

Analyse de l'impact des ondes électromagnétiques sur l'homme

T. B. Carlos KONLACK* et Roger TCHUIDJAN

Département des Génies Électrique et des Télécommunications, ENSP B.P. 8390, Université de Yaoundé I, Cameroun

* Correspondance, courriel : belmiencarlos2002@yahoo.fr

Résumé

Cet article présente l'établissement à partir d'une analyse mathématique et numérique une causalité plausible entre ondes électromagnétiques et santé.

Un système biologique irradié par une onde électromagnétique est traversé par des courants induits de densité non négligeable. Le champ électrique total E dans le système biologique est inconnu et peut être déterminé par la méthode des moments.

Une évaluation de la distribution de puissance induite par une onde électromagnétique dans un modèle sphérique de cerveau permet de dire que, la quantité d'énergie reçue par le cerveau de la part des ondes électromagnétiques est très élevée par rapport à celle qui en ressort par rayonnement, et que la quasi-totalité de l'énergie reçue est transformée en chaleur.

L'utilisation des hautes fréquences, de l'ordre des dizaines de gigahertz et plus peuvent entraîner des effets non thermiques dommageables pour la santé d'un système biologique exposé. Ceci en fonction de la fréquence, de l'intensité de ces ondes et de la durée d'exposition à ces dernières. L'analyse mathématique et numérique est à la base de cette étude, en ce sens qu'elle permet d'évaluer la distribution de puissance électromagnétique dans le système biologique étudié. Les résultats des simulations à partir du logiciel MATLAB montrent que, l'utilisation d'un téléphone portable peut entraîner une augmentation de la température du cerveau.

Mots-clés : *impact sur la santé, fréquence, intensité, onde électromagnétique, courant induit, modèle sphérique de cerveau, causalité plausible, système biologique, téléphone portable.*

Abstract

Analysis of the effects of electromagnetic waves on human beings

This article uses a mathematical and numerical analysis to establish a plausible causal link between electromagnetic radiation and health.

A biological system exposed to electromagnetic radiation conducts non-negligible induced currents. The electric field intensity within the biological system is unknown and can be determined by the method of moments.

An evaluation of the distribution of the power induced by an electromagnetic wave in a spherical model of the brain leads to the conclusion that the amount of energy received by the brain through induction from the

electromagnetic waves is much higher than that received by direct radiation from all other external sources. In addition, almost the entirety of the received energy is transformed into heat.

The utilisation of high frequencies, in the order of tens of gigahertz and above, could produce non-thermal effects which are detrimental to the health of the exposed biological system. This depends on the wave frequency, the intensity of the radiation and duration of exposure to the radiation. The distribution of the power induced by the electromagnetic wave in the biological system under study is evaluated using mathematical and numerical methods. Simulation results using MATLAB show that the usage of a mobile phone could lead to an increase in the temperature of the brain.

Keywords : *impact on the health, frequency, intensity, electromagnetic radiation, induced currents, spherical brain model, plausible causal, biological system, mobile phones.*

1. Introduction

L'homme baigne de plus en plus dans un environnement électromagnétique qu'il a lui-même créé. Cherchant sans cesse à améliorer son cadre de vie, il a produit à ce jour d'appareils de plus en plus sophistiqués tels que : des téléphones portables ; d'antennes de relais ; d'appareils électriques domestiques (rasoir électrique ; télévision ; poste radio etc.) Ces appareils sont tous sources d'ondes électromagnétiques. Il apparaît donc nécessaire de se poser quelques questions à savoir :

- Les ondes émises par nos appareils électriques quotidiennement utilisés présentent-elles un risque pour la santé ?
- Quelles pathologies peuvent survenir selon la fréquence ou l'intensité des ondes « agresseuses » ou alors selon la durée d'exposition à ces dernières ?

C'est un problème qui nous concerne tous et auquel un sursaut de conscience s'avère nécessaire dans la mesure où la plupart d'entre nous utilisent des téléphones portables, vit à une distance plus ou moins éloignée des antennes de relais, de lignes à haute tension ou alors reste scotcher plusieurs heures par jour devant un écran d'ordinateur ou de TV.

Plusieurs études épidémiologiques et expérimentales ont été menées à ce sujet et elles ont conduit pour la plupart à établir des effets biologiques pouvant menacés moyen ou à long terme la santé [1].

Des études théoriques ont également permis d'estimer des doses d'énergie électromagnétique absorbées par les animaux et l'Homme. [2,3]

Notre travail s'inscrit dans un but de compléter et de renforcer la véracité de quelques résultats déjà obtenus.

Nous envisagerons pour notre application le cas particulier d'un cerveau humain soumis aux radiations électromagnétiques.

