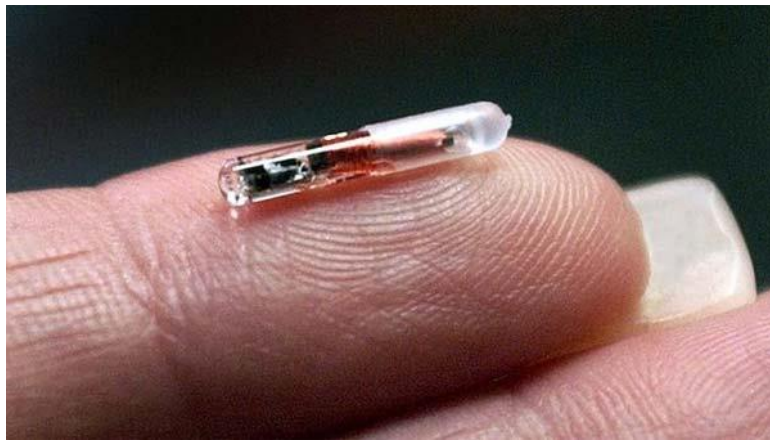


Rapport de projet de fin d'études 2015/2016 : P14 Localisation dans le corps humain



Polytech'Lille

Département : Informatique, Microélectronique, Automatique

Élève : Matthieu Marcadet

Tuteurs : Alexandre Boé, Thomas Vantroys

Remerciements

Je tiens à remercier mes tuteurs, Alexandre Boé et Thomas Vantroys, pour leurs conseils.

Ainsi que Nathalie Rolland et Guillaume Ducourneau, pour leur disponibilité et leurs conseils.

Table des matières

1	Introduction	5
1.1	Problématique	5
1.2	Objectif du projet	5
2	Etudes.....	6
2.1	La RFID	6
2.2	Travail réalisé.....	7
2.2.1	Les tags ou étiquettes	7
2.2.2	Conception des systèmes de mesures	9
2.2.3	Mesures.....	11
2.2.4	Simulation sous CST	14
2.3	Le corps humain.....	18
3	Bilan du projet.....	19
3.1	Problèmes rencontrés	19
3.2	Conclusion	19
4	Bibliographie	21
5	Annexe	23

Table des figures

Figure 1:Echange RFID.....	7
Figure 2: Dimensionnement d'un patch.....	8
Figure 3 : Méandre	9
Figure 4: Deuxième set de circuits résonnant.....	9
Figure 5 : Interface AppCAD	10
Figure 6 : PCB antenne patch	11
Figure 7 : Paramètre S11	12
Figure 8 : Paramètre S21	13
Figure 9 : Exemple de disposition pour la localisation	14
Figure 10 : Modèle patch sous CST	15
Figure 11 : Deuxième test sous CST	16

1 Introduction

1.1 Problématique

De nos jours, beaucoup d'avancées technologiques sont réalisées dans le milieu médical que ce soit dans les procédés, dans les traitements ou même dans le matériel utilisé. Le matériel utilisé a beaucoup évolué, notamment pour l'imagerie médicale, la première radiographie réalisée en 1895 par Wilhelm Röntgen (découvreur des rayons X), qui était approximative et qui a continué à se développer pour, aujourd'hui, être un des moyens les plus utilisés pour les diagnostics, ou encore l'échographie utilisant des ultrasons, un autre outil d'imagerie, etc. Le milieu médical n'a aucune limite à l'évolution, chaque découverte technologique peut y contribuer.

L'un des principaux problèmes de la médecine d'aujourd'hui reste la précision des diagnostics. Effectivement dans le cas d'un cancer, seuls des moyens coûteux permettent de connaître précisément la localisation d'une tumeur (imagerie en 3D), c'est donc aux chirurgiens qu'il appartient de déterminer lors des interventions la localisation des tumeurs, afin de les extraire ou de cibler la thérapie. Aujourd'hui, il existe peut-être des moyens moins coûteux permettant de réaliser ce travail et d'éviter aux patients des chirurgies invasives comme la localisation par radiofréquence qui se développe énormément notamment avec la RFID.

1.2 Objectif du projet

On peut découper ce projet en 2 parties, la première sera le test de tags et leur localisation. Pour ce faire, je me baserai sur le principe des étiquettes RFID répondant à une fréquence de 2.45GHz (fréquence choisie car les appareils à disposition fonctionnent pour celle-ci) sera le point de départ. Ensuite, je devrais trouver une solution pour les localiser, hypothétiquement par triangulation, soit 3 points qui permettront de récupérer assez d'informations sur la position de l'étiquette. La deuxième partie de ce projet, sera de soumettre ce système aux corps humains par différents tests permettant ou non la validation du système conçu. Si le temps le permet, il sera envisageable d'étudier des matériaux biocompatibles, afin de pousser l'étude au maximum.

2 Etudes

2.1 La RFID

La Radio Frequency IDentification (RFID) est une technologie permettant l'identification par rayonnement des radiofréquences. Un lecteur permet d'envoyer un signal à une certaine fréquence, ce signal est reçu par un tag ou étiquette RFID qui envoie la réponse correspondante. La fréquence choisie peut varier entre 125 kHz et 5.8 GHz et dépend du type d'application, plus la fréquence est élevée plus le tag est petit et plus la distance d'éloignement entre les éléments peut être grande.

Il existe différents types de tag RFID :

- Actif : ce tag se compose d'une antenne, d'une puce ainsi que d'un système d'alimentation.
- Semi-passif : identique au tag passif, sauf que le système n'est alimenté que lors d'un échange d'informations
- Passif : composé d'une antenne et d'une puce, son alimentation se fait par le lecteur, celui-ci envoie en plus du signal de l'énergie à l'étiquette.
- Chipless RFID : composé seulement d'une antenne comportant le code de l'identification.

Avantage/Inconvénient :

Techniquement, les puce active et semi-passive présentent le principal avantage de la distance de lecture, en fonction de l'antenne implémentée et de l'énergie fournie à celle-ci par la pile, mais leur coût et leur durée de vie dépendent eux aussi de la pile et sont les principaux inconvénients. Au contraire, les puces Passive et chipless ont une faible distance de lecture ainsi qu'un faible coût, quant à leur durée de vie et leur fiabilité, elles dépendent des matériaux utilisés.

	Actif	Semi-passif	Passif	Chipless
Distance de lecture	Limite antenne	Limite antenne	Petite	Petite
Coût	Elevé	Elevé	Faible	Très faible
Durée	Pile	Pile	-	-
Fiabilité	Pile	Pile et réveil	-	-

Pour réaliser ce type de communication il est donc nécessaire d'avoir un lecteur RFID ainsi qu'une étiquette. Pour modéliser la communication, nous prendrons comme exemple le système de validation de titre de transport de « Transpole » :



Ici, le lecteur envoie un signal d'identification au titre de transport qui récupère l'information demandée et la retourne au lecteur.

