

- Les risques liés aux champs électriques et magnétiques à extrêmement basses fréquences -

par Jean-Marie Danze (*)

Extrait de l'ouvrage «*L'Habitat sain? Maîtriser l'Electrosmog*» (section 2) par J.M. Danze, P. Le Ruz, M. Bousquet, B. Louppe, Ed Pietteur, Liège (2002).

Deux aspects à prendre en considération :

- Effets sur la santé humaine et animale
- Effets interactifs sur les appareils électriques et électroniques (application de la Directive européenne 89/336/CE, «compatibilité électromagnétique»)

Généralités:

Les champs électromagnétiques alternatifs artificiels

Différentiation théorique entre Radiations ionisantes et Radiations non ionisantes

Les radiations ionisantes sont des radiations de champs électromagnétiques dont la fréquence se situe au delà de 10^{16} Hertz (ultra-violet lointain). L'énergie qu'elles dégagent ($= h$) sur la matière est tellement élevée qu'elles sont capables d'arracher des électrons et de former des ions (radicaux libres dans les tissus vivants).

Les Radiations Non Ionisantes artificielles:

Les radiations non ionisantes sont des radiations de champs électromagnétiques dont la fréquence se situe en deçà de 10^{16} Hertz (ultra-violet proche inclus).

Définition vulgarisée d'un champ : Un champ est une zone d'influence

Les Radiations Non Ionisantes artificielles:

U Les champs électriques alternatifs : définition vulgarisée, origine et propriétés particulières (Champ électrique correspond à la tension électrique du fil...blindage relativement facile).

U Les champs magnétiques alternatifs : définition vulgarisée, origine et propriétés particulières (Champ magnétique correspond à l'intensité du courant circulant dans le fil...blindage efficace très compliqué).

Les fréquences des champs des radiations non ionisantes artificielles: *tableau des fréquences en fin de document.*

(*) Licencié ès Sciences Chimiques (Univ. Liège), ex assistant à l'Institut de Pharmacie U.Lg, Consultant Scientifique en Biophysique, Expert Champs électromagnét., Chargé de Mission du Ministère Belge de la Santé Publique.

Les sources de champs électriques 50 Hertz:

Les réseaux électriques à hautes, à moyenne tension et à basses tension, les appareils électroniques et électriques, les transformateurs, les moteurs électriques, les appareils électroménagers, les systèmes d'éclairage.

L'intensité du champ est proportionnelle à la tension régnant sur la source.

La meilleure protection est la faradisation : carcasse métallique mise à la terre. L'enterrement d'une ligne électrique supprime le champ électrique.

Les sources de champs magnétiques 50 Hertz:

Les réseaux électriques, les appareils électroniques et électriques, les transformateurs, les appareils électroménagers, les systèmes d'éclairage.

L'intensité du champ est proportionnelle au transit du courant ou à la consommation de courant de l'appareil ou de l'installation industrielle (ampérage).

Les protections absolues sont quasi impossibles. Seul **l'éloignement** peut résoudre les problèmes d'exposition.

L'enterrement d'une ligne électrique ne modifie pas l'intensité du champ magnétique.

Les unités :

↔ Champ électrique :

Le Volt / mètre (V / m)

1 kV / m = 1.000 V / m

↔ Champ magnétique :

Le Tesla (T)

1 T = 1.000 mT = 1.000.000 μ T

1 mT = 1.000 μ T = 10.000 mG

1 G (Gauss) = 1.000 mG = 100 μ T

1 μ T = 10 mG

1 A / m (ampère/mètre) = 12,5 mG = 1,25 μ T

1 mG = 80 mA / m

La plupart des appareils de mesures étalonnés expriment la mesure en milligauss (mG).

L'incidence des champs magnétiques sur la santé humaine et animale

1. Les études épidémiologiques:

Trois pathologies ciblées:

1.A. Problèmes neurologiques : dépressions nerveuses et suicides

1.B. Pathologies cancéreuses : leucémies et cancers en général

1.C. Pathologies cardiovasculaires irréversibles

1.A. Problèmes neurologiques : dépressions nerveuses graves et suicides

Dès 1981, Perry et al.[1a, 1b] ont montré en Grande Bretagne que des personnes exposées aux champs magnétiques de câbles d'alimentations disposés sur des immeubles à appartements multiples ont plus de tendance à la dépression nerveuse et aux suicides qu'une population des mêmes immeubles non exposées. Cette tendance a été confirmée par une étude finlandaise menée par Verkasalo P.K. et al.[2] qui montre que les riverains de lignes électriques présentent 4,7 fois plus de dépressions nerveuses s'ils sont exposés à plus de 1 mG(0,1 μ T).

Van Wijngaarden et al. ont également montré dans une étude publiée en 2000, que les employés de compagnies d'électricité exposés aux champs électromagnétiques intenses ont 3,6 fois plus de tendances suicidaires que des personnes non exposées [3]. Cette étude porte sur 139.000 employés.

1.B. Pathologies cancéreuses : leucémies et cancers en général

Sources de conflits entre différentes tendances : facteurs de confusion, parfois trop petit nombre de sujets, sponsorship de certaines études par des industriels de l'électricité. Parfois, on remarque que les conclusions finales ne reflètent pas les résultats réellement obtenus : exemple l'Etude Franco-canadienne publiée par l'American Journal of Epidemiology (1994)[4]. Les communiqués de Presse d'EDF n'étaient pas conformes aux textes.

La plupart des études sont centrées sur les cancers et les leucémies.

Ce choix à notre avis est mauvais car le cancer est une maladie d'aboutissement n'apparaissant qu'après plusieurs années (parfois 10 à 15 ans après le processus d'initiation des cellules cancéreuses, suite à un effet mutagène). D'autres voies d'explorations intermédiaires peuvent révéler certaines anomalies précédant le déclenchement du cancer. Ces anomalies, telles une baisse de l'immunité deviennent des facteurs d'inconfort et peuvent être dépistées précocement (L. Bonhomme-Faivre et al. [36, 37, 38]).

Cependant des études suédoises et danoises revêtent une très grande importance (accès à un registre national du cancer, très grand nombre de sujets, mise à l'écart des facteurs de confusion, tri sélectif des participants en fonction de critères de sensibilité individuelle...). Ces études regroupées montrent indiscutablement une relation entre le risque relatif et le niveau de champ magnétique (relation dose/effet), ceci entre 0,2 et 0,5 μT (2 et 5 mG) [5]. A 2 mG le risque relatif est 2 et à 5 mG, le risque relatif est 5,1.

Aujourd'hui, le Centre International de Recherche sur le Cancer de Lyon (C.I.R.C.) (après compilation des études épidémiologiques), dans le cadre du programme O.M.S. reconnaît un risque multiplié par deux de leucémies infantiles à partir de 4 mG (0,4 μT). Le National Radiation Protection Board britannique (N.R.P.B. = organisme officiel de protection contre les radiations), par la voix de Richard Doll, a abouti aux mêmes conclusions en mars 2001. Cette conclusion apparaît également dans une étude groupée [6] publiée en 2000 par plusieurs chercheurs de centres de recherches internationaux.

Les Prof. Roger Santini, Pierre Le Ruz et moi-même recommandons depuis plus de 10 ans de ne pas soumettre le public à plus de 0,2 μT (2 mG) en exposition journalière. Pourquoi cette valeur de 2 mG ? Parce que l'examen approfondi des études épidémiologiques montre que la définition de l'exposition (considérée comme nulle a priori) des sujets témoins est très mal définie. En effet, dans les études épidémiologiques, tant situées dans le cadre professionnel que dans le cadre domestique, on a pris comme facteur d'exposition des sujets exposés une source bien définie : poste de travail soigneusement mesuré, distance connue d'une ligne THT, présence d'un transformateur, travail sur des machines très puissantes etc. Mais lorsqu'il s'agit des sujets témoins, bien des détails concernant l'exposition font défaut. Après plus de 10 ans de mesures réalisées au domicile de diverses personnes, nous avons pu nous rendre compte de ce que bon nombre de celles-ci, que l'on aurait pu a priori considérer comme non exposées sont en réalité soumises soit sur leurs lieux de travail, soit à leur domicile à des champs magnétiques alternatifs 50 Hz dépassant 5 mG. Les couvertures chauffantes, les réveils à affichage digital sur la table de nuit, les lampes de chevet halogène avec transfo, les chauffages électriques à résistances noyées dans la chape, les panneaux de plafonds radiants à l'étage inférieur de l'appartement, les convecteurs électriques placés trop près du lit, les tubes fluorescents de bureau, proches de la tête, les transfos d'halogènes à basse tension fixés dans les plafonds, les écrans vidéo d'ordinateurs, constituent des sources d'exposition aux champs magnétiques pendant des durées correspondant à 8 heures par jour (pendant les heures de loisirs et de sommeil).

Si l'on prend ce fait en considération, le niveau d'exposition de la population témoin dans les études est bien plus élevé qu'on ne pourrait le croire et ainsi on peut à bon droit estimer que le risque relatif est beaucoup plus élevé pour des valeurs de champ magnétique basses. C'est cette raison qui nous pousse à adopter depuis 10 ans, au nom du Principe de Précaution une valeur limite de 2 mG.

