

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République algérienne démocratique et populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
جامعة عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département de Génie Electrique



Projet de Fin d'Etudes

Pour l'obtention du diplôme de Master en : Réseaux et

Télécommunications

Filière : Télécommunication

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Thème

**Détection du cancer du sein par usage d'une antenne patch micro-ruban
avec le signal électromagnétique**

Présenté Par :

1) Melle. DERFOUF ALIAA MAOUAHIB

2) Melle. BENIKHLEF FATMA FARRAH

Devant le jury composé de :

Dr.Hachemi Belkacem	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Dr.Moulessehoul Wassila	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examinatrice
Dr. Ferouani Souheyla	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrante
Dr. Mouffi Bouchra	DOCTORANTE	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Co-Encadrante

Année Universitaire 2023/2024

Remerciement

On remercie Dieu le tout puissant de nous avoir donné la santé et la volonté d'entamer et de terminer ce mémoire.

Tout d'abord, ce travail ne serait pas aussi abouti sans l'aide et l'encadrement précieux de **Mme Souheyla FEROUANI**, à qui nous exprimons notre profonde gratitude. Nous la remercions chaleureusement pour la qualité exceptionnelle de son encadrement, ainsi que pour sa patience, sa rigueur et sa disponibilité tout au long de la préparation de ce mémoire et sans oublier **Mme Bouchra MOULFI**.

Nous exprimons également notre reconnaissance envers les membres du jury, Dr Moulessehoul Wassila, MCA à l'université d'Ain Temouchent et Dr Hachemi Belkacem, MCB à l'université d'Ain Temouchent, qui ont manifesté leur intérêt pour notre étude et qui ont accepté avec honneur de juger notre travail

Enfin, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers toutes les personnes qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail.

Dédicace

À mon cher " père", je souhaite exprimer ma gratitude pour ses encouragements constants, son soutien indéfectible, et surtout, pour l'amour et le sacrifice dont il a fait preuve afin que rien ne vienne entraver ma progression dans mes études.

A mon ange, et ma force après Dieu, mon premier et éternel soutien "Mère" qui m'a soutenu et encouragé durant ces années d'étude et qui n'a jamais cessé de prier pour moi.

À mes "chères", "frère" et "sœur" source de joie et bonheur.

À mes " grands-parents", qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion, et étaient destinés à m'ont apporté leur soutien par leurs conseils et leurs prières.

À mes chères Safaa et Chaimaa, à mon binôme, je tiens à lui exprimer ma reconnaissance, pour son soutien, sa patience, sa présence e exemplaire et sa compréhension tout au long de ce projet.

Aux défunts, grand père, grand-mère, paix à leur Ames.

Derfouf Aliaa Maouahib

Dédicace

À mon " père", que la paix soit sur son âme, dont la lumière continue d'illuminer mon chemin malgré son absence physique. " Papa", j'espère de tout cœur que tu es fier de moi et de ce que j'ai accompli.

À ma " mère", qui incarne la force et le courage, et qui a assumé deux rôles avec grâce et détermination. Tu es ma force après Allah, et sans toi, je n'en serais pas là aujourd'hui.

À toute ma famille, pilier solide de ma vie, votre amour et votre soutien sont mes fondations.

À mes âmes " sœurs" et à mes " copines", vous êtes les rayons de soleil qui illuminent mes journées sombres.

À ma binôme, complice de mes réussites et alliée dans les défis, cette réussite est aussi la tienne.

Benikhlef Fatma Farrah.

Résumé

La détection du cancer du sein par micro-ondes est une méthode prometteuse qui peut compléter les techniques de dépistage traditionnelles en offrant une approche non invasive, potentiellement plus confortable et moins coûteuse. Elle a le potentiel d'améliorer les taux de dépistage précoce et les chances de traitement réussi, bien que des recherches supplémentaires soient nécessaires pour surmonter les défis techniques et valider son efficacité clinique.

L'objectif de notre mémoire est de concevoir une antenne patch optimisée pour fonctionner à 2,45 GHz, afin de détecter les tumeurs du sein par rayonnement électromagnétique. Cette technique permet une détection précoce des tumeurs par imagerie micro-ondes ou analyse du signal réfléchi. Les résultats obtenus, notamment en termes de coefficient de réflexion, de champs électrique et magnétique (E-field, H-field) et de surface courante, montrent que cette antenne est adaptée à ce type d'application.

Mots clé : Antenne patch hexagone, cancer du sein, dépistage, rayonnement, imagerie par microonde.

Abstract

Breast cancer detection using microwaves is a promising method that can complement traditional screening techniques. By offering a non-invasive, potentially more comfortable, and less expensive approach, it has the potential to improve early detection rates and increase the chances of successful treatment. However, further research and development are needed to overcome technical challenges and validate the clinical effectiveness of this technology.

The aim of our thesis is to design a patch antenna optimized to operate at 2.45 GHz for the detection of breast tumors using electromagnetic waves. This technique allows for early tumor detection through microwave imaging or reflected signal analysis. The results obtained, particularly in terms of reflection coefficient, electric and magnetic fields (E-field, H-field), and surface current, show that this antenna is suitable for this type of application.

Keywords: Hexagonal patch antenna, breast cancer, screening, radiation, microwave imaging.

المخلص

اكتشاف سرطان الثدي باستخدام الموجات الدقيقة هو طريقة واعدة يمكن أن تكمل تقنيات الفحص التقليدية. من خلال تقديم نهج غير جراحي، أكثر راحة وتكلفة أقل، فإنه يمتلك القدرة على تحسين معدلات الاكتشاف المبكر وزيادة فرص العلاج الناجح. ومع ذلك، هناك حاجة لمزيد من البحث والتطوير للتغلب على التحديات التقنية والتحقق من فعالية هذه التقنية سريريًا.

يهدف بحثنا إلى تصميم هوائي رفعة مُحسّن ليعمل بتردد 2.45 جيجاهرتز لاكتشاف أورام الثدي باستخدام الموجات الكهرومغناطيسية. تتيح هذه التقنية الكشف المبكر عن الأورام من خلال التصوير بالموجات الدقيقة أو تحليل الإشارة المنعكسة. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها، خاصة فيما يتعلق بمعامل الانعكاس، الحقول الكهربائية والمغناطيسية (E-field, H-field)، والتيار السطحي، أن هذا الهوائي مناسب لهذا النوع من التطبيقات.

الكلمات المفتاحية: هوائي رفعة سداسي، سرطان الثدي، الفحص، الإشعاع، التصوير بالموجات الدقيقة.

Table des matières

Remerciement	2
Dédicace.....	3
Dédicace	4
Résumé.....	5

Chapitre I : Généralités sur les antennes imprimées

Introduction générale.....	15
I. Introduction	1
II. Définition de l'antenne patch	1
III. Les caractéristiques des antennes	2
III.1 Caractéristiques électriques :	2
III.1.1 Coefficient de réflexion et taux d'ondes Stationnaires.....	2
III.1.2 L'impédance d'entrée de l'antenne	3
III.1.3 La bande passante	3
III.2 Caractéristiques de rayonnement :	3
III.2.1 Diagramme de rayonnement.....	3
III.2.2 La directivité et le gain	4
III.2.3 Le rendement	5
IV. Techniques d'alimentation des antennes patch	5
IV.1 Alimentation par contacte.....	5
IV.1.1 Alimentation par Sonde coaxiale	5
IV.1.2 Alimentation par ligne micro ruban	6
IV.2 Alimentation par couplage (sans contact).....	6
IV.2.1 Alimentation par couplage par fente (ouverture)	6
IV.2.2 Alimentation par couplage de proximité	7
V. Les techniques d'adaptation des antennes imprimées	7
V.1 Adaptation par ligne quart d'onde.....	8
V.2 Adaptation par STUB.....	8
V.3 Adaptation avec encoche	8
VI. Mécanisme de rayonnement d'une antenne patch.....	9
VII. Les domaines d'applications de l'antenne patch.....	9
VIII. Les avantages et les inconvénients des antennes imprimées.....	10
VIII.1 Les avantages des antennes patch	10

VIII.2 Les inconvénients de l'antenne patch	11
IX. Conclusion.....	11

Chapitre II : La détection du cancer du sein

I. Introduction	15
II. Anatomie du sein.....	15
III. Le cancer du sein.....	16
IV. Les catégories du cancer du sein	17
IV.1 Tumeur bénigne	17
IV.2 Tumeur maligne.....	17
V. Les différents stades du cancer du sein	17
VI. Les propriétés électriques des tissus.....	18
VI.1 Le tissu malin.....	19
VI.2 Le tissu mammaire.....	20
VII. Imagerie médicale pour le dépistage du cancer du sein	21
VII.1 La mammographie.....	21
VII.2 Imagerie par ultrasons (L'Echographie).....	21
VII.3 Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)	22
VIII. Détection du cancer du sein par micro-onde	24
IX. Conclusion.....	24

Chapitre III : Résultats et simulations

I. Introduction	27
II. Présentation de l'outil de travail 'logiciel CST'	27
II.1 Description générale du logiciel.....	28
III. Antenne patch hexagone alimenté par une ligne micro ruban	30
III.1 Géométrie de base	30
III.2 Résultats de simulation	32
III.2.1 Coefficient de réflexion S [1,1]	32
IV. Adaptation de l'antenne patch hexagone à 2.45GHz	33
IV.1 Résultats des simulations	34
IV.1.1 Coefficient de réflexion S [1,1].....	34
IV.2 Résultats finales	34
IV.2.1 Coefficient de réflexion S [1,1] ; VSWR	34

IV.2.2 Diagramme de rayonnement	35
V. Détection de la tumeur du sein par rayonnement à l'aide de l'antenne patch hexagone...	35
V.1 Simulation de l'antenne patch hexagone avec le modèle du sein sans tumeur.....	35
V.2 Résultat de simulation	36
V.3 Simulation de l'antenne patch hexagone avec le modèle du sein avec la tumeur.....	39
V.4 Résultat de simulation.....	40
V.5 Amélioration des performances	42
VI. Prototype et mesure de l'antenne patch hexagone	43
VII. Conclusion.....	44

LISTE DES FIGURES

Chapitre I : Généralités sur les antennes imprimées

FIGURE I - 1 : LES DIFFERENTS FORMES DU PATCH	2
FIGURE I - 3 LES PARAMETRES D'ANTENNE PATCH.	2
FIGURE I - 2 ANTENNE PATCH HEXAGONALE.	2
FIGURE I - 4 LA BANDE PASSANTE A -10DB D'UNE ANTENNE.	3
FIGURE I - 5 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT D'UNE ANTENNE.	4
FIGURE I - 6 : L'ANGLE D'OUVERTURE.	4
FIGURE I - 7 : ALIMENTATION PAR SONDE COAXIAL.	5
FIGURE I - 8 : ALIMENTATION PAR LIGNE MICRO-RUBAN.	6
FIGURE I - 9 : ALIMENTATION PAR FENTE	7
FIGURE I - 10 : ALIMENTATION DE PROXIMITE.	7
FIGURE I - 11 : ADAPTATION PAR LIGNE QUART D'ONDE.	8
FIGURE I - 12 : ADAPTATION PAR STUB.	8
FIGURE I - 13 : ADAPTATION AVEC ENCOCHE	9
FIGURE I - 14 : MECANISME DE RAYONNEMENT D'ANTENNE PATCH	9

Chapitre II : La détection du cancer du sein

FIGURE II - 1 : ANATOMIE DU SEIN	10
FIGURE II - 2 : FORMES DES TUMEURS BENIGNES ET MALIGNES	17
FIGURE II - 3 : LES DIFFERENTS STADES DU CANCER DU SEIN	18
FIGURE II - 4 (A) : LA VARIATION DE LA PERMITTIVITE ; (B) : LA CONDUCTIVITE DES TISSUS NORMAUX ET MALINS ENTRE 3MHZ ET 3GHZ	20
FIGURE II - 5 : UNITE DE MAMMOGRAPHIE UTILISANT DES RAYONS X	21
FIGURE II - 6 : PHOTOGRAPHIE D'UN ECHOGRAPHE	22
FIGURE II - 7 : EXAMEN IRM	28

Chapitre III : Résultats et simulations

FIGURE III - 1 CREATION D'UN NOUVEAU PROJET.....	28
FIGURE III - 2 CHOIX DU TYPE D'ANTENNE.....	28
FIGURE III - 3 CHOIX D'UNITES ET FREQUENCE.....	29
FIGURE III - 4 L'INTERFACE DE LOGICIEL CST.....	30

FIGURE III - 5 ANTENNE PATCH HEXAGONE INITIALE PROPOSEE (A) VUE DE FACE ; (B) VUE D'DERRIERE.....	30
FIGURE III - 6 COEFFICIENT DE REFLEXION S11 DE L'ANTENNE PATCH HEXAGONE INITIALE PROPOSEE.....	32
FIGURE III - 7 LA GEOMETRIE FINALE DE L'ANTENNE PATCH HEXAGONE A 2.45GHZ (A)VUE DERRIERE (B)VUE DE FACE.....	33
FIGURE III - 8 COEFFICIENT DE REFLEXION S11 DE L'ANTENNE PATCH HEXAGONE A 2.45GHZ.....	34
FIGURE III - 9 RESULTATS DE SIMULATION A 2.45GHZ (A) LE S11 ; (B) VSWR.....	34
FIGURE III - 10 DIAGRAMME DE RAYONNEMENT 3D A 2.45GHZ (A) LE GAIN ; (B) LA DIRECTIVITE.....	35
FIGURE III - 11 ANTENNE PATCH HEXAGONE EN CONTACT AVEC LE MODELE DU SEIN.....	36
FIGURE III - 12 CHANGEMENT DE POSITION DE L'ANTENNE (A)25MM ; (B)30MM ; (C)35MM ; (D)37MM.	37
FIGURE III - 13 COEFFICIENT DE REFLEXION S11 DE L'ANTENNE POUR LES QUATRE POSITIONS.....	37
FIGURE III - 14 LE DIAGRAMME DE RAYONNEMENT (A) LE GAIN 3D ; (B) LA DIRECTIVITE ; (C) LE GAIN POLAIRE.....	38
FIGURE III - 15 (A) E-FIELD ; (B) H-FIELD ; (C) DENSITE DE COURANT DE SURFACE.	39
FIGURE III - 16 MODELE DU SEIN AVEC LA TUMEUR EN CONTACT AVEC L'ANTENNE PATCH HEXAGONE.	40
FIGURE III - 17 COEFFICIENT DE REFLEXION S11 DE L'ANTENNE PATCH HEXAGONE A 25MM AVEC LA TUMEUR.	40
FIGURE III - 18 LE DIAGRAMME DE RAYONNEMENT (A)LE GAIN 3D ; (B)LA DIRECTIVITE	41
FIGURE III - 19 (A) E-FIELD ; (B) H-FIELD ; (C) DENSITE DE COURANT DE SURFACE.	42
FIGURE III - 20 COEFFICIENT DE REFLEXION S11 DE L'ANTENNE PATCH HEXAGONE A 25MM AVEC LA TUMEUR DANS DIFFERENTES POSITIONS.	42
FIGURE III - 21 MESURE DE L'ANTENNE PATCH HEXAGONE AVEC L'ANALYSEUR RESEAU.....	44

LISTE DES TABLEAUX

Chapitre II : La détection du cancer du sein

TABLEAU II - 1 : LES PROPRIETES DIELECTRIQUES DU SEIN	20
TABLEAU II - 2 : AVANTAGES ET INCONVENIENTS DES TECHNOLOGIES D'IMAGERIE MEDICALE POUR LE DEPISTAGE DU CANCER DU SEIN	23

Chapitre III : Résultats et simulations

TABLEAU III - 1 : LES PARAMETRES DE L'ANTENNE PATCH HEXAGONE.....	32
TABLEAU III - 2 : ANTENNE PATCH HEXAGONE INITIALE PROPOSEE	33
TABLEAU III - 3 : LES PARAMETRES DE CONCEPTION POUR L'ADAPTATION DU L'ANTENNE PATCH A 2.45GHZ.	34
TABLEAU III - 4 : PROPRIETES ET DIMENSIONS DU MODELE DU SEIN.	37
TABLEAU III - 5 : LES PROPRIETES TUMORALES.	41
TABLEAU III - 1 : Résumer des résultats de simulations.....	44

Liste des acronymes

IRM : L'Imagerie par Résonance Magnétique.

CST: Computer Simulation Technology.

VSWR: Voltage Standing Wave Ratio.

3D : Trois dimensions.

EM : Electromagnétique.

BP : Bande Passante.

dB : Décibel.

S11: Coefficient de réflexion.

ISM: Industrial, Scientific and Medical.

Radar: Radio Detection And Ranging.

