



## L'HOMME CONNECTÉ

### *Antenne boucle pour gélule ingérable: bilan de liaison en champ proche A coil antenna for ingestible capsule: near-field magnetic induction link*

**Marjorie Grzeskowiak, Fatiha El hatmi, David Delcroix, Thierry Alves, Stéphane Protat, Shermila Mostarshedi, et Odile Picon**

Université Paris-Est, ESYCOM (EA 2552), UPEMLV, ESIEE-Paris, CNAM, F-77454 Marne-la-Vallée, France

marjorie.grzeskowiak@u\_pem.fr; elhatmi@u\_pem.fr; david.delcroix@u\_pem.fr; talves@u\_pem.fr; protat@u\_pem.fr; shermila.mostarshedi@u\_pem.fr; odile.picon@u\_pem.fr

Champ proche, bilan de liaison, boucle, gélule ingérable. Near-field, link budget, coil, ingestible capsule

#### Introduction

Afin de suivre l'évolution de certaines pathologies de l'appareil digestif, l'utilisation de gélules, possédant un/ou plusieurs capteurs de mesure physiologique à terme (température, pression, pH) est envisagée. Les gélules sont ingérées par le patient et envoient des données par une liaison sans fil. Un des points limitant que nous nous proposons de lever est relatif aux antennes. Le signal est transmis entre l'antenne d'émission située dans le tube digestif et l'antenne de réception située sur le corps. L'antenne d'émission a pour rôle de transmettre le signal comportant l'information.

Une des difficultés de ce sujet est de prendre en compte la variabilité des situations et aussi celle du milieu traversé par le signal, en fonction des différences anatomiques, de la position et de l'orientation de la gélule au cours de sa progression dans le petit intestin. Ici, il faut prendre en compte ce milieu qui a des caractéristiques très particulières : permittivités souvent très élevées, ayant une partie imaginaire non négligeable. Nous avons choisi le phénomène de couplage magnétique, qui est peu sensible à la variation de permittivités diélectriques [1]. La fréquence de fonctionnement est de 40.68 MHz.

Trois parties fondamentales ont été abordées [2]:

- la conception d'une antenne de petite taille qui permet de transmettre le signal de l'intérieur du corps vers l'extérieur. La forme et la taille de la gélule sont déterminantes
- la conception des antennes extérieures qui permettent la réception du signal.
- un bilan de liaison simulé avec un logiciel commercial et mesuré dans un liquide artificiel équivalent au corps humain pour les différentes positions et orientations de la gélule.

#### 1. Design des antennes boucles et banc de mesure

Les antennes d'émission et de réception ont été conçues à l'aide d'un simulateur numérique 3D (HFSS) et réalisées à l'aide d'une micro-graveuse (figure 1).

Les antennes dans la gélule et sur le corps humain ont été réalisées sur du FR4 ( $\epsilon_r=4.4$ ,  $\tan\delta=0.02$ ,  $t=35\mu\text{m}$ ;  $h=0.76\text{mm}$ ). L'antenne dans la gélule est constituée de cinq boucles gravées pour chacune sur une couche diélectrique ( $h=0.4\text{mm}$ ;  $\Phi=10\text{mm}$ ), collées et séparées par 4 inter-couches ( $h=0.76\text{mm}$ ;  $\Phi=10\text{mm}$ ) pour assurer une rigidité et une distance fixe entre les boucles. La hauteur totale est donc de 5mm pour un diamètre de 10mm. Chaque boucle a une largeur de piste de 1mm pour un diamètre  $\Phi$  égal à 9.5mm : chaque piste est soudée à la suivante par un fil de largeur 0.7mm.

Dans le but d'optimiser la puissance reçue par couplage inductif, l'antenne de réception sur le corps humain peut avoir une large taille (7cm×8cm) : il s'agit d'une antenne boucle 3 tours de largeur et distance inter-pistes de 1.5mm.

#### 2. Résultats

Les antennes d'émission et de réception ont été caractérisées à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel. Pour les mesures, il a été utilisé un milieu artificiel, un environnement proche de celui du corps humain

(figure 2), qui a été caractérisé ( $\epsilon_r=64$  et  $\sigma=0.78S/m$ ).

Le bilan de liaison simulé numériquement a été comparé à la mesure dans le milieu artificiel (figure 2, lien 1). La réponse du couplage  $S_{21}$  (figure 3) quand les antennes sont concentriques et séparées d'une distance égale à 5cm (distance entre le petit intestin et la surface du corps humain) a été vérifiée par la mesure.

Le bilan de liaison a été mesuré dans le milieu artificiel (figure 2, lien 2) en fonction de la distance antenne émetteur-récepteur (antennes concentriques) variable de 1cm à 8cm (figure 4) et en fonction de la rotation et de la translation de l'antenne gélule (figure 5). Si la distance est supérieure à 5 cm ( $S_{21}>-30dB$  pour  $d=8cm$ ) ou pour une orientation quasi-normale entre l'antenne de réception et celle d'émission ( $S_{21}>-35.5dB$  pour  $y=3cm$  et  $angle=80^\circ$ ), le bilan de liaison demeure efficace en mesure.