Une étude suédoise réalisée parmi les machinistes de chemin de fer [7] a montré que des ruptures de chromosomes (possibilité d'effet mutagène, donc cancérigène) sont plus fréquentes dans cette catégorie professionnelle que chez les autres cheminots suédois. En Suisse, une étude [8] a montré que les machinistes de locomotives contractent 2,43 fois plus de leucémies que les autres personnels ferroviaires. Ces études avaient été précédées par une recherche publiée en 1993 [9] et réalisée sur les travailleurs d'une centrale thermique en Jordanie. Des aberrations chromosomiques y ont été observées sur des lymphocytes périphériques de travailleurs exposés à des champs magnétiques importants. Comparés à une population de mêmes caractéristiques, ces travailleurs présentaient un nombre significativement plus important d'aberrations chromosomiques. Le fait de fumer ou non n'avait aucune incidence sur les résultats.

Ces dernières études montrent que les champs magnétiques alternatifs à extrêmement basses fréquences (ELF) sont mutagènes à des niveaux d'intensité que l'on peut rencontrer dans la vie habituelle. Les champs magnétiques mesurés dans un couloir de 50 m de part et d'autre d'une ligne à très haute tension (380 à 400 kV) sont souvent du même ordre de grandeur que ceux signalés par Nordenson et al. Les habitants y sont exposés jour et nuit, contre leur gré.

Rappelons que les passagers des trains à grande vitesse TGV sont exposés à des champs magnétiques alternatifs 50 Hz compris entre 20 et 80 mG (2 à 8 μ T) selon les types de rames et au gré des accélérations du train.

Ces effets d'aberrations chromosomiques rejoignent les études immunologiques de Madame L. Bonhomme-Faivre, dont il sera fait mention dans la suite de cet exposé.

Des cas particuliers de cancers du sein:

Une autre étude doit retenir toute notre attention. En effet, très souvent, dans les études épidémiologiques courantes, il est presque toujours impossible de tenir compte de la sensibilité individuelle à un facteur donné. Or, grâce à la précision des données figurant dans le registre national suédois du cancer, il a été possible de sélectionner une catégorie de femmes dont la probabilité de contracter un cancer du sein est beaucoup plus élevée: il s'agit des femmes réceptrices positives aux oestrogènes. Or, lorsque cette catégorie de femmes est exposée à des champs magnétiques à extrêmement basses fréquences, le risque relatif de contracter un cancer du sein à moins de 50 ans devient 7,4 fois plus élevé que pour d'autres femmes [10]. C'est cette constatation qui a poussé les autorités suédoises à adopter des normes de plus en plus restrictives pour les émissions des écrans d'ordinateurs (TCO 99).

Les expositions simultanées aux champs électriques et aux champs magnétiques:

Peu d'études prennent en compte l'exposition simultanée aux champs électriques et aux champs magnétiques, c'est pourquoi nous nous intéresserons à celle réalisée par Guenel et al. sur des personnels d'Electricité de France entre 1978 et 1989 et à celle de Miller A.B. et al., toutes deux publiées en 1996. Guenel et al. [11] ont observé 3,08 fois plus de cancers du cerveau (tous types confondus), (3,69 fois plus après 5 ans de latence). Le seuil critique semble être de 500 V / m-par année. Une association inattendue a également été trouvée pour le cancer du colon en tenant compte de la répartition spatiale du champ électrique 50 Hz dans l'espace entourant le travailleur. En ce qui concerne l'étude de Miller A.B et al. [12], portant sur 31.543 travailleurs masculins d'Hydro-Ontario, elle indique 4,45 fois plus de leucémies (tous types) chez les personnels exposés à la fois aux champs électriques (entre 172 et 344 V/ m-par année) et aux champs magnétiques (3,2 à plus de 7,1 μ T / année).

1.C. Pathologies cardiovasculaires irréversibles

Une étude publiée en 1999 par Savitz et al. [13] montre que l'exposition professionnelle à des champs magnétiques alternatifs 60 Hz entre 6,5 et 11 mG (0,65 μ T et 1,1 μ T) dans 5 compagnies d'électricité sont mises en relation avec un taux plus élevé de mortalité par maladies cardiovasculaires irréversibles (de 1,5 à 3,3 fois plus).

Les études épidémiologiques sont des instruments d'approche quant à l'influence d'un facteur particulier sur la santé humaine ou animale. Elles fournissent des résultats indicatifs mais rarement définitifs quant à l'importance chiffrée de ce facteur sur le problème étudié. Pour les valider, il est important de les faire suivre d'études en laboratoire sur cellules et sur animal. Le laboratoire, bien que ne représentant que très imparfaitement les conditions normales de vie d'un être humain, permet de mieux contrôler différents paramètres d'exposition.

2. Les recherches en laboratoire.

Des résultats **convergents** obtenus dans plusieurs laboratoires sérieux de la planète, tant sur cultures cellulaires que sur animaux nous permettent de dire que l'action des champs électriques et magnétiques à extrêmement basses fréquences (ELF) sur les êtres vivants est indiscutable et qu'elle peut induire certaines pathologies, tant sur l'animal que sur l'humain. Nous suivons en cela la communication faite par le Prof. W. Ross Adey, neurologue, actuel Président du Conseil National Américain de Protection contre les Radiations (émanation de l'E.P.A.) Lors du Symposium de la Communauté Européenne à Londres le 27 octobre 1994. Le titre de l'exposé est éloquent en soi : «*Un consensus scientifique croissant concernant les interactions entre biologie cellulaire et moléculaire et les champs électromagnétiques de l'environnement*»[14]. Dans ce document, l'auteur, réputé pour la qualité des recherches menées dans le cadre officiel du «Cabinet des Affaires des vétérans de l'Armée U.S.» sous son autorité et son intégrité, a rédigé une excellente synthèse des recherches réalisées. Il énumère les différentes expérimentations effectuées et les conclusions qu'elles permettent de tirer.

Afin de ne pas alourdir le présent rapport, nous ne ferons ici que mettre en exergue les différents arguments de W.R. Adey, le développement de ceux-ci ainsi que les références bibliographiques étant fournis dans le texte original traduit. Nous insérerons parmi les extraits de ce rapport, en en mentionnant les sources bibliographiques, des publications plus récentes étayant la plausibilité ou complétant la trame scientifique aboutissant nécessairement à un raisonnement **logique** concernant l'action des champs électriques et magnétiques à extrêmement basses fréquences (ELF) sur les systèmes vivants.

2.A. Le premier site d'action est la membrane cellulaire

Des chaînes de protéines sont stratégiquement situés à la surface des cellules dans les tissus. Ils y agissent comme détecteurs de messages électriques et chimiques arrivant à la surface des cellules, les traduisent et les transmettent à l'intérieur des cellules (la base de ce couplage de transduction par ces chaînes protéiques est bien connue). Grâce à eux, les cellules accomplissent un triple rôle : la détection des signaux, l'amplification des signaux, la transmission des signaux à l'intérieur des cellules. Les ions Ca^{++} jouent un rôle essentiel à chaque étape de cette signalisation transmembranaire et ont été utilisés comme marqueurs des interactions de champs électromagnétiques pour de nombreux tissus et cultures cellulaires. Des études plus récentes concernant la fuite du calcium ont suscité un consensus étendu sur le rôle clé du calcium.

Toutes les études montrent un déséquilibre de l'homéostasie du calcium cellulaire par les champs électromagnétiques à extrêmement basses fréquences, ce qui est loin d'être anodin.

2.B. Signalisation internes aux membranes cellulaires: influence sur les cascades d'enzymes

La modulation de la liaison entre les ions Ca^{++} et la surface cellulaire par les champs électromagnétiques est à mettre en relation avec un important système de coopération, car les modifications induites par les champs dans la fuite du calcium des tissus, sont bien plus importantes que celles que l'on aurait pu pronostiquer en fonction de l'énergie appliquée. Elle est donc en rapport avec une très forte amplification du signal de déclenchement. Ce signal amplifié est transmis le long des chaînes des protéines réceptrices à l'intérieur des cellules où il active des enzymes situées sur ou à proximité des membranes cellulaires. Ces enzymes sont des molécules de protéines qui fonctionnent comme catalyseurs, servant d'intermédiaires aux réactions chimiques à la température des tissus. Les réactions chimiques, en l'absence de ces catalyseurs, n'auraient lieu qu'à des niveaux d'énergie beaucoup plus élevés. Ces enzymes subsistent après réactions et peuvent ainsi agir de façon répétitive.

A partir de leur entrée dans la cellule, les signaux transmembranaires activent une cascade d'enzymes : enzymes *métaboliques*, enzymes *messagères*, enzymes *de croissance*, enzymes *de régulation*.

2.B.1. Activité métabolique cellulaire,

Celle-ci est nourrie par l'adénosine triphosphate (ATP); la défaillance implique l'enzyme en

relation avec la membrane : l'adénylate-cyclase. La sensibilité de l'adénylate-cyclase aux champs électromagnétiques repose sur son rôle observé dans les études sur la consolidation des fractures par champs magnétiques pulsés.

2.B.2. Les enzymes messagères protéines-kinases

Ces enzymes, activées par ces signaux en relation avec la membrane cellulaire, peuvent se disperser à l'intérieur de la cellule, diffusant des signaux vers beaucoup de structures, y compris à l'intention du noyau cellulaire. Leur activité est modifiée par les champs électromagnétiques à extrêmement basses fréquences et par des fréquences radio, modulées par des extrêmement basses fréquences.

2.B.3. La croissance des cellules et la synthèse de l'ADN

impliquent l'ornithine-décarboxylase dans les étapes clés de la régulation. L'ornithine-décarboxylase synthétise les polyamines (putrescine, spermidine, spermine) à partir de l'ornithine. Les polyamines, semblables à des serpentins, ont le rapport charge/masse le plus élevé de toutes les biomolécules. L'activité de l'ornithine-décarboxylase est modulée par les champs électromagnétiques à extrêmement basses fréquences. Dans les noyaux cellulaires, les polyamines sont essentielles dans la synthèse de l'ADN. Des niveaux élevés de polyamines à l'intérieur des cellules déclenchent également la transcription des proto-oncogènes c-myc et c-fos par c-ras. Ainsi, les polyamines peuvent participer à une cascade d'événements conduisant à la communication entre des produits oncogènes liés à la membrane cellulaire et à des produits oncogènes du noyau.

