



**HAL**  
open science

## Sources pré-déformées pour des analyses haute résolution de l'impact du rayonnement radiofréquence sur l'activité cérébrale

Clément Henry, Adrien Merlini, Joe Wiart, F.P. Andriulli, Christian Person

### ► To cite this version:

Clément Henry, Adrien Merlini, Joe Wiart, F.P. Andriulli, Christian Person. Sources pré-déformées pour des analyses haute résolution de l'impact du rayonnement radiofréquence sur l'activité cérébrale. Journées Nationales Microondes, XLIM Limoges, Jun 2022, Limoges, France. hal-04342598

**HAL Id: hal-04342598**

**<https://cnrs.hal.science/hal-04342598>**

Submitted on 13 Dec 2023

**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.

## Sources pré-déformées pour des analyses haute résolution de l'impact du rayonnement radiofréquence sur l'activité cérébrale

Cl. Henry<sup>1,2</sup>, A. Merlini<sup>1</sup>, J. Wiart<sup>3</sup>, F.P. Andriulli<sup>1</sup>, Ch. Person<sup>2</sup>

*Politecnico di Torino, Dept of Electronics and telecommunications, Turin*

*<sup>2</sup>IMT Atlantique, Lab-STICC UMR6285, CS83818, 29238 Brest cedex 3*

*<sup>3</sup>Telecom Paris, Institut Polytechnique de Paris, CS 20031, 91123 Palaiseau, Saclay  
christian.person@imt-atlantique.fr*

**Résumé** – Cet article présente une approche originale de mesure de signaux EEG d'un patient en présence d'ondes radiofréquences induites dans le cerveau comparables à celle d'un téléphone portable. Outre la quantification de la déformation inhérente à la présence des 256 électrodes d'un casque EEG, l'idée réside dans la génération d'une distribution des champs électromagnétiques au sein des tissus cérébraux conformes à celle que provoque un téléphone mobile en l'absence des électrodes. Nous proposons ainsi une technique de substitution de la source initiale (téléphone mobile générique) par un ensemble de sources équivalentes reconstruisant fidèlement les conditions d'exposition sans électrodes.

### 1. Introduction

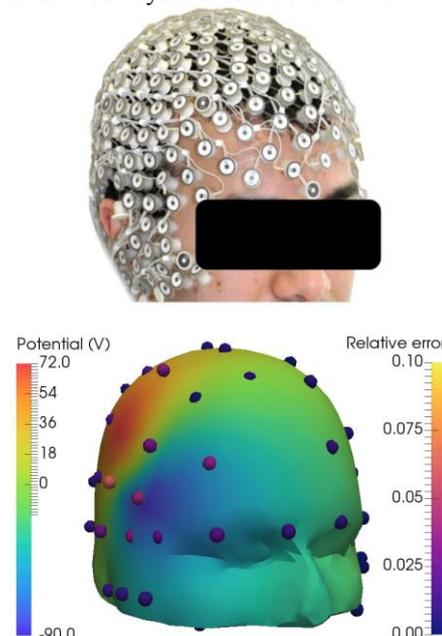
Les interactions des ondes électromagnétiques émises par des équipements de type téléphone mobile avec les usagers sont étudiées depuis de nombreuses années, ayant donné lieu à l'élaboration de normes et de méthodes de vérification de conformité aujourd'hui largement éprouvées. La dosimétrie expérimentale, fortement aidée par la dosimétrie numérique, permet d'estimer, puis de mesurer et quantifier les champs dans les différents tissus reproduisant différentes parties du corps humain, et de remonter ainsi à des indicateurs et indices d'exposition consolidés.

Les besoins persistent cependant auprès des médecins et épidémiologistes pour quantifier d'autres grandeurs d'interaction ondes-corps humain, liées en particulier à l'activité cérébrale. Y a-t-il une perturbation comportementale, fonctionnelle engendrée au niveau de certaines parties du cerveau ? comment quantifier en temps réel les interactions ? Dans le cadre du projet ECLAIR financé par l'ANSES, nous avons investigué une approche originale visant à permettre l'exploration par imagerie EEG à haute résolution (256 capteurs) de la perturbation (ou non) de la neuro-activité en situation d'exposition aux ondes radiofréquences.

