



Ondes GSM, 3G, 4G,...5G et Santé en 2018

Jacques Vanderstraeten, MD, PhD

Membre du Conseil Supérieur de la Santé

Collaborateur de l'Ecole de Santé Publique de l'ULB

Communication réalisée pour le Conseil Economique et Social
de la Région Bruxelloise, en date du 4 mai 2018

Mes conflits d'intérêt

- (aucun)

Mon positionnement dans le débat

- **Motivations**

- Pur intérêt scientifique (ce n'est pas mon gagne-pain)

- **Références**

- Thèse de doctorat (ULB, Ecole de Santé publique)
- Publications (voir sur Pubmed), dont, en radiofréquences :

Vanderstraeten J, Vander Vorst A. 2004. Theoretical evaluation of dielectric absorption of microwave energy at the scale of nucleic acids. Bioelectromagnetics

→ « Best modelization of MW absorption at the microscale I'm aware of » (KR Foster, @upenn.edu)

*Vanderstraeten J, Verschaeve L. 2008. Gene and protein expression following exposure to radiofrequency fields from mobile phones. Environ Health Perspect **

* Journal du NIEH (National Institute of Environmental Health), US (IF = 9,8)

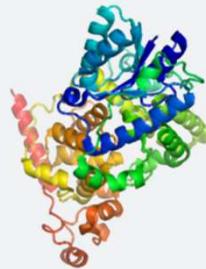
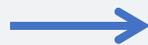
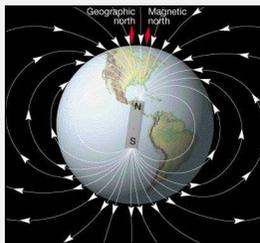
Mes recherches actuelles

- Récente publication

[Vanderstraeten J, Gailly P, Malkemper EP. 2018. Low-light dependence of the magnetic field effect on cryptochromes: possible relevance to plant ecology. Front Plant Sci *](#)

* 1st most cited Journal in plant science

→ Impact du Champ Magnétique terrestre sur la physiologie cellulaire



- Projets de recherche en cours

- Impact du champ géomagnétique sur l'horloge biologique (avec chercheurs de : UCL, U Duisburg-Essen, U Praha, U Wien)

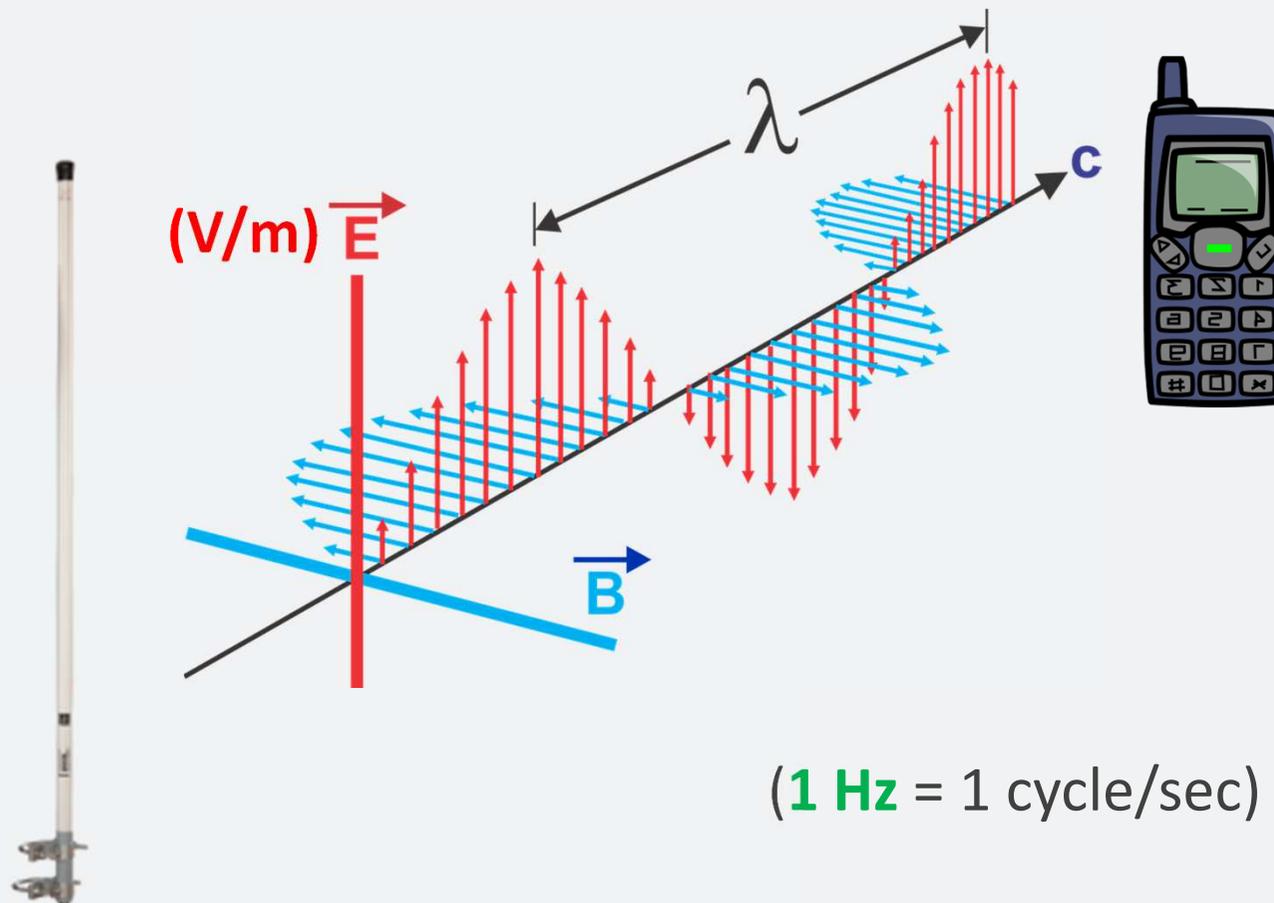
Table des matières

- **Que sont ces ondes électromagnétiques ?**
- **A quoi sommes-nous exposés ?**
- **Comment ces ondes agissent-elles sur le vivant?**
 - Pour quelles intensités des effets sont-ils plausibles ?
- **Quels sont les effets démontrés sur la santé?**
 - Comment émerge une vérité scientifique ?
- **Commentaires sur diverses recommandations**
- **Un mot sur les normes et les enjeux de la 5G**

Que sont les ondes EM et les radiofréquences ?

