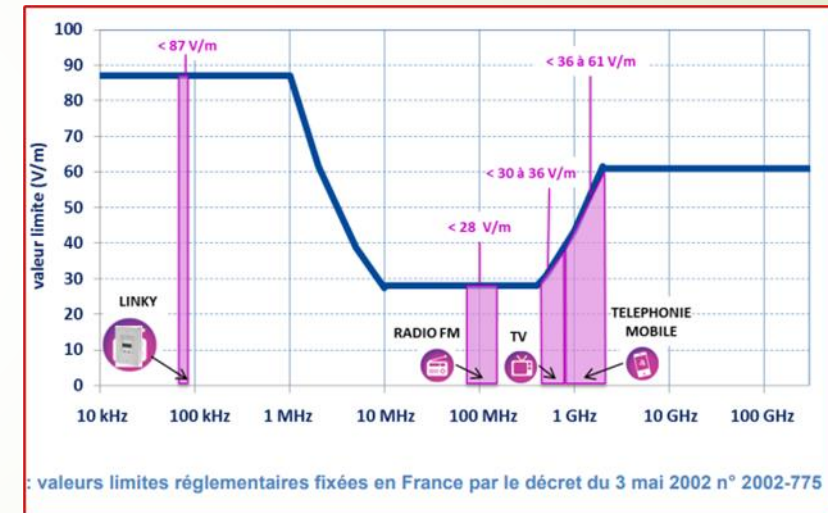
Courant
électrique

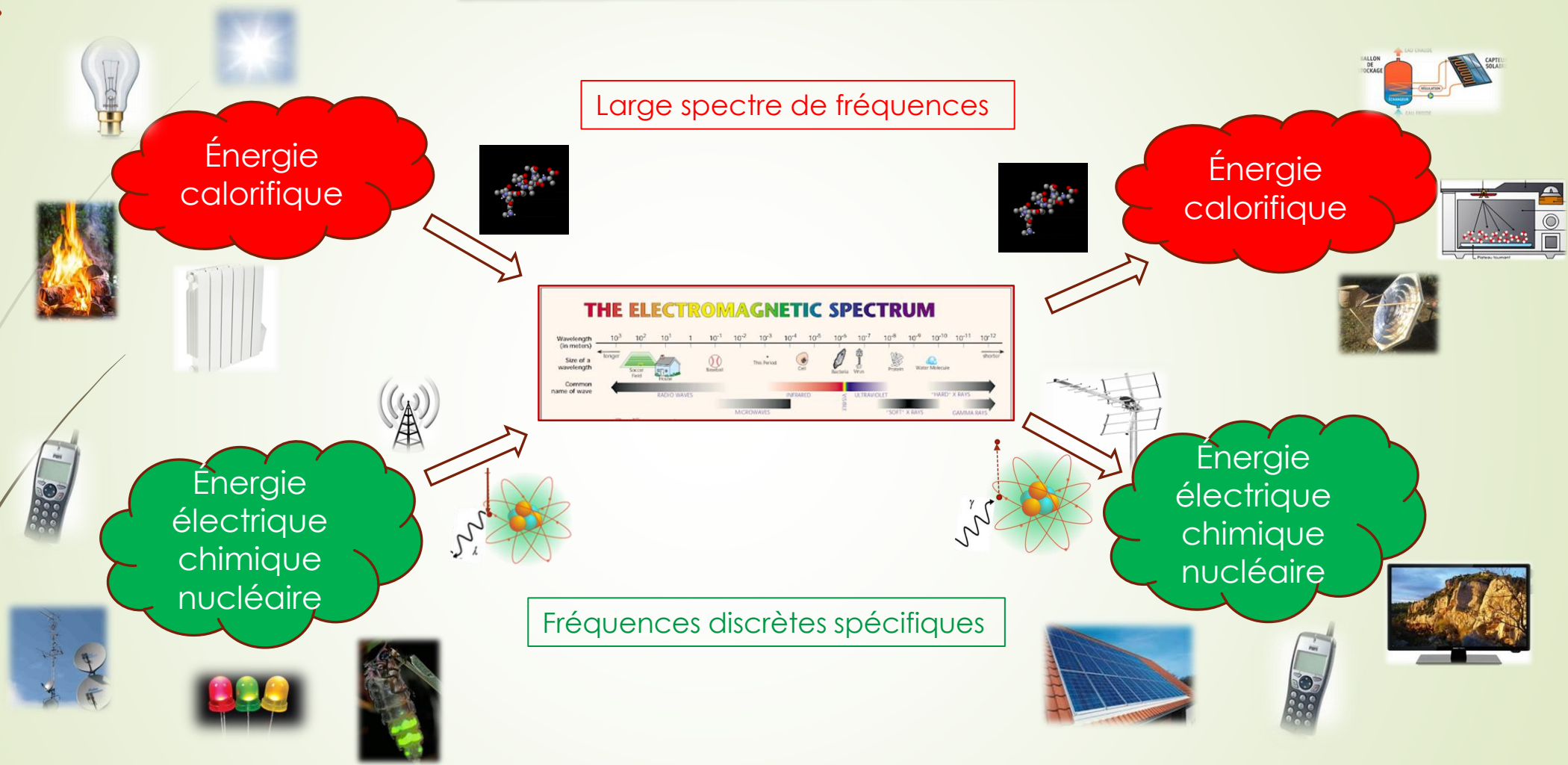
Mesurer le champ électrique **ou** le champ magnétique
Ils sont couplés

Champ lentement variable



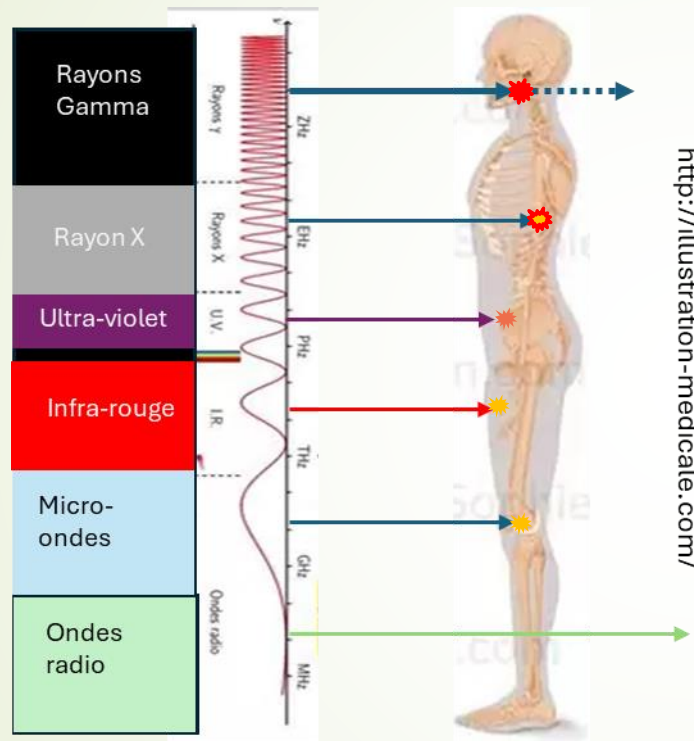
Compteur
électromagnétique
(Android)