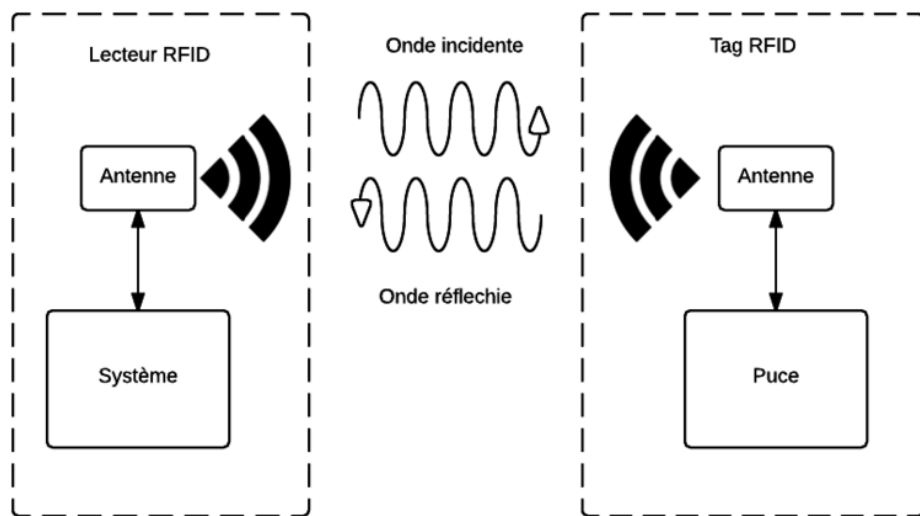


Figure 1: Echange RFID

2.2 Travail réalisé

2.2.1 Les tags ou étiquettes

La première étape du projet a donc été de modéliser les étiquettes par des circuits imprimés rayonnants. Pour cela, plusieurs types de circuits imprimés sont possibles.

L'antenne patch se présente sous la forme d'une pastille, qui peut être de formes différentes (rectangulaire, ronde, ...). Afin de faciliter le dimensionnement, j'ai utilisé la forme rectangulaire qui est la plus commune. Pour la réaliser, il faut respecter les équations régissant la longueur et la largeur de celle-ci :

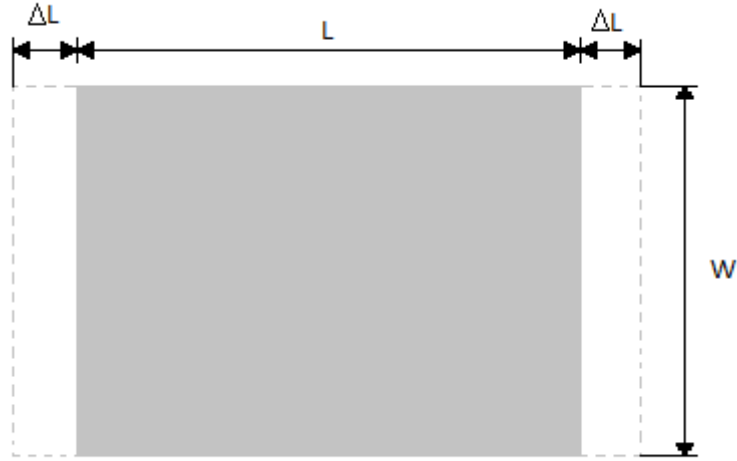


Figure 2: Dimensionnement d'un patch

$$W = \frac{c}{2f_0 \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}}} \text{ avec } \begin{cases} c: \text{célérité de la lumière} \\ \epsilon_r: \text{Permittivité électrique} \\ f_0: \text{Fréquence de travail} \end{cases}$$

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \text{ où } L_{eff} = \frac{c}{f_0 \sqrt{\epsilon_{reff}}}, \Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3)}{(\epsilon_{reff} - 0.258)} \frac{\left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{\left(\frac{W}{h} + 0.8\right)}$$

$$\text{et } \epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\sqrt{1 + 12\frac{h}{W}}} \text{ avec } \begin{cases} L_{eff}: \text{Longueur effective} \\ \Delta L: \text{Extension de longueur} \\ h: \text{hauteur du substrat} \\ \epsilon_{reff}: \text{Permittivité effective} \end{cases}$$

Les extensions de longueur sont soustraites à la longueur effective afin de prévenir les effets de bords. Pour résoudre ces équations, j'ai défini la hauteur de substrat à 1.6mm ainsi que la permittivité électrique de l'époxy à 4.5. J'ai donc obtenu un patch d'une largeur de 37 mm et d'une longueur de 28.5 mm.

L'antenne dipôle se présente sous la forme d'une ligne simple en forme de « L ». Pour des raisons de gain de place lors de la gravure, j'ai décidé de donner une forme de créneaux à celui-ci. Pour sa réalisation, il suffit de suivre l'équation :

$$L = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f}$$

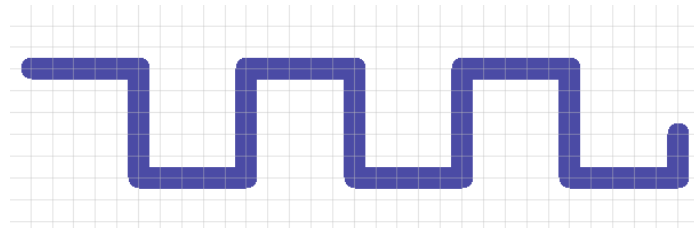


Figure 3 : Méandre

J'ai donc obtenu un dipôle d'une longueur de 57 mm.

Afin de mettre toutes les chances de mon côté pour obtenir des résultats, j'ai réalisé d'autres circuits résonnants. Je me suis basé sur différentes antennes que j'ai pu trouver lors de mes recherches telle que l'antenne en forme de U ainsi que celle en forme de F. Pour ce faire, j'ai réalisé différentes tailles de circuits afin qu'ils répondent à plusieurs fréquences pour élargir les possibilités de succès.

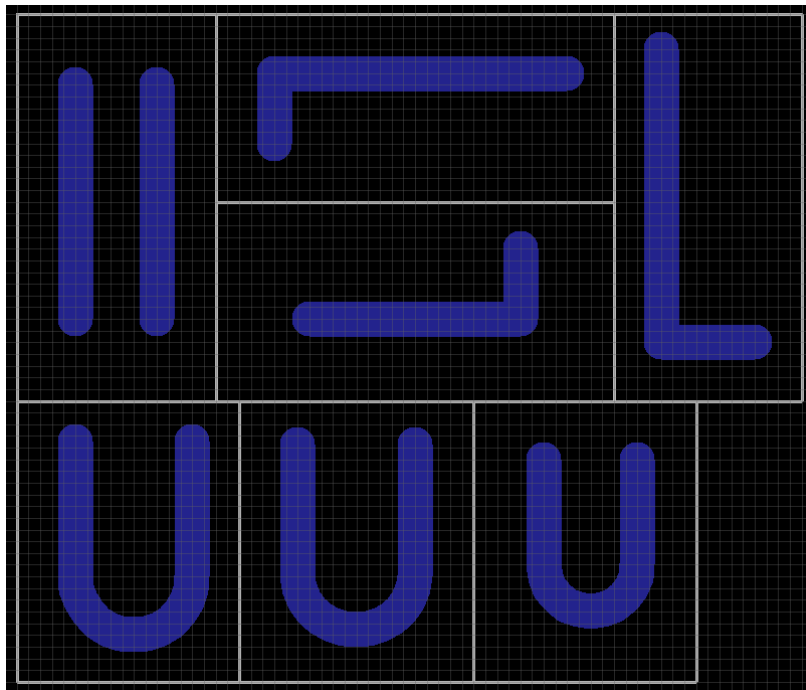


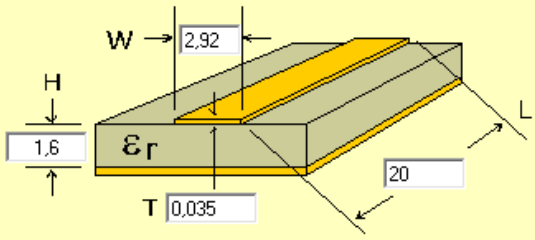
Figure 4: Deuxième set de circuits résonnant

2.2.2 Conception des systèmes de mesures

Afin de pouvoir évaluer mes éléments, j'ai dû concevoir les antennes permettant le test de mes circuits. Pour cela, je me suis intéressé aux antennes planaires directives. Je me suis donc tourné vers les antennes patch. J'ai donc repris les formules que j'avais trouvées précédemment, j'ai aussi utilisé une application en ligne permettant de rentrer la fréquence, la constante diélectrique du substrat ainsi que son épaisseur afin de calculer les dimensions de l'antenne. Cette application m'a permis de vérifier mes résultats.

