



CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES : DE LA DOSIMÉTRIE À LA SANTÉ HUMAINE

Caractérisation des interactions entre mobile et milieu absorbant pour la dosimétrie non-invasive

Aycine Bellaouel^{1,3}, Azeddine Gati¹, David Lautru³, Joe Wiart^{1,2} et Victor Fouad Hanna³

¹France Télécom Division R&D RESA: FACE, 38-40, rue Général Leclerc, 92794 Issy Les Moulineaux, France

²Whist Lab: Orange Labs & Institut Telecom Common Lab {aycine.bellaouel; azeddine.gati; joe.wiart}@orange.com

³UPMC Univ Paris 06 UR 2, L2E, F-75005 Paris, France {david.lautru; victor.fouad_hanna}@upmc.fr

Mots-clefs: FDTD, dosimétrie, DAS, couplage, antennes

Résumé

Ce papier porte sur les méthodes de caractérisation des téléphones mobiles près de la tête. Le but est d'élaborer des méthodes non-invasives pour la dosimétrie de l'exposition. Pour cela, ce papier présente l'influence de la distance entre un mobile et un fantôme représentant une tête humaine sur la puissance rayonnée par l'antenne. Les simulations sont effectuées à l'aide de la méthode numérique de calcul électromagnétique FDTD (Finite-Difference Time-Domain). Les antennes employées sont un dipôle demi-onde et un modèle simplifié de téléphone. La puissance rayonnée est déterminée à l'aide de la méthode des modes sphériques. Cette approche nous a permis d'évaluer les interactions jusqu'à la longueur d'onde dans le vide (λ). Ensuite nous utilisons le principe de Huygens afin d'évaluer la distance minimale de couplage, celle-ci est de l'ordre de 0.7λ .

Introduction

Les antennes des systèmes sans fil interagissent avec le corps humain, ce qui induit des questions de niveaux d'exposition. Le Débit d'Absorption Spécifique (DAS) est un indice permettant de quantifier l'exposition. Il exprime la quantité de puissance absorbée par les tissus humains (unité en W/kg). Des normes internationales ont été spécifiées afin d'en limiter le niveau [1]. La limite d'exposition pour la tête est fixée à 2W/kg (localement sur un volume représentant 10g de tissus).

Pour mesurer le DAS d'un téléphone portable, celui-ci est placé contre un fantôme rempli d'un liquide ayant les propriétés diélectriques du cerveau humain. Un robot plonge une sonde dans le fantôme et mesure sur une surface à proximité de la paroi le champ électrique produit. A l'endroit du maximum (ou des maxima), des mesures sur un volume représentant 1g ou 10g de tissus sont effectuées. Cette procédure est répétée pour différentes positions du téléphone, aux différentes fréquences de fonctionnement, contre les oreilles gauche et droite du fantôme [2]. Ce type de mesures étant trop long (20 minutes en moyenne), il s'avère nécessaire de développer de nouvelles méthodologies plus simples, plus rapides et non invasives.

Les approches proposées ici ne sont que les premiers pas vers une méthode plus globale permettant d'atteindre l'objectif précité.

Nous cherchons d'abord à caractériser le comportement du téléphone proche de la tête de manière non-invasive. Pour cela, nous étudions la puissance rayonnée de l'antenne en présence du fantôme SAM (Specific Anthropomorphic Mannequin) en utilisant la méthode des modes sphériques [3]. Le fantôme SAM est une tête de mannequin aux dimensions normalisées contenant un liquide homogène ayant des propriétés diélectriques similaires au cerveau humain à la fréquence de travail.

Certaines études proposent d'évaluer le DAS d'un téléphone à partir de mesures en espace libre [4]. Or la récupération des champs générés par le téléphone en espace libre puis appliqués au fantôme ne tiennent pas compte des effets du couplage entre le téléphone et le fantôme. C'est pourquoi nous cherchons à évaluer la distance minimale entre l'antenne (un dipôle demi-onde) et un élément absorbant (un fantôme plan dans le cas présent) permettant de s'affranchir du

couplage. Pour cela nous proposons de mettre en place un dispositif prenant en compte le couplage, et un autre utilisant le principe de Huygens pour s'en affranchir. Enfin nous concluons tout en exposant les limites de l'étude proposée.

