

# ETUDE DE L'EFFET THERMIQUE DÛ À L'EXPOSITION AUX RAYONNEMENTS D'UNE STATION D'EMISSION GSM

Mohamed Rammal, Talal Sahili<sup>1</sup>, Kamal Sabbah et Fatmé Jebai<sup>2</sup>  
IUT Saida, Université Libanaise, Saida, Liban

<sup>1</sup> Faculté de Génie, Section III, Université Libanaise, Beyrouth, Liban

<sup>2</sup> Faculté des Sciences, Université Libanaise, Beyrouth, Liban  
sahilit@ul.edu.lb

(Received 20 Septembre 2004 - Accepted 15 June 2005)

## RESUME

*L'effet thermique de rayonnement de stations d'émissions GSM sur le corps humain est étudié. La méthode des différences finies est utilisée pour simuler les antennes d'émissions et le corps humain et les résultats d'exposition au champ électromagnétique d'un cas réel sont présentés et discutés.*

**Mots clés:** GSM, station de base, effet thermique, SAR, différences finies

## ABSTRACT

*In this paper the thermal effect of GSM base station exposition is presented. Finite difference time domain FDTD method has been used to simulate a typical exposition case for human body behind a GSM station. Obtained results have been presented and discussed.*

**Keywords:** GSM, base station, thermal effect, SAR, finite difference

## INTRODUCTION

Le développement rapide de l'utilisation des téléphones mobiles et la construction des relais radioélectriques (ou stations de bases BTS), soulèvent des interrogations voire une certaine inquiétude de la part des fabricants, des opérateurs et des utilisateurs, quant aux effets à long terme de cette technologie sur la santé. Les principales craintes sont liées au fait d'une part que les rayonnements émis par l'antenne des téléphones ont certes un effet thermique, dû à la dissipation de l'énergie électromagnétique dans les tissus humains, et d'autre part biologique dû à la perturbation des fonctions cellulaires (LCNRS, 2001).

Dans cet article l'effet thermique d'une exposition aux émissions du BTS dans la téléphonie GSM est étudié. Plusieurs études ont été menées dans le monde pour caractériser cet effet dans le cas d'une exposition de proximité du portable (Watanabe *et al.*, 1996) par rapport à la tête de l'utilisateur. La différence essentielle entre les deux cas est que l'influence

de proximité s'effectue en champ proche, de courte durée et généralement avec des puissances relativement faibles. Tandis qu'une exposition au BTS s'effectue en champ lointain (onde plane), avec des longues durées et avec des puissances d'exposition de plusieurs dizaines de Watts ([www.sante.gouv.fr](http://www.sante.gouv.fr) ; Meyer *et al.*, 2003). Une étude récente de l'effet thermique d'exposition (van Wyk *et al.*, 2005) à proximité (distance <30 cm) de la station de base a été effectuée. Cette étude a utilisé un modèle de tête fantôme et a montré le niveau thermique dû à une exposition en champ proche. Cette étude se consacre à un cas typique d'exposition en champ lointain, un modèle de corps humain sera exposé dans la direction de rayonnement maximum du BTS, le niveau thermique dans les différents points du corps sera examiné.

### QUANTIFICATION DE L'EFFET THERMIQUE DU A L'EXPOSITION AUX ONDES

Lorsqu'une onde électromagnétique est interceptée par un tissu biologique, une partie de l'énergie est renvoyée sous forme d'onde réfléchie et l'autre partie est transmise et absorbée. Cette dernière est à l'origine des interactions rayonnement-tissu.