Par la suite, j'ai pris contact avec Mme Rolland pour obtenir quelques conseils sur l'adaptation d'impédance. Elle m'a donc renseigné sur différentes méthodes telles que le positionnement du connecteur SMA au centre de l'antenne via le plan de masse, solution permettant de ne pas avoir à se soucier de l'impédance de l'antenne. Pour des raisons de disponibilité de ce type de connecteur, je me suis basé sur le principe le plus courant qui est de mettre en place un ligne microstrip entre le patch et le bord de carte avec un connecteur en fin de ligne. Pour le calcul d'impédance de ligne, j'ai utilisé l'outil AppCAD afin de déterminer les propriétés de la ligne d'alimentation, en définissant certains paramètres on peut ajuster l'impédance afin d'obtenir celle désirée, ici 50 ohm.

Microstrip



Calculate Z0 [F4]

Dielectric: $\epsilon_r =$

Frequency: GHz

Length Units:

$Z_0 =$ Ω

Elect Length = λ

Elect Length = degrees

Elect Length = mm (Air Line equiv.)

Delay = ps

1.0 Wavelength = mm

$V_p =$ fraction of c

$\epsilon_{eff} =$

$W/H =$

Figure 5 : Interface AppCAD

Pour finir, j'ai réalisé le PCB de l'antenne sous EAGLE, avec d'un côté, le patch et de l'autre le plan de masse.

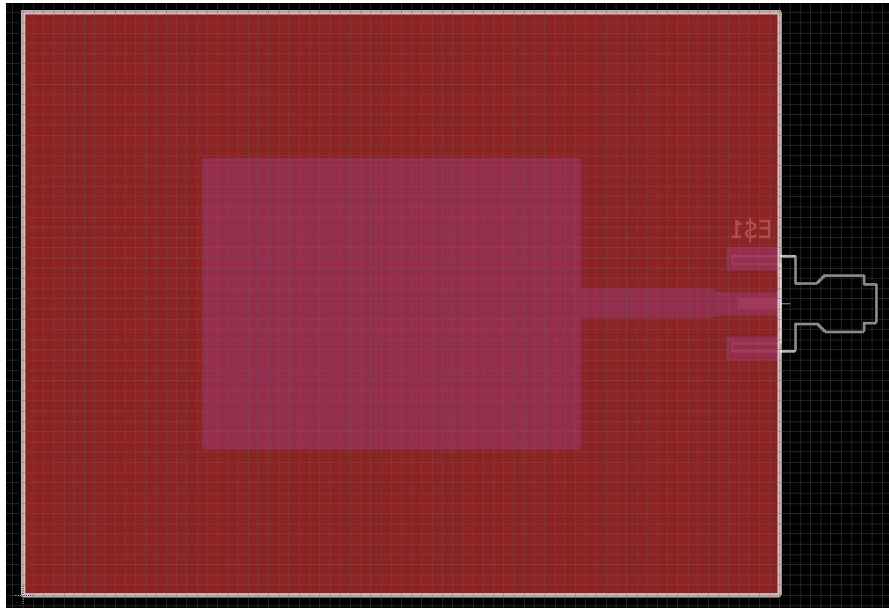


Figure 6 : PCB antenne patch

2.2.3 Mesures

Pour les mesures, j'ai pris contact avec Guillaume Ducourneau afin d'avoir accès à un analyseur de réseaux, permettant la mesure des paramètres S d'un système.

Déroulement des tests :

J'ai tout d'abord commencé par prendre en main l'appareil afin de ne pas perdre de temps lors des mesures, pour cela M. Ducourneau m'a présenté les différents éléments de l'interface et leur utilité.

Par la suite, j'ai fixé mes deux antennes patch face à face à une distance de 32 cm (longueur de l'élément utilisé pour fixer les antennes). Puis j'ai mesuré le paramètre S11 (correspondant au coefficient de réflexion à l'entrée), relevé grâce à l'antenne d'émission. Celui-ci m'a permis de me rendre compte que mes antennes avaient un problème de dimensionnement car il présentait un pic à 1.92GHz au lieu de 2.45GHz. Ce défaut, n'est pourtant pas un problème important pour les mesures, car comme mes antennes sont identiques, la réception sera elle aussi centrée sur cette fréquence.

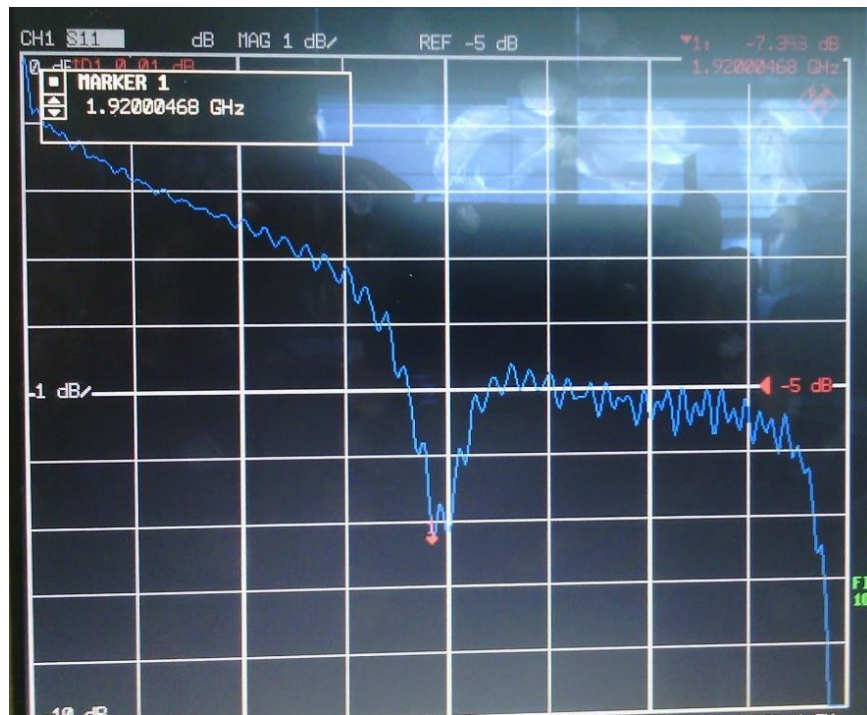


Figure 7 : Paramètre S11

Ce qui a été vérifié en observant le paramètre S21 (correspondant au coefficient de transmission directe). On obtient donc un niveau de référence de -41.5dB à 1.92GHz.



