

Champs et ondes GSM et Santé

Dr Jacques Vanderstraeten*

Présentation donnée à l'occasion de la Journée d'étude et de réflexions:

Définition de recommandations pour l'implantation des antennes de téléphonie mobile
en Région Wallonne

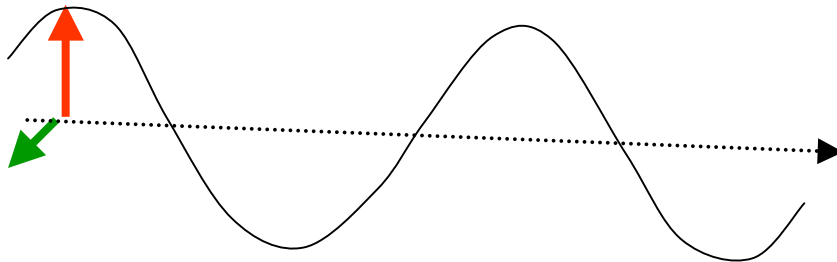
Namur, Palais des Congrès, 8 octobre 2008

Ministère wallon en charge du développement territorial
Fédération Inter-Environnement Wallonie

* Commission Environnement, Société Scientifique de Médecine Générale,
Collaborateur scientifique, Unité de recherche en Santé au travail et en Toxicologie
environnementale, Ecole de Santé Publique, Université Libre de Bruxelles,
Commission Rayonnements non ionisants du Conseil Supérieur de la Santé

1. Quelques définitions

1.1. Champs et ondes

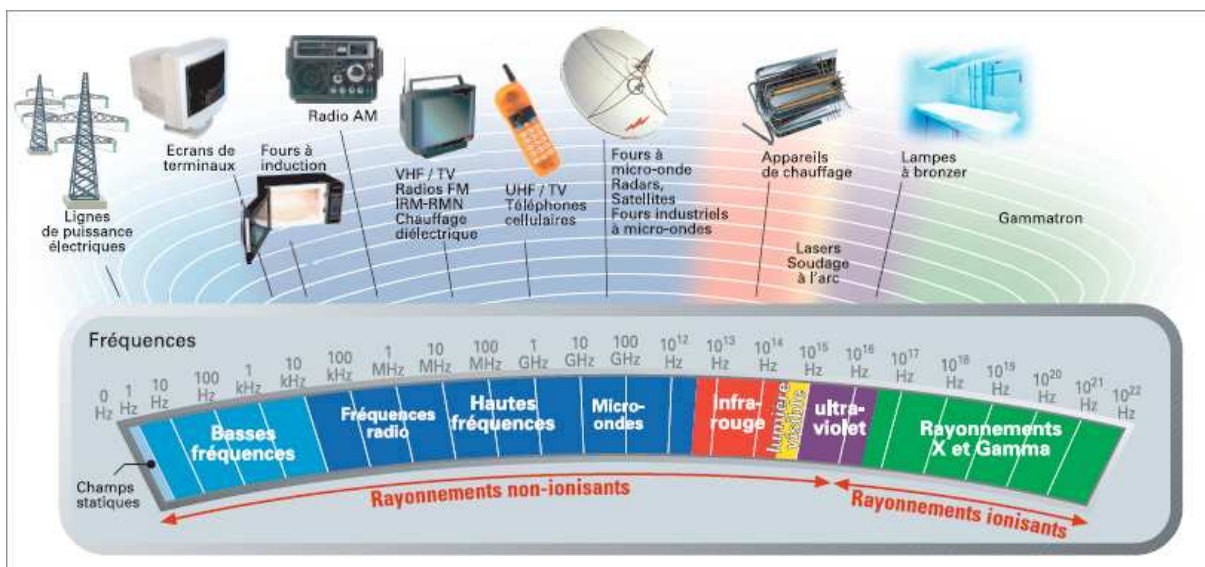


L'onde électromagnétique est constituée des champs électriques (E) et magnétiques (H) dont l'alternance dans le temps assure la propagation de celle-ci par l'induction mutuelle de ces champs.

La grandeur du champ E en un point, exprimée en volts par mètre (V/m), suffit à caractériser l'intensité de l'exposition, en tout cas en situation dite de "champ lointain" (représentative de l'exposition aux antennes GSM en général).

Pour les ondes GSM, la fréquence d'alternance des champs, exprimée en hertz (HZ ou nombre de cycles par seconde), se situe dans le bande des radiofréquences et plus précisément des micro-ondes, soit entre 300 mégahertz (MHz ou millions de cycles par seconde) et 300 gigahertz (GHz ou milliards de cycles par seconde).

1.2. Le spectre électromagnétique



Source: <http://www.sante-environnement-travail.fr>

Les micro-ondes font partie des rayonnements dit "non ionisants" car l'énergie intrinsèque de l'onde est insuffisante que pour causer le processus d'ionisation ou éjection d'un électron de l'orbite d'un atome ou d'une molécule. Ce processus existe à partir des fréquences de l'ultra-violet lointain et est susceptible de générer des dommages structurels à la matière vivante avec risque consécutif de cancérisation ou de malformation dans le cas du fœtus.

