

LA POLLUTION ELECTROMAGNÉTIQUE

LES ONDES ELECTROMAGNÉTIQUES SONT ELLES DANGEREUSES POUR LA SANTÉ ?

L'espace de nos vies quotidiennes est rempli de rayonnements électromagnétiques qui, tout en ayant une base physique commune, transportent des énergies variant dans des proportions sans commune mesure.

On sait depuis un peu plus de cent ans, que ces rayonnements couvrent une large gamme de phénomènes physiques aussi différents que les champs autour des lignes à haute tension, les ondes radio, les micro ondes, la lumière visible et les rayons x etc..

A l'exception de la lumière, ces rayonnements ne sont pas perçus par nos sens. Or si comme tous les êtres vivants, l'homme a toujours évolué dans un environnement de rayonnements naturels, dont certains sont nécessaires à la vie, la multiplication des sources artificielles avec l'ère industrielle ou l'exposition abusive, même ludique, à des sources naturelles, imposent l'analyse de leurs effets et de l'influence qu'elles sont susceptibles d'exercer sur l'homme lui même et les systèmes biologiques qui l'entourent.

Cependant notre qualité de vie est devenue largement tributaire des avancées technologiques dues au développement de ces différentes formes d'énergie et, si des effets adverses sont à craindre, il ne faut pas passer sous silence, mais ce n'est pas l'objet de cette conférence, les effets bénéfiques que nous en retirons et la diversité de leurs applications médicales.

Afin de bien comprendre les effets des ondes électromagnétiques sur le Vivant il nous faut d'abord redéfinir la notion *d'onde*.

1. RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE

Les rayonnements électromagnétiques (REM) sont une forme de transport de l'énergie sans support matériel.

Très divers par l'énergie qu'ils transportent et par leurs possibilités d'interaction avec les structures biologiques, les REM peuvent être décrits par deux modèles complémentaires, soit comme des ondes électromagnétiques (modèle ondulatoire), soit comme un flux de photons (modèle corpusculaire).

a) Modèle ondulatoire :

Dû à Maxwell (1865), le modèle ondulatoire est fondé sur la notion d'ondes électromagnétiques qui associent un champ électrique E exprimé en volts par mètre et un champ magnétique B , de même période exprimé en ampère par mètre.

A chaque instant, les champs E et B sont perpendiculaires et situés dans un même plan. Lorsqu'ils sont loin de tout obstacle, ils se propagent dans une direction perpendiculaire à ce plan. Dans le vide la propagation est rectiligne et se fait à une vitesse constante $C = 300000 \text{ Km/s}$.

Les principales caractéristiques d'une onde sont (1) :

-sa fréquence ou nombre d'oscillations par seconde, exprimée en Hertz (Hz)

- sa période $T = 1/\nu$ en mètre

-sa longueur d'onde dans le vide est donnée par la formule $\lambda = CT$ où C est la vitesse de la lumière.

Elle correspond à la distance qui sépare deux sommets successifs (les crêtes de deux vagues). C'est la distance de propagation de l'onde durant la période T , exprimée en secondes.

C'est certainement l'une des plus belles conquêtes de l'esprit humain que d'avoir en quelques équations mathématiques une théorie des champs électromagnétiques qui, à ce jour encore, rend bien compte des phénomènes majeurs de l'électromagnétisme.

Le caractère ondulatoire du rayonnement électromagnétique a permis les lois fondamentales de l'optique géométrique.

1. RAYONNEMENT ELECTROMAGNETIQUE...SUITE

b) Modèle corpusculaire :

Certaines interactions des rayonnements électromagnétiques avec la matière à l'échelle atomique ne sont pas explicables par le modèle ondulatoire.

Ainsi, pour rendre compte de l'effet photoélectrique qui permet à l'aide d'un rayonnement ultra violet d'arracher des électrons à la surface d'un métal, Einstein a repris en 1905, la notion de « quanta » proposée par le physicien Max Planck et a considéré le rayonnement électromagnétique comme un flux discontinu de « paquets d'énergie électromagnétique, appelé photons (1).

Dans le vide un photon se propage en ligne droite, avec une même vitesse de 300 000 km/s que l'onde qui lui est associée ; il transporte une quantité d'énergie élémentaire E, appelée « quantum » proportionnelle à la fréquence de l'onde :

$E = hv$ où h est la Constante de Planck :

$h = 6,62106 \cdot 10^{-34}$ joules. Seconde ou $4,125 \cdot 10^{-15}$ électron volts seconde.

Pour une fréquence donnée, la longueur d'onde d'un rayonnement électromagnétique dépend de la vitesse de propagation dans le milieu considéré. Pour caractériser un rayonnement électromagnétique, on se réfère en général à sa fréquence, à son énergie ou à sa longueur d'onde dans le vide ou dans l'air (la différence étant dans ce cas insignifiante).

Lorsqu'un rayonnement électromagnétique traverse un milieu biologique, sa vitesse de propagation diminue et sa longueur d'onde devient plus courte.

Selon la mécanique quantique les ondes électromagnétiques obéissent à la dualité onde corpuscule, à savoir qu'elles présentent à la fois une dimension ondulatoire et une dimension corpusculaire.

Plus la longueur d'onde est courte, plus l'onde présente une dimension corpusculaire et possède une énergie élevée.

Si la longueur d'onde est inférieure à 200 nanomètres (1milliardième de mètre), l'énergie est si grande qu'elle peut modifier et endommager le matériel biologique. On parle alors de rayonnement ionisant comme par exemple les rayonnements nucléaires.

Au contraire lorsque la longueur d'onde associée à une onde électromagnétique s'accroît, cette dernière présente une dimension ondulatoire et son énergie est

beaucoup plus faible que celle des rayonnements ionisants. De telles ondes sont appelées « rayonnements non ionisants ».

C'est le cas des micro-ondes, des radios fréquence, et des champs électromagnétiques de 50 et 60 Hertz.

2 - INTERACTION ONDES - MATIERE

L'interaction entre un rayonnement électromagnétique et la matière peut se traduire par une diffusion sans transfert d'énergie ni changement de fréquence (diffusion élastique) ou par un transfert aux matériaux de tout ou partie de l'énergie du REM.

Dans ce dernier cas, une partie de l'énergie peut être diffusée avec diminution de fréquence liée à la perte d'énergie dans la matière (diffusion inélastique ou fluorescence) et une partie est absorbée.

Seule la fraction absorbée peut avoir un éventuel effet biologique.

La pénétration des rayonnements électromagnétiques dans les tissus mous des organismes vivants varie de manière très irrégulière en fonction de la fréquence.