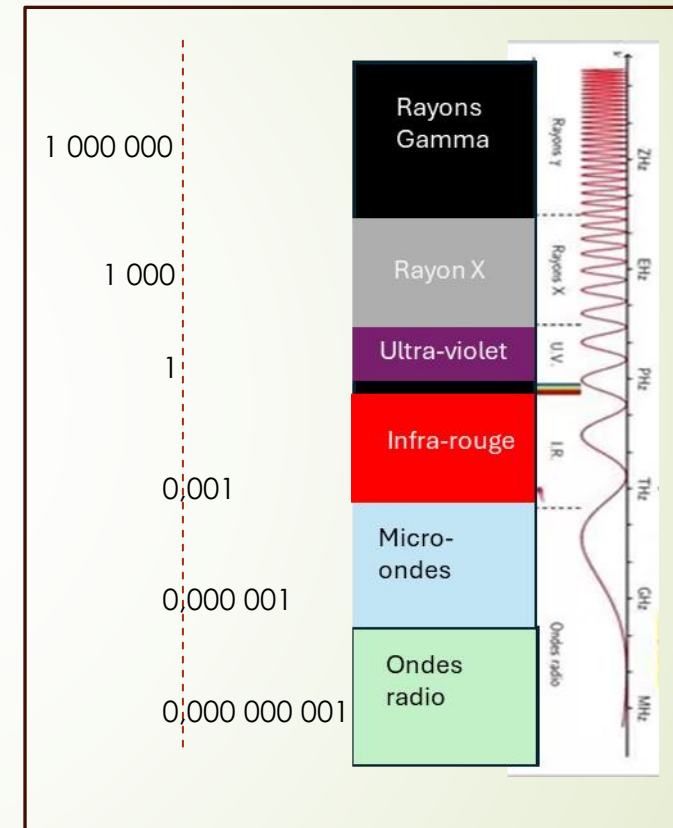


Effets des ondes sur la matière (vivante)


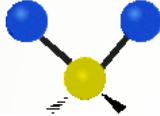

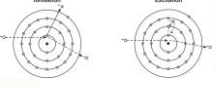
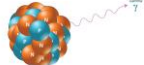
Pénétration dans le corps

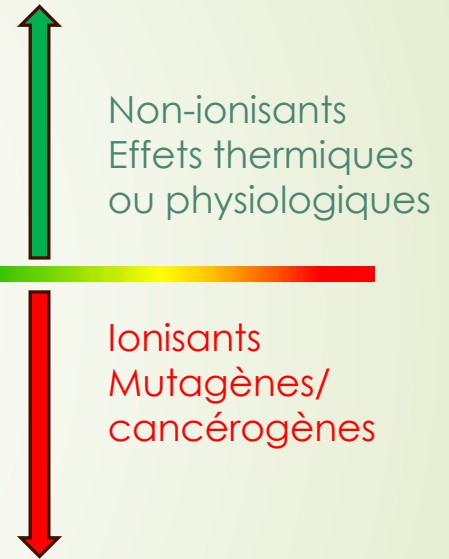


Énergie par photon (eV)

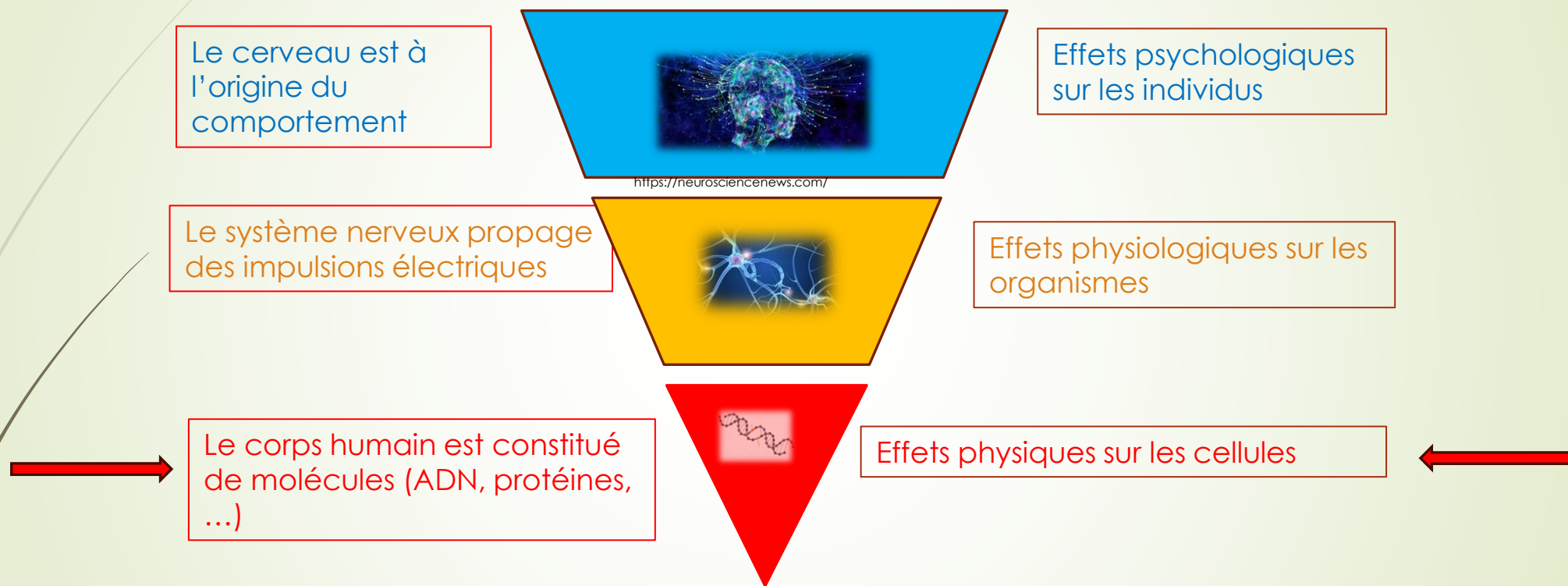


Effets physiques en fonction de l'énergie (fréquence)

Agitation (sans modifier la structure)		production directe de chaleur
Vibration/rotation (sans modifier les propriétés chimiques)		production indirecte de chaleur
Rupture de liaison		Effets mutagènes carcinogènes
Ionisation-excitation atomique		Mutation/lésion cellulaire
Excitation nucléaire		Mort cellulaire