2. Méthode d'étude

Pour mieux comprendre la distribution de puissance en divers point du cerveau ou plus généralement d'un système biologique et y prévoir des conséquences éventuelles sur la santé nous allons procéder par une analyse mathématique et numérique fondée sur la méthode des moments, il s'agit d'une étude numérique comportant quatre étapes fondamentales à savoir :

- La résolution de l'équation intégrale issue de l'analyse mathématique.
- La transformation de l'équation intégrale en équation matricielle.

- L'évaluation des éléments de la matrice
- Et enfin la solution de l'équation matricielle

Il y a quelque nécessité d'approximation dans notre étude. En effet les systèmes biologiques sont assez complexes de par leur forme géométrique et l'inhomogénéité de leur constitution interne.

C'est ainsi que nous assimilerons pour notre étude un système biologique à un diélectrique caractérisé par trois paramètres principaux que sont :

- La permittivité ϵ : elle est liée à la capacité du milieu à se laisser influencer par des charges électriques
- La perméabilité magnétique μ : Elle traduit l'influence du champ magnétique sur le milieu
- La conductivité σ : Elle traduit la capacité du milieu à véhiculer des charges électriques.

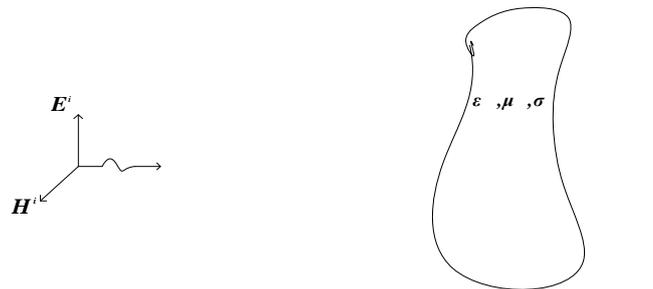


Figure 1 : système biologique humain

3. Analyse mathématique [4]

Considérons un système biologique irradié par une onde électromagnétique.

3.1 Recherche de l'équation intégrale

Le champ incident E^i induit dans le système biologique des champs E^s qui induisent à leur tour des courants de densité J_{eq} tel qu'on puisse écrire :

$$J_{eq}(r) = (\sigma(r) + j\omega[\epsilon(r) - \epsilon_0])E(r) = \tau(r)E(r) \quad (2)$$

On a donc les équations de Maxwell ci-dessous :

$$\nabla \times E^s = -J_{eq} - j\omega H^s \quad (3)$$

$$\nabla \times H^s = j\omega E^s \quad (4)$$

Ces équations conduisent à :

$$\nabla \times \nabla \times E^s - k_0^2 E^s = -j\omega \mu_0 J_{eq} \quad (5)$$

$$\nabla \times \nabla \times H^s - k_0^2 H^s = \nabla \times J_{eq} \quad (6)$$

avec $k_0^2 = \omega^2 \mu_0 \epsilon_0$

Les solutions des équations (4) et (5) s'écrivent :

$$E^s = -j\omega \left[1 + \frac{1}{k_0^2} \nabla \nabla \cdot \right] A \quad (7)$$

$$H^s = \frac{1}{\mu_0} \nabla \times A \quad (8)$$

$$\text{où } A = \mu_0 \int_v G_0(r, r'') J_{eq}(r'') dv'' \quad (9)$$

$$\text{et } G_0(r, r') = \frac{e^{-jk_0(r-r')}}{4\pi|r-r'|} \quad (10)$$

Les équations (7), (8), (9) montrent que E^s et H^s dépendent de J_{eq}

On suppose que J_{eq} est une source élémentaire placée en r' et pointant dans la direction des x telle qu'on puisse écrire :

$$J_{eq} = \delta(r'-r'') a_x \quad (11)$$

Le potentiel vecteur correspondant peut s'écrire :

$$A = \mu_0 G_0(r, r') a_x \quad (12)$$

Si on appelle $G_{0x}(r, r')$ le champ électrique produit par la source élémentaire alors les équations (5), (7) et (12) conduisent à :

$$\nabla \times \nabla \times G_{0x}(r, r') - k_0^2 G_{0x}(r, r') = -j\omega \mu_0 \delta(r, r') \quad (13)$$

Ce qui donne comme solution :

$$G_{0x}(r, r') = -j\omega \mu_0 \left(1 + \frac{1}{k^2} \nabla \nabla \cdot \right) G_0(r, r') a_x \quad (14)$$

Nous pouvons également avoir $G_{0y}(r, r')$ et $G_{0z}(r, r')$ correspondants aux champs créés par les sources infinitésimales pointées suivant les directions x et y respectivement.