### 2. Problématique : Casque EEG & déformations engendrées sur les champs

L'électroencéphalographie est une technique d'imagerie fonctionnelle du cerveau qui mesure l'activité électrique

générée par les neurones au moyen d'électrodes placées sur le cuir chevelu. Les études sur l'activité cérébrale s'appuient sur des équipements classiquement constitués d'un casque EEG multi-électrodes, relié à un amplificateur multi-voies, permettant d'extraire les réponses spectrales du cerveau autour des gammes reconnues de l'activité cérébrale, typiquement les ondes Delta (<4Hz), Alpha (8 -13Hz) jusque Gamma (> 35Hz). Comme le montre la figure 1, nous utilisons un casque 256 électrodes, chaque électrode étant majoritairement constituée de métal ayant un diamètre de 10mm environ.



**Figure 1. Casque EEG 256 électrodes - Exemple de distribution de potentiels obtenue par simulation**

Nous avons dans un premier temps cherché à quantifier la déformation apportée par la présence des électrodes.

La première configuration (figure 2(a)) est celle qui illustre le champ électrique réel dans la tête du patient en présence d'un téléphone mobile. Dans le deuxième cas (figure 2(b)), des électrodes sont ajoutées pour mesurer l'activité cérébrale et déforment le champ électrique initial. L'objectif recherché est de reconstruire le champ électrique initial (figure 2 a) à l'intérieur de la tête du patient à partir de sources externes (figure 2(c)).

Il s'agit donc d'un problème de type « inverse » : Reproduire un champ électromagnétique cible en recréant un système d'exposition externe multi-sources dont les coefficients pondérateurs sont calculés en conséquence.

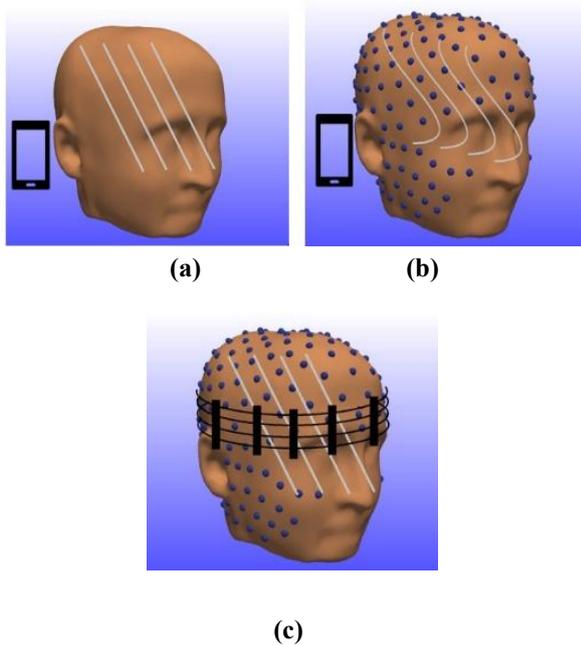


Figure 2. Illustration des déformations engendrées par la présence du casque EEG 256 électrodes

### 3. Caractérisation expérimentale de la déformation induite

A partir d'un banc de SAR [1] – figure 3 -, nous avons procédé à des séries de mesures permettant de quantifier les déformations apportées par un casque EEG en présence d'une exposition RF. Deux types de sources ont été considérées : un dipôle de référence et un téléphone mobile de référence à 2.6Ghz.

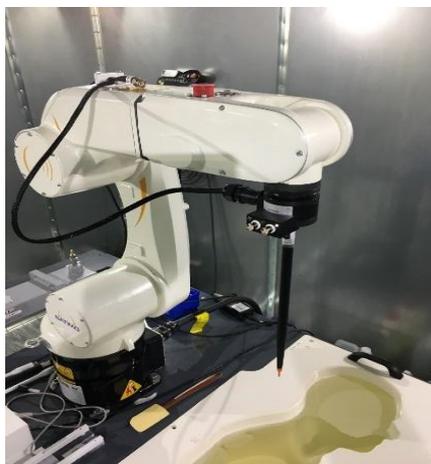
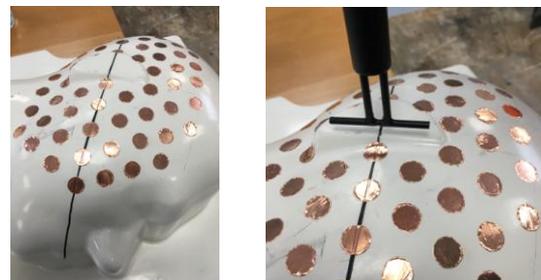