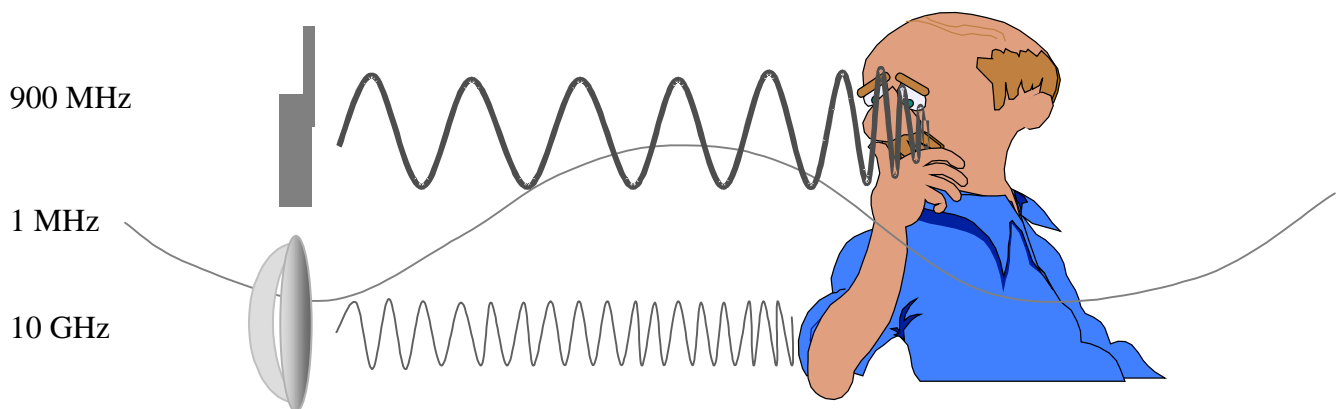
1.3. La bande UHF des micro-ondes

Les fréquences micro-ondes font plus précisément partie de la bande dite "UHF" ou Ultra High Frequency des radiofréquences, soit entre 300 MHz et 3 GHz. La longueur d'onde y est comprise entre 1 m et 10 cm, soit proches de nos dimensions humaines, ce qui n'est pas sans rapport avec l'absorption plus particulière de l'énergie des rayonnements dans cette gamme particulière de fréquence.

Dans le cadre de la question des possibles effets sur la santé de l'exposition aux micro-ondes, il faut en principe tenir compte de toute exposition confondue dans la bande UHF, à moins de considérer des effets tout-à-fait spécifiques aux micro-ondes de la téléphonie mobile. Les applications courantes qui utilisent cette bande de fréquence sont: le réseau Astrid (400 MHz), la TV analogique (≥ 45 MHz) et numérique (jusqu'à 800 MHz), les systèmes GSM 900 et 1800 (autour de 900 et 1800 MHz), le téléphone sans fil (DECT: autour de 1900 MHz), l'UMTS (+/- 2.000 MHz ou 2 GHz), le Wifi (2,4 GHz) et l'Internet par ondes (Wimax: 3,5 GHz).

2. Impact des micro-ondes sur la matière vivante

2.1. Pénétration des micro-ondes GSM



Un impact sur la santé est possible s'il existe une pénétration significative des ondes dans nos tissus. Ainsi, nous sommes "transparents" ou presque aux quelques MHz du radio-amateur, par exemple, ce qui n'exclut cependant pas des effets biologiques possibles au-delà d'une certaine intensité d'exposition via des courants induits. Dans la bande UHF (dont nos ondes GSM), une pénétration existe dans les premiers centimètres. Enfin, aux fréquences plus élevées, la pénétration diminue et n'est plus que de quelques millimètres pour les 10 GHz des faisceaux hertziens (paraboles pour liaisons à distance entre antennes GSM), par exemple.

2.2. Transformation de l'énergie de l'onde en énergie thermique

L'interaction des micro-ondes avec la matière vivante est essentiellement caractérisée par celle du champ E avec les éléments chargés (les ions) et polarisés (l'eau) qui existent dans nos tissus et sont au moins partiellement mobiles à ces fréquences. Ainsi, aux fréquences UHF, l'oscillation du champ E cause-t-elle des mouvements oscillants des particules chargées et des mouvements rotatoires des molécules d'eau, ces dernières ne parvenant par contre plus à "suivre le rythme" de l'alternance du champ à partir de ces fréquences (il ne s'agit donc pas d'un quelconque phénomène de "résonance" de l'eau, mais bien d'un phénomène de "pertes diélectriques"). Il s'ensuit des phénomènes de collision et de friction entre molécules, responsables d'une transformation de

l'énergie électromagnétique en énergie thermique et donc d'un échauffement des tissus au-delà d'une certaine intensité d'exposition.

Ainsi, du fait de cette transformation de l'énergie, la dose reçue s'exprime par la densité spécifique d'absorption ou SAR (Specific Absorption Rate), en watts par kilo (W/kg). Cette dose est directement proportionnelle à l'intensité d'exposition exprimée en densité de puissance (W/m^2), elle-même proportionnelle à la puissance au carré du champ E :

- Si $E = 10 \text{ V/m}$ ($\sim 0,35 \text{ W/m}^2$ en champ "lointain") $\rightarrow \text{SAR} \sim 0,005 \text{ W/kg}$ (sur 10 grammes)
- Si $E \times 2$ (densité de puissance en $W/m^2 \times 4$) $\rightarrow \text{SAR} \times 4$

A noter que c'est précisément l'absorption croissante de l'énergie de l'onde à partir des fréquences UHF qui est cause de sa pénétration décroissante à partir de ces mêmes fréquences.

2.3. Existe-t-il des mécanismes non thermiques?

De nombreux scientifiques se sont posés la question de l'existence de possibles mécanismes d'interaction qui ne seraient pas liés à la transformation d'énergie électromagnétique en énergie thermique. Si de tels mécanismes existaient, la dose absorbée ne serait alors pas suffisamment caractérisée par le seul SAR en W/kg. Les mécanismes les plus importants sont ici passés en revue.

2.3.1. Effets directs de champs

Liés au champ électrique: sachant qu'un champ E à l'intérieur de nos tissus peut atteindre jusqu'à $\geq 50 \text{ V/m}$ (GSM), on considère cependant qu'un tel champ n'a pas d'impact direct possible sur:

- les mouvements ioniques car l'amplitude de l'agitation thermique de ceux-ci à 37°C dépasse très largement celle des oscillations ioniques causées par un tel champ;
- le passage d'ions et de particules au travers de la membrane cellulaire car de tels événements nécessiteraient des champs supérieurs à 10.000 V/m et ne peuvent d'ailleurs pas survenir pour des champs alternant à de telles fréquences;
- la configuration de nos molécules car les champs E intra-moléculaires sont de l'ordre de milliards de V/m , tel qu'au sein des protéines par exemple.