Nous allons maintenant introduire une fonction dyadique composée des trois fonctions de Green $G_{0x}(r, r')$, $G_{0y}(r, r')$ et $G_{0z}(r, r')$, c'est-à-dire :

$$G(r, r') = G_{0x}(r, r') a_x + G_{0y}(r, r') a_y + G_{0z}(r, r') a_z \quad (15)$$

$G(r, r')$ est solution de l'équation différentielle suivante :

$$\nabla \times \nabla \times G(r, r') - k_0^2 G(r, r') = \bar{I} \delta(r, r') \quad (16)$$

où \bar{I} représente la dyade unité et est définie par :

$$\bar{I} = a_x a_x + a_y a_y + a_z a_z \tag{17}$$

Enfinement $G(r, r')$ est égale au champ électrique en un point r dû à une source infinitésimale placée en r' .
 A partir des équations (5) et (16) on peut écrire :

$$E^s(r) = -j\omega\mu_0 \int G(r, r') \cdot J_{eq}(r') dv' \tag{18}$$

$G(r, r')$ Présente une singularité en $r=r'$, ainsi la solution (18) diverge si le point r considéré est dans le volume du système biologique ou dans la région source.

Pour résoudre le problème de divergence rencontré dans l'équation (18) on exclut dans le domaine d'intégration un petit volume entourant le point r où l'on calcule le champ, on va donc ajouter à la valeur principale de la solution (18) un terme correctif comme l'indique la formule suivante :

$$E^s(r) = VP \cdot \int J_{eq}(r') \cdot G(r, r') dv' - \frac{J_{eq}(r)}{3j\omega\epsilon_0} \tag{19}$$

Le champ électrique total dans le système biologique est la somme des champs incident E^i et dispersif E^s

$$E(r) = E^i(r) + E^s(r) \tag{20}$$

La combinaison des équations (2), (19) et (20) conduisent à l'équation intégrale tensorielle suivante:

$$\left[1 + \frac{\tau(r)}{3j\omega\epsilon_0} \right] E(r) - VP \cdot \int \tau(r') E(r') \cdot G(r, r') dv' = E^i(r) \tag{21}$$

Le champ électrique total E dans le système biologique est inconnu et peut être déterminé par la méthode des moments

3-2. Équation matricielle

Le produit $E(r) \cdot G(r, r')$ de l'équation (21) peut être évalué de la manière suivante :

$$E(r) \cdot G(r, r') = \begin{bmatrix} G_{xx}(r, r') & G_{xy}(r, r') & G_{xz}(r, r') \\ G_{yx}(r, r') & G_{yy}(r, r') & G_{yz}(r, r') \\ G_{zx}(r, r') & G_{zy}(r, r') & G_{zz}(r, r') \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_x(r') \\ E_y(r') \\ E_z(r') \end{bmatrix} \tag{22}$$

La matrice des G est symétrique, si l'on fait les changements suivants:

$$x_1 = x \quad x_2 = y \quad x_3 = z$$

Les Coefficients de la matrice s'écrivent comme :

$$G_{x_p x_q}(r, r') = -j\omega\mu_0 \left[\delta_{pq} + \frac{1}{k_0^2} \frac{\partial^2}{\partial x_q \partial x_p} \right] G_0(r, r') \quad p, q = 1, 2, 3 \tag{23}$$

En répartissant notre système biologique en N cellules identiques de volume v_m ($m=1, 2, \dots, N$) et en admettant que les cellules sont suffisamment petites pour que $E(r)$ et $\tau(r)$ y soient constants, l'équation (21) devient :

$$\left[1 + \frac{\tau(r)}{3j\omega\epsilon_0}\right] E_{x_p}(r_m) - \sum_{q=1}^3 \sum_{q'=1}^3 \tau(r_n) VP \int_{v_n} G_{x_p x_q}(r_m, r') dv' E_{x_q}(r_n) = E_{x_p}^i(r_m) \quad (24)$$

Si l'on suppose que $[G_{x_p x_q}]$ est une matrice de $N \times N$ éléments, ses coefficients sont donnés par :

$$G_{x_p x_q}^{mn} = \tau(r_n) VP \int_{v_n} G_{x_p x_q}(r_m, r') dv' - \delta_{pq} \delta_{mn} \left[1 + \frac{\tau(r)}{3j\omega\epsilon_0}\right] \quad (25)$$

avec $m, n=1, 2, \dots, N$ $p, q=1, 2, 3$

Soient les matrices colonnes suivantes :

$$[E_{x_p}] = \begin{bmatrix} E_{x_p}(r_1) \\ \vdots \\ E_{x_p}(r_N) \end{bmatrix}, \quad [E_{x_p}^i] = \begin{bmatrix} E_{x_p}^i(r_1) \\ \vdots \\ E_{x_p}^i(r_N) \end{bmatrix} \quad (26)$$

Des équations (21) et (24) on obtient $3N$ équations pour E_x, E_y et E_z aux centres de chacune des N cellules. Ces $3N$ équations sous forme matricielle donnent :

$$\begin{bmatrix} [G_{xx}] & [G_{xy}] & [G_{xz}] \\ [G_{yx}] & [G_{yy}] & [G_{yz}] \\ [G_{zx}] & [G_{zy}] & [G_{zz}] \end{bmatrix} \begin{bmatrix} [E_x] \\ [E_y] \\ [E_z] \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} [E_x^i] \\ [E_y^i] \\ [E_z^i] \end{bmatrix} \quad (27)$$

