

EFFETS DES RADIATIONS ELECTROMAGNETIQUES GENEREES PAR DES ANTENNES MOBILES SUR LE CERVEAU HUMAIN

C. MOUMEN, A. MESSAI, S. ARIS, M. BENSLAMA

Electromagnetism and Telecommunication Laboratory, Constantine University « 1 », Algeria

Reçu le 05 Mai 2011 – Accepté le 10 Juin 2013

Résumé

La téléphonie mobile est devenue un instrument indispensable dans notre vie quotidien, et à coté de plus de 36 millions de portables, on compte quelque 35000 antennes ou stations de base, dont les riverains s'inquiètent des conséquences qu'elles pourraient avoir sur la santé [1]-[2].

Dans cet article nous aborderont les propriétés diélectriques de tissu humain et leurs évolutions suivant les variations de la fréquence, ainsi que la résolution des équations de Maxwell's afin de déterminer les expressions des champs électromagnétiques dans le corps humain, ainsi la capacité de diffusion de l'énergie (RF) dans les couches de la tête humaine la plus exposée à ces rayonnements, ceci par l'observation de la variation de la puissance absorbée par les tissus de la tête humaine.

Mots clés : Paramètres diélectriques du tissu; profondeur de pénétration (SAR ou DAS); puissance incidente sur la tête ; puissance absorbée par la tête.

Abstract

The mobile telephony became an essential instrument in our everyday life, and with of more than 36 millions portables, one counts some 35000 antennas and basic stations, of which residents worry about the consequences that they could have on health.

In this paper, we will approach the properties dielectric of human body and theirs evolutions according to the variations of the frequency used in the portable telephone (0.9 GHz and 1.8 GHz), as well as the resolution of the equations of Maxwell's, in order to determine the expressions of fields electromagnetic (RF) in the human body, and the diffusion capacity of energy (RF) in the layers of the human head most exposed to these radiations, this by the observation of the variation of the power absorption.

Key words : Dielectric parameters of human body; depth of penetration (DOP or SAR); incident power on human head; absorption power by humain head.

لقد أصبح الهاتف النقال أكثر من ضرورة في حياتنا اليومية، ونتيجة للعدد الهائل، حوالي 36 مليون، يقابله أكثر من 35000 هوائي و محطة إرسال اللذان أصبحا يشكلان مصدرا كبيرا لقلق الناس على صحتهم.

في هذا البحث نتطرق إلى خصائص العازل الكهربائي للنسيج البشري و تغيراته تبعا لتغير التردد المستعمل في الهاتف النقال (0.9 GHz 1.8 GHz)، وكذلك تحديد معادلات الحقل الكهرومغناطيسي داخل الجسم الكهرومغناطيسي (RF) داخل طبقات رأس الإنسان الأكثر تعرضا لهذه الأشعة، و ذلك من خلال ملاحظة تغيرات الطاقة الممتصة.

جسم، الطاقة الممتصة من طرف الجسم.

كلمات مفتاحية : العزل الكهربائي للنسيج البشري، عمق التوغل (SAR DAS)

Depuis sa création, les réseaux de téléphonie mobile et les réseaux de communications ont tellement évolués qu'ils sont devenus un outil essentiel de communication [3], cependant cette communication met de plus en plus en jeux de problèmes d'effets sur la santé. Le champ RF est l'association d'un champ électrique et d'un champ magnétique qui varient dans le temps et se propagent dans l'espace, ces champs sont susceptibles de déplacer des charges électriques, et sont caractérisés par plusieurs propriétés physiques dont les principales sont : la fréquence, la longueur d'onde, l'intensité et la puissance.

Donc toute matière vivante contient des charges électriques (ions, molécules ...) et des matériaux isolants ; c'est donc un milieu faiblement conducteur (appelé diélectrique). Suivant la position du téléphone portable par rapport à la tête humaine figure (4), le tissu (couches de la tête) est soumis à un champ RF, une partie du champ est réfléchi, et l'autre pénètre dans l'organisme. Le rayonnement produit par cette interaction doit être quantifié, car il peut être à l'origine d'effets biologiques. Le champ qui pénètre à l'intérieur des tissus peut être calculé à l'aide de modèles électromagnétiques, et la dose d'énergie absorbée par transformation en chaleur est quantifiée par la puissance absorbée par unité de masse de matière biologique exposée. Elle est définie par le débit d'absorption spécifique (SAR).