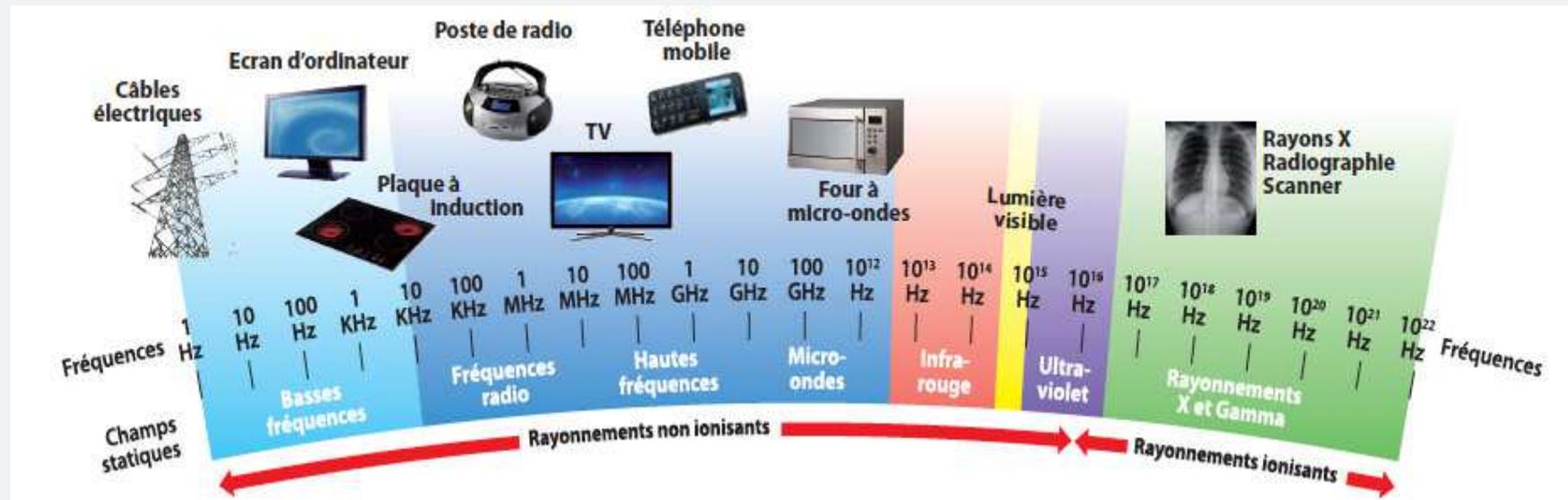
Qu'est-ce qu'une onde EM

- Champs EM rayonnés à une certaine fréquence (*porteuse*)



Champs, ondes, radiations...

- Sources selon les fréquences du spectre EM



©INRS

Champs, ondes, radiations...

- Bruit de fond naturel



La lumière ($\sim 10^{15}$ Hz)

Champs, ondes, radiations...

- Bruit de fond naturel



Une aurore boréale, issue de la rencontre du rayonnement cosmique ($\sim 10^{20}$ Hz) avec le champ magnétique terrestre (0 Hz)

Champs, ondes, radiations...

- Sources en radiofréquences (UHF, + SHF pour la 5G)

400 - 800 MHz



Tetra

900 MHz



TV

1,8 GHz



GSM

GSM
LTE
(4G)

1,9 GHz



DECT

2 GHz

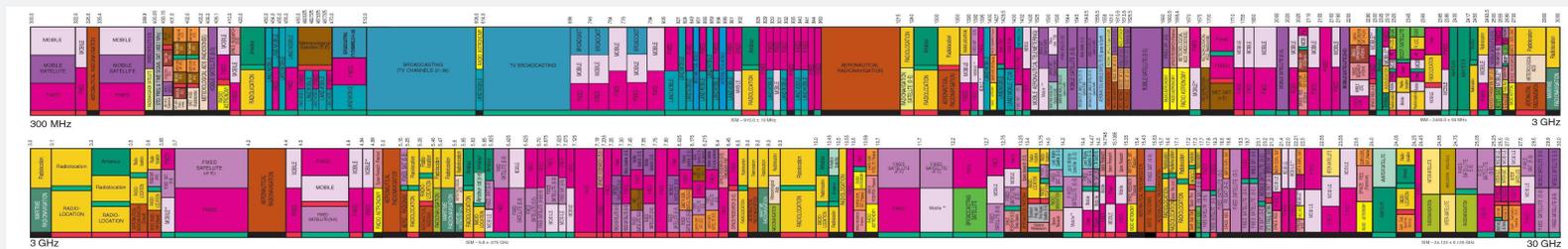


UMTS
(3G)

2,4 GHz



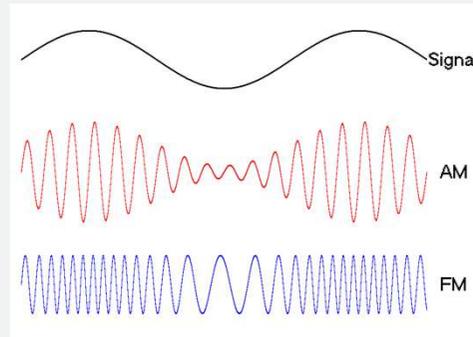
Wifi
LTE
(4G)



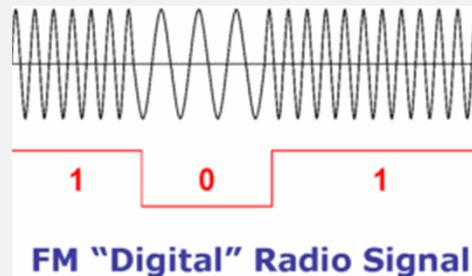
Fonction des radiofréquences

- Transport de signaux convertissables (*modulations*)

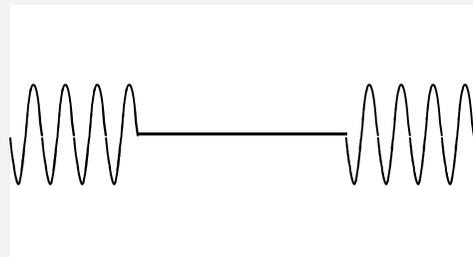
- Analogiques



- Numériques



NB: modulations liées
au partage du canal



Pourquoi la 3G, 4G,... 5G ?

- **Augmentation constante de l'offre-demande (Mbits)**
 - 2005 → 2015 : x 100
 - 2015 → 2025 : x 100 (?)
- **Augmentation de l'efficacité (Mbits/s/W) avec la G**
 - 2G → 4G (LTE) : x 1000
 - 4G → 5G : x 100

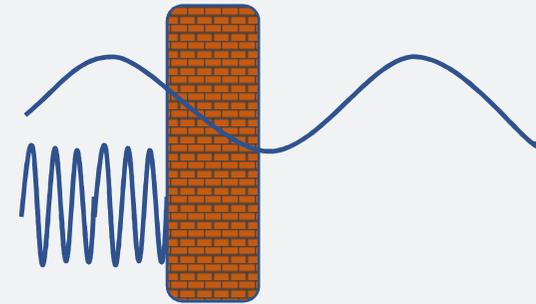
Stockbroeckx B. 2014. 4G et efficacité du rayonnement. Document établi à la demande du Conseil Supérieur de la Santé

Pourquoi des réseaux cellulaires ?

