

complication notwithstanding, the layman's interest in electrobiology is well attested by the substantial volume of the popular literature; but the strange and often conflicting claims that appear are equally an attest to a related truth: Science is sorely lacking in an understanding of basic electrobiological mechanisms. Moreover, the absence of a satisfactory theory of the role of intrinsic electrical events in uni- or multicellular organisms puts a heavy epistemological burden on those who would explain how an organism reacts to electromagnetic fields of extrinsic origin. With the possible exception of mammalian photoreception, which is better understood anyway as a quantum mechanical process than one involving electromagnetic wave activity, there are few basic data on the biological response to exogenous electromagnetic fields. The hard data that do exist—those vindicated by independent experimental confirmations—are without exception correlative or descriptive. Many of the findings are of interest to the psychologist, however, not only because behavior has often been the end point of successful electrobiological experimentation, but also because psychologists have played important roles in these researches, particularly in the development of methodology and instrumentation.

In this essay, I summarize some contributions by experimental psychologists to the biological study of radio-frequency electromagnetic fields, especially the "microwaves." But first the reader should be acquainted with a few fundamentals of wave theory and provided with a synopsis of pertinent historical

developments. The reader who disdains technical discussions may wish to skip the next few paragraphs, but will probably be rewarded by a better understanding of the materials that follow if he or she opts to read them.

Electromagnetic Wave Theory

The microwave portion of the electromagnetic spectrum includes the emanations of radars, television, and short-wave radio. The microwaves range in frequency from a few to several thousands of megahertz (MHz). In terms of respective *in vacuo* wavelengths, the microwaves range from a few meters to about a millimeter. The relation of the microwaves to the other components of the electromagnetic spectrum is shown in Figure 1. My review of data stops short of the radiations of the infrared spectrum and of the solar and cosmic radiations that lie beyond, but I am not drawing an altogether arbitrary line. While absorption of electromagnetic energy of any wavelength translates to and results in an increase of kinetic energy in the biological target, the photon energies of radio-frequency radiations are vanishingly small. Not so of radiations of higher frequency. The ineluctable product of the multiplication of frequency by Planck's universal constant, photon energy, becomes a potent biological factor at higher frequencies. Correlated with the magnitude of photon energy is the probability that a radiation will ionize the atoms of the absorbing target. The displacement of electrons from atoms, the crux of ionization, creates additional electrical charges within and among molecules thereby posing distinct biomolecular hazards—distinct, that is, from the heating of body tissues that results from a moderate increase of kinetic energy. Stated another way, at densities that are low in terms of available kinetic energy, X- and gamma-radiations are like cool but deadly bullets compared to the benign ripples that bathe the organism on exposure to commensurate densities of microwaves and other radio-frequency energy. On the other hand, exposure to high densities of radio-frequency energy is hazardous and can result in excessive heating. Witness the potato that bakes to bursting in a microwave oven in less than four minutes!

A major factor that distinguishes the biological response to radiation by microwaves as opposed to radiation by infrared and ultraviolet energies is that the latter are absorbed or scattered near the

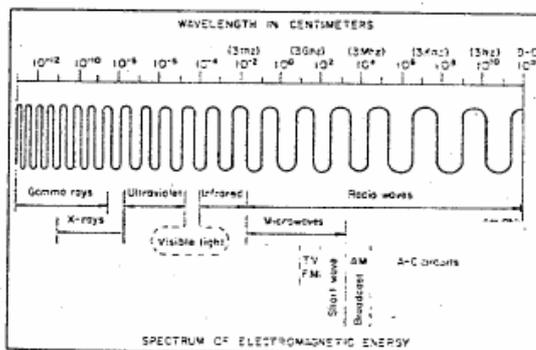


Figure 1. Components of the electromagnetic spectrum. Frequencies in cycles per second (hertz, Hz) are shown in parentheses. (Abbreviations: D-C, direct current or zero Hz; G, giga- = 10⁹; K, kilo- = 10³; M, mega- = 10⁶; and t, tera- = 10¹².)

Absolument. Voici la traduction en français de la deuxième partie du document.