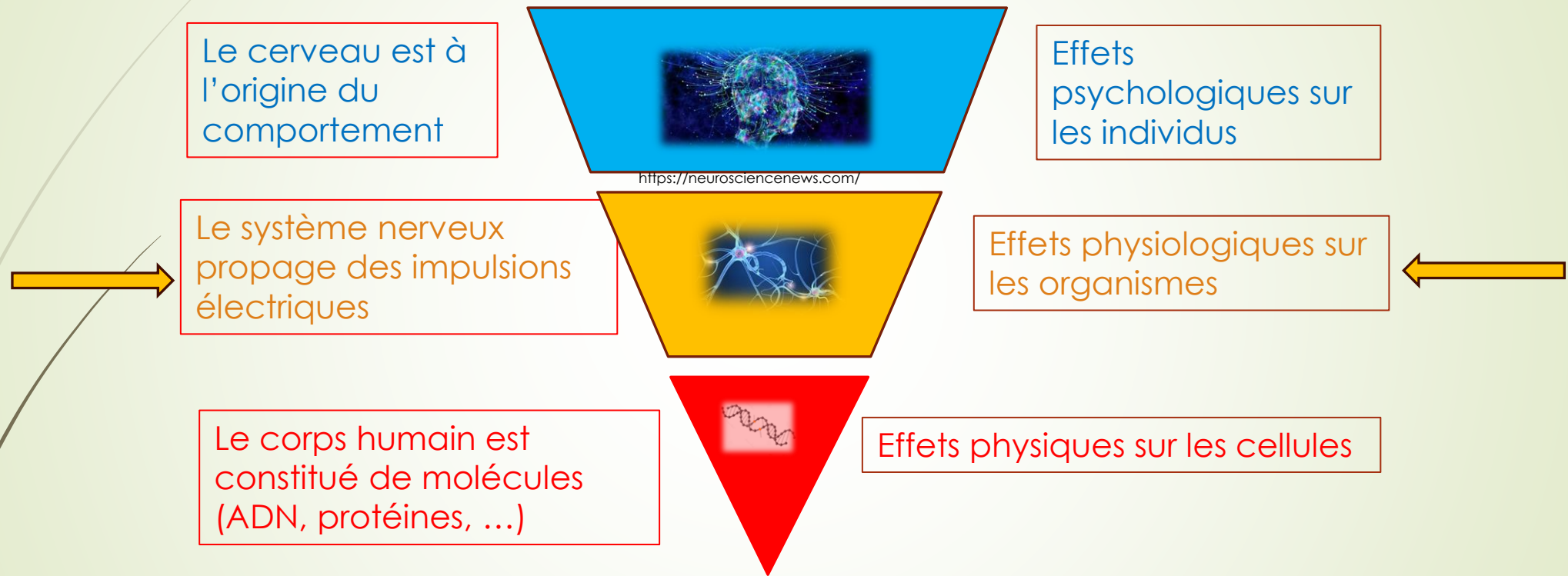


Les 3 niveaux d'effets potentiels sur un corps humain



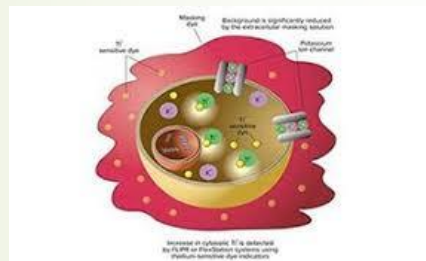
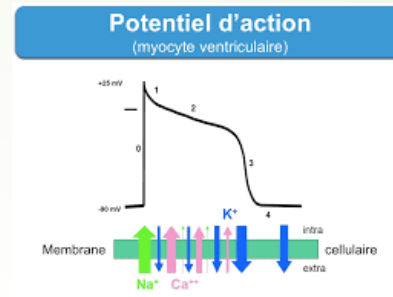
Effets physiques avérés pour les ondes ionisantes : UV, X et gamma
Pas d'effets physiques pour les ondes : infra-rouge, microondes et radio.

Les 3 niveaux d'effets potentiels sur un corps humain



L'influx nerveux (potentiel d'action) est une impulsion électrique se déplaçant à 100 m/s.

Le cerveau n'émet pas d'onde
Mais peut être sensible aux champs extérieurs.



Les processus biologiques impliquent des échanges d'ions (particules chargées électriquement) peuvent être perturbés par des champs électromagnétiques.

La grande résilience du corps humain aux champs magnétiques
→ IRM plusieurs Teslas



Ondes radio mobiles : **catégorie 2B -peut-être cancérigènes-**
Un lien de cause à effet crédible, mais sans qu'on puisse éliminer avec une certitude raisonnable le hasard, un biais ou des facteurs de confusion.
Le niveau de preuve est considéré comme inadéquat pour les autres types de cancer que les gliomes.



No Evidence for increased Brain Tumour Incidence in the Swedish National Cancer Register Between Years 1980-2012

AntiCancer research 2019 Feb;39(2):791-796. doi: 10.21873/anticanres.13176.



Incidences of gliomas and meningiomas in Denmark, 1943 to 1997

The **incidence of gliomas increased** 1.7-fold from 1943 to 1947 to 1993 to 1997

Neurosurgery . 2003 Jun; 52(6):1327-33. doi: 10.1227/01.neu.0000064802.46759.53.



Increasing incidence of glioblastoma multiforme and meningioma, and **decreasing incidence** of Schwannoma (2000–2008):

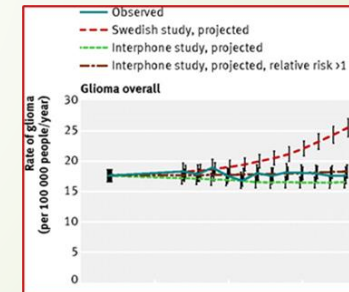
Findings of a multicenter Australian study

Surg Neurol Int. 2011; 2: 176. doi: 10.4103/2152-7806.90696



Signal faible dans un environnement multifactoriel

Cause de pb de santé ← → caractéristique d'un certain style de vie



Éoliennes de Nozay : leur cheptel décimé, des éleveurs se lancent dans un bras de fer avec l'État

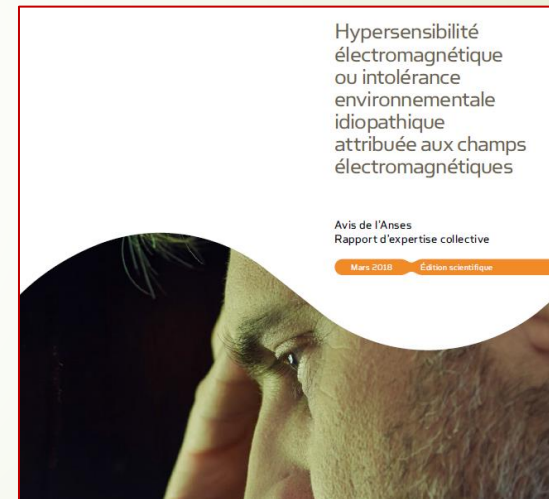
Murielle et Didier Potiron ont perdu 325 vaches depuis l'ouverture du parc éolien des Quatre seigneurs à Nozay (Loire-Atlantique). Ils attendent désormais des solutions concrètes.