1. Etude de la puissance rayonnée en fonction de la distance

Notre approche consiste à déterminer l'influence du fantôme SAM, lorsqu'on le rapproche de l'antenne, sur la puissance rayonnée de celle-ci. La puissance est calculée par la méthode des modes sphériques. Nous avons choisi cette méthode car elle présente des avantages indéniables : elle est rapide, permet d'obtenir les champs électrique et magnétique en amplitude et en phase au-delà de la sphère minimale (plus petite sphère entourant l'antenne), utilisable aussi bien en champ proche qu'en champ lointain (au-delà de la sphère minimale).

Schématiquement, le principe de fonctionnement de la méthode des modes sphériques consiste à récupérer la composante tangentielle du champ électrique $E_t(R_{mes}, \theta, \Phi)$ en différents points sur une sphère englobant l'antenne. Celle-ci, combinée à une fonction caractéristique F_{smn} (fonctions de Bessel ou Hankel), permet d'obtenir les coefficients modaux associés comme suit :

$$Q_{smn}^{(c)} = \iint_{0}^{2\pi} \bar{E}_t(R_{mes}, \theta, \phi) \cdot \bar{F}_{smn}^{(c)*}(R_{mes}, \theta, \phi) \sin \theta d\theta d\phi \quad (1)$$

A partir de ces derniers, le champ électrique $E(r, \theta, \Phi)$ dans tout l'espace (hormis la sphère minimale) ainsi que la puissance rayonnée P par l'antenne peuvent être déterminés par (2) et (3) :

$$\bar{E}(r, \theta, \phi) = \frac{k}{\sqrt{\eta}} \sum_{csmn} Q_{smn}^{(c)} \bar{F}_{smn}^{(c)}(r, \theta, \phi) \quad (2)$$

$$P = \frac{1}{2} \sum_{smn} |Q_{smn}^{(3)}|^2 \quad (3)$$

Avec k : le nombre d'onde, η : l'impédance du vide (377Ω),

Q_{smn} : les coefficients modaux et F_{smn} : la fonction caractéristique associée.

Les résultats donnés dans la figure 1 montrent que le modèle de tête a une influence très importante proche de l'antenne (pour le dipôle : 55% de puissance absorbée par la tête, contre 45% pour le modèle simplifié de téléphone à 0.06λ). L'incidence de la tête sur l'antenne baisse progressivement avec la distance. Elle devient inférieure à 10% à partir de 0.3λ pour le dipôle et 0.15λ pour le téléphone.

Ce processus nous permet de connaître la puissance absorbée globale par la tête mais pas la puissance absorbée localement : donc nous ne pouvons pas déduire le DAS local (généralement moyenné sur 10g). Lorsque la tête est trop proche de l'antenne, nous ne pouvons plus calculer les champs à l'intérieur de celle-ci car elle entre dans la sphère minimale de l'antenne.

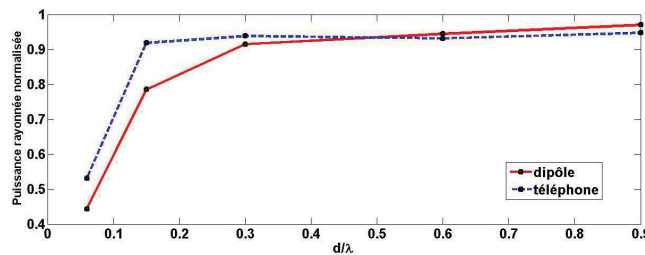


Fig. 1. Puissance rayonnée du dipôle (resp. téléphone) en présence du fantôme, normalisée par rapport à la puissance rayonnée du dipôle (resp. téléphone) seul, en fonction de la distance (d) entre le dipôle (resp. téléphone) et le fantôme. La distance d est également normalisée par rapport à la longueur d'onde dans le vide (λ).

2. Caractérisation du couplage par le principe de Huygens

Le principe de Huygens permet de nous affranchir de la sphère minimale. Pour caractériser le couplage, nous utilisons deux types de procédés. Dans le premier, le couplage est présent (cas réel), le second, lui, ne contient pas de couplage (boîte de Huygens).