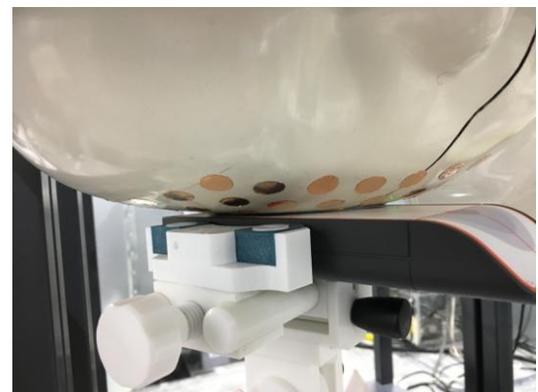
Figure 3. Banc de mesure de SAR utilisé & Mobile de référence (MVG [1])

Le fantôme est rempli d'un liquide approprié reproduisant à ces fréquences les propriétés électriques des tissus selon la norme Cenelec [2].

L'objectif était de trouver une méthode pour réaliser des mesures dans un modèle réaliste de la tête. Le fantôme utilisé (Specific Anthropomorphic Mannequin (SAM)) est recouvert, après une première mesure de référence, de pastilles de cuivre reproduisant les électrodes EEG (figure 4). Il s'agissait en effet de disposer d'un modèle pouvant être aisément reproduit par simulation, en considérant par conséquent que les fils de relevés des signaux des électrodes pouvaient être négligés.



a) Fantôme avec « électrodes Cu » + Dipole



(b) Positionnement du téléphone sous le fantôme

Figure 4. Fantôme avec électrodes Cuivre pour reproduire le casque EEG – positionnement

Une série de mesures a été réalisée afin de relever les niveaux de référence des champs dans un fantôme sous l'incidence du dipôle ou du mobile de référence. Les figures 5 ci-dessous montrent la dégradation apportée par les électrodes de cuivre (tracés en mode relatif avec/ sans électrodes) dont on perçoit l'impact plus fort là où le champ induit par la source est le plus important.

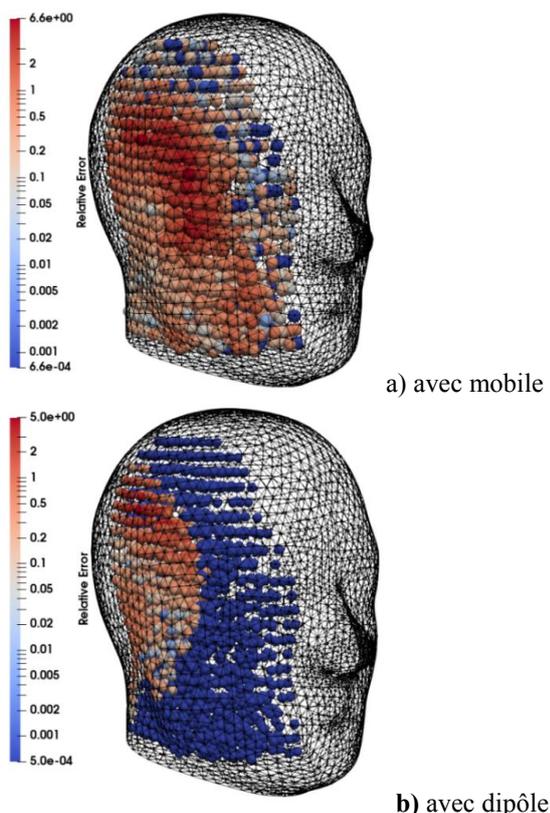


Figure 5. Erreur relative sur le champ électrique mesuré avec un mobile de référence

#### 4. Compensation des déformations de champs : sources reconstituées

Nous avons mis en œuvre différentes solutions de reconstitution des champs à l'intérieur du fantôme en présence des électrodes à partir de sources externes contrôlées en amplitude/phase/positionnement.

