



CHAMPS ÉLECTROMAGNÉTIQUES : DE LA DOSIMÉTRIE À LA SANTÉ HUMAINE

Utilisation d'un modèle de femme enceinte simplifié pour analyser l'exposition des fœtus

Simplified pregnant woman models for the foetus exposure assessment

M. Jala, E. Conil**, N. Varsier**, A. Hadjem**, J. Wiart**, E. Moulines***, C. Lévy-Leduc***.*

**Orange Labs et Télécom ParisTech, marjorie.jala@orange.com*

*** Orange Labs et Whist Lab, prenom.nom@orange.com*

**** CNRS/LTCI/Télécom ParisTech/, prenom.nom@telecom-paristech.fr*

Mots-clefs : exposition, fœtus, modélisation, homogénéisation

Keywords : exposure, fetus, modelling, homogenization

Résumé

Ce document présente une étude préliminaire destinée à valider l'utilisation d'un modèle simplifié de femme enceinte pour analyser l'exposition aux ondes Radio Fréquence (RF) du fœtus. L'utilisation de ce modèle simplifié permettrait de s'affranchir de plusieurs problèmes qui se posent avec les rares modèles de femme enceinte dont on dispose pour la dosimétrie numérique. En comparant les résultats de calculs de Débit d'Absorption Spécifique (DAS) dans le fœtus réalisés avec un modèle hétérogène de référence à ceux obtenus pour ce même modèle que l'on a en partie homogénéisé, on montre que l'utilisation d'un modèle semi-homogène est pertinente pour l'estimation de l'exposition du fœtus à une onde plane.

Introduction

L'étude de l'exposition aux ondes RF du fœtus au fil de son évolution est un sujet complexe en dosimétrie, car très peu de modèles sont disponibles. Les modèles hétérogènes utilisés en dosimétrie numérique sont construits pour la plupart à partir de données d'IRM, données dont on ne dispose pas pour le corps entier d'une femme enceinte.

En revanche, des modèles de fœtus ont été construits et peuvent être insérés dans des modèles de femmes non enceintes. Cette manière de procéder n'est pas entièrement satisfaisante car la déformation des organes de la mère lors de l'insertion du fœtus est très compliquée, et le fœtus ne peut pas être bougé par la suite. Ces modèles qui ne permettent d'envisager que peu de configurations ne représentent donc pas la grande variabilité des situations existantes.

Notre objectif est d'utiliser un modèle simplifié de femme permettant l'insertion et le mouvement de fœtus à différents stades de gestation. La simplification du modèle de la mère consiste à homogénéiser une grande partie de ses tissus. Seuls la peau, la graisse sous-cutanée, les muscles et les os sont conservés. Cependant, il faut commencer par valider l'utilisation de ce modèle.

1. Description des modèles de femmes enceintes

1.1. Modèle synthétique augmenté

Le modèle simplifié que l'on souhaite utiliser est un modèle synthétique de femme non enceinte, appelé Victoria et distribué par DAZ 3D Studio¹.

Ce modèle synthétique de femme est complété par les tissus qui nous semblent les plus pertinents d'un point de vue de l'exposition du fœtus : une couche de peau, une couche de graisse sous-cutanée, une couche de muscle et les os. Le reste du modèle de la mère est constitué d'un seul tissu homogène, dont ils nous faudra déterminer les caractéristiques diélectriques.

¹http://www.daz3d.com/i/default/default_c

Dans ce modèle, on peut insérer les 16 fœtus (ou, plus exactement, 16 Unité Utéro-Placento-Fœtales (UUPF)), de 8 à 35 semaines d'aménorrhée dont nous disposons (grâce au projet FEMONUM²). Une UUPF est composée de la paroi de l'utérus, du liquide amniotique, du placenta, du cordon ombilical, et du fœtus, dont certains organes sont différenciés (cerveau, yeux, poumons, cœur, vessie).

Les avantages de l'utilisation de ce modèle augmenté sont multiples. D'une part, grâce à l'homogénéisation des tissus entourant l'UUPF, le problème de la déformation des organes lors de l'insertion de l'UUPF dans la mère ou lorsque le fœtus bouge ne se pose plus. D'autre part, la possibilité de modifier l'épaisseur des couches de graisse sous-cutanée et de muscle va permettre d'obtenir plusieurs configurations pour mieux correspondre à la diversité morphologique de la population.