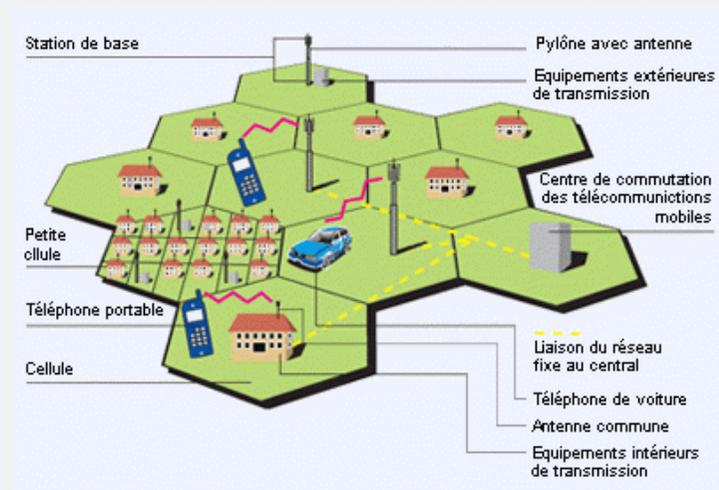
- Absorption par matériaux ↗ avec fréquence

Mur de briques - 900 MHz → 50%

- 1,8 GHz → 80%



→ portée (horizontale) de l'onde ↘ avec fréquence



**Quelle est notre exposition
aux radiofréquences ?**

Comment se définit l'exposition ?

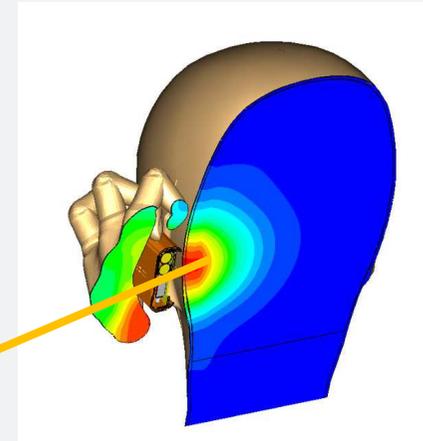
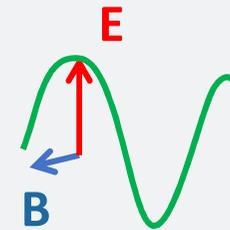
- **Intensité d'exposition**

- Puissance (W/m^2) → \searrow en $1/R^2$
- Champ E (V/m)

- **Intensité reçue**

- Débit d'absorption spécifique (**SAR**, en W/kg)

$$\text{SAR} \sim \text{Puissance} \sim E^2$$



- **Normes***, recommandations, en vigueur (à 900 MHz)

- ICNIRP, OMS : $41,2 \text{ V/m}$ ($0,08 \text{ W/kg}$)
- Flandre / Italie : $20,6 \text{ V/m}$ / 20 V/m (= ICNIRP \div 4)
- BXL : 6 V/m (= ICNIRP \div 50)
- Paris (charte) : 5 V/m
- Suisse : 4 V/m (= ICNIRP \div 106) (*pays démocratiques)

Notre exposition au quotidien

- **Bruit ambiant urbain (indoor-outdoor)**

- 0,007 - 0,7 V/m (*Review IARC 2013*) (< 0,00005 W/kg)



- **Usage GSM, smartphone contre la tête**

- Exposition équivalente : 50 à 400 V/m
(0,1 à 1,2 W/kg)



- **Divers**

- Téléphone sans fil (DECT) : < 0,1 W/kg
- Laptop sur les genoux : 0,1 à 0,4 W/kg
- Wifi, compteur intelligent : < 1 V/m à 1 m