Figure 8 : Paramètre S21

Ensuite je suis venu interférer sur le système par l'introduction de mes circuits résonnants entre les deux antennes. Le but de ceci est d'observer un pic descendant sur le paramètre S21 signifiant que le circuit résonnant absorbe l'énergie à une certaine fréquence. Sur tous les circuits que j'ai réalisés, seul le méandre a permis d'observer une variation.

Distance (cm)	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	26
Puissance (dB)	-44.3	-41.8	-41.3	-42.5	-42	-42	-42.6	-43	-41	-41.4	-44

Lorsque le circuit résonnant approche trop les antennes, on observe une désadaptation de celle-ci, l'onde réfléchie par le circuit provoque une perte d'énergie au niveau du signal. Considérant le niveau de référence de -41.5dB, on observe une légère différence mais qui reste très faible.

Le deuxième test a consisté à modifier la position de l'antenne de réception afin d'observer de variations sur la puissance reçue. Le principe est de fixer la position de l'antenne d'émission ainsi que du circuit résonnant puis de faire varier selon un arc de cercle l'antenne de réception. Pour cet essai, j'ai dû utiliser des trépieds afin de garder les antennes stables, donc la distance entre les deux antennes est de 45 cm. Cette mesure n'est pas totalement précise, l'angle entre le circuit résonnant et la réception est approximatif compte tenu de l'utilisation de trépieds imposants.

Angle (°)	45	30	15	0	-15	30	45
Puissance à vide (dB)	-44.2	-43.5	-42.4	-42.2	-42.3	-43.6	-44.2
Puissance (dB)	-44.3	-44.2	-43.3	-43.2	-42.9	-44	-44.2

On peut donc remarquer qu'à partir d'un angle supérieur à 45°, le circuit résonnant n'a plus aucun effet sur la transmission. Pour garder un résultat optimum, il serait préférable d'avoir un système composé d'une antenne d'émission et de deux antenne en réception avec un angle compris entre 30° et 40° entre les deux, l'ajout d'antenne serait envisageable pour plus de précision sur la position.

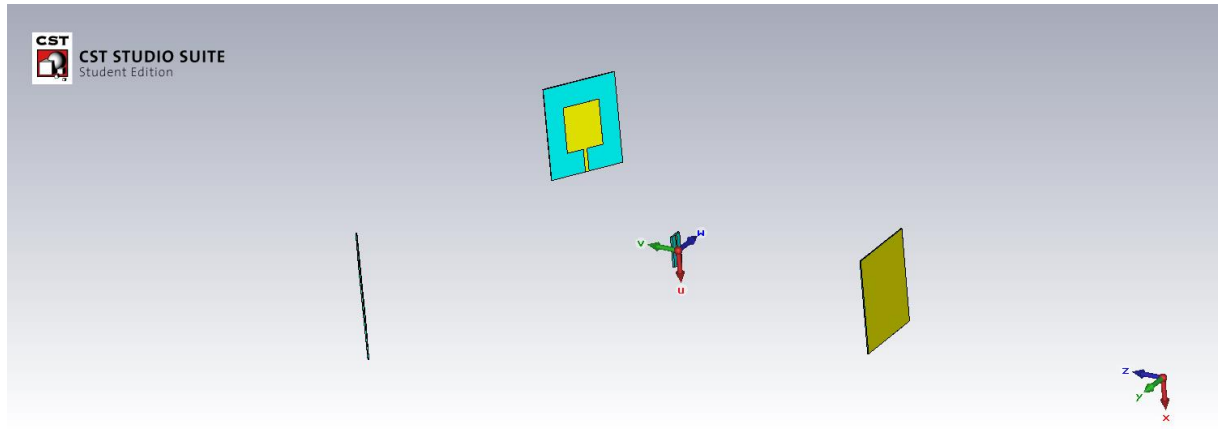


Figure 9 : Exemple de disposition pour la localisation

Le dernier test à été de placer les deux antennes côte à côte et de positionner le circuit résonnant en face pour que l'onde se réfléchisse sur celui-ci et soit transmis à la réception. Mais sur cette essai, je n'ai obtenu aucune variation du paramètre S21. A vide, j'obtenais une puissance de réception de -57 dB soit beaucoup plus faible que pour les autres tests donc on peut en déduire que le signal reçu est trop faible pour observer une variation.

Malgré des résultats non nul, la faible différence de puissance en réception ne permettrait pas une localisation précise.

2.2.4 Simulation sous CST

CST (Computer Simulation Technology) est un logiciel de conception et d'optimisation de système électromagnétique, très utilisé pour la réalisation d'antennes ainsi que pour l'analyse de celles-ci dans différents environnements.

Après plusieurs essais d'installation du logiciel CST (problème lié à leurs serveur), j'ai pu le mettre en route afin de simuler mon système. J'ai donc commencé par créer un projet en utilisant le module CST Microwave qui permet de simuler des antennes. Dans mon cas, il s'agit donc d'antenne planaire.

Ensuite il faut, modéliser chaque élément. Pour ce faire, j'ai tout d'abord défini mon substrat qui me sert de support pour la conception du patch. Après j'ai donc défini mon plan

de masse sur la face arrière du substrat et mon patch sur la face opposée. Pour finir, j'ai dû définir un port, le logiciel fournit une macro permettant le calcul du coefficient d'extension, ce qui permet d'avoir une erreur d'impédance de ligne inférieure à 1%. Pour la modélisation j'ai préféré l'utilisation de variables afin de toujours garder une homogénéité lors de modifications.

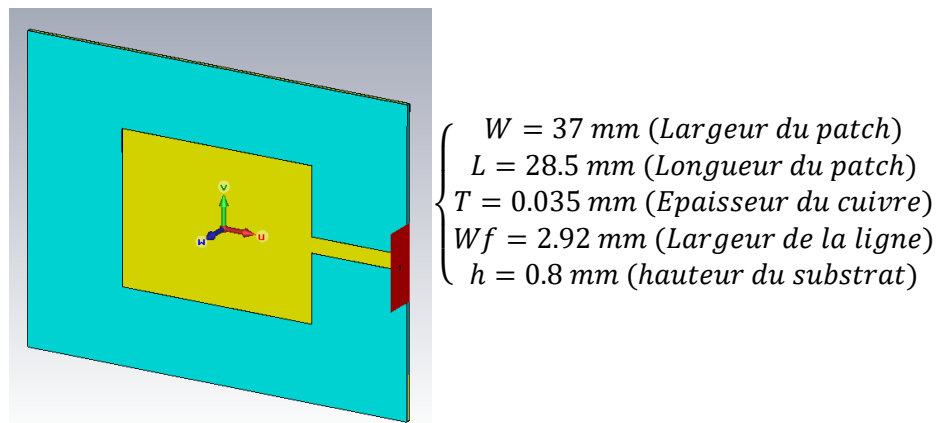
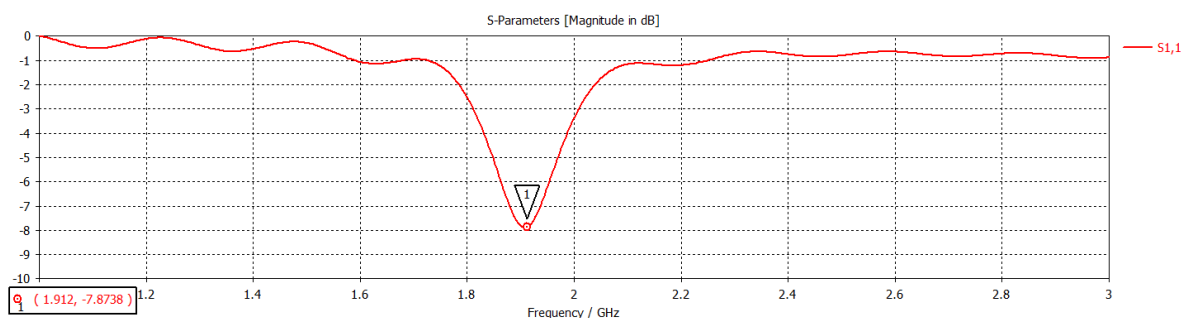