Les polyamines sont également transportées vers la surface cellulaire où elles exercent soit une stimulation, soit une inhibition du récepteur de l'acide L-glutamique, contribuant à l'excitation des transmissions synaptiques de sites situés dans le cerveau et la moelle épinière. Les actions stimulatrices ou inhibitrices des polyamines dépendent du niveau de potentiel de la membrane cellulaire et de la molécule spécifique de polyamine.

Il s'agit donc ici d'un modèle expérimental dans lequel les champs électromagnétiques à des niveaux non thermiques, sont perçus par des récepteurs de surfaces cellulaires, puis signalés à l'intérieur de la cellule. Ensuite, grâce à une cascade d'enzymes, ils déterminent la production de modulateurs chimiques, parmi lesquels quelques uns sont renvoyés vers la surface cellulaire pour y répéter le premier cycle. Des signaux provenant de cette cascade initient également des transcriptions de gènes dans l'ADN.

2.C. Signaux externes traversant la membrane cellulaire: champs électromagnétiques, modulateurs de la communication entre cellules, dans la régulation de la croissance cellulaire

«Les cellules de tissus normaux peuvent être considérées comme une société organisée. Elles chuchotent entre elles dans un langage discret et privé. Elles communiquent avec leurs voisines via des stimuli chimiques et via des champs électriques bien plus faibles que ceux dus au potentiel de la barrière électrique établie par la membrane.» Des jonctions par des ouvertures formées de plaques spécialisées de protéines placées entre les membranes de cellules voisines fournissent les couplages électriques et chimiques entre elles. Elles sont perforées de nombreux tubuli très fins formant des passages à travers lesquels des molécules synthétisées dans une cellule atteignent le cytoplasme de cellules voisines. Cette coopération métabolique est essentielle dans la régulation de la croissance normale des tissus.

Par contre, le cancer peut être considéré comme une rébellion dans une société organisée de cellules. Les cellules cancéreuses ne tiennent pas compte de leurs voisines et se multiplient de façon autonome, sur les cellules normales environnantes. Etant donné que la communication intercellulaire joue un rôle important dans le maintien de la société organisée, elle doit être perturbée au cours du processus de carcinogenèse [15, 16]. Des interruptions de communication via ces jonctions par trous peuvent conduire à des dysrégulations de multiplication cellulaire.

Des **preuves expérimentales** confortent le rôle des champs électromagnétiques dans la régulation de la communication via ces jonctions par trous. Ceci devra être pris en considération dans le cadre de modèles couramment acceptés de carcinogenèse et de formation de tumeurs.

2.D. Carcinogénèse par étapes : initiation, promotion, progression

Il existe aujourd'hui un consensus consistant à admettre que la formation de tumeurs implique au moins deux étapes : une étape d'initiation et une étape d'effet de promotion. Un simple agent peut provoquer les deux événements à la fois, mais deux ou plusieurs agents distincts peuvent être nécessaires, en agissant ensemble pour accomplir la séquence en question. Le temps séparant l'exposition à un agent initiateur de l'apparition de la maladie (période de latence) est souvent de 20 ans ou plus.

L'**initiation** implique des lésions au matériel génétique de l'ADN situé dans les noyaux cellulaires, mais les modifications ne sont pas exprimées, c'est à dire qu'une tumeur n'en résultera pas avant qu'un ou plusieurs agents promoteurs n'agissent dans la suite, de façon répétitive. L'initiation peut être un événement isolé, tel l'exposition à des rayons X, ou l'irradiation lors d'une explosion nucléaire, ou encore l'exposition à certains produits chimiques comprenant des dérivés de goudron, par exemple (benzène, phénol, dimethyl-benzanthracène...). Les cellules initiées sont alors transformées (mutées). Ce sont des cellules cancéreuses, mais qui resteront au repos si elles ne sont pas stimulées par un agent promoteur.

La promotion résulte de l'action d'agents n'ayant pas ou n'ayant que peu d'activité d'initiation lorsqu'ils sont testés seuls, mais qui exaltent nettement la formation de tumeurs lorsqu'ils sont appliqués répétitivement et par intermittence après une faible dose d'un agent initiateur. Ils n'agissent pas sur l'ADN du noyau cellulaire et beaucoup d'entre eux sont connus pour avoir le pouvoir de se lier aux récepteurs de la surface de la membrane cellulaire.

2.E Carcinogénèse non génotoxique, preuve de l'action des champs électromagnétiques dans la promotion tumorale

De nouvelles voies de recherche dans la formation de tumeurs fournissent l'identification d'un nombre croissant d'agents promoteurs (promoteurs tumoraux), lesquels se révèlent jouer un rôle causal dans les cancers humains, sans action directe sur le matériel génétique de l'ADN. Pitot et Dragan [17] ont résumé l'importance de cette approche comme un angle d'attaque essentiel dans les recherches de pointe sur le cancer.

Dans le domaine de la génotoxicité, le modèle mentionné ci-dessus, se référant à des étapes multiples, prévoit des mécanismes multiples et de nombreux stades définis d'initiation, de promotion et de progression. Des transitions entre les stades successifs peuvent être exaltés ou inhibés par divers types d'agents. Le développement d'une tumeur maligne implique des interactions complexes entre des facteurs environnementaux (produits chimiques, radiations ionisantes et non ionisantes, virus) et des facteurs endocriniens (génétiques, hormonaux).

Le modèle non génotoxique est focalisé sur l'action d'agents promoteurs de tumeurs, dont beaucoup agissent lors des interactions primaires avec les récepteurs membranaires. Le promoteur chimique le plus utilisé dans l'étude expérimentale des cancers est l'ester de phorbol TPA. Avec la découverte de l'activation de l'enzyme messagère liée à la membrane protéine-kinase-C (PKC) par le TPA et grâce à d'autres études ultérieures, la protéine-kinase s'est révélée être le récepteur cellulaire principal du TPA. Une série de ponts réunissent maintenant la recherche concernant la promotion des tumeurs, les facteurs de croissance, les signaux de transduction incluant l'action des champs électromagnétiques et l'action d'oncogènes spécifiques.

Des preuves expérimentales à partir d'études sur cellules et sur animaux confortent un modèle d'actions conjuguées entre des promoteurs tumoraux chimiques et les champs électromagnétiques au niveau de la membrane cellulaire. (Consulter à ce sujet le chapitre 8 de l'ouvrage *«On the nature of Electromagnetic Field Interactions with biological systems»*, Allan H. Frey, Ed. Springer 1995 [18].

2.E.1. Modèle cellulaire de promotion

Lorsqu'on réunit dans des cultures cellulaires, des cellules normales et leurs cellules-filles préalablement mutées par des rayonnements U.V., et se comportant comme des cellules cancéreuses, avec une croissance incontrôlée, le contact avec les cellules-mères inhibe la croissance désordonnée.

Le promoteur tumoral TPA rompt cet équilibre de contact, permettant ainsi le retour à la multiplication incontrôlée des cellules-filles mutantes et la formation de petites tumeurs dans les puits de culture. L'exposition de ce système à un champ magnétique 50 Hz augmente de 60 % le nombre de petites tumeurs induites par le TPA.

On constate dans ce cas que ces petites tumeurs ont environ deux fois la dimension et la densité cellulaire des cultures réalisées en l'absence de champ magnétique. Les champs magnétiques seuls n'ont pas d'effet. Ceci suggère que les champs magnétiques 60 Hz agissent en conjonction avec les promoteurs tumoraux chimiques pour exalter le développement et l'expression des cellules cancéreuses-filles dispersées parmi les cellules-mères. L'action des champs magnétiques est considérée ici comme une **co-promotion**.

2.E.2. Promotion de cancer des mamelles sur un modèle de souris

Löscher, Mevissen et al. [19, 20, 21] ont montré que des tumeurs mammaires initiées sur des rats femelles par administration orale de diméthyl-benzanthracène (DMBA) se développent plus rapidement et plus abondamment lorsque ces rats sont soumis à des champs magnétiques. W. Löscher et M. Mevissen (Hanovre) ont publié dans *Life Science* en 1994 une revue critique des articles montrant l'effet promoteur des champs magnétiques 50/60 Hz sur le développement de tumeurs préalablement initiées par voie chimique sur animaux de laboratoire [22].

2.F. Des systèmes cellulaires aux tissus, puis aux organes : preuves de l'action des champs électromagnétiques à extrêmement basses fréquences sur les réponses immunitaires et sur les mécanismes neuro-endocriniens du cerveau.

La surveillance immunitaire protège le corps contre les infections et les tentacules envahissants du cancer, en distinguant le soi du non soi.

L'immunité cellulaire utilise comme médiateurs les lymphocytes circulant dans le sang et les tissus. Elle se différencie de **l'immunité humorale** qui utilise comme médiateurs des anticorps circulant dans le sang. L'immunité cellulaire comprend les cellules tueuses naturelles (*natural killers*). Les *natural killers* sont présentes dans la plupart des organes et sans avoir acquis aucune immunisation antérieure, sont capables de reconnaître les cellules tumorales et de s'y accoler pour les détruire (par lyse). Des lymphocytes peuvent également prendre pour cibles des cellules tumorales et les détruire par contact réel (cytotoxicité allogénique).