3 - TRANSITION ENERGETIQUE

Les atomes sont constitués d'un noyau composé de particules positives : le proton et de particules neutres : les neutrons.

Autour du noyau gravitent des particules chargées négativement : les électrons.

Dans un atome il y a autant de protons que d'électrons, aussi l'atome est il neutre.

Les niveaux d'énergie des électrons sont discontinus, semblables aux barreaux d'une échelle. En effet, les barreaux occupent une position bien précise et entre deux barreaux il y a le vide.

Les électrons ne peuvent pas descendre en dessous du niveau d'énergie le plus proche du noyau et appelé « niveau fondamental ».

Si un électron sous l'effet d'un rayonnement (rayonnement ultra violet, X, et gamma) quitte des niveaux d'énergie supérieurs, l'atome qui perd une charge négative, perd sa neutralité électronique, ainsi parle t- on alors de *ionisation*.

Un tel rayonnement est appelé « rayonnement ionisant ».

Par opposition, comme nous l'avons vu précédemment le terme générique de « rayonnements non ionisants » concerne des ondes de grandes longueurs d'onde (longueur d'onde supérieure à 100 nanomètres : rayonnement de fréquence extrêmement basse) et désigne les champs et les rayonnements électromagnétiques dont l'énergie est trop faible pour produire une ionisation dans les milieux qu'ils traversent (1).

4- NOTION DE CHAMP, CHAMP ELECTRIQUE ET D'INDUCTION MAGNETIQUE :

a) Champ :

Un champ est un espace limité (concret ou abstrait) réservé à certaines opérations ou doué de propriétés.

Selon le Petit Robert édition 87, page 283, « zone où se manifeste un phénomène magnétique ou électrique, un système de forces ; portion de l'espace où la force appliquée à un point dépend de sa position seule. »

Cette notion se retrouve dans notre environnement habituel. La température relevée en différents points d'une pièce représente un champ de température. En chaque point la température est définie par un scalaire. C'est également un scalaire qui représente la pression atmosphérique. Les courbes bien connues bien connues qui rejoignent les points où la pression est identique sont les isobares. Il s'agit en l'occurrence d'un champ de pression.

Un autre exemple classique est celui des courbes de niveau où d'égale altitude par rapport au niveau de la mer.

De nombreuses grandeurs physiques ne sont pas définies par un seul scalaire, il est nécessaire d'utiliser un vecteur (grandeur qui dépend de l'amplitude, du sens et de la direction). C'est cas de la force, de la vitesse, d'une contrainte mécanique et également pour les phénomènes qui nous occupent plus spécialement, à savoir les phénomènes électriques et magnétiques.

b) Intensité du champ électrique :

La nature du champ électrique peut être également clarifiée en s'appuyant sur l'analogie qui existe entre le champ de gravitation et le champ électrique (électrostatique).

Les deux champs sont newtoniens, ils sont engendrés par des entités au repos et varient tous deux en raison inverse du carré de la distance à la masse ou à la charge.

Un objet placé dans un champ de gravitation sera soumis à une force d'attraction ; de même, une charge électrique placée dans un champ électrique sera soumise à une force (2).

Il convient de quantifier cette grandeur physique, on parlera de l'intensité du champ électrique qui sera exprimée en volts par mètre.

Dans le cas particulier de deux plans conducteurs disposés parallèlement à une distance d , l'un de l'autre, et entre les quels on applique une différence de potentiel de V volts, le champ sera homogène et uniforme et son intensité sera donnée par : $E = V / d$ (V/m).

Intensité du champ électrique... suite :

Pour les structures géométriques simples, il est possible de trouver une solution analytique qui donne la relation entre l'intensité du champ électrique et la géométrie du système (2) .

c) Courant électrique et intensité du champ d'induction magnétique :

Le courant électrique est un phénomène physique provoqué par la circulation d'électrons dans un conducteur (par ex un fil métallique) . On peut le comparer à un fleuve dont le débit (la quantité d'eau) serait l'intensité exprimée en ampères, la pression serait la tension du courant exprimée en volts, et la puissance, le produit des deux. Comme il peut exister une pression (différence de niveau par exemple) sans qu'il y ait forcément circulation d'eau, on peut détecter la tension en absence de circulation d'électrons. Ainsi, la tension aux bornes d'une prise est-elle présente bien que la lampe ne soit pas branchée. En revanche, on ne détecte pas l'intensité tant qu'on n'a pas allumé un appareil.

En 1820, le physicien danois Oersted mis en évidence le fait qu'un courant électrique était à l'origine de la création d'un champ magnétique à l'instar des aimants permanents.

Dans le cas simplifié d'un conducteur filiforme parcouru par un courant d'intensité I , l'intensité du champ magnétique H , à une distance r , de l'axe du conducteur s'exprime par :

$$H = I / 2\pi r \text{ (A/m) où } \pi = 3,14.$$

Un courant électrique engendre donc un champ d'induction magnétique

A l'inverse un champ magnétique variable peut engendrer un courant électrique (2).

Comme pour l'intensité du champ électrique, l'intensité du champ d'induction magnétique dépend de la disposition géométrique des conducteurs parcourus par des courants, en plus d'être directement proportionnelle à l'intensité du courant.

Des appareils de mesure permettent de mesurer l'intensité du champ d'induction magnétique.

d) Champs naturels :

Il existe un champ électrique naturel à la surface de la terre créé par les charges électriques présentes dans la ionosphère (couche de l'atmosphère constituée de particules chargées ou ions). Son intensité varie de 100 à 200 V /m par beau temps.

Cependant, en dessous d'un nuage orageux, l'intensité du champ électrique peut atteindre 15 kV/m et même d'avantage.

Le champ d'induction magnétique terrestre a pour intensité une valeur de 35 à 50 μ T (millionième de Tesla) selon la latitude. Il peut être perturbé localement par des courants telluriques, des composés ferreux et des courants d'eau contenant des charges ioniques (3).

e) Champs artificiels à la fréquence industrielle :

La majorité des « sources » de tension étant alternatives, les champs en résultant seront également alternatifs.

Si plusieurs sources existent (par ex réseau triphasé), l'intensité du champ électrique en un point donné résultera de la contribution vectorielle de chacune des sources prises indépendamment.

Les principaux générateurs de champ électrique que l'on rencontre dans notre environnement sont non seulement les ouvrages de production, transport et distribution de l'énergie électrique, mais également les multiples récepteurs que l'on trouve à la maison et dans tous les exemples d'application de l'énergie électrique (éclairage, traction, chauffage).