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

En 2020, le cancer du sein était la cause de 685 000 décès dans le monde, avec 2,3 millions de nouveaux cas diagnostiqués chez les femmes. Ces chiffres alarmants soulignent l'urgence de développer de nouvelles méthodes de détection précoce afin d'améliorer les chances de traitement et de survie pour les patientes. Dans ce contexte, la technologie des antennes offre des perspectives prometteuses pour la détection du cancer du sein. Ce projet de fin d'étude, présenté en juin 2024, s'inscrit dans la continuité de la recherche sur le domaine d'applications des antennes patch. Notre objectif est de concevoir et de simuler une antenne patch hexagonale micro-ruban pour la détection des tumeurs du sein par rayonnement électromagnétique. Pour ce faire, nous nous appuyons sur la théorie des antennes en utilisant le logiciel CST Microwave Studio comme outil de simulation.

Le mémoire se compose de trois chapitres, chacun abordant un aspect spécifique de notre étude, Dans le chapitre 1, nous introduisons les concepts fondamentaux des antennes imprimées, en nous concentrant sur les antennes patch. Nous présentons brièvement les caractéristiques principales des antennes, les différentes techniques d'alimentation, les mécanismes de rayonnement, ainsi que leurs avantages et inconvénients.

Dans le chapitre 2, nous présentons une vue d'ensemble de l'anatomie du sein, des différents types de cancers du sein et des techniques de dépistage actuelles. Nous explorons également le potentiel de la détection la détection précoce des tumeurs mammaires par micro-ondes.

Le chapitre 3 concerne la Conception et la Simulation de l'Antenne Patch Hexagonale, nous détaillons les étapes de conception et d'optimisation de notre antenne patch hexagonale. Nous commençons par une présentation du logiciel de simulation CST, puis nous décrivons le modèle de fantôme du sein avec tumeur utilisé pour les simulations. Ensuite, nous présentons les résultats de simulation en termes de S11, E-Field et H-Field, et nous réalisons une étude comparative pour évaluer les performances de notre antenne. Enfin, nous présentons le prototype de notre antenne hexagone proposée mesurés à l'aide de l'analyseur réseau pour valider nos résultats de simulations.

En conclusion, ce projet de fin d'étude vise à explorer les possibilités offertes par les antennes patch pour la détection précoce du cancer du sein. Nous espérons que nos résultats contribueront à l'amélioration des méthodes de dépistage de cette maladie dévastatrice.

Chapitre I : Généralités sur les antennes imprimées

I. Introduction

Les antennes imprimées représentent une catégorie importante et largement utilisée d'antennes dans le domaine de l'ingénierie des télécommunications et de la conception des systèmes électroniques, elles jouent un rôle crucial en permettant la transmission et la réception des signaux électromagnétiques.

Ce chapitre vise à fournir un aperçu complet des généralités sur les antennes imprimées. Nous commencerons par définir ce qu'est une antenne imprimée et expliquerons les principes fondamentaux de son fonctionnement. Ensuite, nous mettrons en évidence les avantages clés offerts par les antennes imprimées par rapport à d'autres types d'antennes, tels que leur faible coût, leur légèreté et leur facilité d'intégration.

II. Définition de l'antenne patch

Antenne patch, antenne imprimée ou antenne planaire, [1] il se compose de plusieurs éléments sont [2] :

- **Plans de masse** : une surface conductrice couvre la partie inférieure du substrat, permet de rayonner la partie supérieure [3].
- **Substrat** : élément diélectrique utilisé pour augmenter la puissance rayonnée par l'antenne et réduire les pertes par effet joule et amélioré la BP de l'antenne [4], et en trouve 5 types :
 - ✓ FR4 (Fiberglass-Reinforced Epoxy) : la plus utilisée dans le marcher
 - ✓ Rogers RT/Duroid
 - ✓ Polyimide (PI) Teflon (PTFE)
 - ✓ Céramique
- **Élément rayonnant (patch)** : généralement fabriqué à base des matériaux conducteurs tel que le cuivre, l'argent ou l'or. Il a plusieurs formes comme le montre la figure I-1 :

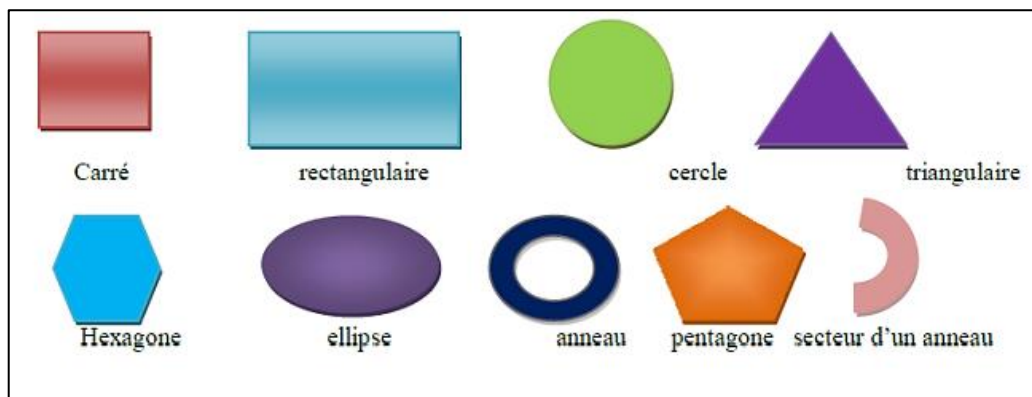


Figure I – 1 : Les différents formes du patch [5].

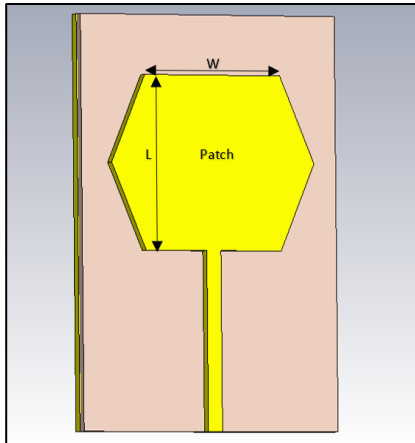


Figure I - 2 Antenne patch hexagonale.

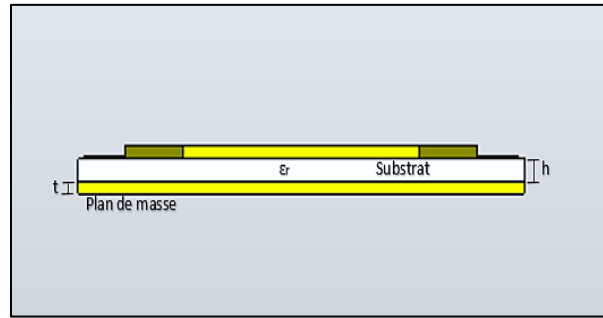


Figure I - 3 les paramètres d'antenne patch.

III. Les caractéristiques des antennes

III.1 Caractéristiques électriques :

Il y'a plusieurs paramètres de cette caractérisation tels que l'impédance d'entrée, le coefficient de réflexion, le rapport d'ondes stationnaires, la bande passante, le facteur de qualité, la température de bruit... [6]

III.1.1 Coefficient de réflexion et taux d'ondes Stationnaires

Le coefficient de réflexion est le rapport entre l'onde réfléchi en entrée de l'antenne et l'onde incidente [8] exprimer par :

$$S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c} \quad (I.1)$$

Plus généralement il est exprimé en décibel (dB) et est noté :

$$S_{11}(dB) = 20 \log|S_{11}| \quad (I.2)$$

Alors que le rapport d'onde stationnaire VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) est le rapport d'onde stationnaire, qui représente le rapport entre les champs électriques maximal et minimal [6,8] et caractérisé par l'équation :

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad (I.3)$$

Mutuellement, le coefficient de réflexion en fonction du VSWR est :

$$|S_{11}| = \frac{VSWR - 1}{VSWR + 1} \quad (I.4)$$

III.1.2 L'impédance d'entrée de l'antenne

C'est l'impédance de la ligne d'alimentation au niveau de l'antenne. En émission, il s'agit du rapport complexe entre la tension et le courant à l'entrée d'une antenne [8] et donnée par la formule :

$$z_{in} = z_c \frac{(1+s_{11})}{(1-s_{11})} \quad (I.5)$$

III.1.3 La bande passante

La bande passante est la gamme de fréquence ou le transfert d'énergie est maximal [5]. Généralement elle est prise où le coefficient de réflexion est égale à -10 dB, c'est-à-dire là où 90 % de la puissance fournie par l'antenne est transformée et le reste est réfléchi, La bande passante peut être définie en fonction du coefficient de réflexion, à condition que le diagramme de rayonnement ne change pas dans cette bande [1].

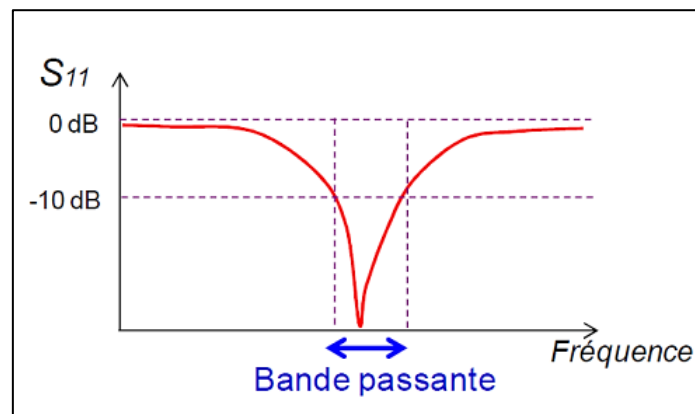


Figure I - 4 la bande passante a -10db d'une antenne [7].

III.2 Caractéristiques de rayonnement :

III.2.1 Diagramme de rayonnement

C'est un diagramme qui représente les variations de la puissance que rayonne l'antenne par unité d'angle solide dans les différentes directions de l'espace [9], et il existe trois formes typiques de diagrammes de rayonnement : rayonnement isotrope, rayonnement omnidirectionnel et rayonnement directif.

Une antenne réelle ne rayonne pas de façon omnidirectionnelle (isotrope). Son diagramme de rayonnement présente des directions privilégiées et des directions où le champ rayonné est nul [6].

Une antenne isotrope, c'est à dire rayonnant l'énergie électromagnétique de façon identique dans toutes les directions de l'espace, sa densité surfacique :

$$S = \frac{P}{4\pi r^2} \tag{I.7}$$

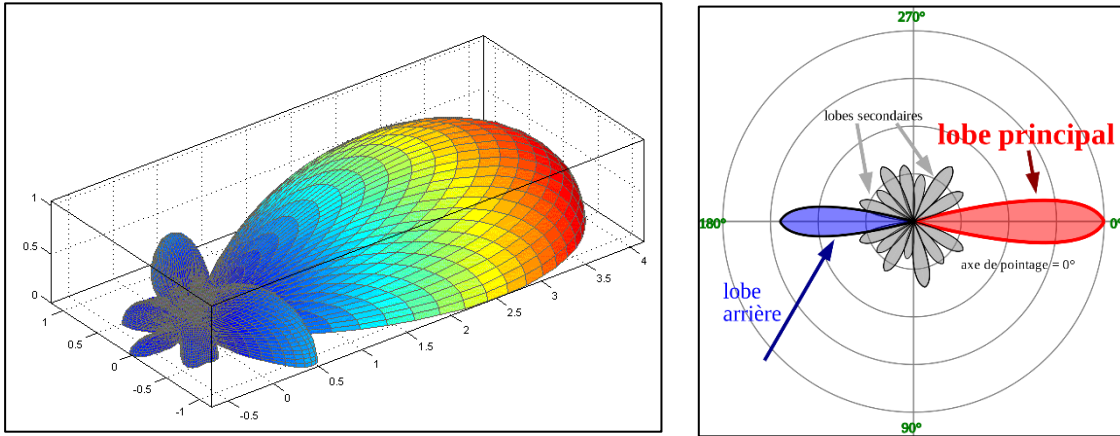


Figure I - 5 : Diagramme de rayonnement d'une antenne [8].

- L'angle d'ouverture d'une antenne :** est l'angle de direction correspond à celui pour lequel la puissance rayonnée est réduite de moitié (-3 dB) par rapport à la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable ; plus cet angle est large, plus l'antenne peut couvrir une zone étendue [1].

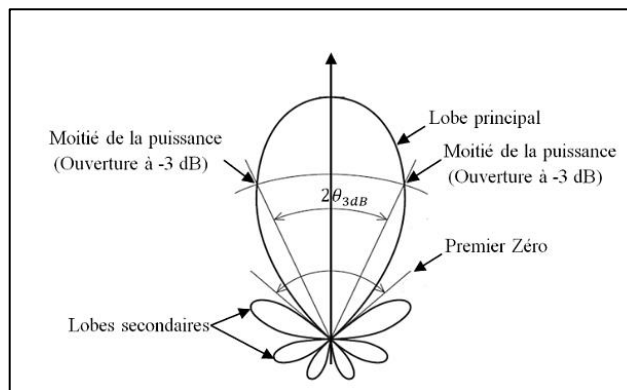


Figure I - 6 : L'angle d'ouverture. [10]

III.2.2 La directivité et le gain

C'est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $D(\theta, \varphi)$ et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope [5,8].

$$D(\theta, \varphi) = \frac{4\pi P(\theta, \varphi)}{P_r} \quad (I.8)$$

En décibel :

$$D(\theta, \varphi) \text{ (dB)} = 10 \log \left[4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r} \right] \quad (I.9)$$

Le gain est le résultat de deux effets, la directivité et la perte et définie par l'expression [5] :

$$G(\theta, \varphi) = \eta \times D(\theta, \varphi) \quad (I.10)$$

III.2.3 Le rendement

Le rendement est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, et exprimée par [5]:

$$\eta = \frac{P_r}{P_f} \quad (I.11)$$

IV. Techniques d'alimentation des antennes patch

Il existe plusieurs techniques pour alimenter une antenne micro ruban, à savoir les techniques avec ou sans contact :

IV.1 Alimentation par contacte

IV.1.1 Alimentation par Sonde coaxiale

Le conducteur interne du connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch, tandis que le conducteur externe est connecté au plan de masse [11].

Cette méthode est facile à fabriquer et à adapter, et présente un faible rayonnement parasite. Par contre sa bande passante est étroite et elle est plus difficile à modéliser [8].

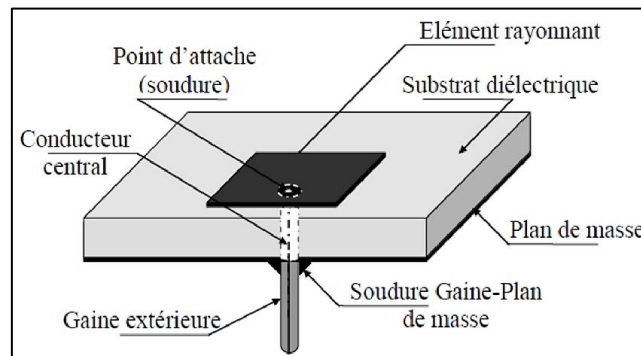


Figure I - 7 : Alimentation par sonde coaxial [3].

IV.1.2 Alimentation par ligne micro ruban

Dans cette méthode d'alimentation, la ligne micro ruban est directement connectée à la plaque rayonnante coaxial, son rôle est d'acheminer l'onde vers l'antenne sans qu'il y ait de pertes par rayonnement [12]. Nous avons utilisé cette technique dans notre travail tel que le montre la figure I-8 ; Cette méthode est privilégiée dans les antennes patch en raison de sa simplicité de fabrication et de son faible coût. [8]. L'impédance caractéristique Z_c de cette ligne est influencée par sa largeur W_c et les propriétés du substrat sur lequel elle est imprimée (ϵ_r, h). L'impédance caractéristique de la ligne est donnée par l'équation [13] :

$$\frac{W_c}{h} = \begin{cases} \frac{8e^A}{e^{2A}-2} \\ \frac{2}{\pi} \left[[B - 1 - \ln(2B - 1)] + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} (\ln(B - 1) + 0.39 - \frac{0.61}{\epsilon_r}) \right] \end{cases} \quad (I.12)$$

Où

$$A = \sqrt{\frac{\epsilon_r + 1}{2}} + \frac{\epsilon_r - 1}{2\epsilon_r} \left(0.23 + \frac{0.11}{\epsilon_r} \right)$$

$$B = \frac{377\pi}{2Z_c\sqrt{\epsilon_r}}$$

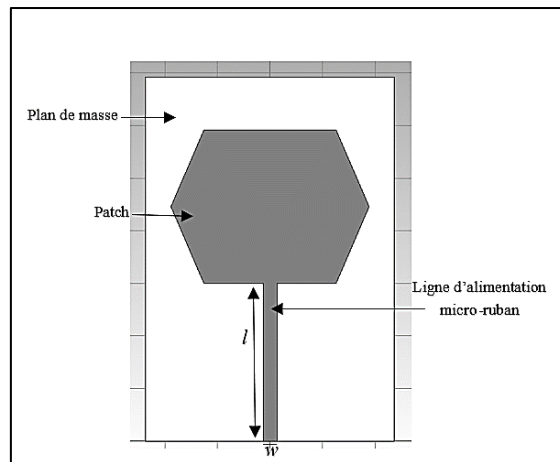


Figure I - 8 : alimentation par ligne micro-ruban.