Un mot sur l'électrosmog

- **3 V/m + 3 V/m \neq 6 V/m**

- **Puissance $\sim E^2$**

\Rightarrow Champ E résultant = $(3^2 + 3^2)^{1/2} = 4,2 \text{ V/m}$

- **Fréquences, phases, polarisations diverses**

➤ Non correspondance dans le temps/l'espace des maxima et minima respectifs

\Rightarrow Champ E résultant $< 4,2 \text{ V/m}$

Ex: une campagne de mesures dans la bande UHF élargie

- Total calculé = **1,2 V/m**

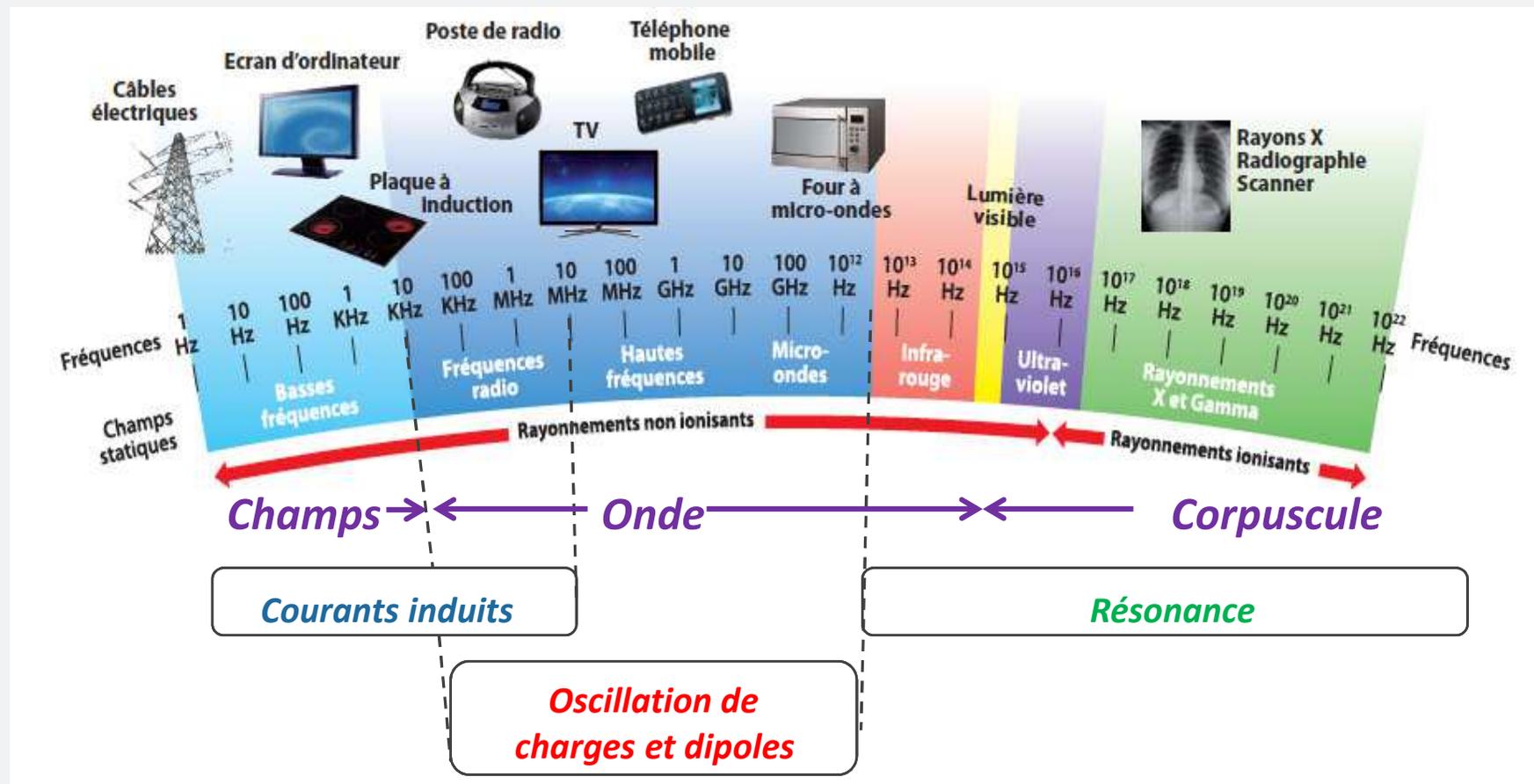
- Total mesuré = **0,7 V/m**

Joseph W, Martens L. 2009. Rapport voor Milieu en Gezondheid

**Comment les radiofréquences
agissent-elles sur le vivant ?**

Champs, ondes, radiations...

- Nature des interactions selon les fréquences

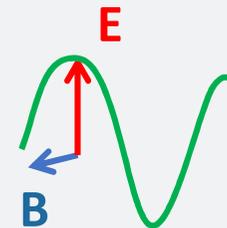


Focus sur les radiofréquences

- Les acteurs des interactions avec le vivant

- L'onde EM et ses composants

- Champ électrique
- Champs magnétique
- Fréquence(s)



NB: Champ magnétique = négligé car...

pour 1 V/m in tissues $\rightarrow B \sim 20 \text{ nT}$ (à 1 GHz)

$$\rightarrow J_i(B_{r \leq 1 \text{ cm}}) < J_i(E)$$

Fréquence(s) de l'onde

- **La porteuse (1 GHz,...)**

- Energie intrinsèque ?

- **Négligeable** (1 GHz $\sim 10^{-6}$ eV, 10^{-4} kT, 10^{-4} E_{H-bond})

- Absorption résonante ?

- **Non** (uniquement > 150 GHz)

- Autre impact ?

- **Oui** (dépassement mobilité H₂O ≥ 1 GHz)

- **Les fréquences de modulation (basses)**

- Impact possible ?

- **Non** car - non linéarités ! < 10 MHz

- Atténuation de puissance +++ ($\sim f_{\text{mod}}/f_{\text{porteuse}}$)

Sheppard AR, Swicord ML, Balzano Q. Health Phys. 2008 Oct;95(4):365-396

Le champ électrique

- **Pénétration**

- 1 GHz → ~ 40 % de la puissance de l'onde pénètre

- pour 1 V/m incident → ~ 0,6 V/m sous la surface
~ 0,2 V/m à 3 cm de prof.

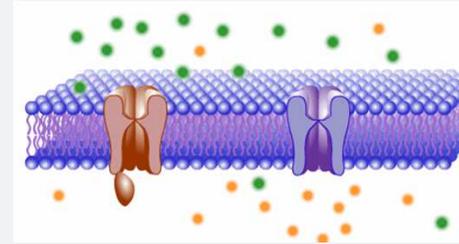
- **Interactions ?**

- Non thermiques : effets directs sur charges et membranes
 - Thermiques : conversion En. électrique → En. thermique

Le champ électrique

- Effets non thermiques

- Contraintes - d'intensité
- de temps



- Action sur potentiel transmembranaire (cellule)

- 1 V/m → < 0,1 μ V (\ll Bruit naturel) dès \geq 100 MHz
- 1 GHz → 1 oscillation en 1 ns (\lll Tps réponse canal TM)

- Action sur charges libres (ions) et liées (dipôles)

- 1 V/m → oscillation ions $\sim 10^{-7}$ m/s (\lll mvt brownien)
- 1 GHz → seule H₂O peut encore suivre les oscillations de E

Sheppard AR, Swicord ML, Balzano Q. Health Phys. 2008 Oct;95(4):365-396

Le champ électrique

- Effets thermiques

- Oscillation de charges

- Libres (ions) → ~ agitation T° (effet Joule)

- Liées (dipôles, multipôles) : H_2O

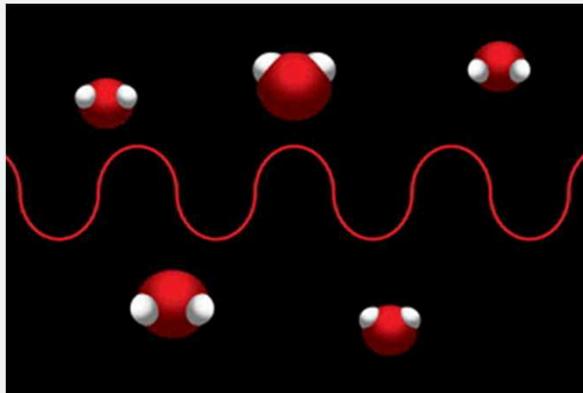
- $< 100 \text{ MHz}$ → oscillation en phase

- ➔ conservation champ E

- $\geq 1 \text{ GHz}$ → déphasage croissant

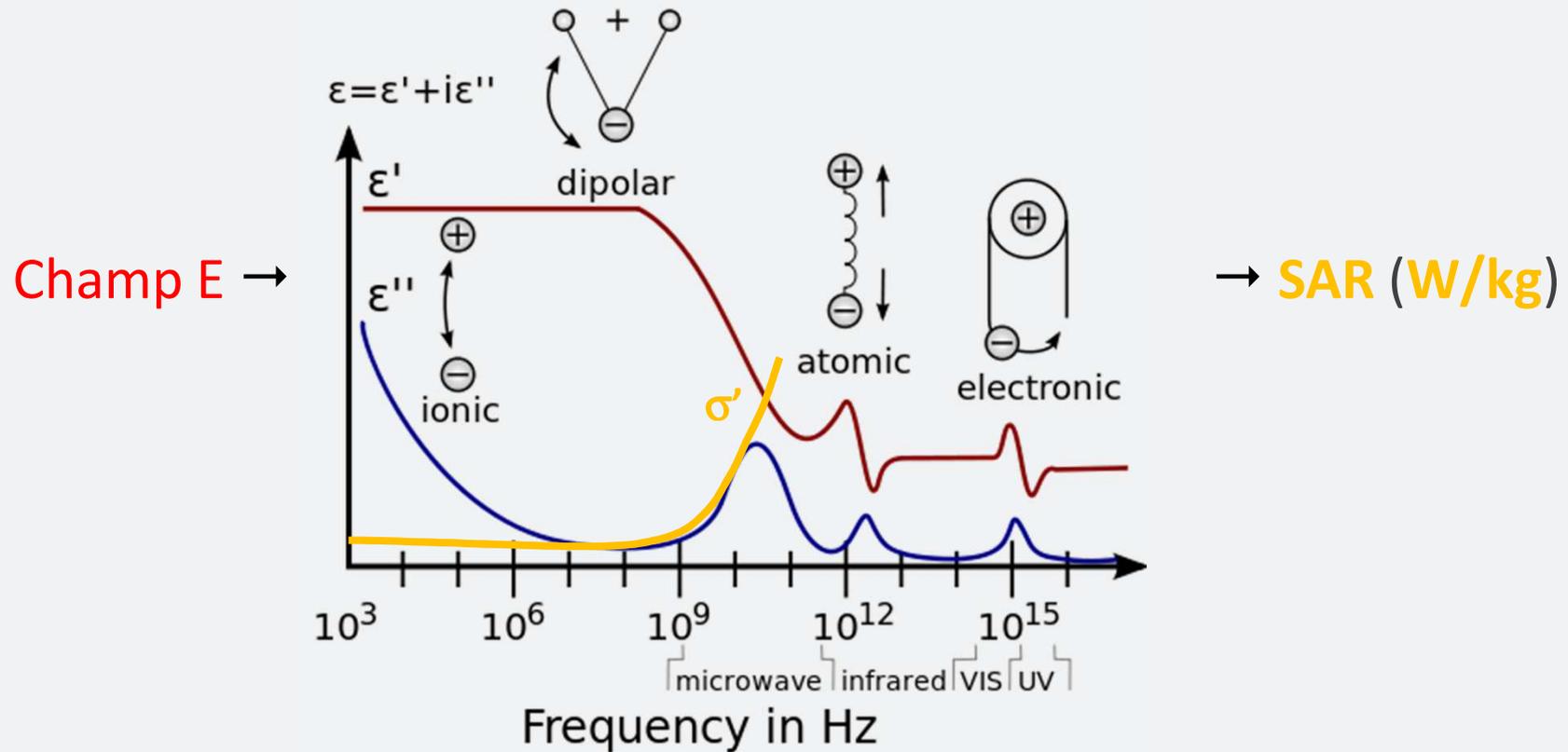
- ➔ dissipation (**absorption**)