En pratique l'intensité du champ électrique au niveau du sol est souvent réduite grâce à l'action d'écran d'objets tels que végétation, arbres, constructions, clôtures, véhicules, etc.

Ces objets, en général, modifient le champ de telle façon que sa valeur est augmentée dans la partie supérieure entourant les dits objets, et prend par contre les valeurs plus faibles dans le voisinage de ces mêmes objets au niveau du sol. L'importance de cette réduction est le volume affecté par ces variations dépendent de la taille et de la forme des objets.

f) Champs d'induction magnétique :

Comme nous l'avons vu, la majorité des sources de courant étant alternatives, les champs d'induction magnétique en résultant seront également alternatif.

Champs d'induction magnétique...suite :

Les principaux générateurs de champ d'induction magnétique sont les ouvrages véhiculant l'énergie électrique tant aériens que sous terrains, ainsi que les appareils récepteurs électrodomestiques et industriels lorsqu'ils sont parcourus par un courant électrique.

Contrairement au champ électrique il n'y a pas d'écran efficace (blindage) par rapport au champ d'induction magnétique à la fréquence industrielle.

On observera que les appareils électroménagers peuvent générer des champs magnétiques locaux dont l'intensité est parfois plus élevée que celle produite par les réseaux d'énergie électrique.

Cependant, les intensités diminuent rapidement avec la distance et atteignent des valeurs négligeables dès qu'on s'écarte de quelques mètres.

g) Perception directe du champ électrique et du champ d'induction magnétique :

Il s'agit de la perception que peut ressentir un organisme doté d'un système nerveux. Celle -ci peut résulter des forces électrostatiques qui s'exercent au niveau des poils et des cheveux et des micro- décharges entre la peau et des objets (cols, manches, montures de lunettes,).

Le seuil de perception se situe au voisinage de 12 kV /m de même que celui d'apparition de micro décharges.

Quant au champ d'induction magnétique, on sait qu'à partir d'une intensité de 5mT (milli Tesla), on observe l'apparition de magnéto phosphènes ou tâches lumineuses dans les yeux (4).

h) Courants induits dans les corps conducteurs :

Le phénomène d'influence connu dès le début de l'électricité nous apprend qu'un corps conducteur plongé dans un champ électrique sera l'objet d'un déplacement de charges électriques qui viendront se déposer à la surface de l'objet en question.

Lorsque le champ est alternatif on observera un va et vient des charges qui se traduira par un courant électrique au sein de l'objet.

Il est possible de quantifier la valeur de cette intensité de courant grâce à des modèles plus ou moins sophistiqués ou à des mannequins sur lesquels on effectuera des mesures.

Courants induits dans les corps conducteurs...suite :

Dans le cas d'une personne debout sur un sol conducteur, l'intensité du courant qui pénètre par les pieds est de $15 \mu\text{A}$ (millionième d'ampère) par kV/m et au niveau du cou $5 \mu\text{A}$ par kV/m .

Il est à noter que l'électropathologie officielle définit le seuil de perception à environ 1Ma (milliampère) (4).

5- ACTION DES CHAMPS ELECTROMAGNETIQUES DE FREQUENCE 50/60 HERTZ.

Si les effets réels ou supposés du magnétisme, comme phénomène Frantz Mesmer Paranormal, ont été étudiés de longue date, par exemple par Paracelse au XV^{ème} siècle ou par Frantz Mesmer au XVIII^{ème} siècle, il faut attendre le XIX^{ème} siècle pour que les premiers travaux sérieux voient le jour. Près d'un siècle plus tard, l'électricité est devenue un produit industriel de très grande diffusion et les premières questions émergent alors sur les effets délétères éventuels des champs électriques et magnétiques générés par le courant électrique.

La publication, en 1979, d'une première étude épidémiologique associant l'exposition aux champs magnétiques de très basse fréquence et l'apparition de certains cancers chez l'enfant va être le point de départ d'une importante activité scientifique relayée par les médias.

En parallèle avec les travaux épidémiologiques, des études *in vitro* et *in vivo*, chez l'animal et chez l'homme, vont explorer les interactions onde- vivant, en portant

une attention particulière, mais non exclusive, sur les mécanismes de cancérogenèse.

Notre physiologie fait intervenir des courants endogènes qui jouent un rôle fondamental dans les mécanismes de contrôle physiologique parmi lesquels l'activité neuromusculaire, les sécrétions glandulaires, les fonctions des membranes cellulaires, le développement, la croissance et la réparation des tissus. Eu égard à cette dimension électrique de notre organisme il n'est donc pas surprenant d'envisager une perturbation de notre physiologie, du fait de la pollution électromagnétique 50 /60 Hertz de plus en plus présente au cours de ce siècle.

Les études sur l'action biologique des ondes électromagnétique 50/60 Hertz sont très contradictoires suivant les auteurs.

Afin d'y voir plus clair nous avons décidé de présenter les arguments en faveur d'une faible ou d'une forte pollution induite par ce type d'ondes.

Rappelons que la fréquence du courant alternatif est de 50 Hertz en Europe et 60 en Amérique du Nord.

6- RAPPEL DES PRINCIPALES PROPRIETES PHYSIQUES DES ONDES 50/60 HERTZ :

L'un des aspects les plus importants des champs de basse fréquence (50/60 Hz) (ELF), est que leur longueur d'onde dépasse le millier de kilomètres pour atteindre 5000 Km.

En pratique leur longueur d'onde va s'étendre de Los Angeles sur la côte Est de Californie à New York jusqu' à la côte Est, ceci pour une fréquence de 60 Hz.

Dans le cas d'une onde de fréquence 50 Hz, la longueur d'onde s'étend encore plus loin, atteignant et s'engageant sur l'océan Atlantique.

Dans des matériaux possédant les propriétés électriques et magnétiques des tissus vivants, la longueur d'onde d'un champ de 60 Hz est de l'ordre de 1000 m, ce qui représente quand même 600 fois la dimension du corps humain.

La conséquence pratique de cette longueur d'onde des champs électromagnétiques, est que l'on peut négliger leurs propriétés de rayonnement : Il s'agit de champs purement et simplement (5).

Les champs électromagnétiques de fréquence 50/60 Hz se comportent d'une façon quasiment statique dans leur interaction avec le corps humain, car les oscillations peuvent être considérées comme pratiquement négligeables par

rapport à la stature humaine. C'est là une différence considérable par rapport aux champs électromagnétique de haute fréquence comme les micro ondes, les radars ou les ondes radio.