****complication**** physique apparente nonobstant, l'intérêt du profane pour l'électrobiologie est bien attesté par le volume substantiel de la littérature populaire ; mais les affirmations étranges et souvent contradictoires qui y apparaissent sont tout aussi bien l'attestation d'une vérité connexe : la science manque cruellement d'une compréhension des mécanismes électrobiologiques de base. De plus, l'absence d'une théorie satisfaisante du rôle des événements électriques intrinsèques dans les organismes uni- ou multicellulaires fait peser une lourde charge épistémologique sur ceux qui voudraient expliquer comment un organisme réagit aux champs électromagnétiques d'origine extrinsèque. À l'exception possible de la photoréception chez les mammifères, qui est de toute façon mieux comprise comme un processus de mécanique quantique que comme une activité impliquant des ondes électromagnétiques, il existe peu de données fondamentales sur la réponse biologique aux champs électromagnétiques exogènes. Les données solides qui existent – celles validées par des confirmations expérimentales indépendantes – sont sans exception corrélatives ou descriptives. De nombreuses découvertes présentent un intérêt pour le psychologue, cependant, non seulement parce que le comportement a souvent été le point final d'expérimentations électrobiologiques réussies, mais aussi parce que les psychologues ont joué un rôle important dans ces recherches, notamment dans le développement de la méthodologie et de l'instrumentation.

Dans cet essai, je résume certaines contributions de psychologues expérimentaux à l'étude biologique des champs électromagnétiques de radiofréquence, en particulier les « micro-ondes ». Mais d'abord, le lecteur devrait se familiariser avec quelques fondamentaux de la théorie des ondes et se voir fournir un synopsis des développements historiques pertinents. Le lecteur qui dédaigne les discussions techniques voudra peut-être sauter les quelques paragraphes suivants, mais sera probablement récompensé par une meilleure compréhension des éléments qui suivent s'il ou elle choisit de les lire.

****Théorie des ondes électromagnétiques****

La partie micro-ondes du spectre électromagnétique comprend les émanations des radars, de la télévision et de la radio ondes courtes. Les micro-ondes varient en fréquence de quelques-unes à plusieurs milliers de mégahertz (MHz). En termes de longueurs d'onde respectives **in vacuo**, les micro-ondes vont de quelques mètres à environ un millimètre. La relation des micro-ondes avec les autres composantes du spectre électromagnétique est montrée dans la Figure 1. Mon examen des données s'arrête avant les rayonnements du spectre infrarouge et des rayonnements solaires et cosmiques qui se trouvent au-delà, mais je ne trace pas une ligne tout à fait arbitraire. Bien que l'absorption d'énergie électromagnétique de n'importe quelle longueur d'onde se traduise par et résulte en une augmentation de l'énergie cinétique dans la cible biologique, les énergies des photons des rayonnements de radiofréquence sont extrêmement faibles. Il n'en va pas de même pour les rayonnements de fréquence plus élevée. Le produit inéluctable de la multiplication de la fréquence par la constante universelle de Planck, l'énergie du photon, devient un facteur biologique puissant à des fréquences plus élevées. Corrélée à l'ampleur de l'énergie des photons se trouve la probabilité qu'un rayonnement ionise les atomes de la cible absorbante. Le déplacement des électrons des atomes, le cœur de l'ionisation, crée des charges électriques supplémentaires au sein et entre les molécules, posant ainsi des risques biomoléculaires distincts – distincts, c'est-à-dire, du réchauffement des tissus corporels qui résulte d'une augmentation modérée de l'énergie cinétique. Autrement dit, à des densités qui sont faibles en termes d'énergie cinétique disponible, les rayons X et gamma sont comme des balles froides mais mortelles comparées aux ondulations bénignes qui baignent l'organisme lors d'une exposition à des densités commensurables de micro-ondes et d'autres énergies de radiofréquence. D'un autre côté, l'exposition à des densités élevées d'énergie de

radiofréquence est dangereuse et peut entraîner un échauffement excessif. Qu'on en juge par la pomme de terre qui cuit jusqu'à éclatement dans un four à micro-ondes en moins de quatre minutes !

Un facteur majeur qui distingue la réponse biologique au rayonnement par les micro-ondes par opposition au rayonnement par les énergies infrarouges et ultraviolettes est que ces dernières sont absorbées ou diffusées près de la

****Figure 1.**** Composantes du spectre électromagnétique. Les fréquences en cycles par seconde (hertz, Hz) sont indiquées entre parenthèses. (Abréviations : D-C, courant continu ou zéro Hz ; G, giga- = 10^9 ; K, kilo- = 10^3 ; M, méga- = 10^6 , et t, téra- = 10^{12} .)

392 • MARS 1975 • AMERICAN PSYCHOLOGIST