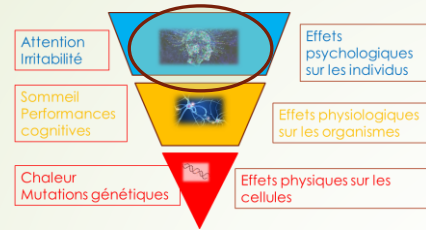


L'Anses a jugé que () l'effet (Nocébo) joue "**certainement un rôle non négligeable dans la persistance de l'EHS**", mais a ajouté qu'il n'excluait pas "une affection organique non identifiée"

Électrosensibilité :

"Il n'existe pas de critères de diagnostic validés à ce jour", souligne cet avis", "mais les plaintes formulées par les personnes se déclarant EHS correspondent à une réalité vécue"





Effets psychologiques ?
L'usage intensif des téléphones mobiles
a-t-il des effets psychologiques ?

Pour s'informer, voir par exemple le rapport détaillé :
Exposition aux radiofréquences et santé des enfants de
l'ANSES



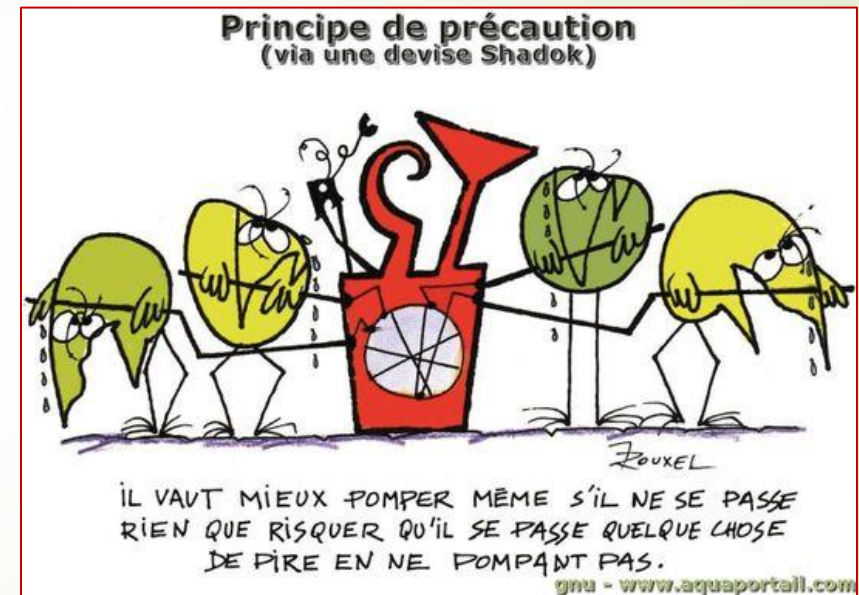
Exemple de conclusions de l'ANSES

Pour fonctions cognitives, « les données disponibles permettent de conclure à un effet possible des radiofréquences sur les fonctions cognitives de l'enfant.

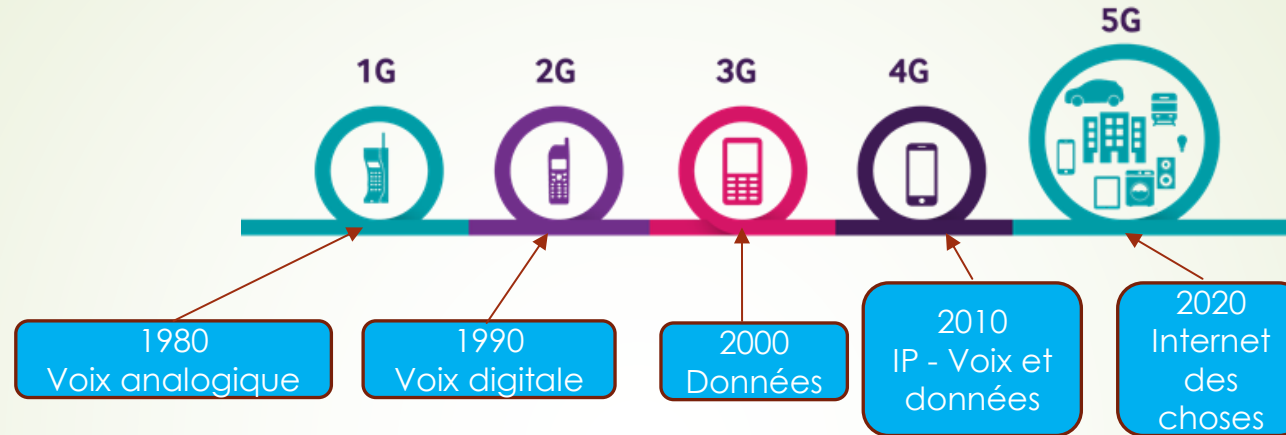
« *Aucune étude n'a prouvé que l'exposition aux champs électromagnétiques ne présente pas de risques* »

Mais c'est méconnaître le principe selon lequel la science ne peut pas prouver qu'un effet n'existe pas.

Autrement dit, la méthode scientifique permet de quantifier les effets d'une cause mesurable.

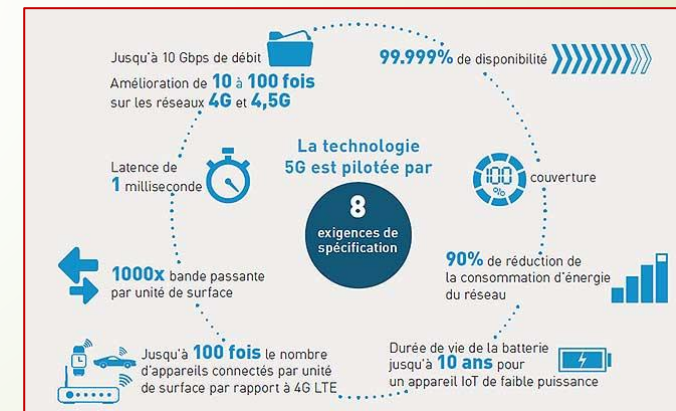


Et la 5G ?