L'énergie photonique développée par ces champs électromagnétiques est extrêmement faible : $2,5 \cdot 10^{-13}$ électrons volts environ ; c'est à dire 10^{14} fois moins que l'énergie nécessaire pour rompre une liaison chimique covalente. elle est donc beaucoup trop faible pour affecter la structure des matériaux constitutifs de l'organisme humain (5).

Le champ électrique maximal induit dans les tissus par un champ électromagnétique produit par une ligne à haute tension n'excédera pas un volt par mètre, ce qui signifie aussi que l'élévation thermique intra tissulaire ne sera que de $6 \cdot 10^{-8}$ degré Celsius par seconde, c'est à dire une élévation tout à fait négligeable, non mesurable et sans effet possible. Ainsi, si les champs électromagnétiques agissent sur les tissus, seul un mécanisme non thermique pourrait être envisageable.

RAPPEL DES PRINCIPALES PROPRIETES PHYSIQUES DES ONDES 50/60 HERTZ...SUITE :

- Les niveaux environnementaux habituels des champs électromagnétiques varie entre 0,1 et 0,3 μT (un millionième de Tesla) pour le champ magnétique et entre 10 et 50 volts par mètre pour le champ électrique. Ces valeurs de champs génèrent des niveaux de champs électrique et de courants induits extrêmement faibles dans l'organisme. Les champs induits dans les tissus par les champs électromagnétiques présents dans notre environnement sont inférieurs à 5 microvolts par mètre (5 millionième de volts par mètre), ce qui représente environ dix mille fois moins que le niveau des champs électriques induits dans notre organisme par l'activité cérébrale ou cardiaque.

Cependant, ce niveau de champ magnétique moyen peut s'élever au voisinage d'outils électriques, et dépasser l'ambiance électromagnétique d'un facteur 10 000. Par exemple, à proximité des foreuses, des perceuses, ou des petits appareils électroménagers comme les rasoirs, les sèche - cheveux, le niveau de champ s'élèvent considérablement et il n'est pas exclu que des effets biologiques surviennent.

Les transitoires sont une autre catégorie de champs électromagnétiques induits dans les tissus. Ils se produisent chaque fois que nous allumons ou éteignons un moteur électrique ; chaque fois que nous mettons en marche ou

arrêtons un appareil électroménager. Il survient alors un transitoire extrêmement bref de l'ordre de 10^{-6} seconde (un millionième de seconde). La variation rapide d'amplitude du champ magnétique induit dans les tissus un niveau élevé de champs électriques de l'ordre du volt par mètre. L'autre facteur à considérer est la possibilité d'harmoniques de haute fréquence entre le kiloHertz et le mégaHertz (un million de Hertz), lors de l'utilisation d'outils ou autre appareil électrique. Ces ondes de haute fréquence peuvent aussi induire des niveaux élevés de champs électriques et de courants dans les tissus.

7- LES PRINCIPALES DONNEES BIOLOGIQUES

Bien que nous soyons exposés normalement à des niveaux très faibles champs électromagnétiques il existe néanmoins des situations d'utilisation d'outils ou d'appareils électriques, où nous nous trouvons alors exposés à des champs qui peuvent éventuellement déclencher dans l'organisme des réactions biologiques. Des niveaux de champs électromagnétiques suffisamment élevés ont des effets tissulaires : (6, 7,8, 9, 10, 11, 12,13).

LES PRINCIPALES DONNEES BIOLOGIQUES...suite :

Ils peuvent entraîner une modification du rythme cardiaque et l'activité cérébrale, ainsi on a constaté sur des sujets des modifications du comportement (rythme circadiens, agressivité, asthénie, troubles du sommeil, baisse de libido et céphalées).

Des perturbations neuroendocriniennes ont été observées telles que l'inhibition de la sécrétion de la mélatonine. Celle-ci est une hormone essentiellement synthétisée par la glande pinéale (épiphyse). Elle intervient physiologiquement comme l'« expression chimique de l'obscurité », en informant l'organisme de la photo période, lui permettant ainsi de vivre en harmonie avec l'environnement.

Sécrétée pendant la nuit, elle est inhibée par l'exposition à la lumière. La mélatonine est dotée de propriétés antigonadotropes (elle inhibe les hormones hypothalamo-hypophysaires contrôlant la libération d'oestrogènes), d'une activité oncostatique sur la croissance de cellules malignes et d'un rôle épurateur de radicaux libres (14,15).

De fait, toute réduction de son taux pourrait être créditée d'un effet favorisant la croissance tumorale, le développement de tumeurs mammaires (la sécrétion d'oestrogènes n'étant plus freinée) et / ou générant des altérations de l'ADN.

Un autre type de réponse concerne les effets cellulaires incluant des modifications sur l'expression de certains gènes aboutissant à des modifications de synthèse des protéines au plan qualitatif ou quantitatif.

On a également rapporté des effets sur la prolifération cellulaire dans certains types de cellules ou de tissus.

Des effets ont également trait à la membrane cellulaire. Il semblerait qu'il y ait des modifications dans la liaison calcique, dans le transport calcique et celui d'autres solutés qui traversent les membranes (16, 17, 18, 19, 20). Rappelons que l'ion calcium joue le rôle d'un messenger entre l'univers extérieur de la cellule et celle-ci.

Il pénètre dans la cellule à travers des canaux calciques potentiel - dépendants et se lie à des protéines pour intervenir dans l'activité métabolique de la cellule.

LES PRINCIPALES DONNEES BIOLOGIQUES...suite :

On a également observé des anomalies vis à vis d'hormones ou de facteurs de croissance (substances induisant la division cellulaire) qui reconnaissent des récepteurs spécifiques et déclenchent une activité bio- synthétique avec prolifération cellulaire.

- Les effets sur les cancers :

Deux types principaux de cancers ont été retrouvés dans les études épidémiologiques d'exposition aux champs électromagnétiques 50/60 Hz : les leucémies et les tumeurs du cerveau.

Certaines de ces études ont mentionné les deux formes de cancers, d'autres, une seule.

Il existe aussi des différences dans les deux types de leucémies rapportés.

Dans certaines études, la leucémie myéloïde aigue (LMA), est sur représentée, dans d'autres il s'agit de la leucémie lymphoïde chronique (LLC).

Pour les tumeurs du cerveau certaines études évoquent le fait que le risque concerne une population plutôt jeune, d'autres, non...

La majorité des maladies sont plus ou moins multifactorielles.

Il faut plus d'un seul agent pour développer une maladie.