1.2. Modèles de référence hétérogène et semi-homogénéisé

Afin de déterminer les propriétés diélectriques du tissu homogène de la mère synthétique augmentée, nous allons utiliser un modèle de femme enceinte hétérogène de référence. Il s'agit d'un modèle mis au point par [2], où un fœtus âgé de 26 semaines a été inséré dans le modèle hétérogène de la femme japonaise non enceinte.

De façon à estimer les caractéristiques du tissu équivalent à utiliser pour Victoria, le modèle de référence va être homogénéisé. Les caractéristiques du tissu équivalent (voir Table 1) sont calculées en réalisant une moyenne algébrique des permittivités et conductivités respectives des tissus de la zone entourant l'UUPF (voir Table 2 (d)), en excluant la peau, la graisse sous-cutanée, les muscles et les os. Seule la zone entourant l'UUPF est utilisée pour estimer les caractéristiques du tissu homogène car on s'intéresse à l'exposition du fœtus.

Tissu	Peau	Graisse	Muscle	Os	Tissu homogène
Conductivité ($S.m^{-1}$)	0.87	0.11	0.97	0.24	0.28
Permittivité relative	41.4	11.3	56.0	16.6	15.4

Table 1: Propriétés diélectriques des tissus de la mère semi-homogène à 900 MHz.

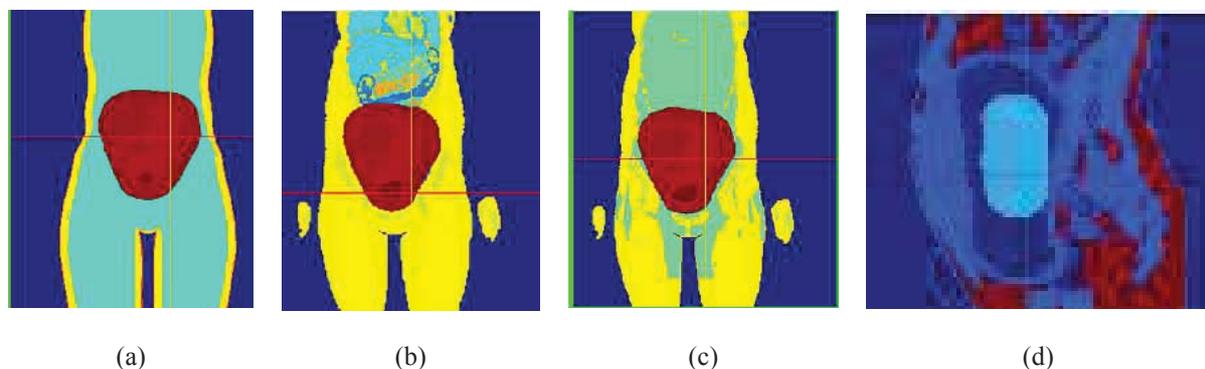


Table 2: (a) Victoria ; (b) Japonaise hétérogène ; (c) Japonaise semi-homogène ; (d) Tissus conservés pour l'homogénéisation.

2. Influence de l'homogénéisation sur l'exposition du fœtus

²<http://www.tsi.enst.fr/femonum/>

Le modèle de référence hétérogène et le modèle semi-homogène sont exposés à des ondes planes de polarisation verticale avec différentes directions d'arrivée (voir Figure 1) et avec des fréquences de 900, 1800, 2100 et 2400MHz.

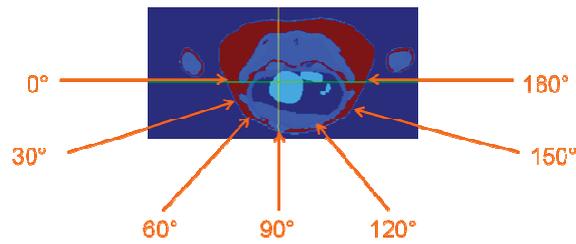


Figure 1 : Les angles d'arrivée de l'onde incidente.

L'exposition du fœtus est quantifiée par son débit d'absorption spécifique (DAS) moyenné sur le corps entier. Le calcul du DAS est réalisé à l'aide d'un code de calcul basé sur la FDTD (Finite-Difference Time-Domain), méthode couramment utilisée dans le domaine de la dosimétrie numérique. Les résultats, illustrés la Figure 2, montrent la bonne cohérence des valeurs obtenues avec le modèle semi-homogène par rapport au modèle hétérogène. Dans tous les cas, l'homogénéisation induit une erreur toujours inférieure à 15%.