Internet des « choses » - IoT (Internet of Things)

- Temps de latence 1 milliseconde
- Jusqu'à 10^{10} bits par seconde
- Taux de disponibilité (100- ϵ)%
- Réduction de la consommation d'énergie (90%)
- Grand nombre d'appareils connectés



Plus de 99% de l'énergie des ondes est transformée en chaleur

Puissance en Watt/kg - Pour les rayonnements absorbés plus en profondeur



Watt/kg

Puissance en Watt/m² - Pour les rayonnements peu pénétrants



Watt/m²

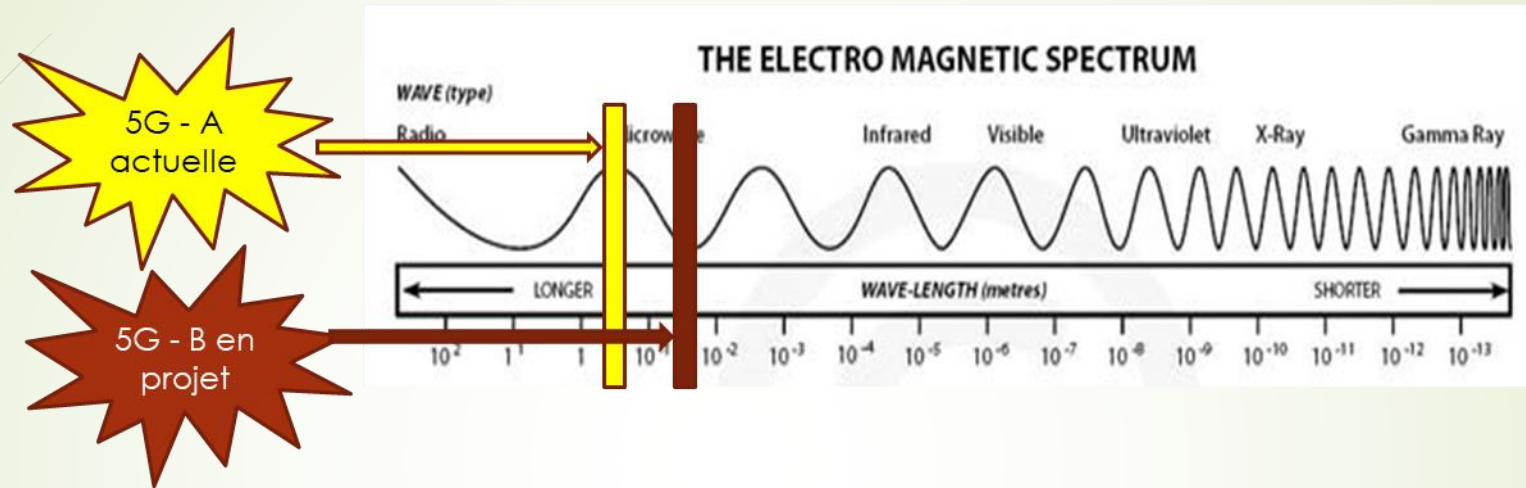
L'indice **DAS** (débit d'absorption spécifique) est mesuré en Watts par kilo (W/kg)
Les téléphones mobiles actuels : de 0,2 à 1 W/kg



Source CNET

NB : Une tête de profil en plein soleil reçoit
 $1\ 000\ \text{W/m}^2 \times 0,04\ \text{m}^2 = 40\ \text{W}$ dont absorbés (80% → 32 W)

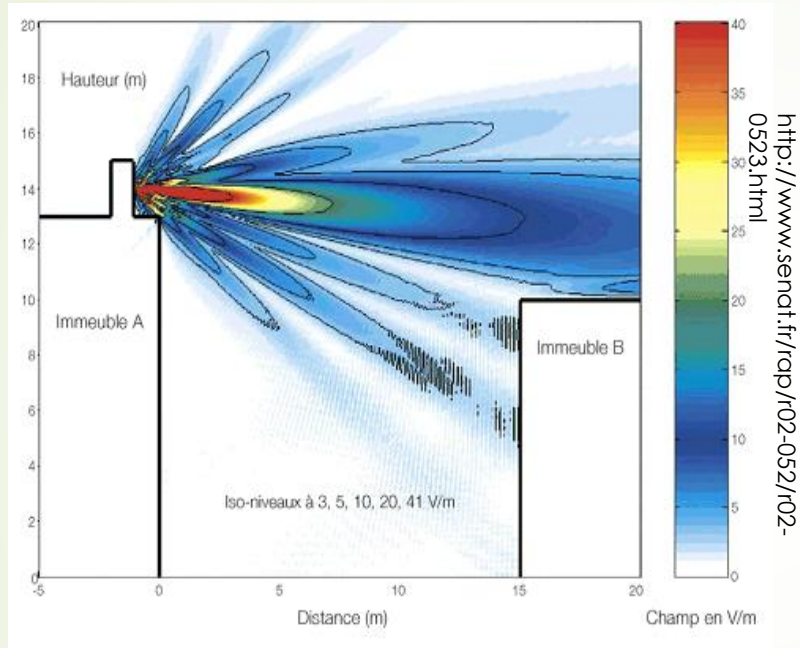
Les ondes de la téléphonie mobile (1)



Les bandes de fréquence concernées (1 à 4 10⁹ Hz)

- Téléphonie mobile **4G** : 700 MHz à 2 400 MHz
- Téléphonie **5G** sur les fréquences de la **4G** (en cours)
- Téléphonie **5G-A** : sur créneau spécifique 3 400-3 800 MHz (en développement)
- Téléphonie **5G-B** : sur créneau spécifique 26 000 MHz (en projet)

