

République Algérienne Démocratique et Populaire  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique  
Université 8Mai 1945 – Guelma  
Faculté des sciences et de la Technologie  
Département d'Electronique et Télécommunications



**Mémoire de fin d'étude**  
**Pour l'obtention du diplôme de Master Académique**

Domaine : **Sciences et Technologie**  
Filière : **Télécommunications**  
Spécialité : **Systems des Télécommunications**

**Simulation et fabrication d'une nouvelle antenne pour la  
détection des tumeurs cancéreuses**

Présenté par :  
**KHOUALED KHAWLA**  
**DOUKHI IBTISSEM**  
Sous la direction de :  
**Dr. CHAABANE ABDELHALIM**

**Juin 2023**

## RÉSUMÉ :

Une nouvelle antenne patch plane est présentée dans ce travail pour la détection des tumeurs cancéreuses. L'antenne proposée peut fonctionner autour de la fréquence de 5,08 GHz. Les simulations sont réalisées à l'aide du logiciel Computer Simulation Technology (CST). L'antenne proposée est imprimée sur un substrat FR-4 qui a une permittivité de 4,4 et des dimensions de 20 x 25 x 1,6 mm<sup>3</sup>. Les simulations montrent que l'antenne proposée peut fournir un diagramme de rayonnement acceptable et un gain raisonnable. Pour prouver l'utilité de l'antenne proposée pour la détection des tumeurs cancéreuses, un test de détection d'une boule conductrice placée à l'intérieur de la poitrine d'un poulet est réalisé. Les résultats obtenus démontrent l'efficacité de l'antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses.

## Abstract:

A new planar patch antenna is presented in this work for the detection of cancerous tumors. The proposed antenna can operate around the frequency of 5.08 GHz. Simulations are performed using the Computer Simulation Technology (CST) software. The proposed antenna is printed on an FR-4 substrate with a permittivity of 4.4 and dimensions of 20 x 25 x 1.6 mm<sup>3</sup>. The simulations show that the proposed antenna can provide an acceptable radiation pattern and reasonable gain. To demonstrate the usefulness of the proposed antenna for cancerous tumor detection, a detection test involving a conductive sphere placed inside a chicken breast is conducted. The obtained results demonstrate the effectiveness of the antenna for cancerous tumor detection.

## ملخص

يتم تقديم هوائي مسطح جديد في هذا العمل لاكتشاف الأورام السرطانية. يمكن للهوائي المقترح أن يعمل حول تردد 5.08 GHz. يتم طباعة الهوائي المقترح على مادة أساسية (CST). جيجاهرتز. يتم إجراء المحاكاة باستخدام برنامج تكنولوجيا محاكاة الحواسيب ذات ثابت طبقة 4.4 ، و أبعاد 20 × 25 × 1.6 مم. تظهر المحاكاة ان الهوائي المقترح يمكنه توفير نمط إشعاع مقبول و كسب FR-4 معقول. لإثبات فائدة الهوائي المقترح لاكتشاف الأورام السرطانية يتم إجراء اختبار اكتشاف كرة موصلة موضوعة داخل صدر دجاجة ، تظهر النتائج المحصل عليها فاعلية الهوائي في اكتشاف الأورام السرطانية

# *REMERCIEMENTS*

*Je remercie Dieu Tout-Puissant de m'avoir aidé à poursuivre mes études et pour la force et le courage qu'il m'a donné tout au long de mon parcours d'études.*

*Je voudrais dans un premier temps remercier, mon encadreur Dr.*  
**CHAABANE Abdelhalim.**

*Pour sa patience, sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils, qui*  
*Ont contribué à alimenter ma réflexion.*

*Je remercie également les membres du jury pour l'intérêt qu'ils ont porté à mon recherche en acceptant d'examiner mon travail et de l'enrichir par leurs propositions.*

*Je tiens également à témoigner ma gratitude et mes remerciements à tous les collaborateurs du Département Electronique et Télécommunications, pour leur aide dans la réalisation de ce mémoire. Surtout Mlle **Boukharouba Soraya** et **Khalla Nor El Houda.***

*À tous ces intervenants, je présente mes remerciements, mon respect et ma gratitude.*

# *Dédicaces*

*Je dédie ce travail :*

*A Ma mère et mon père,  
Qui ont joué un rôle essentiel dans ma vie. Leur amour  
inconditionnel, leur soutien inébranlable, leurs prières et leur patience  
ont été d'une valeur inestimable pour moi.*

*A mon mari,*

*A Mes deux frères Ahmed, Daoud et ma sœur Wiam, A toute*

*Ma Famille,*

*A mes proches.*

*Khoulded khawla*

# *Dédicaces*

*Du profond de mon cœur je dédie ce travail à tous ceux qui me sont  
chers*

*A mes chers parents*

***Zohra et Amar***

*Nulles dédicaces ne peuvent exprimer ce que je leur dois , par leur prière,  
leur patiences en moi, il ont tous fait pour mon bonheur et ma réussite .*

*Qu'ils veuillent trouve dans ce travail le fruit de leur sacrifices illimites et  
la preuve de mon amour et de ma gratitude éternelle.*

*A mes chères sœurs*

***Hanane et Inès***

*Qui m'ont tant donne de courage pour à accomplir cette mission*

*Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le bonheur*

*A mes chers cousins*

***Meriem et wail***

*Que Dieu les protège et leurs offre la chance et le*

*bonheur*

*A mon cher mari*

***Issam***

*Merci pour votre amour et votre*

*encouragement*

*A mes amis proche*

***Agaguna hodjatoulah***

***Gouassmi amel, Layada amal, Sahour donia, Chouafa ichraf***

*A mes grands-mères **lyamna** et **massouda** Que*

*Dieu leur Donne une longue et joyeuse vie. A toute ma famille*

***DOUKHI ET TERCHOUN***

*Doukhi Iblisseem*

## *Liste des symboles*

---

$D(\theta, \varphi)$  : La directivité.

$G(\theta, \varphi)$  : le gain de antenne dans les directions  $\theta$  et  $\varphi$ .

$P(\theta, \varphi)$  : la puissance rayonnée par une antenne.

$P(\theta, \phi)$  : puissance rayonnée dans une direction quelconque.

$P_r$  : la puissance totale rayonnée.

$P_o(\theta, \phi)$  : puissance rayonnée max.

$r(\theta, \phi)$  : La fonction caractéristique de rayonnement.

$S_{11}$  : Le coefficient de réflexion.

$\Gamma$  : Coefficient de réflexion.

$P_a$  : Puissance d'entrée.

$R_a$  : partie réelle.

$R_l$  : la résistance de pertes.

$R_r$  : la résistance de rayonnement.

$X$  : partie imaginaire.

$Z_a$  : I impédance.

$\eta$  : Le rendement de l'antenne.

## *Liste d'Abbreviations*

---

ACS : American Cancer Society

CAO : Conception Assistée par Ordinateur

CCD : dispositif à couplage de charge

CST : Computer Simulation Technology

ERC : European Radiocommunication Committee

ERP : puissance rayonnée effective

F.D.T.D : Finit Différence Time Domain

FCC: Federal Communications Commission

FIT: Finite Integration Technique

FLIM: Fluorescent Lifetime Imaging Microscopy

GPS: Global Positioning System.

IRM : imagerie par résonance magnétique.

ISM: Industrial, Scientific and Medical bands.

MIC : Modulation par Impulsions et Codage.

MICS : Medica l'Implant Communications Service.

MLT : Le modèle de ligne de transmission.

MoM : La méthode des moments.

S11 : le coefficient de réflexion.

TOS: taux d'onde stationnaire.

VHF: Very High Frequency.

VSWR: Voltage Standing Wave Ratio.

## ***Table de matière***

---

Remerciements

Dédicaces

Résumé

Sommaire

Introduction Générale

### **Chapitre I : Techniques de détection des tumeurs cancéreuses**

Introduction	2
Qu'est-ce qu'une tumeur cancéreuse ?	2
Qu'est-ce qu'une tumeur du sein ?	3
Les Méthodes pour détecter les tumeurs cancéreuses	3
Objectifs de la détection et du diagnostic du cancer du sein	4
Différence entre tumeurs bénignes et tumeurs malignes	4
Les Techniques de détection des tumeurs cancéreuse	5
Mammographie	5
Echographie	6
l'imagerie par résonance magnétique (IRM)	7
Image optique	9
Image micro -onde	10
Propriétés diélectriques des tissus humains	11
Historique	11
Motivation de l'utilisation des micro-ondes	13
Avantages de l'imagerie micro-onde	13
Fréquences disponibles	13
Approches de l'imagerie micro-onde	13

**Chapitre II : Généralités sur les antennes**

Introduction	16
Les paramètres fondamentaux des antennes	16
Largeur de bande	16
L'impédance	17
Coefficient de réflexion et taux d'onde stationnaire (TOS)	17
La directivité	17
Rendement de l'antenne	18
Gain d'une antenne	18
II.2.7. Le diagramme de rayonnement	19
Définition Et Historique Des Antennes Imprimées	20
Description De L'antenne Imprimée	21
Les différentes formes d'antennes imprimées	21
Domaines d'applications	22
Avantages et inconvénients	22
Techniques d'alimentations	23
Alimentation par ligne microbande	24
Alimentation coaxiale directe	25
Alimentation par couplage électromagnétique	25
Alimentation par couplage à ouverture dans le plan de masse	26
Méthodes d'analyses	28
Méthodes analytiques	28
Modèle de la ligne de transmission	28
Modèle de la cavité	28
Méthodes numériques	29
Méthode des éléments finis	29
Méthode des différences finies	29
Méthode des moments	30
Mécanisme de rayonnement	31
Les applications des antennes imprimées	32
Conclusion	33

## ***Table de matière***

### **Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses**

---

Introduction	35
Le simulateur CST Microwave Studio	36
Méthodes de conception	37
Description de l'antenne de base	38
Résultats De Simulation	39
Coefficient de réflexion S11	39
Le diagramme de rayonnement en 2D	40
Le diagramme de rayonnement en 3D	41
caractéristique du sein (breast)	42
III.5.4 Résultats de la simulation d'antenne avec le sein en présence et en l'absence d'une tumeur	42
III .6 Validation	44
Description de la machine LPKF ProtoMat S103	44
Réalizations d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses	46
Appareil de mesure analyseur de réseaux	46
III 6.4 Mesure par Analyseur de réseau	47
III.6.4.1 Coefficient de réflexion S11	47
III.6.5 Résultats de réalisation d'antenne avec de poitrine de poulet en présence et en l'absence d'une boule métallique	48
III.7 conclusion	50
Conclusion générale	52
Bibliographie	53

# *Introduction Générale*

# Introduction Générale

---

## Introduction Générale

Le cancer est l'une des maladies les plus répandues et les plus dévastatrices dans le monde. La détection précoce des tumeurs cancéreuses est essentielle pour améliorer les chances de guérison et réduire la mortalité liée au cancer. Dans ce contexte, les avancées technologiques dans le domaine des antennes et des techniques d'imagerie jouent un rôle crucial dans le développement de méthodes de détection précises et non invasives [1].

Le présent mémoire de recherche se concentre sur la simulation et la fabrication d'une nouvelle antenne destinée à la détection des tumeurs cancéreuses. L'objectif principal est de concevoir une antenne efficace et sensible capable de détecter les tumeurs dans le tissu mammaire. Pour atteindre cet objectif, il est nécessaire de comprendre à la fois les techniques de détection des tumeurs cancéreuses et les principes fondamentaux des antennes.

Le mémoire est structuré en trois chapitres. Le premier chapitre présente une revue des techniques de détection des tumeurs cancéreuses. Il examine les différentes méthodes de détection telles que la mammographie, l'échographie, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) et l'imagerie optique. De plus, il met l'accent sur l'utilisation de l'imagerie micro-onde pour la détection des tumeurs, en soulignant les propriétés diélectriques des tissus humains et les avantages de cette approche.

Le deuxième chapitre traite des généralités sur les antennes. Il explore les principaux paramètres fondamentaux des antennes, tels que la largeur de bande, l'impédance, le coefficient de réflexion, la directivité, le rendement et le gain. De plus, il examine les antennes imprimées, en abordant leur définition, leur historique, leurs différentes formes, leurs domaines d'application et leurs avantages et inconvénients. Les techniques d'alimentation et les méthodes d'analyse des antennes sont également discutées.

Le troisième chapitre se concentre sur la conception et le développement de l'antenne spécifique pour la détection des tumeurs cancéreuses. Il présente le simulateur CST Microwave Studio utilisé pour mener des simulations et évaluer les performances de l'antenne. Les méthodes de conception sont détaillées, ainsi que la description de l'antenne de base. Les résultats de simulation, y compris le coefficient de réflexion, les diagrammes de rayonnement, sont présentés. Ensuite, la validation expérimentale est réalisée en fabriquant l'antenne et en effectuant des mesures à l'aide d'un analyseur de réseaux.

***Chapitre I :***  
***Techniques de détection des***  
***tumeurs cancéreuse***

## **I.1 Introduction**

Selon l'American Cancer Society (ACS), le cancer est un ensemble de maladies caractérisées par une croissance incontrôlée et une propagation des cellules anormales [2]. Il est considéré comme la deuxième cause de décès dans le monde après les maladies cardiovasculaires. Le cancer peut se développer dans différentes parties du corps et peut affecter les individus de tous âges, bien que la majorité des cas surviennent chez les personnes de plus de 55 ans. Cependant, seule une petite proportion de cas de cancer est liée à des facteurs génétiques, et de nombreux décès pourraient être évités grâce à une alimentation saine et un mode de vie approprié. Le cancer du sein est l'un des types de cancer les plus fréquents chez les femmes, représentant environ 25% des cas [3].

La détection précoce est essentielle pour réduire la mortalité, et l'imagerie par micro-ondes, une technique non ionisante et peu coûteuse, a été proposée comme alternative pour la détection du cancer du sein. Les taux de détection des tumeurs mammaires sont élevés dans les régions développées du monde, mais relativement faibles dans les pays en développement, où les taux de mortalité par tumeur mammaire sont similaires à ceux des pays développés. Par conséquent, des méthodes complémentaires et alternatives sont nécessaires pour réduire la mortalité par tumeur mammaire, et l'imagerie par micro-ondes pourrait être une modalité d'imagerie utile à l'avenir [4].

Dans ce chapitre, nous explorerons différentes techniques couramment employées pour la détection des tumeurs cancéreuses, en tenant compte du type de cancer et de la localisation de la tumeur.

## **I. 2 Qu'est-ce qu'une tumeur cancéreuse ?**

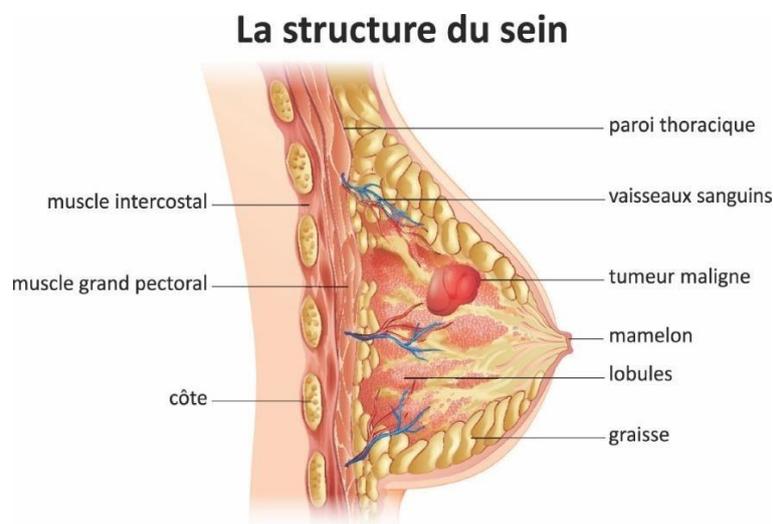
Une tumeur cancéreuse est le résultat d'une prolifération anormale de cellules dans un tissu du corps. Normalement, les cellules se multiplient de manière contrôlée et sont remplacées par de nouvelles cellules. Cependant, certaines cellules peuvent subir des altérations génétiques qui entraînent une croissance incontrôlée, formant ainsi une tumeur. On distingue trois types de tumeurs :

- **Les tumeurs non cancéreuses** : également appelées tumeurs bénignes, qui se développent lentement, restent localisées et ne récidivent généralement pas après le traitement.
- **Les tumeurs cancéreuses** : ou tumeurs malignes, qui ont tendance à se développer plus rapidement, à envahir d'autres parties du corps et à former des métastases, c'est-à-dire de nouvelles tumeurs à distance du site d'origine.
- **Les tumeurs intermédiaire** : également connues sous les termes "atypiques" ou "évolutives", qui sont initialement bénignes mais peuvent évoluer vers un état cancéreux sur une période de temps variable [5].

### I.3 Qu'est-ce qu'une tumeur du sein ?

Le cancer du sein est une tumeur maligne qui se développe dans les tissus de la glande mammaire et affecte principalement les femmes.