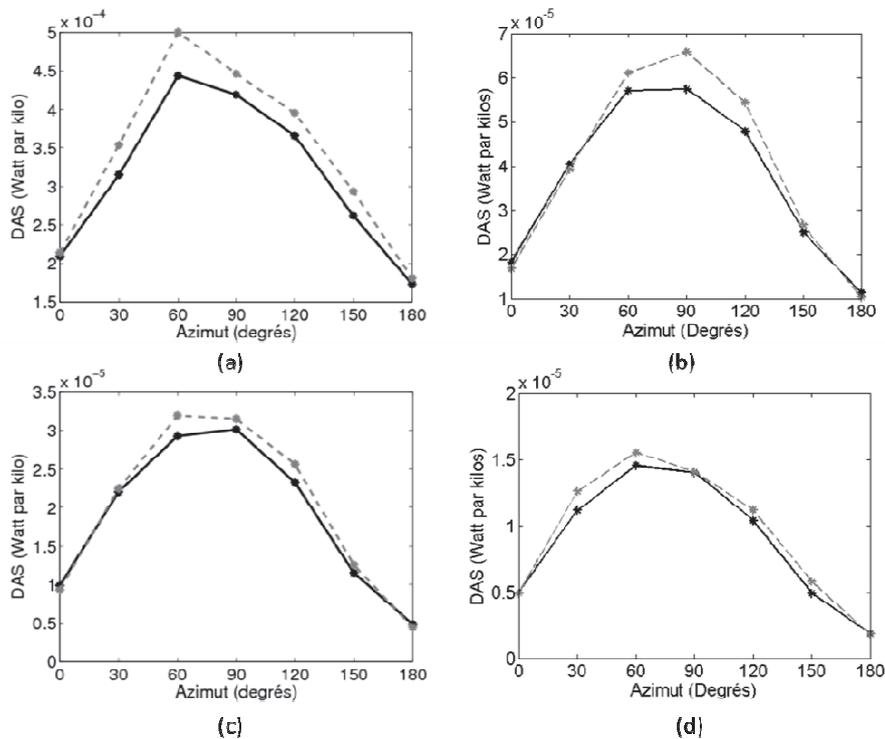


Figure 2 : DAS corps entier fœtus à (a) 900 MHz, (b) 1800 MHz, (c) 2100 MHz et (d) 2400 MHz, avec en pointillés gris les résultats pour le modèle hétérogène, et en trait plein noir pour le modèle semi-homogène.

3. Conclusion

Cette étude préliminaire a montré que l'utilisation du modèle semi-homogène est pertinente pour l'estimation de l'exposition du fœtus à une onde plane.

L'objectif reste néanmoins de valider l'utilisation du modèle synthétique Victoria augmenté, en montrant que ce modèle synthétique permet d'approcher les résultats obtenus avec un modèle hétérogène complexe. La morphologie de la mère (quantité de graisse viscérale ou de muscles, tour de hanche...) influence l'exposition du fœtus. Or, comme on peut le voir sur la Table 2, la différence de morphologie extérieure entre la femme japonaise et Victoria est importante, notamment au niveau des hanches. Afin de pouvoir comparer les résultats obtenus pour Victoria augmentée et ceux obtenus avec la femme japonaise, un travail préliminaire de morphing est en cours. La technique de morphing [1] va consister à élargir la taille de Victoria. Ce nouveau modèle de Victoria augmenté sera exposé dans les mêmes conditions que le modèle de la femme enceinte japonaise.

Références bibliographiques

[1] Aimad El Habachi. *Propagation de la variabilité de la morphologie humaine sur le Débit d'Absorption Spécifique en dosimétrie numérique*. PhD thesis, Supélec, 2011.

[2] Tomoaki Nagaoka and Toshihiro Togashi and Kazuyuki Saito and Masaharu Takahashi and Koichi Ito and Soichi Watanabe. An anatomically realistic whole-body pregnant-woman model and specific absorption rates for pregnant-woman exposure to electromagnetic plane waves from 10 MHz to 2 GHz. *Physics in Medicine and Biology*, 52(22):6731, 2007.