1. PROPRIETES DIELECTRIQUES DU TISSU

L'onde électromagnétique pénètre dans le tissu dépend des propriétés électriques suivantes [4]: la permittivité électrique ϵ , la perméabilité magnétique μ et la conductivité électrique de divers tissus, ainsi que l'épaisseur du tissu, la puissance incidente et la fréquence d'opération. Les propriétés électriques des tissus varient avec leur teneur en eau, la teneur en eau dans les tissus gras est beaucoup plus grande que dans les tissus non gras, la biomasse humaine peut être considérée comme un diélectrique :

$$V = V_0 (V' - jV'') = V_0 (V' - j(\dagger / \check{S}V_0)) \quad (1)$$

V_0 : Permittivité électrique dans le vide, V' et \dagger sont dépendants de la fréquence, et cette fréquence a deux valeurs significatives [0.9 GHz et 1.8 GHz] à une température de 37°, comme illustré dans les équations (1), (2) & (3) [5] :

$$V' = 1.71f^{-1.13} + (V_s^m - 4) / [1 + (f / 25)^2] + 4 \quad (2)$$

$$\dagger = 1.35f^{0.13}\dagger_{0.1} + [0.00222(V_s^m - 4)f^2] / [1 + (f / 25)^2] \quad (3)$$

f est la fréquence en GHz, et $\dagger_{0.1} = 0.05$ est la conductivité à 0.1 GHz, $V_s^m = 8.5$ est la permittivité extrapolée de l'onde électromagnétique [6].

Les figures (1) et (2) sont identiques par apport aux mesures pratiques, et la petite variation entre $f = 1$ GHz et $f = 10$ GHz est due à la teneur en eau dans la biomasse.

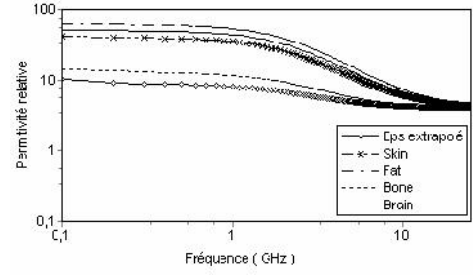


Figure 1 : La permittivité en fonction de la fréquence.

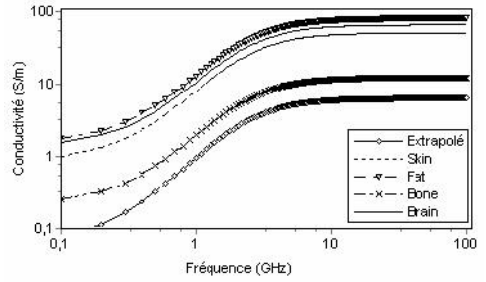


Figure 2 : La conductivité en fonction de la fréquence.

2. EXPRESSIONS DES CHAMPS E/M DANS LE CORPS HUMAIN

Les expressions des champs électromagnétiques dans le corps humain peuvent être obtenues par la résolution de l'équation de Maxwell's, dans l'hypothèse d'une onde à incidence uniforme et se propageant le long de la direction Z.

$$E_y = E_0 \exp(-r_z) \exp(j(\check{S}t - s_z)) \quad (4)$$

$$H_x = -(K_z / \check{S} \sim_0) E_y \quad (5)$$

$$\text{Avec : } K_z = \frac{\check{S}}{c} \sqrt{v_r - j \frac{\dagger}{\check{S}V_0}} = s + jr \quad (6)$$

K_z est la constante de propagation complexe, r représente le coefficient d'atténuation et s est la constante de phase.