Pour le cancer, nous savons qu'il faut à l'origine un initiateur qui endommage le matériel génétique d'une cellule. Celle-ci se transforme alors en cellule cancéreuse.

A un stade ultérieur il faut encore un ou plusieurs promoteurs pour aboutir à un cancer observable cliniquement.

Les ondes électromagnétiques 50/60 Hz sont elles des initiateurs ou des promoteurs de cancer ?

Les réponses sont en demi teinte, certains envisagent ces ondes comme ayant un effet initiateur et une grande partie des études épidémiologiques les considèrent plutôt comme à l'origine d'effets de promotion.

Actuellement les chercheurs envisagent que si ces ondes sont à l'origine de cancer c'est qu'elles agissent surtout comme des promoteurs (21,22).

8- LES TELEPHONES CELLULAIRES ET LEURS STATIONS RELAIS : RISQUES POUR LA SANTE.

Les radiotéléphones font partie nouveaux outils de communication mobile qui se répandent rapidement dans les pays industrialisés.

Il s'agit de téléphones portables dits « cellulaires » car ils sont utilisés dans des cellules géographiques au milieu desquelles se trouvent des émetteurs des stations de base.

Ces appareils de type GSM (Global System for Mobile Communication) en Europe, fonctionnent actuellement autour d'une fréquence porteuse de 900 MHz et de 1800 MHz (millions de Hertz). Ces hyperfréquences sont proches de celles délivrées par le four domestique à micro-onde qui fonctionne en 2,450 MHz.

Afin de comprendre leurs caractéristiques il est nécessaire de revenir sur la notion de puissance. La puissance est de l'énergie fournie ou dissipée par unité de temps. Elle s'exprime en watt (1 watt = 1 joule/seconde).

On définit également une densité de puissance de rayonnement qui est la quantité de puissance qui traverse une surface plane donnée (perpendiculairement) par unité de cette surface et par unité de temps. Elle s'exprime en W/m^2 (watt par mètre carré) ou en W/cm^2 (watt par centimètre carré).

Le mètre carré ayant peu de signification pratique dans les études qui nous occupent, c'est le watt par centimètre carré qui nous servira d'unité de base.

Le sous multiple le plus pratique pour l'étude des effets des micro-ondes est le W/cm^2 (microwatt par centimètre carré) qui vaut 1 millionième de W/cm^2 .

Les puissances émises par les téléphones cellulaires sont de 1 à 2 watts pour les portables individuels, 7 à 8 watts pour les téléphones de voiture et plusieurs dizaines de watts pour les stations relais.

La particularité de la pollution électromagnétique issue des portables est d'être directement au contact de la tête. 70 à 80% de l'énergie électromagnétique générée par le téléphone cellulaire pénètre dans la tête sur une profondeur de quelques centimètres suffisante pour atteindre les structures nerveuses telles que les méninges, le nerf optique, l'hypothalamus et qui pourrait entraîner une augmentation de la température du cerveau de l'ordre de $1^\circ C$ (23).

Aussi poser la problématique d'une « éventuelle pollution » du téléphone cellulaire sur son utilisateur n'est-elle pas de mise ?

LES TELEPHONES CELLULAIRES ET LEURS STATIONS RELAIS : RISQUES POUR LA SANTE...SUITE :

Afin de mieux appréhender qualitativement les effets des micro-ondes sur certains types de cellules il nous faut redéfinir les éléments de base de la membrane cellulaire.

Les membranes biologiques constituent des frontières permettant de séparer mais aussi de mettre en communication différents compartiments au sein de la cellule. Les membranes sont principalement constituées de lipides et de protéines. Les lipides constituant l'organisation de base des membranes sont des phospholipides auxquels sont associés dans la membrane plasmique le cholestérol et ses dérivés.

Chaque molécule de phospholipide, amphiphile, a une "queue" hydrophobe constituée par deux chaînes d'acide gras et une "tête" hydrophile constituée par un groupement phosphate.

Cette structure confère à ces molécules la propriété de former à la surface du milieu aqueux une couche mono moléculaire, les pôles hydrophiles de tous les phospholipides étant dirigés vers l'eau.

Deux couches peuvent s'agencer entre elles pour former une bicouche lipidique. Cette bicouche, au centre de laquelle, les pôles hydrophobes se font face, constitue la structure de base des membranes biologiques.

La proportion des lipides et des protéines est pratiquement égale pour un grand nombre de systèmes membranaires. Cependant, les membranes de l'appareil de Golgi ont plus de lipides (60%), de même les membranes constitutives de myéline de nerfs (+ de 70%). Dans une approche lipidique, la membrane se comporte comme un fluide à deux dimensions, " une mer de lipide dans laquelle s'enfoncent les icebergs".

La membrane plasmique se comporte comme un dipôle électrique. En effet, elle élabore une double couche électrique qui présente un excès de sodium extra cellulaire. Il apparaît de ce fait une différence de potentiel de l'ordre de 100 millivolts (mV).

Etant donné que cette différence de potentiel ne se maintient que sur l'épaisseur de la membrane (10^{-6} cm), elle correspond à une intensité de 100 000 volts par centimètre ou 10 millions de volts par mètre !

LES TELEPHONES CELLULAIRES ET LEURS STATIONS RELAIS : RISQUES POUR LA SANTE...SUITE :

Une telle force électrique considérable est suffisante sous certaines conditions, dans l'air humide, pour provoquer des décharges (éclairs), cependant dans la cellule il n'en est rien.

Les fortes intensités de champs électriques et leurs continus balancements, provoquent de cette manière des vibrations locales d'éléments isolés constitutifs de la membrane qui oscillent comme des dipôles électriques.

H. Frölich, professeur au département de physique théorique de Liverpool a évalué les fréquences en fonction de l'épaisseur de la membrane et de la vitesse du son (24, 25, 26, 27,28 ,29). Les champs électriques oscillant longitudinalement (donc vibrant dans le sens de la direction de propagation), entrent en action dans la matière lorsqu'ils sont polarisés. On désigne ces oscillations produisant une vibration de la matière dans le milieu, par les termes "d'ondes sonores", et leur unité particulière est appelée "phonons".

En principe elles se différencient par des oscillations sonores bien connues. Elles se propagent également à la vitesse du son, soit à peine 100 m par seconde. Etant donné que le produit de la longueur d'onde λ et de la fréquence ν est égal à la vitesse de propagation v , on peut calculer la fréquence à partir de la longueur d'onde et de la vitesse de propagation de cette onde :

$$\lambda \cdot \nu = V \Rightarrow \nu = V / \lambda$$

La longueur d'onde stationnaire concordant avec une épaisseur de membrane de 10^{-6} cm donne par calcul, en posant une vitesse de propagation située entre 10^5 et 10^6 cm/s, une fréquence de 10^{11} et 10^{12} Hz.