Liés au champ magnétique: de très faibles variations de la valeurs du champ magnétique terrestre sont perçues par les animaux migrateurs grâce à deux types de mécanismes, par ailleurs vraisemblablement aussi présents chez l'Homme. Cependant, il paraît exclu qu'une interaction des micro-ondes puisse exister via ces mécanismes:

- Les réactions avec intermédiaires de type "paires de radicaux" et responsables de la magnéto-réception ont été démontrées sensibles jusqu'à quelques MHz. Cependant ces réactions ne génèrent pas de radicaux libres (tels que les radicaux créés sous l'action des rayonnements ionisants). Ces derniers pourraient être générés via des réactions autres que celles impliquées dans la magnéto-réception, mais en principe pas au-delà de 100 MHz environ, et uniquement si plusieurs conditions (le plus souvent improbables) sont réunies.
- L'absorption par des cristaux intra-cellulaires de magnétite ("SAR magnétique") ne causerait qu'un échauffement de moins d'un millièème de $^\circ\text{C}$ pour $> 1000 \text{ V/m}$.

[Sheppard, Swicord & Balzano, *Health Physics* 2008]

2.3.2. Effets "non linéaires"

De tels effets sont par définition non directement proportionnels au champ E. S'ils existaient, ils remettraient donc également en cause la validité du SAR comme seul paramètre de la dose absorbée. Un effet possible est la génération de fréquences harmoniques ($f \times 2$, $f \times 3 \dots$) au sein de nos tissus, mais ceci n'a pratiquement pas d'impact sur la validité de la notion de SAR.

Absorption moléculaire résonante: on sait qu'il n'existe pas de possibilité pour un tel type de mécanisme d'absorption en dessous de quelques 150 à 180 GHz. Ces fréquences représentent en effet les plus basses fréquences vibratoires et/ou rotationnelles de nos molécules.

Démodulation du signal GSM: sur base d'observations tendant à montrer d'avantage d'effet de la part d'ondes pulsées que d'ondes non pulsées, il a été suggéré que des effets biologiques puissent être liés à l'"extraction" par nos tissus des basses fréquences contenues dans le signal GSM. Si cela s'avérait exact, on devrait alors s'attendre à des seuils de dose bioactifs assez faibles puisque qu'en extrêmement basses fréquences (dites ELF), on observe un impact possible sur le fonctionnement des neurones dès 0,1 à 1 V/m de champ E. Cependant, divers arguments rendent cette hypothèse caduque et, en tout état de cause, non pertinent pour le cas des antennes GSM:

- Site sensible à ces champ ELF et lieu de non linéarités en basse fréquence, la membrane cellulaire devient par contre totalement linéaire au-delà de +/- 10 MHz.
- Au mieux, s'ils le pouvaient, les tissus biologiques n'extraieraient que l'équivalent de $\leq 0,05$ V/m en 217 Hz à partir de 100 V/m en micro-ondes modulées en amplitude à cette fréquence (+/- 0,5 V/m pour une diode parfaite, c-à-d sans pertes) [Balzano & Swicord, *Bioelectromagnetics* 2007].
- Dans le cas des antennes GSM, la part de puissance contenue dans les basses fréquences (217 à 650 Hz) ne représente que moins de 2% de la puissance totale du signal [Stockbroeck et coll., *Signal ELF Proceedings* 2002].

[Sheppard, Swicord & Balzano, *Health Physics* 2008]

SAR "hot-spots": en certains endroits particuliers et de première importance biologique (membrane cellulaire, ADN libre), le SAR est localement jusqu'à 10 x plus élevé que dans le milieu environnant. Bien que cela ne cause pas de "suréchauffement" local relatif, la question reste posée d'un impact possible sur les réactions biochimiques locales en cours, sur base d'effets non linéaires éventuels. Ce type d'effet est suggéré par la chimie assistée par micro-ondes, technique actuellement largement répandue. Cependant, l'impact éventuel ne serait que d'abaisser quelque peu le seuil d'effet "thermique", lui-même situé autour de valeurs de SAR de l'ordre du watt par kilo.

[Vanderstraeten & Verschaeve, *Environmental Health Perspectives* 2008]

2.3.3. Effets spécifiques au combiné GSM

Il a été évalué que les champs magnétiques pulsés émis par la batterie de nos combinés GSM causent l'apparition de courants induits qui peuvent dépasser 1 ampère par m² dans les tissus exposés. Bien que ce phénomène soit potentiellement générateur d'effets biologiques, son impact réel n'a pas encore bien évalué.

[Jokela et al. *Health Physics* 2004]

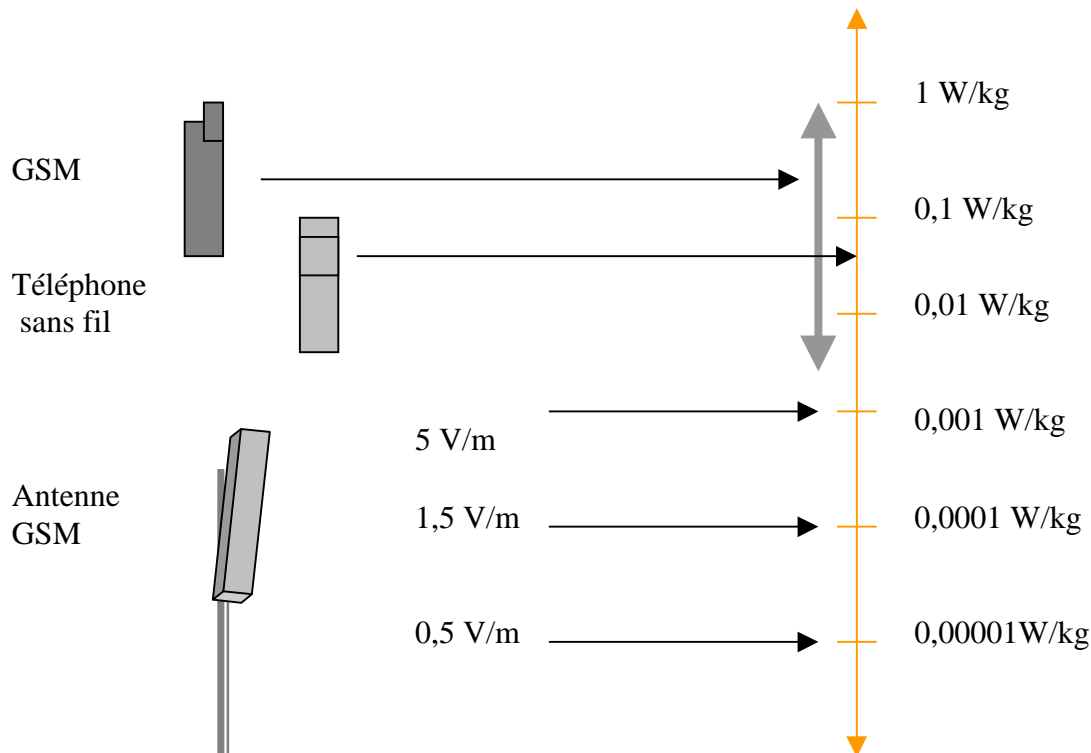
2.3.4. En conclusion

Bien que de nombreuses autres hypothèses aient également été formulées (solitons, maser, multiphonons, résonance stochastique, oscillations cohérentes, etc), aucun effet direct de champ ni aucun mécanisme non linéaire n'a pu être validé à ce jour, à tout le moins pour les intensités auxquelles nous sommes habituellement exposés (≤ 1 W/kg).