Figure 10 : Modèle patch sous CST

A la suite de cela, j'ai pu lancer la simulation et constater les mêmes erreurs que lors des essais de dimensionnement de l'antenne. Effectivement, la fréquence de résonance de l'antenne n'ait pas de 2.45GHz, mais de 1.91GHz

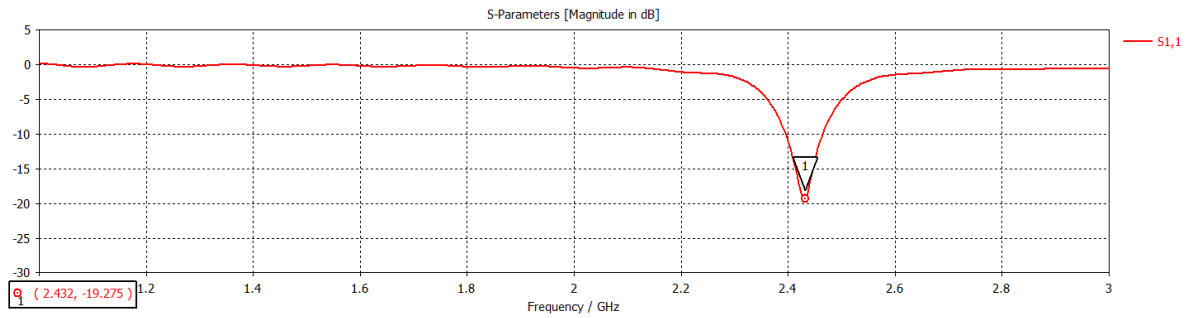


Cette différence est due à deux choses :

- la ligne d'alimentation n'est pas placée sur le bon côté du patch, elle devrait être sur le grand côté.
- la carte a été tirée sur un substrat d'une hauteur de 0.8 mm et non pas 1.6 mm, paramètre qui rentre en compte pour le calcul de l'impédance de ligne.

En simulant l'antenne avec ces nouveaux paramètres, on observe bien que la fréquence de résonance est de 2.43 GHz pour -19 dB.

Localisation dans le corps humain



Par la suite, j'ai réalisé une deuxième simulation en ajoutant une autre antenne.

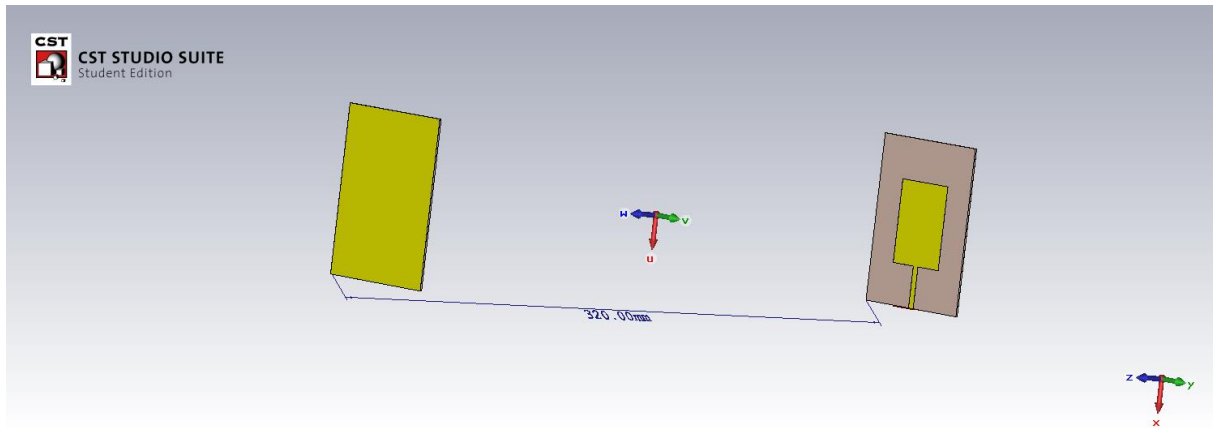
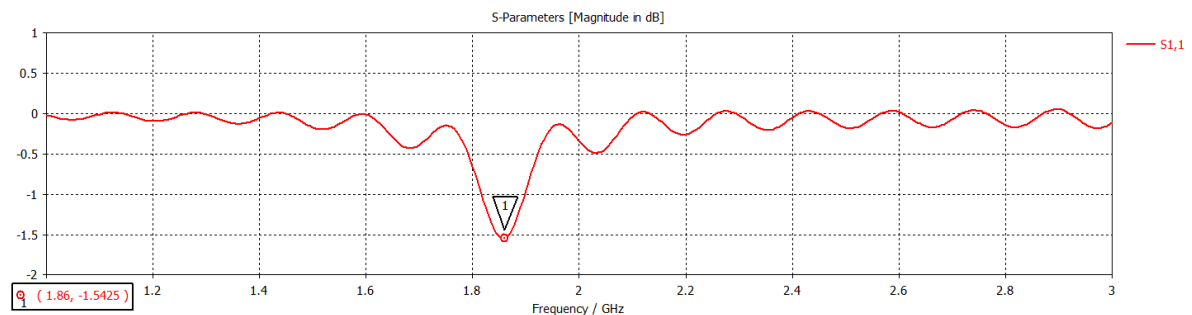


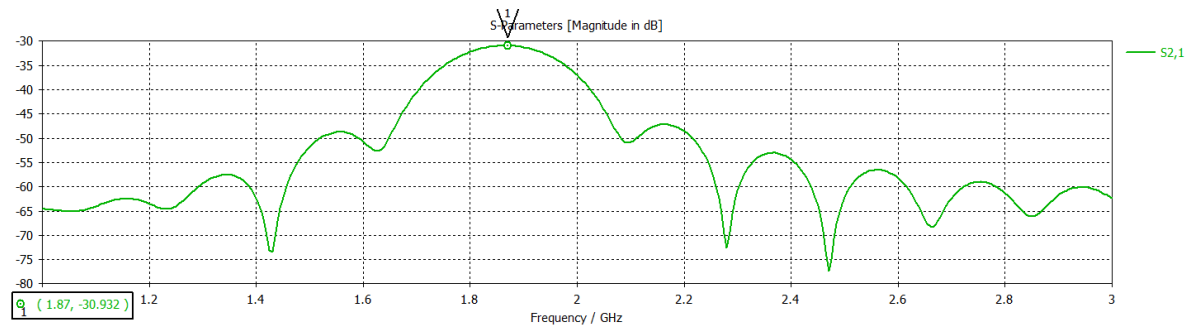
Figure 11 : Deuxième test sous CST

Le principe de modélisation reste le même, la seule différence est qu'il faut définir la source de façon à ne pas alimenter la deuxième antenne qui est celle de réception. Les résultats montrent une réception à 1.86 GHz, un léger décalage en fréquence qui peut être dû aux paramètres de simulation. Ayant une licence étudiante du logiciel, mes simulations sont limitées par le nombre de cellules du maillage (afin d'effectuer tous les calculs nécessaires, le logiciel divise le volume à simuler en cellules d'une certaine taille, plus le nombre de cellules est important et plus les résultats sont précis. Ici, la licence me limite à 30000 cellules donc, plus il y a d'éléments et plus les résultats présentent des imprécisions).