- de l'énergie EM (max ~ 20 GHz)



Le champ électrique

- Absorption diélectrique de l'onde EM (effet T°)



Le champ électrique

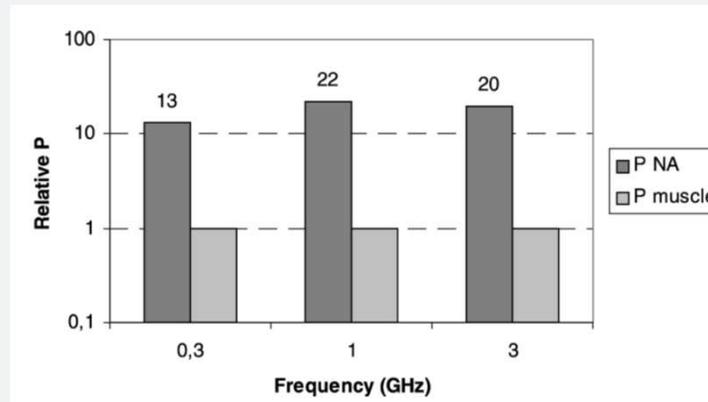
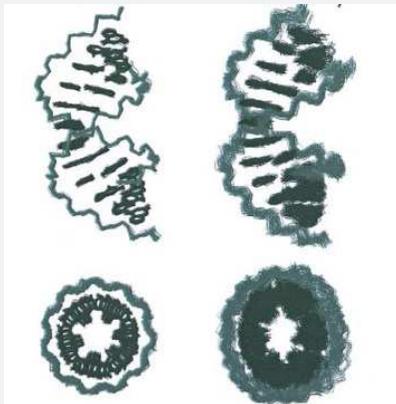
- Question en suspens

Quid de l'absorption préférentielle aux interfaces moléculaires

⇒ *Microwave-assisted chemistry* :

Pour une même ΔT° , cinétique de réaction chimique ↗

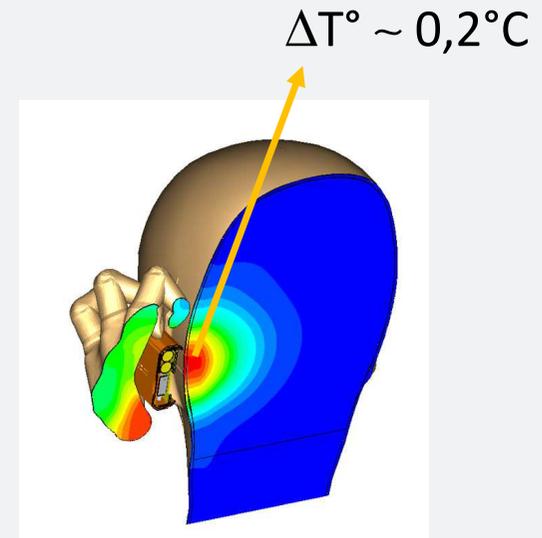
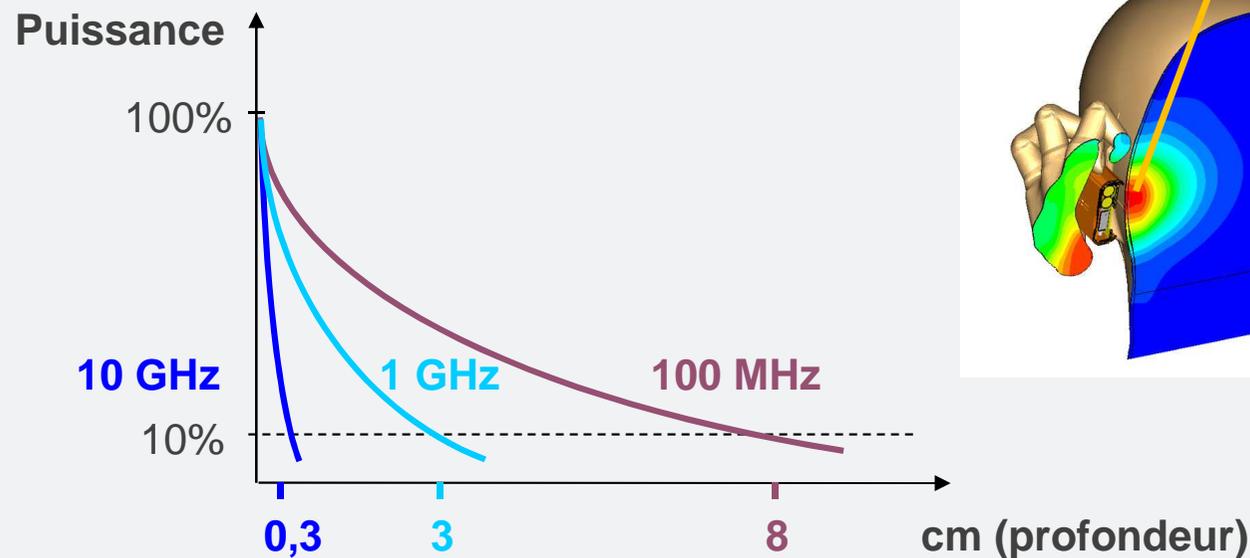
- Absorption diélectrique à l'interface de l'ADN



Vanderstraeten J, Vander Vorst A. 2004. Bioelectromagnetics 25:380-389.