L'antenne



Profil d'émission d'une antenne 4G sur un immeuble

Loi en $1/d^2$ pour l'affaiblissement avec la distance

Le téléphone mobile est aussi un émetteur



De 20 cm à 10 m, un facteur de réduction de

$$\frac{1}{2500}$$

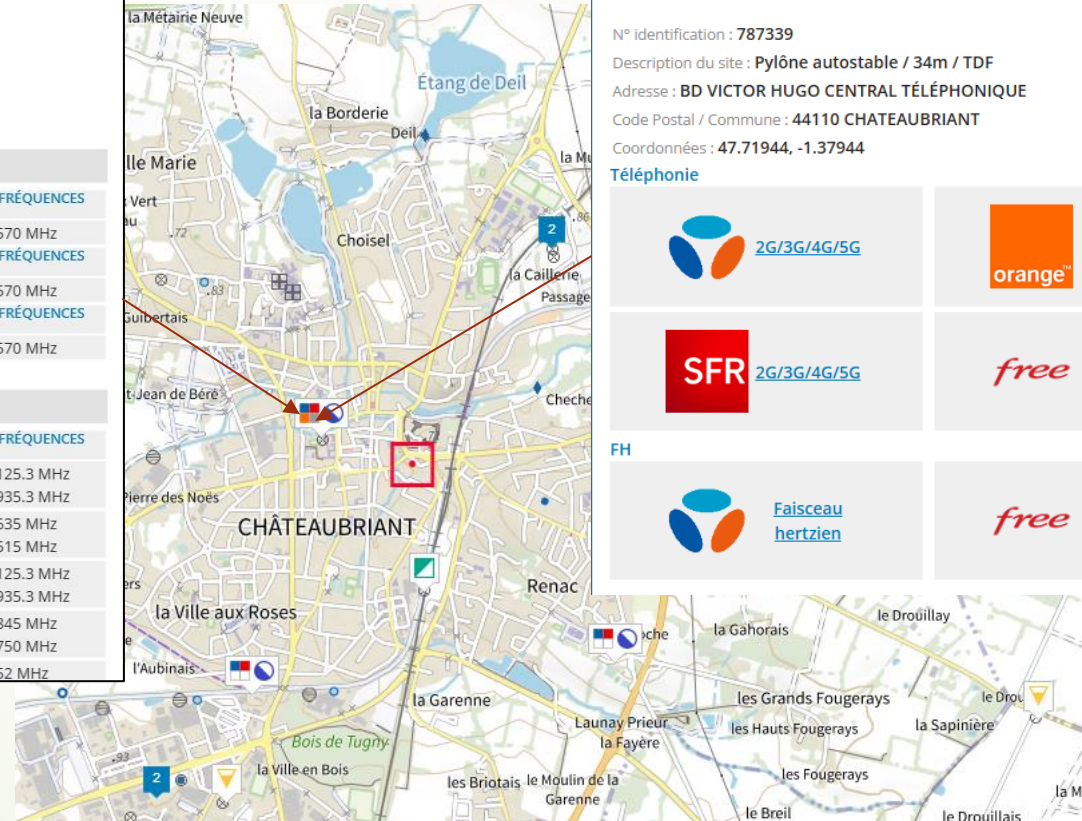
Opérateur : SFR
 Catégorie : Téléphonie
 Adresse : BD VICTOR HUGO CENTRAL TÉLÉPHONIQUE
 Code Postal / Commune : 44110 CHATEAUBRIANT
 Coordonnées : 47.71944, -1.37944

Détail des antennes :

N° de station ANFR : 0442700587
 Date de mise en service : 27/04/2023

HAUTEUR : 24 MÈTRES				
N° ANTENNE	ORIENTATIONS	EMETTEURS	DATES DE MISES EN SERVICE	BANDES DE FRÉQUENCES
7529740	60°	5G NR 3500 (5G)	25/05/2023	3490-3570 MHz
N° ANTENNE	ORIENTATIONS	EMETTEURS	DATES DE MISES EN SERVICE	BANDES DE FRÉQUENCES
7529742	150°	5G NR 3500 (5G)	25/05/2023	3490-3570 MHz
N° ANTENNE	ORIENTATIONS	EMETTEURS	DATES DE MISES EN SERVICE	BANDES DE FRÉQUENCES
7529744	240°	5G NR 3500 (5G)	25/05/2023	3490-3570 MHz

HAUTEUR : 23 MÈTRES				
N° ANTENNE	ORIENTATIONS	EMETTEURS	DATES DE MISES EN SERVICE	BANDES DE FRÉQUENCES
7529746	60°	5G NR 2100 (5G)	27/04/2023	2110.5-2125.3 MHz 1920.5-1935.3 MHz
		LTE 2600 (4G)	27/04/2023	2620-2635 MHz 2500-2515 MHz
		LTE 2100 (4G)	27/04/2023	2110.5-2125.3 MHz 1920.5-1935.3 MHz
		LTE 1800 (4G)	27/04/2023	1825-1845 MHz 1730-1750 MHz
		LTE 800 (4G)	27/04/2023	842-852 MHz









SITE 787339

Détail du site :

N° identification : 787339
 Description du site : Pylône autostable / 34m / TDF
 Adresse : BD VICTOR HUGO CENTRAL TÉLÉPHONIQUE
 Code Postal / Commune : 44110 CHATEAUBRIANT
 Coordonnées : 47.71944, -1.37944

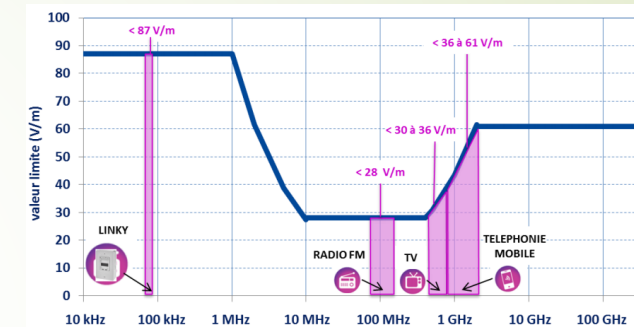
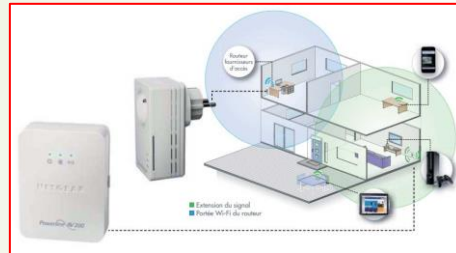
Téléphonie

 2G/3G/4G/5G	 2G/3G/4G
 2G/3G/4G/5G	 3G/4G/5G
 Faisceau hertzien	 free Faisceau hertzien

Carte de Chateaubriant



Principe : CPL (Courant porteur en ligne, utiliser le réseau électrique)



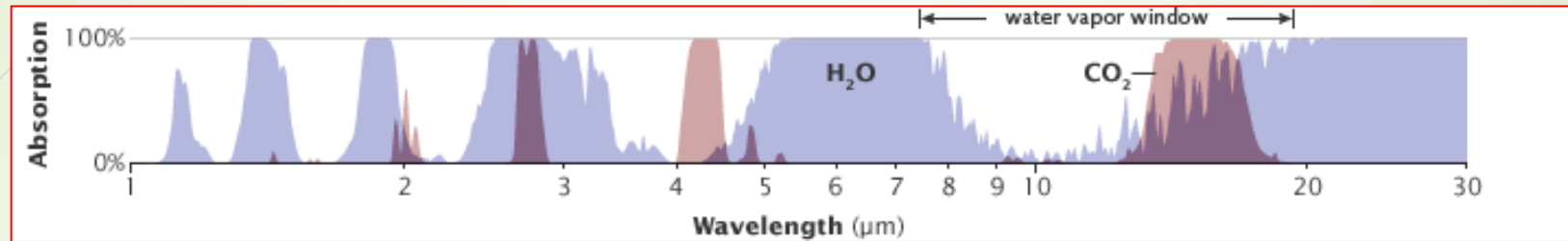
: valeurs limites réglementaires fixées en France par le décret du 3 mai 2002 n° 2002-775