Dans les études sur cultures cellulaires, cette aptitude à tuer est réduite par l'influence de champs électriques alternatifs 60 Hz ainsi que par des champs de fréquences radio modulés par des extrêmement basses fréquences. Des lymphocytes d'amygdales humaines mis en culture sont également sensibles aux champs de fréquences radio, modulées par des extrêmement basses fréquences en répondant par une diminution nette mais passagère de l'activité de la protéine-kinase messagère [23].

Les sensibilités neuro-endocrines cérébrales vis-à-vis des champs électromagnétiques ont été centrées sur des études concernant la mélatonine, une hormone sécrétée par la glande pinéale (épiphyse). Ces études sont reprises dans les chapitres 5 et 8 de l'ouvrage: «*Extremely low frequency electromagnetic fields : the question of cancer*» Ed. Battelle Press, 1990 [24].

Une étude récente sur l'homme montre des modifications de profils de mélatonine dans le plasma humain sous l'effet de l'exposition au champ magnétique 50 Hz [25]. Cette étude confirme d'autres études antérieures [26, 27, 28, 29, 30].

Ceci avait déjà été observé sur des rongeurs: des expositions aiguës de hamsters pendant des jours longs à des champs magnétiques alternatifs 60 Hz, deux heures avant l'extinction des lumières ont supprimé l'augmentation nocturne de mélatonine dans la glande pinéale et dans le sang. Des expositions aiguës d'animaux pendant des jours courts ont donné des résultats semblables. Par contre des expositions journalières du même type pendant trois semaines n'ont pas indiqué d'effet (II

s'agit vraisemblablement d'expositions diurnes à des heures où l'effet inhibiteur est moins perceptible – chronobiologie -).

Au delà des rythmes de l'activité diurne, la mélatonine est la clé d'un large éventail de mécanismes de régulation [24], englobant le système immunitaire, réduisant l'incidence de certains cancers humains du sein in vitro (MCF-7) et de la souris in vivo.

Liburdy et son équipe [18, Chapitre 8 pp. 99-125] ont montré que l'activité inhibitrice de la mélatonine sur la croissance du cancer du sein humain MCF-7 est bloquée par des champs magnétiques 60 Hz à un niveau seuil de 12 mG (1,2 μ T) alors que sous un champ de 2 mG, la mélatonine agit parfaitement. On voit ici l'importance d'études permettant de mettre en évidence le seuil exact (compris entre 2 et 12 mG) au delà duquel le champ magnétique inhibe l'action protectrice de la mélatonine.

Il y a donc deux aspects à prendre en considération quant à la mélatonine :

- 1. L'inhibition de la sécrétion nocturne de la mélatonine sous l'effet des champs 50/60 Hz,**
- 2. Le blocage de la fonction anti-prolifération tumorale de la mélatonine sous l'effet d'un champ magnétique supérieur à 12 mG sur certains cancers.**

Il faut également noter ici que des patientes porteuses de cancers du sein oestrogènes positives avaient des niveaux plus bas de mélatonine nocturne dans le plasma [30]. On a également observé que 15 patients atteints de pathologies cardiaques lourdes au niveau des coronaires avaient un taux de mélatonine nocturne à 2 heures du matin, nettement inférieure à celui des sujets témoins [31]. Or, des injections de mélatonine réduisent significativement le taux de noradrénaline et d'adrénaline dans le coeur. Des taux élevés de noradrénaline et d'adrénaline peuvent être impliqués dans les dégâts infligés aux parois artérielles, parce que le prélèvement athérogénique de cholestérol à faible densité lipoprotéique est accéléré par les amines à des concentrations physiopathologiques. Rappelons ici que l'augmentation des polyamines est indirectement stimulée via l'ornithine-décarboxylase par les champs magnétiques alternatifs.

Une autre étude récente, épidémiologique, qui à notre avis, pourrait se rattacher à la précédente, émane de D.A. Savitz et al. Elle montre que des travailleurs de l'industrie électrique exposés à des champs magnétiques alternatifs 60 Hz ont un taux de mortalité par maladies cardiovasculaires (troubles du rythme et pathologies coronariennes lourdes) plus élevé que des travailleurs non exposés professionnellement à des champs magnétiques à extrêmement basse fréquence. Le risque relatif est compris entre 1,5 et 3,3 [13 déjà cité].

2.G. Détection par les tissus de champs électromagnétiques non ionisants à des niveaux athermiques : la recherche de la première étape de transduction dans les mécanismes des radicaux libres

Nous avons pu noter d'après ce qui précède, qu'il existe une hiérarchie énergétique dont les étapes réalisent des couplages entre l'intérieur de la cellule et les signaux de la surface cellulaire, ayant pour origine les champs électromagnétiques à extrêmement basses fréquences. La première étape étant la détection de champs électromagnétiques d'intensité ayant souvent un ordre de grandeur inférieur à celui de l'énergie moyenne d'agitation thermique kT dans le substrat moléculaire de détection.

Des considérations thermodynamiques concernant l'énergie thermique des tissus n'imposent pas nécessairement un seuil limite dans cette première interaction. Des états non thermiques et l'électrodynamique non linéaire dans les systèmes biologiques offrent un grand nombre de possibilités. Une réponse à cette question peut être trouvée dans les interactions des champs électromagnétiques avec les **radicaux libres**.

Les radicaux libres sont des atomes ou des molécules possédant un ou plusieurs électrons non appariés; c'est cette particularité qui rend les radicaux libres extrêmement réactifs. Dans les réactions chimiques, les liaisons se rompent puis se reforment. La plupart des réactions chimiques entre atomes mettent en oeuvre des électrons par paires avec des spins opposés; un électron provenant de chaque partenaire dans l'union. L'électron en rotation (spin) engendre un champ magnétique. Les liaisons chimiques se produisent entre des atomes ayant des spins d'électrons

opposés, donc des champs magnétiques de polarisations opposées.

Dans une réaction chimique, la liaison se rompt et chaque partenaire reprend son électron de la liaison, et va à la recherche d'un nouveau partenaire. Chaque partenaire est maintenant libre; il s'agit d'un radical libre très réactif. La reconstitution d'une liaison exige une rencontre entre deux radicaux ayant des spins opposés, l'union produisant une paire de singulets. La durée de vie de radicaux libres est typiquement courte, de l'ordre de grandeur de la nanoseconde à la microseconde. C'est au cours de cette brève période que des champs magnétiques peuvent altérer la vitesse et le rendement en produits d'une réaction chimique. Etant donné que l'action ne se produit que sur les vitesses des réactions chimiques (cinétique de réaction), ces effets sont appelés magnétocinétiques. Ils ne se produisent que dans des états non thermiques de systèmes biomoléculaires définis c'est à dire qu'ils sont **insensibles aux interactions thermiques aléatoires** durant la brève période de leur existence. Ils sont la conséquence d'un **saut quantique cohérent** qui accompagne la formation d'un radical libre. Mac Lauchlan a proposé une explication du rôle des radicaux libres dans la médiation des interactions moléculaires avec les champs magnétiques 50/60 Hz [32]. Selon son modèle, de très faibles champs magnétiques statiques provoquent la rupture de triplets pour donner des singulets. A de plus hauts niveaux, situés aux alentours de 8 mT (80.000 mG), deux tiers des radicaux ne peuvent pas réagir comme ils le feraient dans un champ plus faible. *«Un énorme effet d'un faible champ magnétique sur une réaction chimique et l'effet commence dès l'application du champ magnétique de plus faible intensité... L'interaction globale a une énergie beaucoup plus faible que celle de l'énergie thermique du système et agit exclusivement par son influence sur la vitesse de réaction. Ceci va à l'encontre de l'intuition des scientifiques !»* [32].

Bien que les énergies de spin d'électrons soient conservées au cours des collisions thermiques, leur courte durée de vie en relation avec les fréquences des collisions a soulevé des questions sans réponses à propos des réactions radical-radical. Dans une synthèse mettant en exergue les interactions athermiques entre les champs électromagnétiques et les systèmes cellulaires, Grundler et al [33] ont présenté quelques séquences des couplages par transduction des champs électromagnétiques, basées sur des réactions chimiques influencées par des champs électromagnétiques. Ces réactions comprenaient les réactions du cytochrome, catalysées par des réactions enzymatiques qui mettent en oeuvre des paires de radicaux et la production de radicaux libres, tels de l'oxygène très réactif et l'oxyde nitrique conduisant à des amplifications hautement coopératives ultérieures. Ils concluent que **des champs magnétiques appliqués peuvent être actifs, même à des niveaux proches de zéro**. En d'autres termes, un seuil ne peut être établi pour ces systèmes. **Il existe des preuves expérimentales claires, confortant le modèle basé sur les radicaux libres couplés avec des transductions de champs électromagnétiques dans les systèmes biologiques.**

On peut estimer que plus de 20 enzymes sont susceptibles de s'insérer dans de tels processus de couplages radicalaires en vue de convertir des substrats en produits [34]. Des champs magnétiques appliqués peuvent, par exemple ralentir la vitesse de réaction de l'enzyme éthanolamine-ammonia-lyase de 25 à 60 %. Ceci s'explique par les modifications induites par les champs magnétiques dans les taux de ruptures entre états singulets et triplets de radicaux. L'enzyme cytochrome-P-450 dépend de radicaux libres et peut être modulée par l'econazole, inhibiteur du P-450. Cet agent complètement inhibé augmente la capture de calcium dans les Lymphocytes T humains et est influencé par un champ magnétique 60 Hz [35].