L'équation (27) s'écrit plus simplement de la manière suivante :

$$[G][E] = -[E^i] \quad (28)$$

où $[G]$ est une matrice $3N \times 3N$, $[E]$ et $[E^i]$ des matrices colonnes à $3N$ éléments

3-3. Évaluation des éléments de la matrice

Pour déterminer les solutions de notre système matricielle il nous faudra d'abord définir les coefficients de la matrice $[G]$, pour les éléments autres que ceux de la diagonale de $[G_{x_p x_q}]$, r_m n'est pas dans v_n le symbole valeur principale peut être omis. L'équation (25) nous donne donc :

$$G_{x_p x_q}^{mn} = \tau(r_n) \int_{v_n} G_{x_p x_q}(r_m, r') dv' \quad m \neq n \quad (29)$$

En première approximation l'équation (29) donne :

$$G_{x_p x_q}^{mn} = \tau(r_n) G_{x_p x_q}(r_m, r') \Delta v_n \quad m \neq n \quad (30)$$

où Δv_n est le volume de la cellule. En incorporant les relations (14) et (23) dans l'équation (30) nous obtenons :

$$G_{x_p x_q}^{mn} = \frac{-j\omega\mu k_0 \Delta v_n \tau(r_n) \exp(-j\alpha_{mn})}{4\pi\alpha_{mn}^3} \times [(\alpha_{mn} - 1 - j\alpha_{mn})\delta_{pq} + \cos\theta_{x_p}^{mn} \cos\theta_{x_q}^{mn} (3 - \alpha_{mn}^2 + 3j\alpha_{mn})] \quad m \neq n \quad (31)$$

avec $\alpha_{mn} = k_0 R_{mn}$, $R_{mn} = |r_m - r_n|$, $\cos \theta_{x_p}^{mn} = \frac{x_p^m - x_p^n}{R_{mn}}$, $\cos \theta_{x_q}^{mn} = \frac{x_q^m - x_q^n}{R_{mn}}$

et $r_m = (x_1^m, x_2^m, x_3^m)$, $r_n = (x_1^n, x_2^n, x_3^n)$

Pour les éléments diagonaux de notre matrice $[G]$ l'équation (25) devient :

$$G_{x_p x_q}^{mn} = \tau(r_n) VP \cdot \int_{v_n} G_{x_p x_q}(r_n, r') dv' - \delta_{pq} \left[1 + \frac{\tau(r)}{3j\omega\epsilon_0} \right] \quad (32)$$

Pour évaluer cette intégrale, nous assimilons la cellule v_n à un petit cube d'arête a_n , on peut donc écrire :

$$\Delta v = a_n^3 \text{ soit } a_n = (v_n)^{1/3} \quad (33)$$

En tenant compte de (31) et (32) nous obtenons :

$$G_{x_p x_q}^{mn} = \delta_{pq} \left[\frac{-2j\omega\mu_0\tau(r_n)}{3k_0^3} (\exp(-jk_0 a_n)(1 + jk_0 a_n) - 1) - \left(1 + \frac{\tau(r_n)}{3j\omega\epsilon_0} \right) \right], \quad m = n \quad (34)$$

On pouvait aussi assimiler les volumes élémentaires à de petits cubes ou cylindres.

3-4 Résolution de l'équation matricielle

Après avoir évalué les coefficients de la grande matrice G nous pouvons résoudre l'équation matricielle qui se présente sous la forme :

$$[G][E] = -[E^i] \quad (35)$$

Par inversion de la matrice G on obtient la solution :

$$[E] = -[G]^{-1}[E^i] \quad (36)$$

4. Application

Nous allons exploiter l'analyse théorique précédente pour évaluer la distribution de puissance induite par une onde électromagnétique de 1,8GHz (GPS) dans un modèle sphérique de cerveau de rayon 10cm.

On admet l'expression suivante pour le champ incident :

$$E^i = E_0 e^{-jk_0 z} a_x = a_x E_0 (\cos k_0 z - j \sin k_0 z) V / m \quad (37)$$

$$P_i = 1mW / cm^2 : \text{Puissance de l'onde incidente [4]} \quad (38)$$

$$\eta_0 = 377\Omega : \text{Impédance intrinsèque du vide} \quad (39)$$

$$\epsilon_r = 35, \quad \sigma = 0,7mS / m, \quad (E_0 = 86,83V / m)[4] \quad (40)$$

Ces grandeurs choisies à titre d'exemple correspondent à des valeurs moyennes plausibles des paramètres électriques pour un cerveau donné. Leurs déterminations exactes dépendent de la nature de la source émettrice et des propriétés électriques du système biologique en question, ce qui n'est pas chose aisée. D'après notre étude théorique ce problème nous amène à résoudre le système matriciel :

$$[G][E] = -[E^i] \quad (41)$$

C'est-à-dire de trouver la matrice suivante :

$$[E] = -[G]^{-1}[E^i] \quad (42)$$

On va remplir notre système biologique c'est-à-dire le cerveau en question par de petits cubes comme l'indique la figure 2 suivante :