Une exception notoire est l'existence de courants induits dans le contexte de l'usage du GSM, et dont l'impact éventuel n'a pas encore pu être correctement évalué.

3. Quelle dose recevons-nous généralement?

Ci-après quelques exemples d'exposition représentatives, exprimées par la valeur du SAR moyenné sur 10 grammes de tissu et sur la durée d'exposition:



Combiné GSM contre le corps: moins de 0,01 W/kg (conditions excellentes) à 0,5 W/kg pour les appareils récents et ≥ 1 W/kg pour les plus anciens.

NB: Seuil thermique: autour de 1 W/kg \rightarrow T° localement + 0,15 °C (tête) environ après quelques minutes d'usage du GSM (! échauffement ne signifie pas de facto nocivité).

Combiné de téléphone sans fil (DECT) contre la tête: 0,02 à 0,04 W/kg

Antennes GSM: le plus souvent moins de 0,01 milliW/kg; rarement plus de 0,1 milliW/kg; exceptionnellement plus de 1 milliW/kg).

Routeur sans fil (Wifi): moins de 0,1 à 0,01 milliW/kg à plus de 1 mètre de distance.

4. Revue de la littérature en matière de santé

4.1. Méthodologie suivie

Comme dans toute démarche visant à améliorer les politiques de soins et de prévention en santé publique, il est indispensable de suivre une démarche critique et rigoureuse (dans l'intérêt de tous!).

- \rightarrow On ne retient que les *études publiées* dans un journal scientifique avec *peer-review* (= études validées scientifiquement).
- \rightarrow On retient de préférence les *revues critiques* de la littérature, et quand elles sont disponibles, les *méta-analyses* (= résultats pertinents, à retenir)
- \rightarrow On retient en particulier les résultats qui ont pu être *reproduits* par différents auteurs (= résultats confirmés)

4.2. Effets génétiques

L'objectif est ici d'anticiper tout dommage possible au niveau de l'appareil génétique de la cellule (ADN, chromosomes) par des méthodes de laboratoire qui permettent l'observation *in vitro* de lésions dès les premiers stades et donc bien avant l'apparition éventuelle d'un cancer, par exemple. Par contre, ce type d'étude ne permet pas d'appréhender les cascades successives d'événements biologiques et cellulaires et donc les éventuelles conséquences, in fine, sur la santé. Elles permettent donc au mieux de formuler des hypothèses et d'orienter la recherche.

4.2.1. Effets génotoxiques

Les effets étudiés repris ici sont: lésions de l'ADN (strand breaks ou SB), aberrations chromosomiques, micronoyaux (MN), échange de chromatides sœurs (SCE) et mutagénicité.

→ Dans une méta-analyse de 2005, sur **63** études (1990 - 2005) (SAR = 0,1 à > 10 W/kg), **14** études sont déclarées positives (effet) et **12** sont déclarées non conclusives.

[Vijayalaxmi, *Radiation Research* 2005]

→ Dans un chapitre du rapport Bioinitiative (non publié dans une revue scientifique), sur **74** études (1990 - 2007) (SAR = 0,1 à > 10 W/kg), **36** études sont trouvées positives (SAR ~ 0,6 à 9 W/kg)

[Lai, *Rapport Bioinitiative* 2007]

→ Une revue critique de 2005 conclut à la possible fréquence accrue de MN et SCE à partir de 1 à 2 W/kg, en faisant remarquer que les résultats concernant les SB (Lai et Singh) n'ont pu être reproduits indépendamment et que d'autres résultats sont ininterprétables (Garaj-Vrhovac...).

[Verschaeve, *Toxicology and Applied Pharmacology* 2005]

4.2.2. Expression génique

Les effets étudiés concernent ici la réponse fonctionnelle de la cellule à l'exposition aux micro-ondes. L'apparition de la génomique a permis depuis peu de procéder au screening simultané de plusieurs milliers à dizaines de milliers de gènes simultanément.

→ Dans une revue critique de 2008, sur **20** études (1999 – 2007) (SAR = 0,1 à 10 W/kg), **8** études sont jugées recevables avec résultats positifs (augmentation de l'expression de certains gènes) (SAR = 0,4 à 10 W/kg). Malheureusement, aucun de ces résultats n'a pu faire l'objet de confirmation par tests complémentaires (étape jugée nécessaire en génomique) ni n'a montré de reproductibilité, même entre les mains d'un même auteur ou d'une même équipe. Enfin, la génomique n'a pu confirmer de réponse de type "stress" de la cellule aux micro-ondes telle qu'elle avait été suggérée auparavant.

[Vanderstraeten & Verschaeve, *Environmental Health Perspectives* 2008]

NB: Une équipe de l'Université Blaise Pascal (Beaubois, Vian et Roux) a récemment publié à quelques reprises une réponse de type "signal lésionnel" sous 900 MHz pour 5 et 40 V/m. Mais il s'agit ici de plants de tomates et ces résultats n'ont à ce jour pas été reproduits indépendamment.

4.2.3. En conclusion

Le doute persiste quant à une possible induction de micronoyaux ou d'échanges de chromatides sœur à partir de 1 à 2 W/kg, mais sous réserve d'une signification statistique insuffisante à ce jour. Par ailleurs, une réponse génique de type "stress-like" semble exclue pour des SAR < 5 W/kg. Enfin, l'avenir dira si les résultats obtenus sur plants de tomates se confirment et sont ou non extrapolables aux cellules animales, et humaines en particulier.