La figure 6 montre la disposition des sources fictives ainsi que la position de la source réelle (représentée en rouge) dans les simulations. La première étape est de déterminer le champ électrique à obtenir sans les électrodes (champ cible). Ensuite, il faut reconstruire le champ électrique à l'intérieur de la sphère en présence des électrodes. Ceci est réalisé grâce aux sources fictives représentées en noir sur la figure 6. L'objectif de la reconstruction est de trouver une combinaison de ces sources externes (décrites ici sous forme de dipôles infinitésimaux) qui génèrent le champ le plus proche possible du champ cible, i.e. le champ réellement induit dans les tissus par le mobile en l'absence des électrodes de relevé de l'EEG.

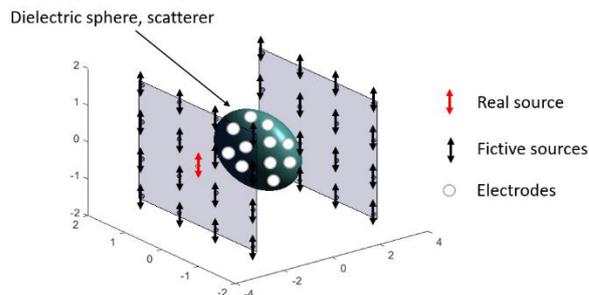


Figure 6. Distribution des pastilles EEG sur la sphère diélectrique - Illustration des déformations engendrées

Pour évaluer la qualité de la reconstruction de manière précise, l'écart relatif entre le champ reconstruit et le champ initial est calculé. Il est utilisé dans les figures 6(a) et (b) pour comparer le champ électrique obtenu après reconstruction et le champ électrique obtenu sans reconstruction, le tout en présence des électrodes.

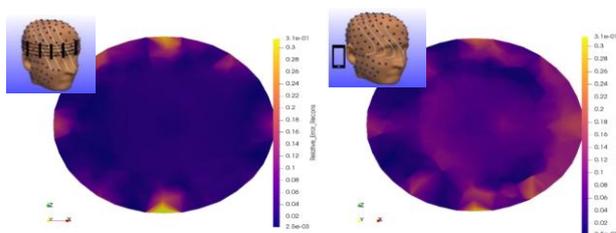


Figure 7. Comparaison de l'erreur relative sur le champ électrique avec (à gauche) et sans reconstruction (à droite)

Il est possible de voir sur la figure 7 que l'erreur relative au centre de la sphère diminue visiblement avec la reconstruction. Elle passe d'environ 14% à 3%. L'erreur globale passe d'environ 140% à 16%. Cependant, il existe des zones où la reconstruction n'a que très peu d'effets. Ces zones sont situées directement sous les électrodes. Cela est dû à l'effet de masquage du champ électrique par les électrodes en PEC. Il est donc impossible d'obtenir une reconstruction parfaite directement sous les électrodes. Comme le cerveau n'est pas directement sous les électrodes, la reconstruction reste toutefois valide pour étudier l'effet des ondes électromagnétiques dans le cerveau.

Nous ne présentons pas l'ensemble des résultats obtenus. Il convient de noter que nous avons investigué plusieurs techniques de reconstitution des champs dans le fantôme, soit par la reconstruction inverse comme précisée ici en calculant les réseaux de dipôles externes. Cependant, cela se traduit par une complexité certaine en termes de nombres de sources à positionner et à contrôler en amplitude/phase autour de la tête pour atteindre un niveau de reproduction le plus fidèle possible. D'autres approches sont ainsi discutées, sous forme de sources externes compensées par des méthodes alternatives.

## 5. Reconstitution d'un champ cible par une structure d'accord intermédiaire

Nous avons ainsi travaillé sur une solution de complexité intermédiaire, mais rendue accessible par des procédés technologiques émergeant de fabrication additive.