Il est très difficile d'établir une relation significative entre une simple mesure des champs électriques et magnétiques externes et les effets biologiques observés. La quantité d'énergie absorbée par les tissus semble être le paramètre le plus significatif pour étudier l'interaction de l'onde avec les tissus. Ainsi, afin de quantifier la dissipation de l'énergie dans la matière, le SAR (Specific Absorption Rate) a été choisi comme paramètre dosimétrique de référence par le "National Council on Radiation Protection and Measurements" (NCRP) (1981). Le SAR est défini comme la quantité de puissance absorbée par unité de masse et s'exprime en watt par kilogramme.

$$\text{SAR} = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{dm} \right) = \frac{d}{dt} \left( \frac{dW}{\rho dv} \right) \quad (1)$$

où  $dW$  est l'incrément d'énergie déposé dans l'élément de masse  $dm$ , de volume  $dv$  et de masse volumique  $\rho$ , pendant le temps  $dt$ . La relation (1) s'écrit aussi :

$$\text{SAR} = \frac{\sigma E^2}{2\rho} \text{ (W/kg)} \quad (2)$$

où  $\sigma$  est la conductivité du milieu S/m,  
 $\rho$  est la densité du milieu en  $\text{kg/m}^3$ ,  
 $E$  est la valeur crête du champ électrique en V/m.

De nombreuses études expérimentales ont permis de définir le seuil thermique correspondant à une hausse de  $1^\circ\text{C}$  de la température corporelle chez l'homme, il traduit un SAR de  $4 \text{ W/kg}$  environ. Toutes les normes (CENELEC, 1995) consacrent, à peu de choses près, les mêmes limites établies à partir du seuil thermique ( $4 \text{ W/kg}$ ) atténué d'un facteur de sécurité de 10 pour les travailleurs (médicalement suivis, informés des risques et protégés si besoin est) ou d'un facteur 50 pour le grand public. La norme européenne de sécurité définit une limite  $\text{SAR}=2 \text{ mW/g}$  moyennée sur 10 grammes de tissus.

## METHODE DES DIFFERENCES FINIES

La méthode des différences finies dans le domaine temporel (notée F.D.T.D., pour Finite Difference Time Domain) est un outil permettant la numérisation et la résolution d'équations différentielles spatio-temporelles (Yee, 1966).

Ses principaux avantages résident dans sa formulation relativement simple, comparée à d'autres techniques qui peuvent être utilisées en électromagnétisme et surtout dans la façon dont s'effectuent les calculs dans le domaine temporel et de manière locale. Cet aspect spatial permet donc la détermination du SAR en tout point d'une structure diélectrique.

### Principe des dérivées centrées

Les différences finies centrées sont ici utilisées pour évaluer les dérivées partielles ponctuelles du premier ordre, qui apparaissent dans les équations de MAXWELL.

$$f'(u_0) = \frac{f(u_0 + \delta / 2) - f(u_0 - \delta / 2)}{\delta} + \theta(\delta^2) \quad (3)$$

Ainsi, la connaissance de la valeur  $f(u_0)$  de la fonction au point de calcul de la dérivée n'est pas nécessaire. Le terme  $\theta(\delta^2)$  provient de la soustraction des deux termes d'ordre 3, il représente l'erreur d'ordre 2 commise sur la dérivée et sera négligé par la suite.

Cette formulation de la dérivée d'une fonction en un point sera appliquée aux dérivées spatiales et temporelles des équations de Maxwell.

### Algorithme de calcul des champs

La résolution numérique des équations de Maxwell nécessite une discrétisation spatio-temporelle. Dans le cas d'un système de coordonnées cartésiennes, la discrétisation spatiale s'effectue à l'aide de cellules (ou mailles élémentaires) parallélépipédiques dans lesquelles les composantes des champs électromagnétiques ( $E_x$ ,  $E_y$ ,  $E_z$ , et  $H_x$ ,  $H_y$ ,  $H_z$ ) sont calculées. La forme particulière des équations de Maxwell conduit à une répartition de ces six composantes dans une cellule élémentaire comme représentée sur la Figure 1.

La discrétisation temporelle est effectuée avec un pas d'échantillonnage  $\Delta t$  constant. Les champs magnétiques sont évalués à des instants multiples pairs du demi-pas temporel  $\Delta t/2$  et les champs électriques aux instants multiples impairs (Figure 2).