4.3. Exposition de rongeurs au long cours

Mieux que les études in vitro, les études in vivo permettent d'appréhender l'impact réel sur la santé, en intégrant l'observation sur une durée de vie ou du moins sur le long terme. Les résultats sont ensuite extrapolés à l'Homme, dans la mesure du possible.

4.3.1. Induction et promotion de cancers

- 32 études publiées entre 1982 et 2007, durée expos = 4,5 mois à 2,5 ans, qqes heures /jour (1 à 22 h/j), 4-7j/sem, SAR 0,01 W/kg à > 10 W/kg, divers signaux (GSM, DCS, TDMA, CW):
3 études: induction (promotion) cancers. Mais il s'agit en fait des 3 premières études publiées (1983, 1992, 1997): les résultats de celles-ci n'ont jamais pu être reproduits depuis lors
[Elder, *Bioelectromagnetics* 2003; Dasenbrock, *Toxicol Appl Pharmacol* 2005; database EMF Portal 2008]

4.3.2. Mortalité

- 20 études publiées entre 1971 et 2007 (mêmes types de conditions que ci-dessus)
2 études: mortalité accrue (≥ 2 à 6 W/kg). Mais les résultats de ces 2 études (de 1982 et 1994) n'ont pas pu être reproduits depuis lors
[Elder, *Bioelectromagnetics* 2003; EMF Portal 2008]

4.3.3. En conclusion

Les études disponibles à ce jour ne permettent pas de conclure à un impact sur la mortalité et l'incidence du cancer chez des rongeurs (rats, souris) exposés sur le long terme aux micro-ondes, en tout cas pour des niveaux de SAR < 1 à 2 W/kg.

4.4. Effets neuro-sensoriels chez l'Homme

L'objectif est de mettre en évidence les signes objectifs ou subjectifs qui pourraient témoigner d'une perception effective des micro-ondes par l'Homme, voire de l'existence de symptômes dûs à l'exposition à celles-ci. Egalement, il s'agit de tenter de distinguer une éventuelle sensibilité accrue chez les personnes se déclarant "hypersensibles" (EHS)

4.4.1. Electrophysiologie cérébrale

Ces études font appel aux techniques de l'électroencéphalogramme, des potentiels évoqués, etc.

- 29 études "recevables" publiées entre 1995 et 2003.
17 études: altération (rythme α EEG, ...) (SAR $\geq 0,1$ W/kg à 2 W/kg)

Mais: absence de reproductibilité (même par un même auteur...), 50% études douteuse car réalisées en "simple aveugle", et la nature des effets étudiés nécessiterait en principe ≥ 200 sujets pour que les résultats atteignent une valeur statistique significative

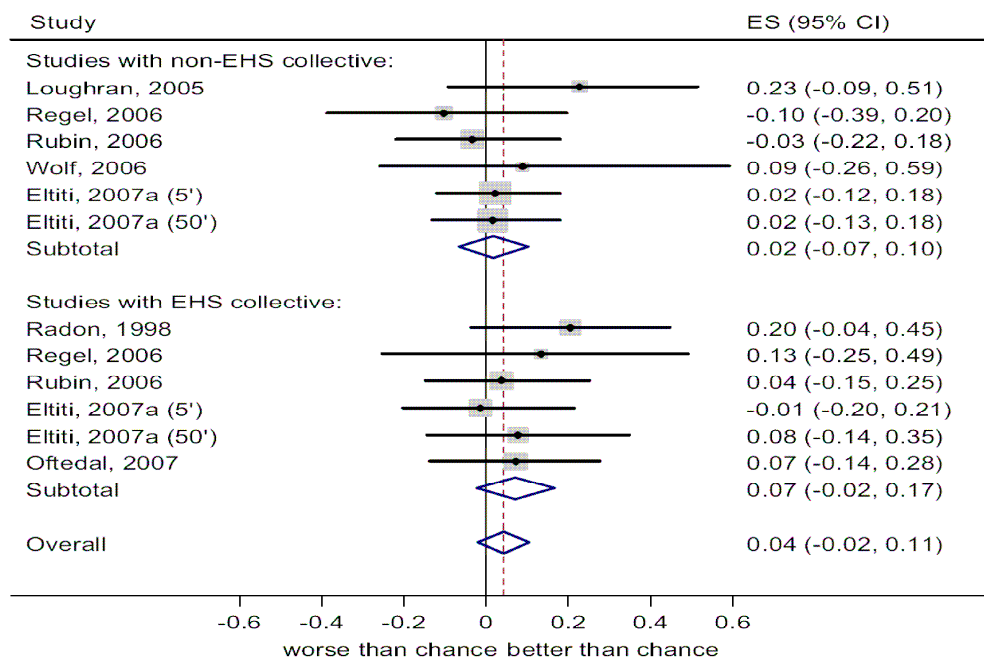
- Pour ≥ 20 sujets et "double aveugle" → seules 2 études restent positives
[Valentini et al., *Bioelectromagnetics* 2007]

NB: constat répété chez les sujets électrosensibles (en général) → moindre facilitation intracorticale

[Landgrebe et al., *Journal of Psychosomatic Research* 2007]

4.4.2. Perception des micro-ondes

On tente ici de mettre en évidence la capacité ou non des sujets en général et des sujets EHS de percevoir ou non la présence du rayonnement micro-ondes émis à proximité



→ 8 études publiées entre 1998 et 2007 (EHS et non EHS) (SAR = 0,15 mW/kg à 12 W/kg) et effectuées en "double aveugle":

2 études montrent des résultats meilleurs que ceux obtenus par simple chance:

→ 1 = Sujets non EHS (0,3 W/kg), 1 = sujets EHS (10 V/m)

L'application d'une méthode statistique rigoureuse (méta-régression) ne permet cependant pas de conclure à l'existence de résultats réellement significatifs. Cependant, on constate que les conditions d'un laboratoire (stress, environnement non familial) ne sont pas idéales et pourraient influencer négativement les résultats de tels tests. Enfin, certains sujets dans l'une ou l'autre étude paraissent percevoir avec une probabilité assez supérieure à la chance (notamment à 10 V/m). Enfin, il y a lieu de rappeler que si une capacité de perception existe pour un certain niveau d'exposition, celle-ci n'implique pas de facto que des effets délétères puissent exister sur la santé dès un niveau équivalent d'exposition (ex: bruit, chaleur...).