En France, environ 58 459 nouveaux cas de cancer du sein ont été enregistrés chez les femmes en 2018. Grâce aux progrès thérapeutiques et à une sensibilisation accrue au dépistage précoce, la mortalité liée à cette maladie a diminué depuis les années 1990. Cependant, le cancer du sein demeure la principale cause de décès par cancer chez les femmes en France, avec plus de 12 000 décès enregistrés en 2018 [6].



**Figure I.1** : Présentation de tumeur du sein [6].

### I.4 Les Méthodes pour détecter les tumeurs cancéreuses

Il existe différentes méthodes pour détecter les tumeurs cancéreuses, telles que :

- **Les examens physiques** : Les médecins effectuent des examens physiques pour détecter des anomalies comme des bosses, des tumeurs ou des kystes.
- **Les tests de laboratoire** : Les analyses de sang et d'urine peuvent révéler des signes de cancer.
- **Les examens d'imagerie** : Les radiographies, échographies, scanners et IRM permettent de visualiser les organes internes et de détecter des anomalies.
- **Les biopsies** : Les biopsies consistent à prélever un échantillon de tissu pour une analyse en laboratoire afin de déterminer s'il est cancéreux.

La méthode de détection utilisée est déterminée en fonction du type de cancer, de son stade, de l'état de santé global du patient et de ses antécédents familiaux [7].

### **I.5 Objectifs de la détection et du diagnostic du cancer du sein**

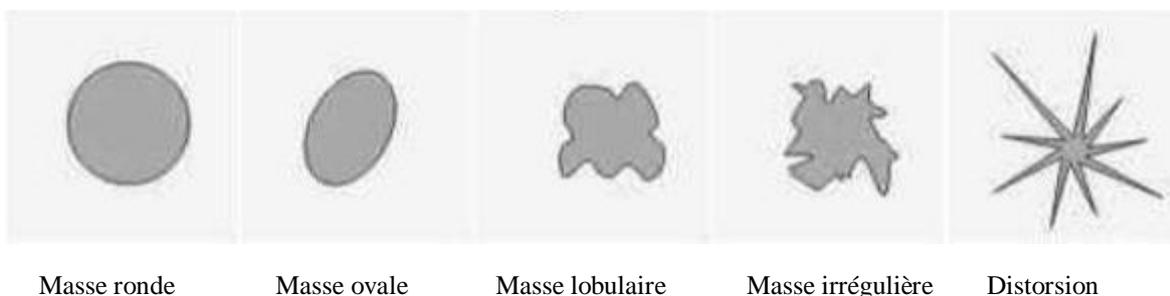
Les techniques non invasives de détection du cancer du sein ont été introduites pour la première fois dans les années 1960. Depuis lors, la mammographie utilisant des rayons X est devenue une technique clinique courante pour la détection précoce du cancer du sein. D'autres modalités d'imagerie telles que l'échographie et l'IRM ont ensuite été introduites. Les objectifs de la détection et du diagnostic précoce du cancer du sein sont d'améliorer les performances de détection des tumeurs, la capacité de localiser et de classer les tumeurs, d'améliorer le confort et la sécurité des patients, de réduire les coûts et d'augmenter le nombre de patientes dans la population. Pourcentages. Cependant, à ce jour, aucune technologie ne répond simultanément à tous ces critères [8].

### **I.6 Différence entre tumeurs bénignes et tumeurs malignes**

Les tumeurs mammaires se divisent en deux catégories principales. Tumeurs bénignes et malignes. Les tumeurs bénignes courantes comprennent le mastose, une prolifération de tissu fibreux, des cicatrices et des kystes, qui sont des poches anormales remplies de liquide.

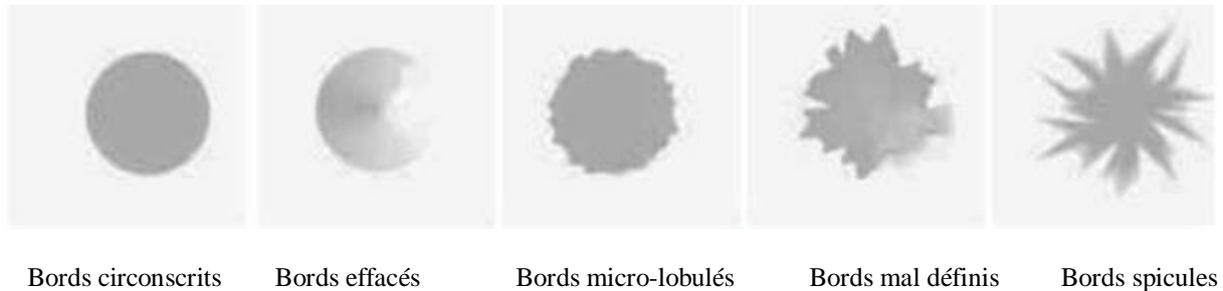
La distinction entre tumeurs bénignes et malignes est principalement basée sur leur risque. De plus, leur composition en eau et leur morphologie sont également des facteurs importants dans cette distinction. La plupart des tumeurs malignes ont une surface sphérique irrégulière, alors que les tumeurs bénignes ont une surface lisse et une forme sphérique [9].

Les masses (ou tumeurs) sont généralement classées en cinq types différents : Circulaire, ovale, lobulaire, irrégulier ou présentant des distorsions structurelles, comme illustré à la Figure I.2 [10].



**Figure I.2 :** Différentes forme de masse [10].

Un examen attentif des bords de la masse est important et peut nécessiter l'utilisation d'une loupe. En général, nous discutons de cinq types de bords rectifiés : circonscrits, effacés, micro-lobulés, mal définis et avec des spicules (la figure I.3) [11].



**Figure I.3 :** Types de bords de différentes masses [10].

Un bord flou indique que la masse est en contact avec le tissu adjacent, et un bord flou ou une aiguille indique une infiltration ou une infiltration de la masse dans le tissu sain environnant.

### **I .7 Les Techniques de détection des tumeurs cancéreuse**

La technique de détection des tumeurs et de chirurgie de résection guidée par l'image est une approche chirurgicale avancée du traitement du cancer du sein. Elle utilise des techniques d'imagerie telles que la mammographie, l'échographie et l'IRM pour guider avec précision la chirurgie et aider à retirer les tumeurs.

#### **I 7.1 Mammographie**

La mammographie aux rayons X est largement utilisée comme technique de diagnostic clinique depuis les années 1960. Cela implique de prendre des rayons X à travers le sein et d'enregistrer les rayons X du côté controlatéral pour créer des images d'objets denses dans les tissus mous. Pendant la mammographie, le sein est comprimé entre deux plaques pour réduire la dose de rayonnement requise et minimiser l'exposition aux rayonnements des tissus sains. Cette compression permet de détecter précocement le cancer du sein. Bien que la mammographie soit pratique, elle a aussi ses inconvénients. Celle-ci consiste à exposer la patiente à des rayonnements ionisants, mais se limite à des examens annuels et peut être douloureuse du fait de la compression mammaire nécessaire [11].

La figure I.4 illustre un dispositif de radiographie utilisant des rayons X :



**Figure I.4 :** Mammographie [11].

La mammographie par rayons X est utilisée pour dépister le cancer du sein chez les femmes ne présentant pas de symptômes. Si une femme présente des signes de tissus cancéreux ou d'anomalies, une échographie est réalisée. Si ces deux méthodes de dépistage ne permettent pas de diagnostiquer la présence de cancer du sein, une biopsie est réalisée. Cette procédure consiste en un prélèvement d'un échantillon de tissus mammaires par un chirurgien, qui est ensuite testé pour déterminer s'il est cancéreux ou sain [11].

### **I .7.2 Echographie**

Lors d'une échographie mammaire, la patiente s'allonge et le chirurgien utilise une sonde à ultrasons pour créer une image en temps réel du sein, qui s'affiche à l'écran. En déplaçant la sonde sur la poitrine, différentes zones peuvent être visualisées et des images de haute qualité peuvent être obtenues [12].

La figure I.5 montre le processus utilisé pendant une échographie mammaire.



**Figure I.5 :** Système d'imagerie ultrasonore [11].

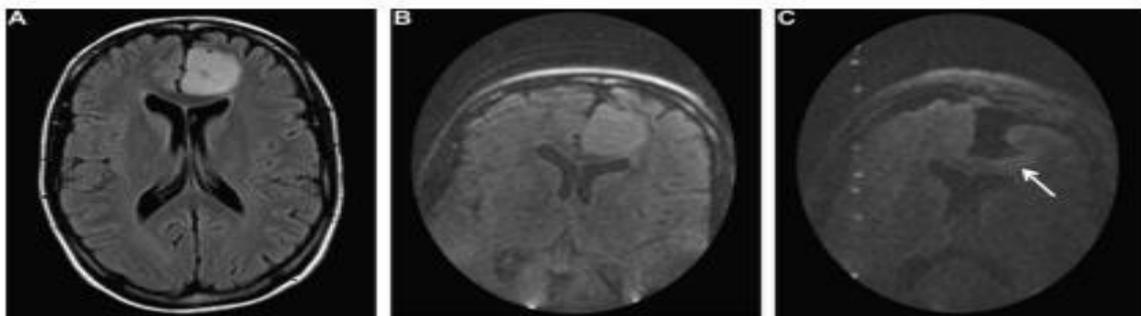
Une image échographique montre le profil du tissu mammaire sous la sonde. Les zones sombres représentent des tissus à forte teneur en eau et à forte atténuation, mettant souvent en évidence des kystes bénins dans le sein. Cependant, en utilisant les ultrasons seuls, les microcalcifications et les masses solides ne peuvent pas être détectées.

L'échographie est un complément important à la mammographie pour caractériser les masses solides. En fait, les biopsies inutiles sont souvent évitées après l'identification d'une masse suspecte sur une mammographie. Contrairement à la mammographie, l'échographie est non ionisante, ce qui permet à l'opérateur d'effectuer autant d'exams que nécessaire. L'imagerie en temps réel peut également aider à guider les biopsies à l'aiguille après la détection de tumeurs par mammographie ou IRM [11].

Malgré ses avantages, l'échographie a également des limites, telles que les performances du système dépendant des compétences du technicien et de l'expertise de l'opérateur. De plus, certaines masses solides peuvent être indiscernables et les lésions profondes peuvent être difficiles à détecter [11].

### **I.7.3 l'imagerie par résonance magnétique (IRM)**

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) utilise des noyaux d'hydrogène dans les tissus pour créer des images de zones du corps. Le patient est placé dans un champ magnétique puissant qui aligne les spins des noyaux dans la même direction. Les spins tournent alors autour de l'axe du champ magnétique à la fréquence de Larmor. L'application d'une impulsion RF à cette fréquence inclinera les spins dans un plan transversal perpendiculaire à l'axe du champ magnétique. Lorsque l'impulsion s'arrête, les spins reviennent à leur position d'origine et émettent des ondes à la fréquence de Larmor. Cela peut être détecté avec une antenne spéciale. Les temps de relaxation T1 et T2 de l'aimantation transversale et longitudinale dépendent des mouvements moléculaires locaux et affectent le contraste de l'image. L'administration d'agents de contraste tels que le gadolinium peut améliorer le contraste en modifiant le temps de relaxation. Les images sont générées en appliquant des gradients de champ magnétique dans différentes directions [12].



**Figure I.6** : d'images IRM [12].

L'imagerie par résonance magnétique (IRM) est une technique qui utilise des noyaux d'hydrogène pour visualiser les tissus mous du corps. Cependant, la chirurgie a des limites. Les délais peuvent affecter la qualité de l'image résultante. L'IRM peropératoire est principalement utilisée pour surveiller la résection, identifier la tumeur résiduelle et corriger les erreurs de localisation. La chirurgie des tumeurs cérébrales est l'application clinique la plus importante de l'IRM peropératoire. Une étude récente a montré que l'utilisation de l'IRM peropératoire a permis une résection complète de la tumeur dans 96 cas. Cependant, l'IRM peropératoire a des limites dans l'identification de petites zones d'invasion tumorale primaire. Deux procédures sont utilisées pour l'IRM peropératoire. L'utilisation de l'IRM à haut champ en dehors du bloc opératoire allonge le temps opératoire et nécessite un investissement initial important. Alternativement, utilisez une IRM ouverte avec une qualité d'image inférieure. L'IRM bas champ peropératoire est un compromis intéressant car moins coûteux que l'IRM haut champ [12].



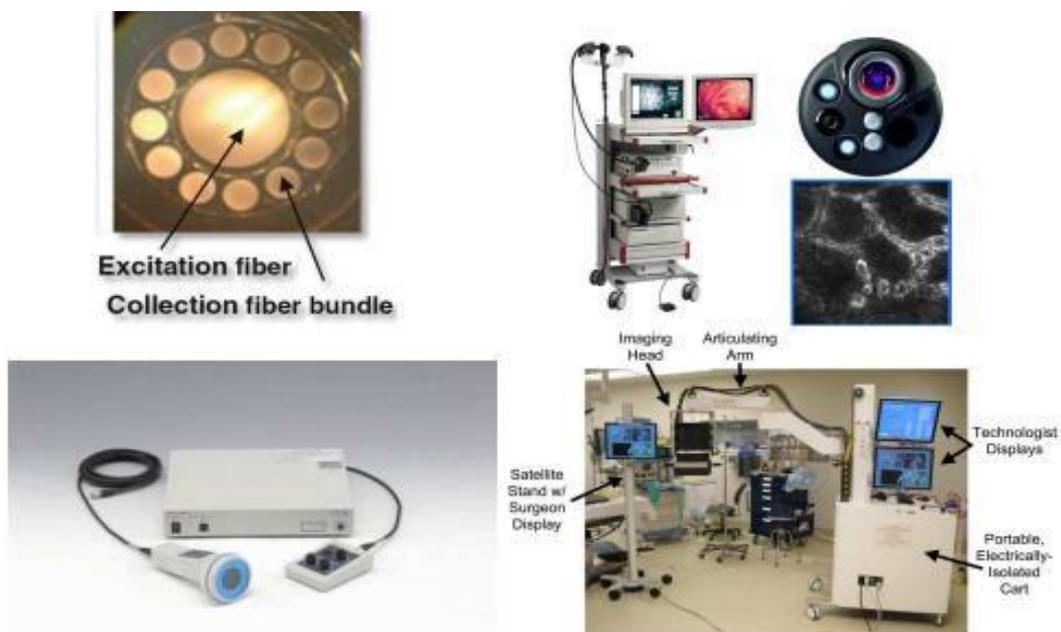
**Figure 1.7 :** Chirurgie d'exérèse assistée par un IRM bas champ  
(Pole Star N-20, 0,15 T) [12].

### **I .7.4 Image optique**

L'imagerie optique vise à mesurer les paramètres de la lumière dans les tissus, tels que l'intensité, le spectre, la polarisation et le temps de vie. Cette modalité permet d'accéder à des informations fonctionnelles multiparamétriques sur les tissus, ce qui la distingue des techniques anatomiques et structurelles comme l'IRM et les ultrasons. De plus, elle est non-ionisante et relativement simple à mettre en œuvre. La fluorescence est actuellement la seule technique optique utilisée de manière non-confidentielle en bloc opératoire pour la détection de tissus cancéreux, mais d'autres méthodes comme la spectroscopie Raman et l'imagerie optique du signal intrinsèque sont en cours d'évaluation. La détection de la fluorescence endogène, provenant de molécules intrinsèques dans les tissus, permet de caractériser leur état

biochimique, physiologique et histologique. Les tissus cancéreux peuvent être identifiés en comparant leurs caractéristiques optiques avec celles des tissus sains, ce qui rend cette technique théoriquement plus sensible et spécifique pour différencier les tissus pathologiques *in vivo* [12].

Dans la pratique, la détection de la fluorescence endogène est fréquemment réalisée en utilisant un système de fibres optiques pour exciter la lumière. Une source de lumière est connectée à une fibre de collecte qui transfère la fluorescence à un monochromateur et à un système de photo-détection tel qu'un tube photomultiplicateur ou une CCD (Charge-Coupled Device) (Figure I.8). Un imageur capable de produire des images de fluorescence à vie, appelé FLIM (Fluorescence Lifetime Imaging Microscopy), a également été développé. Dans une étude portant sur 42 patients, des tissus de gliome de bas grade (I et II) ont été détectés en mesurant la durée de vie de la fluorescence intrinsèque à des longueurs d'onde de 390 et 460 nm à l'aide d'un système à fibre optique. Cette méthode a démontré une sensibilité et une spécificité de 100% et 98,44%, respectivement, pour les gliomes de haut grade (III et IV). Des résultats similaires ont été obtenus lors d'une étude sur trois patients en utilisant le système FLIM. De nombreuses autres études cliniques ont été menées sur divers types de cancer, tels que les cancers gastro-intestinaux, pulmonaires, buccaux, mammaires, cutanés ou oculaires [12].