### 3. Conclusion

L'induction magnétique est une technique alternative prometteuse pour les systèmes pour gélule ingérable, compte tenu que les pertes du canal de transmission dépendent seulement de la perméabilité des tissus biologiques qui est égal à 1 dans le corps humain. Cependant, la puissance du champ magnétique est proportionnelle à l'inverse de l'exposant six de la distance. La validation par la mesure des simulations numériques confirme que l'antenne boucle multicouche proposée peut être un composant compact et robuste du système ingérable. La réponse de couplage du système, qui dépend de la position et de l'orientation de l'antenne de la gélule, reste efficace et varie de 20.5 dB (0.89%) à 35.5 dB (0.03%) dans le liquide artificiel équivalent aux tissus humains.

La suite de ce travail concerne la localisation de la gélule. La position des systèmes ingérables est pour le moment déterminée à l'aide de la mesure du pH, qui dépend de l'individu. Nous ne pouvons déterminer la position à l'aide du couplage magnétique, il faudra nous tourner vers les antennes radiatives.

### Références bibliographiques

- 1- J.I.Agbinya, M.Masihpour, « Near-field magnetic induction communication link budget : Agbiya-Masihpour model », Proc.5ième IB2Com, pp-1-6, 2010.
- 2- Thèse de Fatiha El Hatmi, « Conception d'antennes de communication à travers le corps humain pour le suivi thérapeutique » soutenue le 21/03/2013 à l'U.P.E.M. (Université Paris-Est Mame-la-Vallée), ESYCOM.

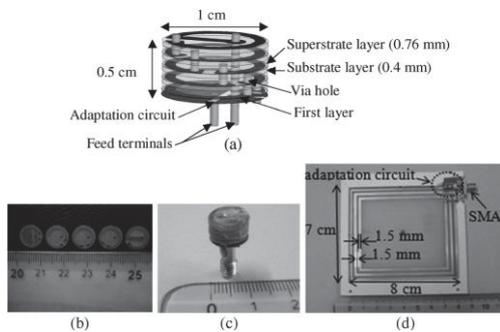


Figure 1 : Boucles de transmission et de réception: structure de l'antenne multicouche pour gélule (a) ; cinq couches de l'antenne ingérable avant montage (b); antenne 5 couches montée pour gélule (c) ; antenne boucle de réception 3 tours (d)

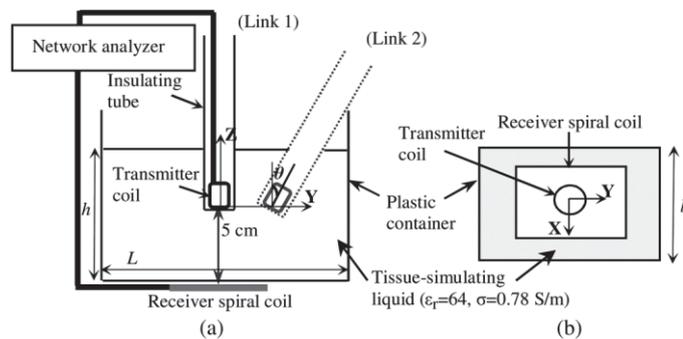


Figure 2 : Banc de mesure (a) vue de côté (b) vue de dessus

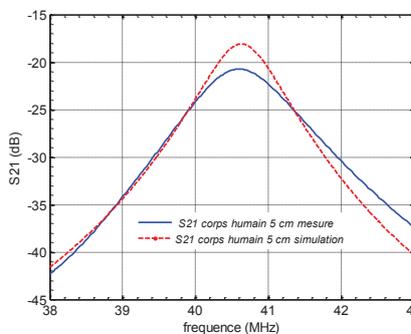


Figure 3 : Réponse de couplage  $S_{21}$  entre la bobine émettrice et la bobine réceptrice séparées d'une distance de 5 cm dans le liquide artificiel.

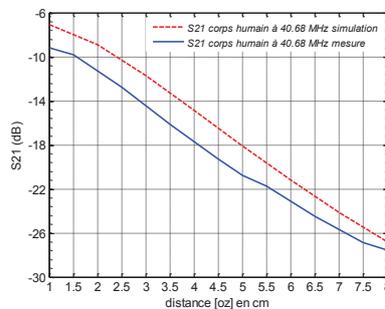


Figure 4 : Réponse de couplage  $S_{21}$  en fonction de la distance [oz] autour de 40.68 MHz mesurée dans le corps humain (lien 1 sur figure 2).

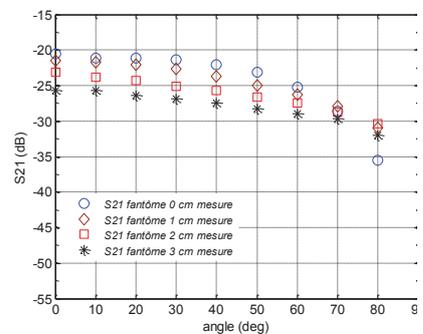


Figure 5 : Réponse de couplage  $S_{21}$ , mesurée dans le corps humain autour de 40.68 MHz, en fonction de l'angle de la bobine émettrice à différentes positions selon l'axe OY (lien 2 sur figure 2).