Fréquences CPL: bas débit 10-150 kHz (10^5 Hz)
haut débit 3 à 30 MHz (10^7 Hz)

Longueur d'ondes CPL : 30 à 3 000 mètres

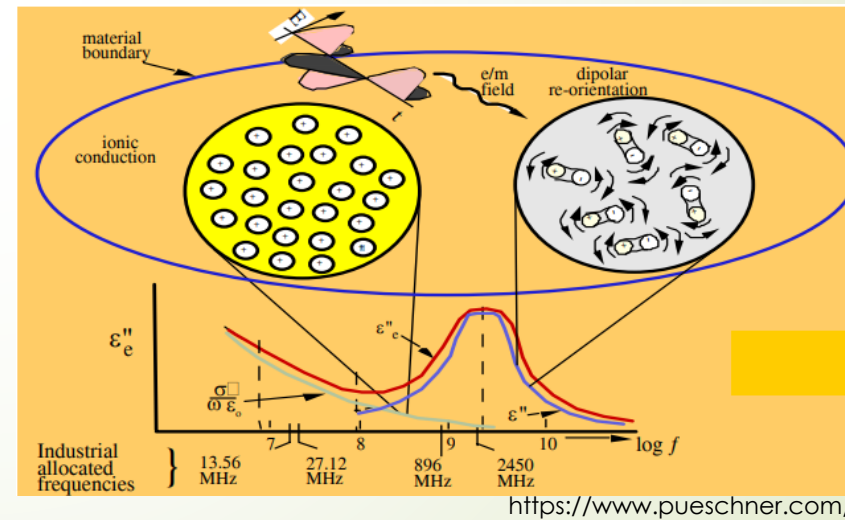
Fréquences Linky: 20-500 kHz (10^5 Hz)
Fréquence de la Radio

Longueur d'ondes Linky : 3 000 mètres

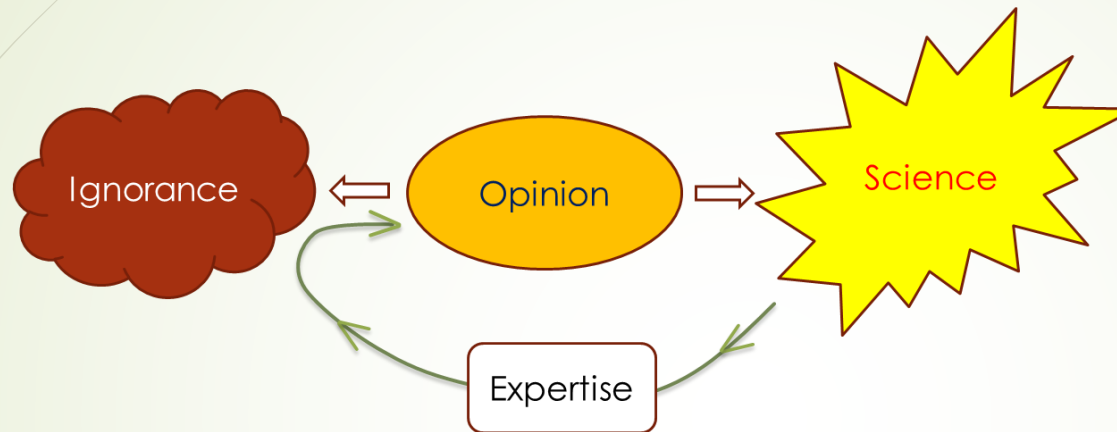


By NASA, Robert Rohde - <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/EnergyBalance>

Le « pic » d'absorption de l'eau
(four à micro-ondes, météorologie)
2,45 GHz



Que disent les expertises ?



L'opinion est quelque chose d'intermédiaire entre la connaissance et l'ignorance (Platon)

« La science elle-même est plus robuste que jamais dans ses démonstrations, prédictions et applications, mais on peut en effet parler d'une crise de **dévalorisation du savoir et de l'expertise** ».

Mathias Girel - Journal du CNRS

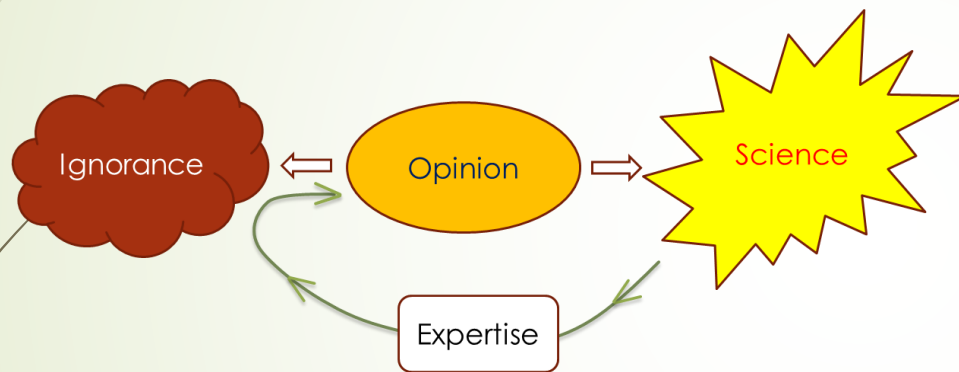
L'expert scientifique : l'« idiot utile » pour conforter ses opinions (croyances) ?

“L'évaluation globale de toutes les recherches sur les champs de Electromagnétiques - Radiofréquences émis par les téléphones mobiles conduit à la conclusion que l'exposition en dessous du seuil thermique est **peu susceptible d'être associée à des effets néfastes sur la santé.**” (ICNIRP “Mobile Phones Radiofrequency - RF EMF”)

« Les conclusions de l'évaluation des risques publiées en 2013 ne mettent pas en évidence d'effets sanitaires avérés. Certaines publications évoquent néanmoins une possible augmentation du risque de tumeur cérébrale, sur le long terme, pour les utilisateurs intensifs de téléphones portables(...).
Des effets biologiques, correspondant à des changements **généralement réversibles** dans le fonctionnement interne de l'organisme, peuvent ainsi être observés, comme dans le cas d'expositions aux différents *stimuli* de la vie quotidienne.
Néanmoins, les experts de l'Agence n'ont pu établir un lien de causalité entre les effets biologiques décrits sur des modèles cellulaires, animaux ou chez l'Homme et d'éventuels effets sanitaires qui en résulteraient » (ANSES 2020)



The screenshot shows a news article from ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire) on the French Republic website. The article title is "5G : pas de risques nouveaux pour la santé au vu des données disponibles". The article features a photograph of a person's hands holding a smartphone in front of a background of 5G mobile phone towers. The article is dated 20/04/2021 and includes social media sharing icons for Facebook, Twitter, LinkedIn, and others.