IV.2 Alimentation par couplage (sans contact)

IV.2.1 Alimentation par couplage par fente (ouverture)

Dans ce cas, on utilise deux substrats parallèles (figure I-9) : le substrat supérieur contient l'élément rayonnant (patch) à une faible constante diélectrique, tandis que le substrat inférieur, peut présenter une constante diélectrique élevée, Le couplage s'opère via une séparation par une masse, et la connexion entre eux se réalise en pratiquant une fente dans le plan de masse [14].

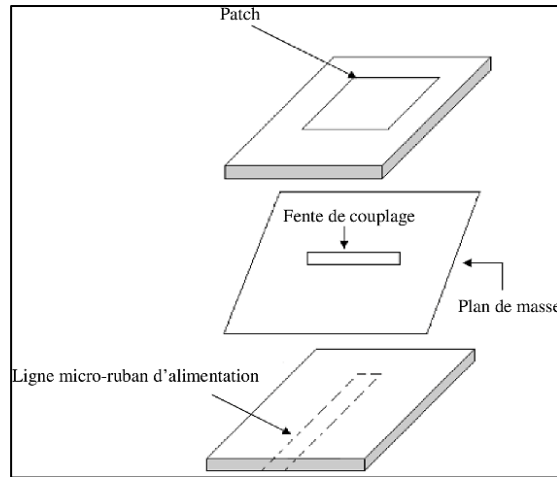


Figure I - 9 : Alimentation par fente [15].

IV.2.2 Alimentation par couplage de proximité

Cette méthode utilise deux substrats diélectriques, une ligne micro-ruban et une source de rayonnement comme le montre la (figure I.10). La ligne micro-ruban n'y est pas directement connectée pour le but d'augmenter la bande passante et réduire le rayonnement de bruit de la ligne électrique [8].

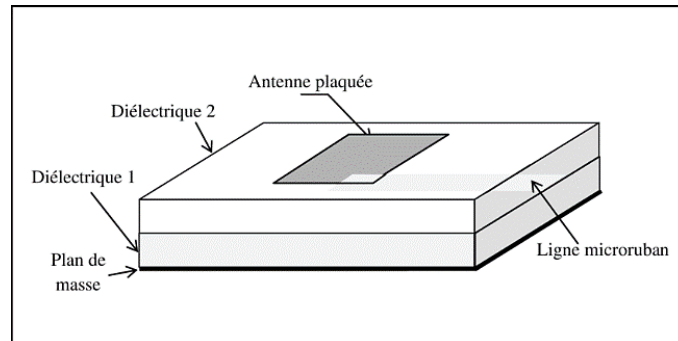


Figure I - 10 : Alimentation de proximité [16].

V. Les techniques d'adaptation des antennes imprimées

Tous les systèmes qui transforment l'énergie sur une ligne de transmission ont besoin d'adaptation, L'impédance de charge est transformée en une autre valeur d'impédance à l'extrémité de la source par la ligne de transmission. Ce que la source détecte dépend de l'impédance de charge, de la longueur électrique de la ligne et de son impédance caractéristique. [17].

Plusieurs méthodes sont utilisées pour adapter la ligne d'alimentation à l'entrée d'une antenne patch qui sont :

V.1 Adaptation par ligne quart d'onde

Dans la réalisation de circuits hyperfréquences, il est courant de chercher à substituer l'impédance obtenue en fin de circuit par une impédance différente, cette méthode consiste à mettre une ligne $\lambda/4$ entre la ligne d'alimentation et l'antenne patch [17] (figure I-11) :

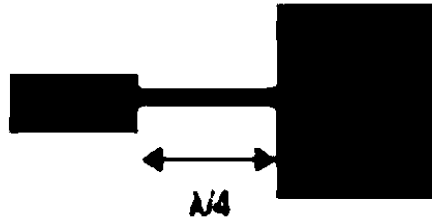


Figure I - 11 : Adaptation par ligne quart d'onde [17].

V.2 Adaptation par STUB

Un stub est une ligne ouverte (fermée) qui est placée en parallèle sur la ligne [18] (figure I-12), Il transfère à la charge une admittance pure déterminée par son impédance caractéristique et sa longueur. Cette admittance vient s'ajouter à celle de la charge. Si elle est correctement calculée, elle permet d'annuler la composante imaginaire de l'admittance de la charge. [8].

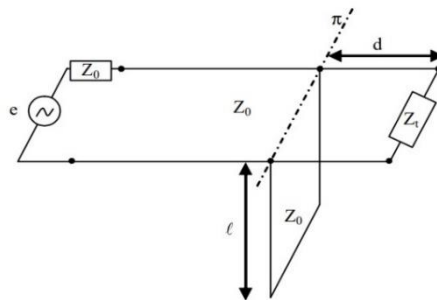


Figure I -12: Adaptation par STUB. [19]

V.3 Adaptation avec encoche

Les encoches sont une méthode employée dans l'adaptation des antennes patch, permettant de modifier les impédances parallèles ramenées afin d'ajuster l'antenne à la fréquence souhaitée (figure I-13). L'adaptation par encoche consiste à faire une encoche dans le patch en insérant la ligne d'alimentation d'une impédance caractéristique de 50 ohms [17].

L'optimisation des performances de rayonnement des antennes patch grâce à l'adaptation par encoche peut conduire à une amélioration de leur efficacité et de la qualité de la communication dans une variété d'applications sans fil.

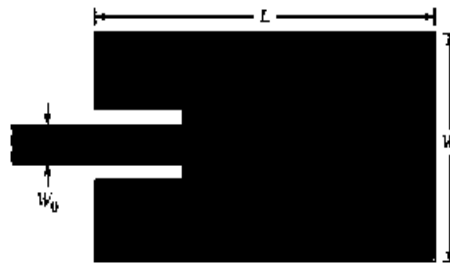


Figure I - 13 : Adaptation avec encoche. [13]

VI. Mécanisme de rayonnement d'une antenne patch

Le rayonnement d'une antenne patch est généré à partir de sa forme géométrique. Lorsque le courant électrique est appliqué à l'élément rayonnée, il crée un champ électromagnétique autour de l'antenne [20], figure I.14(a), le courant électrique circule le long de patch (élément rayonne) créant une oscillation des charges, ces oscillations génèrent un champ électromagnétique qui se propage dans l'espace environnant [21], figure I.14(b), quand le champ électromagnétique atteint une fréquence spécifique, il peut se propager dans l'air sous forme d'onde radio.

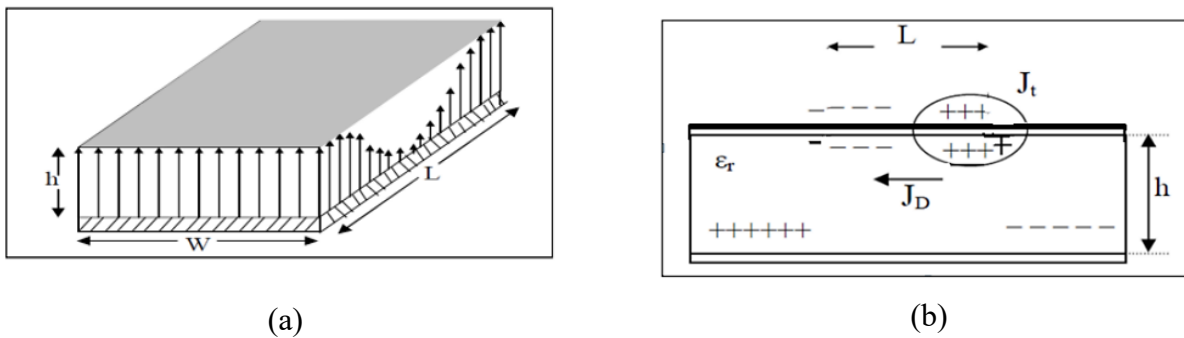


Figure I -14 : mécanisme de rayonnement d'antenne patch [22]

(a) : Distribution du champ électrique ; (b) : Distribution de charge et de densité de courant.

VII. Les domaines d'applications de l'antenne patch

Les antenne patch sont utilisées dans une variété d'applications et domaines grâce à leurs nombreux avantages, notamment dans [5] :

Les satellites :

- Télévision directe domestique ou embarquée sur véhicules.
- Réseaux à faisceaux commutés à couverture reconfigurable.

Les radars :

- Utilisées dans les radars pour détecter et localiser des objets.

La téléphonie mobile [23]:

- Intégrées dans les téléphones portables pour assurer la connectivité sans fil.
- Idéales pour les appareils mobiles grâce à leur petite taille et leur efficacité.

Réseaux sans fil WLAN [23]:

- Technologie radio courte distance.
- Utilisées dans les routeurs Wi-Fi pour diffuser des signaux sans fil dans les environnements domestiques et professionnels.

Biomédicale [23]:

- Surveillance médicale sans fil.
- Applications thermiques pour thérapie micro-ondes des cancers.
- Tomographie.

Imagerie médicale [24]:

- Utilisées dans les systèmes d'imagerie par résonance magnétique (IRM) et les scanners à résonance magnétique (IRM) pour émettre et recevoir des signaux radiofréquences.

Applications militaires [25] :

- Antennes montées en surface sur véhicules.
- Capteurs embarqués.

VIII. Les avantages et les inconvénients des antennes imprimées

Les antennes imprimées présentes des avantages et des inconvénients sont :

VIII.1 Les avantages des antennes patch [24]

- Une taille réduite : permet une intégration facile dans des différents dispositifs.
- Adaptable : possibilité de personnaliser l'antenne patch pour s'adapter à la forme et à la taille de l'objet.

- Possibilité de mettre en réseau pour améliorer la directivité et pour certaines applications.
- Antennes multi bandes, multi-polarisations possibles [20].
- La robustesse de leur structure les rend résistantes aux conditions extérieures défavorables, offrant ainsi une protection efficace [25].
- Faible coût de fabrication [21].

VIII.2 Les inconvénients de l'antenne patch [20,21]

- Une bande passante étroite.
- Sensibilité au bruit et les interférences.
- Faible puissance admissible.
- Forte influence de la qualité du substrat diélectrique sur les performances.

IX. Conclusion

En conclusion, ce chapitre a permis de parcourir un large spectre de connaissances sur les antennes imprimées, allant de leur définition générale à leur mécanisme de rayonnement, en passant par leurs domaines d'application, leurs avantages et leurs limitations.

Nous avons exploré en détail leurs conception, leurs caractéristiques spécifiques, ainsi que les techniques d'alimentation et d'adaptation utilisées pour optimiser leurs performances.

Ces connaissances serviront de fondement pour explorer plus en profondeur les applications spécifiques des antennes imprimées dans les prochains chapitres, notamment en ce qui concerne la détection du cancer du sein par le biais de techniques innovantes utilisant ces technologies.

**Chapitre II : Application des
antennes patch pour la détection
du cancer du sein**

I. Introduction

Le cancer du sein est le type de cancer le plus répandu à l'échelle mondiale et constitue principale cause de décès chez les femmes dues à cette maladie [26].c'est l'une des maladies les plus dangereux avec une augmentation annuelle. Le diagnostic précoce du cancer du sein est reconnu comme un élément crucial pour le succès du traitement de cette maladie. Le dépistage précoce contribue à sauver des milliers de vies. Effectivement, lorsque le cancer du sein est diagnostiqué précocement, les chances de guérison sont considérablement accrues. L'importance de la détection de la tumeur a un stade précoce réside dans la possibilité de traitement efficace de la maladie, car les cellules cancéreuses ont la capacité de se propager rapidement à d'autres tissus dans le corps.

Il existe de nombreuses techniques pour la détection du cancer du sein notamment, la mammographie qui utilise le rayon X à faible dose, l'échographie qui est basée sur des haute fréquence et l'IRM qui utilise des forces magnétiques puissantes et des ondes radioélectriques. En effet, même avec la multiplicité de ces technologies, elles ne répondent pas aux exigences successives, pour cela il est devenu nécessaire de trouver d'autres méthodes plus efficaces et confortables pour la patiente. Les méthodes de la détection par micro-ondes offrent un dépistage précoce du cancer du sein, ce sont des méthodes non invasives, plus confortables pour la patiente et qui utilisent des rayonnements non ionisants donc pas de risque de la santé.

Ce chapitre cherche à fournir une vue d'ensemble complète du cancer du sein, mettant en évidence l'importance du dépistage précoce à travers différentes techniques de détection des tumeurs mammaires. Il examine également les défis et les opportunités associés à chaque méthode.

II. Anatomie du sein

Le sein est situé au niveau de la cage thoracique, sur le muscle grand pectoral qui s'étend de la clavicule au sternum, et est lié au creux axillaire [27].

Le sein est composé de plusieurs éléments et structures comme le montre la figure II.1, la quantité de chacune de ses composantes peut varier d'une femme à l'autre.

Les vaisseaux sanguins et lymphatiques se trouvent aussi dans le sein des nerfs. La glande mammaire, est composée de différents éléments qui possèdent chacun une fonction propre et peuvent être sujets à diverses pathologies [27], elle est divisée en 15 à 20 sections qu'on appelle lobes, composés de lobules [28]. Les canaux galactophores sont destinés à faire circuler

le lait depuis les alvéoles vers les mamelons. Le mamelon est composé de tissus musculaires permettant de véhiculer le lait, les ganglions permettent à la lymphe des tissus mammaires d'être filtrée par les vaisseaux lymphatiques du sein [29].

Le cancer du sein peut se développer tant au niveau d'un canal galactophore que d'un lobule et il peut également se retrouver au niveau des ganglions lymphatiques [30].

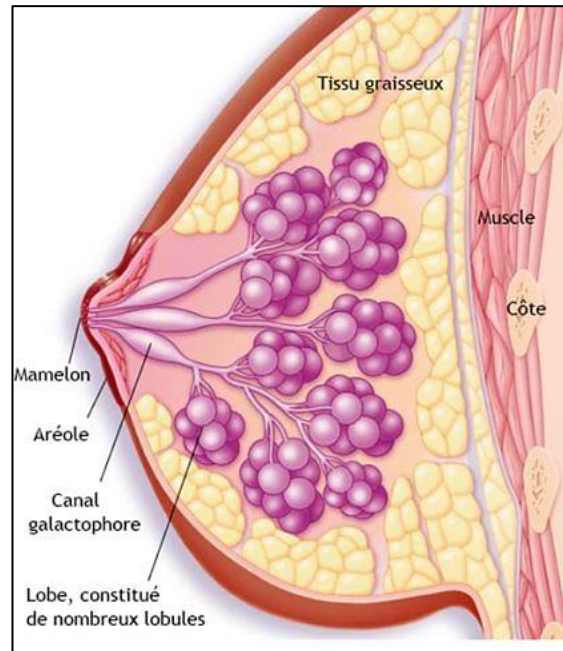


Figure II - 1 : Anatomie du sein [31].

III. Le cancer du sein

Le cancer du sein est la maladie la plus courante chez les femmes, caractérisée par la croissance incontrôlée de cellules mammaires anormales qui forment alors des tumeurs [26], il est divisé en deux type ; invasif aussi appelé carcinome infiltrant, les cellules cancéreuses envahissent le tissu mammaire et peuvent s'étendre et affecter les tissus avoisinants. Elles peuvent aussi atteindre d'autres parties du corps pour former des métastases.

D'autre cas, les cellules cancéreuses sont confinées aux canaux et aux lobules et c'est le deuxième type de cancer du sein qui est non infiltrant ou in situ [32].

IV. Les catégories du cancer du sein

Les tumeurs du sein peuvent être classées en deux catégories : des tumeurs non cancéreuses (tumeurs bénignes) et des tumeurs cancéreuses (tumeurs malignes).

IV.1 Tumeur bénigne

Les tumeurs bénignes ont des limites bien définies, composées de cellules qui ressemblent à des cellules tissulaires normales, leur croissance est lente, et restent localisées dans le tissu ou l'organe où elles ont initialement pris forme. Elles ne provoquent pas de métastases dans d'autres parties du corps [33].

La tumeur bénigne la plus fréquemment observée dans le sein est le fibroadénome, mais il existe d'autres qui sont les kystes, les changements fibrokystiques, l'hyperplasie, l'écoulement du mamelon, la gynécomastie [33].

IV.2 Tumeur maligne

Les tumeurs malignes du sein sont des tumeurs cancéreuses qui ont généralement des limites mal définies, peuvent métastaser, propageant des cellules cancéreuses à d'autres parties du corps, résultent de la multiplication d'une seule cellule dérivée d'un composant normal du sein, qui devient maligne, ces cellules cancéreuses proviennent soit des canaux (cancer canalaire) soit des lobules (cancer lobulaire) [34].