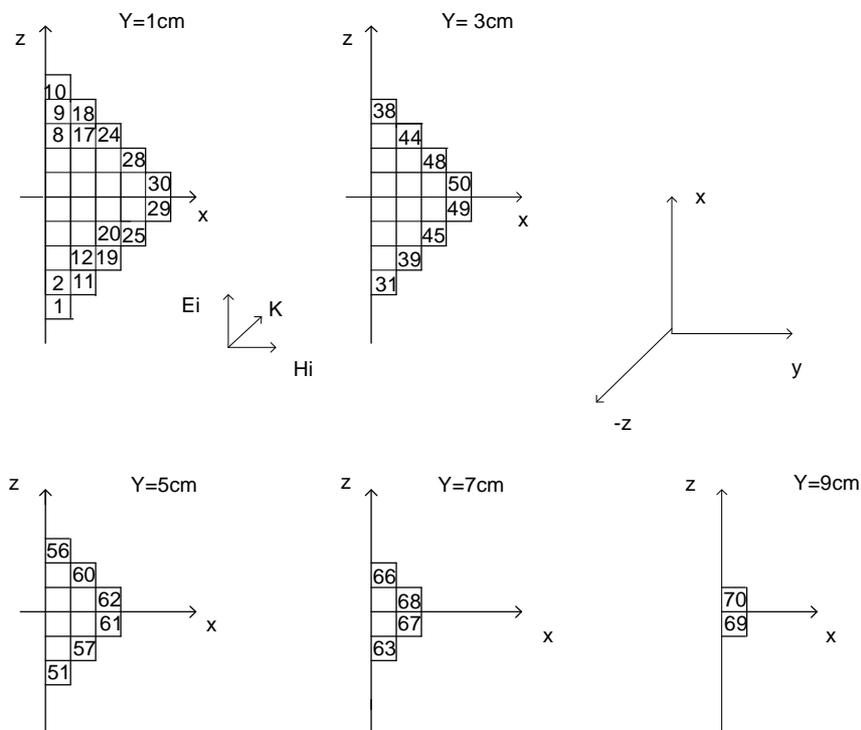


Figure 2 : Maillage du système biologique

Notre cerveau est centré à l'origine de notre repère (x, y, z)

Les cubes ont une arête $a = 2$ cm.

Pour des raisons de symétrie on considère le quartier supérieur droit de notre système biologique, c'est-à-dire x et y positifs. La **Figure 2** indique la disposition de nos cubes pour différentes valeurs de y .

On en dénombre 70 au total. Les coefficients des matrices G et E sont évalués à l'aide d'un traitement informatique (sous Matlab).

On peut ainsi tracer les courbes donnant la puissance : $P = \frac{\sigma}{2}|E|^2$ en fonction de z d'une part et en fonction de la fréquence f de l'onde incidente d'autre part.

5. Résultats

5-1. Courbe de puissance en fonction de la profondeur traversée

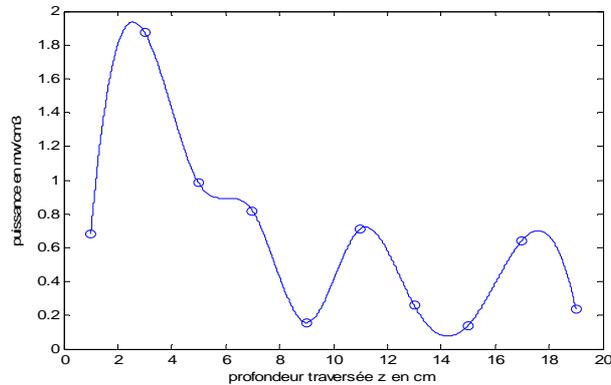


Figure 3 : courbe $P = f(z)$

5-2. Courbe de puissance en fonction des fréquences

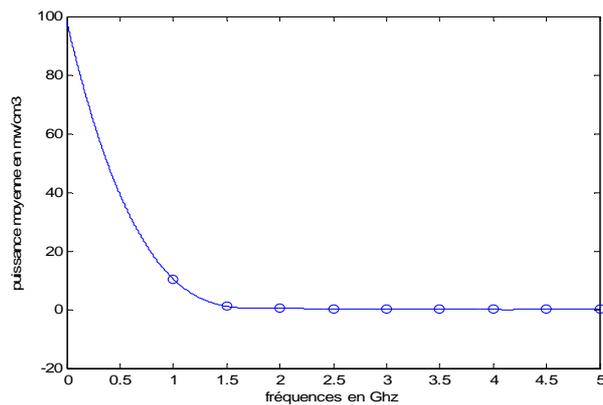


Figure 4 : courbe $P_{moy} = f(\text{fréquence})$

5-3 Évaluation de l'élévation de la température d'un cerveau irradié

Une étude montre que l'utilisation d'un téléphone portable peut entraîner une augmentation de 2 à 3°C de la température du cerveau [5].