Conséquences de l'absorption des RF

- Thermalisation de l'énergie EM
 - ⇒ Echauffement tissulaire (\geq W/kg)
- Pénétration ↘ avec la fréquence



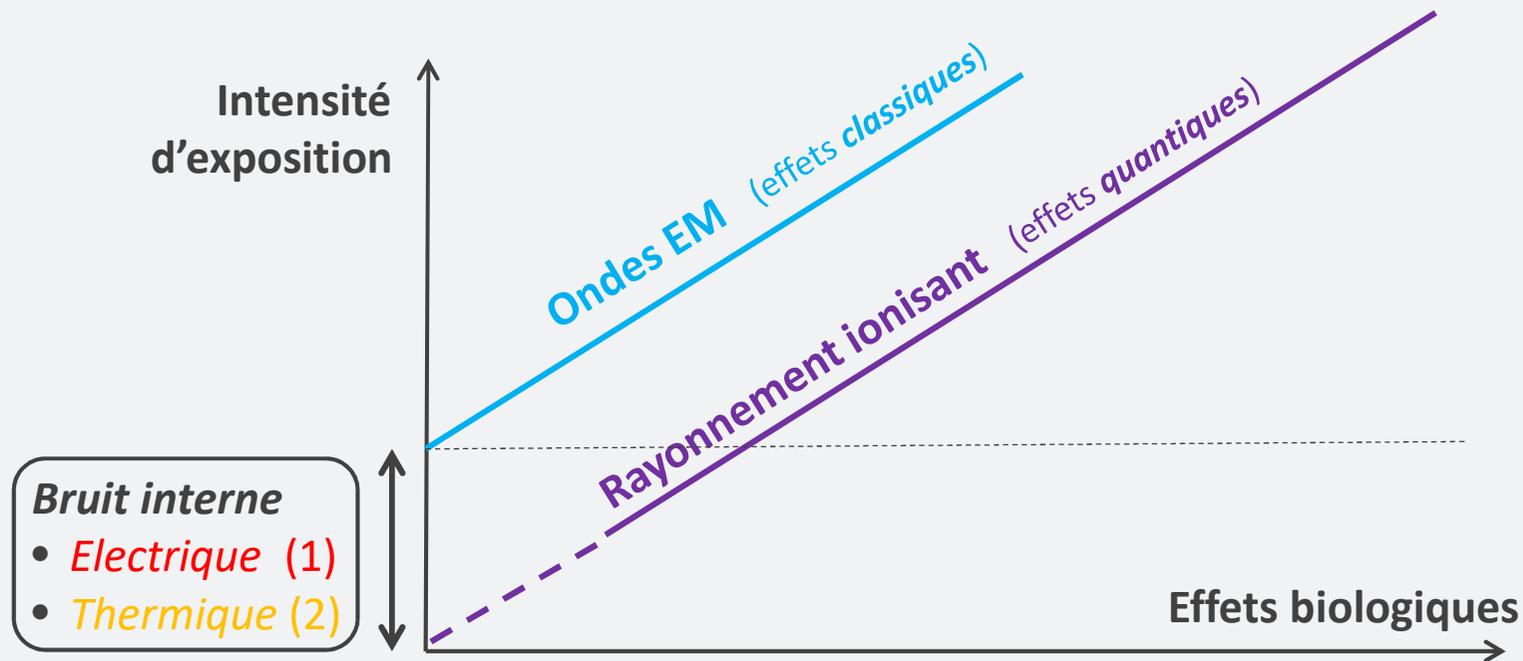
Autres mécanismes ?

- **Ont été proposés (non validés)**
 - Microthermal effects and “hot spots” (Non vu conductivité T°)
 - Interatomic molecular resonances (! NH₃ à 24 GHz)
 - Electron tunneling (impact ! > 100 W/kg)
 - Radical pair mechanism (! Cryptochromes, ! > 0,1 μT et < 10 MHz)
 - Raman and Brillouin effects (! > 100 GHz)
 - Coherent detection by many oscillators (! > 1 THz)
 - Anomalous energy diffusion via normal modes (! > 300 GHz, ou + 50°C)
 - Population inversion and masers (! > 100 GHz, et > kT)
 - Non-equilibrium dynamical effects (! En basses fréquences)
 - Nonlinear molecular energy transfer (solitons) (! > 0,2 eV)
 - Changes in integral membrane proteins by external E fields (! > 10⁶ V/m)
 - Etc...

Sheppard AR, Swicord ML, Balzano Q. Health Phys. 2008 Oct;95(4):365-396

En résumé

- Nécessité de surpasser le « bruit interne »



(1) $\gg 1$ kV/m à 1 GHz (Sheppard & Balzano, 2008, Health Phys)

(2) De l'ordre du W/kg : 1, 2, 3, 4 (ICNIRP) ?

Effets des radiofréquences sur la santé

Ils guident les recommandations

- Mais pourquoi de telles disparités ?

41,2 V/m (1) ← ICNIRP, OMS

3 V/m (1/200) ← Conseil Supérieur de la Santé

0,6 V/m (1/4.700) ← Appel de Paris (Dr Belpomme)

0,2 V/m (1/42.000) ← Académie Eur. De Méd. Environ.

- Mêmes bases (littérature scientifique) !
- Mais lecture / interprétation variables
- Et application - de facteurs de sécurité variables
- de critères parfois originaux

Un mot sur le paysage scientifique

- **Nombre de publications +++**
 - Nombre d'auteurs
 - Nombre de journaux
- **Complexité croissante des outils d'étude**
 - Exposition aux RF
 - Outils d'analyse
 - Interprétation des résultats
- **Diversité des conflits d'intérêt**
 - Financement par l'industrie → résultats (-)
 - Faire tourner son labo → résultats +
 - Flatter son ego → résultats +

Nombre de publications, historique

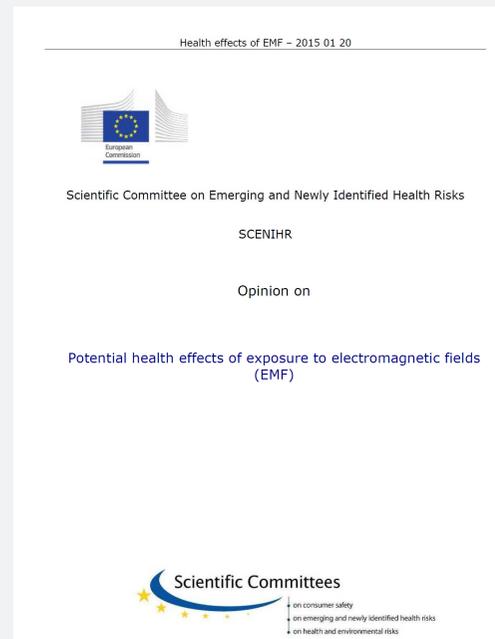
- **1982** : 1° étude sur les effets bio des **micro-ondes**
- **1995** : 1° étude sur les effets des **RF** sur les **rongeurs**
 - ⇒ **2018** (Pubmed) : - RF & DNA : **100** études
- RF & rongeurs : **239** études
- **2002** : 1° étude sur *l'hypersensibilité* aux RF
 - ⇒ **2012** : déjà **63** études (50 Hz inclus)
- **2003** : 1° étude sur l'impact des stations de base
 - ⇒ **2013** : déjà **10** études
- **2005** : 1° étude du lien téléphone mobile - cancer cérébral
 - ⇒ **2017** : **11** études (13 pays)
- **EMF Portal** : Recensement de toutes les études publiées
 - ⇒ **Nov 2017** : **3559** études expérimentales et épidémiologiques (RF)

Donc, le problème actuel...