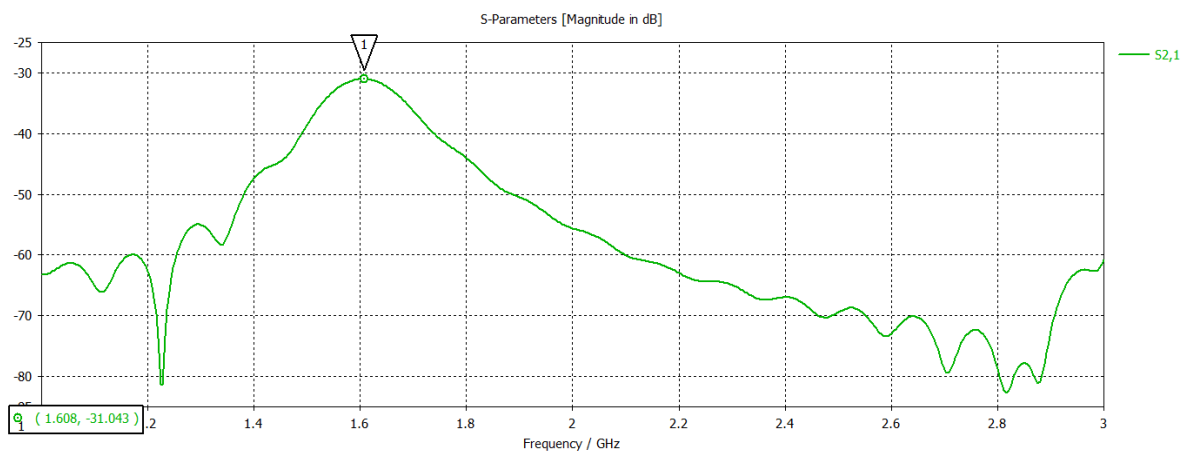
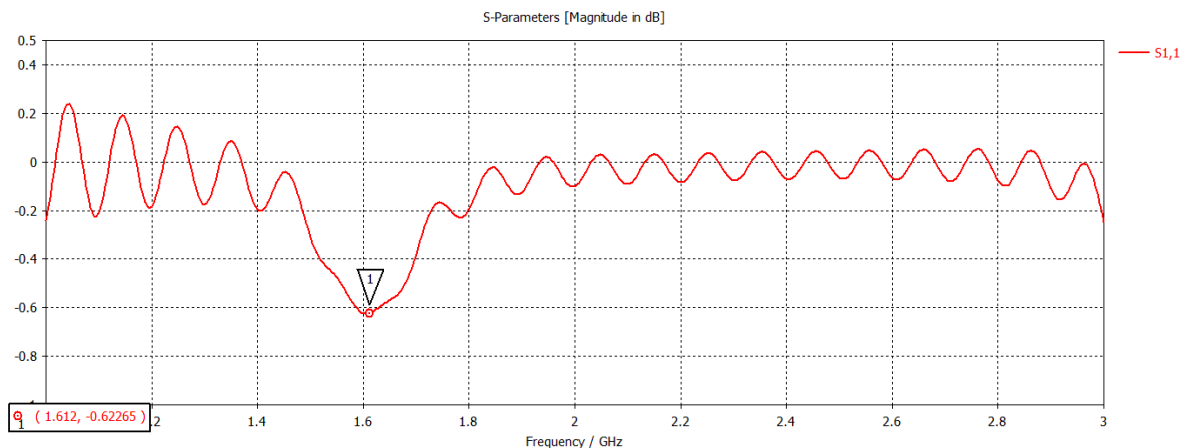


Paramètre S21 relevé à l'antenne de réception.

Localisation dans le corps humain



Pour la troisième simulation, j'ai essayé de reprendre le principe des essais que j'ai réalisé en intégrant un circuit résonnant entre les deux antennes. Les résultats obtenus ne sont pas en accord avec les mesures réalisées. On observe une désadaptation alors que les antennes ont le même espacement que lors des tests. Ci-dessous l'essai à une distance de 30 cm présentant un décalage en fréquence de 200MHz, mais on ne relève pas de différence sur la puissance reçue. Augmenter l'espacement entre les antennes, augmente le volume de simulation donc le nombre de cellules de maillage. J'ai donc modifier certaines propriétés afin de pouvoir lancer ma simulation mais ceci entraîne des résultats incohérents.



2.3 Le corps humain

Le corps humain est composé d'une multitude de milieux biologiques présentant des propriétés différentes telles que les liquides et les tissus musculaires ou encore les os. Tous ces milieux posent certains problèmes pour la compatibilité avec les matériaux et la conductivité électrique. Dans le cas de la compatibilité des matériaux, on peut se demander si un tag RFID serait inoffensif pour l'homme. Pour éviter ce problème, il existe des matériaux biocompatibles déjà utilisés par la médecine comme le titane pour les pacemakers, le silicone utilisé pour les implants mammaires ou encore le verre utilisé dans les implants orthopédiques, ... Il serait donc possible de réaliser un système biocompatible tel que la puce RFID sous-cutanée encapsulée dans du verre, ou, tout simplement, comme l'hypothèse de base et la réalisation d'un circuit rayonnant, il serait possible d'envisager un circuit imprimé compatible avec le corps humain.

Concernant les problèmes de conductivité, le calcul de celle-ci se révélerait trop compliqué à mettre en œuvre en raison à une trop grande quantité de milieux (tissus musculaires, sang, os, ligaments, ...) et serait donc variable suivant le positionnement dans le corps humain. Comme ce projet reste un projet de recherche sur la possibilité de la détection d'une puce RFID dans le corps humain, une première approche d'une conductivité moyenne pourra être envisagée et les tests permettront de vérifier cette hypothèse.

Un dernier problème se pose concernant davantage l'Homme que le corps, mais qui reste hypothétique car la production d'un tel système n'est pas envisagée. Du point de vue éthique le problème d'éthique, l'implantation de système communicant dans le corps présenterait le risque de forme de contrôle de l'individu par la société ou encore des intrusions dans la vie privée par piratage de données. Ceci reste tout de même un problème hypothétique.

3 Bilan du projet

3.1 Problèmes rencontrés

Le principal facteur qui a ralenti ce projet est l'organisation, d'une part je me suis mal organisé au départ et d'une autre part, le projet nécessitait la gravure de carte qui prend entre 2 à 7 jours suivant le travail de M Flamen, ainsi que l'accès à des équipements qui ne sont pas en libre-service, pour lesquels, il faut en faire la demande en amont et la disponibilité des appareils dépend de celle du professeur.

D'un autre côté, mes connaissances sur les antennes étaient très minimales au début du projet. Cela m'a donc pris plus de temps que nécessaire pour synthétiser les informations que j'avais trouvées et pour les mettre en œuvre. Mais au fur et à mesure de l'avancement du projet, celles-ci se sont renforcées et m'ont permis de comprendre plus rapidement les résultats obtenus.