Nous verrons dans l'étude qui va suivre comment cela peut être possible.

Considérons notre modèle sphérique précédent de cerveau irradié par une onde électromagnétique de 1,8Ghz.

Notre traitement informatique a donné une valeur moyenne $P_{moy} = 0,65\text{mW/cm}^3$ de puissance à l'intérieur du cerveau.

Si on appelle :

ρ la masse volumique moyenne du cerveau

c sa capacité thermique massique moyenne

T la durée d'irradiation

$\Delta\theta$ l'élévation moyenne de la température du cerveau

On admet que la quantité d'énergie reçue par le cerveau de la part des ondes électromagnétiques est très élevée par rapport à celle qui en ressort par rayonnement, et que la quasi-totalité de l'énergie reçue est transformée en chaleur (On se place dans le pire des cas).

Nous pouvons donc écrire l'équation thermodynamique suivante de conservation de l'énergie :

$$P_{\text{moy}} \tau = \rho c \Delta \theta \quad (43)$$

Ce qui donne :

$$\Delta \theta = \frac{P_{\text{moy}}}{\rho c} \tau \quad (44)$$

La masse et le volume d'un cerveau humain sont estimés en moyenne à 1,3kg et 1,5litres respectivement. Ce qui correspond à une masse volumique moyenne :

$$\rho = 870 \text{ kg / m}^3 \quad (45)$$

De plus les systèmes biologiques en général et le cerveau en particulier sont constitués à 70 % d'eau, et ce sont principalement ces molécules qui sont soumises à des frictions internes responsables de la chaleur. Il est donc logique de prendre comme capacité thermique massique moyenne du cerveau une valeur voisine de celle de l'eau, soit :

$$c = 4000 \text{ J.Kg}^{-1}.\text{K}^{-1} \quad (46)$$

Le traitement informatique nous donne le résultat :

$$P_{\text{moy}} = 0,65 \text{mw / cm}^3 \quad (47)$$

Nous pouvons ainsi évaluer les différentes élévations de températures du cerveau en fonction de la durée de la communication téléphonique.

Pour une plage de 6 heures nous obtenons la courbe ci-dessous donnant l'élévation de température en degré celsius et fonction de la durée d'irradiation du cerveau en heures.

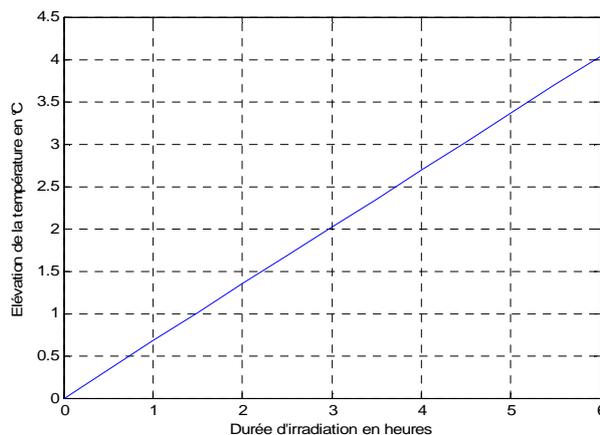


Figure 5 : Courbe $\Delta\theta = f(\tau)$

Des résultats de cette courbe sont consignés dans le **Tableau 1**.

Tableau 1 : *Échauffement du cerveau en fonction des durées de communications téléphoniques : cas du GSM 1800*

Durée d'irradiation	Élévation de la température du cerveau
0h	0°C
30 min	0,3°C
1h	0,7°C
1h30 min	1°C
2h	1,3°C
2h30 min	1,7°C
3h	2°C
3h30 min	2,3°C
4h	2,7°C
4h30 min	3°C
5h	3,3°C
5h30 min	3,7°C
6h	4°C

Nous pouvons également obtenir sous forme de tableau des résultats dans le cas de l'utilisation d'un téléphone mobile de troisième génération UMTS. Ici la fréquence des ondes émises ou reçues est de l'ordre de 2100Mhz et la puissance moyenne des ondes émises par le téléphone est de l'ordre de 0,5mw/cm².

Nous obtenons donc à partir d'une analyse analogue à la précédente le **Tableau 2**.

Tableau 2 : *Échauffement du cerveau en fonction des durées de communications téléphoniques : cas de l'UMTS 2100*

Durée d'irradiation	Élévation de la température du cerveau
0h	0°C
30 min	0,08°C
1h	0,16°C
1h30 min	0,24°C
2h	0,31°C
2h30 min	0,40°C
3h	0,47°C
3h30 min	0,55°C
4h	0,63°C
4h30 min	0,70°C
5h	0,78°C
5h30 min	0,86°C
6h	0,95°C

6. Discussion

6-1. Cas de la courbe « puissance en fonction de la Profondeur traversée »

La courbe de la **Figure 3** donnant la puissance électromagnétique reçue par le cerveau en fonction de la profondeur traversée montre que la puissance reçue se trouve plus concentrée à l'extrémité du cerveau la plus proche de la zone de la tête où est collée le combiné téléphonique. C'est cette extrémité qui s'échauffe le plus.