Comment extraire la vérité

- **Nécessité de référer à**
 - Revues critiques par spécialistes
 - Méta-analyses par spécialistes (multidisciplinaires)
 - Mises au point par groupes d'experts multidisciplinaires nationaux et internationaux



Effets des RF en laboratoire

Effets des RF observés en labo

- **Etudes expérimentales**

- *In vitro* (ADN, Cellules, ...)
- *In vivo* (rongeurs, volontaires humains)

- **Etudes animales !**

- ⊕ Etude des effets d'une exposition ***globale, vie-durant***
- ⊖ Incertitudes liées à extrapolation à l'Homme
- ⊖ Modèle animal inexistant pour certaines maladies

Effets des RF sur les rongeurs

- **Protocoles généralement utilisés**

- Exposition : $\geq 0,5$ à 1 W/kg , $\geq 10\text{h}/24$
- Objet d'étude : cancers, tumeurs diverses



- **Résultats à ce jour**

- En général : Rien pour ≤ 1 à 4 W/kg
Gezondheidsraad (NL), 2016, Mobile phones and cancer
- Etude récente du NTP (US) : \nearrow Risque* (?) $\geq 1,5$ à 3 W/kg
(*Tumeurs diverses, dont *gliome*, et *neurinome* vestibulaire)

Wyde et al, 2018, Report of partial findings from the National Toxicology Program Carcinogenesis Studies of Cell Phone Radiofrequency Radiation in Hsd: Sprague Dawley® SD rats (Whole Body Exposure)

Effets des RF chez l'Homme

- **Fonction cérébrale (EEG, IRM fonctionnelle)**

→ Absence d'effets significatifs en aigu pour une exposition « non thermique »

Zhang et al. 2017, Bioelectromagnetics 38:329-338

- **Divers (*in vivo* et *in vitro*)**

→ Absence d'effets démontrés à ce jour pour une exposition « non thermique » sur :

- ADN et développement
- Système reproducteur mâle et femelle
- Système immunitaire
- Fonctions auditives

ANSES (F), 2016, Exposition aux radiofréquences et santé des enfants

Effets des RF à proximité des stations de base

Etude des populations riveraines

- Quelques études rapportent effets divers

- Cancer
- Symptômes divers, non spécifiques

- Problèmes

1. Exposition effective = ????? (cf. réflexion, diffraction)
2. Facteurs confondants ++ (autres expositions...)
3. Exposition urbaine en RF $< 1 \text{ V/m}$ ($< 0,00005 \text{ W/kg}$)
→ mécanisme = ??



Electrosensibilité et RF

- **Prévalence**

- ??

- **Un constat**

- Souffrance réelle des sujets

- **Difficultés**

- Absence de systématique (pattern) des plaintes

- Lien proposé par le sujet lui-même

- Intensités d'exposition incriminées $< 1 \text{ V/m}$ ($\text{SAR} \llll \text{W/kg}$)

- Extension éventuelle vers les 50 Hz (or interactions \neq RF)



ANSES (F), 2018, Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques

Electrosensibilité et RF

- **Données de la littérature**

- Pas d'objectivation à ce jour par études de perception ou de provocation (y compris pour **SAR ~ W/kg**)

ANSES (F), 2018, Hypersensibilité électromagnétique ou intolérance environnementale idiopathique attribuée aux champs électromagnétiques

- Corrélation avec - distance mesurée (-)
- distance perçue ⊕

Baliatsas et al, 2015, Int J Hyg Environ Health (très large étude, NL)

- Impact de la perception du risque (médias)

Bräscher et al. 2017, Environ Res

Usage du téléphone cellulaire et tumeurs cérébrales

Téléphone mobile et tumeurs cérébrales

- C'est LA question de santé publique

car...

- Intensité de l'exposition

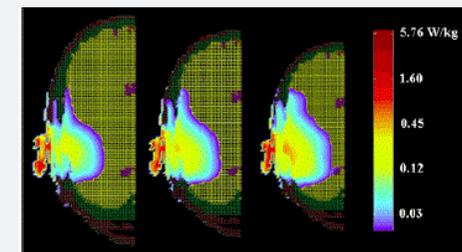
- Proche des niveaux à risque possible (0,1 à 1,2 W/kg)
- Très supérieure au bruit urbain (< 0,00005 W/kg)

- Prévalence de l'exposition

- Tout le monde → même une faible ↗ du risque serait significative !
- Et les **enfants** → seraient plus à risque que les adultes !

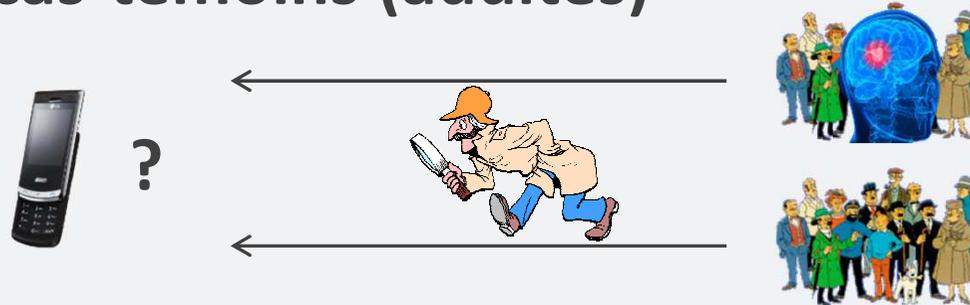
- Cerveau en DVPT
- Exposition cumulée plus importante
- Exposition relativement plus élevée

Gandhi et al. IEEE Trans MTT 1996



Téléphone mobile et tumeurs cérébrales

- Etudes cas-témoins (adultes)



⇒ ≥ 30 min/j, ≥ 10 ans → Risque - gliome x 1,4 (?)
- neurinome acoustique ↗ (?)