**Figure I.8 :** Exemple d'agencement des fibres pour une sonde peropératoire d'auto fluorescence [12].

La fluorescence endogène présente l'avantage de ne pas nécessiter d'injection de traceur, mais présente certaines limites. Premièrement, le signal d'auto fluorescence est très sensible aux

changements environnementaux tels que la température et le pH, ce qui peut compliquer le diagnostic de la tumeur. Les faux positifs sont également courants et les faux signaux provenant du sang peuvent interférer avec la détection. De plus, les fenêtres spectrales d'excitation et d'émission des fluorophores endogènes (<600 nm) se situent dans la bande d'absorption de l'hémoglobine, limitant la détection aux tumeurs superficielles telles que les bords des plaies chirurgicales et les excisions [12].

### **I.8 Image micro -onde**

L'imagerie médicale par micro-ondes repose sur l'utilisation d'ondes électromagnétiques à haute fréquence (plusieurs gigahertz) afin de générer des images de l'intérieur du corps humain. Contrairement à la radiographie et à l'IRM, qui utilisent des ondes de plus grande longueur d'onde, l'imagerie micro-onde est moins sensible aux tissus mous et à l'eau, mais se révèle plus efficace pour détecter les tissus denses tels que les os et les tumeurs.

Cette technique utilise des antennes pour émettre et recevoir des ondes électromagnétiques de haute fréquence à travers le corps humain. Ces ondes sont réfléchies et dispersées de manière différente selon la composition des tissus qu'elles traversent. Les signaux réfléchis et diffusés sont ensuite traités afin de créer des images en deux ou trois dimensions de l'intérieur du corps.

L'imagerie micro-onde est principalement utilisée pour détecter le cancer du sein chez les femmes ayant des tissus mammaires denses. Elle est également en cours de développement pour l'imagerie cardiaque et cérébrale, ainsi que pour la surveillance des plaies et des ulcères cutanés. Bien que cette technique offre une résolution spatiale élevée et une faible exposition aux rayonnements, elle présente des limites, notamment une faible pénétration des ondes dans les tissus et une sensibilité limitée aux petits objets. Les chercheurs travaillent continuellement à améliorer cette technologie et à élargir ses applications cliniques [11].

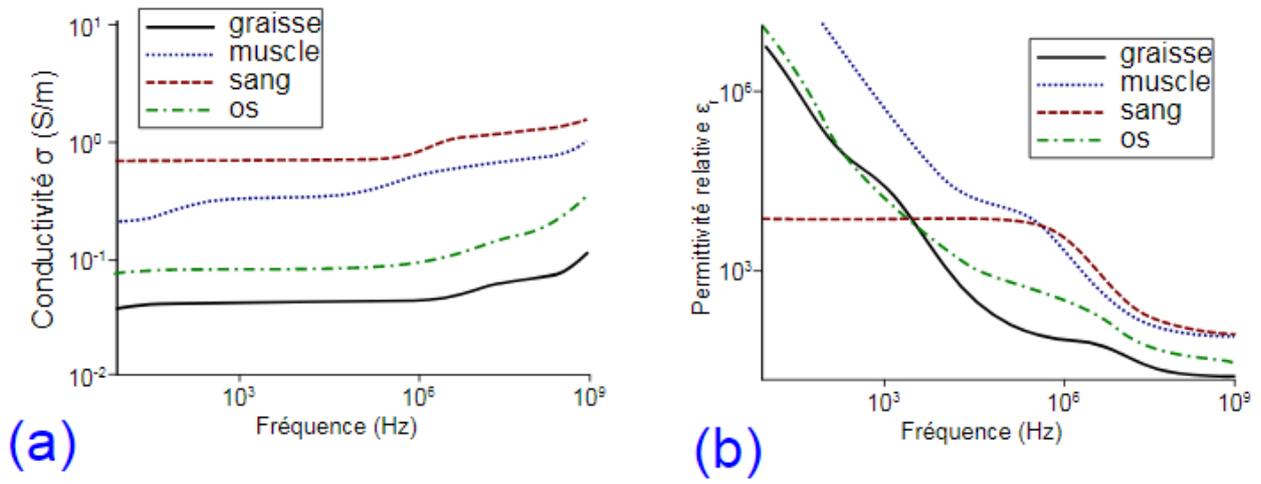
#### **I.8.1 Propriétés diélectriques des tissus**

##### **I.8.1.1 Historique**

Les propriétés diélectriques du tissu humain sont étudiées depuis les années 1920, avec un intérêt particulier pour sa conductivité électrique. Au fil des décennies, les chercheurs ont affiné les techniques de mesure pour mieux comprendre les propriétés diélectriques des tissus et leur relation avec la composition, la structure et la fonction. Des avancées telles que la spectroscopie diélectrique et la tomographie par impédance électrique ont élargi les connaissances dans ce domaine [11].

Aujourd'hui, l'évaluation des caractéristiques diélectriques des tissus est employée dans divers domaines, tels que l'imagerie médicale, l'électrophysiologie et la biologie cellulaire.

Voici un exemple de courbe représentant la permittivité et la conductivité des tissus humains



**Figure 1.9 :** Courbes de permittivité et de conductivité mesurées pour différents tissus ducorps humain .

On a constaté que les os et les tissus adipeux ainsi que les poumons présentait les valeurs diélectriques les plus basses. En revanche, en raison de leur forte teneur en eau et en ions libres, le sang et les muscles affichent des permittivités et conductivités nettement plus élevées [11].

### **I 8.2 Motivation de l'utilisation des micro-ondes**

Même si les images obtenues récemment par imagerie micro-onde présentent une différence de contraste relativement faible entre les tissus normaux et cancéreux, la valeur du contraste diélectrique atteint jusqu'à 10%, ce qui est supérieur aux méthodes cliniques actuelles telles que la mammographie (2%) et l'échographie (moins de 10%). Par conséquent, l'imagerie micro-onde continue d'être considérée comme une option prometteuse et viable [13].

### **I.8.2 Avantages de l'imagerie micro-onde**

L'imagerie par micro-ondes présente de nombreux avantages dans la détection du cancer du sein, notamment un contraste élevé par rapport aux méthodes cliniques existantes telles que la mammographie et l'échographie. De plus, elle utilise des rayonnements non ionisants, ce qui la rend sûre pour une utilisation en dépistage de routine. Cette méthode offre également un meilleur confort aux patients car elle n'implique pas de compression et peut être plus économique que d'autres techniques d'imagerie [11].

### **I.9 Fréquences disponibles**

Dans le domaine médical, il est fréquent d'utiliser des antennes qui fonctionnent dans la bande de fréquence MICS (Medical Implant Communications Service) de 402 à 405 MHz. Cette bande de fréquence est réglementée par la FCC (Federal Communications Commission) et l'ERC (European Radiocommunication Committee) et correspond à une longueur d'onde d'environ 74 cm dans l'air et 9 cm dans les tissus humains. Selon les normes de l'ETSI (European Telecommunications Standards Institute), la puissance rayonnée maximale autorisée dans cette bande de fréquence est de 25  $\mu$ W ERP (puissance rayonnée effective). Cette limite peut être augmentée pour compenser les pertes dues aux tissus humains. Les circuits biomédicaux peuvent également utiliser les bandes ISM (Industrial, Scientific and Medical bands) sans licence, telles que les fréquences de 434 MHz, 868 MHz et 2,4 GHz en Europe, ainsi que 315 MHz, 915 MHz et 2,4 GHz aux États-Unis [11].

Ces derniers temps, les fréquences de 1,2 GHz et 1,4 GHz, ainsi que la bande Med Radio (Medical Device Radiocommunication Service) de 401 à 406 MHz, ont été utilisées dans le domaine des applications médicales. De plus, des fréquences plus basses comme 13,56 MHz et 40,68 MHz sont allouées dans la bande ISM pour permettre des communications par induction magnétique en champ proche à l'aide de bobines magnétiques de petite taille sur le plan électrique [11].

#### **I.9.1 Approches de l'imagerie micro-onde**

L'imagerie micro-onde peut être réalisée en utilisant deux approches principales, qui diffèrent par la manière dont les données sont collectées par le système d'imagerie.

La première approche consiste à collecter les données dans le domaine temporel. Dans cette approche, une onde pulsée est utilisée pour irradier l'objet à imager, et le champ de diffraction est mesuré à différents moments et en différents points. La méthode d'inversion utilisée est généralement la méthode numérique du temps, avec l'imagerie confocale étant la plus couramment utilisée. Des méthodes plus avancées, telles que la tomographie micro-ondes à impulsions pulsées, sont également en développement [11].

La deuxième approche consiste à collecter les données dans le domaine fréquentiel. Dans cette méthode, le sein est continuellement illuminé par un ou plusieurs émetteurs à une fréquence fixe, et l'amplitude et la phase du champ électrique diffracté sont mesurées par un ou plusieurs récepteurs. Dans cette étude, l'approche adoptée est celle du domaine fréquentiel, qui permet la détection des décalages de fréquence en présence de tumeurs à l'aide d'une seule antenne. Les détails spécifiques de cette étude sont décrits dans le chapitre suivant .

### **I .10 Conclusion**

Détecter les tumeurs cancéreuses de manière précoce revêt une importance capitale pour améliorer les chances de guérison et réduire la mortalité. Les méthodes de détection ont évolué au fil du temps, offrant des approches plus précises et moins invasives pour un diagnostic précoce. L'imagerie médicale, comme la mammographie, la tomodensitométrie, l'IRM et l'échographie, est largement utilisée dans la détection des tumeurs cancéreuses, mais elle peut présenter des limitations, notamment des résultats erronés, qu'ils soient positifs ou négatifs.

L'imagerie micro-onde est une méthode d'imagerie prometteuse et alternative pour détecter précocement les tumeurs cancéreuses, notamment dans le cas du cancer du sein. Cette technique présente l'avantage d'être non ionisante et potentiellement abordable sur le plan financier. Cependant, des améliorations sont requises pour sa mise en œuvre plus courante dans les pratiques cliniques.

En fin de compte, une approche multidisciplinaire est essentielle pour améliorer la détection précoce des tumeurs cancéreuses et établir des programmes de dépistage efficaces. Des efforts de recherche continus sont nécessaires afin de développer des méthodes de détection plus précises, rapides et économiques pour identifier précocement les tumeurs cancéreuses.

***Chapitre II :***  
***Généralités sur les antennes***

### II.1.Introduction

Les antennes sont des composants fondamentaux dans les systèmes de communication modernes. Elles permettent la transmission et la réception des ondes électromagnétiques qui transportent les informations dans l'espace sans fil. Les antennes jouent un rôle crucial dans de nombreuses applications allant des téléphones portables aux satellites, en passant par les radars et les réseaux sans fil. Ce chapitre a pour objectif de présenter les généralités sur les antennes, leur fonctionnement, les différents types d'antennes existants, ainsi que les paramètres importants à prendre en compte lors de leur conception. Nous explorerons également les dernières tendances et avancées dans le domaine des antennes, et les défis actuels et futurs à relever pour répondre aux besoins croissants de communication sans fil.

La figure II.1 présente Structure d'une antenne émettrice memo

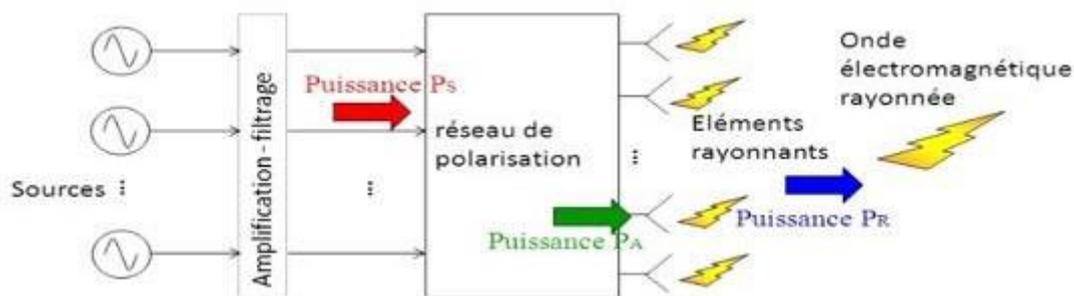


Figure II.1 : Structure d'une antenne émettrice [14].

### II.2 Les paramètres fondamentaux des antennes

Indépendamment du type d'antenne et de son mode de fonctionnement, les paramètres fondamentaux des antennes qui peuvent définir leurs performances sont généralement : la largeur de bande, le diagramme de rayonnement, l'impédance, la directivité et le gain, coefficient de réflexion  $S_{11}$  et taux d'onde stationnaire (TOS).

#### II.2.1 Largeur de bande

La largeur de bande de fonctionnement, nommée aussi bande passante d'une antenne est définie comme une gamme de fréquences sur laquelle la performance de l'antenne est conforme à certaines spécifications. Elle dépend donc de la fréquence sur laquelle 90 % de la puissance incidente est transmise (correspondant à  $-10$  dB). Ce pourcentage dépend de ce qui est acceptable pour une application donnée. Comme exemple, les antennes de téléphones cellulaires, la bande passante est souvent définie comme la plage de fréquence pour laquelle 75% de la puissance est transmise (correspondant à  $-6$  dB) [15].

### II.2.2 L'impédance

Une antenne est caractérisée par son impédance complexe  $Z_a$ . Elle est composée d'une partie réelle  $R_a$  et d'une partie imaginaire  $X$ .

$$Z_a = R_a + jX_a \quad (\text{I.1})$$

La partie réelle est composée de la résistance de pertes  $R_l$  et de la résistance de rayonnement  $R_r$ .

L'énergie dissipée par  $R_r$  correspond à l'énergie rayonnée par l'antenne.

$$R_a = R_r + R_l \quad (\text{I.2})$$

L'énergie dissipée par  $R_l$  correspond aux pertes diélectriques, aux pertes de conduction et aux pertes d'onde de surface de l'antenne [15].

### II.2.3 Coefficient de réflexion et taux d'onde stationnaire (TOS)

Afin de minimiser le taux d'onde stationnaire (TOS), une antenne doit être parfaitement adaptée à l'impédance caractéristique  $Z_0$  réelle d'une ligne de transmission (généralement  $50 \Omega$  ou  $75 \Omega$ ).

Le coefficient de réflexion d'une antenne  $\Gamma$  (ou  $s_{11}$ ) est défini par :

$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0} \quad (\text{I.3})$$

On peut représenter  $\Gamma$  sous la forme en décibel (dB)

$$S_{11} (\text{dB}) = 20 \log (|\Gamma|) \quad (\text{I.4})$$

Le taux d'onde stationnaire TOS est donné par

$$\text{TOS} = \frac{1 + \Gamma}{1 - \Gamma} \quad (\text{I.5})$$

### II.2.4 La directivité

La directivité  $D(\theta, \varphi)$  est le rapport de la puissance rayonnée par une antenne dans une direction donnée  $P(\theta, \varphi)$ . Elle s'exprime par :

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r} \quad (I.6)$$

Où :

$P(\theta, \varphi)$  : est la puissance rayonnée par une antenne.

$P_r$  : est la puissance totale rayonnée.

La directivité d'une antenne peut être facilement estimée à partir du diagramme de rayonnement de l'antenne. On peut dire qu'une antenne plus directive quand l'antenne admet une faible ouverture de rayonnement, par contre si elle admet une large ouverture de rayonnement on dit que c'est une antenne faiblement directive [16].

### II.2.5 Rendement de l'antenne

Le rendement de l'antenne est le rapport entre la puissance rayonnée et la puissance fournie à l'antenne, soit :

$$\eta = \frac{P_r}{P_f} \quad (I.7)$$

Ce rapport caractérise la perte à l'intérieur de l'antenne [17].

### II.2.6 Gain d'une antenne

Le gain d'une antenne dans une direction donnée  $(\theta, \varphi)$  est le rapport par unité d'angle solide entre la puissance  $P(\theta, \varphi)$  rayonnée par l'antenne et celle d'une antenne isotrope, il est exprimé par :

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

Où :

$G$  : le gain de l'antenne.

$P(\theta, \varphi)$  : la puissance rayonnée par une antenne.

$P_a$  : Puissance d'entrée.

Il est aussi exprimé par la directivité et la perte [16].

$$G(\theta, \varphi) = \eta \times D \quad (I.9)$$

### II.2.7 Le diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement est une représentation graphique de différentes variations de la puissance rayonnée par l'antenne dans les différentes directions de l'espace. Il indique les directions de l'espace dans lesquelles la puissance rayonnée est maximale. La fonction caractéristique de rayonnement  $r(\theta, \phi)$  est donnée comme suit :

$$r(\theta, \phi) = \frac{p(\theta; \varphi)}{p_0(\theta; \varphi)} \quad (\text{I.10})$$

Où :

$P(\theta, \phi)$  : puissance rayonnée dans une direction quelconque.

$P_0(\theta, \phi)$  : puissance rayonnée max [18].