Les ondes électromagnétiques émises par la membrane plasmique se situent donc dans la gamme des micro-ondes. Elles ont fait l'objet de recherches expérimentales intensives.

En 1975, Frölich a attiré l'attention sur le fait que les résonances aux micro-ondes, observées par les chercheurs soviétiques, sont des effets spécifiquement démontrés et constitutifs à des irradiations par des micro-ondes de fréquences bien déterminées sur une grande variété de membranes biologiques.

Comme Frölich l'avait prédit, la fréquence de vibration des membranes biologiques se situe à environ 10^{10} Hz et les variations de résonance propres à la biologie se dissipent en dessous d'une valeur critique de la puissance alors que celles-ci entrent subitement en jeu au dessus de ce seuil et restent constamment indépendantes de tout accroissement ultérieur de la puissance.

LES TELEPHONES CELLULAIRES ET LEURS STATIONS RELAIS : RISQUES POUR LA SANTE...SUITE :

Une pollution des micro-ondes issue des téléphones cellulaires sur les membranes elles-mêmes génératrices de micro-ondes est donc tout à fait envisageable.

Le phénomène de résonance exacerbe l'effet délétère des micro-ondes sur les membranes.

En effet, une onde est une sinusoïde faite de creux et de sommets.

On peut partager symétriquement une onde à l'aide d'une ligne horizontale. La distance entre cette ligne et un sommet s'appelle l'amplitude a ; le creux présentera une amplitude $-a$.

Si deux ondes interagissent de façon à ce que les deux sommets d'amplitude a , coïncident, on obtient alors une onde résultante d'amplitude double $2a$. Un tel phénomène est appelé interférence constructive ou résonance.

Si les micro-ondes entrent en résonance avec la membrane, la fluidité membranaire sera fortement perturbée ce qui entraînera un dysfonctionnement des échanges transmembranaires, avec une pathologie éventuelle à la clé, en fonction de la fréquence du phénomène.

Les neurones, sont des cellules nerveuses qui assurent l'excitabilité, la conductivité et la communicabilité. Cette dernière utilise des substances chimiques appelées neuromédiateurs. La libération de ces substances est précédée de l'entrée d'un courant de calcium dans la partie terminale du neurone appelée synaptosome.

La libération des neuromédiateurs est proportionnelle à la concentration en calcium à la puissance 4 (30).

Les micro-ondes perturbant les courants de calcium, ils engendrent un déséquilibre entre les neuromédiateurs excitateurs et les neuromédiateurs inhibiteurs, à l'origine de troubles du comportement.

9- PATHOLOGIES LIEES AU MICRO-ONDES :

Action sur la biochimie cérébrale du rat :

Des modifications de la biochimie cérébrale ont été mises en évidence chez le rat :
- augmentation des teneurs cérébrales en sérotonine (neurotransmetteurs du cerveau) avec

- diminution dans l'hypothalamus des teneurs en noradrénaline et en dopamine (deux autres neurotransmetteurs du cerveau à 1, 500MHz et 20Mw/ cm² (31, 32,33).
- modification de la concentration cérébrale en récepteurs muscariniques (lieu d'action de l'acétylcholine) avec une exposition à 2,450 MHz.

L'acétylcholine est impliquée au niveau cérébral dans la régulation de l'humeur chez l'homme, l'apprentissage et la mémorisation chez l'animal (34).

Effets in vitro:

- Modification des mouvements d'ions transmembranaires (calcium, potassium....).
- Augmentation de l'enzyme ornithine décarboxylase (ODC) (34); cette enzyme catalyse la conversion d'ornithine en putrécine, l'une des polyamines indispensables à la croissance cellulaire. Les facteurs de croissance et les promoteurs tumoraux génèrent une augmentation de l'activité de l'ODC. Dans des cellules exposées, une telle augmentation serait le signe d'une prolifération cellulaire accrue. Des travaux menés sur des cellules tumorales ont montrés une induction modeste et transitoire d'environ deux fois le taux basal, un effet qui disparaissait alors que l'exposition était maintenue.
- Blocage de l'action anti - cancéreuse de la mélatonine
- Diminution des défenses immunitaires.

PATHOLOGIES LIEES AU MICRO-ONDES...suite :

Effets in vivo :

- Action sur les rythmes biologiques et le comportement.
- Action sur le glande pinéale et la mélatonine.

- Perturbation de l'électroencéphalogramme lors de l'exposé à de faibles densités de puissance.
- Modification de neurotransmetteurs cérébraux.
- Troubles du sommeil.

-Effets sur l'action de médicaments. Ainsi les hyperfréquences, à faible densité de puissance peuvent augmenter ou diminuer l'action pharmacodynamique des médicaments.

-Promotion et initiation tumorale chez l'animal.

-Augmentation du risque de certains cancers de l'enfant, de l'adulte en milieu domestique et de l'adulte en milieu de travail.

-Augmentation cellulaire des radicaux libres. Cette augmentation serait la conséquence de l'inhibition de la mélatonine.

Les radicaux libres sont des molécules ou des atomes porteurs d'électrons libres (célibataires) très instables. Cette instabilité fait d'eux de redoutables agresseurs des cellules. Parmi eux on peut citer :

- l'anion superoxyde (O_2^- : le signe moins rappelle la polarisation électrique et le point, l'existence d'un électron libre.)
- le radical hydroxyle ($HO\cdot$)
- le radical peroxyde ($ROO\cdot$).....

Les radicaux libres sont responsables de l'accélération du vieillissement, de la mort cellulaire précoce, de rupture de l'ADN.

Il existe dans l'organisme des piègeurs de radicaux libres (« scavenger ») tels que des enzymes (superoxyde dismutase, glutathion peroxydase....), des vitamines (C, E, A...), le manganèse, le sélénium, la mélatonine.

L'importance des radicaux libres est soulignée par le fait entre autre qu'ils augmentent dans certaines maladies neurodégénératives, telles que la maladie d'Alzheimer ou la maladie de parkinson. Pour C. Maurizi la maladie d'Alzheimer serait liée à une déficience en mélatonine (17).

L'administration de mélatonine s'oppose aux ruptures de l'ADN cellulaire chez le rat exposé aux hyperfréquences (2, 450 MHz - 2Mw/cm²).

PATHOLOGIES LIEES AU MICRO-ONDES...suite :

Les effets pathologiques constatés lors de l'exposition excessive aux micro-ondes utilisées en télécommunication sont nombreuses et particulièrement graves.