2.1. Coefficients des atténuations

La solution (E_y / H_x) des équations de Maxwell's conduit à calculer la constante d'atténuation (r), la constante de phase (s), l'impédance intrinsèque de l'onde (Y) et la vitesse de propagation V , représentées dans les relations (7), (8), (9) & (10).

$$r = \frac{\dagger}{2} \sqrt{\frac{\sim_0}{V_0 V'}} \quad (7)$$

$$s = \check{S} \sqrt{\sim_0 V_0 V' \left(1 + 0.125 \left(\frac{V''}{V'} \right)^2 \right)} \quad (8)$$

$$y = \sqrt{\frac{\tilde{\nu}_0}{\nu_0 \nu'}} \left(1 + j \frac{\dagger}{2\tilde{S}\nu_0 \nu'} \right) \quad (9)$$

$$V = \frac{1}{\sqrt{\tilde{\nu}_0 \nu_0 \nu'}} \left(1 - \frac{1}{8} \left(\frac{\dagger}{\tilde{S}\nu_0 \nu'} \right)^2 \right) \quad (10)$$

2.2. Profondeur de pénétration

La profondeur de pénétration est définie comme étant la distance pour que la densité de puissance soit réduite à 13% de sa valeur initiale, la distance $z = 1/\gamma$ est appelée profondeur de pénétration SAR représentée sur la figure (3).

$$SAR = \frac{1}{r} = 2 \sqrt{\frac{\nu_0}{\tilde{\nu}_0}} \frac{\sqrt{\nu'}}{\dagger} \quad (11)$$

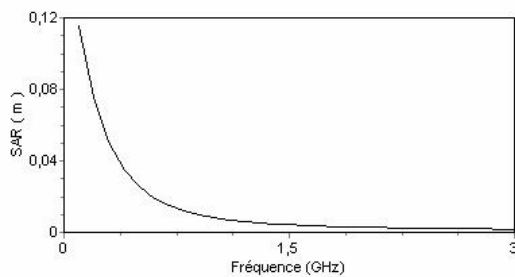


Figure 3 : La profondeur de pénétration en fonction de la fréquence.

Comme l'indique la figure (3) ci-dessus, le SAR de l'homme dépend de la fréquence d'opération, le SAR diminue rapidement lorsque la fréquence augmente, cela signifie qu'une quantité de l'énergie incidente est absorbée par le corps humain, malgré que le SAR évalué soit inférieur aux limites de protection sanitaire recommandées dans des règlements officiels [7].

3. PROPAGATION DE L'ENERGIE RF A TRAVERS LA TETE HUMAINE

Les propriétés de réflexion et de transmission dans les divers tissus sont en fonction des propriétés diélectriques de ces divers tissus : fréquence d'opération, angle d'incidence, type de polarisation et l'épaisseur de chaque couche.

3.1. Modèle de la tête humaine

C'est plus pratique de prendre la tête humaine comme un modèle simple à étudier (figure 4) sous forme de quatre couches : Skin, Fat, Bone et Brain (figure 5), ainsi que leurs densités et propriétés électriques de ces tissus pour les deux fréquences significatives 0.9 GHz et 1.8 GHz, tableau 1 [8].

Ainsi ϵ_r la permittivité relative, σ la conductivité électrique [Sm^{-1}], μ_r la perméabilité relative, k conductivité thermique [$\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$], ρ la densité [kgm^{-3}], C_p la capacité de chaleur [$\text{Jkg}^{-1}\text{K}^{-1}$].

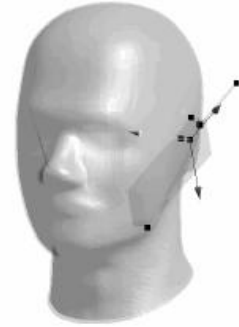


Figure 4 : Position du mobile par rapport à la tête humaine

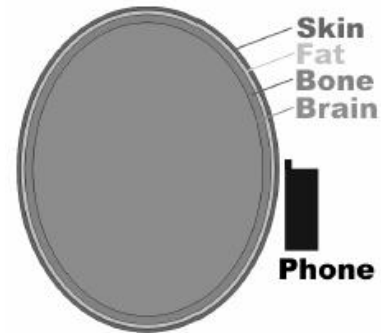


Figure 5 : Modèle simple de la tête humaine.