Le choix de cette discrétisation spatio-temporelle particulière est imposé par la nécessité de centrer les dérivées dans le temps et dans l'espace.

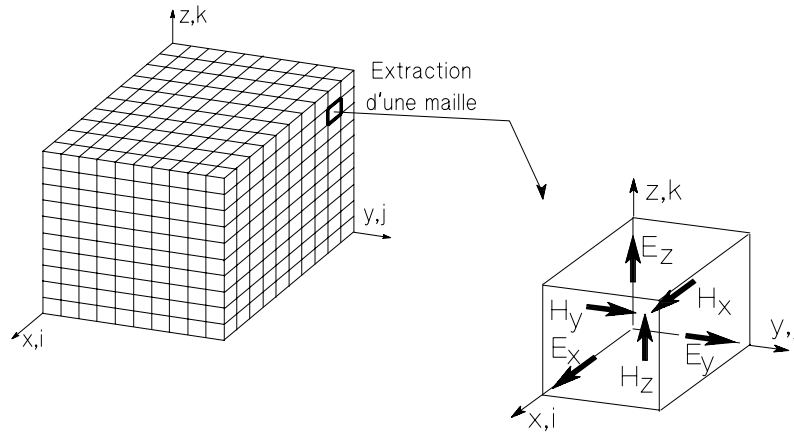


Figure 1. Volume de calcul et cellule élémentaire.

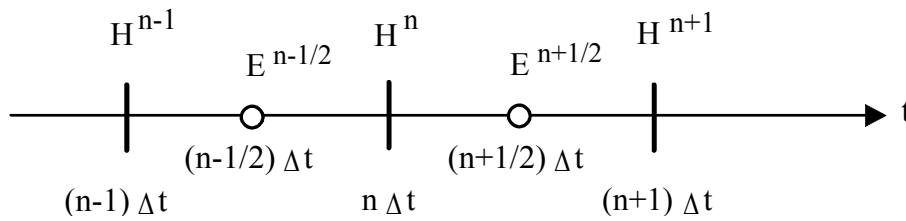


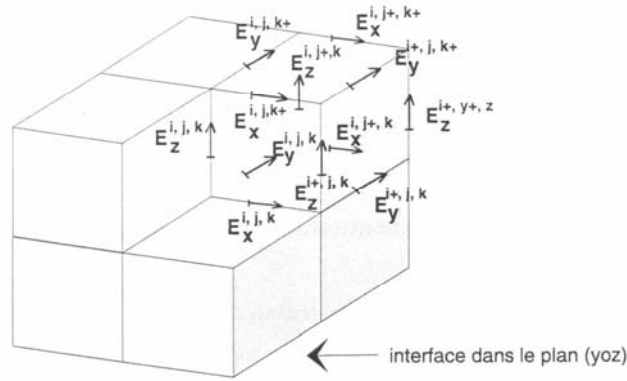
Figure 2. Instants de calcul des champs.

### Calcul du SAR

Grâce au noyau du code F.D.T.D., on dispose de toutes les composantes du champ électrique, à tous les instants et en chaque maille aux milieux des arêtes et aux centres des faces. En effet afin d'évaluer le SAR dans le milieu, nous effectuons le calcul du module du champ électrique au centre de chaque maille.

$$SAR(i, j, k) = \frac{1}{2} \frac{\sigma}{\rho} |E(i, j, k)|^2 \quad (4)$$

Ainsi, au centre de la maille (Figure 3) sont ramenées les douze composantes de champ adjacentes. Le champ E évalué maintenant à l'intérieur du milieu permet un calcul symétrique et plus rigoureux au niveau de l'interface.