Les différents rapports ou études publiées à ce sujet concordent largement :

- Rapport du CSIRO (Commonwealth Scientific and industrial Research Organisation) (35).

Ce rapport exprime de réelles inquiétudes concernant les risques pour la santé d'expositions à long terme, même à de faibles niveaux d'intensité.

Les effets constatés sont essentiellement :

L'aggravation de la prolifération cancéreuse, spécialement de la leucémie, du cancer du sein et des tumeurs au cerveau.

On constate également la dégénérescence tissulaire de la rétine, de la cornée et de l'iris de l'œil (surtout chez les personnes souffrant de glaucome), des modifications de la chimie du cerveau et du degré d'efficacité des drogues, dues à une perméabilité accrue de la barrière hémato-encéphalique.

On observe également une altération des fonctions d'apprentissage et de mémoire (ce qui rend particulièrement désastreuses l'installation d'antennes-relais au voisinage des écoles). Il faut noter que les enfants sont plus sensibles que les adultes aux effets perverses des micro-ondes, et cela d'autant plus qu'ils sont petits.

Des niveaux très bas d'irradiation par hyperfréquences (des milliers de fois moins que les « niveaux de sécurité » mentionnés dans les normes américaines ou australiennes !) ont provoqué des cancers et des anomalies congénitales chez des animaux d'expérience.

Une irradiation pulsée à des niveaux aussi bas que $0,02 \text{ mW / cm}^2$ a montré qu'elle pouvait diminuer la synthèse de la mélatonine.

Le rapport du CSIRO signale encore les altérations du système hématopoïétique, immunitaire, ainsi que des effets génétiques.

- Syndrome des micro-ondes :

PATHOLOGIES LIEES AU MICRO-ONDES...suite :

Les personnes exposées aux hyperfréquences se plaignent de différents troubles qui constituent une pathologie spécifique de l'exposition à ces ondes électromagnétiques :

- Fatigabilité
- Céphalées
- Troubles de l'humeur et du sommeil.

- Les cristaux de magnétite (Fe_3O_4) :

La présence de ces cristaux fortement magnétiques sous forme de particules microscopiques, a été démontrée dans plusieurs espèces (bactéries magnétostatiques, abeilles, vertébrés supérieurs) et aussi dans le cerveau de l'homme qui en contiendrait plusieurs millions par centimètre cube de tissu, soit plusieurs milliards pour l'ensemble du cerveau (36).

Ces cristaux de magnétite appelés « magnétosomes » se comportent comme des aimants.

Sous l'effet des micro-ondes ces aimants se mettent en vibration.

On comprend alors aisément que ces vibrations engendrent un foyer irritatif qui, à court ou à long terme, est susceptible d'induire des perturbations physiologiques neuronales plus ou moins graves.

- Four à micro- onde:

Les fours à micro-onde sont équipés d'un tube à vide à émission thermo-électronique de 2450 MHz sous l'action de ces micro-ondes, les molécules d'eau présentes dans les aliments subissent des changements d'orientation à la fréquence de 2450 MHz, soit 2 milliards 450 millions de fois par seconde.

Ces changements provoquent des frictions qui échauffent les aliments très rapidement mais déstructurent le réseau hydrique des aliments.

En effet, de telles agitations cassent les liaisons hydrogènes qui lient les molécules d'eau les unes aux autres.

Le réseau hydrique étant déstructuré c'est l'élément essentiel qui est déstructuré et certains n'hésitent pas à avancer que manger une nourriture chauffée au micro-onde, revient à ingérer un aliment dévitalisé.

Les effets à long terme de la consommation d'aliments cuits au four micro-onde sont loin d'être connus ...il convient d'être prudents.

10- LES MESURES DE PROTECTION :

Afin de limiter les risques biologiques des mesures de protections individuelles et collectives peuvent être recommandées.

Il s'agit d'abord d'utiliser son téléphone cellulaire avec parcimonie et de façon plus réfléchie :

- éviter les longues conversations
- Ne pas utiliser le téléphone à partir de sous sols , de garages sous terrains car une puissance plus élevée qu'à l'extérieur est requise pour joindre la station relais.
- Ne pas téléphoner dans sa voiture les vitres fermées car la réflexion des ondes sur les parois de la voiture entraîne une démultiplication de la pollution (comme dans un micro onde).
- Eloigner le combiné téléphonique de l'oreille de quelques centimètres durant la recherche du correspondant et pendant la communication.
- Ne pas porter le téléphone à la ceinture car il y a un risque de soumettre les organes tels que le foie, la rate ...à l'émission d'ondes d'hyperfréquence.
- Les porteurs de stimulateur cardiaque doivent garder une distance d'une vingtaine de centimètres entre le téléphone cellulaire et leur appareil d'assistance cardiaque afin d'éviter un risque possible de déprogrammation.
- Ne pas porter le téléphone à proximité du cœur de façon générale.
- Du fait de leur plus grande sensibilité aux rayonnements non ionisants en général et aux micro-ondes en particulier, il faut éviter aux enfants l'utilisation répétée d'un téléphone cellulaire.
- Ne pas utiliser le téléphone cellulaire lors de traitement ophtalmologique.
- Réduire l'utilisation du téléphone cellulaire lors de périodes dépressives, de stress ou de fatigue.
- Réduire l'utilisation du portable lors de maladies graves et en cas de déficience immunitaire.
- L'utilisation d'un kit « main libre » paraît une solution intéressante pour éloigner le téléphone de la tête de l'utilisateur.

L'idéal serait de limiter la conversation au téléphone cellulaire à trois minutes et laisser un intervalle d'au moins quinze minutes entre deux conversations. Certains préconisent de ne pas téléphoner 5 à 6 fois par jour.

Comment choisir son portable ?

Afin de répondre à cette question il nous faut tenir compte du degré d'absorption de cette énergie par les tissus vivants.

Celui-ci est décrit conventionnellement en langue anglaise par le SAR (" Specific Absorption Rate) et en français par TAS (taux d'absorption Spécifique). Ce taux spécifique d'absorption d'énergie s'exprime en W/ Kg (watt par kilogramme).

Les portables acceptables ont un TAS de 0,7 W/Kg.

LES MESURES DE PROTECTION :

Il est important de souligner que la sensibilité aux radiations non ionisantes n'est pas identique au sein de la population, certains sujets sont hypersensibles aux champs électromagnétiques et cette sensibilité serait d'origine génétique.