3.2. Puissance incidente

Le flux de la puissance incidente peut être calculé en utilisant le théorème de Poynting, le vecteur de Poynting \vec{p} est égal à la puissance moyenne qui traverse l'unité de surface du plan d'onde, donc le flux de \vec{p} représente une puissance, dans notre cas d'une onde plane de direction Oz, le vecteur \vec{p} n'a qu'une composante p_z qui s'écrit :

$$P(z) = -\frac{1}{2} \text{Re}[E_y H_x^*] \quad (12)$$

Donc la puissance incidente s'écrit :

$$P_i(z) = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\nu_0 \nu'}{\tilde{\nu}_0}} \left(1 + 0.125 \left(\frac{\nu''}{\nu'} \right)^2 \right) E_0^2 \exp(-2\gamma z) \quad (13)$$

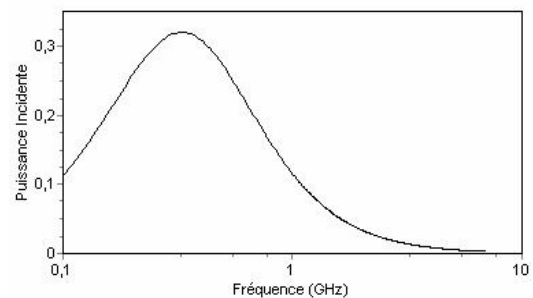


Figure 6 : La puissance incidente en fonction de la fréquence à $z=0$.

La puissance incidente atteint un niveau maximum, puis diminue rapidement suivant l'augmentation de la fréquence.

3.3. La puissance réfléchi

$$P_r = P_i |R_c|^2 \quad (14)$$

3.4. La puissance transmise

$$P_t = P_i |T_c|^2 \quad (15)$$

$|R_c|$ et $|T_c|$ sont les coefficients de réflexion et de transmission de tissu [9]-[10], pour une onde plane à incidence uniforme ($\theta = 0$).

$$R = \frac{\sqrt{V_1} - \sqrt{V_2}}{\sqrt{V_1} + \sqrt{V_2}}, T = 1 + \frac{\sqrt{V_1} - \sqrt{V_2}}{\sqrt{V_2} + \sqrt{V_2}} \quad (16)$$

V_1 et V_2 sont la permittivité du milieu 1 et le milieu 2.

3.5. La puissance absorbée à $Z = 0$

Par l'application du principe de conservation de l'énergie :

$$P_a(0) = P_i - P_r - P_t = 2|R|(1+|R|)P_i \quad (17)$$

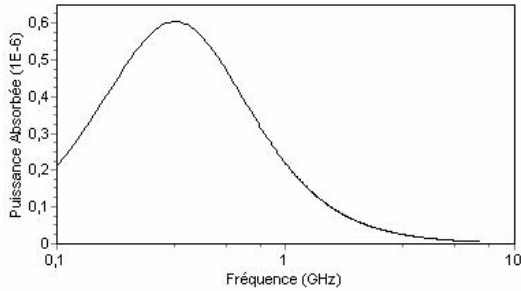


Figure 7 : La puissance absorbée en fonction de la fréquence à $z=0$.

3.6. La puissance absorbée à $Z \neq 0$

$$P_a(Z) = P_a(0) \exp(-2\alpha h) \quad (18)$$

h représente l'épaisseur du couche en question.

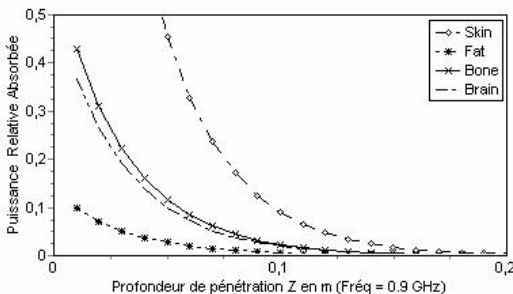


Figure 8 : La puissance absorbée en fonction de la profondeur z pour $f=0.9$ GHz.