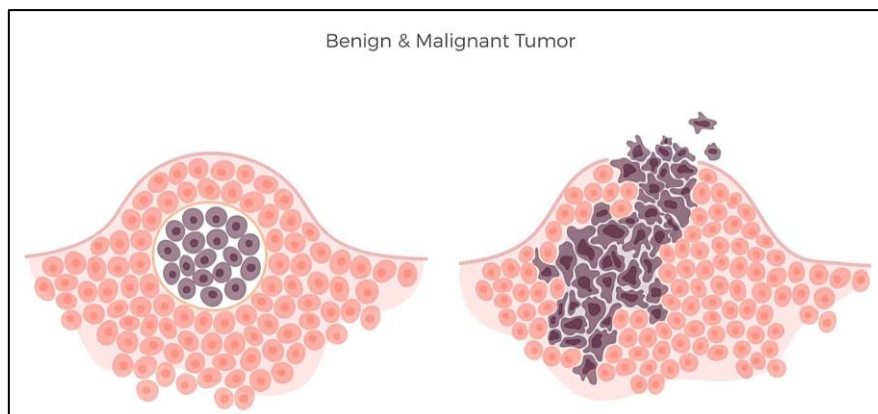


Figure II - 2 : formes des tumeurs bénignes et malignes [35].

V. Les différents stades du cancer du sein

Les différents stades du cancer du sein correspondent à son degré d'évolution au moment de son diagnostic, il est possible de différencier cinq stades de la façon suivante [36,37] :

Stade 0 :

Il s'agit d'une petite tumeur localisée qui n'a pas encore atteint les ganglions lymphatiques.

Stade 1 :

Une petite tumeur qui ne dépasse pas 2 cm, située à l'intérieur du sein.

Stade 2 :

La tumeur mesure une taille qui dépasse 2cm à 5cm de diamètre, ce stade contient deux types de la tumeur [37] :

- Tumeur ≤ 5 cm avec envahissement de 1 à 3 ganglions axillaires ou atteinte des ganglions sentinelles mammaires internes.
- Tumeur > 2 cm, étendu aux ganglions lymphatiques.

Stade 3 :

La tumeur se dépasse 5 cm, plus avancée et atteint plus que quatre ganglions lymphatiques.

Stade 4 :

Quelle que soit la taille de tumeur, ce stade est du cancer métastatique, le cancer se propage vers d'autres organes dans le corps.

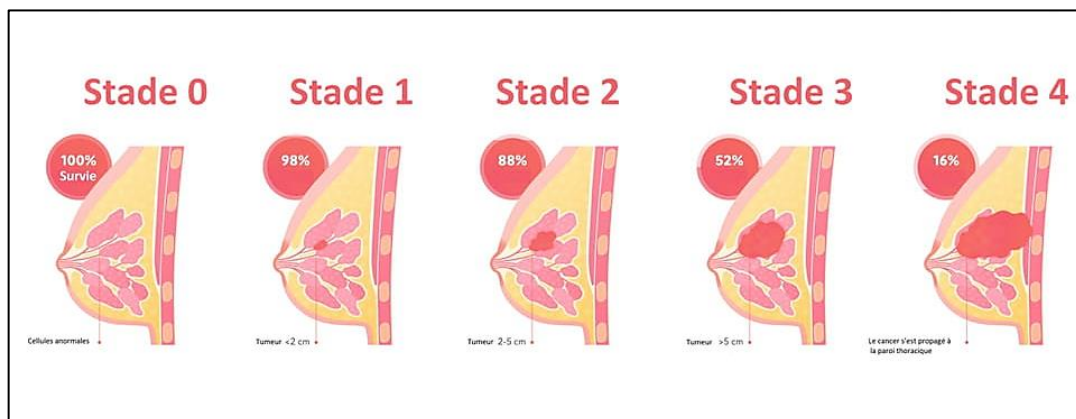


Figure II - 3 : les différents stades du cancer du sein [38].

VI. Les propriétés électriques des tissus

Les tissus ont deux paramètres principaux dans leurs propriétés électriques, à savoir la permittivité relative et la conductivité [39].

Les propriétés électromagnétiques de l'onde électromagnétique lorsqu'elle interagit avec un milieu sont principalement déterminées par sa permittivité et sa conductivité relatives [40].

Plusieurs études ont assuré que la teneur en eau d'un tissu détermine sa permittivité relative. La permittivité relative des tissus à forte teneur en eau, tels que le tissu glandulaire et les tissus tumoraux, est plus élevée que celle des tissus adipeux (tissu graisseux) à faible teneur en eau [39].

L'énergie électromagnétique stockée dans un tissu est liée à sa permittivité relative. Lorsque la micro-onde cela interagit avec le tissu, cela provoque l'élimination de l'énergie du micro-ondes [41].

La détection du cancer repose sur la comparaison des propriétés électromagnétiques des tissus sains et malins à l'aide des micro-ondes. Différentes gammes de fréquence ont été utilisées pour étudier les propriétés électromagnétiques du tissu mammaire, et elles sont appuyées sur la gamme de fréquences de 3MHz -3GHz [40,41].

Un modèle de Cole-Cole a été créé en se basant sur la permittivité relative et la conductivité, comme spécifié dans l'équation [40]:

$$\epsilon_r(\omega) = \epsilon_\infty + \frac{\epsilon_s - \epsilon_\infty}{1 + (j\omega\tau)^{1-a}} \quad (\text{II-1})$$

Où :

- ω : La fréquence angulaire.
- a : Le paramètre d'exposant.
- ϵ_s : Permittivité statique.
- ϵ_∞ : Permittivité de fréquence infinie.
- ϵ_r : Permittivité relative du tissu mammaire.
- τ : Constante de temps.

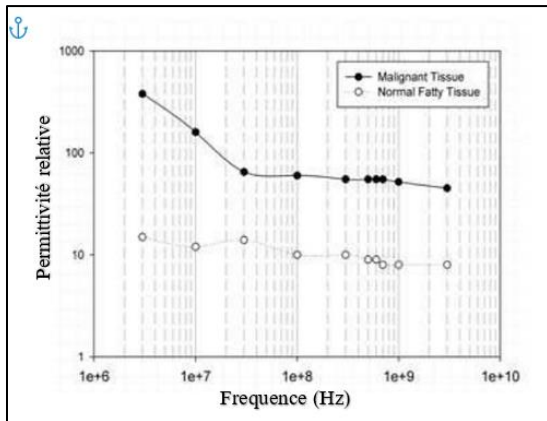
VI.1 Le tissu malin

L'efficacité potentielle des micro-ondes dans la détection des tumeurs mammaires repose sur le principe d'absorption et diffusion d'énergie et les micro-ondes dépendantes des tissus dans le sein ce qui permet d'exploiter les différences de contraste des propriétés diélectriques entre les tissus mammaires normaux et malins [40].

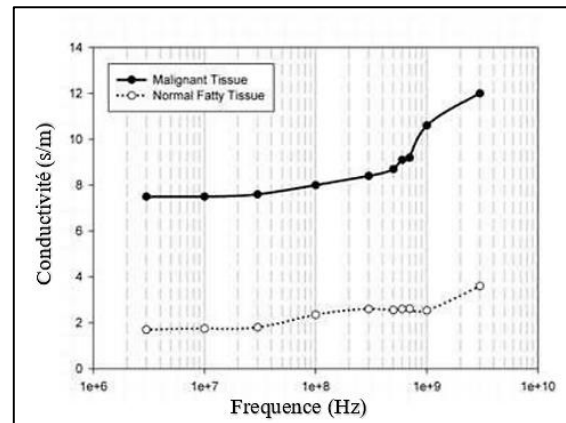
La permittivité des tissus malins (tumeurs) était supérieure de 10 à 20 % à celle des tissus sains, en raison de la variation de la quantité d'eau dans le corps humain [42].

VI.2 Le tissu mammaire

Les tissus mammaires dans la gamme de fréquence de la science industrielle et médicale (ISM) généralement de 1 à 20 GHz (faible) [42], rendant transparent aux micro-ondes, tandis que les lésions, comportant une quantité d'eau plus importante, se distinguent par une permittivité relativement élevée aux fréquences des micro-ondes, induisant ainsi une rétrodiffusion significative [40].



(a)



(b)

Figure II - 4 (a) :la variation de la permittivité ; (b) : la conductivité des tissus normaux et malins entre 3MHz et 3GHz [43].

Dans ce travail nous avons utilisé les propriétés électriques suivantes [41]:

Tissu	ϵ_r	σ (S/m)	Epaisseur (mm)
Peau	38	1.46	1.5
Graisse	5.2	0.1	10
Tissu glandulaire	20.1	0.5	20
Muscle	52.4	1.91	5

Tableau II - 1 : les propriétés diélectriques du sein.

VII. Imagerie médicale pour le dépistage du cancer du sein

L'objectif du dépistage est de détecter la maladie au stade le plus précoce et le plus traitable. Pour cela, Il existe de nombreuses méthodes pour détecter les premiers stades du cancer du sein. Tel que : la mammographie ; l'échographie ; L'IRM, et d'autres méthodes électromagnétiques qui sont en train d'être développées.

VII.1 La mammographie

Les mammographies sont des radiographies qui utilise le rayon X à faible dose qui peuvent aider à trouver le cancer du sein [44]. Le sein est comprimé entre deux plaques. Pour chaque sein, deux clichés sont pris : l'un de face, l'autre de profil. Par la suite, chaque cliché est étudié par le radiologue [45].

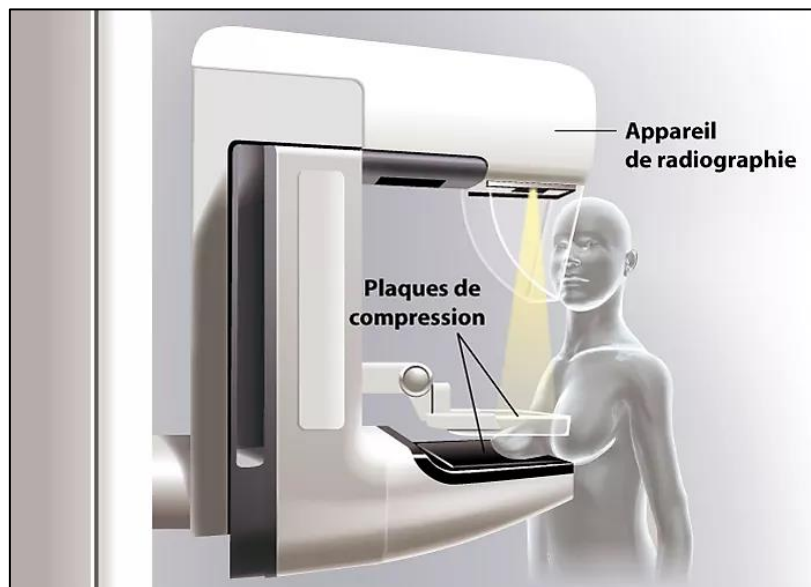


Figure II - 5: Unité de mammographie utilisant des rayons X [46].

VII.2 Imagerie par ultrasons (L'Echographie)

L'échographie est une méthode pour explorer le corps humain utilisant des haute fréquence (les ultrasons) [47].

En vue d'un diagnostic de cancer du sein, détermine si la zone considérée est constituée d'un tissu cancéreux ou non [40] ; c'est-à-dire, vérifier si une masse au sein est une tumeur solide ou pas. Cette technique applique en utilisant un gel est appliqué sur le sein à observer. Après avoir appliqué la sonde fermement contre le sein et l'avoir orientée dans toutes les directions, pour observer tout le tissu mammaire [45].

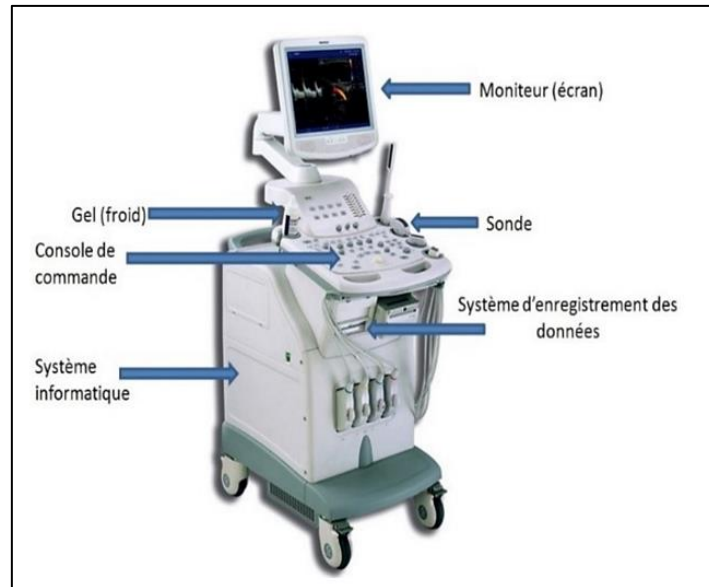


Figure II - 6 : photographie d'un échographe [48].

VII.3 Imagerie par Résonance Magnétique (IRM)

Une technique non invasive qui utilise des forces magnétiques puissantes et des ondes radioélectriques pour créer des images de différents organes avec des fréquences élevées [40] [49].

L'appareil ou le système est installé dans une pièce sécurisée et blindée, pour empêcher toute perturbation de l'environnement. Les ondes électromagnétiques émises par cet appareil sont projetées sur la zone du corps que l'on souhaite observer [50]. La détection se fait en mesurant les différences de propriétés électromagnétiques entre les tissus sains et les tissus cancéreux. Les tumeurs du sein sont caractérisées par une permittivité diélectrique élevée et une conductivité plus élevée par rapport au tissu mammaire normal, ce qui permet d'analyser les signaux émis par l'antenne.

L'examen IRM se déroule lorsque la patiente allongée sur une table d'examen, comme le montre (la figure II.7) et des appareils spécifiques sera placée au tour du sein, et grâce à la sensibilité élevée de l'IRM, il est possible d'obtenir des images de très haute résolution des tissus mous, et même de détectée les petites tumeurs [40].

Actuellement, cette technologie est en train d'être développée et pourrait offrir une solution non invasive, potentiellement complémentaire aux autres méthodes cliniques actuelles.



Figure II - 7 : Examen IRM [51].

En résumé, le tableau I.1 définit les différents avantages et inconvénients de chaque technologie [41,40].

Les techniques	La mammographie	L'échographie	IRM
Avantages	<ul style="list-style-type: none"> - Excellente sensibilité pour les seins non denses. - Résolution exceptionnelle 	<ul style="list-style-type: none"> - Résolution élevée - Bonne sensibilité pour les seins denses - Pas de rayonnement nocif 	<ul style="list-style-type: none"> - Détection des petites tumeurs - Haute résolution - Non invasive
Inconvénients	<ul style="list-style-type: none"> - Une technique invasive - Dangereuse en raison des Radiations ionisantes - Non confortable 	<ul style="list-style-type: none"> - Difficiles à détecter les lésions profondes - Besoin plusieurs examen de référence pour pose un diagnostic 	<ul style="list-style-type: none"> - Très coûteux - Prends du temps - Possibilité de ne pas détecter les calcifications

Tableau II - 2 : Avantages et inconvénients des technologies d'Imagerie médicale pour le dépistage du cancer du sein.

VIII. Détection du cancer du sein par micro-onde

Dans notre travail de mémoire, nous sommes intéressés par l'étude des antennes patch dédiée à la détection des tumeurs du seins par microonde, cette méthode est non-invasive, elle présente un rayonnement à faible puissance et il n'est pas ionisant, donc elles ne présentent pas les mêmes risques que les rayons X.

- a) **Principe de fonctionnement** : La détection par micro-ondes utilise des ondes électromagnétiques pour identifier la présence de tumeurs en exploitant les différences de propriétés diélectriques entre les tissus sains et les tissus cancéreux. Les tissus cancéreux ont tendance à absorber et à réfléchir les micro-ondes différemment des tissus sains, ce qui peut être détecté et analysé pour identifier des anomalies.
- b) **Processus** : Implique généralement l'émission d'ondes micro-ondes vers le sein et la mesure des signaux réfléchis ou transmis. Les variations dans les signaux permettent de détecter des anomalies.
- c) **Objectif** : Identifier la présence de tumeurs ou d'anomalies sans nécessairement créer une image détaillée du sein.
- d) **Intégration des antennes patch**

Les antennes utilisées dans cette méthode fonctionnent typiquement à 2,45 GHz, elles sont positionnées autour du sein pour émettre et recevoir les ondes. Le principe de fonctionnement de ces antennes est comme suite :

- Les antennes émettent des ondes électromagnétiques à 2,45 GHz qui pénètrent dans le tissu mammaire.
- Les ondes réfléchies par les différents tissus sont captées par les antennes réceptrices.
- Analyses des signaux reçus : Les différences dans les propriétés diélectriques et de rayonnement des tissus permettent de distinguer les tissus sains des tissus cancéreux. Les signaux reçus sont analysés pour identifier des anomalies potentiellement indicatives de tumeurs.