[Rössli, *Environmental Research* 2008]

4.4.3. Symptômes liés à l'exposition aux micro-ondes

Dans ces études, les sujets répondent à un questionnaire standardisé, les réponses permettant notamment de situer leur niveau de bien-être ou au contraire, d'anxiété. Également des tests de capacité cognitives sont réalisés et leurs résultats comparés entre sujets exposés et non exposés.

→ 9 études en laboratoire publiées entre 2001 et 2007 (SAR 0,15 mW/kg à 1,5 W/kg)

1 étude rapporte un peu + d'anxiété et état d'éveil chez les sujets EHS uniquement (UMTS)

→ 3 études publiées entre 2006 et 2007 en environnement réel à proximité de stations de base

Les résultats de telles études ne sont absolument pas interprétables pour les raisons suivantes:

- Biais de participation des personnes sollicitées
- Biais évident de suggestion (effet "nocebo")
- Absence de dosimétrie fiable (exposition variable ++ dans le temps et l'espace)

[Rössli, *Environmental Research* 2008]

NB: Certaines études mentionnent une tendance à surévaluer l'état d'inconfort parmi la population des sujets EHS, comparativement à la population générale, et ce sans rapport avec l'exposition.

[Furabayashi et al, *Bioelectromagnetics* 2008]

4.4.4. Conclusion

Il n'y a pas à ce jour d'indication suffisamment probante quant à une capacité de perception accrue du rayonnement micro-onde par des personnes dites "hypersensibles", y compris pour les intensités d'exposition caractéristiques de l'usage du GSM, et à fortiori pour celles caractéristiques de l'environnement à proximité d'antennes GSM. Il n'est par contre pas exclu que certaines personnes puissent présenter de telles capacités, du moins pour des expositions ≥ 10 V/m.

Enfin, définir un seuil de perception est une chose, définir un seuil de toxicité en est une autre.

4.5. Tumeurs du cerveau chez les usagers du mobilophone

L'épidémiologie est la spécialité qui s'intéresse à l'observation de la population à grande échelle et/ou son suivi sur une échelle de temps relativement longue. En santé publique, l'épidémiologie est une maîtresse science puisque c'est elle qui a permis la mise en évidence de nombreux effets thérapeutiques (traitements) et/ou toxiques (expositions environnementales) d'interventions humaines, également là où on ne les soupçonnait pas!

4.5.1. Interphone

Interphone est un projet qui a réuni des chercheurs dans plusieurs pays du globe autour de la question de savoir si l'utilisateur régulier du téléphone mobile (dont le GSM) est, ou non, plus à risque de développer une tumeur ou un cancer de la tête. La méthodologie suivie a été l'envoi de questionnaires d'une part à des sujets sains (population témoin), et d'autre part, à des sujets ayant présenté le type de tumeur étudiée, à savoir un méningiome ou un neurinome de l'acoustique (tumeurs bénignes), et un gliome ou une tumeur de la glande salivaire parotide (tumeurs malignes).

→ 20 études dans 13 pays différents → Dans les pays scandinaves uniquement (considérés dans leur ensemble): risque relatif (RR) accru du côté de l'utilisation du téléphone après ≥ 10 années d'usage pour le neurinome de l'acoustique (RR x 1,8) et pour le gliome (RR x 1,4).

Aucune augmentation du risque n'apparaît dans les pays non scandinaves (dans leur ensemble).

[*International Agency for Research against Cancer* 2008]

Des biais ont été incriminés, qui mettent en cause l'exactitude de ces résultats, de par une possible sur- ou sous-évaluation. Ces biais sont liés à la sélection des individus de la population contrôle et à la remémorisation de l'usage du téléphone mobile par les sujets.

[*Cardis et al., European Journal of Epidemiology* 2007]

Concernant le SAR équivalent à éventuellement incriminer, la démarche est rendue compliquée par le fait que les résultats scandinaves reprennent notamment l'exposition liée à l'usage de téléphones mobiles qui génèrent des SAR en moyenne plus élevés que les appareils GSM modernes:

- Téléphone mobile analogique au standard NMT → SAR ≥ 4 W/kg
- GSM des premières génération → SAR en moyenne un peu plus élevés

4.5.2. Conclusions

Il est sans doute encore trop tôt pour conclure à ce jour, mais ces résultats incitent a priori à la prudence. D'autant plus si l'on considère l'utilisation de systèmes permettant les appels avec GSM maintenu à la ceinture (oreillette, Bluetooth). En effet, l'appareil est alors assez proche de la moelle osseuse iliaque où les précurseurs des cellules sanguines sont connus pour être sensibles (beaucoup plus que les cellules cérébrales) aux influences environnementales toxiques.

4.6. Effets divers relatés dans la littérature

Plusieurs effets autres que ceux mentionnés ici ont été étudiés. La plupart ne modifient pas les conclusions provisoires que l'on pourrait tenter de tirer à partir de la présente revue de la littérature. Un effet qui a particulièrement retenu l'attention est l'augmentation de la *perméabilité de la barrière hémato-encéphalique*, en particulier depuis les 4 publications dans ce sens de l'équipe du Dr Salford où cet effet a été observé pour un SAR aussi bas que 0,02 W/kg. Cependant, parmi dix études publiées entre 2000 et 2007 par d'autres auteurs, une seule rapporte le même type d'observation tandis que les 9 autres (SAR = 0,25 à 5 W/kg) n'ont rien pu observer à cet égard.