Pour le cas réel, nous faisons progressivement varier la distance entre l'antenne et le fantôme et nous relevons la puissance absorbée dans le fantôme.

Dans le second cas, le fantôme est soumis à un champ équivalent à une source seule (principe de Huygens). Le rapport des puissances absorbées ($P_{\text{abs}}^{\text{réel}}$ et $P_{\text{abs}}^{\text{Huygens}}$ respectivement pour le cas réel et pour le cas sans couplage) obtenu nous permettra d'évaluer le coefficient de couplage en fonction de la distance. Il convient de noter que lorsque l'antenne est à proximité du fantôme, une partie des ondes émises par celle-ci est réfléchiée par le fantôme vers l'antenne. Cette interaction désadapte l'antenne, ceci se traduit par une variation de son impédance. Le rapport des impédances entre l'antenne en présence du fantôme et l'antenne en espace libre (respectivement $Z_{\text{couplé}}$ et $Z_{\text{non-couplé}}$) permet donc également de déterminer le coefficient de couplage.

Le rapport des impédances peut donc être utilisé pour corriger les variations liées au couplage lorsque nous utilisons un processus négligeant le couplage.

Les résultats dans la figure 2 montrent que le couplage peut être conséquent sur de courtes distances (45% à 0.1λ). Il devient inférieur à 10% lorsque la distance est supérieure à 0.7λ . Néanmoins on remarque que lorsque la puissance absorbée, obtenue à partir des champs en espace libre, est corrigée par le rapport des impédances d'antenne, l'incertitude sur le couplage est toujours inférieure à 10%.

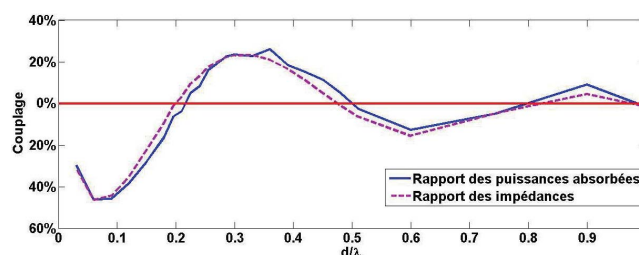


Fig. 2. Couplage en fonction de la distance (d) entre l'antenne et le fantôme (ou la boîte de Huygens). La distance d est normalisée par rapport à la longueur d'onde dans le vide (λ).

Conclusion

Dans ce papier, nous avons vu que le modèle de tête a une grande influence sur le rayonnement de l'antenne ($\sim 50\%$) lorsque l'écart qui les sépare est faible. A partir d'une certaine distance (0.15λ pour le téléphone et 0.3λ pour le dipôle), elle devient très faible (inférieure à 10%).

Nous avons également vu que le couplage est important lorsque l'écart entre le fantôme et l'antenne est faible (pour le dipôle : 45% à 0.1λ et plus de 20% à 0.3λ). Il peut être négligé (inférieur à 10%) à partir de 0.7λ .

La suite de nos travaux consistera à utiliser les modes sphériques pour en déduire la puissance absorbée localement dans le fantôme et donc parvenir à quantifier le niveau de DAS sans le mesurer directement.

Références bibliographiques

- [1] ICNIRP Guidelines, "Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)", Health Physics, Volume 74, Number 4, April 1998.
- [2] IEC 62209-1 2005 Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body-mounted wireless communication devices –human models, instrumentation, and procedures—part 1: procedure to determine the specific absorption rate (SAR) for hand-held devices used in close proximity to the ear (frequency range of 300 MHz to 3 GHz)
- [3] J.E Hansen, "spherical Near-Field Antenna Measurements," Ed. London, U.K.:Peregrinus, 1988
- [4] A.Cozza, B.Derat, N.Ribiere Tharaud, A new SAR assessment procedure for homogeneous and heterogeneous flat-phantoms based on near-field free space measurements", 29th Annual AMTA Symposium, St.Louis, MO, USA, November 4-9, 2007, p.290-295