IX. Conclusion

En conclusion, ce chapitre a couvert un large éventail de connaissances sur le cancer du sein, nous avons discuté en détail les catégories et les types des tumeurs du sein avec leurs stades possible, puis nous avons présenté une vue générale sur les techniques de détection des tumeurs à savoir celles par imagerie médicale pour le dépistage du cancer du sein et par microondes.

Chapitre II : Application des antennes patch pour la détection du cancer du sein

Dans le troisième chapitre nous allons concevoir une antenne patch hexagone pour la détection du cancer du sein avec la technique du rayonnement électromagnétique.

Chapitre III : Résultats et Simulation

I. Introduction

Ce chapitre décrit la conception et l'optimisation d'une antenne patch hexagonale pour la détection des tumeurs mammaires. Utilisant le logiciel CST Microwave Studio, nous modélisons et analysons les performances de l'antenne. Le modèle de fantôme du sein avec tumeur sert de base aux simulations, dont les résultats incluent les mesures du champ électromagnétique et du débit d'absorption spécifique. Une étude comparative des configurations de l'antenne est menée pour identifier les paramètres optimaux de détection, démontrant ainsi l'efficacité de l'antenne patch hexagonale dans la détection précoce des tumeurs mammaires.

II. Présentation de l'outil de travail 'logiciel CST'

CST MICROWAVE STUDIO est le résultat de nombreuses années de recherche et de développement, visant à offrir les solutions de calcul les plus efficaces et précises pour les conceptions électromagnétiques en 3D. Ce logiciel a été créé en 1992 en Allemagne par la société CST (Computer Simulation Technology) [1].

CST est un logiciel de pointe spécialisé dans l'analyse électromagnétique 3D des composants à haute fréquence. Il est conçu pour la conception, l'évaluation et l'amélioration des composants et systèmes électromagnétiques (EM). CST propose une large gamme d'outils pour la conception, l'analyse et l'optimisation des produits [2,3].

CST Studio Suite offre la possibilité d'effectuer des simulations dans une variété étendue de domaines d'application tels que :

- Les Recherches scientifiques.
- L'efficacité et les performances des antennes et des filtres.
- La compatibilité électromagnétique et les perturbations dues aux interférences.
- Objets connectés (IoT).
- Les capacités et la performance des antennes ainsi que des filtres.

II.1 Description générale du logiciel

- Création d'un projet

Pour utiliser le logiciel CST, il est nécessaire de suivre plusieurs étapes préliminaires : Premièrement, en lançant le logiciel de simulation, une interface s'affiche pour créer un nouveau projet. Ensuite, en cliquant sur "créer un projet", nous sélectionnons le type de simulation ainsi que la zone à modéliser.

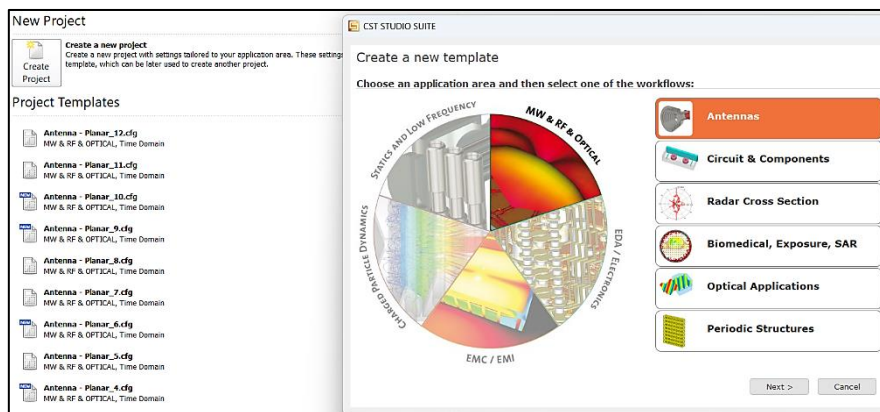


Figure III - 1 Création d'un nouveau projet.

Après ces étapes, il suffit de cliquer sur "suivant" pour passer à la sélection du type d'antenne à créer.

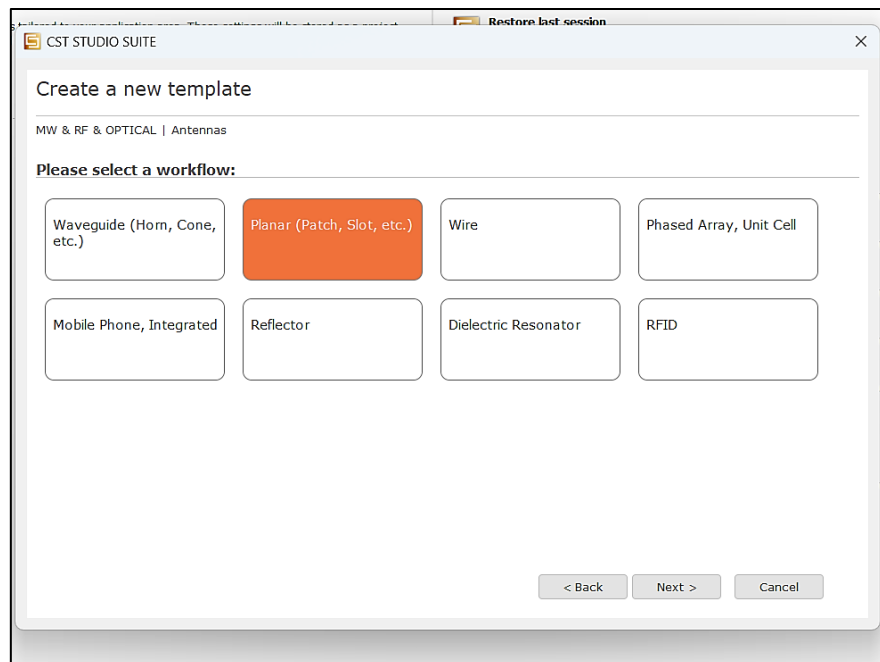


Figure III - 2 Choix du type d'antenne.

Ensuite, précisez les unités des divers paramètres employés pour élaborer l'antenne suggérée, sans oublier la fréquence du domaine.

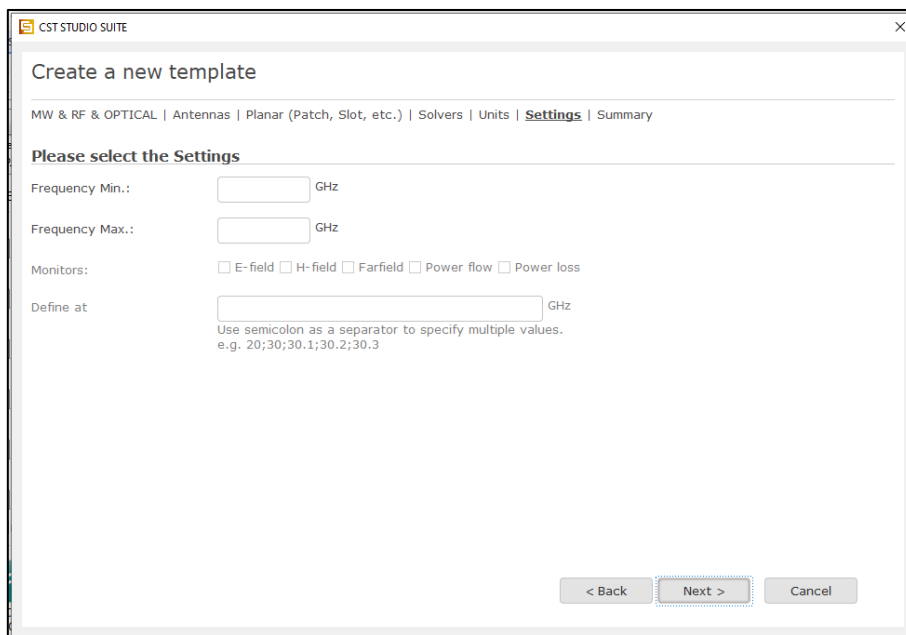
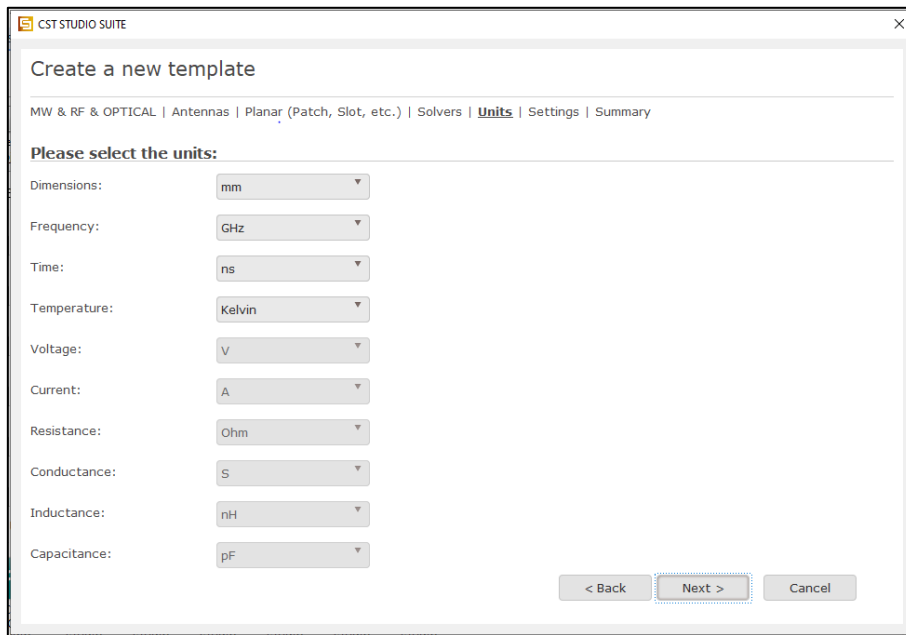


Figure III - 3 Choix d'unités et fréquence.

A la fin, on trouve l'interface de logiciel, cette interface est uniforme pour tous les modules, garantissant une cohérence qui facilite l'apprentissage lors de la diversification des simulations, elle intègre des fonctionnalités dédiées à la modélisation, à la gestion de la simulation et au traitement ultérieur des données.

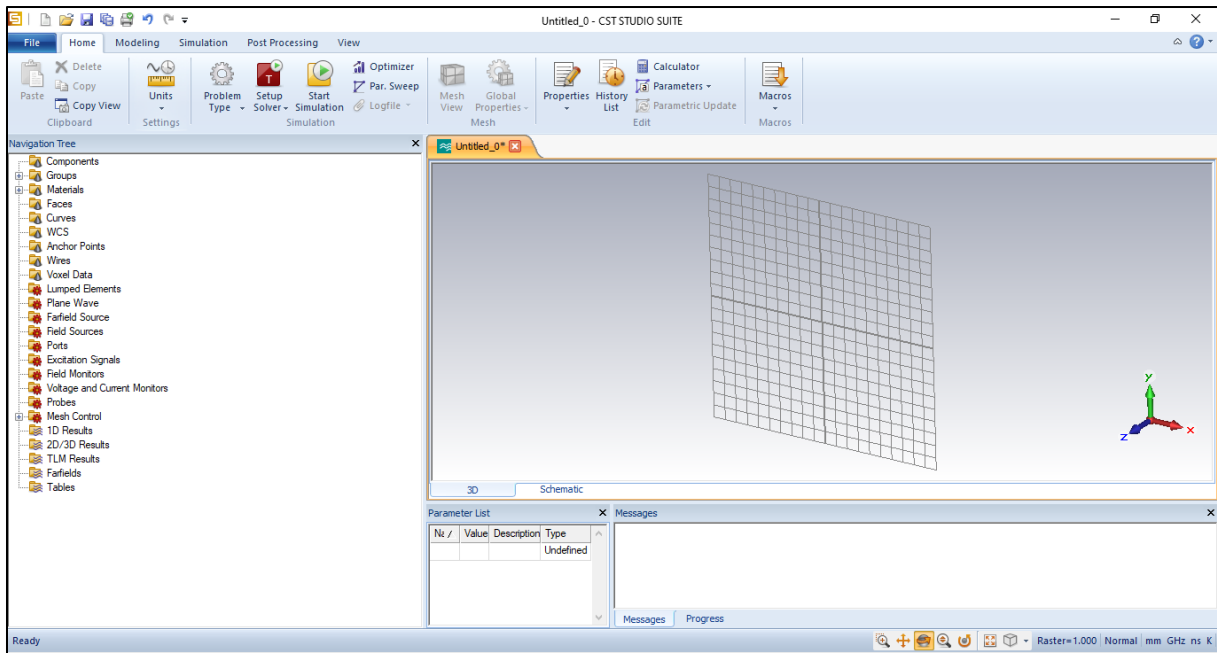


Figure III - 4 L'interface de logiciel CST.

III. Antenne patch hexagone alimenté par une ligne micro ruban

III.1 Géométrie de base

Notre travail vise à concevoir une antenne patch hexagone dans la bande ISM tel que montre la figure III-5, La fréquence de fonctionnement de notre antenne est de 2,45 GHz, ce qui convient aux applications médicales telles que la détection du cancer du sein. Elle est alimentée par une ligne micro ruban (50Ω). Le substrat utilisé est de type FR4-epoxy avec un constant diélectrique $\epsilon_r = 4,3$ et d'une hauteur de 1,6mm.

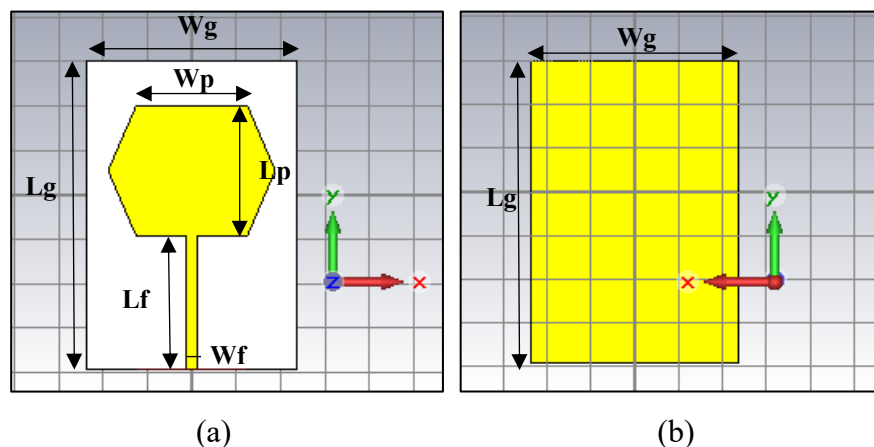


Figure III - 5 antenne patch hexagone initiale proposée (a) vue de face ; (b) vue d'arrière.

Les paramètres de calculs [53] [54] de cette antenne sont donnés sur le tableau suivant :

Paramètres d'antenne	Equation
La largeur du patch (mm)	$Wp = \frac{c}{2 \times fr} \times \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}}$
La longueur du patch (mm)	$Lp = Le_{ff} - 2\Delta L$
La longueur effective du patch (mm)	$Le_{ff} = \frac{c}{2 \times fr \sqrt{\epsilon_{eff}}}$
L'extension de la longueur	$\Delta L = 0.412 \times h \frac{(\epsilon_{eff} + 0.3) \left(\frac{w}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{eff} - 0.258) \left(\frac{w}{h} - 0.8\right)}$
Constante diélectrique effective (F/m)	$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \sqrt{1 + 12 \times \frac{h}{w}}$
Longueur de la ligne d'alimentation (mm)	$L_f = \frac{\lambda}{2}$

Tableau III - 2 les paramètres de l'antenne patch hexagone.

Tel que :

ϵ_{eff} : Permittivité effective du substrat.

h : l'épaisseur du substrat.

fr : fréquence de résonance.

Les dimensions du substrat et du plan de masse (Lg , Wg) sont données en fonction des dimensions du patch par les relations empiriques suivantes :

$$LG = Lp + 6h \tag{III. 1}$$

$$WG = Wp + 6h \tag{III. 2}$$

Le tableau III-2 montre les valeurs des paramètres d'antenne initiale proposée calculés à partir des équations du tableau III-1 :

Les paramètres de conception	Dimensions (mm)
Wg	47.2
Lg	69.2
Wp	37.6
Wf	2.6
Lf	30

Tableau III - 3 antenne patch hexagone initiale proposée.

III.2 Résultats de simulation

III.2.1 Coefficient de réflexion S [1,1]

Nous allons représenter le coefficient de réflexion S [1,1] (Figure III-6). Ce paramètre permet d'évaluer l'adaptation et la bande passante à la fréquence de résonance de notre antenne patch hexagone initiale proposée.