**Figure 3. Calcul du SAR au centre de la maille, en M(i,j,k).**

Dans ces conditions, le module de E au centre de la maille s'écrit :

$$E(i, j, k)^2 = \left( \frac{Ex(i, j, k) + Ex(i, j, k + 1) + Ex(i, j + 1, k + 1) + Ex(i, j + 1, k)}{4} \right)^2 + \left( \frac{Ey(i, j, k) + Ey(i + 1, j, k) + Ey(i + 1, j, k + 1) + Ey(i, j, k + 1)}{4} \right)^2 + \left( \frac{Ez(i, j, k) + Ez(i + 1, j, k) + Ez(i + 1, j + 1, k) + Ez(i, j + 1, k)}{4} \right)^2 \quad (5)$$

Dans un volume hétérogène, on associe à chaque composante du champ les caractéristiques électriques ( $\epsilon, \sigma, \rho$ ) dans la direction considérée. Basée sur ce principe on peut obtenir des données concernant la tête ou le corps de l'homme, à partir d'images médicales générées par imagerie par résonance magnétique IRM ([www.nlm.nih.gov](http://www.nlm.nih.gov)). Chaque tissu réagit selon ses propriétés caractéristiques.

Les images sont fournies dans des plans de coupes horizontaux. Elles sont subdivisées en mailles élémentaires dont les coordonnées spatiales représentent les indices d'une matrice dont les valeurs sont des index vers un tableau où sont stockés les propriétés diélectriques des tissus ([niremf.ifac.cnr.it](http://niremf.ifac.cnr.it)), à savoir la conductivité et la permittivité relative de chaque tissu.

### ETUDE D'UNE SITUATION D'EXPOSITION

Lorsqu'une onde électromagnétique émise par une antenne, rencontre sur son trajet un obstacle, elle peut être, selon la nature de l'obstacle, réfléchi et ou absorbée partiellement ou totalement.

Dans les réseaux GSM, les ondes émises par les antennes des stations de base, ne sont pas réparties uniformément dans toutes les directions : la plus grande partie de la

puissance émise est concentrée dans une portion de l'espace ayant un angle d'ouverture de quelques degrés seulement dans un plan horizontal autour de l'axe de l'antenne.

La situation considérée correspond à un maximum du niveau du champ électrique. La personne sous test se trouve juste en face de l'antenne à une distance de 30m, cette position correspond à la direction de la lobe principale de l'antenne.

La station de base considérée est macro cellulaire constituée des antennes réseaux de 15 dB de gain et émettant chacun une puissance de 30 W à la fréquence de 900MHz, (Figure 4).

La personne sous test est située dans la zone du champ lointain (distance antenne cible supérieure à la longueur d'onde) l'onde est donc assimilée à une onde plane de polarisation verticale et ayant une valeur moyenne  $E_{av} = 5.5V/m$  correspondant à une densité de puissance moyenne  $S_{av} = 0.08W/m^2$ .

Le modèle du corps utilisé a une résolution de 5mm et constitué de 3 069 534 cellules. Cette dimension de la cellule correspond à peu près à 1/60 de la longueur d'onde à la fréquence de 900MHz, ce qui est bien conforme aux conditions de simulations de la méthode FDTD. Le modèle utilisé a 186.5 cm de hauteur et constitué de 40 types des tissus différents.