Pour finir, j'ai rencontré plusieurs problèmes liés au dimensionnement des antennes et des circuits résonnants. Dans un premier temps, mes antennes patch étaient mal réalisées donc la fréquence de résonnance effective n'était pas celle attendue, ce qui a pu provoquer le fait que certains circuits résonnants ne fonctionnaient pas à cette nouvelle fréquence. Dans un deuxième temps, mes différents circuits ont été dimensionnés par rapport à des systèmes trouvés sur internet et pour certains qui fonctionnaient comme antenne d'émission/réception alors que mes circuits devaient être des systèmes passifs.

3.2 Conclusion

A ce niveau de progression, je peux dire que mes antennes permettant la mesure du système étudié fonctionnent même si celles-ci ne correspondent pas aux conditions initiales. Par contre, malgré plusieurs essais, je n'ai pas réussi à avoir des résultats concluants concernant mes circuits. Néanmoins, l'hypothèse que d'autres circuits pourraient fonctionner reste plausible, mais le fait de vouloir faire de la localisation derrière est compromis car les puissances reçues restent très faibles en comparaison des systèmes alimentés.

Je me suis rendu compte que le fait de travailler seul sur ce projet n'était pas forcément un point positif étant donné que c'est un projet de recherche et qu'il est nécessaire d'explorer toutes les éventualités. Travailler en équipe aurait pu permettre de balayer plus de possibilités et de confronter nos idées.

J'ai trouvé que ce projet était très enrichissant. Effectivement le domaine médical reste un secteur où les améliorations n'ont pas de limites, et le fait de travailler avec cette objectif final en tête même si celui-ci n'a pas été atteint donne une autre vision du travail demandé.

De plus, mes compétences concernant les antennes ainsi que les systèmes résonnants dans leur globalité ont été enrichies tout au long de l'avancement du projet et m'ont permis de voir différemment les systèmes résonnants.

4 Bibliographie

Corps humain :

http://olivier.albenge.pagesperso-orange.fr/page_site/Site_mat/biomat/bio_types.htm [en ligne]

<http://www.ppgee.ufmg.br/defesas/848D.PDF> [en ligne]

RFID :

<https://fr.wikipedia.org/wiki/Radio-identification> [en ligne]

<http://www.centrenational-rfid.com/definition-de-la-rfid-article-71-fr-ruid-17.html> [en ligne]

<http://www.commentcamarche.net/contents/1028-rfid-radio-frequency-identification> [en ligne]

Chipless RFID :

<http://kth.diva-portal.org/smash/get/diva2:700169/FULLTEXT01.pdf>

<http://cdn.intechweb.org/pdfs/14423.pdf>

https://en.wikipedia.org/wiki/Chipless_RFID

<https://www.rfidjournal.com/faq/show?72>

CST Studio Suite :

<https://www.cst.com/>

Antenne patch :

<http://www.emtalk.com/mpacalc.php>

<http://linux.students.engr.scu.edu/~bhorwath/presentations/Microstrip%20Patch%20Antenna%20Design.pdf>

Antenne PCB :

<http://colinkarpfinger.com/blog/2010/the-dropouts-guide-to-antenna-design/>

<http://www.ti.com/lit/an/swra117d/swra117d.pdf>

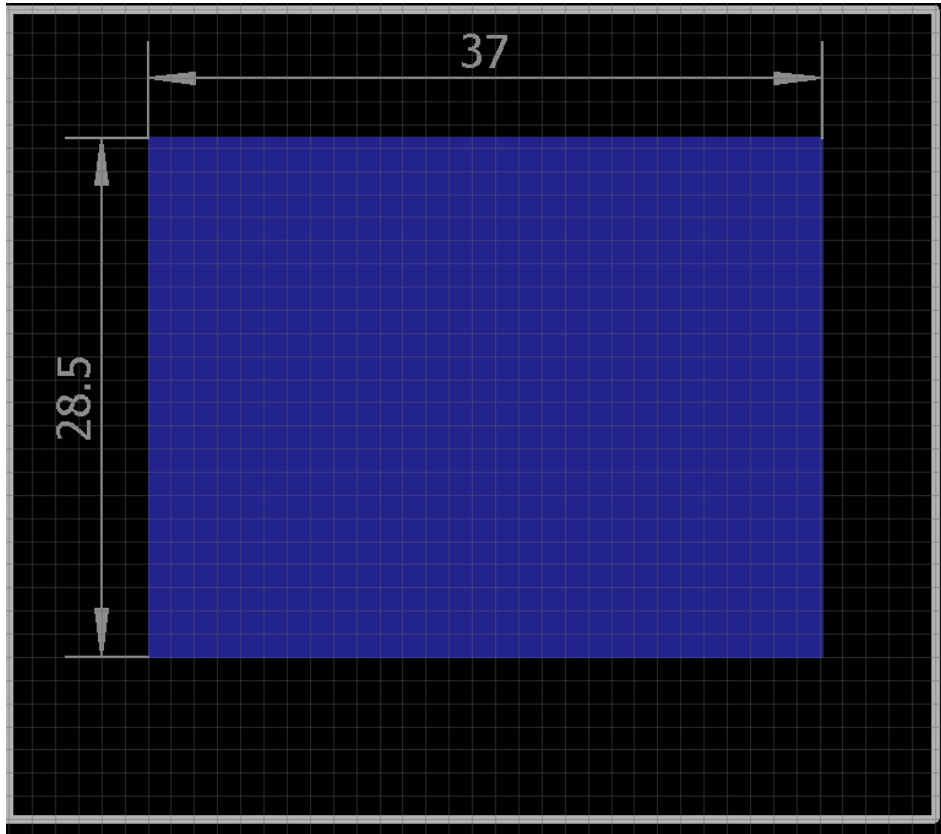
http://www.st.com/web/en/resource/technical/document/application_note/DM00024648.pdf

<http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/AN697.pdf>

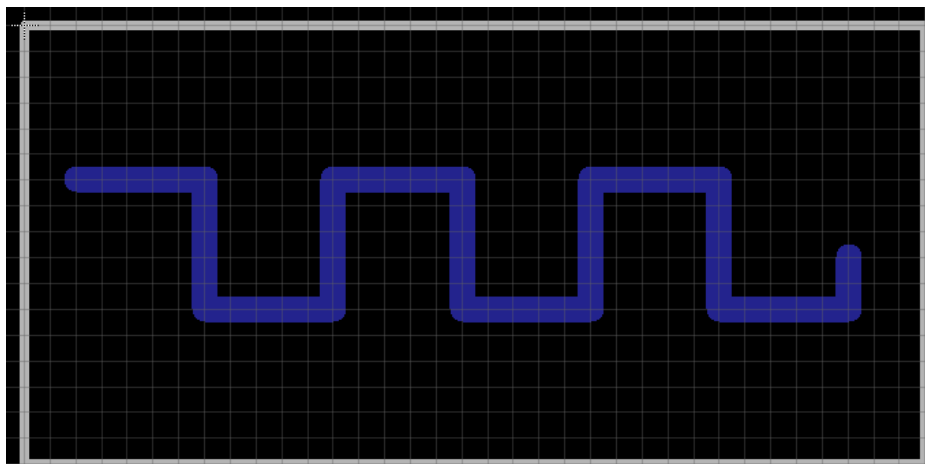
5 Annexe

PCB des antennes :