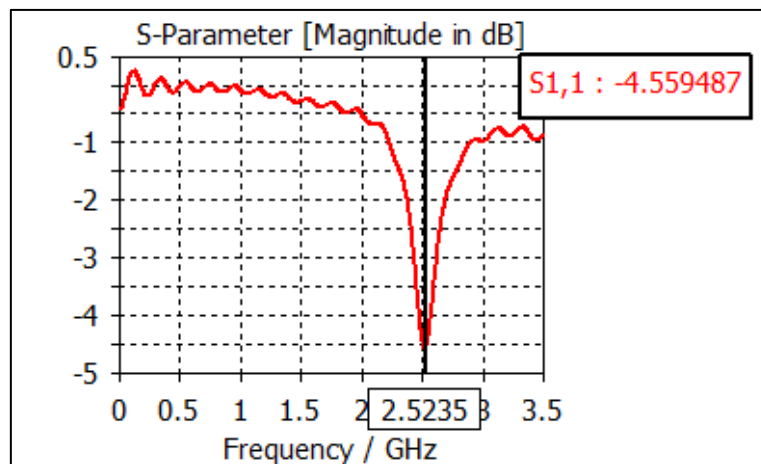


Figure III - 6 coefficient de réflexion S11 de l'antenne patch hexagone initiale proposée.

D'après la figure III-6 le coefficient de réflexion S11 l'antenne n'est pas adaptée à 2.45GHz.

IV. Adaptation de l'antenne patch hexagone à 2.45GHz

Dans cette section, nous entamons l'adaptation de l'antenne patch micro-ruban hexagonale dans la bande radio industrielle, scientifique et médicale (ISM).

La figure III-4 montre la géométrie finale de l'antenne patch hexagone à 2.45GHz.

Nous avons inséré des encoches aux niveau de la ligne d'alimentation et une fente au niveau du patch avec les dimensions mentionnées dans le tableau III-3.

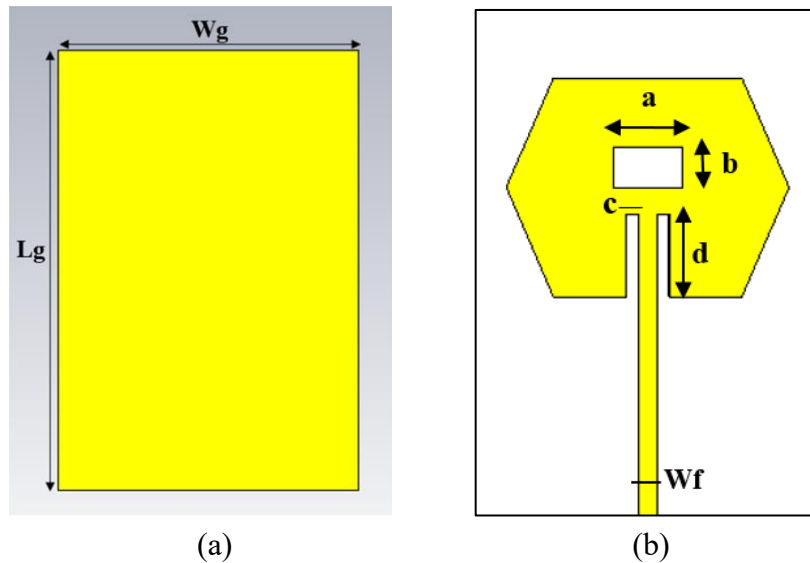


Figure III - 7 la géométrie finale de l'antenne patch hexagone à 2.45GHz (a)vue derrière (b)vue de face.

Les paramètres de conception	Dimensions (mm)
a	9.2
b	5.425
c	1.55
d	11

Tableau III - 4 les paramètres des encoches de l'antenne patch hexagone à 2.45GHz.

IV.1 Résultats des simulations

IV.1.1 Coefficient de réflexion S [1,1]

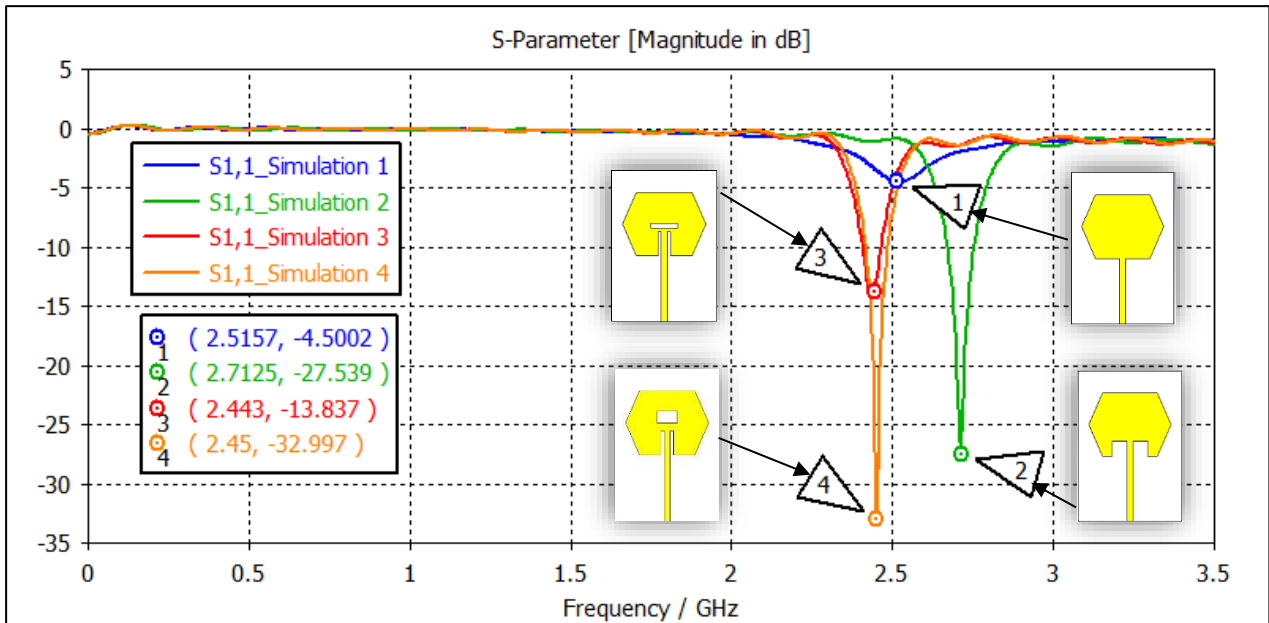


Figure III - 8 Coefficient de réflexion S11 de l'antenne patch hexagone à 2.45GHz.

IV.2 Résultats finales

IV.2.1 Coefficient de réflexion S [1,1] ; VSWR

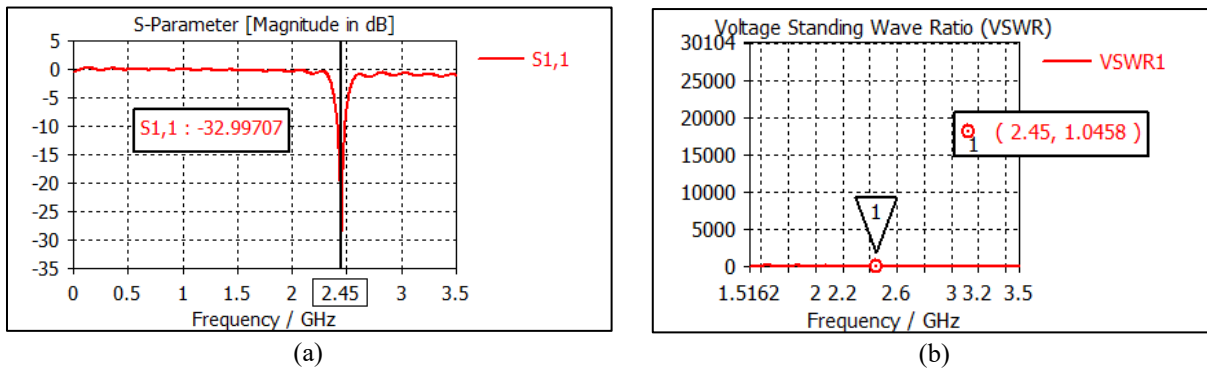
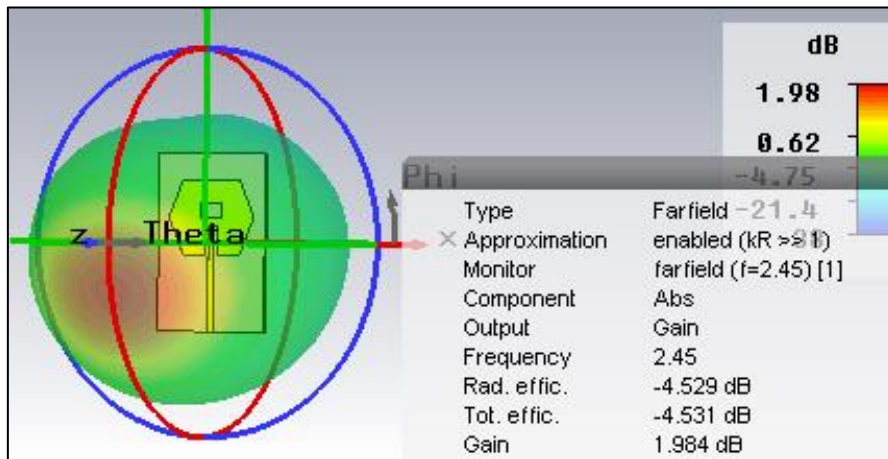


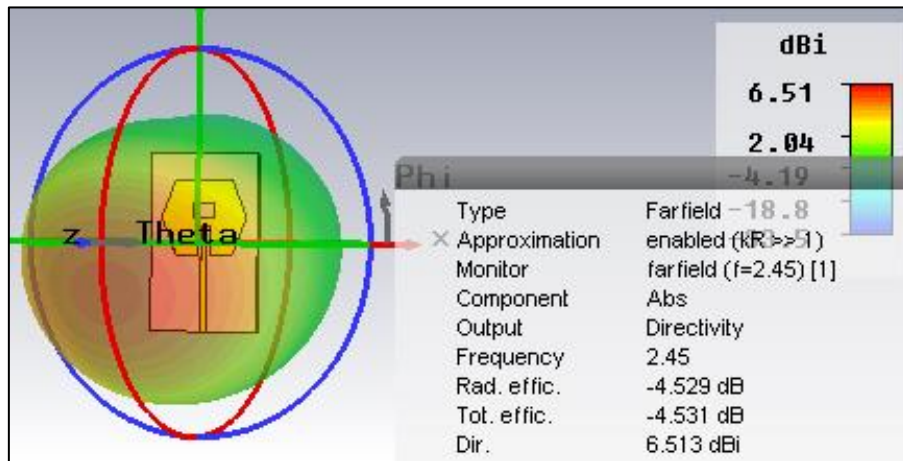
Figure III - 9 résultats de simulation à 2.45GHz (a) le S11 ; (b) VSWR.

Nous avons obtenu à la fréquence 2.45GHz, un S11 de -32.99GHz et VSWR de 1.04.

IV.2.2 Diagramme de rayonnement



(a)



(b)

Figure III - 10 Diagramme de rayonnement 3D à 2.45GHz (a) le gain ; (b) la directivité.

La figure III-10 montre un gain de 1.98dB et une directivité de 6.51dBi.

V. Détection de la tumeur du sein par rayonnement à l'aide de l'antenne patch hexagone

V.1 Simulation de l'antenne patch hexagone avec le modèle du sein sans tumeur

Nous allons insérer le modèle du sein avec l'antenne patch hexagone adaptée à 2.45GHz selon la figure III-11 :

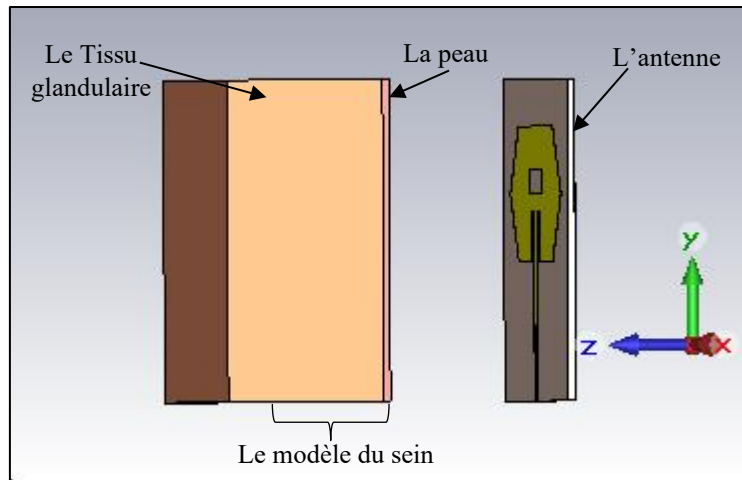


Figure III - 11 Antenne patch hexagone en contact avec le modèle du sein.

Le modèle du sein étudié est de forme rectangulaire avec deux couches, la couche inférieure : la peau et la couche supérieure : le tissu glandulaire. Les propriétés de ces couche [55] sont donnés sur le Tableau III-4.

Type de tissu	Permittivité	Conductivité (S/m)	Epaisseur (mm)
Peau	38	1.46	1.5
Tissu glandulaire	20.1	0.5	80

Tableau III - 5 propriétés et dimensions du modèle du sein.

V.2 Résultat de simulation

Dans cette section ; nous allons présenter les résultats de simulation en terme du paramètre S11 avec le changement de la position de l'antenne afin de l'adapter à la fréquence 2.45GHz avec un gain acceptable.

L'antenne est positionnée à 25mm, 30mm ,35mm,37mm selon la figure III-12 ; les résultats de simulation sont montrés sur la figure III-13.

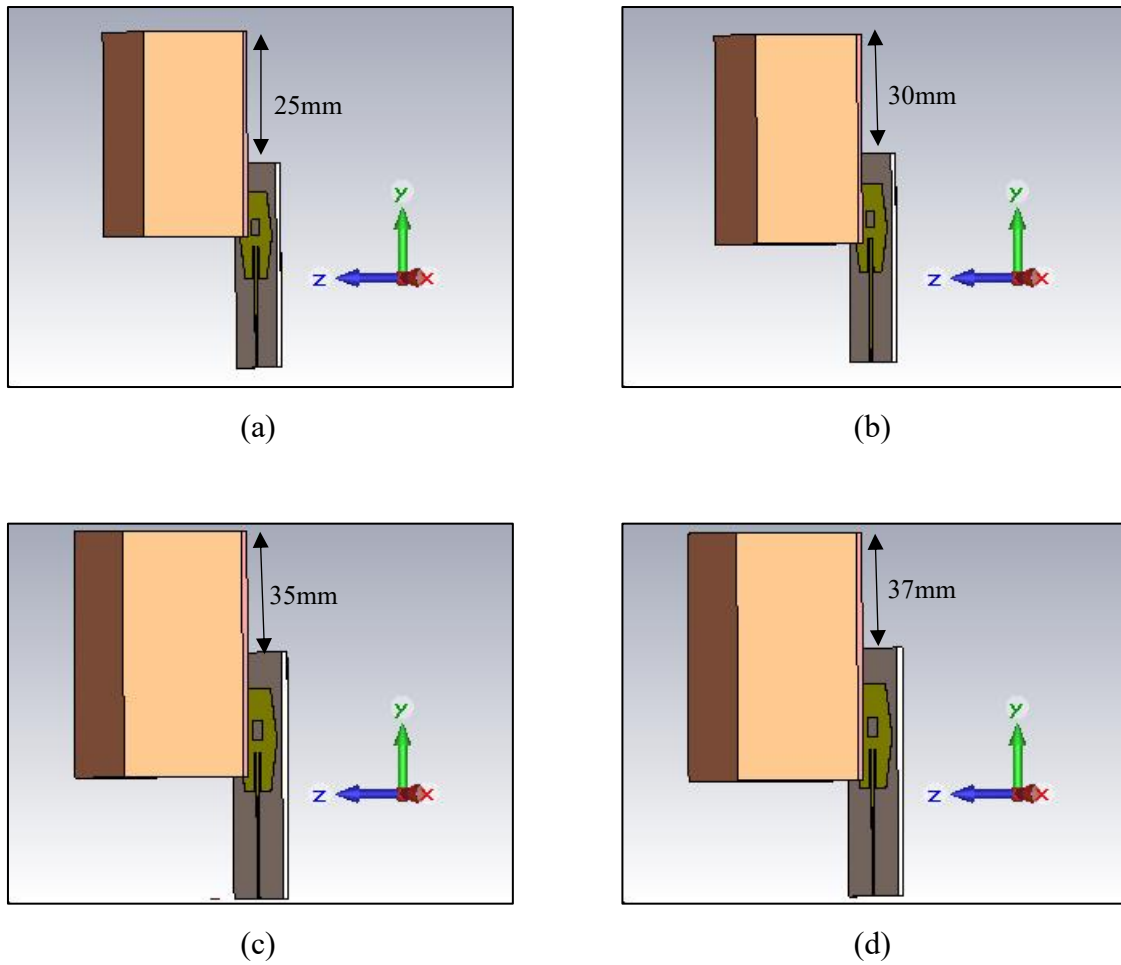


Figure III - 12 Changement de position de l'antenne (a)25mm ; (b)30mm ; (c)35mm ; (d)37mm.