[database EMF Portal 2008]

4.7. Conclusions en matière de santé

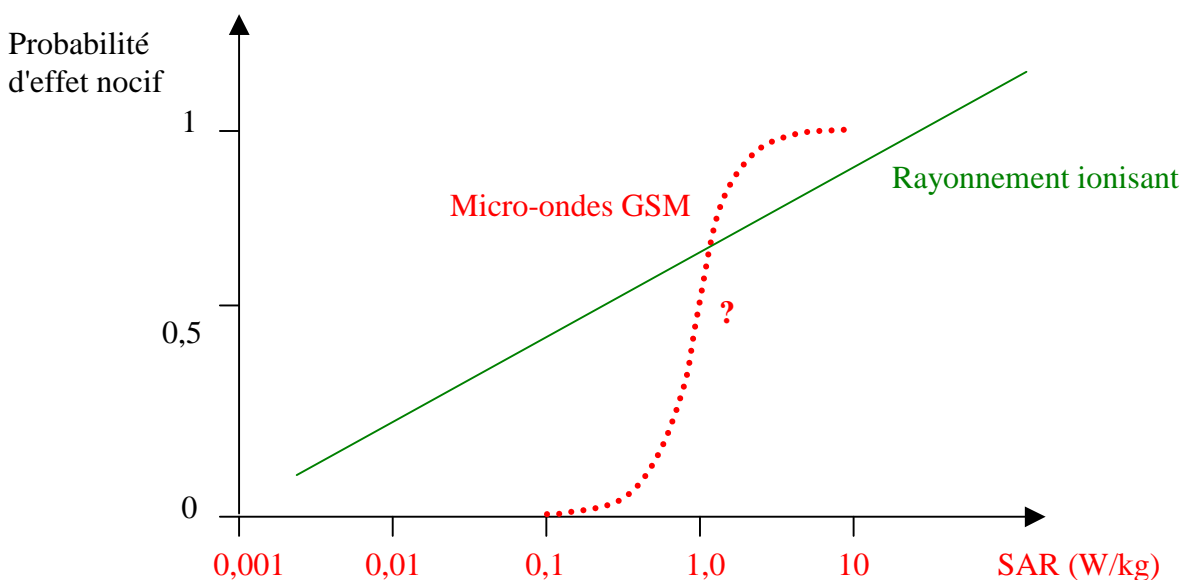
Aucune conclusion ferme et définitive ne peut être tirée à ce jour, si ce n'est qu'il est nécessaire de poursuivre la recherche en la matière. En particulier, Interphone doit être poursuivie pour évaluer les risques dans les années à venir (la latence entre induction et diagnostic d'un cancer peut souvent atteindre 20 ans). Egalement, certaines études expérimentales citées (génomique, études électrophysiologiques, provocation) doivent être poursuivies et leurs modalités de réalisations doivent être améliorées dans le but de supprimer les défauts qui leur ont été constatés à ce jour. Quelques conclusions provisoires semblent par contre permises. Elles sont reprises ci-après.

4.7.1. Hypersensibilité

Si, chez certaines personnes, les capacités de perception du rayonnement micro-onde sont peut-être plus importantes que parmi la moyenne de la population, cette question reste encore insuffisamment étudiée. Elle ne concerne en principe que des intensités d'exposition caractéristiques de l'usage du GSM et non pas de la proximité habituelle d'une antenne GSM. Enfin, rappelons qu'en matière d'agents physiques, seuils d'exposition perceptible d'une part et toxique d'autre part peuvent différer.

4.7.2. Seuil de SAR "toxique"?

Quant aux effets sur la santé proprement dits, les données récentes de la littérature nous décrivent un tableau qui ressemble à celui que l'on trouve par exemple pour les pesticides, avec un seuil de dose toxique. Dans l'hypothèse où un "SAR seuil" existe précisément, celui-ci ne peut être cependant pas être défini à ce jour, pouvant d'ailleurs varier selon les conditions d'exposition et le sujet exposé. Mais l'ensemble des données fiables et reproductibles ne situent un SAR minimum d'interaction pratiquement jamais en-dessous de 0,1 W/kg, et le plus souvent à partir de 1 W/kg.



Les rayonnements ionisants, quant à eux, génèrent des dégâts structurels qui se cumulent au cours du temps, même aux très faibles doses de l'irradiation naturelle qui est la nôtre. C'est pourquoi, la meilleure norme d'exposition est la norme la plus basse, la plus restrictive possible.

Il n'en va pas de même pour nos micro-ondes qui génèrent des effets en principe réversibles via des modalités d'interaction de type réversible. Ainsi, en-dessous d'un certain seuil, les effets générés dans l'organisme se confondent avec le bruit de fond qui y règne (champs E, métabolisme basal, soit 1 W/kg en moyenne). Par conséquent, une exposition n'est en principe susceptible de causer aucun dégât, même si elle est très durable, pour autant qu'elle se situe en-dessous d'un SAR "seuil".

4.7.3. SAR local ou SAR global?

Alors que l'OMS propose des valeurs limites respectivement de 0,08 W/kg (corps entier) et de 2 W/kg (exposition locale) pour la bande UHF, force est de constater que les données récentes de la littérature ne vont pas nécessairement dans ce sens puisque les valeurs seuils évoquées ci-dessus le sont aussi bien sur base de dose absorbées par le corps entier que par un segment de celui-ci (tête), voire un ensemble de cellules.

Sans remettre en cause la valeur du SAR, ceci pose donc la question de savoir si la variation de température constitue ou non le paramètre majeur à prendre en compte. Ceci fait écho au même type de constat qui a été fait en matière de chimie assistée par micro-ondes, ouvrant donc la voie à l'hypothèse d'un rôle possible pour les "hot spots" de SAR (voir point 2.3.2.).

4.7.4. Signal GSM ou micro-ondes en général?

Tant les connaissances actuelles en biophysique que les données fiables et reproductibles de la littérature ne permettent pas à ce jour de considérer l'exposition aux ondes du GSM (et sûrement pas celles des stations de base GSM) comme étant plus susceptibles de générer des effets, pour une même valeur de SAR, comparativement aux ondes de la bande UHF en général.

5. Quelles normes et recommandations pour la population?

5.1. L'utilisateur de GSM

5.1.1. Tenir compte du risque d'accident de roulage

L'usage du GSM au volant accroît par quatre le risque d'accident de roulage (avec ou sans kit main-libres) !