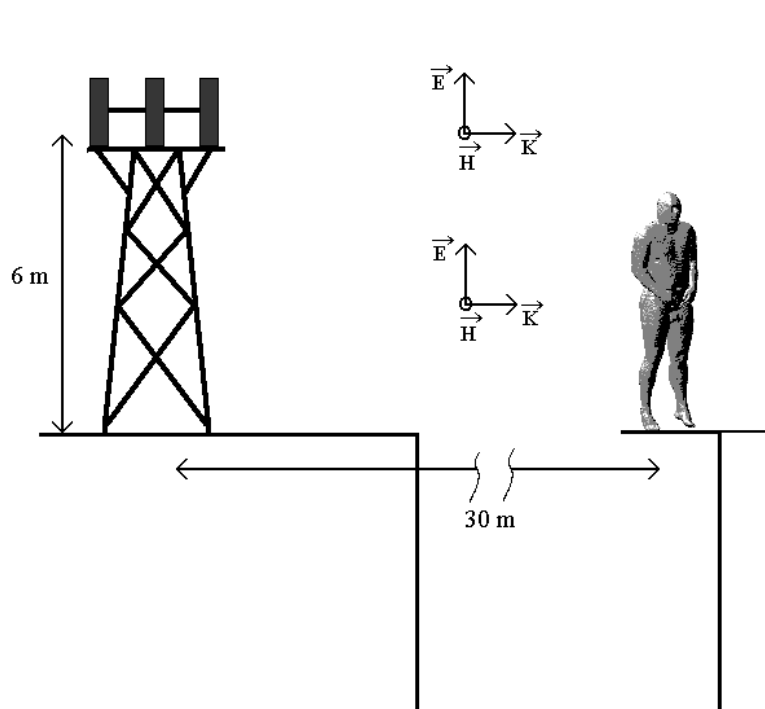
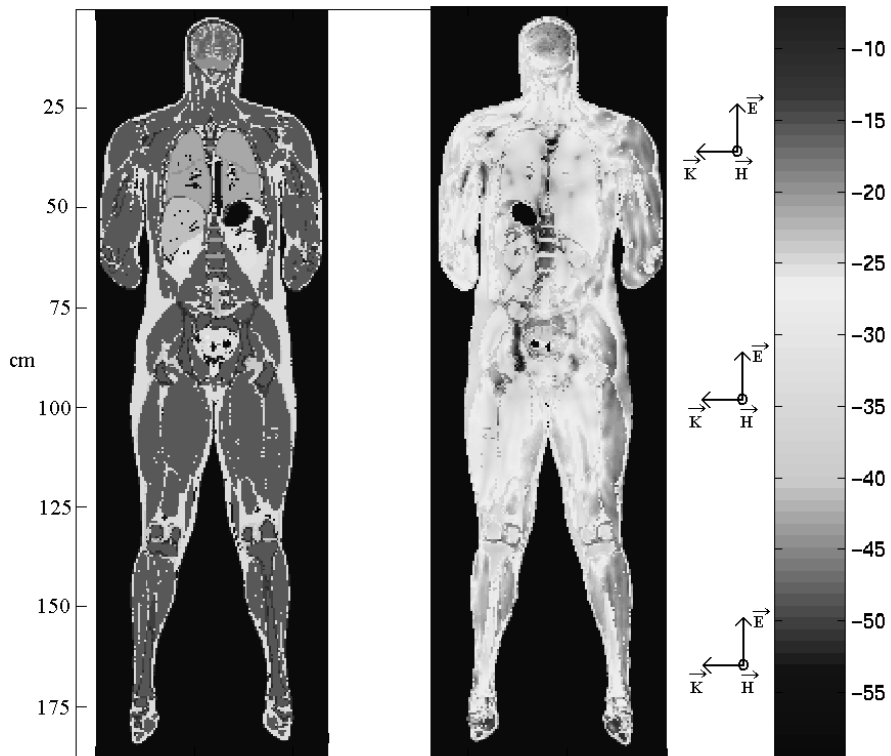


Figure 4. Situation d'exposition expérimentale, station de base-cible.

**Résultats et analyse**

La Figure 5 montre la géométrie des tissus colorés ainsi que la distribution du niveau SAR dans le plan frontal du modèle. Les valeurs de SAR sont exprimées en dB afin de bien visualiser les moindres valeurs induites dans le corps.