Mais... - études cas-témoins (biais et erreurs)
- exposition effective des sujets = ?
- ~~∩~~ relation dose-effet

Mais... - délai > 15 – 20 ans

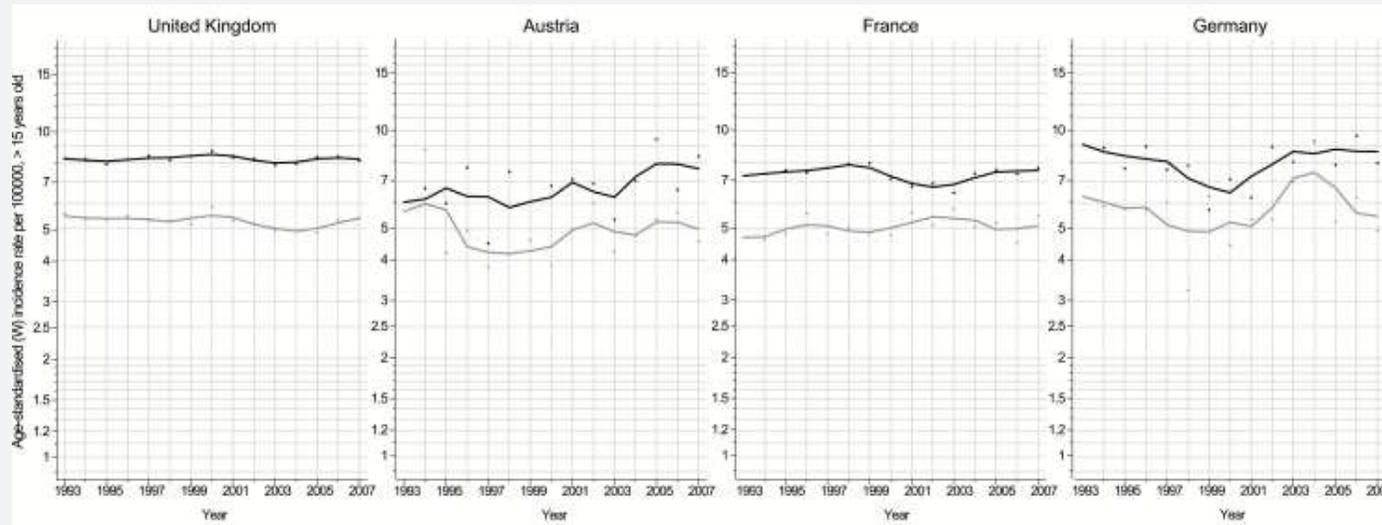
*Gezondheidsraad (NL), 2016
Mobile phones and cancer*

NB: **Etude Mobi-Kids** (bientôt publiée) : enfants et ados (10-25 ans) → RAS

→ **IARC (2011)** : *RF mobile phones = class 2b*

Téléphone mobile et tumeurs cérébrales

- On attend les résultats de...
 - Etudes de suivi (en cours) d'utilisateurs
 - *Cosmos study* (Dk, Fin, F, S, UK, NL : 290.000 utilisateurs)
 - Etudes de tendance



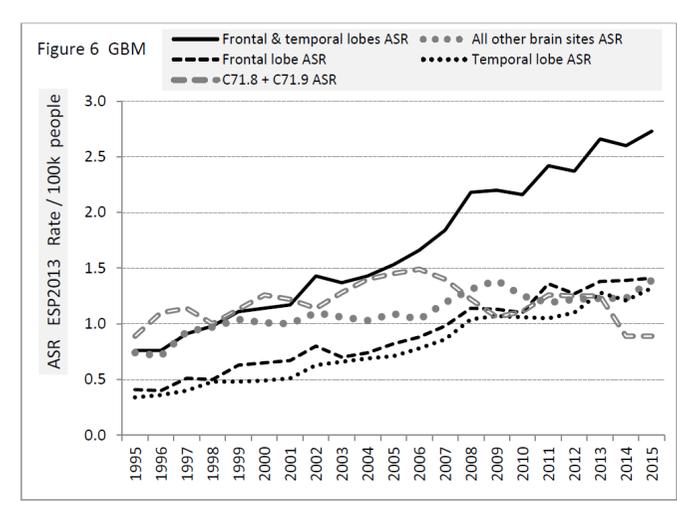
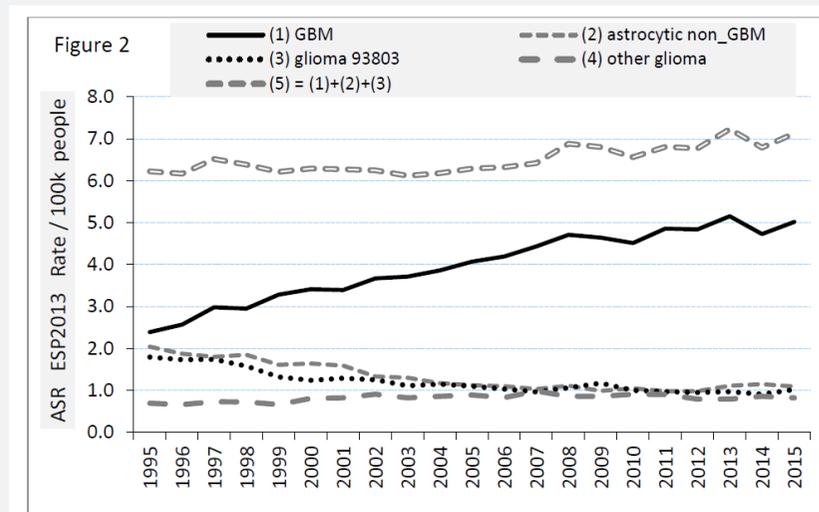
Pays européens, tous cancers cérébraux, 1993 - 2007

Miranda-Filho et al, (IARC), 2017, Neuro Oncol

Téléphone mobile et tumeurs cérébrales

- Une récente étude de tendance

- Accroissement de l'incidence des glioblastomes



Grande-Bretagne, Cancers cérébraux, 1995 - 2015

Philips A et al, 2018, J Environ Public Health

ⓘ Implication des téléphones cellulaires ??

→ P-ê si les RF sont *promotrices* (pas si elles sont *inductrices*)

Normes en toxicologie

Quels enjeux pour la 5G ?

Un mot sur les « normes »

- **Niveaux recommandés en toxicologie chimique**
 1. Plus bas niveau d'intensité identifié comme étant à risque dans les études scientifiques (**LOEL**), ou plus haut niveau pour lequel aucun effet n'est démontré (**NOEL**)
 2. Application d'un facteur de sécurité qui tient compte (selon le cas) des incertitudes liées à l'extrapolation
 - de l'animal à l'Homme ($\div 10$)
 - du court terme au long terme ($\div 10$)
 - de la population saine à la population fragile ($\div 10$)
 3. Calcul du niveau d'intensité à ne pas dépasser
 \Rightarrow **LOEL** ou **NOEL** $\div 10$, 100 ou 1000 (selon le cas)

Les enjeux sanitaires de la 5G

- **Ajout aux systèmes existants (GSM, 3G, 4G)**
 - ⇒ ↗ Intensité globale de l'électrosmog
(+/- compensée c/o technologie *Smart Antennas*)
- **Utilisation de fréquences plus élevées**
 - ⇒ ↘ profondeur de pénétration (25 GHz → 1 mm)
et concentration de l'absorption en surface
 - ⇒ Nouvelles questions de santé (?)