« Les experts font partie du « système » qui nous ment et nous manipule »



Un site associatif et militant
<http://www.electroprevention.com/>

Ces ondes qui tuent !

Les ondes électromagnétiques artificielles qui nous envahissent de manière exponentielle sont des ondes de mort, des ondes morbides...

Que pèse
 l'avis
 scientifique
 vis-à-vis de
 l'opinion ?

Un site officiel s'appuyant sur des panels de spécialistes

<https://www.anses.fr/fr>

Extrait d'un rapport de 350 pages

On ne peut pas exclure le fait que dans certaines conditions (notamment avec des expositions à des signaux modulés), les radiofréquences :

- puissent favoriser l'oxydation de l'ADN (...). Néanmoins, ces dernières sont souvent de faible ampleur (proche du bruit de fond naturel)
- cependant, **aucun effet pérenne des radiofréquences sur la perte d'intégrité de l'ADN** n'a été mis en évidence à un faible niveau d'exposition
- **aucun effet mutagène ou co-mutagène des radiofréquences n'a été observé ;**
- **aucune donnée ne semble indiquer que l'exposition aux radiofréquences induise de problème de ségrégation des chromosomes lors de la mitose**

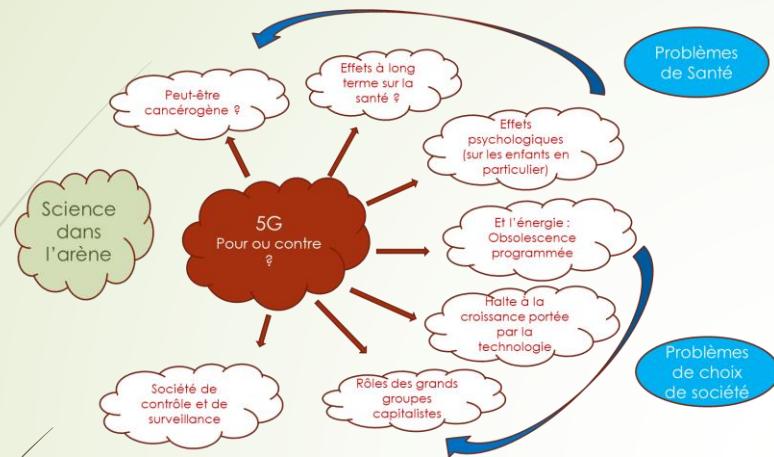


Radiofréquences
 et santé

Mise à jour
 de l'expertise

Avis de l'Anses
 Rapport d'expertise collective

Octobre 2013 Edition scientifique



Pour ou contre la 5G
Surtout un problème de choix de société

« Pas question, après avoir raté le virage des puces électroniques et des Gafa, que l'Europe dépende, en matière de réseaux de téléphonie, d'acteurs étrangers ».
Thierry Breton (Commissaire européen)

« La 5G tue. Non pas à cause des effets des ondes sur la santé humaine. Mais en tant que création artificielle d'un besoin arbitraire aux conséquences dévastatrice ». (Aurélien Barrau)

Quel niveau de la balance avantage ← → risque est acceptable pour l'opinion

- La voiture ?
- Les OGM ?
- Les vaccins anti-covid ?
- La téléphonie mobile ?

Pour aller plus loin sur le thème Science et société

Des vidéo conférences sur la chaîne YouTube :
la Science de Bernie

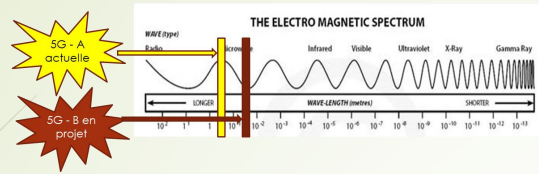


Mon blog <https://un-peu-de-physique.fr/>
Des cours, des ressources...



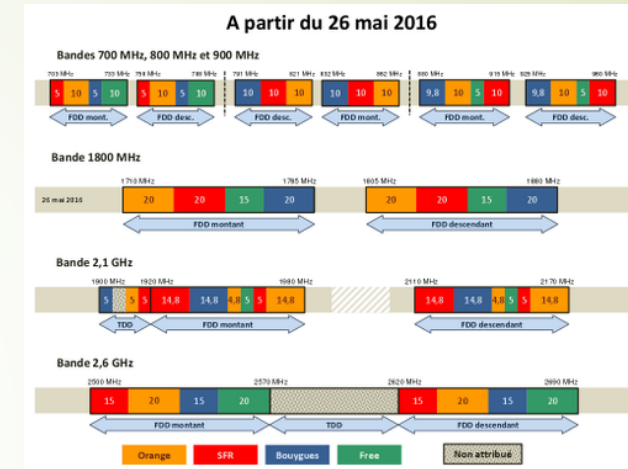
Des cours en ligne ou présentiels à l'Université Permanente de
Nantes : <https://up.univ-nantes.fr/>








Il y a déjà du monde !

- **Alarmes** : 0,87 GHz
- **Bluetooth** : 2,480 – 2,483 GHz
- **Wi Fi** : autour de 2,400 GHz ou de 5,15 à 5,7 GHz
- **Four à micro-ondes** : 2 450 MHz
- **Scanners** d'aéroport, gare, ... : 24-30 GHz



Longueurs d'onde

- **autour de 0,1m** (faible absorption dans l'air ou dans les matériaux de construction)
- **autour de 0,01m** (plus forte absorption dans l'air, dans les matériaux de construction ou dans la matière vivante)

Pour		Contre
Plus grande vitesse de transmission 1Go/s → 10 Go/s		Coûts d'investissement
Temps de Latence /10 → réalité virtuelle (construction, médecine, télétravail, etc..)		Processus et applications encore en développement
Connectivité accrue → Objets connectés		Couverture limitée (faible portée des antennes)
Plus efficace en énergie à débit constant		Problèmes de sécurité et de confidentialité
Efficacité des entreprises → coordination des processus industriels		Zone de fréquences encombrées (cf fréquence de résonance de l'eau, contrôle aérien)

Et l'énergie ?

Le secteur télécom représente environ 3 % de l'énergie consommée dans le monde (2020).



Éléments défavorables	Éléments favorables
Augmentation du trafic	Meilleure efficacité par octet transmis
Multiplication des objets connectés	IoT → objets indépendants très économes
Stations composées d'antennes multiples	Antennes plus sélectives, plus intelligentes (mode veille)
Plus faible portée	Diminution du transport physique de matériel et de personnel