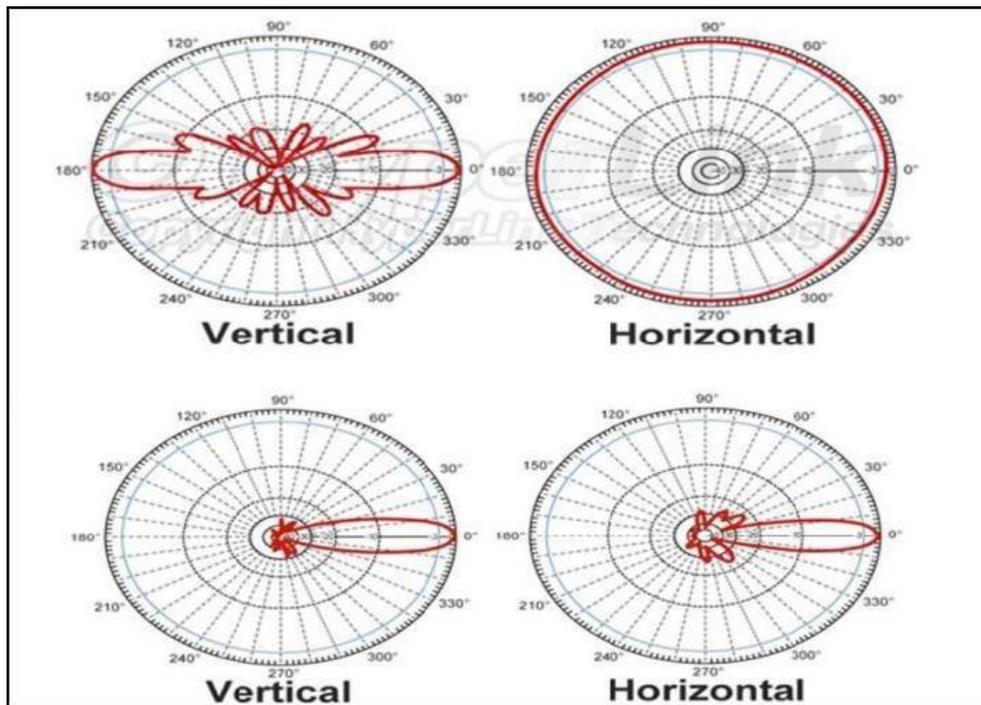


Figure II.2 : Le diagramme de rayonnement [18].

### II.3 Définition et historique des antennes imprimées

Le concept d'antennes imprimées ou micro ruban est apparu dans les années 50, mais ce n'est que vingt ans plus tard que les premières réalisations apparaissent. Dans un premier temps essentiellement réservées à des applications militaires puis à l'industrie à partir des années 1990. Elles sont aujourd'hui implantées dans de nombreux dispositifs électroniques et constituent le type d'antenne privilégié pour les applications VHF (Very High Frequency) et notamment pour la Wi-Fi et la radio amateur [19].

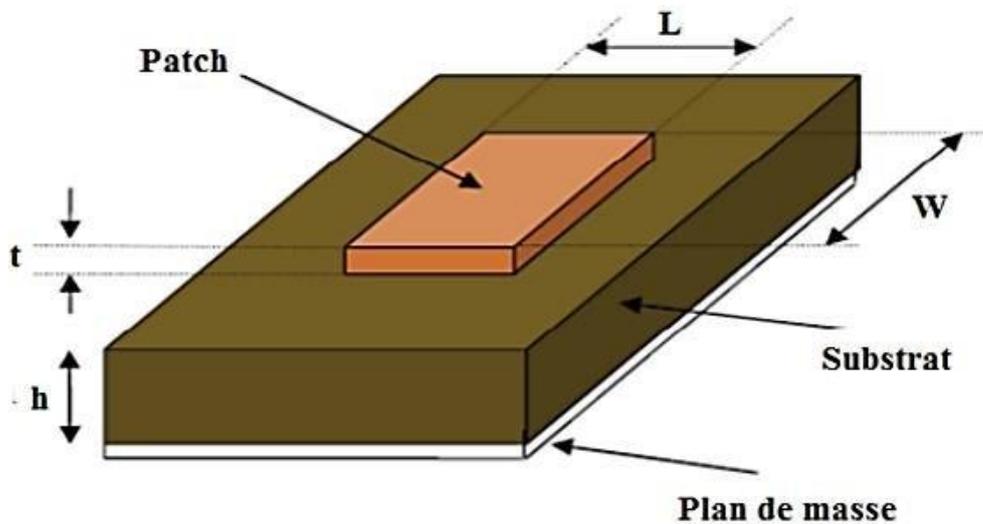


Figure II.3 : Structure d'une antenne imprimée [30].

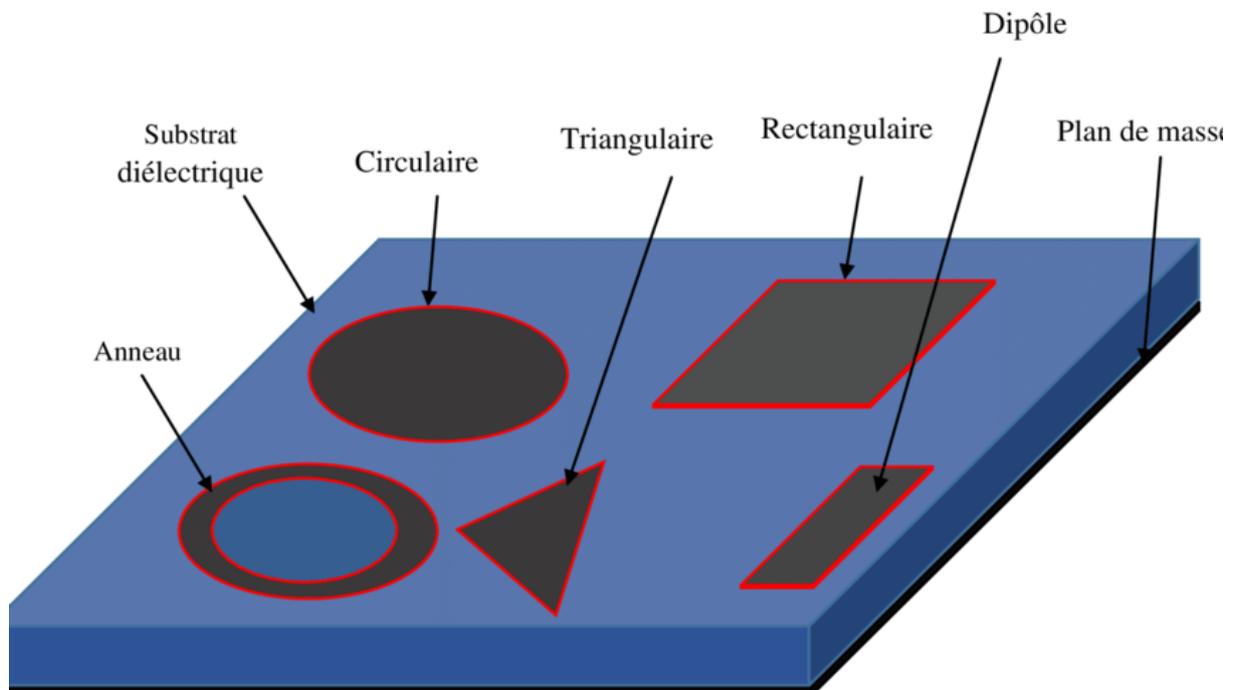
### II.3.1 Description de l'antenne imprimée

Une antenne à éléments rayonnants imprimés, communément appelée antenne patch (en anglais) ou antenne planaire est une ligne micro ruban de forme particulière.

Elle se compose d'un plan de masse et d'un substrat diélectrique dont la surface porte un ou plusieurs éléments métalliques [19], comme représenté sur la figure (II.3). L'élément rayonnant est généralement fabriqué à base d'un matériau conducteur tel que le cuivre ou l'or et il peut prendre n'importe quelle forme possible.

### II.3.2 Les différentes formes d'antennes imprimées

Dans la pratique, les formes des éléments rayonnants peuvent être variées, mais elles influent sur les modes qui sont susceptibles de s'exciter dans l'antenne, et donc sur la nature du rayonnement. Dans la pratique généralement on trouve la forme carrés, rectangle et disque mais la



utilisée [20].

Figure II.4 : Types d'éléments rayonnants [21].

### **II.3.3 Domaines d'applications**

Les antennes imprimées sont largement utilisées dans une variété de domaines en raison de leurs nombreux avantages par rapport à leurs inconvénients. Elles trouvent des applications dans des secteurs allant de l'électronique grand public aux systèmes technologiques avancés. Certains de ces domaines incluent les antennes de télémétrie et de communication de missiles, les radars, l'aviation, les liaisons de communication entre navires, ainsi que la communication entre systèmes GPS pour les armes intelligentes. Ces antennes imprimées jouent un rôle essentiel dans ces applications en assurant la transmission et la réception efficaces des signaux électromagnétiques [22].

### **II.3.4 Avantages et inconvénients**

Les antennes micro ruban sont de plus en plus populaires pour les applications qui couvrent une large gamme de fréquences de 100 MHz à 100 GHz. Une fonctionnalité très populaire dans les téléphones cellulaires. Voici quelques-uns de ses avantages :

- + Faible poids
- + Volume réduit
- + Faible encombrement
- + Faible épaisseur
- + Simplicité de réalisation et reproduction
- + Fort rendement d'ouverture
- + Polarisation variable simplement avec la position d'alimentation
- + Possibilités de le conformer sur des surfaces non planes
- + Possibilités d'association à des éléments actifs ou passifs tels que :  
Amplifications, modulateurs, déphaseurs
- + Peuvent être facilement intégrés dans les circuits micro-ondes intégrés (MIC)
- + La tendance à grouper plusieurs patches identiques pour construire des antennes réseaux.
- + Capables de fonctionner en double ou triple fréquence.

Cependant, ce type d'antenne a aussi des limites :

- ✚ Bande passante très étroite
- ✚ Généralement faible gain (6 dB).
- ✚ Rendement faible (concentration des champs sur les parois métallique)
- ✚ Effet de couplage parasite entre les éléments
- ✚ Supportent uniquement des faibles puissances (100 W).
- ✚ Rayonnement parasite de l'alimentation

### **II.3.5 Techniques d'alimentations**

Les éléments rayonnants des antennes sans fil sont excités par des lignes d'alimentation. Le choix de la ligne d'alimentation dépend de l'efficacité du transfert de puissance entre la structure rayonnante et la structure d'alimentation. La minimisation du rayonnement indésirable et de son effet sur le diagramme de rayonnement est l'un des facteurs importants pour l'évaluation de la ligne d'alimentation. Il existe plusieurs techniques d'alimentation développées jusqu'à présent. Les plus connues sont l'alimentation coaxiale, l'alimentation par ligne micro ruban, l'alimentation par couplage d'ouverture, l'alimentation par couplage de proximité, l'alimentation par guide d'ondes coplanaire, etc. [23]

Les principales techniques d'alimentation utilisées sont :

- ❖ Alimentation par une ligne microbande.
- ❖ Alimentation coaxiale directe.
- ❖ Alimentation par couplage électromagnétique.
- ❖ Alimentation par couplage à ouverture dans le plan de masse.

### II.3.6.1 Alimentation par ligne microbande

Dans cette technique d'alimentation, une bande conductrice est collée directement sur le bord du patch rayonnant Fig. II.5. La bande conductrice est plus étroite que le patch. L'avantage de ce type d'alimentation est qu'il peut être gravé du même côté de l'antenne, qu'il est facile à fabriquer et qu'il est facile à accorder à la résonance. C'est l'une des techniques les plus couramment utilisées pour les antennes imprimées. Il a l'inconvénient de générer des rayonnements parasites [24].

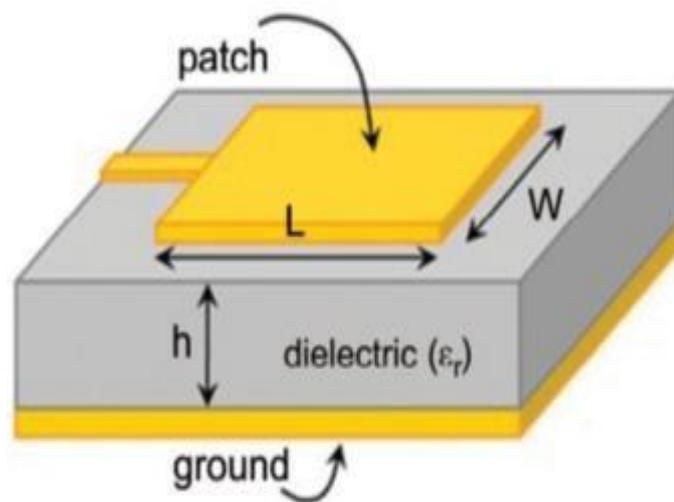


Figure II.5 : Alimentation par ligne microbande [18].

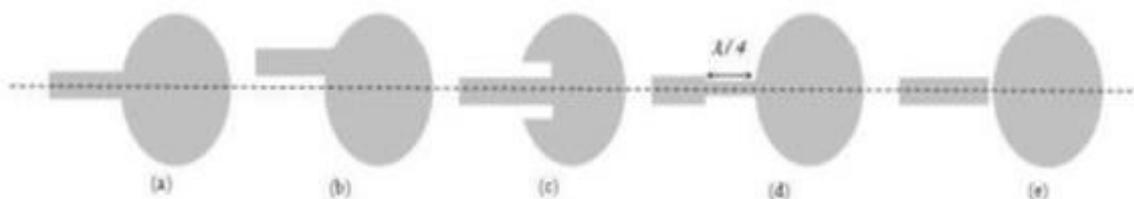
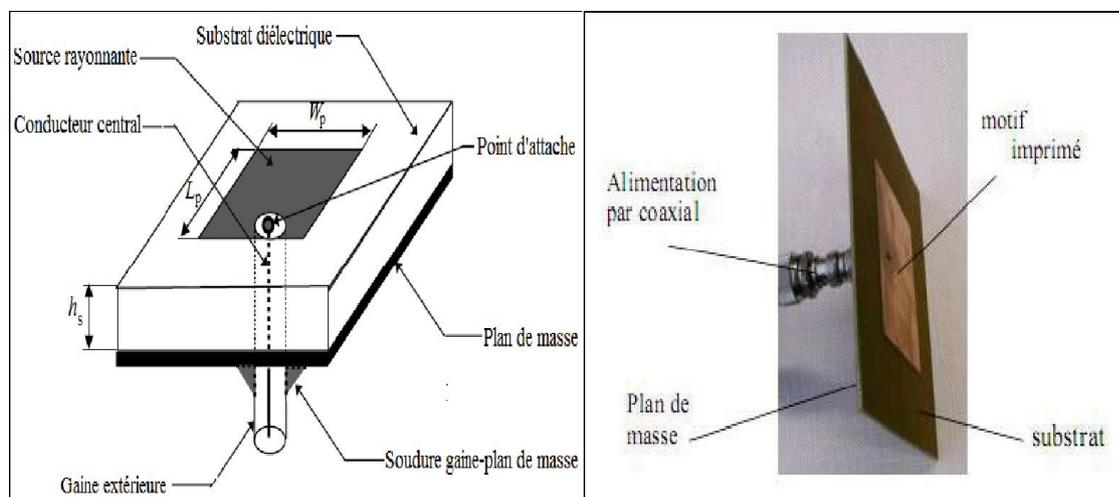


Figure II.6 : Alimentation par une ligne microbande (a) axiale (b) décalée (c) axiale avec encoche (d) adaptée par ligne quart d'onde (e) couplée par un écart [18].

### II.3.6.2 Alimentation coaxiale directe

Ce type d'alimentation, également appelé alimentation de sonde coaxiale, est couramment utilisé dans les patches circulaires et rectangulaires pour créer une polarisation circulaire. Le conducteur du connecteur coaxial est passé à travers le diélectrique soudé à l'élément rayonnant, et le conducteur extérieur est connecté au plan de masse Fig. II.7 [19]. Le principal avantage de ce type d'alimentation est qu'elle est facile à fabriquer et peut être placée à n'importe quel endroit du patch. Cependant, cette méthode présente un inconvénient en termes de diagramme de rayonnement. En effet, cette connexion peut produire des pics de courant locaux au niveau des éléments rayonnants, conduisant à des diagrammes de rayonnement dissymétriques.

De plus, des pertes se produisent lorsque le plan de masse, le diélectrique et l'élément plaqué sont percés [18].



**Figure II.7:** Alimentation par connexion directe à une ligne coaxiale [18].

### II.3.6.3 Alimentation par couplage électromagnétique

Une antenne se compose de deux substrats diélectriques avec une ligne d'alimentation entre eux. L'élément rayonnant est imprimé sur le substrat supérieur. Comme le montre la figure (II.8). L'excitation se produit par couplage électromagnétique. Bien que cette technique améliore la bande passante, elle est difficile à réaliser [18].