L'oxyde nitrique (NO) est un radical libre puissant, synthétisé dans beaucoup de tissus. Il diffuse rapidement au delà des cellules d'origine. C'est un modulateur physiologique important dans le cerveau et la moelle épinière. Il stimule les tissus vasculaires et sert de médiateur dans l'érection pénienne. Il est impliqué dans les pathologies liées au stress, comprenant les pathologies coronariennes, les maladies de Parkinson et les maladies d'Alzheimer. L'oxyde nitrique est un modulateur de signaux des ondes électriques à rythme lent (E.E.G.) dans les tissus cérébraux. Des champs magnétiques de 1 Hz rompent la régularité de ces rythmes via un mécanisme dépendant de l'oxyde nitrique. Des champs d'ondes radio pulsées augmentent la quantité de NO et les niveaux de GMP-cyclique dans le cervelet du rat.

2.H. Observations in vivo sur l'animal et sur l'homme de modifications immunologiques

dues aux champs magnétiques 50 Hz

Madame L. Bonhomme-Faivre et son équipe [36] ont montré que des souris de laboratoire (Swiss) exposées 24 heures sur 24 à des champs magnétiques alternatifs 50 Hz de 50 mG (5 μ T) présentaient après 350 jours une diminution des colonies de macrophages granulocytes formant des unités pour 8 souris sur 10 comparativement aux sujets témoins. Pour 2 souris sur 10, une augmentation des colonies a été observée, ce qui selon les auteurs indique une sensibilité individuelle de certains animaux. Cette équipe a également montré qu'à une exposition de champ magnétique 50 Hz de 12 mG (1,2 μ T), des souris en cours de croissance présentaient des leucopénies et des anémies. Il s'agit là d'altérations des variations cycliques des valeurs hématologiques de souris [37].

Prolongeant ses recherches, l'équipe de Madame Bonhomme-Faivre a étudié 26 personnes, parmi lesquelles 13 travaillaient au moins 8 heures/jour dans des locaux situés au dessus de transformateurs et de câblages à haute tension (13 kV) et soumises à des champs magnétiques compris entre 2 et 66 mG (0,2 à 6,6 μ T). Ces personnes ont été comparées à une population témoin travaillant dans le même établissement, mais en dehors des champs magnétiques mentionnés. Le typage immunologique (lymphocytaire) met en évidence une diminution significative des lymphocytes totaux, des CD4, des CD3, et des CD2 avec une augmentation des *natural killers* [38]. Ceci montre que des champs magnétiques 50 Hz présents dans l'environnement peuvent entraîner une modification de certains paramètres immunologiques. Des leucopénies et des neutropénies réversibles après l'exposition ont été mesurées pour 2 personnes travaillant dans les locaux exposés [37]. Ceci confirme les essais sur souris [36, 37].

L'augmentation du nombre des *natural killers* indique sans doute un processus réactionnel. Cette hyperactivité peut-elle se prolonger indéfiniment sans épuiser le potentiel immunitaire ? Aujourd'hui, parmi les personnes exposées depuis plus de 5 ans, des cancers sont apparus et ont dans plusieurs cas entraîné la mort. En d'autres termes, jusqu'à quel point de rupture la réversibilité peut-elle avoir lieu ? La question doit être clairement posée..

Ces types d'études sont plus facilement reproductibles et donnent des résultats plus nets et plus rapides que celles ciblant les leucémies et les cancers, ces dernières devant normalement tenir compte des périodes de latence parfois très longues (jusqu'à 20 ans). Les champs magnétiques pourraient raccourcir cette période de latence. Mais les travaux concernant l'immunité nous indiquent surtout que les champs liés aux lignes THT et aux transformateurs peuvent diminuer nettement la qualité de la vie chez des personnes et des animaux exposés dans leur habitat. Les valeurs mesurées de champ magnétique 50 Hz dans ces cas de figure sont parfois de l'ordre de grandeur de celles impliquées dans les études de Madame Bonhomme-Faivre.

Il ne faut pas oublier qu'avant d'aboutir à des pathologies lourdes, les animaux et les humains exposés aux champs 50 / 60 Hz présentent toutes sortes d'affections d'apparence bénigne, dont les symptômes disparaissent après quelques jours d'éloignement du site exposé (sauf lorsque l'exposition a été trop longue). Tous les experts indépendants ayant visité des sites soumis aux champs de lignes THT ont observé cela.

2.I. Apparition de signaux anormaux sur les électroencéphalogrammes d'animaux et de volontaires humains sous l'influence de champs magnétiques à extrêmement basses fréquences, à faible intensité.

Dès 1991, Bell G.B., Marino A.A. et al., ont publié les résultats de recherches montrant que des lapins et des humains présentent une modification de l'activité électrique du cerveau [39] sous l'influence de champs magnétiques alternatifs 60 Hz à des intensités de 250 et 500 mG (25 et 50 μ T). 14 volontaires ont été soumis aux tests. 60 tests ont été réalisés. Les signaux des fréquences cérébrales de réponse étaient compris entre 1 et 18,5 Hz. La moitié des sujets n'ont pas réagi aux champs, ce qui indique clairement une notion de sensibilité individuelle. Par contre, aucun sujet n'a réagi aux expositions simulées. Le niveau normal de champ magnétique dans le laboratoire était inférieur à 0,1 mG (0,01 μ T).

Altération du sommeil

Une équipe suédoise conduite par T.Akerstedt a montré que l'exposition de volontaires en bonne santé à des champs magnétiques alternatifs 50 Hz de 1 μ T (10 mG) réduit le temps total de sommeil avec une réduction du temps de sommeil au stade 3+4 à ondes lentes ainsi qu'une réduction de l'activité des ondes lentes [40].

Troubles épileptiformes

Nous avons été appelés à Mondelange (Moselle) pour effectuer des mesures de champs électriques et magnétiques 50 Hz dans des habitations bordant une rue située sous une ligne à très haute tension. Les champs électriques mesurés à l'intérieur des maisons pendant plusieurs jours sont compris entre 50 et 150 V / m., les champs d'induction magnétique entre 5 mG et 18 mG (0,5 et 1,8 μ T).

Suite à un audit de vétérinaires traitant les animaux domestiques de ce quartier, il est apparu un taux anormalement élevé de manifestations épileptiformes chez les chiens : une moyenne de 26,7 % de la population canine globale (toutes races confondues) exposée aux champs des lignes était atteinte. On sait que la population canine totale de la France présente une moyenne de 1,5 % de manifestations épileptiformes, toutes races confondues. La moyenne du département de la Moselle est 2,2 %.

Conclusions générales

Une proportion assez importante d'études épidémiologiques a révélé des effets nocifs des champs électriques et magnétiques alternatifs à extrêmement basses fréquences 50 et 60 Hz. A notre avis, le fait d'avoir choisi des cancers comme objets d'explorations a été une erreur. Le cancer a sans doute été choisi parce qu'il est grave et souvent irréversible et parce que sur le plan médiatique son évocation est «porteuse». Mais il ne faut pas oublier que le cancer doit être considéré comme un aboutissement (souvent à assez long terme) de l'affaiblissement des défenses immunitaires. Ceci est certainement la raison des risques relatifs assez bas dégagés de la plupart des études (la suédo-danoise exceptée). De plus, avec la multiplication des sources de champs électromagnétiques à basses et à hautes fréquences dans l'environnement, il est très difficile d'évaluer le degré d'exposition des personnes-témoins, c'est à dire de celles qui sont censées avoir été soumises à une exposition négligeable. Parfois un câble enterré dans un trottoir ou un réveil à affichage digital placé près d'un oreiller expose la personne pendant plus de 8h/jour un champ magnétique de 5 à 7 mG au niveau de la tête. Le prof. C.W. Smith de l'Université de Salford (G.B.) [41], B.W. Wilson et L.E. Anderson du Pacific Northwest Laboratory (U.S.A.) [24, p. 176] estiment que si l'on tenait compte de ces expositions de personnes considérées a priori comme «non exposées» lors des études épidémiologiques, le risque relatif serait supérieur à celui qui est observé.

Les expériences sur cultures cellulaires et sur animaux confirment bien toute une série d'effets néfastes pour la santé des champs électriques et magnétiques 50 /60 Hz. Ceci conforte les études épidémiologiques. Ces effets, comme nous venons de le voir, peuvent, par des mécanismes **connus** (et parfois encore flous pour d'autres) expliquer l'évolution de symptômes légers vers des pathologies plus lourdes.

3. Le cas particulier de l'exposition aux écrans vidéo d'ordinateurs cathodiques

Les moniteurs vidéo d'ordinateurs cathodiques émettent principalement deux types de rayonnements : les champs électriques et magnétiques à extrêmement basses fréquences (entre 5 Hz et 2.000 Hz) et les champs électriques et magnétiques à très basses fréquences (entre 2.000 Hz et 400.000 Hz). La plupart des états européens feignent d'ignorer les nuisances engendrées par ces champs sur les utilisateurs. Pourtant, dès 1990, la Suède s'est dotée d'une règle de bonne pratique tenant compte des émissions des vidéos d'ordinateurs. Cette règle s'appelait MPR 90 ou MPR II. Elle réglementait les ordinateurs (émissions tolérables) selon le tableau ci-dessous (tableau I).

