

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

جامعة أبي بكر بلقايد- تلمسان

Université Aboubakr Belkaïd– Tlemcen –

Faculté de TECHNOLOGIE



MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du **diplôme de MASTER**

En : Télécommunication

Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Par : BOUDA Mohammed Benali et CHERIF Yahia

Sujet

Reconstruction d'images par un système radar

Soutenu publiquement, le 25 /06/2023, devant le jury composé de :

Mme HASSAINE Nawel	MCB	Université de Tlemcen	Président
M.BOUABDELAH Réda	MAA	Université de Tlemcen	Examinateur
M.CHOUTI Sidi Mohammed	MCA	Université de Tlemcen	Encadrant
M.MERIAH Sidi Mohammed	Professeur	Université de Tlemcen	Co-Encadrant

Année universitaire : 2022 /2023

Dédicaces

Nous dédions ce travail à :

A nos parents

A nos frères et sœurs

A nos deux familles

A tous nos ami(e)s

BOUDA Mohammed Benali & CHERIF Yahia

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier (ALLAH) le tout puissant qui nous a accordé la volonté et le courage pour l'accomplissement de ce travail.

Nous voudrions exprimer par ce modeste travail notre gratitude, notre reconnaissance, nos grands remerciements à notre encadrant monsieur Chouiti sidi Mohammed, Maître de conférences classe A à l'université Abou Bekr-Belkaïd -Tlemcen, pour avoir accepté de diriger ce mémoire, pour sa disponibilité, sa gentillesse, son soutien et ses encouragements, ses conseils durant tout le long du travail.

Nous remercions vivement mon Co-encadreur de thèse Meriah sidi Mohammed, Professeur à l'université Abou Bekr-Belkaïd -Tlemcen et directeur du laboratoire LTT.

Nous voudrions adresser nos remerciements à tous les enseignants et les personnes du département des télécommunications de la faculté de Technologie de Tlemcen, qui ont veillé à notre formation.

Enfin un dernier remerciement à toute personne qui a contribué de près ou de loin à la réussite de ce modeste travail.

Résumé

Les signaux rétrodiffusés sont utilisés dans l'imagerie confocale par micro-ondes pour localiser des objets dans des milieux ouvert ou enfouis. Cette méthode utilise des rayonnements non ionisants et n'est pas invasive. Dans ce projet de fin d'études, nous proposons des techniques de reconstruction d'images à partir des applications de détection d'objets dans l'espace, comme des barre de fer en utilisant l'imagerie hyperfréquence à ultra-large bande (ULB). Nous avons utilisé la méthode de rétroprojection dans chacune de ces applications. Pour ces derniers, nous avons également utilisé des modèles numériques 3D dans le logiciel CST.

Comme première application, nous nous sommes intéressés à la détection de barre de fer disposée verticalement par rapport à l'antenne. Pour cela, un système radar monostatique, a été réalisé en balayant le milieu où se trouve la cible suivant des configurations planes. Les images reconstruites avec succès reflètent bien taille d'origine, sa forme ainsi que sa position.

En deuxième application, nous avons aussi réussi à détecter de barre de fer incliné. Les images reconstruites reflètent aussi une taille, une forme et une position assez fidèle à l'originale.

En variant la position de la cible par rapport à l'antenne, nous sommes parvenus à analyser les différents résultats ce qui permettra de maîtriser ce processus de reconstruction d'images.

Mots clés : Antenne radar Ultra Large Bande (ULB), Algorithme de reconstruction d'images microondes, Imagerie radar monostatique, Détection d'objets enfouis.

Abstract

Backscattered signals are used in microwave confocal imaging to locate objects in open or buried environments. This method uses non-ionizing radiation and is non-invasive. In this final-year project, we propose image reconstruction techniques for applications involving the detection of objects in space, such as iron bars, using ultra-wideband (ULB) microwave imaging. We used the back-projection method in each of these applications. For the latter, we also used 3D digital models in CST software.