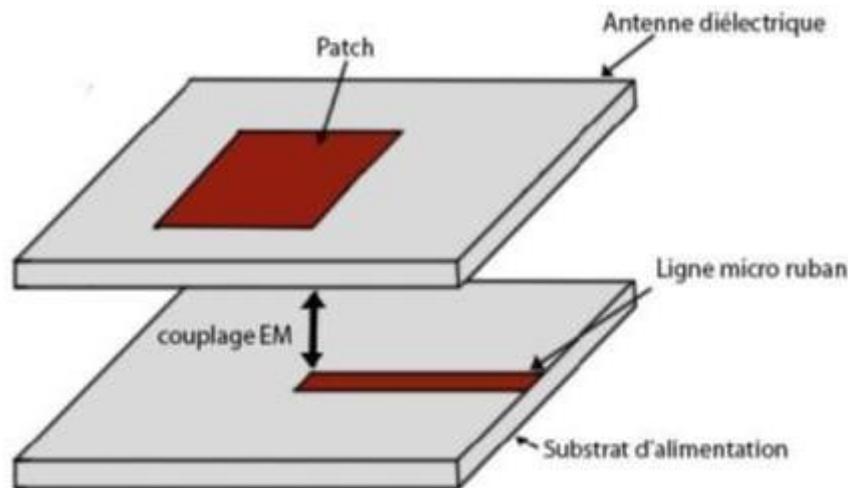
Les principaux avantages de ce type d'alimentation sont :

- ✓ Élimination radicale du rayonnement des lignes électriques.
- ✓ Aucun contact physique n'est requis entre la ligne électrique et le patch.

- ✓ Une distance accrue entre le patch et le plan de masse peut fournir une bande passante plus élevée.
- ✓ Plus d'options pour les combinaisons de deux diélectriques facilitent l'optimisation des performances de l'antenne. L'adaptation peut être effectuée en contrôlant la profondeur de la ligne d'alimentation sous le patch et la largeur du patch [22].

Les inconvénients sont :

- ✓ Fabrication difficile en raison des deux couches diélectriques qui requièrent un alignement adéquat.
- ✓ Augmentation de l'épaisseur globale de l'antenne et de son coût. [22].



**Figure II.8 :** Alimentation par couplage électromagnétique [18].

### II.3.6.4 Alimentation par couplage à ouverture dans le plan de masse

Les éléments rayonnants et les lignes micro-ruban d'alimentation sont placés de part et d'autre du plan de masse. Des fentes de couplage dans le plan de masse permettent à l'énergie de circuler entre la ligne d'alimentation et l'élément rayonnant. Cette méthode nécessite un positionnement précis des fentes. Cela présente les avantages suivants :

- ✓ Séparation des circuits d'alimentation via des plans de masse. Du fait de ce faible rayonnement parasite, ce rayonnement parasite se trouve en fait sous le plan de masse et non dans le sens de la propagation.

## Chapitre II : Généralités sur les antennes

- ✓ Adaptation facile à réaliser en raison de grand nombre de paramètres comme la taille de l'ouverture et la longueur du stub de la ligne d'alimentation.

Cependant, cette technique présente quelques inconvénients [17] :

- ✓ La bande passante est faible, mais peut être améliorée en faisant varier l'épaisseur du diélectrique ou en empilant plusieurs éléments rayonnants.
- ✓ Difficile à mettre en œuvre.

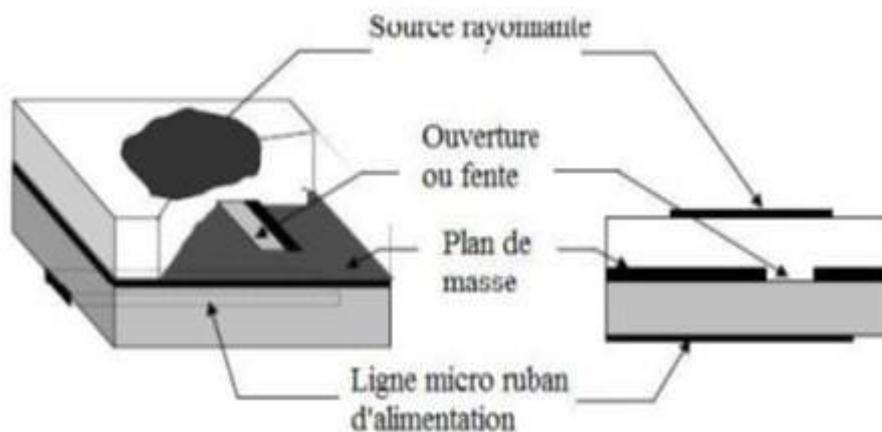


Figure II.9 : Alimentation au travers d'une ouverture dans le plan de masse [18].

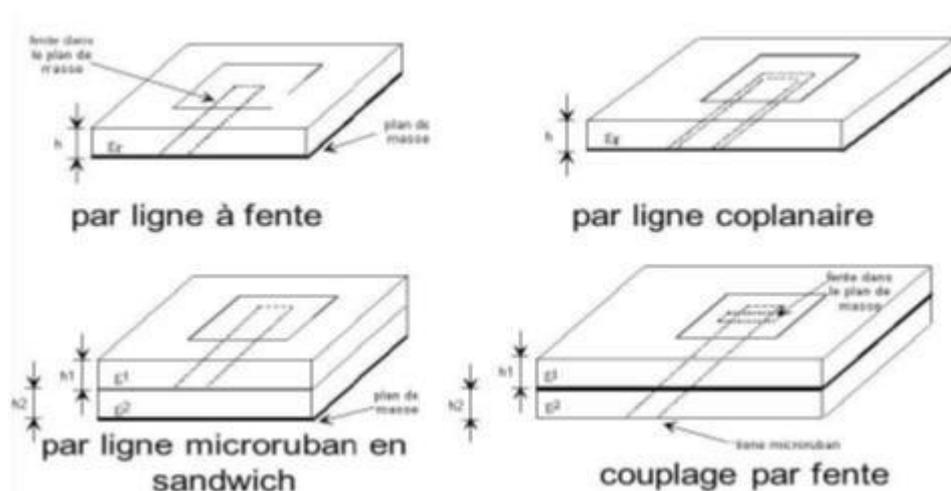


Figure II.10 : L'alimentation par proximité de l'antenne imprimée [18].

### **II.4 Méthodes d'analyses**

Les antennes imprimées, qui consistent généralement en un élément rayonnant imprimé sur un substrat à faible permittivité, sont spécialement analysées par des méthodes dédiées aux circuits planaires. Ces méthodes peuvent être classées en deux catégories principales : les méthodes analytiques simples, telles que le modèle de la ligne de transmission et le modèle de la cavité, et les méthodes numériques rigoureuses, telles que la méthode des moments, la méthode des éléments finis et la méthode des différences finies.

#### **II.4.1 Méthodes analytiques**

Ces méthodes, dont les plus employées sont le modèle de la ligne de transmission et le modèle de la cavité, sont fondées sur la distribution du courant magnétique autour du patch.

##### **II.4.1.1 Modèle de la ligne de transmission**

Le modèle de ligne de transmission (MLT) est le modèle le plus largement utilisé pour l'analyse et la conception d'antennes micro ruban. Au départ, dans sa forme originale, la méthode MLT ne s'appliquait qu'aux antennes micro ruban rectangulaires planes. Elle a ensuite été développée et étendue à d'autres structures. Le patch rectangulaire est considéré comme deux fentes rayonnantes parallèles, espacées d'une distance égale à la longueur du patch et perpendiculaires au chemin de courant dominant sur le patch. Ce modèle donne une bonne idée de la physique, mais moins de certitude. Dans cette méthode, les principaux paramètres de la ligne sont l'impédance caractéristique et la constante de propagation effective [22].

##### **II.4.1.2 Modèle de la cavité**

Bien qu'il soit simple à employer, le modèle de la ligne de transmission présente certains inconvénients. En effet, il ne s'applique qu'à des patches rectangulaires et il néglige les variations de champ le long des bords de rayonnement. Ce modèle offre la simplicité et la visibilité physique dans l'analyse des antennes micro rubans. Une antenne imprimée peut être assimilée à une cavité fermée par deux murs électriques (le plan de masse et l'élément rayonnant) et quatre murs magnétiques verticaux. Une longueur et une largeur effective sont introduites pour prendre en compte les débordements des lignes des champs sur les bords de l'élément rayonnant.

Les champs à l'intérieur de la cavité peuvent être exprimés en fonction de modes discrets satisfaisant individuellement des conditions aux limites appropriées. Une fois ces champs connus, le champ rayonné, la puissance totale et l'impédance d'entrée seront alors déduits. Ce modèle n'est valide que pour des substrats électriquement minces et modélise difficilement le couplage [22].

### **II.4.2 Méthodes numériques**

Les techniques numériques reposent sur la détermination de la répartition du courant à la surface des éléments conducteurs et du plan de masse dans le domaine fréquentiel ou temporel. Elles peuvent étudier les structures les plus arbitraires et les multicouches. Cependant, ils nécessitent beaucoup de temps de calcul et d'espace de stockage et offrent peu d'explications physiques.

#### **II.4.2.1 Méthode des éléments finis**

La méthode des éléments finis, très utilisée dans le domaine fréquentiel, consiste à discrétiser les équations de Maxwell en amont, au niveau de la formulation aux dérivées partielles des équations de propagation. La première étape consiste à discrétiser le domaine de calcul grâce à des motifs géométriques adaptés, les triangles pour les problèmes à deux dimensions et les tétraèdres dans les cas tridimensionnels. A chacun de ces motifs géométriques, on réunit un certain nombre de nœuds, auxquels on donne des fonctions de base linéairement indépendantes, les unes des autres, et composant une estimation continue de la solution du problème.

La deuxième étape consiste à choisir une allocation de fonctions de test, respectant les conditions de dérivabilité et de continuité au bord du domaine de calcul. Cela permet alors de reformuler l'équation d'onde et d'exclure les dérivées d'ordre un, pour achever à une formulation vibrationnelle. L'intérêt d'une telle formulation réside dans le fait qu'elle assemble, en une seule formule, l'équation d'onde et les conditions aux limites tout en ne faisant intervenir que des dérivées d'ordre un. Le cas spécifique où les fonctions de test et d'essai sont semblables est appelé procédure de Galerkin. L'avantage de cette méthode réside dans la simplicité de traitement des structures les plus compliquées et des matériaux inhomogènes tout en tenant compte des dispersions. Cependant, en comparaison à la méthode des moments, elle reste inefficace pour le traitement des conducteurs rayonnants [18].

#### **II.4.2.2 Méthode des différences finies**

Time-Domain Finite Difference F.D.T.D (Finit Difference Time Domain) est une technique numérique qui permet de résoudre des équations différentielles du domaine temporel dans des structures uniformément discrétisées. La méthode consiste à approximer les dérivées ponctuelles spatiales et temporelles apparaissant dans les équations de Maxwell par des différences centrales finies. Les composantes de champ électrique et magnétique sont décalées d'une demi-cellule spatiale et répétées en multiples alternés pairs et impairs du demi-bas de temps. La technique FDTD a été utilisée avec succès pour concevoir de simples antennes micro ruban à des antennes réseau à commande de phase complexes. Les principaux avantages de cette méthode sont : [18]

- ✓ Ses expressions sont relativement simples.
- ✓ Elle permet la caractérisation de la structure en une seule simulation et dans une large bande de fréquence. Les paramètres de propagation et l'impédance caractéristique peuvent être résolus en utilisant la transformée de Fourier.

- ✓ Elle permet la modélisation des sources d'excitation, la simulation de l'espace libre, l'étude des problèmes géométriques liés aux structures (interface, fil mince...) et l'utilisation de divers types de matériaux (dispersifs, anisotropes...). Elle offre donc une simulation rigoureuse de l'antenne et de son environnement proche.
- ✓ Elle ne demande pas la résolution de systèmes linéaires (inversion de matrice).
- ✓ Elle peut prédire la réponse transitoire d'un système électromagnétique.
- ✓ Le perfectionnement des performances des calculateurs a rendu possible le traitement numérique des problèmes à l'aide de cette méthode. La robustesse de la méthode a été démontrée par Taflove en 1975.

### **II.4.2.3 Méthode des moments**

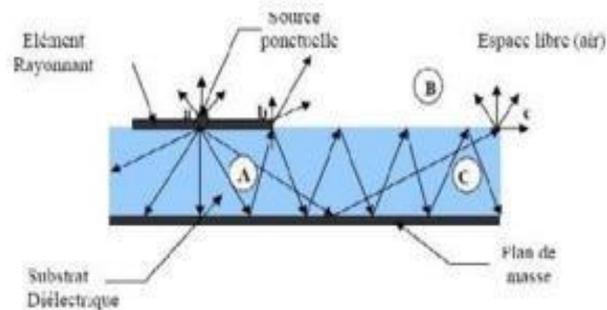
La méthode des moments (MoM) est une approche numérique qui transforme une fonction (équation différentielle, intégrale ou intégral-différentielle) en un système d'équations linéaires. Cette méthode complète aide à expliquer d'autres approches numériques telles que la méthode des éléments finis et la méthode des différences finies en termes de méthode MoM. Utilisée pour la première fois par Harrington en 1967 pour résoudre un problème d'antenne. En électromagnétisme, la méthode des moments, utilisée en particulier dans le domaine des fréquences, consiste à résoudre les expressions intégrales des équations de Maxwell. Elle est basée sur le principe d'équivalence de surface ou de volume entre la réponse de la structure et une distribution de courant similaire à la surface ou dans le volume d'une hétérogénéité. Elle conduit alors aux expressions intégrales des équations du champ électromagnétique déporté par un conducteur parfait. Cette technique offre un traitement avantageux des surfaces conductrices et la plupart des grandeurs d'une antenne peuvent être directement dérivées de la densité de courant.

La méthode des moments est l'une des méthodes les plus utilisées dans le domaine des fréquences pour les problèmes de rayonnement et de diffusion impliquant des surfaces ou des fils conducteurs. Elle est très précise et très utile. Elle permet d'étudier un élément unique ou plusieurs éléments d'un réseau ou d'un empilement, ainsi que des formes et des couplages arbitraires.

Cependant, cette méthode est très compliquée, nécessite beaucoup de temps de calcul et ne permet pas une bonne interprétation physique. De plus, si le problème contient des diélectriques inhomogènes, la méthode n'est plus vraiment adaptée. Une hybridation avec la méthode des éléments finis pourrait alors être une solution efficace [25].

### II.5 Mécanisme de rayonnement

Pour mieux comprendre les mécanismes de rayonnement des antennes imprimées, la littérature scientifique s'appuie généralement sur la théorie optique.



**Figure II.11 :** Mécanisme de rayonnement [26].

L'élément rayonnant est en fait une multitude de sources ponctuelles similaires à celle qui se trouve au point a. Ces sources isotropiques vont rayonner dans toutes les directions. Une partie de celui-ci est réfléchi par le plan de masse, puis par le conducteur supérieur et ainsi de suite. Certains de ces rayons aboutissent sur l'arrête du conducteur (point « b ») qui les diffracte et par conséquent le champ se décompose en deux composantes normale et tangentielle par rapport au plan de masse. On peut donc envisager trois régions [21] :

#### **Région A :**

Le plus dense des rayons. Un champ électromagnétique se crée dans cette zone. Encore plus forte. Cette propriété est également utilisée pour la propagation le long des lignes micro rubans. Si la fréquence est faible, le champ électromagnétique est concentré dans cette zone. Par conséquent, la propagation se produit sans rayonnement [21].

#### **Région B :**

Zone d'espace libre sur un substrat où se produit une libre distribution de matière champ. La contribution des sources ponctuelles est faible. La plupart d'entre eux. Le rayonnement provient du rayon à l'extrémité du conducteur supérieur (point 'b') et le reste est le champ électrique reste dans le substrat et est considéré comme une perte diélectrique. Cela limite considérablement l'efficacité de rayonnement de l'antenne [21].

#### **Région C :**

Certains rayons atteignent les surfaces de séparation (air-diélectrique) avec une incidence rasante et restent piégés à l'intérieur du diélectrique. Il peut arriver que certains de ces rayons soit diffracté en atteignant le bord (Point « c ») du substrat, engendrant ainsi, un rayonnement parasite. Cette dernière est à l'origine du couplage inter éléments, lorsque les antennes

imprimées sont mise en réseau. Au de la d'une certaine fréquence, ce phénomène affecte considérablement le rayonnement de l'antenne. Ce si, détériore la qualité du diagramme de rayonnement, notamment au niveau du lobe secondaire [21].

### **II.6 Les applications des antennes imprimées**

Le remplacement des antennes traditionnelles par des antennes patch de performances équivalentes est une préoccupation majeure des concepteurs de systèmes de télécommunication, compte tenu des besoins et exigences du marché industriel. [26]. Il existe diverses applications.