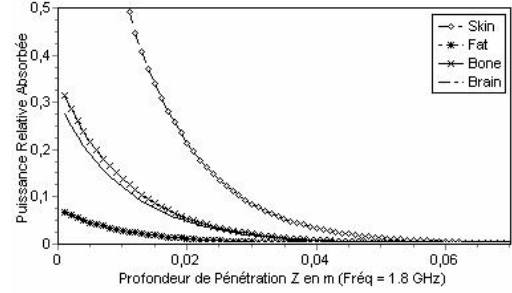


Figure 9 : La puissance absorbée en fonction de la profondeur z pour $f=1.8$ GHz.

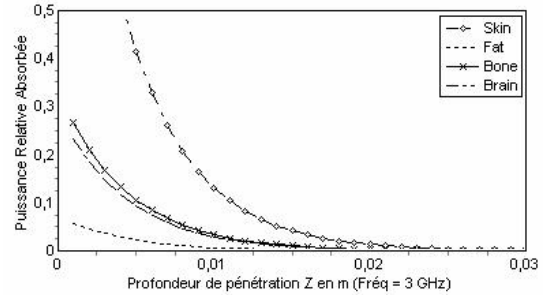


Figure 10 : La puissance absorbée en fonction de la profondeur z pour $f=3$ GHz.

4. RESULTATS ET DISCUSSION

La figure (1) et la figure (2) sont identique par apport aux mesures pratique, et la petite variation entre $f = 1$ GHz et $f = 10$ GHz est due à la teneur en eau dans la biomasse, les deux figures montrent que les tissus réagissent suivant les variations de la fréquence.

Comme l'indique la figure (3) ci-dessus, le SAR de l'homme dépend de la fréquence d'opération, le SAR diminue rapidement lorsque la fréquence augmente, voir tableau I : cela signifie qu'une quantité de la puissance incidente est absorbée par le corps humain, malgré que le SAR évalue soit inférieur aux limites de protection sanitaire recommandées dans des règlements officiels [7].

La puissance incidente atteint un niveau maximum, puis diminue rapidement suivant l'augmentation de la fréquence voir figure (5).

La profondeur de la pénétration est la plus importante à des fréquences plus basses, ce n'est donc pas seulement la quantité d'énergie absorbée qui est importante mais aussi la profondeur de pénétration.

Certains tissus sont beaucoup plus sensibles aux dégâts que d'autre (rétine des yeux, cerveau, etc), lorsqu'ils sont atteint par l'énergie RF.

L'analyse de la puissance absorbée relative en fonction de la profondeur de pénétration (z) nous conduit aux résultats suivants :

1- à $Z = 0$ (surface de la tête) : les deux figures (6) et (7) sont identiques sur la forme et non sur l'amplitude (énergie absorbée < énergie incidente), ceci justifie que la tête humaine absorbe une certaine quantité d'énergie.

2- à $Z = 0$ (à l'intérieur de la tête) : dans les différents tissus figure (8), figure (9) et figure (10), lorsque la fréquence augmente ($f = 0.9\text{GHz}$, $f = 1.8\text{ GHz}$ et $f = 3\text{ GHz}$) : l'amplitude de la puissance absorbée subit une légère diminution, et la profondeur de pénétration (z) subit une diminution très rapide.

L'onde à une pénétration moindre lorsque la fréquence augmente, ceci est due aux obstacles (matière vivante) sur le parcours de l'onde, ce qu'on appelle l'interaction (onde / matière vivante), qui produit une absorption de l'énergie incidente RF le long de la propagation de l'onde à travers les différents couches de la tête humaine, jusqu'à l'affaiblissement complète de l'onde.

CONCLUSION

L'effet du rayonnement électromagnétique produit par l'interaction (onde/matière vivante) a été quantifié par le calcul de l'absorption de la puissance (RF) par le corps humain et en particulier dans les couches de la tête humaines.