MPR-90. Lignes directrices et exigences du marché

Electricité statique	500 V	Décharge du clavier
C h a m p s électriques		
de 5 Hz à 2 kHz	< 25 V / m	à 50 cm de face
de 2 kHz à 400 kHz	< 2,5 V / m	à 50 cm tout autour
C h a m p s magnétiques		
de 5 Hz à 2 kHz	< 2,5 mG	à 50 cm tout autour
de 2 kHz à 400 kHz	< 0,25 mG	à 50 cm tout autour

Tableau 1

Des mesures réalisées par nous-mêmes sur des postes de travail avec des appareils étalonnés ont montré que pour des ordinateurs répondant à cette norme, un opérateur ou une opératrice ne sont pas soumis à un champ magnétique dépassant 1 mG sur le visage et sur la poitrine (Lorsque l'ordinateur est correctement raccordé à une terre de moins de 7 ohms, le champ électrique émis est de moins de 10 V/m). Ceci applique bien la règle de protection que R. Santini, P. Le Ruz, nos collaborateurs et nous-mêmes recommandons depuis des années.

Mais les Suédois n'en sont pas restés là. Au su des nombreuses études réalisées dans les pays nordiques, ils ont revu cette norme en la rendant encore plus contraignante. Elle porte le sigle TCO-99 (Tableau 2). Les services publics suédois exigent que tout ordinateur qui leur est fourni réponde à cette norme mise en application le 1^{er} janvier 2000.

TCO-99. Lignes directrices et exigences du marché

Electricité statique	500 V / m	décharge du clavier
Champ électrique		
de 5 Hz à 2 kHz	10 V / m	à 30 cm devant l'écran et à 50 cm tout autour
de 2 kHz à 400 kHz	1 V / m	à 30 cm devant l'écran et à 50 cm tout autour
C h a m p magnétique		
de 5 Hz à 2 kHz	2 mG	à 30 cm devant l'écran et à 50 cm tout autour
de 2 kHz à 400 kHz	0,25 mG	à 30 cm devant l'écran et à 50 cm tout autour

Tableau 2

Le Principe de précaution suédois en matière de champs électriques et magnétiques

Ajoutons également que les autorités suédoises se sont dotées d'un "Principe de Précaution" en matière de champs électriques et magnétiques "à l'intention des preneurs de décisions". Ce principe de précaution attire l'attention sur le fait qu'il importe de ne pas exposer inutilement les populations

aux champs électriques et magnétiques 50 Hz.

Les recommandations de la Commission Européenne à propos des exposition aux champs électriques et magnétiques 50 Hz.

Le 30.07.1999, la Commission Européenne a publié la recommandation concernant l'exposition du public aux champs électromagnétiques. Les niveaux de référence recommandés pour la fréquence 50 Hz sont donnés ci-dessous :

Champ électrique :	5000 V / m
Champ magnétique :	100 μ T (1.000 mG)

Ces valeurs sont beaucoup trop élevées, eu égard aux valeurs auxquelles des effets néfastes ont été observés tant dans les études épidémiologiques que dans les recherches en laboratoire.

Note à propos de considérations d'ordre énergétique sur les champs électromagnétiques: le modèle du mannequin rempli d'un gel.

Aucun biophysicien ni aucun biologiste digne de ces titres ne peut accepter de voir considérer un corps vivant, animal ou humain comme un système homogène. Néanmoins, certains ingénieurs électriciens et certains physiciens ont jugé bon d'élaborer des modèles animaux ou humains dans lesquels le corps serait figuré par une peau remplie d'un gel de conductivité spécifique moyenne. Ces modèles ne tiennent aucun compte de la diversité des tissus nerveux, viscéraux, osseux, sanguins, lymphatiques etc., ni des directions parfois variées prises par des flux de liquides à forte charge ionique (tantôt perpendiculaires à un champ incident, parfois obliques, parfois longitudinaux). Cette erreur de concept sans doute adoptée pour des raisons de simplification (ou pour d'autres raisons moins avouables...) fait chorus parmi les ingénieurs et les physiciens industriels de l'ensemble de la planète. Ces derniers la brandissent avec une conviction qui ne tolère pas de contradiction. Pourtant, lorsqu'un vétérinaire doit expertiser une vache électrocutée, il constate toujours que le courant électrique est passé dans le corps par des voies de moindre résistance électrique : le système sanguin et le système lymphatique y sont «grillés» ou tout au moins fortement atteints.

Les nombreux axones du système nerveux peuvent être considérés comme des conducteurs électriques. Sont ils faradisés ? Assurément non, donc il est inconcevable d'imaginer que les caractéristiques anatomiques des neurones puissent être assimilées sur un plan électrique à des systèmes homogènes. Bien plus, ils véhiculent des microcourants dont les fréquences sont voisines de 50 Hz. Les interférences des champs externes par induction peuvent elles être écartées d'un revers de main sous prétexte de modélisation par un gel ?

Ce ne sont que deux éléments parmi d'autres montrant la fragilité du concept «des corps vivants considérés comme homogènes quant à leurs propriétés électriques».

Nous ne pouvons accepter un concept qui ne reflète en rien les réalités biologiques, fût-il revendiqué par un nombre important de scientifiques. Ce concept a de plus servi de base à certains calculs de courants induits qui sont donc nécessairement entachés de grosses imprécisions ou tout simplement faux !

Nous nous trouvons aujourd'hui en face d'un corpus convergent d'expérimentations de laboratoire qui fournissent des preuves de l'action réelle des champs électromagnétiques à extrêmement basses fréquences à des intensités athermiques sur les êtres vivants. Ces effets sont tantôt marqués, tantôt plus estompés, mais nous avons affaire à des faits concrets. Ils confortent de plus les études épidémiologiques positives.

En science, lorsqu'une théorie ne permet pas d'expliquer des faits observés et reproduits, il faut changer de paradigme. La biologie est une science qui précisément conserve de nombreuses zones

d'ombres quant aux interactions des systèmes vivants avec l'ensemble des paramètres environnementaux. Nous sommes probablement aujourd'hui à la veille d'une considérable remise en question à ce sujet.

Un fait est plausible lorsqu'il est vérifié et reproductible (même lorsque sa reproductibilité requiert des tournemains ou des technologies particulières) et non lorsqu'une théorie quelconque permet de l'expliquer. Le cheminement du raisonnement de certains scientifiques contemporains tend à nous montrer que la scolastique du moyen âge a laissé des traces sous couvert de cartésianisme.

Adopter une position consistant à dire «*Nous n'observons rien de réel, puisque la théorie adoptée nous dit que cela est impossible*» est tout simplement une attitude non scientifique.

Nous citons ici encore W.R. Adey, Président du Conseil National Américain de Protection contre les Radiations, et neurologue, dont l'autorité internationale en ces matières ne fait aucun doute: «*Depuis le début, il apparaît clairement que les composantes en termes d'énergie de ces champs en relation avec les tissus vivants sont extrêmement faibles, tellement faibles, en fait, que la crédibilité à accorder aux études épidémiologiques eu égard à de telles sensibilités, requiert des concepts fondamentalement nouveaux en matière des processus énergétiques de la matière vivante. C'est à ce point que de nouvelles études de laboratoire seront essentielles...*

Au cours des dix dernières années, des développements mettant en jeu des collaborations remarquables entre les sciences physiques et les sciences biologiques ont réuni ces disciplines apparemment distinctes en un nouveau domaine de la Science. Les recherches sur les états fondamentaux de la matière qui sont désignés par les états de non équilibre et par l'électrodynamique non linéaire ont suivi leur route main dans la main avec une nouvelle vision intégrant ces concepts situés aux confins de la biologie cellulaire et moléculaire. Par conséquent, il existe maintenant un nouveau projet de définition de la matière vivante en ces termes de physique.

Au delà de la chimie des molécules qui réalise la construction spécifique des tissus vivants, nous devons maintenant discerner une nouvelle frontière peut-être plus difficile à comprendre dans l'organisation biologique. Ce concept est basé sur les processus physiques au niveau atomique, plutôt que sur les réactions entre les biomolécules. Nous constatons que ces processus physiques peuvent efficacement réguler les processus des réactions biochimiques. Toute vie sur terre s'est développée dans un environnement de champs électromagnétiques naturels à basses fréquences. Celles-ci ont une source terrestre ou extraterrestre. L'activité orageuse dans les zones équatoriales d'Amérique du Sud ou d'Afrique Centrale produit des champs à extrêmement basses fréquences qui se propagent sur toute la planète entre la surface de la terre et l'ionosphère. Cette activité de champs à extrêmement basses fréquences présente une série de pics compris dans une bande s'étalant de 8 Hz à 32 Hz. Ces pics sont connus sous les termes de résonances Schumann (1957). Leur composante magnétique atteint des intensités de l'ordre de 1 à 10 nanotesla (0,01 à 0,1 mG), ce qui est bien inférieur à l'intensité du champ magnétique statique (continu) située entre 50.000 et 70.000 nanotesla (500 à 700 mG)...[14]»

En Suisse, l'Ordonnance sur la Protection contre le rayonnement non ionisant de 1998 (O.R.N.I.) suit à peu près la Recommandation Européenne qui a été adoptée en 1999, mais on peut lire dans le rapport explicatif du 16 février 1999 «*La protection contre les atteintes incommodes n'est pas complètement garantie, même lorsque les valeurs limites d'immissions de l'annexe 3 de l'ordonnance sont respectées...Comme la médecine ne comprend pas encore ce genre de phénomènes et ne peut donc en tirer des affirmations générales, les valeurs limites d'immissions ont été fixées sans en tenir compte pour l'instant. On ne peut donc pas exclure que des perturbations importantes du bien-être puissent également survenir à l'avenir. La loi sur la protection de l'environnement exige que les personnes concernées par ces phénomènes soient également protégées, même si ces derniers ne sont pas encore compris. En l'absence d'un instrument objectif d'évaluation, l'étendue et la cause probable des atteintes incommodes ne peuvent être déterminées que par une démarche empirique auprès de la population concernée.*»

Tenter de faire croire qu'un champ magnétique alternatif "se dilue" dans un champ magnétique continu plus puissant (champ magnétique terrestre statique) est tout simplement une malhonnêteté scientifique. Si tel était le cas, les expériences de résonances électromagnétiques à distance menées par Heinrich Hertz n'auraient pas pu être réalisées. De plus un champ magnétique alternatif à extrêmement basse fréquence se mesure avec une sonde essentiellement composée d'une bobine, alors qu'un champ continu se mesure avec une électrode comprenant une diode de Hall (conductance fluctuant avec le champ magnétique statique ambiant).