Ainsi, nous avons développé une approche utilisant un nombre réduit de sources. La source utilisée pour la reconstruction est composée d'un réseau de dipôles et d'une lentille diélectrique.

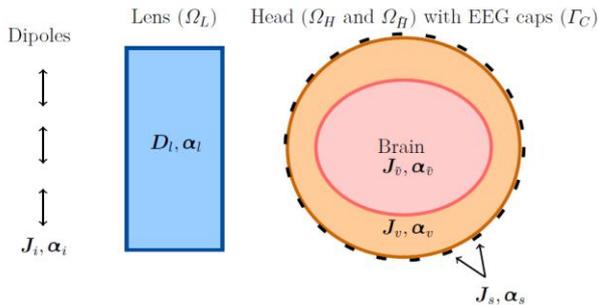


Figure 8. Reconstitution du champ cible par une approche simplifiée

Comme pour la tête, la lentille est modélisée à l'aide d'une équation intégrale volumique (DVIE). Pour éviter de reconstruire le champ trop près des électrodes EEG, où la reconstruction serait trop complexe en raison du blindage électromagnétique induit, le volume de la tête est divisé en deux parties : une partie où le champ doit être reconstruit ( $\Omega_{\nabla}$ ) en présence des électrodes et une partie complémentaire dans la tête où la reconstruction n'est pas nécessaire ( $\Omega_{\nu}$ ). L'objectif de la reconstruction est de déterminer les coefficients des dipôles ainsi que le profil de permittivité de la lentille afin de reconstruire le champ électrique dans  $\Omega_{\nabla}$ .

La source réelle est un dipôle ponctuel de moment dipolaire  $\hat{z}$  placé à 10 cm du côté gauche de la tête. Pour la reconstruction, un réseau de 18 dipôles distribués sur 9 positions différentes a été utilisé (avec polarisations orthogonales). Cette grille de dipôles se trouve sur le même plan que la source réelle. La lentille est placée entre le réseau de dipôles et la tête. Elle est discrétisée avec 1536 tétraèdres formant 256 cubes (256 degrés de liberté). La permittivité relative de la lentille est initialisée à 8. La source de reconstruction composée du réseau de dipôles et de la lentille est illustrée sur la Figure 9(a) et le profil de permittivité de la lentille obtenu après reconstruction se trouve sur la Figure 9(b)

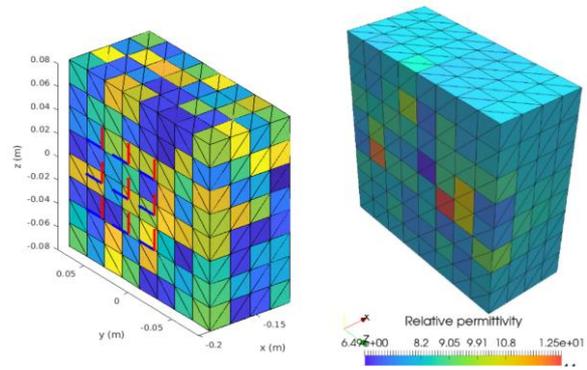


Figure 9. Visualisation 3D de la lentille discrétisée et du réseau de dipôles – Profil de permittivité de la lentille ainsi synthétisée

La conception de la lentille constitue une phase technologique importante, en développant et expérimentant des solutions d'impression 3D de matériaux faibles pertes à propriétés diélectriques maîtrisées.

Une imprimante multi-tête a ainsi été utilisée, avec des tests d'impression bi-matières [3], permettant de discrétiser un volume avec des dégradés de permittivité effective équivalente

## 6. Conclusion

Ce papier fait état d'une nouvelle approche de quantification des ondes électromagnétiques sur le fonctionnement du cerveau en proposant une solution de reconstitution de l'exposition RF permettant d'utiliser un casque EEG multi-électrodes. Ce projet a été financé par l'ANSES - projet Eclair N°EST-2016-2 RF-23 dans le cadre du programme PNR EST.

## Références

- [1] <https://www.mvg-world.com/fr/produits/sar>.
- [2] Normes Cenelec IEC 62209-1 – Annexe I.
- [3] <https://www.elliptika.com/fr/technologies/>