



**HAL**  
open science

## **Plan d'expériences séquentiel appliqué à la dosimétrie numérique**

Aimad El Habachi, Emmanuelle Conil, Emmanuel Vazquez, Abdelhamid Hadjem,  
A. Gati, M.F. Wong, Gilles Fleury, Joe Wiart

► **To cite this version:**

Aimad El Habachi, Emmanuelle Conil, Emmanuel Vazquez, Abdelhamid Hadjem, A. Gati, et al.. Plan d'expériences séquentiel appliqué à la dosimétrie numérique. 15<sup>e</sup> Colloque International et Exposition sur la compatibilité Electromagnétique (CEM'10), Apr 2010, Limoges, France. CD-ROM Proceedings (2 p.). <hal-00524199>

**HAL Id: hal-00524199**

**<https://centralesupelec.hal.science/hal-00524199v1>**

Submitted on 7 Oct 2010

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



HAL Authorization

## Plan d'expériences séquentiel appliqué à la dosimétrie numérique

**A. El Habachi\*, E. Conil\*, E. Vazquez \*\*, A. Hadjem\*, A. Gati\*, M-F. Wong\*, G. Fleury\*\* et J. Wiart \*.**

(\*) : Whist lab et Orange Labs, Issy les moulineaux, aimad.elhabachi@orange-ftgroup.com

(\*\*) : Supelec , plateau de Moulon, Gif-sur-Yvette, emmanuel.vazquez@supelec.fr

**Résumé.** Dans ce papier nous allons proposer une méthodologie consistant à trouver la valeur du Débit d'Absorption Spécifique du Corps Entier (DAS\_CE) qui couvre 95% d'une population donnée. Cette méthode repose d'une part sur de l'Inférence Bayésienne et d'autre part sur un modèle paramétrique de prédiction du DAS\_CE en fonction de la morphologie ainsi que des outils de simulations numériques.

### I. INTRODUCTION

Les technologies liées aux champs électromagnétiques (CEM) sont de plus en plus utilisées à travers le monde. Afin de protéger les personnes, des restrictions de bases, ont été définies [1]. Ces niveaux fixent des valeurs de DAS à ne pas dépasser. Des niveaux de références ont été dérivés des restrictions de base de façon conservative. Ces niveaux définissent le niveau maximal autorisé du champ électromagnétique. Ces niveaux de références ont été établis pour que leur respect implique la conformité aux restrictions de base.

Afin d'évaluer le DAS dans le corps, nous utilisons des modèles numériques d'humains (fantômes) et des méthodes numériques (par exemple : Finite Difference in Time Domain). Des études utilisant ces outils montrent que, pour certaines configurations, le DAS\_CE est très proche des restrictions de base. D'autres études ont souligné la variabilité du DAS\_CE due de la variabilité de la morphologie humaine [2].

Nous disposons d'un ensemble de 18 fantômes (8 enfants, 7 hommes et 3 femmes).

Les fantômes sont très difficiles à obtenir, une technique appelée morphing [3] a été développée et consiste à construire des fantômes modèles anatomiques en déformant par partie des modèles existants. La limite de ces approches est liée au fait que ces déformations sont basées sur des paramètres extérieures et ne permettent pas de prendre en compte les variations de la morphologie interne (muscles, graisses,...).

Le nombre limité de fantômes ne permet pas d'utiliser des méthodes comme Monte-Carlo pour caractériser la distribution statistique du DAS\_CE d'une population et en déduire le seuil du DAS\_CE à 95%. Ce qui nous conduit vers une construction de modèle mathématique simplifié pour prédire le DAS\_CE. Afin de construire un tel modèle, les facteurs qui influencent le DAS\_CE ont été identifiés [4]. Nous distinguons deux types des facteurs, la morphologie externe (taille, poids,...) et la morphologie interne (muscles, graisse,...). Concernant la

morphologie externe, des données statistiques existent dans la littérature. Mais, il est difficile de trouver des données statistiques de la morphologie internes dans la littérature. De plus ces deux types de facteurs ne sont probablement pas séparables. Pour séparer ces deux types de facteurs, nous allons nous affranchir des facteurs morphologiques internes en considérant des fantômes homogènes. Les propriétés diélectriques des tissus ont été remplacés par des propriétés diélectriques équivalentes définies par la CEI (Commission Electronique Internationale).

L'objectif de ce papier est de déterminer le seuil du DAS\_CE à 95% pour une population donnée. La méthode de Monte Carlo reste couteuse pour caractériser ce seuil. Nous proposons alors un plan d'expériences séquentiel permettant de choisir des fantômes permettant de raffiner la région à 95 % du DAS\_CE pour une population donnée.

Les fantômes sont exposés à une onde plane de polarisation verticale, une fréquence fixée à 2100MHz et une puissance incidente de 1W/m<sup>2</sup>.

### II. PLAN D'EXPERIENCES SEQUENTIEL

#### II.1. Matériel

Nous disposons d'une base de données anthropométrique d'un échantillon de 3800 adultes de la population française. Les facteurs externes qui ont été extraits de cet échantillon sont : la taille, la hauteur entre jambes, la carrure devant, la carrure derrière, le tour de poitrine, et le tour de ceinture.

Nous avons trouvé les lois de probabilités qui estiment ces différents facteurs. Ces lois sont la loi normale et la loi Log-normale.

La technique du morphing a été adaptée à la base de données anthropométrique afin d'obtenir des nouveaux fantômes.