Patch



Dipôle



Antennes patch et les différents circuits résonnant :

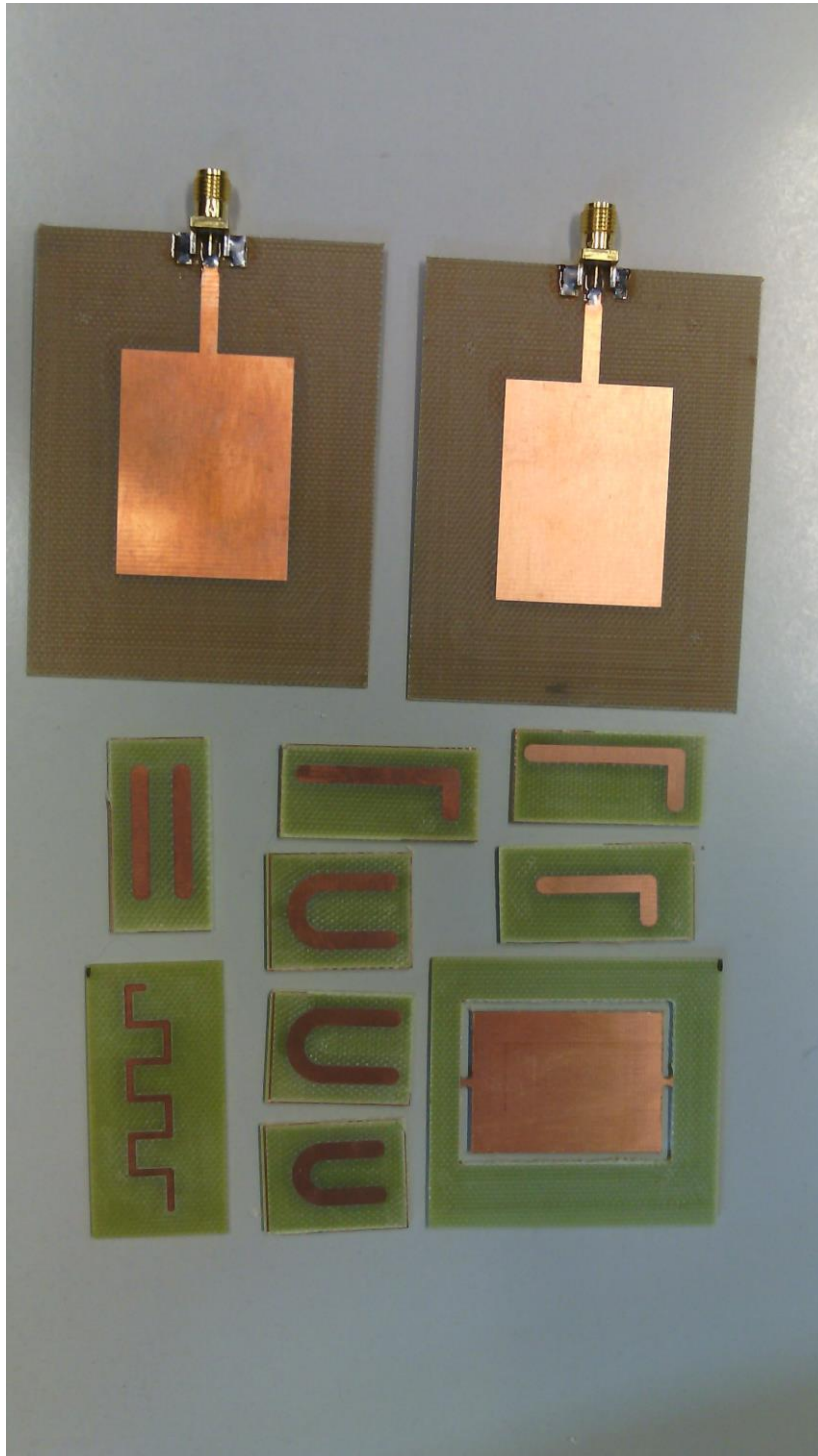
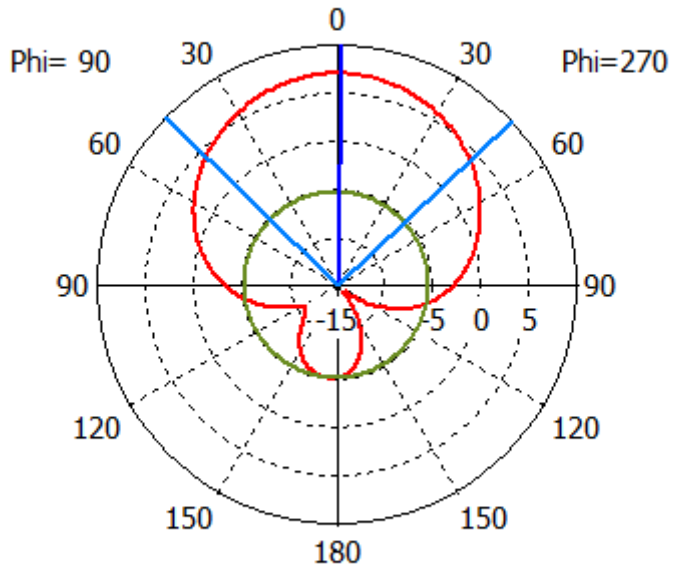


Diagramme de rayonnement de l'antenne patch, à gauche avec les corrections sur le dimensionnement et à droite sans celles-ci.

Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Theta / Degree vs. dBi

Frequency = 2.45

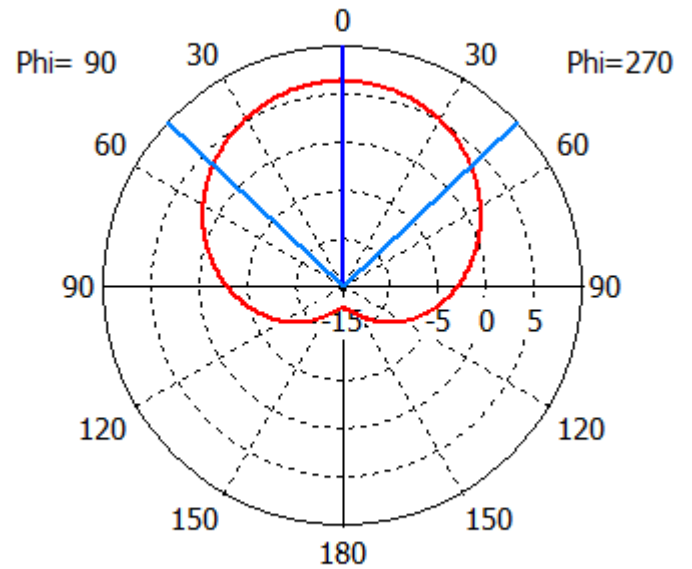
Main lobe magnitude = 7.03 dBi

Main lobe direction = 1.0 deg.

Angular width (3 dB) = 92.6 deg.

Side lobe level = -12.3 dB

Farfield Directivity Abs (Phi=90)



Theta / Degree vs. dBi

Frequency = 2.45

Main lobe magnitude = 6.37 dBi

Main lobe direction = 0.0 deg.

Angular width (3 dB) = 93.8 deg.

Test des antennes sur trépieds