Sur la base des résultats obtenus, il apparaît que malgré le respect de la limite de protection sanitaire recommandée dans règles officielles, l'exposition au champ RF peut mener à ce qu'on appelle des hot spots c'est-à-dire que la dissipation de la puissance absorbée se fait localement.

Nous pensons ici aux dangers possibles de rayonnement des téléphones portables GSM, qui sont utilisés très près du cerveau

L'analyse effectuée montre que l'énergie absorbée par la tête humaine est faible, cependant l'interaction onde/matière vivante n'est pas négligeable.

Ceci peut induire des changements physiologiques sur le cerveau qui se traduisent par des humeurs désagréables qui sur le long terme peuvent influencer sur le métabolisme au niveau du cerveau.

L'aspect de la pollution E/M commence à être posé avec acuité, il pose le problème du comportement humain soumis à une influence électromagnétique de manière claire [11,14].

REFERENCES

- [1] L. Hardell, and C. Sage, "Biological effects from electromagnetic field exposure and public exposure standards", *Biomedicine & Pharmacotherapy* 62 (2008), Elsevier Masson 31 December 2007, pp. 104 - 109.
- [2] C. Sage, and D. O. Carpenter "Public health implications of wireless technologies", *Pathophysiology* (2009), Elsevier, January 2009, N°. of pages 14
- [3] V. I. T. Ahmed, N. G. Karthick, and P. K. Joseph "Effect of mobile phone radiation on heart rate variability", *Computers in Biology and Medicine* 38 (2008), Elsevier, March 2008, pp. 709-712.
- [4] R. Khanna, and R. Saxena, "Adaptive antennas at the mobile handset for reduced radiation hazards: An analysis", *IEEE, Mars 2003*, pp.3154-3158.
- [5] S. C. Hagness, "Two-Dimensional FDTD Analysis of a Pulsed Microwave Confocal System for Breast Cancer Detection: Fixed-Focus and Antenna-Array Sensors", *IEEE Trans. Biomedical engineering*, vol. 45, no. 12, Decembre 1998, pp. 1470-1479.
- [6] P. Bernardi, M. Cavagnaro, S. Pisa, and E. Piuze, "SAR Distribution and Temperature Increase in an Anatomical Model of the Human Eye Exposed to the Field Radiated by the User Antenna in a Wireless LAN", *IEEE Trans. Microwave theory tech*, vol. 46, N° 12, Decembre 1998, pp. 2074-2082.
- [7] H. Hinrikus, M. Bachmann, and J. Lass, "Sensitivity of the Brain to Microwave Radiation", *NBC 2008, Proceedings* 20, pp. 558-561.
- [8] M. Martinez-Burdalo, A. Martin, M. Anguiano, and R. Villar, "Comparison of FDTD calculated specific absorption rate in adults and children when using a mobile phone at 900 and 1800 MHz", *Phys. Med. Biol.* 49 (2004), pp. 345-354.
- [9] L. E. Larsen, and J. H. Jacobi, "Medical Applications of Microwave Imaging", *IEEE Press* 1985, pp. 47-58.
- [10] J. D. Kraus, and K. R. Carver, "Electromagnetics", *New York, McGraw-Hill* 1973, pp. 445-465.
- [11] Q.H. Mach, and M. A. Persinger, "Behavioral changes with brief exposures to weak magnetic fields patterned to stimulate long-term potentiation", *Brainresearch* 1261, Elsevier, January 2009, pp. 45-53.
- [12] A. Balmori, "Electromagnetic pollution from phone masts Effects on wildlife", *Pathophysiology xxx* (2009) xxx-xxx.
- [13] A. Alexiou, and al, "Interaction Between GSM Handset Helical Antenna and User's Head: Theoretical Analysis and Experimental Results", *The Environmentalist*, 25, pp. 215-221, 2005, C 2005 Springer Science + Business Media, Inc. Manufactured in The Netherlands.
- [14] E. Keller, and al, "Theoretical evaluations of therapeutic systemic and local cerebral hypothermia", *Journal of Neuroscience Methods* 178 (2009), pp. 345-349.