#### II.2. Modèle du WBSAR.

Nous avons établi une relation du WBSAR en fonction de la morphologie externe en utilisant des simulations numériques qui existe dans la configuration citée dans l'introduction. Cette relation s'écrit comme suit :

$$DAS\_CE = \theta_1 \text{taille} + \theta_2 \frac{\text{tour de poitrine}}{\text{carrure devant}} + \theta_3 \frac{\text{tour de ceinture}}{\text{carrure devant}} + \theta_4$$

L'erreur de l'estimation de cette relation est inférieure à 7%.

Afin de valider cette relation, nous avons utilisé un plan d'expériences permettant de réduire la région de confiance  $\Theta = [\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4]$ . 6 expériences ont été choisies.

Le résultat de ce plan est noté  $F_n = (x_i, y_i)_{i=1, \dots, 6}$ , où  $x_i$  est les facteurs morphologiques externes et  $y_i$  est la valeur du DAS\_CE. Ce plan d'expériences permet de valider statistiquement le modèle paramétrique postulé.

### II.3. Plan d'expériences séquentiel

Le plan d'expériences repose sur la formule de Bayes qui s'écrit comme suit :

$$P(\Theta \setminus F_n) = P(\Theta) \cdot P(F_n \setminus \Theta)$$

où  $P(\Theta \setminus F_n)$  est la loi posteriori,  $P(\Theta)$  l'a priori non-informatif (gaussienne centrée et très grand écart-type) et  $P(F_n \setminus \Theta)$  la vraisemblance.

En utilisant la loi a posteriori nous pouvons obtenir un échantillon de  $\Theta$ . Le principe du plan d'expériences séquentiel est donné par la figure 1. Nous échantillonnons  $(\Theta_i)_{i=1, \dots, n}$  suivant la loi à posteriori. Pour chaque  $\Theta_i$ , nous calculons la densité du DAS\_CE; nous en déduisons le DAS\_CE à 95%. L'ensemble de ces DAS\_CE à 95 % obtenu forme une distribution de DAS\_CE à 95%. Le plan d'expériences consiste à faire un choix de candidats permettant de réduire la variance de cette distribution (cf. fig. 1).

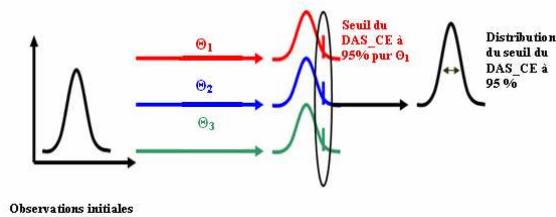


Fig.1 – illustration du plan d'expériences séquentiel

Quand la variance de cette distribution est suffisamment petite, nous choisisons la moyenne comme valeur du seuil à 95 % du DAS\_CE.

### II.4. Résultats

La figure 2 montre la diminution en fonction du nombre d'itérations de la variance du seuil du DAS\_CE à 95 %. Cette diminution se stabilise après seulement 26 itérations. Plus on rajoute des fantômes plus la distribution du DAS\_CE à 95% diminue.

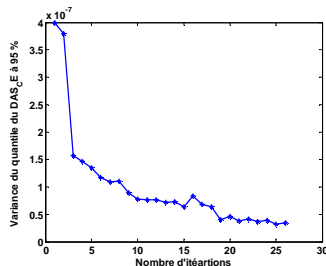


Fig.2 – Diminution de la variance du quantile à 95 %

La figure 3 montre l'évolution de la moyenne de la distribution de ce quantile à 95%. Et la moyenne se stabilise autour de 7mW/kg.

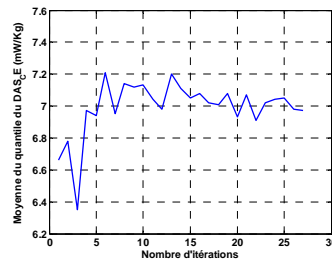


Fig.3 – stabilité de la moyenne après 26 itérations.

Nous avons aussi trouvé parmi les expériences un fantôme correspondant à cette valeur du DAS\_CE. Ce fantôme a une taille de 1,47 m, un tour de poitrine de 76.5 cm et un tour de ceinture de 65 cm.

### III. CONCLUSION

Afin d'obtenir une valeur maximale du DAS\_CE à 95% pour une population donnée, la méthode de Monte Carlo est très coûteuse. Nous avons proposé un plan d'expérience séquentiel afin de trouver cette valeur du DAS\_CE à 95 % dans une population. Nous avons obtenu une valeur du DAS\_CE à 95 % après 26 itérations. De plus nous avons trouvé un fantôme qui a cette valeur du DAS\_CE.

L'objectif est d'introduire les propriétés diélectriques dans le modèle paramétrique.

### IV. REFERENCE

[1] ICNIRP 1998 Guidelines for Limiting Exposure to Time Varying Electric Magnetic and Electromagnetic Field (up to 300 GHz). Radiation Protection Health Physics, Volume 74, Number 4:494-522

[2] Conil. E, Hadjem. A, Lacroux. F, Wong. MF and Wiart J 2008 Variability analysis of SAR from 20MHz to 2.4GHz for different adult and child models using FDTD Phys. Med. Biol. **53** 1511-1525.

[3] Hadjem A., Lautru D., Dale C., Wong M.F., Hanna V.F., Wiart J. 2004 Comparison of Specific Absorption Rate (SAR) Induced in Child-Sized and Adult Heads Using a Dual Band Mobile Phone in IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.1453-1456.

[4] El Habachi A, Conil E, Hadjem A, Vazquez E, Wong M-F, Fleury G and Wiart J, Statistical Analysis of the Whole Body Specific Absorption Rate using Human Body Characteristics. Soumis a physic in Med. And Biology.