A.A. Marino, physicien et attorney (=procureur) américain, auteur de l'ouvrage «*Modern bioelectricity*» et chercheur bien connu a écrit les phrases suivantes dans un article intitulé «*Beauty and a beast*» publié en 1990 : «*Les sociétés d'électricité dépensent des millions de dollars pour la recherche sur les champs électromagnétiques, mais elles ne publient que les informations qu'elles choisissent, habituellement après qu'elles ont été traitées par leurs docteurs-girouettes*» et «*Attention, recherche payée par les industries productrices d'électricité - les résultats peuvent se révéler dangereux pour votre santé*» [42].

N'oublions pas non plus que **l'on ne trouve que ce qu'on cherche et qu'il est plus facile de ne rien trouver que de trouver !**

Le Conseil d'Etat Belge a suspendu en août 1999 le permis de construction d'une ligne à très haute tension en vertu de l'article 23, alinéa 3, 2° de la Constitution Belge qui protège le droit à la santé, ainsi qu'en vertu du 3° du même alinéa qui protège le droit à un environnement sain. Il était précisé dans l'attendu : "quand bien même les normes en cette matière seraient largement respectées...". Il s'agit là tout simplement de l'application du Principe de Précaution qui devrait être généralisé à toute l'Europe pour les lignes THT.

Si l'on avait écouté les médecins américains qui dès 1908 avaient attiré l'attention du monde scientifique concernant les cancers du poumon dus à l'exposition à l'amiante, on aurait économisé les 20.000 morts prévus pour les années futures.

L'incidence des champs électriques et magnétiques à extrêmement basses fréquences sur les appareils électriques et électroniques.

Les champs électriques et/ou magnétiques exercent une influence appelée induction, plus ou moins importante sur les objets proches. Plus l'intensité du champ est élevée, plus l'induction sera importante. Les lignes à hautes et à très hautes tensions exercent souvent ainsi une influence fatale sur les appareils électriques et électroniques des habitations et des bureaux surplombés ou proches. Les règles qui régissent les interférences entre sources de champs électromagnétiques et appareils sont cependant fournies par la directive européenne 89/336/CE.

Mais il est clair que la puissance politico-financière des producteurs d'électricité est telle que l'application de cette directive reste très souvent lettre morte en ce qui concerne les lignes à hautes et à très hautes tensions, car les plaignants ont bien du mal à faire valoir leurs droits.

On sait aujourd'hui que la plupart des moniteurs vidéo cathodiques d'ordinateurs ne fonctionnent plus correctement dans un champ magnétique ambiant à partir de 5 à 10 mG (0,5 μ T à 1 μ T) selon le type de moniteur [43-44]. On sait en outre que l'apparition des moniteurs à haute définition rendra encore les ordinateurs plus sensibles (en dessous de 5 mG). Les écrans à cristaux liquides (L.C.D.) échappent à ce problème.

Nous avons été confrontés avec un problème de ce type pour une Société d'Assurances dont les bureaux étaient situés derrière la gare de Cornavin (Genève). Aucun ordinateur ne fonctionnait à cause du champ magnétique induit par les lignes de chemin de fer situées à plus de 25 mètres des bureaux (32 mG dans les bureaux situés en façade).

Il va de soi que le fait de ne pas pouvoir à notre époque utiliser un ordinateur dans une maison ou dans un bureau situé sous une ligne à haute tension, constitue un préjudice se répercutant tôt ou tard sur la valeur du bien immobilier concerné.

Les habitants de logements situés sous des lignes à hautes tensions ou proches de celles-ci connaissent les déboires des ampoules électriques qui se détruisent très rapidement, des appareils électriques dont les moteurs ont une vie très courte, des alarmes qui déclenchent intempestivement ou se détruisent, des réseaux téléphoniques intérieurs à l'habitation qui se mettent en court-circuit, des commandes d'ouvertures automatiques de portes de garage qui cessent de fonctionner. Tout ceci à cause des surtensions dans le réseau de l'habitation, occasionnées par les champs électriques élevés engendrés par une ligne HT proche. Nous avons même dû effectuer en Belgique (Strée-Modave) une expertise d'une maison située sous deux lignes 380 kiloVolts, dont l'installation électrique a été carbonisée sous l'influence de l'induction. La Société régionale distributrice d'Electricité (A.L.E.) a reconnu par écrit que ce phénomène pouvait se reproduire à tout moment et qu'il est dû à l'induction de la ligne à haute tension sur l'installation électrique 220-230 Volts de la maison.

Nous connaissons en Belgique des fermes situées sous des lignes à très haute tension où les compagnies d'assurances refusent désormais d'assurer les risques "électriques" (moteurs de lessiveuses, moteurs de réfrigérateurs, moteurs d'aspirateurs, moteurs de pompes, téléviseurs, chaînes HI-FI...) car les dégâts y sont statistiquement trop fréquents.

Tout ceci est scientifiquement bien connu, mais malheur à celui ou à celle qui en est victime, car l'imbroglio juridique dans lequel le plaignant va se trouver pour justifier le bien fondé de la situation aura un aboutissement bien incertain (et coûteux).

Références bibliographiques :

- [1 a] Perry F.S. et al. «*Environmental power frequency magnetic fields and suicide*», Health Physics, 41, pp.267-277 (1981).
- [1 b] Perry F.S., Pearl L. «*Health effects of ELF fields and illness in multy-storey blocks*», Public Health, 102, pp. 11-18 (1988).
- [2] Verkasalo P.K., Kaprio J., Varjonen J., Romanov K., Heikkillä K., Koskenvuo M.: «*Magnetic fields of transmission lines and depression*», Am. J. of Epidem., 146, 12 pp.1037-1045 (1997).
- [3] Van Wijngaarden et al., Occupational and Environmental Medicine; 57: pp. 258-263 (2000).
- [4] Theriault G., Goldberg M., Miller A.B., Armstrong B., Guenel P., Deadman J., Imbernon E., To T., Chevalier A., Cyr D., Wall C. «Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France : 1970-1989», Am. J. of Epidem., 139, 6, pp.550-572 (1994). Traduction Goldgewicht C. et al. EDF / Article *Le Figaro*, 1.04.1994 : «*La Haute tension jugée non coupables d'ondes maléfiques*» par Dr. Monique Vigy.
- [5] Feychting M., Schulgen G., Olsen J.H., Ahlbom A. «Magnetic field and childhood cancer - A pooled analysis of two Scandinavian studies», European J. of Cancer, 31A n°12, pp.2035-2039 (1995).
- [6] Ahlbom A., Dey N., Feychting M., Roman E., Skinner J., Dockerty J., Linet M., McBride M., Michaelis J., Olsen J.H. «A pooled analysis of magnetic fields and childhood leukemia», British J. of Cancer, 83(5), pp. 692-698 (2000).
- [7] Nordenson I., Hansson Mild K., Norppa H., Järventaus H., Hirvonen A., Sandström M., Wilén J., Blix N., «*Chromosomal aberrations in peripheral lymphocytes of train engine drivers*», Bioelectromagnetic Society, 22d. Annual Meeting, Abstract Book, p.3., Munich 11-16 juin 2000.
- [8] Journal suisse «La Liberté», 10 juillet 1995 (Impossible d'obtenir le texte officiel à l'Université de Berne, dont l'étude émane : rétention d'information ?).
- [9] Khalil A.M., Qassem W., Amoura F. «*Cytogenetic changes in human lymphocytes from workers occupationally exposed to high-voltage electromagnetic fields*», Electro- and Magnetobiology, 12 (1), pp.17-26 (1993).
- [10] Feychting M., Forssén U., Rutqvist L.E., Ahlbom A., «*Magnetic fields and breast cancer in Swedish adults residing near high-voltage power lines*», Epidemiology, 9, pp.392-397 (1998).