Il est donc difficile de faire des statistiques en considérant chaque individu comme uniformément sensible à la pollution électromagnétique et ce qu'un sujet peut allégrement supporter un autre ne le pourra en aucun cas.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- A. Aurengo et T. Peticlerc " biophysique" 3 ème édition Médecine- Science Flammarion (2006).
- 2- R.P.Feynman " électromagnétisme " Tomes 1 et 2 interéditions (1979).
- 3- C.Larroque et J.Virieux " physique de la terre solide, observations et théories" Gordon Breach Science Publisher, Collection Géosciences (2201).
- 4- R.K. Adair "Constraints on Biological Effects of Weak extremely low Frequency Electromagnetic Fields". The American Physical Society (Physical Review A) Volume 43, 2-15) (1991).
- 5- "Electric and Magnetic Fields from 60 Hz Electric Power: What do we know about possible health risks?" Carnegi Mellon University Pittsburgh (1989).
- 6- "Service Santé et Environnement, Département de santé Communautaire, Centre Hospitalier de l' Université Laval, "les effets des champs électromagnétiques 50/60 Hz sur la santé" (1991).
- 7- P. Guenel, P.Raskmark, J.Bach, Andersen, E. Lynge, "Incidence of Cancer in Persons with Occupational Exposure to Electromagnetic Field in Denmark". Brit. J. of Indust. Medecine, Volume 50, 758-764 (1993).
- 8- OTA Congress of the United States, "Biological Effects of Power Frequency Electric and magnetic Fields" (1989).
- 9- EPA Review Draft 600/6- 90-005 B, "evaluation of the Potential Carcinogenicity of Electromagnetic Fields" (1990).
- 10- Seth Shulman "Cancer Risks seen in Electromagnetic Fields. Powerline Implicated, biological Mechanisms unknown". Nature (1990).
- 11- A.A. Marino" Beauty and a Beast ". Journ. of Bioelectricity 9, V- VI (1990).
- 12-"Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields: The question of Cancer". Battelle Press Columbus (USA) (1990).
- 13- W.Mack, S.Preston - Martin, J.M.Peters "Astrocytoma Risk Related to Job Exposure to Electric and Magnetic Fields ". Department of Preventive

- medecine, University of Southern California , School of Medecine, Los Angeles - Bioelectromagnetics , Volume 12 , 57 - 66 (1991).
- 14- H. Lai et Coll. " Melatonin and a Spin -Trap Compound Block Radio Frequency Electromagnetic Radiation - Induced DNA Strand Breaks in Rat Brain Cells ". Bioelectromagnetics, Volume 18, 446 - 454 (1997).
 - 15- R. J. Reiter et Coll. " a Review of the Evidence Supporting Melatonin's role as an Antioxidan". J. Pineal Research, Volume 18, 1-11 (1995).
 - 16- E. Sobel et Coll. " Occupations with Exposure to Electromagnetic Fields: a possible risk factor for Alzheimer's disease". Am. J. Epidémiol, Volume 142, 515-524 (1995).
 - 17- C.P.Maurizi "The mystery of Alzheimer's disease and its Prevention by Melatonin ". Medical Hypotheses, Volume 45, 339-340 (1995).
 - 18- C.F. Blackman "ELF effects on Calcium Homeostasis. In extremely Low Frequency Electromagnetic Fields: The question of Cancer". Battlle Press (1990).
 - 19- V.V. Vorobyov et coll. " Effects of Weak Microwave Fields Amplitude Modulated at ELF on EEG of Symetric Brain areas in Rats". Bioelectromagnetics, Volume 18, 293-298 (1997).
 - 20- V.F. Katkov et Coll. " The Effect of Modulated EHF - Electromagnetic Fields (Low Intensity) on Calmodulin levels in Brain Structures". Bull. Exp. Biol. Med., Volume 7, 52-54 (1992).
 - 21- A.B. Miller, Te. To, D.A. Agnew, C. Wall, L.M. Green "Leukemia Following Occupational Exposure to 60 Hz Electric and magnetic Fields among Ontario Electric Utility Workers". Am. J. Epidemiol, Volume 144, n°2, 150-160 (1996).
 - 22- P. Guenel, F. Nicolau, E. Imbernon, A. Chevalier, M. Golberg " Exposure to 50 Hz Electric Field and Incidence of Leukemia , Brain Tulors and other Cancers among French Electric Utility Workers" Am. J. Epidemiol, Volume 144, n° 12, 1107-1121 (1996).
 - 23- R. Santini " Téléphones Cellulaires, danger?". Collection Résurgence (2002).
 - 24- H. Fröhlich. Phys. Lett. 51 A, 21, 1975
 - 25- H. Fröhlich. Phys. Lett. 26 A, 402, 1968
 - 26- H. Fröhlich. Inter. J. Quantum Chem. 2, 641, 10
 - 27- H. Fröhlich. Proc. Roy. Soc. (London) A 215, 291, 1952
 - 28- H.Fröhlich. Phys. Rev. 79, 845, 1950
 - 29- H. Fröhlich. Phys. Let. 51 A, 21
 - 30- Purves, Augustine, FitzPatrick, Hall, Lamantia, McNamara, Williams "Neuroscience", de Boeck (2005).

- 31-L.G. Salford et Coll. " Permeability of Blood-Brain Barrier Induced by 915 MHz Electromagnetic Radiation, Continuous Wave and Modulated at 8, 16,50 and 200 Hz". Microscopy Research and Technic. , Volume 27, 535-542 (1994).
- 32- G.N. Catravas et Coll "Biochemical Changes in the brain of Rats Exposed to Microwaves of Low Power Density". J.Microwave Power, Volume 11, 147-148 (1976).
- 33- J.H. Merrit et Coll. " Orientation Effects on Microwave Induced Hyperthermia and Neurochemical Correlates ". J.Microwave Power, Volume 12, 171-172 (1976).
- 34- L.M. Penafiel et Coll. " Role of Modulation on the Effect of Microwave on Ornithine Decarboxylase Activity in L 929 cells". Bioelectromagnetics, Volume 18, 132-141 (1997).
- 35- CSIRO(Report on the Status of research on the Biological Effects and Safety of Electromagnetic Radiation): Telecommunications Frequencies, June 1994 prepared by S.B.Barnett Ph D; Ultrasonic Laboratory Division of radiophysics, Greville Street, Chatswood 2067, Australia.
- 36- J.L. Kirschvink et Coll. " Magnetite in Human Tissues : a Mechanism for the Biological Effects of Weak ELF Magnetic Fields". Bioelectromagnetics, supplement 1. , 101- 113 (1992).