5.1.2. Tenir compte des résultats d'Interphone

En l'absence de certitudes et tant qu'un délai d'observation sur > 20 ans n'aura pu être obtenu, il convient (en particulier les **enfants**) de choisir autant que possible un GSM "low SAR" et d'adopter les règles pour un usage "raisonnable" du GSM telles que décrites dans l'avis de 2004 édité sur ce sujet par le Conseil Supérieur de la Santé (http://www.health.fgov/CSH_HGR):

- Usage en conditions de bonne communication (signal maximal), et donc, de préférence en dehors d'une cage d'ascenseur, d'une cave en béton armé, d'une voiture, etc.
- Usage en position immobile;
- Usage d'une oreillette avec GSM éloigné du corps (ne fût-ce que 20 cm), sinon changer d'oreille toutes les 2 minutes;

5.1.3. Si l'on est porteur d'un pace-maker ou d'un défibrillateur implantable

Prévoir de garder le GSM à ≥ 20 cm de distance, soit en le gardant à la ceinture, soit en l'utilisant à l'oreille du côté opposé à la localisation de l'implant.

5.2. La population riveraine d'antennes GSM

Celle-ci a droit à l'application du principe de précaution qui veut que "*en cas de risque plausible mais incertain, toutes les mesures soient prises dans le but de diminuer ou d'éviter les dommages*" (UNESCO). Reprenant les démarches suivies en toxicologie chimique (risques alimentaires et environnementaux), on retient qu'un facteur de sécurité ou plutôt d'incertitude de 100 est généralement appliqué. Ce facteur est égal à 10×10 : le premier facteur de 10 tient compte des incertitudes concernant un seuil exact de dose toxique et concernant l'extrapolation à l'Homme de données éventuellement obtenues sur l'animal et l'extrapolation au long terme de ce qui a été observé sur le court terme; le deuxième facteur de 10 tient compte de la sensibilité variable de la population et de celle, plus particulière des enfants et d'autres personnes fragiles pour raisons de santé.

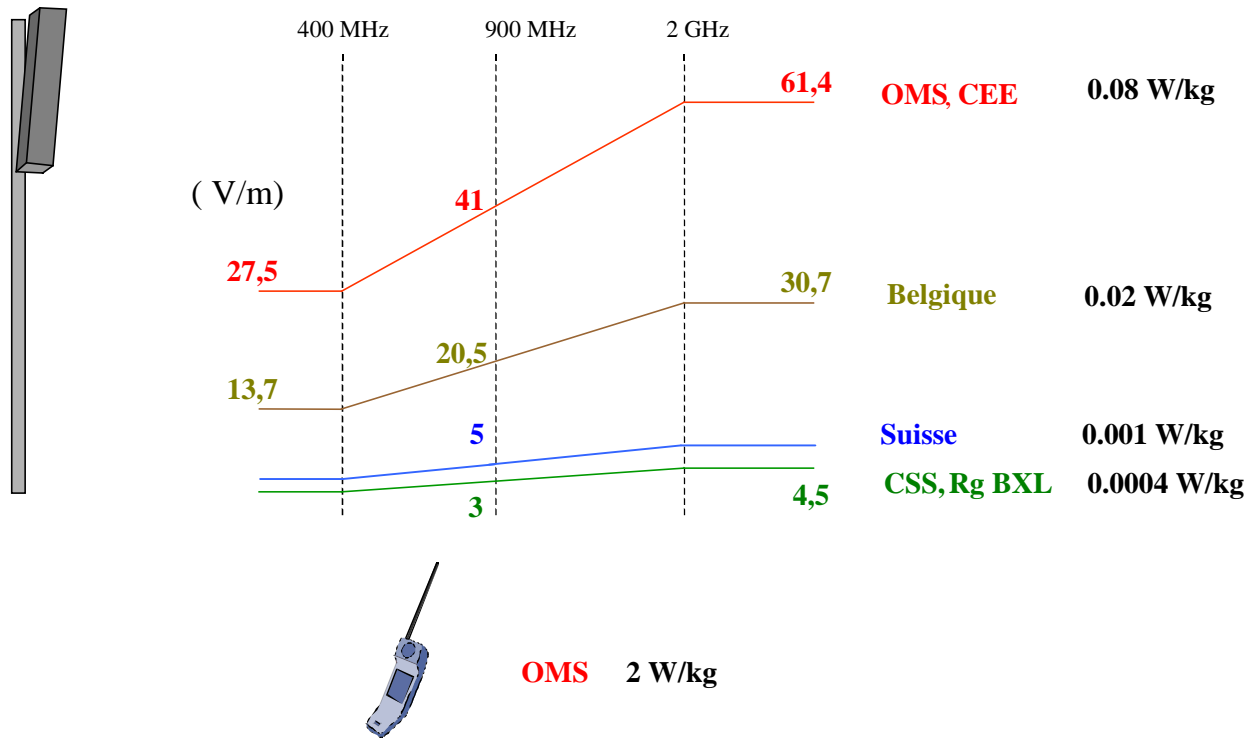
[Landigran et al., *Environmental Health Perspectives* 2004]

Si l'on applique ce facteur 100 aux valeurs "seuil" suivantes de SAR, on obtient les valeurs de champ approximatives suivantes (en champ lointain et à 900 MHz):

- Pour **1 W/kg** → 0,01 W/kg (= norme belge / 2), soit ~ **15 V/m**
- Pour **0,5 W/kg** → 0,005 W/kg, soit ~ **10 V/m**
- Pour **0,1 W/kg** → 0,001 W/kg (= recommandation du CSS x 2), soit ~ **5 V/m**

Comme indiqué, la valeur de 0,01 W/kg (donnant 15 V/m) est proche de la recommandation du gouvernement belge. Tandis que la valeur de 0,001 W/kg est proche de la recommandation qu'en 2000 déjà, le Conseil Supérieur de la Santé (CSS) avait promulguée, soit 3 V/m en 900 MHz. Enfin, la norme de 5 V/m n'est autre que la norme suisse par installation en 900 MHz.

5.3. Normes et recommandations existantes



Ci-dessus figurent les recommandations en champ E (V/m) selon la fréquence, de l'ICNIRP (International Commission on Non Ionising Radiation Protection de l'OMS) également adoptées par la Commission européenne, les normes adoptées par la Belgique et la recommandation du Conseil Supérieur de la Santé (CSS) également adoptée par la Région Bruxelloise (application pas encore effective en fin 2008).

Figure également la recommandation de l'ICNIRP concernant la valeur de SAR maximale pour l'exposition locale (GSM notamment). Cependant, les données de la littérature actuelle ne supportent pas le point de vue d'un SAR limite (moyenné sur 10 grammes) plus élevé pour une exposition partielle de l'organisme (ex: la tête) que pour une exposition globale.