- [11] Guenel P., Nicolau J., Imbernon E., Chevalier A., Goldberg M.; «*Exposure to 50 Hz electric field and incidence of leukemia, brain tumors, and other cancers among French electric utility workers*», Am.J. of Epidem., 144; 12 pp. 1107-1121 (1996).
- [12] Miller A.B., To T., Agnew D.A., Wall C., Green L.M. «*Leukemia following occupational exposure to 60 Hz electric and magnetic fields along Ontario electric utility workers*», Am. J. of Epidem., 144, 2; pp.150-160 (1996).
- [13] Savitz D.A., Liao D., Sastre A., Kleckner R.C., Kavet R. «*Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among utility workers*», Am. J. of Epidem., 149, 2, pp.135-142 (1999).
- [14] Adey W.R. «*Un consensus scientifique croissant concernant les interactions entre biologie cellulaire et moléculaire et les champs électromagnétiques de l'environnement*» in: Emissions électromagnétiques : les dernières preuves scientifiques, nuisances potentielles et stratégie en vue de réduire le risque. Symposium de la Communauté Européenne, Londres, 27 oct. 1994.
- [15] Yamasaki H. «*The role of cell-to-cell communication in tumor promotion, in nongenotoxic mechanisms in carcinogenesis*» in T.E. Butterworth, T.J. Slaga, 25th. Banbury Report, Cold Spring Harbor Laboratory (1987).
- [16] Yamasaki H. «*Aberrant expression and function of gap junctions during carcinogenesis*» in Environ. Health Perspectives, n°93, pp. 191-197 (1991).
- [17] Pitot H.C., Dragan Y.P., «*Facts and theories concerning the mechanisms of carcinogenesis*» in FASEB J., n°5, pp.2280-2288 (1991)
- [18] Frey A.H. «*On the nature of electromagnetic field interactions with biological systems*», Ed. Springer , Medical Intelligence Unit, (1995).
- [19] Löscher W., Mevissen M., Lehmacher W., Stamm A. «*Tumor promotion in a breast cancer model by exposure to a weak alternating magnetic field*» Cancer Letters 71, pp. 75-81 (1993)
- [20] Mevissen M, Stamm A., Buntenkotter S., Zwingelberg R., Wahnschaffe V., Löscher W. «*Effects of magnetic field on mammary tumor development induced by 7,12, dimethylbenzanthracene in rats*», Bioelectromagnetics, 14, pp.131-143 (1993)
- [21] Mevissen M., Lerchl A., Szamel M., Löscher W. «*Exposure of DMBA-treated female rats in a 50 Hz, 50µT magnetic field : effect on mammary tumor growth, melatonin levels and T-lymphocytes activation*», Carcinogenesis, vol. 17, 5, pp. 903-910 (1996).
- [22] Löscher W. & Mevissen M. «*Minireview : animal studies on the role of 50/60 Hz magnetic field in carcinogenesis*», Life Science, vol.54, 21, pp. 1531-1543 (1994).
- [23] Byus C.W., Lundak R.L., Fletcher R.M., Adey W.R., «*Alterations in proteine kinase activity following exposure of cultured lymphocytes to modulated microwave fields*» in Bioelectromagnetics, n°5, pp.34-51 (1984).
- [24] *Extremely low frequency electromagnetic fields: the question of cancer*, Wilson B.W., Stevens R.G., Anderson L.E., Ed. Battelle Press, 1990
- [25] Wood A.W., Armstrong S.M., Sait M.L., Devine L., Martin M.J. «*Changes in human plasma melatonin profiles in response to 50 Hz magnetic field exposure*», Journ. Pineal Res., 25: pp. 116-127 (1998).
- [26] Feychting M., Forssen U., Rutquist L.E., Ahlbom A. «*Magnetic fields and breast cancer in Swedish adults residing near high voltage power lines*», Epidemiology, 9, pp.392-397 (1998).
- [27] Reiter R.J. «*Melatonin suppression by static and extremely low frequency electromagnetic fields: relationship to the reported increased incidence of cancer*», Rev. Environm. Health, 10, pp. 171-186 (1994).
- [28] Rogers W.R., Reiter R.J., Smith H.D., Berlow-Walden L. «*Rapid onset/offset, variably schedule 60 Hz electric and magnetic field effects on the pineal gland*» in "Extremely low frequency electromagnetic field: The question of cancer." R. Wilson edit. Chapitre 8: pp. 159-186 (1990).
- [29] Pfluger D.H., Minder C.E. «*Effects of exposure to 16,7 Hz magnetic field on urinary 6-hydroxy melatonin sulfate excretion of Swiss railway workers*», J. Pineal Res. 21 pp.91-100 (1996).
- [30] Tamarkin L., Danforth D., Lichter A., Demoss E., Cohen M., Chabner B., Lippman M. «*Decreased nocturnal plasma melatonin peak in patients with estrogen receptor positive breast cancer*», Science, 216 pp.1003-1005 (1982).
- [31] Brugger P. Et al. , in The Lancet, 345, p.408 (1995)

- [32] Mc Lauchlan K., «*Are environmental electromagnetic fields dangerous ?*» in *Physics World*, pp. 41-45 jan.1992.
- [33] Grundler W., Kaiser F., Keilmann F., Walleczek J. «*Mechanics of electromagnetic interaction with cellular systems*» in *Naturwissenschaften*, n°79, pp.551-559 (1992)
- [34] Harkins T.T., Grissom C.B. «*Magnetic field effects on B12 ethanolamine ammonia lysase : evidence of a radical mechanism*» in *Science*, n°263, pp.958-960 (1994).
- [35] Walleczek J., Killoran P.L., Adey W.R. «*Acute 60Hz magnetic field effect on Ca⁺⁺ influx in human Jurkat T-cells : strict dependance on cell state*» in *Bioelectromagnetics Society. 16th. Annual Meeting, Copenhagen, Proceedings*, p.76 (abstract) (1994).
- [36] Bonhomme-Faivre L., Massé A., Bindoula G., Marion S., Auclair H., Bizi E., Orbach-Arbouys, «*Influence of a chronic exposure to occupational electromagnetic fields on the medulary GM-CFU in mice.*» Rapport au 3e congrès EBEA 29 mars 1996
- [37] Bonhomme-Faivre L., Bizi E., Marion S., Fredj G., Auclair H., Bottius L., Orbach-Arbouys S. «*Low frequency electromagnetic fields can affect leukocyte and erythrocytes counts in growing mice.*» Rapport au 3e congrès EBEA 29 mars 1996.
- [38] Bonhomme-Faivre L., Marion S., Bezie Y., Auclair H., Fredj G. «*Etude des effets immunologiques de sujets exposés en milieu professionnel à des champs électromagnétiques environnementaux de basse fréquence 50 Hz*» Communication aux XXIVe journées Nationales de Médecine du Travail, Paris 11-14 juin 1996.
- [39] Bell G.B., Marino A.A., Chesson A.L., Struve F.A. "*Sensibilité de l'homme aux champs magnétiques faibles*", *The Lancet*, Ed. française, pp. 59-60, mars 1992/ Ed. anglaise : 338, pp. 1521-1522 (1991).
- [40] Akerstedt T., Arnetz B., Ficca G., Paullson L.E., Kallner A. "*A 50 Hz electromagnetic field impairs sleep*" :*J. of Sleep Research*, 8, pp.77-81 (1999).
- [41] Best S. et C.W. Smith «*L'homme électromagnétique*», Ed. Encre, Paris, 1995
- [42] Marino A.A. «*Beauty and the beast*» in *Journal of Bioelectricity*, 9(1) v-vi (1990).
- [43] Sandström Mo., Mild K.H., Sandström Ma., Berglund A. : "*External power frequency magnetic field-induced jitter on computer monitors*"; *Behaviour and Information Technology*, 12 (6), pp. 359-363 (1993).
- [44] Don W. Deno, "*Discussion of PE-270-PWRD-0-10-1998, Magnetic Field Effects on Computer Monitors, by B. Banfai, G.G. Karady, C.J. Kim, K. Maracas*", Institute of Electric and Electronic Engineering Society (I.E.E.E.S.), 1999 Winter Meeting.

Tableau des rayonnements non ionisants artificiels

Dénominatio n	Fréquence	L o n g u e u r d'onde	Utilisation
E . L . F . (extrêmement b a s s e s fréquences)	de 1 Hz à 3000 Hz	de 300.000 km à 100 km	Courants industriels (réseaux électriques) 50Hz, 60 Hz, 16,6 Hz.

V.L.F. (très basses fréquences)	de 3 kHz à 30 kHz	de 100 km à 10 km	Radio-communications (sous-marins), Moniteurs vidéo cathodiques d'ordinateurs.
L.F. (basses fréquences)	de 30 kHz à 500 kHz	de 10 km à 600 m	Radio-diffusion, Radiotélégraphie, Radio-balises.
P.O. (petites ondes)	de 500 kHz à 1500 kHz	de 600 m à 200 m	Radio-diffusion.
O.M. (ondes moyennes)	de 1,5 MHz à 6 MHz	de 200 m à 50 m	Radio-diffusion, Radio-phares (radio-balises).
O.C. (ondes courtes)	de 6 MHz à 30 MHz	de 50 m à 10 m	Radio-diffusion, radiotélégraphie à grande distance, Modèles réduits téléguidés, C.B., Appareils de diathermie pour kinésithérapie.
V.H.F. (très hautes fréquences, ondes très courtes)	de 30 MHz à 300 MHz	de 10 m à 1 m	Télévision, Radio en fréquence modulée
U.H.F. et S.H.F. (ondes ultra-courtes) = Hyperfréquences ou Micro-ondes	de 300 MHz à 300 GHz	de 1 m à 1 mm	Radar, Téléphones mobiles, Téléphones DECT, Connexions de périphériques de P.C., Fours à micro-ondes, Faisceaux hertziens, communications par satellites
I . R . (Rayonnement Infra-rouge)	de 300 GHz à $3,75 \cdot 10^{14}$ Hz	de 1 mm à 800 nm	Chauffage, systèmes de surveillance et de détection.
Lumière visible	de $3,75 \cdot 10^{14}$ à $7,5 \cdot 10^{14}$ Hz	de 800 nm à 400 nm	Eclairage, Laser, enseignes lumineuses.

Ultra-violet proche	de $7,5 \cdot 10^{14}$ à $10 \cdot 10^{16}$ Hz	de 400 nm à 300 nm	Lumière noire, Fluorescence, Détection des faux billets, Eclairages d'ambiance avec fluorescence.
------------------------	---	-----------------------	---

Légende : 1 kHz = 1 kilohertz = 1.000 Hz
1 MHz = 1 Mégahertz = 1.000.000 Hz
1 GHz = 1 Gigahertz = 1.000.000.000 Hz
1 GHz = 1.000 MHz
1 nm = 10^{-9} m