As a first application, we were interested in the detection of iron bars arranged vertically in relation to the antenna. For this purpose, a monostatic radar system was set up, scanning the target environment in planar patterns. The images successfully reconstructed reflect the target's original size, shape and position.

In a second application, we were also able to detect tilted iron bars. The reconstructed images also reflect the original size, shape and position.

By varying the position of the target in relation to the antenna, we were able to analyze the different results, which will enable us to master the image reconstruction process.

Keywords: Ultra-Wide Band (ULB) radar antenna, Microwave image reconstruction algorithm, Monostatic radar imaging, Buried object detection.

ملخص

تُستخدم إشارات الانعكاس المرجعية في تصوير الميكروويف المحدود لتحديد مواقع الأشياء في البيئات المفتوحة أو المخفية. تعتمد هذه الطريقة على الإشعاع غير المؤين وغير التدخلي. في هذا المشروع التخرج، نقدم تقنيات إعادة بناء للصور باستخدام تطبيقات كشف الكائنات في الفضاء، مثل قضبان الحديد باستخدام تقنية فوق النطاق الترددي فائق العرض (ULB) للصورة فوق الصوتية. لقد استخدمنا طريقة إعادة الإحتمالية في كل من هذه التطبيقات. بالإضافة إلى ذلك، استخدمنا نماذج رقمية ثلاثية الأبعاد في برنامج CST .

في التطبيق الأول، اهتمنا بكشف قضبان الحديد الموضوعة عمودياً بالنسبة للهوائي. لهذا الغرض، تم تنفيذ نظام رادار واحد الوضعية عن طريق مسح الوسط الذي يحتوي على الهدف وفقاً لتكوينات مستوية. تعكس الصور المعاد بناؤها بنجاح حجمًا صحيحًا وشكلًا وموضعًا للهدف الأصلي. في التطبيق الثاني، نجحنا أيضًا في كشف قضيب حديد مائل. تعكس الصور المعاد بناؤها أيضًا حجمًا وشكلًا وموضعًا يعكسان الأصل بدقة. من خلال تغيير الموضع للهدف بالنسبة للهوائي، تمكنا من تحليل النتائج المختلفة مما سيساعدنا في السيطرة على عملية إعادة بناء الصور.

الكلمات المفتاحية:

خوارزمية إعادة بناء صورة الميكروويف، الرادار « UWB » , التصوير بالرادار احادي الاستاتيكيات ,الكشف عن الاجسام المدفونة.

Table des Matières

Dédicaces.....	i
Remerciements	ii
Résumé	iii
Abstract.....	iv
ملخص.....	v
Liste des figures.....	ix
Liste des abréviations	xii
Introduction générale.....	1
CHAPITRE I : LE RADAR	3
I.1 Introduction	4
I.2 Historique	4
I.3 Le RADAR	5
I.3.1 Définition	5
I.3.2 Principe du système radar	5
I.4 Composition d'un système radar	6
I.4.1 L'antenne	6
I.4.2 Le duplexeur	7
I.4.3 L'émetteur.....	7
I.4.4 L'étage de puissance	7
I.4.5 Le Modulateur.....	8
I.4.6 Le récepteur	9
I.4.7 Le traitement et l'exploitation des informations	9
I.4.8 La synchronisation	10
I.4.9 Les informations de pointe angulaire.....	10
I.4.10 La liaison duplexeur antenne	10

I.5 Concept général de l’ultra large bande (ULB)	11
I.5.1 Définition de l’ULB	12
I.5.2 Applications des radars ULB	13
I.5.3 Différentes configurations des radars ULB	15
I.6 Conclusion	19
CHAPITRE II : IMAGERIE MICRO-ONDES	20
II.1 Introduction	21
II.2 Description des antennes patch	21
II.3 Les caractéristiques des antennes	22
II.3.1 Le coefficient de réflexion S11	22
II.3.2 La bande passante	22
II.3.3 La Directivité	23
II.3.4 Le Gain	23
II.3.5 Rendement de l’antenne	24
II.3.6 Diagramme de rayonnement	24
II.3.7 Impédance d’entrée de l’antenne	25
II.3.8 Le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)	26
II.4 Simulation sous CST Microwave Studio	26
II.4.1 Description du Logiciel de Simulation CST	27
II.4.2 Type d’antennes utilisé	28
II.4.3. Conception de l’antenne	28
II.4.4 résultats de simulation	29
II.5 Différentes techniques d’imagerie radar pour la détection d’objets	32
II.5.1 Algorithme RCB	33
II.5.2 Algorithme MAMI	34
II.5.3 Algorithm TR-MUSIC	35