• Le coefficient de réflexion S [1,1] :

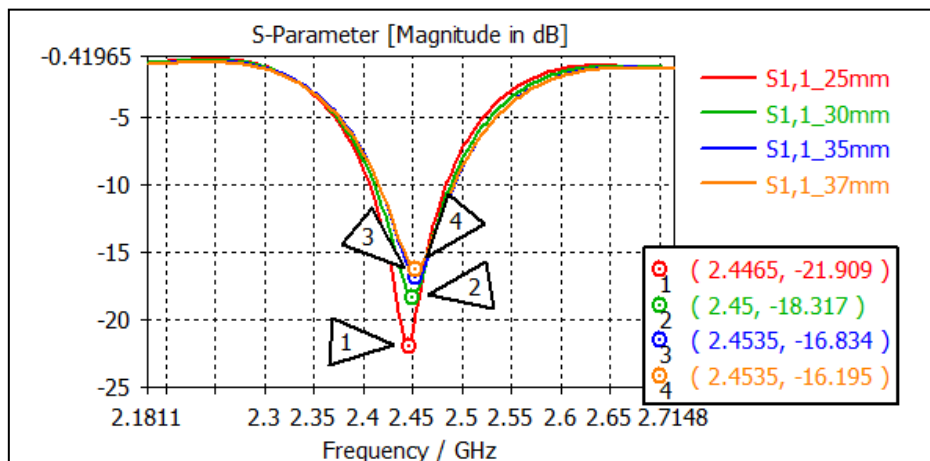
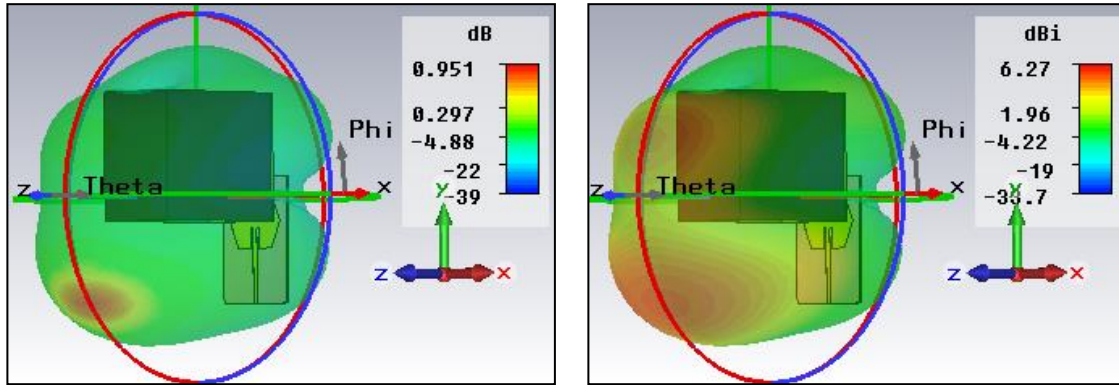


Figure III - 13 Coefficient de réflexion S11 de l'antenne pour les quatre positions (25mm ; 30mm ; 35mm ; 37mm).

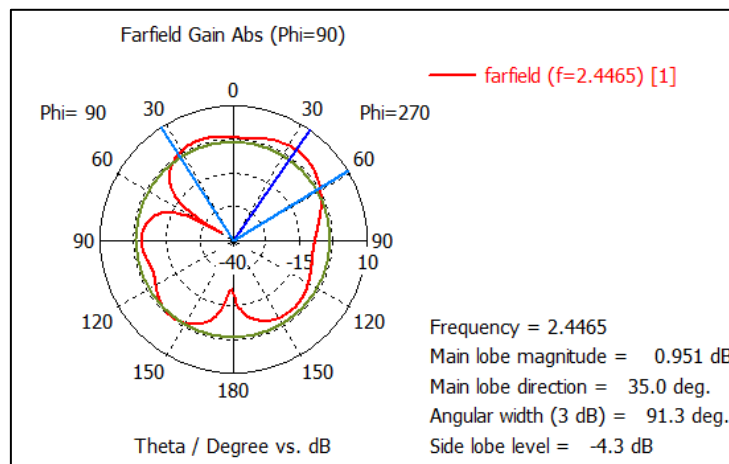
D'après la figure III-13 ; la meilleure adaptation est obtenue avec une distance de 25mm ; le S11 est de -21.90dB à la fréquence 2.4465GHz.

• Diagramme de rayonnement



(a)

(b)



(c)

Figure III - 14 le diagramme de rayonnement (a) le gain 3D ; (b) la directivité ;

(c) le gain polaire

La figure III-14 montre un gain de 0.951dB ; une directivité de 6.27dBi et une ouverture de 91.3deg du lobe à -4.3dB.

• Distribution du courant :

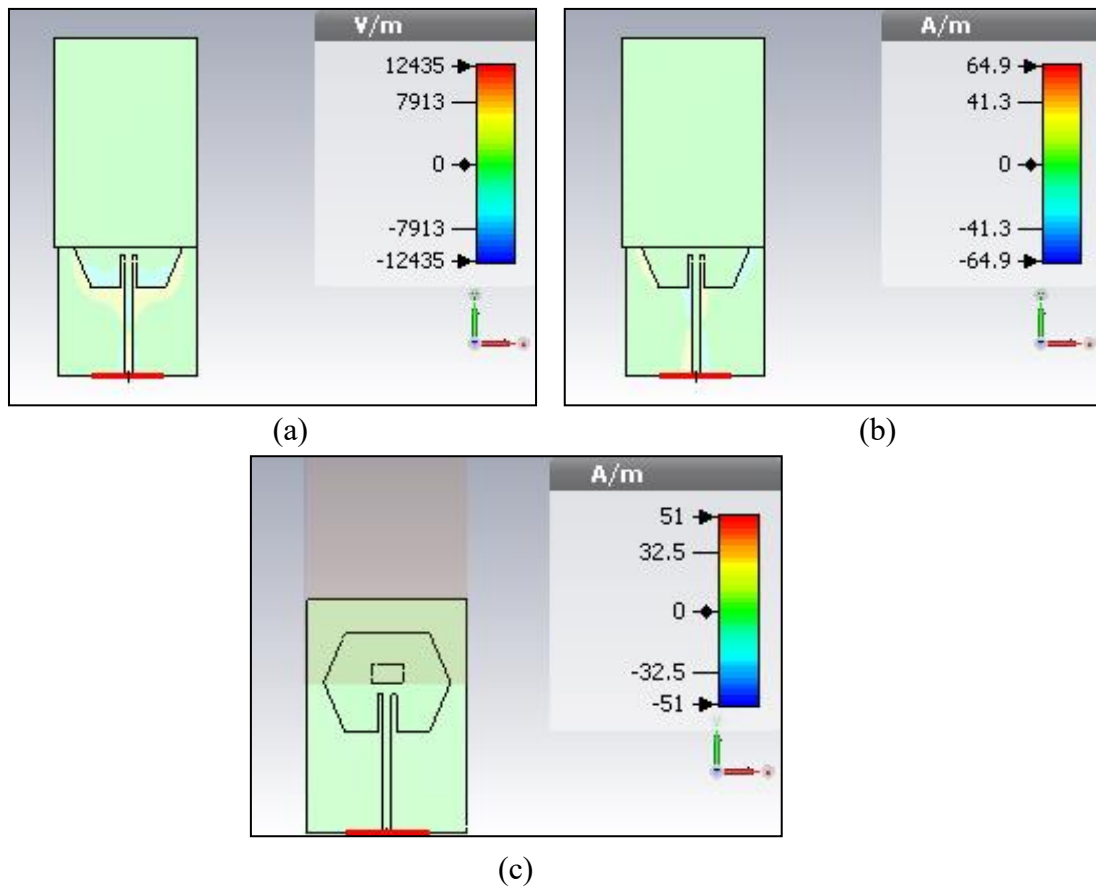


Figure III - 15 (a) E-Field ; (b) H-Field ; (c) densité de courant de surface.

La figure III-15 ; donne une valeur de 12435V/m de l'amplitude du champ électrique, et 64.9V/m de l'amplitude du champ magnétique et 51A/m du courant.

V.3 Simulation de l'antenne patch hexagone avec le modèle du sein avec la tumeur

Dans cette partie de travail ; nous allons insérer une tumeur d'un rayon de 20mm dans le modèle du sein selon la figure III-16.

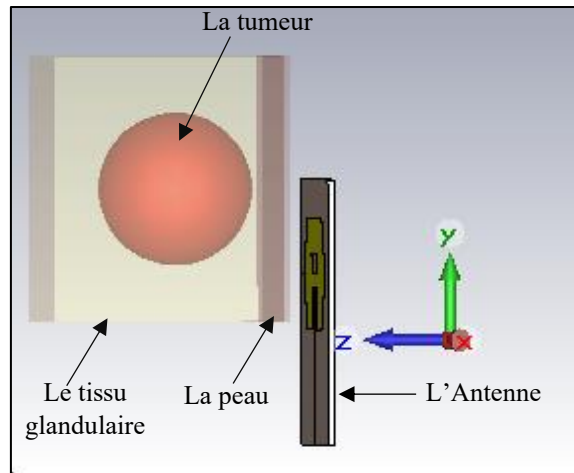


Figure III - 16 modèle du sein avec la tumeur en contact avec l'antenne patch hexagone.

Les propriétés de la tumeur [56] sont données sur le tableau III-5 :

Type de tissu	Permittivité (Ω)	Conductivité (S/m)	Dimension (mm)
Tumeur	50	4	20

Tableau III - 6 les propriétés tumorales.

V.4 Résultat de simulation

Dans cette section nous allons présenter les résultats de simulation des caractéristiques de l'antenne placée à 25mm du sein en présence de la tumeur de 20mm au milieu du sein :

- Le coefficient de réflexion S [1,1] :

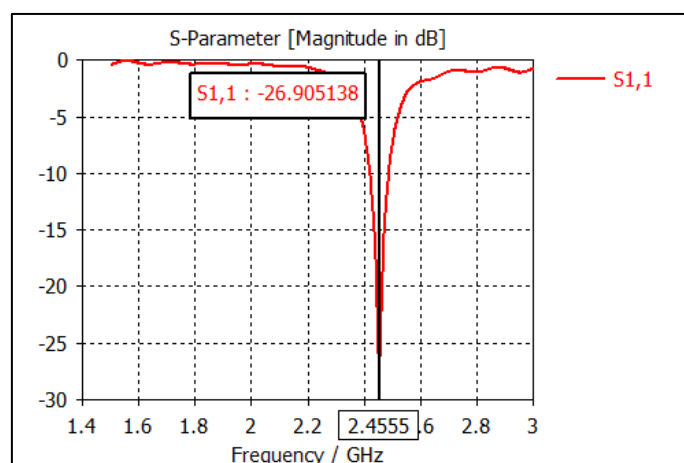
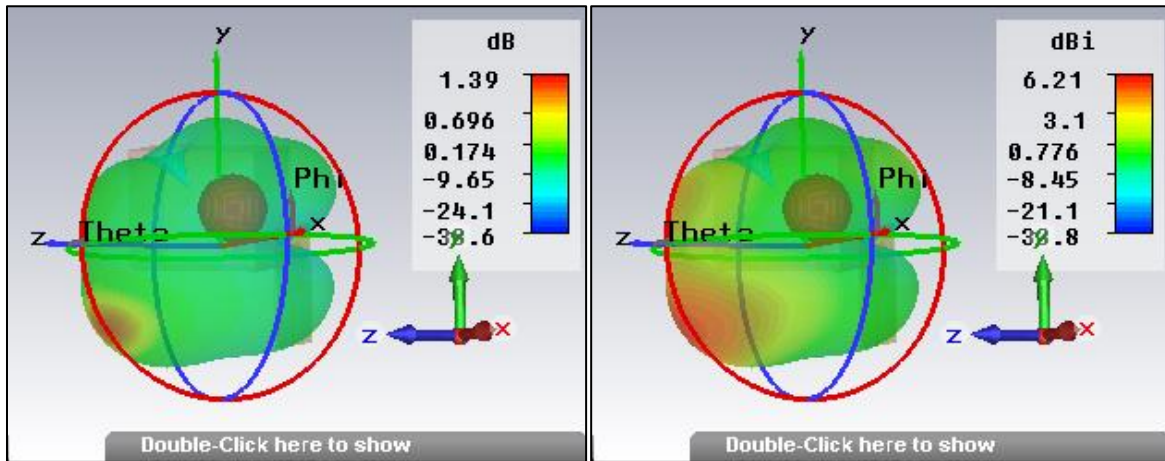


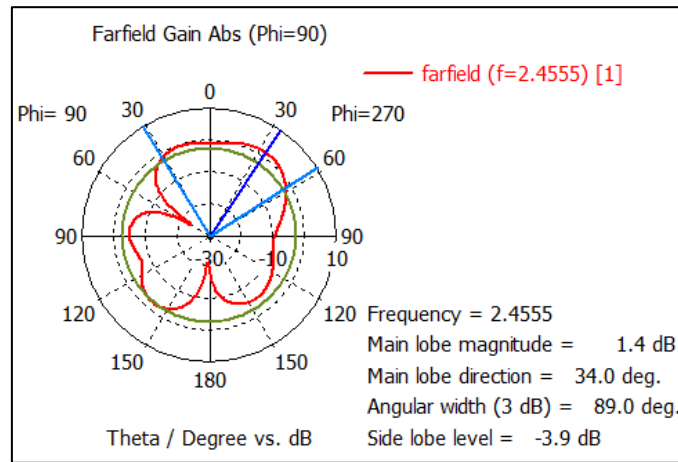
Figure III - 17 Coefficient de réflexion S11 de l'antenne patch hexagone à 25mm avec la tumeur.

• Diagramme de rayonnement



(a)

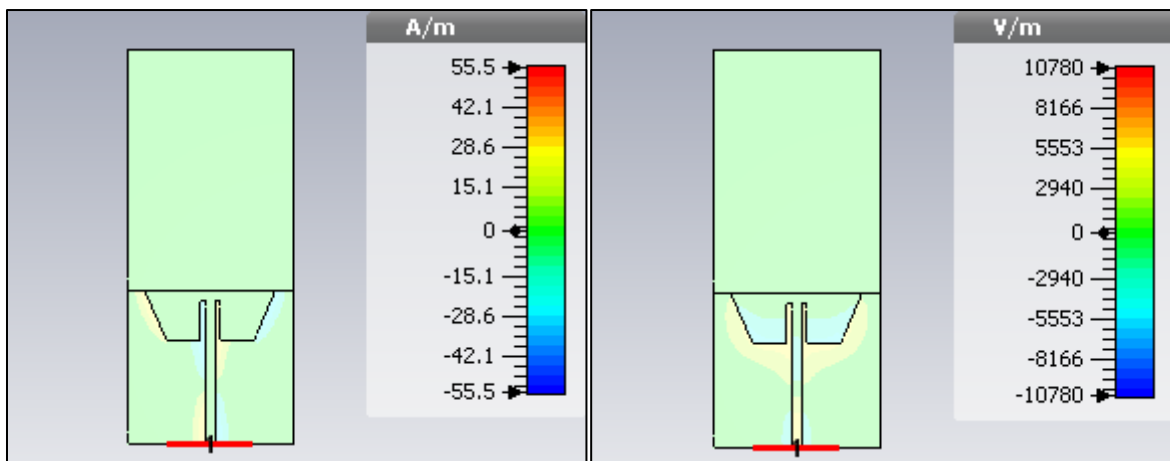
(b)



(c)

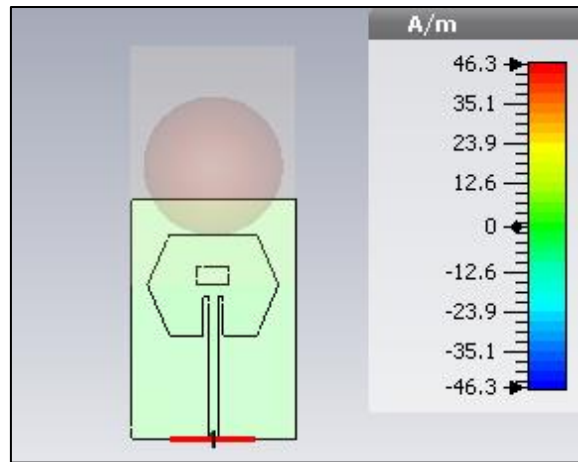
Figure III - 18 le diagramme de rayonnement (a)le gain 3D ; (b)la directivité ;
(c)le gain polaire.