Ceci est analogue à une casserole au feu, en effet c'est la zone de la casserole exposée au feu qui s'échauffera le plus.

De la même manière qu'un four à micro-onde chauffe les aliments, le cerveau se trouvera chauffer lorsqu'il sera irradié par les ondes électromagnétiques. Les effets thermiques sont dus à la dissipation en chaleur de l'énergie du rayonnement atteignant les tissus. Les molécules d'eau présentes dans les tissus biologiques vont se mettre à osciller à la fréquence de l'onde incidente créant ainsi des frictions internes responsables de l'échauffement des tissus irradiés. Cet échauffement sera d'autant plus important que les tissus seront riches en eau. Cependant les ondes électromagnétiques peuvent aussi causer des effets non thermiques.

6-2. Cas de la courbe « puissance moyenne en fonction de la fréquence des ondes »

La courbe de la **Figure 4** donnant la puissance électromagnétique dans le cerveau en fonction de différentes fréquences de rayonnement incident montre pour des rayonnements de même puissance, mais de fréquences différentes l'échauffement cérébral n'est pas le même. L'échauffement du cerveau ou du système biologique décroît lorsque la fréquence des ondes qui l'irradient augmente.

Ainsi aux basses fréquences, c'est-à-dire inférieures à quelques dizaines de mégahertz, ce sont les effets biologiques de nature thermique qui sont prépondérants, alors qu'aux hautes fréquences les effets thermiques ne sont pas très significatifs.

Néanmoins l'utilisation des hautes fréquences, de l'ordre des dizaines de gigahertz et plus peuvent entraîner des effets non thermiques dommageables pour la santé.

Un exemple illustratif de ce que nous venons de dire c'est le faisceau de rayons X.

En effet, un faisceau de rayons X possède plusieurs harmoniques : les basses fréquences qui provoquent des brûlures chez le malade irradié, elles sont indésirables.

Ce sont leurs hautes fréquences encore appelées rayons X durs qui sont utilisées pour la destruction des cellules cancéreuses. Ainsi lors de l'irradiation d'un malade on veille à placer entre ce dernier et la source de rayons X une barrière de plomb pour atténuer les rayons X mous (basses fréquences) et ne laisser passer que les rayons X durs.

6-3. Cas de la courbe « échauffement en fonction de la durée d'irradiation »

La courbe de la **Figure 5** donnant l'échauffement cérébral en fonction de la durée d'irradiation indique que l'échauffement moyen continuera d'augmenter et de façon quasi linéaire avec la durée de la communication. Nous avons pris une plage de 6 heures parce qu'au bout de ce temps l'échauffement du cerveau comme l'indique le **Tableau 1** sera tellement important que l'utilisateur s'évanouira avant que les 6 heures ne se soient écoulées.

Le **Tableau 2** montre que l'utilisation d'un téléphone mobile de troisième génération « UMTS » entraînera moins d'échauffement du cerveau que les téléphones mobiles de deuxième génération « GSM ».

7. Des conséquences possibles sur la santé et quelques précautions à prendre

7-1. Quelques effets sanitaires possibles

Notons que toute stimulation d'une cellule, d'un tissu ou d'un organisme, que se soit par les ondes électromagnétiques ou par tout autre excitateur de nature donnée peut s'accompagner d'une réponse

adaptative normale de celui-ci : c'est un effet biologique. Un effet biologique peut cependant mettre en danger le fonctionnement normal d'un organisme lorsque ses capacités de réponses physiologiques en réponse à l'action de l'agent extérieur sont dépassées : Il survient alors un effet dit sanitaire et la santé est entravée.

Ainsi une exposition fréquente, habituellement prolongée aux ondes radiofréquences peut entraîner à court, moyen ou à long terme quelques effets sanitaires tel :

- ❖ Les maux de tête
- ❖ Les insomnies
- ❖ La modification de l'électroencéphalogramme avec des conséquences significatives sur la mémoire, la réduction du temps de réaction.
- ❖ Les maladies d'Alzheimer et de Parkinson : En effet les cellules nerveuses ne sont pas sujettes à la division cellulaire, les conséquences les plus probables des dégâts causés à leurs ADN sont les changements fonctionnels et la mort cellulaire, ce qui est un facteur promoteur ou co-promoteur de ces maladies neurodégénératives.
- ❖ La perturbation de la glande pinéale ou épiphyse peut induire à long terme des cancers.
- ❖ La modification des flux cellulaires due aux augmentations de températures ou aux forces électromagnétiques induites par les champs extérieurs sur les parois cellulaires. Elle peut entraîner à moyen ou à long terme des changements fonctionnels et même la dégénérescence cellulaire.
- ❖ Des cas possibles d'hypertension artérielle : En effet la pression du sang dans les vaisseaux sanguins peut d'après les lois de la mécanique des fluides être modifiée si les molécules de fluide sanguin (ioniques) sont soumises à des forces supplémentaires, induites par exemple par des ondes électromagnétiques extérieures. Mais cet effet ne peut être significatif qu'à long terme.