Des réalisations démontrant le potentiel de cette transition [21] :

- ✓ Télécommunication satellitaires.
- ✓ Commande et contrôle.
- ✓ Télémétrie (télémesure) par missile.
- ✓ Équipements portatifs.
- ✓ Des éléments d'alimentation dans les antennes complexes.
- ✓ Antenne d'émission utilisée en médecine.
- ✓ Récepteur satellite de navigation.

### **II.7 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons présenté de manière concise les aspects essentiels de la théorie des antennes imprimées, ce qui serait nécessaire pour tout ingénieur ou chercheur s'intéressant à ce type d'antenne.

Dans la première partie du chapitre, nous avons abordé de manière générale les caractéristiques principales des antennes. Nous avons fourni une vue d'ensemble de ces caractéristiques pour établir les bases de compréhension.

La deuxième partie du chapitre était spécifiquement consacrée aux antennes imprimées micro-ruban. Nous avons approfondi les différentes techniques d'alimentation utilisées pour ce type d'antennes, ainsi que les méthodes d'analyse associées. Il convient de noter que chacune de ces techniques présente des avantages et des inconvénients distincts.

***Chapitre III :***  
***Conception et développement***  
***d'une antenne pour la***  
***détection des tumeurs***  
***cancéreuses***

## ***Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses***

---

### **III.1 Introduction**

La détection précoce du cancer est essentielle pour améliorer les chances de survie des patients. Les techniques d'imagerie médicale, comme l'IRM, sont souvent utilisées pour repérer les tumeurs cancéreuses. Cependant, elles sont coûteuses et ne sont pas toujours accessibles à tous les patients. Les antennes micro-ondes constituent une alternative moins onéreuse et plus accessible pour la détection précoce des tumeurs cancéreuses.

Dans ce contexte, la conception et le développement d'une antenne destinée à la détection des tumeurs peuvent offrir une solution prometteuse pour un dépistage précoce de la maladie. Les antennes micro-ondes ont l'avantage de pouvoir pénétrer les tissus mous du corps humain et de détecter les variations des propriétés électromagnétiques des tissus cancéreux. Les performances de l'antenne dépendent de plusieurs facteurs, tels que sa conception, sa fréquence de fonctionnement, sa sensibilité et sa résolution spatiale.

En résumé, ce chapitre vise à fournir une vue d'ensemble des étapes de conception et de développement de notre antenne pour la détection précoce des tumeurs cancéreuses.

# Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses

## III .2 Le simulateur CST Microwave Studio

CST STUDIO SUITE est un logiciel développé par CST (Computer Simulation Technology), une société allemande fondée en 1992. Il utilise la méthode des intégrales finies (FIT, Finite Integration Technique) pour résoudre les équations du champ électromagnétique. Cette méthode, développée par Tomas Weiland en 1977, permet de formuler les équations de Maxwell de manière discrète afin de les résoudre sur des grilles informatiques, ce qui rend possible la simulation de problèmes avec des géométries complexes. La FIT préserve les propriétés de conservation de l'énergie et permet de formuler des équations différentielles telles que l'équation de Poisson ou l'équation d'onde. Ce logiciel offre la possibilité de traiter différentes structures homogènes et inhomogènes, quelle que soit la technologie utilisée. Il peut être utilisé dans les domaines temporel et fréquentiel [28].

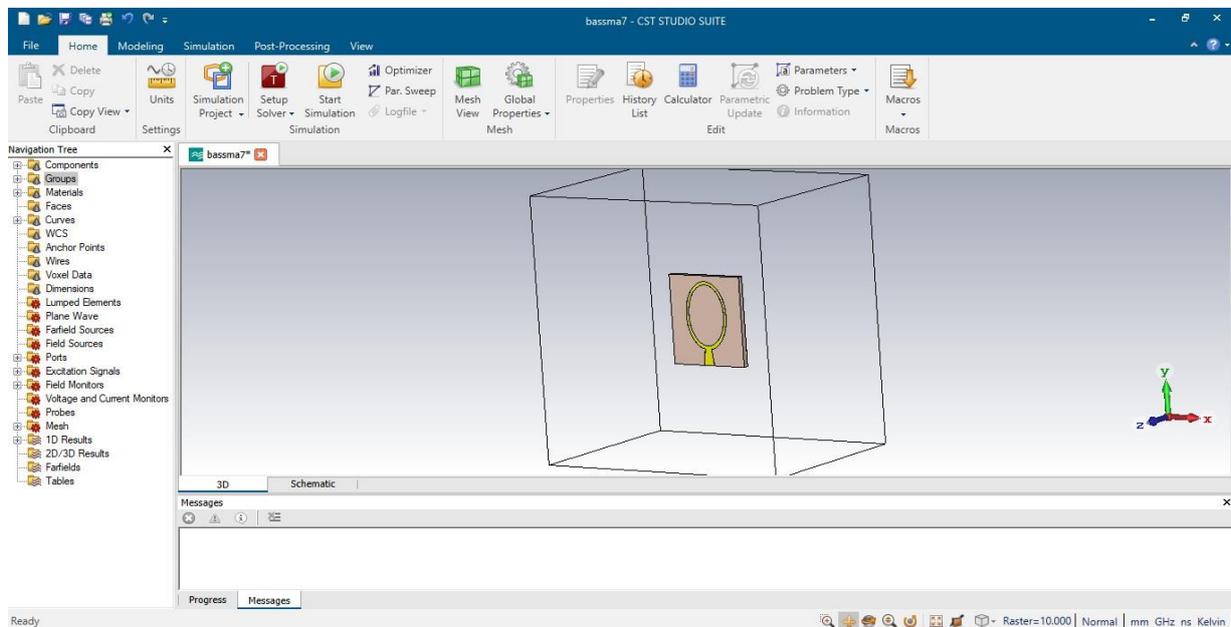


Figure III.1 : l'interface du CST studio.

Les principales caractéristiques du logiciel CST Studio Suite sont les suivantes :

- **Prise en charge de structures homogènes et inhomogènes** : Le logiciel permet de traiter différents types de structures, qu'elles soient homogènes ou inhomogènes, indépendamment de la technologie utilisée.
- **Exigences élevées en matière de ressources informatiques** : En raison de la complexité des calculs, le logiciel nécessite des ressources informatiques importantes. Les calculs impliquent la résolution de systèmes matriciels de grandes dimensions.

## ***Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses***

---

Il est crucial de bien maîtriser le logiciel avant de se lancer dans un projet, en particulier si celui-ci implique des opérations complexes, comme la conception de structures avec des formes géométriques indéterminées. Il est également essentiel de prendre en compte les conditions aux limites afin d'éviter les conflits entre les surfaces de rayonnement et les surfaces conductrices.

En conclusion, le logiciel CST Studio Suite permet de traiter divers types de structures, mais il nécessite des ressources informatiques importantes et demande une maîtrise approfondie pour être utilisé efficacement dans des projets complexes [29].

### **III .3 Méthodes de conception**

Lorsqu'on conçoit une antenne, il est crucial de comprendre les propriétés des matériaux diélectriques et conducteurs qui la composent. Cette importance est encore plus marquée lorsqu'il s'agit d'une antenne imprimée, car l'énergie du champ électromagnétique est confinée dans le substrat de l'antenne. De plus, il est également essentiel de connaître les propriétés des matériaux environnants, car ils peuvent modifier les caractéristiques de l'antenne telles que le gain, le diagramme de rayonnement, l'efficacité, l'impédance et la fréquence de résonance.

Ces propriétés électromagnétiques incluent le gain, le diagramme de rayonnement, la largeur du faisceau et la polarisation de l'antenne. Les paramètres d'utilisation tels que la fréquence de résonance, la résistance d'entrée et la bande passante sont également importants à considérer. De plus, il y a des paramètres internes tels que le facteur de qualité  $Q$ , la résistance de rayonnement, le rendement  $\eta$  et les pertes métalliques et diélectriques qui doivent être pris en compte.

La première étape de la conception d'une antenne implique la sélection du substrat et des conducteurs appropriés, en prenant en compte les caractéristiques suivantes :

- Pour le substrat : permittivité relative, facteur de dissipation et hauteur.
- Pour les conducteurs : conductivité et épaisseur.

La conception comprend également les aspects suivants :

- Détermination de la longueur et de la largeur du patch de l'antenne.
- Choix de l'emplacement et du type d'alimentation, tels que le coaxial, les micros trip ou la fente.

Dans cet ouvrage, l'alimentation par une ligne micro ruban est utilisée comme unique type d'alimentation présenté.

Pour formaliser la conception, les paramètres suivants ont été sélectionnés :

## Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses

- Substrat : FR4 avec une permittivité relative de 4,4 et un facteur de dissipation de 0,0025.
- Conducteur : cuivre avec une épaisseur de 35  $\mu\text{m}$  et une hauteur de 1,5 mm

Avant de commencer la conception d'une antenne, il est essentiel de définir les caractéristiques spécifiques de l'antenne en fonction de son application, tels que la fréquence de fonctionnement, les dimensions et le rayonnement souhaité.

### III .4 Description de l'antenne de base

Les paramètres géométriques de cette antenne sont les suivants :

- Matériau diélectrique (substrat) : FR4
- Dimensions : 20x25 mm (largeur x longueur)
- Permittivité relative du substrat :  $\xi_r = 4,4$
- Épaisseur du substrat : 1,5 mm
- Épaisseur du cuivre : 35  $\mu\text{m}$

L'antenne est soutenue par une petite ligne de ruban avec une impédance caractéristique de 50  $\Omega$ , comme illustré dans la Figure III.3 elliptique cylindre.

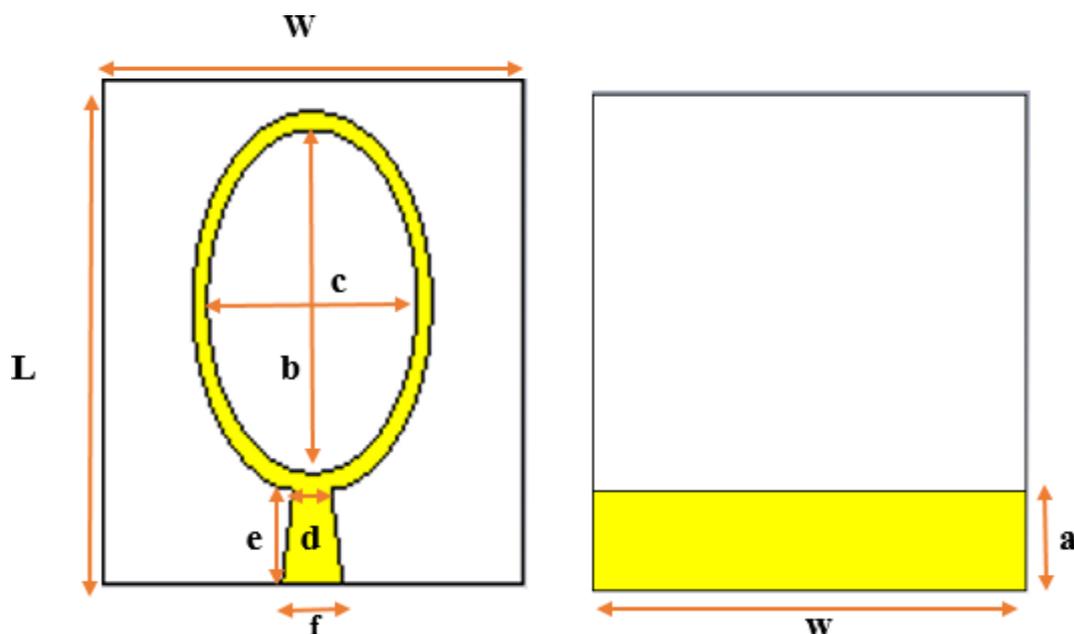


Figure III.2 : Structure de l'antenne de base.

## Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses

Les dimensions adoptées lors de cette étude sont montrés dans le Tableau III.1

Paramètre	Dimension en (mm)	Paramètre	Dimension en (mm)
W	20	e	4.7
L	25	f	3.2
h	1.5	b	17
T	0.035	c	11
A	5	d	2

Tableau III.1 : les différents paramètres de l'antenne proposée.

### III .5 Résultats De Simulation

#### III .5.1 Coefficient de réflexion S11

La Figure III.3 représente le coefficient de réflexion obtenu à partir de la simulation réalisée avec le logiciel CST.

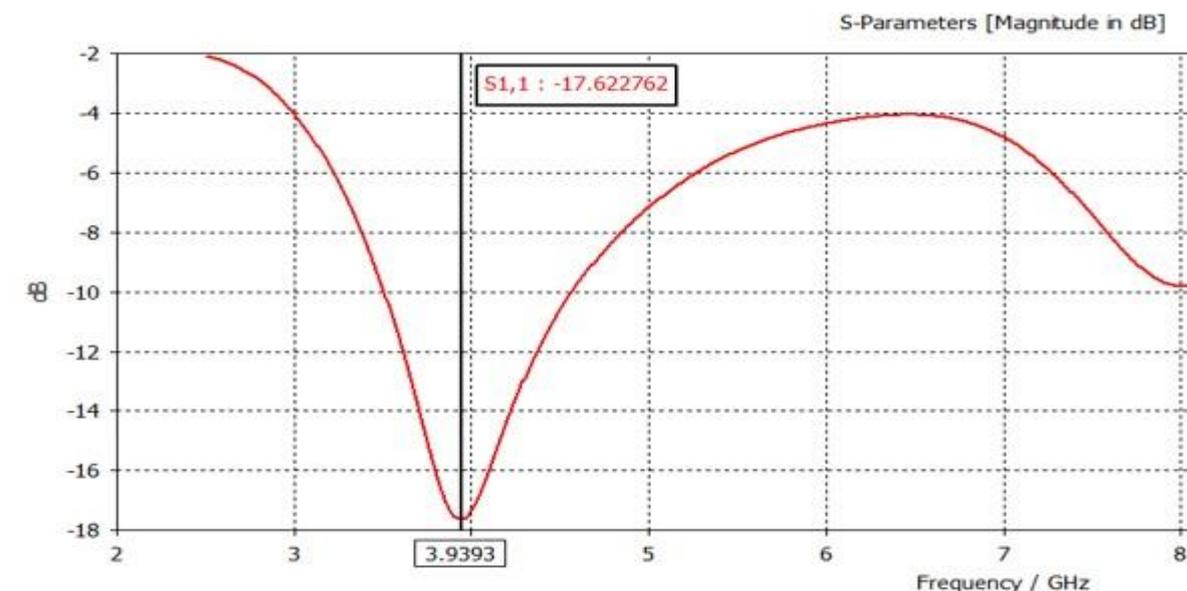


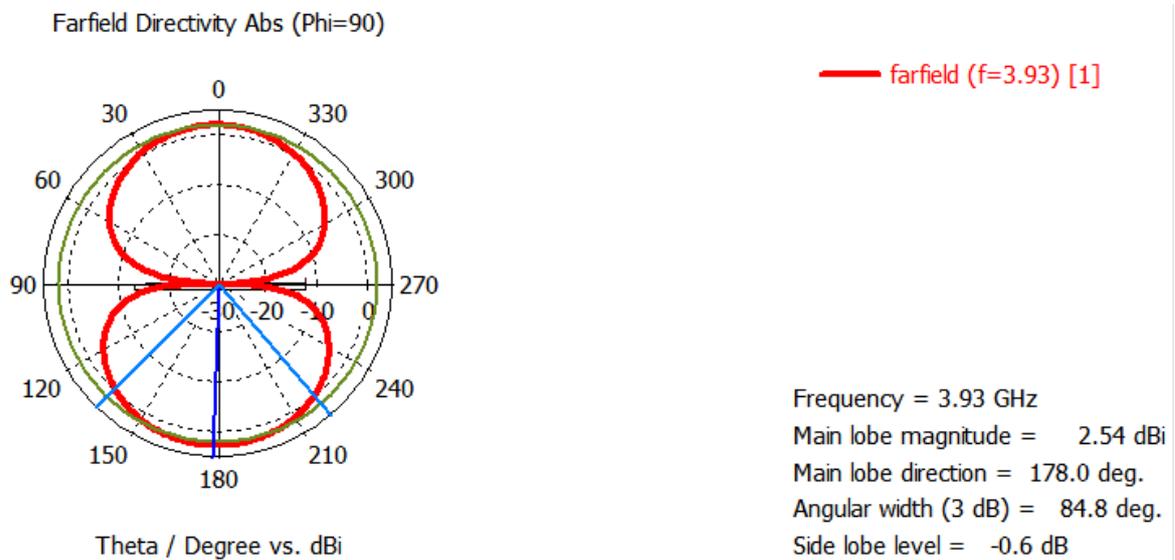
Figure III.3 : Coefficient de réflexion S11 de l'antenne proposée.

## Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses

La figure (III.3) illustre le coefficient de réflexion de l'antenne mono bande simulé. Le résultat simulé montre une bonne adaptation avec un niveau de -18 dB autour d'une fréquence de 3,93 GHz.