**Figure 5. Coupes frontales du corps présentant la géométrie des tissus ainsi que la distribution de SAR en dBW.**

Le Tableau 1 présente les valeurs maximales de SAR moyennées sur 1g ( $SAR_{1g}$ ) et sur 10g ( $SAR_{10g}$ ). Les valeurs de  $SAR_{1g}$  sont calculées en considérant un cube de  $1cm^3$  de volume ( $2 \times 2 \times 2$  cellules) correspondant à une masse de 1g des tissus. Pour le  $SAR_{10g}$  un cube de  $10cm^3$  est considéré ( $4 \times 4 \times 5$  cellules) correspondant à une masse de 10g des tissus. Les valeurs maximales dans la tête sont au niveau de l'oreille et de l'œil alors que la valeur maximale dans le reste du corps est au niveau de la jambe. La valeur de SAR moyennée sur tout le corps est de  $0.353 mW/kg$ , la limite d'exposition pour le grand public est de  $80mw/Kg$  ( $0.08W/kg$  pour le SAR moyenné sur tout le corps).

TABLEAU 1

Les Valeurs Maximales de SAR Moyennées sur 1g (SAR<sub>1g</sub>) et sur 10g (SAR<sub>10g</sub>)

SAR <sub>max</sub>	Tête		Corps	Limites
	Oreille	Œil	Jambe	
SAR <sub>1g</sub> (mW/kg)	2.33	1.548	6.847	1600
SAR <sub>10g</sub> (mW/kg)	1.639	1.937	1.83	2000

## CONCLUSION

Un cas d'exposition typique d'un corps humain à proximité d'une station GSM a été étudié. Dans les conditions d'exposition examinée dans cette étude, les valeurs du champ incident et le niveau de SAR induit sont bien en-dessous des limites tolérées par les normes de sécurité. De ces résultats, il apparaît que l'exposition à un champ rayonné par une antenne d'une station de base ne représente pas un risque pour la santé du point de vue thermique. Cependant la possibilité d'un risque du point de vue effet non thermique reste à étudier, car l'exposition, bien qu'elle soit très faible, est de nature permanente.

## REFERENCES

- CENELEC, 1995. *Human exposure to electromagnetic fields : high frequency (10 kHz to 300 GHz)*. European Committee for ElectroTEChnical standardization, European Prestandard ENV 50166-2 - Jan. 1995.
- CNRS, 2001. *Etude de l'interaction des ondes électromagnétiques avec le corps humain dans la bande GSM*. Rapport de recherche, CNRS, Beyrouth.
- Meyer, F.J., Davidson, D.B., Jakobus, U., Stuchly, M.A. 2003. Human exposure assessment in the near field of GSM base-station antennas using a hybrid finite element/method of moments technique. *IEEE Trans Biomed Eng.*, Feb., pp. 224-33.
- NCRP, 1981. *Radiofrequency electromagnetic fields properties, quantities and units, biophysical interaction, and measurements*. Report 67, National Council on Radiation Protection and Measurements, Bethesda, MD.
- Watanabe, S., Taki, M., Nojima, T. and Fujiwara, O. 1996. Characteristics of the SAR distributions in a head exposed to electromagnetic fields radiated by a hand-held portable radio. *IEEE Trans. MTT*, October.
- van Wyk, M.J., Bingle, M., Meyer, F.J. 2005. Antenna modeling considerations for accurate SAR calculations in human phantoms in close proximity to GSM cellular base station antennas. *Bioelectromagnetic*, Jun 1.
- Yee, K.S. 1966. Numerical solution of initial boundary value problems involving Maxwell's equations in isotropic media. *I.E.E.E. Trans. on Antennas and Propagation*, May 66, 14(3): 302-307.
- <http://niremf.ifac.cnr.it/tissprop/> An Internet resource for the calculation of the Dielectric properties of body tissues.
- <http://www.nlm.nih.gov/research/visible/> The Visible human project, National Library of Medicine.
- [http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/telephon\\_mobil/31\\_010129.htm](http://www.sante.gouv.fr/htm/dossiers/telephon_mobil/31_010129.htm). Rapport du groupe d'experts sur les téléphones mobiles, leurs stations de base et la santé.