Bien d'autres effets sanitaires possibles peuvent être recensés. Il faudra pour ce faire poursuivre des études expérimentales et épidémiologiques sur des groupes variés de populations en tenant compte de la durée d'exposition de ces dernières, de la fréquence et de l'intensité des ondes « agresseuses ».

7-2. Quelques précautions à prendre

Pour prévenir les effets biologiques ou sanitaires des ondes radiofréquences, nous pouvons prendre quelques mesures à savoir :

- ❖ L'utilisation du « Kit mains libres » Il permet de téléphoner sans avoir à coller le mobile à l'oreille, ce qui réduit la puissance absorbée sous l'effet de la distance.

Il est nécessaire de l'utiliser pour les communications de longues durées.

- ❖ Le « stop-onde » C'est une plaquette qui se colle derrière le téléphone portable au plus près de l'antenne.

Son principe physique est qu'il déphase de 180° l'onde qu'il reçoit. Il se crée ainsi une interférence destructive entraînant l'atténuation des ondes parasites. Mais on n'a pas de pertes en qualité de réception ou d'émission.

- ❖ Les pastilles absorbantes : Elles sont collées au boîtier du mobile et permettent de réduire par atténuation la puissance dissipée dans la tête de l'utilisateur. Mais le principal inconvénient ici est que l'efficacité du rayonnement du mobile se trouve réduite.
- ❖ Éviter de téléphoner en situation de déplacement [6].

Le téléphone transforme la voix en ondes radiofréquences qui se propage par l'intermédiaire de l'antenne du téléphone jusqu'à une antenne relais de station de base.

Le déplacement de l'utilisateur fait prendre le relais par plusieurs stations de base successivement, chacun démarrant sa communication à un niveau de puissance élevée avant de l'abaisser progressivement jusqu'à la stabiliser à un niveau minimum compatible avec une bonne qualité de communication.

❖ Éviter la communication dans les lieux à médiocre réception [6].

La conversation dans un lieu à médiocre réception astreint l'antenne relais et le téléphone mobile à rester à des niveaux de puissances élevés.

La puissance est d'autant plus grande que la qualité de la communication est mauvaise.

8. Conclusion

Les résultats obtenus dans ce travail nous ont permis de constater l'influence des facteurs fréquence, intensité et durée d'exposition aux ondes irradiant un système biologique donné. Notre étude peut être appliquée à tout système biologique autre que le cerveau, les allures des courbes que l'on obtiendrait dans ce cas seront identiques à celles obtenues pour le cerveau.

Cependant l'établissement d'un lien entre effet sanitaire et ondes électromagnétiques n'est pas aisé. La difficulté principale réside dans la mesure exacte de l'exposition de chaque personne, car plusieurs paramètres tels que la diversité des téléphones, les modes d'utilisation, les zones géographiques et la fréquence d'utilisation en dépendent.

Mais les résultats obtenus sont exploitables et peuvent permettre de renforcer la validité des résultats des études épidémiologiques et expérimentales. Ces dernières devront être renforcées par de multiples tests sur des populations variées régulièrement soumises à des rayonnements divers et pendant des durées pouvant aller de zéro à l'espérance de vie humaine.

Chaque individu est tenu d'adopter à son niveau des attitudes préventives telles que citées plus haut.

Références

- [1] - De RIDDER et VANHOORNE « Exposition aux champs magnétiques 50Hz et cancer: Un aperçu de la littérature récente », Archives of public Health, Vol. 53, n°1-4 (1995) 35-52.
- [2] - OM P. GANDHI « State of Knowledge for electromagnetic absorbed dose in man and animals », Proceeding of IEEE, Vol. 68, N°1, January (1980).
- [3] - Carl H. DURNEY « Electromagnetic dosimetry for models of humans and animals: A review of theoretical and numerical techniques », Proceeding of IEEE, Vol. 68, N°1, January (1980).
- [4] - Matthew N. O. SADIKU, « Numerical techniques in electromagnetics », Ed. Boca Raton, CRC press, New York, Washington DC. (2001) P 338-356.
- [5] - « En route pour Mars », *Science & vie*, n° 949 Octobre (1996) P 106.
- [6] - « Les antennes relais de la téléphonie mobile et les inquiétudes pour la santé publique » Journal officiel des communautés européennes. L 1999/59, 30 juillet 1999.