### III .5.2 Le diagramme de rayonnement en 2D

La figure suivante représente le diagramme de rayonnement polaire en 2D de cette antenne à 3.93GHz dans le plan E et le plan H.



**Figure III.4 :** Diagramme de rayonnement simulé dans le plan E.

La figure III.4 présente une représentation graphique du diagramme de rayonnement simulé d'une antenne bidirectionnelle dans le plan E avec un angle Phi de 90 degrés. Elle indique que l'antenne émet une puissance maximale de rayonnement dans deux directions opposées, à 0° et 180°. Le lobe principal de rayonnement a une magnitude de 0 et est orienté vers 178°. De plus, la largeur angulaire du lobe principal, mesurée à -3 dB, est de 84,8 degrés.

## Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses

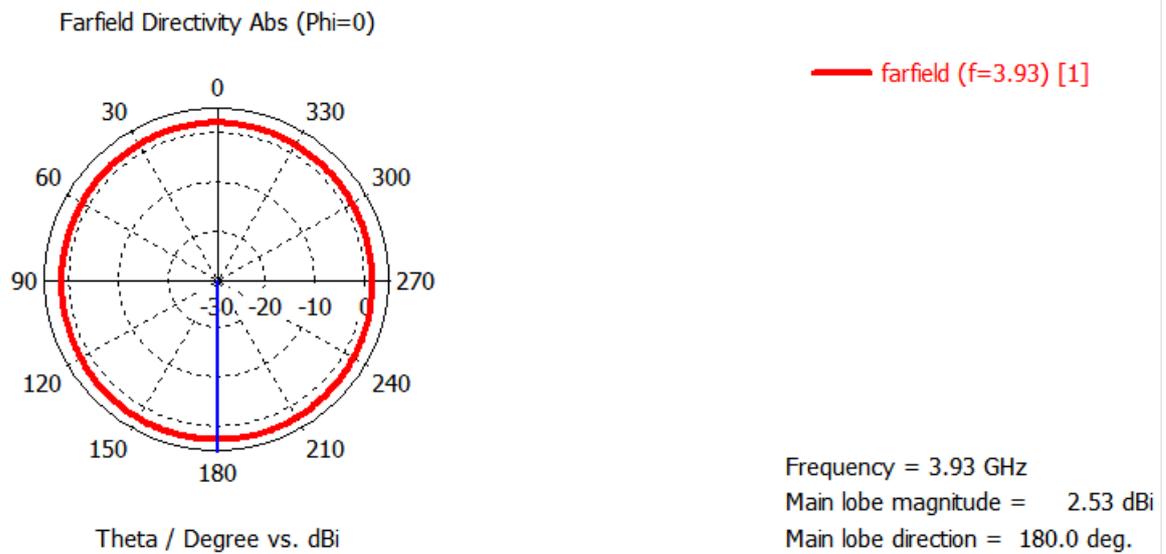


Figure III.5 : Le diagramme de rayonnement au plan H avec Phi= 0 simulé.

La figure III.5 représente le diagramme de rayonnement simulé d'une antenne omnidirectionnelle dans le plan H avec un angle Phi de 0 degré, à une fréquence de 3,93 GHz. Le lobe principal du rayonnement a une magnitude de 2.53 et est dirigé vers 180 degrés.

### III .5.3 Le diagramme de rayonnement en 3D

Le diagramme de rayonnement en 3D simulé de cette antenne à 3.93 GHz est représenté surfigure III.6.

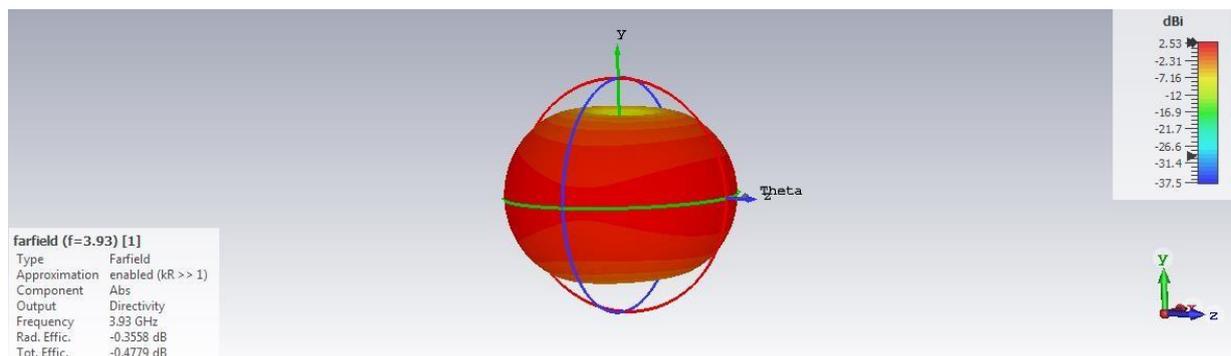
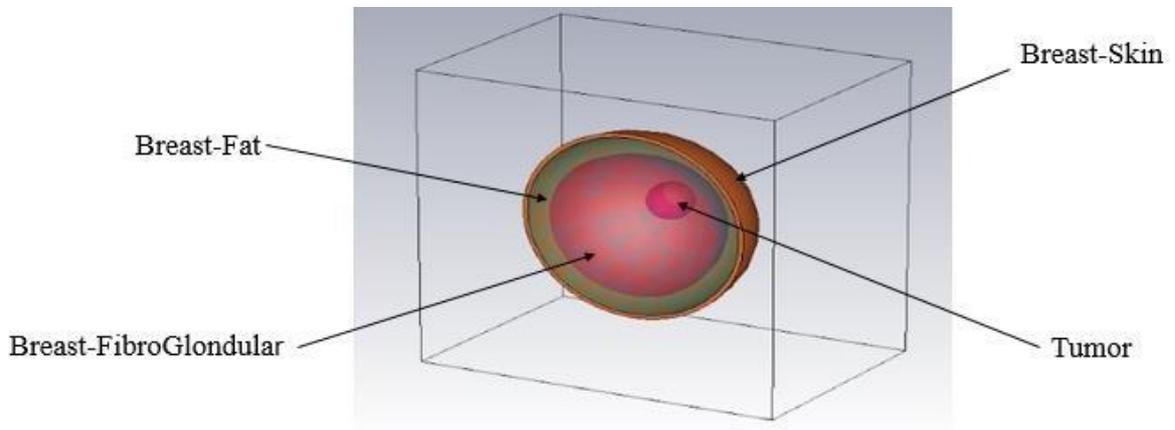


Figure III.6 : Diagramme de rayonnement en 3D simulé.

### III .5.4 caractéristique du sein (breast)



**Figure III.7 :** Structure du sein (breast).

Le Tableau III.2 représente les différentes caractéristiques du sein.

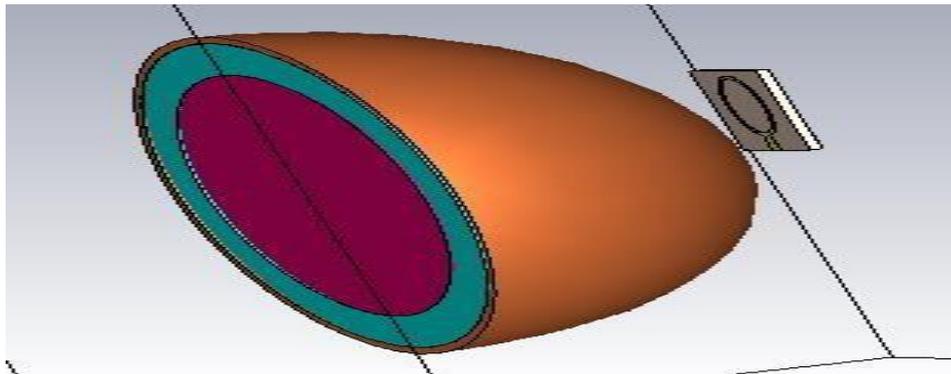
<b>Matériaux</b>	<b>Breast-Fat</b>	<b>Breast-fibroGlondular</b>	<b>Breast-Skin</b>	<b>Tumor</b>
<b>Permittivité</b>	5.14667	20.1	38.0067	54.9
<b>Conductivité [S/m]</b>	0.137039	0.5	1.46407	4

**Tableau III.2 :** les différentes caractéristiques du sein (breast).

### III .5.5 Résultats de la simulation d'antenne avec le sein en présence et en l'absence d'une tumeur

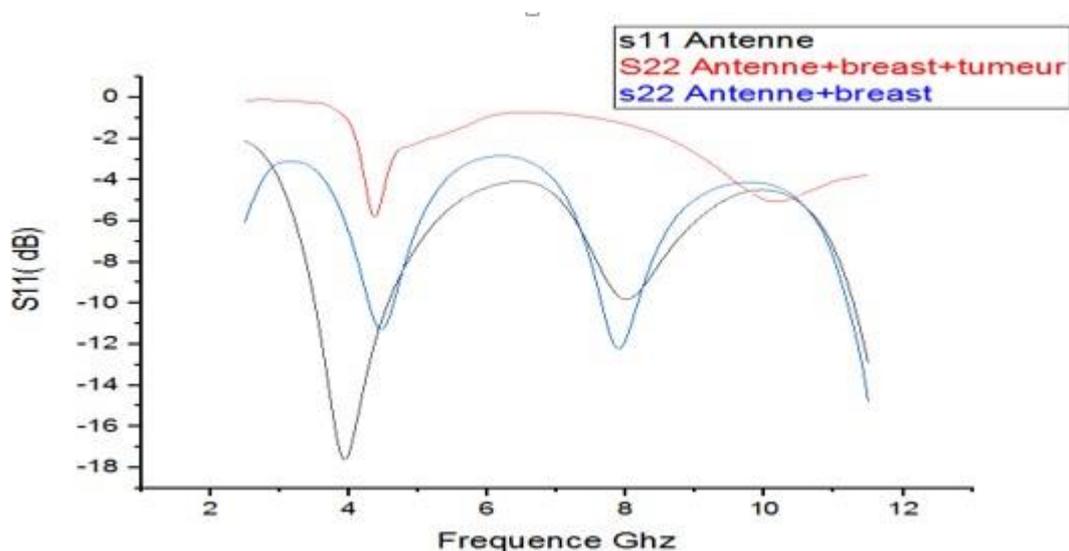
La Figure III.8 représente l'antenne et le phontom du modèle du sein utilisée pour la détection des tumeurs cancéreuses. Elle est positionnée à une distance de 5 mm du sein, à la fois avec et sans tumeur.

### Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses



**Figure III.8 :** La position de l'antenne et le sein.

Les résultats de simulation présentés dans la Figure III.9 montrent le coefficient de réflexion (S11) pour différents cas : antenne seule, antenne avec le model du sein (Breast), et antenne avec le model du sein (Breast) et tumeur. Ces configurations comprennent l'antenne seule, l'antenne placée à 5 mm du sein et l'antenne placée à 5 mm du sein avec une tumeur.



**Figure III.9 :** Comparaison des résultats S11 pour l'antenne, l'antenne et le modèle du sein (Breast) avec et sans tumeur.

Les trois graphiques présentent le coefficient de réflexion simulé en fonction de la fréquence pour différentes configurations d'antenne :

## ***Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses***

---

- Le premier graphique montre le coefficient S11 de l'antenne seule, avec un niveau de (-18) dB près de la fréquence de 3,93 GHz. Cela indique une bonne correspondance entre l'antenne et la fréquence de fonctionnement souhaitée.
- Dans le deuxième graphique, lorsque l'antenne est placée à 5 mm du sein, le coefficient S11 est de (-11) dB, et la fréquence de résonance augmente à 4,2 GHz. Cela suggère que l'interaction entre l'antenne et le sein modifie légèrement la réponse en fréquence de l'antenne.
- Enfin, dans le troisième graphique, l'antenne est placée à une distance de 5 mm du sein porteur d'une tumeur. La fréquence de résonance est de 4 GHz et la valeur du coefficient S11 passe à (-6) dB. Cela indique que la présence de la tumeur modifie davantage la réponse en fréquence de l'antenne.

Ces résultats de simulation indiquent clairement que la présence du sein et de la tumeur à proximité de l'antenne entraîne des changements significatifs dans les caractéristiques de réflexion S11. Ces variations peuvent être attribuées aux propriétés diélectriques du tissu mammaire et de la tumeur, ainsi qu'à l'interaction entre l'antenne et ces structures.

### **III .6 Validation expérimentale**

Dans cette partie nous avons procédé à la procédure de réalisation en utilisant la machine de gravure mécanique LPKF. La réalisation s'est déroulée au niveau du laboratoire de département Electronique et Télécommunications de l'Université 8 Mai 1945 Guelma/Algérie dans le cadre du Mémoire de fin d'étude.

Cette procédure passe par deux phases : phase de fabrication de l'antenne on utilisant la machine à gravure mécanique LPKF et la deuxième phase de mesures est basée sur l'utilisation de l'analyseur de réseaux vectoriel.

#### **III .6.1 Description de la machine LPKF**

Le LPKF est le fleuron de la série S des fraiseuses pour cartes de circuits imprimés LPKF. Il offre une zone de travail de 9 "x 12" et est spécialement recommandé pour les matériaux RF et hyperfréquences plus souples à base de PTFE. Grâce à ses fonctionnalités avancées telles que la reconnaissance optique fiduciaire et une résolution de fraisage extrêmement précise de 0,002 millièmme de pouce, il est capable de gérer facilement des applications de PCB de pointe.

Le LPKF fonctionne directement à partir des données de conception assistée par ordinateur (CAO) pour traiter les cartes de circuits imprimés. Il utilise les informations géométriques fournies par le fichier CAO pour exécuter les opérations de fraisage nécessaires

## ***Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses***

---

à la fabrication du circuit imprimé, assurant ainsi une grande précision et une correspondance parfaite avec la conception.

Parmi la caractéristique standard du LPKF, on retrouve une table à vide qui permet de retravailler les circuits imprimés endommagés. Cela facilite la réparation et la modification des cartes sans compromettre leur qualité. De plus, le système est doté d'un mécanisme de fixation spécialement conçu pour les matériaux délicats ou flexibles, assurant ainsi un maintien sécurisé pendant le processus de fraisage.

Une caractéristique essentielle du LPKF est son limiteur de profondeur sans contact, également appelé Air-foot. Ce dispositif garantit qu'aucun élément ne touche le matériau de la carte, à l'exception de l'outil de fraisage lui-même. Cette fonctionnalité est particulièrement bénéfique pour ceux qui travaillent avec des conceptions RF et micro-ondes, car elle évite tout contact indésirable pouvant altérer les performances des composants [30].



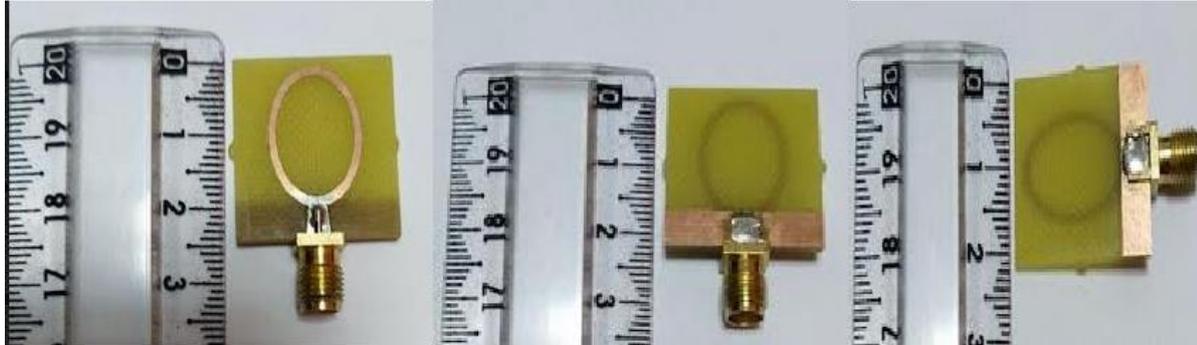
**Figure III.10** : La machine à gravure LPKF

## *Chapitre III : Conception et développement d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses*

---

### **III .6.2 Réalisations d'une antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses**

La réalisation de l'antenne dans la machine ProtoMap :



**Figure III.11** : Antenne pour la détection des tumeurs cancéreuses.

### **III 6.3 Appareil de mesure analyseur de réseaux**

L'évaluation des performances de l'antenne utilisée pour la détection des tumeurs cancéreuses décrite dans ce mémoire a été réalisée à l'aide d'un analyseur, qui joue un rôle essentiel dans ce domaine. La gamme d'analyseurs proposée par Rohde & Schwarz offre une variété d'options pour répondre aux besoins spécifiques de mesure. Ces analyseurs de réseau ont été conçus par des experts en RF chez Rohde & Schwarz, ce qui garantit une excellente intégrité du signal et une fiabilité exceptionnelle [30].