• La Distribution du courant



(a)

(b)



(c)

Figure III - 19 (a) E-Field ; (b) H-Field ; (c) densité de courant de surface.

V.5 Amélioration des performances

Afin de s'approcher de la réalité, nous allons faire varier la position de la tumeur ; les résultats de simulations sont montrés ci-dessous :

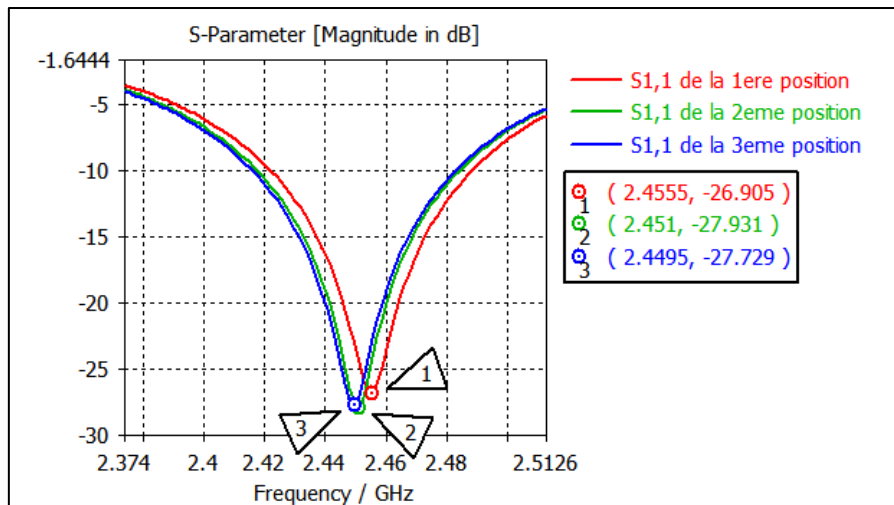


Figure III - 20 Coefficient de réflexion S11 de l'antenne patch hexagone à 25mm avec la tumeur dans différentes positions.

- **Résumer des résultats de simulations :**

Nous allons comparer dans le tableau III-6 suivant les différents résultats de simulations :

Différents cas	Fr (GHz)	S11 (dB)	Gain (dB)	Directivité (dBi)	Densité de courant de surface (A/m)	H-Field (A/m)	E-Field (V/m)
Sans tumeur	2.4465	-21.90	0.9506	6.269	51.02	64.92	12.43×10^3
1ere Position de la tumeur 34.6mm du centre	2.4555	-26.90	1.391	6.205	46.3	55.53	10.78×10^3
2eme position de la tumeur 27.68mm du centre	2.451	-27.93	1.77	6.38	46.34	55.71	10.79×10^3
3eme position de la tumeur 23.06mm du centre	2.4495	-27.72	1.73	6.63	46.27	55.47	10.74×10^3

Tableau III - 7 Résumer des résultats de simulations.

D'après le tableau III-6 ; les résultats montrent que la tumeur est bien détectée à la position 23.06mm ; nous remarquons bien que les valeurs des caractéristiques : champ électrique, champ magnétique et la densité de courant de surface ont diminuer de 12.43×10^3 V/m, 64.92 A/m, 51.02 A/m au 10.74×10^3 V/m, 55.47 A/m, 46.27 A/m respectivement ; ce qui montre bien qu'une quantité d'énergie est absorbée ; cela signifie que l'antenne à détecter la présence de la tumeur dans le sein.

VI. Prototype et mesure de l'antenne patch hexagone

Nous avons réalisé et mesurer notre antenne patch hexagone au sein du laboratoire de télécommunications de Tlemcen avec l'analyseur réseau VNA (23MHz-6200MHz). La figure III-21 montre les résultats de mesure ; nous avons obtenu un S11 de -18.8 dB à la fréquence

2.452GHz. Les résultats de mesure sont comparables avec celle de simulations, nous pouvons conclure que notre antenne proposée est prête à être intégrée dans des dispositifs microonde pour la détection des tumeurs de seins.

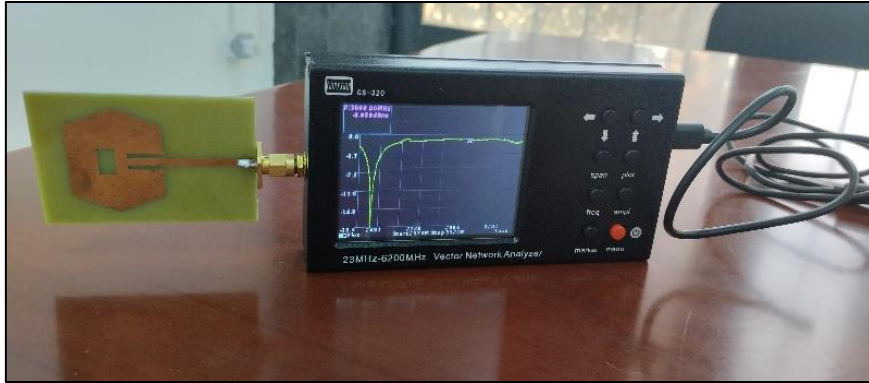


Figure III - 21 mesure de l'antenne patch hexagone avec l'analyseur réseau.

VII. Conclusion

Ce chapitre a présenté les résultats de simulation de notre étude sur la détection de tumeurs du sein à l'aide d'une antenne patch. Nous avons exploré différentes configurations de notre système de détection en plaçant l'antenne en face du modèle du sein et en intégrant une tumeur simulée dans le tissu glandulaire.

Les résultats ont montré une diminution significative des champs électriques et magnétiques en présence de la tumeur, indiquant un potentiel de détection prometteur. Nous avons identifié une position optimale de détection où les valeurs de ces champs étaient optimisées.

En conclusion, notre système de détection offre une méthode efficace pour la détection précoce des tumeurs du sein. Ces résultats ouvrent la voie à des applications cliniques potentielles dans le domaine de la médecine diagnostique, et fournissent une base solide pour des études ultérieures dans ce domaine crucial de la santé.

**CONCLUSION
GENERALE**

Conclusion générale

La conception d'une antenne patch pour la détection du cancer du sein par rayonnement représente une avancée significative dans le domaine de la détection précoce et non invasive des tumeurs. En exploitant les différences de propriétés diélectriques entre les tissus sains et cancéreux, cette technologie permet de distinguer efficacement les anomalies potentielles à l'aide des ondes électromagnétiques. L'antenne patch, grâce à sa compacité, sa légèreté et son coût de fabrication relativement faible, offre une solution prometteuse pour les systèmes optimisés pour fonctionner dans la gamme des micro-ondes.

L'objectif principal de ce mémoire était de détecter les tumeurs cancéreuses dans le sein par micro-onde. Dans cette étude, nous avons examiné la pertinence et les avantages potentiels des antennes patch micro-ruban pour cette détection, tout en passant en revue les différentes techniques de dépistages des tumeurs actuellement utilisées et celles en cours de développement.

Dans le premier chapitre, nous avons donné une introduction générale sur les antennes imprimées, en abordant les différentes formes, caractéristiques, techniques d'alimentation et d'adaptation, tout en mettant en lumière leurs avantages et leurs inconvénients.

Ensuite, dans le deuxième chapitre nous avons exploré en détail les points essentiels concernant le cancer du sein. Nous avons commencé par décrire l'anatomie du sein, les différents types de cancer du sein ainsi que les stades de la maladie. Ensuite, nous avons examiné les propriétés électriques du tissu humain, qui revêtent une grande importance pour la détection des tumeurs. Nous avons également passé en revue les différentes techniques de détection, en mettant en évidence leurs avantages et leurs inconvénients, et nous avons conclu que la méthode basée sur le système d'imagerie micro-onde offre des perspectives prometteuses. Enfin, nous avons abordé les avantages et les inconvénients de ce système.

Dans le troisième chapitre, nous avons centré notre attention sur la présentation des étapes de conception et d'optimisation d'une antenne patch adaptée à ce domaine spécifique. Tout d'abord, nous avons introduit et expliqué le logiciel CST, qui a servi de plateforme de simulation pour nos travaux. Ensuite, nous avons utilisé un modèle de fantôme représentant le sein, tant en l'absence qu'en la présence de tumeur. Les résultats préliminaires montrent que l'antenne patch proposée est bien adaptée à la détection des tumeurs mammaires, avec des performances prometteuses en termes de coefficient de réflexion, de champs H et E, ainsi que de courant de surface. Ces résultats positifs ouvrent la voie à des applications cliniques potentielles,

améliorant ainsi le dépistage du cancer du sein et ultimement, les taux de survie des patientes grâce à des diagnostics précoces et plus précis.

Bibliographie

- [1] BENCHERIF, Y., & BOUGUENINA, F. (2021). Réseaux d'antenne patch pour application spatial.
- [2] Wahiba, A., & Farida, C. (2012). Etude de l'antenne patch rectangulaire par le modèle de la cavité (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [3] LALMI, H. (2015). Conception et simulation d'un réseau d'antennes microrubans circulaires pour les applications radar.
- [4] Miraoui.A. (2018). Optimisation d'antenne compacte pour les systèmes de communication ultra large bande (University Mustapha Stambouli of Mascara).
- [5] HADDAD Mouslim, K. A. (2023). Conception et réalisation d'une antenne ultra large bande pour des applications biomédicales.
- [6] BOURAIOU, A. (2018). Etude d'une antenne microruban excitée par une ligne imprimée (Doctoral dissertation, Université de Batna 2).
- [7] AINAOUI, S., & YOUSFI, I. (2015). Conception et réalisation d'une antenne imprimée large bande (1-3GHz) (University of Blida).
- [8] KHIAT, I., & KADDOUR, M. E. M. (2022). Conception d'une antenne spirale en technologie micro-ruban pour la détection des tumeurs (Doctoral dissertation).
- [9] TALEB, S. (2016). Simulations de systèmes d'antennes pour imagerie micro-ondes (Doctoral dissertation, Université de Tlemcen).
- [10] LULIAN, R. Phased Array Antennas.
- [11] Chaouche, Y. B. (2019). Conception d'Antennes Planaires Reconfigurables pour Opération Large Bande et Multi-Bande (Doctoral dissertation, Université Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi de Bordj Bou Arreridj (Algérie)).
- [12] <https://123dok.net/article/methodes-d-alimentation-des-antennes-patches.z126lwvy>.
- [13] ABDELOUAHA, K. (2015). Etude et conception d'une antenne micro ruban rectangulaire adaptée par ligne quatre d'onde.
- [14] ZIANI, K.D. (2011). Etude et conception d'antennes ultra large bande (Université Abou Bakr Belkaid de Tlemcen).

- [15] Harouni, Z. (2011). Conception et caractérisation d'une Rectenna à double polarisation circulaire à 2.45 GHz (Doctoral dissertation, Université Paris-Est).
- [16] Doumi, K., & Refas, L. (2018). Optimisation des systèmes radio cognitive à base d'une antenne ULB utilisant des métamatériaux sub-longueur d'onde (Université Mustapha Stambouli de Mascara).
- [17] Benamrane, F. (2011). Conception d'une antenne patch microstrip. mémoire de master, télécoms hyperfréquence, Université sidi mohamed ben abedellah maroc.
- [18] <https://slideplayer.fr/slide/2439530/>.
- [19] <https://forums.futura-sciences.com/physique/941338-ligne-de-transmission-stub.html>.
- [20] Attaouat, F., & Lechehab, S. Etude et Conception d'une Antenne Patch Monopole à faisceau reconfigurable à base de surfaces sélectives en fréquence (Doctoral dissertation, Université Kasdi Merbah Ouargla).
- [21] CHOUHBANE, M. (2021). Etude et Conception d'une antenne Reconfigurable En Fréquence et en Diagramme de rayonnement.
- [22] BOUREZZANE, B., & MANSOURI, A. E. Conception d'une antenne de tag RFID passif Sur la bande UHF (Doctoral dissertation, UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA).
- [23] Khalla, N. E. H. (2022). Conception et réalisation d'une antenne bi-bande pour des Applications GPR.
- [24] Behèoul, A., & Benghalia, A. (2010). Contribution à l'étude des antennes microstrip supraconducteur de forme triangulaire.
- [25] <https://www.electricity-magnetism.org/fr/antennes-patch/>.
- [26] <https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/breast-cancer>.
- [27] <https://ishh.fr/cancer-du-sein/anatomie-et-pathologies-du-sein/>, 48 ter Boulevard Victor Hugo, 16 avril 2020.
- [28] ELHIMEL, I. (2018). Elaboration d'un guide pédagogique pour la rédaction des questions d'anatomie des concours d'internat et de résidanat appareils : locomoteur, digestif et urogénital.
- [29] <https://acteurdemasante.lu/fr/cancer-du-sein/le-sein-a-la-decouverte-de-son-anatomie/>.
- [30] <http://www.depistagesein.ca/anatomie-du-sein/>.
- [31] <https://www.carenity.com/infos-maladie/cancer-du-sein-155>.

- [32] Mallecourt, P. (2008). Mieux comprendre le cancer du sein : du dépistage à la guérison. Fernand Lanore.
- [33] les maladies du sein, <https://www.e-cancer.fr/Patients-et-proches/Les-cancers/Cancer-du-sein/Les-maladies-du-sein>, france.
- [34] Infocancer, Les tumeurs malignes, <https://www.arcagy.org/infocancer/qui-sommes-nous/arcagy-gineco-et-realisation-du-site.html/>.
- [35] <https://www.informationhospitaliere.com/tumeur-maligne-et-tumeur-benigne-quelles-differences>.
- [36] <https://radiotherapie-hartmann.fr/actualites/cancer-sein/les-differents-stades-du-cancer-du-sein/>.
- [37] Sebban,E. (2019). Les stades et types de cancer du sein.
- [38] Cardin-Changizi, P. (2023). Cancer du sein de stade 1, 2, 3 et 4 : définition, prise en charge. Journal des Femmes.
- [39] Zhang, H. (2015). Microwave imaging for ultra-wideband antenna-based cancer detection.
- [40] KHIAT, I., & KADDOUR, M. E. M. (2022). Conception d'une antenne spirale en technologie micro-ruban pour la détection des tumeurs (Doctoral dissertation).
- [41] Katbay, Z. (2018). Développement d'antennes pour la détection de tumeurs cancéreuses dans le sein (Doctoral dissertation, Université de Bretagne occidentale-Brest ; Université Libanaise).
- [42] Bah, M. H., Hong, J. S., & Jamro, D. A. (2015, June). Study of breast tissues dielectric properties in UWB range for microwave breast cancer imaging. In International Conference on Computer Information Systems and Industrial Applications (pp. 473-475). Atlantis Press.
- [43] O'Halloran, M., Conceicao, R. C., Byrne, D., Glavin, M., & Jones, E. (2009). FDTD modeling of the breast: A review. Progress In Electromagnetics Research B, 18, 1-24.
- [44] Radiological Society of North America, Inc. (n.d.). Breast Cancer Screening. RadiologyInfo.org.
- [45] Fondation ARC pour la recherche sur le cancer. (n.d.). Cancers du sein : le diagnostic.
- [46] Ramsay Santé. (n.d.). Mammographie.
- [47] Hôpitaux Universitaires de Genève. (2019, janvier 29). L'échographie à ultrason.

- [48] Nora, I., & Samira, K. (2017). Etude d'un système d'Echographie et application d'algorithmes pour la détection d'anomalies de la prostate (Doctoral dissertation, Université Mouloud Mammeri).
- [49] Société canadienne du cancer. (n.d.). Diagnostic du cancer du sein. Cancer.ca.
- [50] Institut National Du Cancer. (n.d.). IRM. E-cancer.fr.
- [51] The BayNet. (2009, July 28). Breast MRI coil helps identify early breast cancer.
- [52] Rana, M. M. (2021). Development and evaluation of a sensor and antenna array for a portable microwave-based breast cancer detection system (Master's thesis).
- [53] Moussa, T. B., & Rabia, T. R. A. O. R. E. INFLUENCE DES PARAMETRES GEOMETRIQUES SUR LES PERFORMANCES DE L'ANTENNE PATCH RECTANGULAIRE.
- [54] Barrou, O., Abdelati, R. E. H. A., & Abdelkebir, E. L. (2016). Etude Paramétrique Des Antennes Patches Rectangulaires Alimentées Par Proximité. Revue Méditerranéenne des Télécommunications, 6(2).
- [55] Katbay, Z. (2018). Développement d'antennes pour la détection de tumeurs cancéreuses dans le sein (Doctoral dissertation, Université de Bretagne occidentale-Brest ; Université Libanaise).
- [56] Çalışkan, R., Gültekin, S. S., Uzer, D., & Dündar, Ö. (2015). A microstrip patch antenna design for breast cancer detection. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 195, 2905-2911.
- [57] Delorme, B. (2010). Les antennes dans les réseaux de téléphonie mobile.