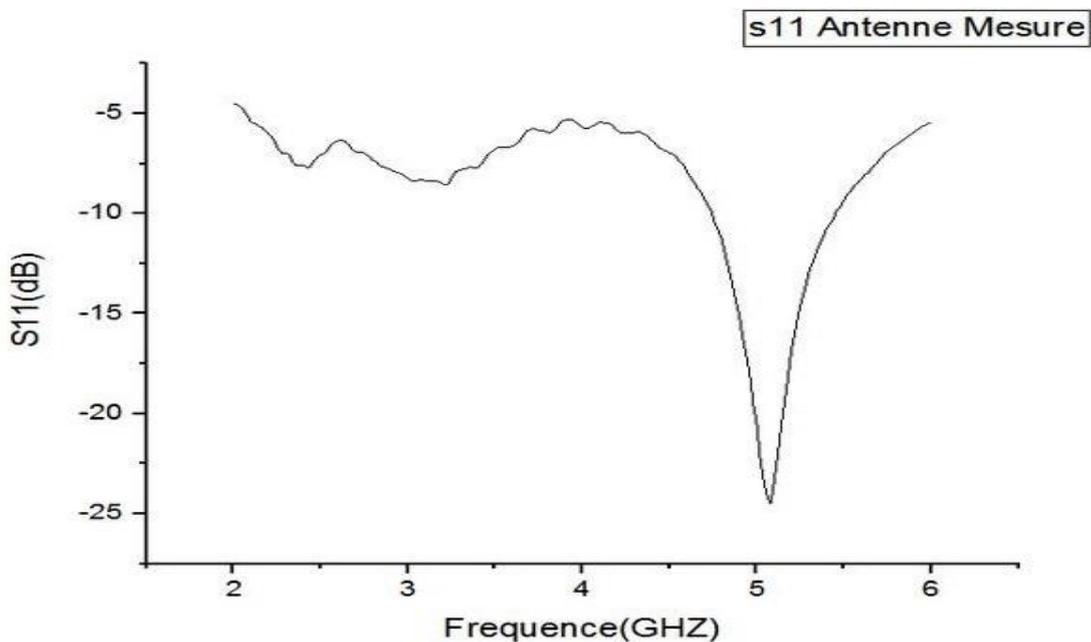
**Figure III.12** : Analyseur de réseau de type Rohde and Schwarz.

### III .6.4 Mesure par Analyseur de

#### réseau III.6.4.1 Coefficient de

#### réflexion S11

La Figure III.13 présente le résultat de mesure du coefficient de réflexion mesuré à l'aide d'un analyseur de réseau.



**Figure III.13 :** coefficient de réflexion S11 de l'antenne proposée mesurée.

La figure illustre le coefficient de réflexion de l'antenne mono bande mesurée montre une bonne adaptation avec un niveau de -25 dB autour d'une fréquence de 5.08GHz.

Une légère désadaptation est survenue entre les deux résultats simulés et mesurés qui est dues probablement aux pertes au niveau du connecteur SMA, pertes de soudage du port, ou à la précision de la machine de gravure, environnement de mesure.

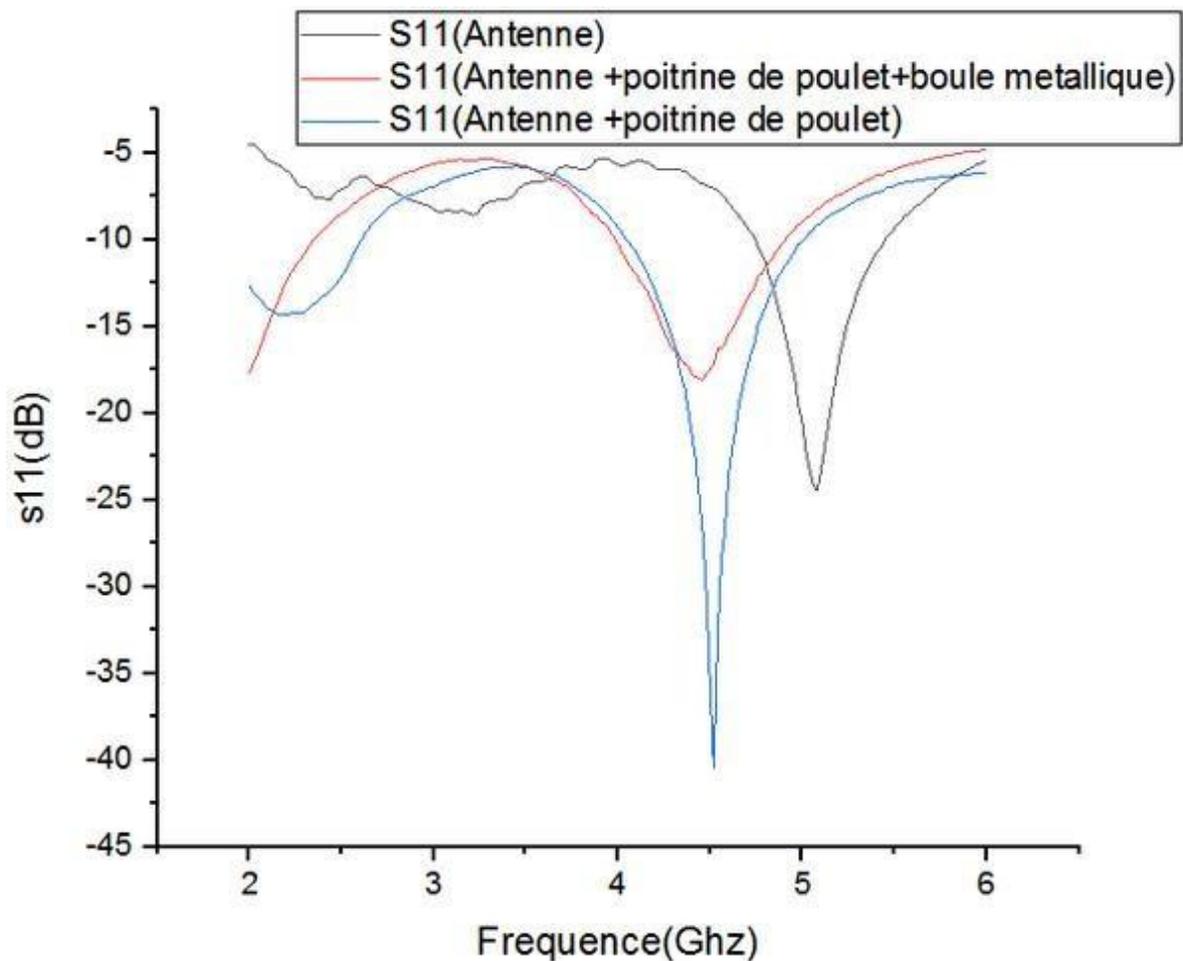
### **III .6.5 Résultats de réalisation d'antenne avec de poitrine de poulet en présence et en l'absence d'une boule métallique**

La Figure III.14 représente l'antenne utilisée pour détecter les tumeurs cancéreuses. L'antenne est placée à une distance de 5 mm de poitrine de poulet, à la fois en présence et en l'absence de tumeur. Dans ce mémoire, la tumeur est remplacée par une boule métallique conductrice ayant un diamètre de 8,5 mm.



**Figure III.14 :** Banc de mesure pour la détection de la boule métallique conductrice injectée à l'intérieur de la poitrine de poulet.

Les résultats de simulation illustrés dans la Figure III.15 mettent en évidence les variations du coefficient de réflexion ( $S_{11}$ ) pour différents cas. Ces configurations comprennent l'antenne seule, l'antenne positionnée à une distance de 5 mm de la poitrine de poulet, ainsi que l'antenne positionnée à 5 mm de la poitrine de poulet en présence d'une boule métallique conductrice.



**Figure III.15 :** Comparaison des résultats S11 pour l'antenne seule, l'antenne avec poitrine de poulet et l'antenne avec poitrine de poulet et boule métallique.

Les trois graphes présentent le coefficient de réflexion mesurée en fonction de la fréquence pour différents cas :

- Le premier graphe montre le coefficient de réflexion S11 de l'antenne seule, avec une valeur de (-25) dB près de la fréquence de 5.08 GHz.
- Dans le deuxième graphe, lorsque l'antenne est placée à une distance de 5 mm de poitrine de poulet, le coefficient de réflexion S11 a un niveau de (-40) dB, et la fréquence de résonance augmente à 4.5 GHz. Cela suggère que l'interaction entre l'antenne et la poitrine de poulet modifie légèrement la réponse en fréquence de l'antenne.
- Enfin, dans le troisième graphe, l'antenne est placée à une distance de 5 mm de la poitrine de poulet et la boule métallique. La fréquence de résonance est de 4.4 GHz et la valeur du coefficient S11 passe à un niveau de (-18) dB. Cela indique que la présence de la boule conductrice modifie davantage la réponse en fréquence de l'antenne.

### **III.7 conclusion**

La conception et le développement d'une antenne dédiée à la détection des tumeurs cancéreuses constituent une avancée significative dans les domaines médical et technologique. Ce chapitre a exposé les différentes étapes nécessaires à la conception d'une antenne précise et efficace pour la détection précoce des tumeurs. Les résultats obtenus démontrent les performances prometteuses de cette antenne, qui peut être utilisée pour la détection précoce des tumeurs cancéreuses. Ces progrès ouvrent de nouvelles perspectives pour améliorer le diagnostic précoce et les soins prodigués aux patients atteints de cancer.

# **Conclusion générale**

### **Conclusion générale**

En conclusion, ce mémoire de recherche a exploré la simulation et la fabrication d'une nouvelle antenne dédiée à la détection des tumeurs cancéreuses. L'objectif principal était de concevoir une antenne efficace et sensible pour la détection spécifique de ces tumeurs.

Au cours de ce travail, nous avons examiné les techniques existantes de détection des tumeurs cancéreuses ainsi que les principes fondamentaux des antennes. Nous avons utilisé des méthodes de simulation à l'aide du logiciel CST Microwave Studio pour évaluer les performances de notre antenne. Les résultats obtenus ont montré des caractéristiques encourageantes, telles qu'un bon coefficient de réflexion, des diagrammes de rayonnement raisonnables en 2D et 3D.

Nous avons également procédé à une validation expérimentale en fabriquant physiquement l'antenne et en réalisant des mesures à l'aide d'un analyseur de réseaux. Les résultats expérimentaux ont confirmé l'absence de fiabilité de notre conception et ont montré que les performances de l'antenne permettent de détecter les tumeurs cancéreuses.

Ce mémoire de recherche représente une avancée significative dans le domaine de la détection précoce des tumeurs cancéreuses. En développant une antenne spécifique et en utilisant des techniques de simulation avancées, nous avons obtenu des résultats prometteurs qui pourraient contribuer à améliorer les méthodes de diagnostic du cancer.

Cependant, il est important de souligner que notre travail se limite à la phase de simulation et de fabrication de l'antenne. Des études supplémentaires et des essais cliniques seront nécessaires pour évaluer pleinement l'efficacité et la fiabilité de cette nouvelle antenne dans un environnement clinique réel.

En conclusion, ce mémoire de recherche ouvre de nouvelles perspectives dans le domaine de la détection des tumeurs cancéreuses en proposant une nouvelle antenne spécifiquement conçue à cet effet. Il constitue une base solide pour des recherches futures visant à améliorer les techniques de détection précoce du cancer, ce qui pourrait avoir un impact significatif sur la santé et la qualité de vie des patients atteints de cancer.

# ***Bibliographie***

# Bibliographie

- [1] BENNIS, Sanae, GUISSI, Sanae, MOHAMED, IRAQUI HSSAINI, *et al.* Recherche de mutation V600E du gène B-raf dans trois types de tumeurs cancéreuses : colorectale, mélanome et cérébrale.
- [2] SEGUIN, Johanne. *Caractérisation de modèles de tumeurs murines et leurs applications en thérapie anti-angiogénique vectorisée*. 2012. Thèse de doctorat. Université Pierre et Marie Curie-Paris VI. .
- <http://www.wcrf.org/int/cancer-facts-figures/data-specific-cancers/breast-cancer-statistics>.
- [3] Bindu G, Ionappan A, Thomas V, et al. , <sup>3</sup>Active Microwave Imaging For Breast Cancer Detection, *Progress in Electromagnetics Research PIER*, 2006, 58L:149-169.
- [4] E-cancer.fr : "Tumeurs-du-cerveau". Article 2010.
- [5] <https://www.lillyoncologie.fr/cancer-du-sein/definition>.
- [6] <https://www.fondation-arc.org/cancer/cancer-le-diagnostic>
- [7] S. Nass and I. Henderson, <sup>3</sup>Mammography and Beyond: Developing Technologies for the Early Detection of Breast Cancer, *National Academies Press*, 2001.
- [8] W. T. Joines, Y. Zhang, C. Li and R. L. Jirtle, <sup>3</sup>The Measured Electrical Properties of Normal and Malignant Human Tissues from 50 to 900 MHz, *Medical Physics*, Vol. 21, No. 4, 1994.
- [9] D. Lorient, PHTP Radiothérapie, CHU Fort de France, 2013.
- [10] KATBAY, Zahra. *Développement d'antennes pour la détection de tumeurs cancéreuses dans le sein*. 2018. Thèse de doctorat. Université de Bretagne occidentale-Brest ; Université Libanaise.
- [11] HUDIN, Nicolas. *Développement de nouvelles sondes per-opératoires positon pour guider la chirurgie des tumeurs solides*. 2013. Thèse de doctorat. Université Paris Sud-Paris XI.
- [12] L. Larsen and J. Jacobi, <sup>3</sup>Medical applications of microwave imaging, *Storming Media*, 1985.
- [13] <https://slideplayer.fr/slide/1319027/>
- [14] Abdenour Yassine, Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –Faculté de Technologie 'Étude et conception des antennes miniatures pour les applications biomédicales'
- [15] Toukali Samira, Yaalaoui Khadra « *Conception et simulation d'un réseau linéaire d'antennes imprimées* », Mémoire du master, Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj, 2020.
- [16] Zemam Youssouf, Foukia Aimad Eddine, « *Étude et Conception d'Antennes Reconfigurables par Association d'éléments actifs* », Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen, 2017.

- [17] Laheg Cherifa, «Etude Et Conception D'une Antenne MIMO Reconfigurable», Mémoire de fin d'étude Pour l'obtention du diplôme de Master Académique, Université 8Mai 1945 – Guelma 2022
- [18] <https://www.elliptika.com/fr/case-studies/antenne-patch/>
- [19] Mohammed Fawzi Bendahmane, Fathi Tarik Bendimerad ; « *Etude du Couplage Entre Antennes Imprimées* », Editions universitaires européennes, Tlemcen, 2014.
- [20] Benabadji Selma, Lallam Chafika « *Conception et modélisation d'une antenne microruban compacte pour une utilisation dans les terminaux mobiles.* » Mémoire du master, Université de AboubakrBelkaïd– Tlemcen, 2011.
- [21] Chaabane Abdelhalim, « *Conception D'une Antenne Bip Large Bande A Fort Gain* », Thèse Du Doctorat, Université Ferhat Abbas - Sétif-1,2017.
- [22] <https://www.amazon.com/Techniques-d'alimentation-antennes-patches-microruban/dp/6204779737>,
- [23] CHOUHBANE Maroua « ETUDE ET CONCEPTION D'UNE ANTENNE RECONFIGURABLE EN FREQUENCE ET EN DIAGRAMME DE RAYONNEMENT » Mémoire du master, Université de 8 Mai 1945 Guelma.
- [24] Yamina Tighilt « *Identification Des Antennes Micorubans Multicouches Par La Méthode Spectrale Et Les Réseaux De Neurones* », Thèse Du Doctorat, Université Ferhat Abbas -Sétif-Ufas (Algérie) ,2011.
- [25] Abdellatif Hafiane « Etude du couplage d'antennes imprimées par la méthode des différences finies et extraction du modèle électrique» Mémoire pour le garde de docteur de l'université de Marne la Vallée.Mars2003.
- [26] NORA, Berroua et AKILA, Gheris. *Etude paramétrique et simulation de l'antenne patch sous CST.* 2017. Thèse de doctorat. Université Mouloud Mammeri.
- [27] Abdelhadi Amine, Haroun Imene<>, Mémoire de master, université Saad Dahlab de Blida, 2011-2012.
- [28] Master Académique Domaine : SCIENCES & TECHNOLOGIES Filière : TELECOMMUNICATION Spécialité : Réseaux et Télécommunications Thème : Design d'une antenne TCR pour mini satellite de télécommunications en la bande Ku Présenté par : RADJI Mohammed Ryad & LAGHA Ahmed Abdessamad.
- [29] <https://www.rohde-schwarz.com/fr/produit>.
- [30] [https://www.researchgate.net/figure/6Presentation-dune-antenne-imprimee-L-Longueur-du-patch-t-epaisseur-du-patch\\_fig7\\_332913224](https://www.researchgate.net/figure/6Presentation-dune-antenne-imprimee-L-Longueur-du-patch-t-epaisseur-du-patch_fig7_332913224) [accessed 2 Jul, 2023]