II.5.4 Algorithme de rétroprojection	36
II.5.5 Algorithme DAS (Delay and Sum)	37
II.6 Détection d'objets	39
II.6.1 Méthodologie utilisée	40
II.6.2 Acquisition de données.....	40
II.6.3 Antenne utilisée pour la collecte des données	43
II.7 Détection d'objets incliné.....	44
II.8 Conclusion.....	47
CHAPITRE III : Résultats des simulations	48
III.1 Introduction.....	49
III.2 Implémentation de l'algorithme confocale de rétroprojection.....	49
III.2.1 Fenêtre de Hamming	51
III.2.2 Transformée de Fourier Rapide Inverse (IFFT).....	51
III.2.3 Calibration.....	51
III.2.4 Suppression du bruit.....	51
III.2.5 Génération des pixels et de leurs intensités.....	52
III.3 Résultats de simulation de l'algorithme de rétroprojection	52
III.4 Conclusion	55
Conclusion Générale.....	56
Références	57

Liste des figures

Chapitre I

FIGURE I.1 : SCENARIO ILLUSTRANT LE PRINCIPE DU RADAR.....	5
FIGURE I.2 :BLOC FONCTIONNEL TYPE D'UN RADAR.....	6
FIGURE I.3 : SYNOPTIQUE DE L'EMETTEUR HAUT NIVEAU.....	9
FigureI.4 : Synoptique de l'émetteur basniveau.....	9
FIGURE I.5 : COMPARAISON DES SPECTRES DE DIFFERENTS SYSTEMES RADIO	12
FIGURE I.6 : GEOMETRIE RADAR MONOSTATIQUE	16
FIGURE I.7 : CAPACITES DU SYSTEME RADAR MULTISTATIQUE	18

Chapitre II

FIGURE II.1 :PRESENTATION D'UNE ANTENNE PATCH.	21
FIGURE II.2 : LES DIFFERENTES FORMES DU PATCH.....	21
FIGURE II.3 : LA BANDE PASSANTE.....	23
FIGURE II.4 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT CLASSIQUE D'UNE ANTENNE DIRECTIVE.....	25
FIGURE II.5 : ANTENNE EN MODE D'EMISSION.....	25
FIGURE II.6 :FENETRE PRINCIPALE DE LOGICIEL DE SIMULATION CST MICROWAVE	27
FIGURE II.7 : GEOMETRIE DE LA STRUCTURE (A) FACE SUPERIEURE (B) FACE INFERIEURE	28
FIGURE II.8 :COEFFICIENT DE REFLEXION SIMULE S_{11} EN FONCTION DE LA FREQUENCE POUR .	30
FIGURE II.9 :VARIATION DE L'IMPEDANCE D'ENTREE DE L'ANTENNE EN FONCTION DE LA	30
FIGURE II.10 :VARIATION DU GAIN DE L'ANTENNE EN FONCTION DE LA FREQUENCE	31
FIGURE II.11 : DIAGRAMME DE RAYONNEMENT 3D DE L'ANTENNE A LA FREQUENCE 6GHZ	31
FIGURE II.12 : COMPARAISON DES COEFFICIENTS DE REFLEXION (S_{11}) SIMULE ET MESURE.....	32
FIGURE II.13 : COMPARAISON DE DEUX S_{11} AVEC ET SANS OBJETS - ANTENNE ELOIGNEE DE LA POSITION DE L'OBJET CIBLE.....	40
FIGURE II.14 : COMPARAISON ENTRE DEUX SIGNAUX DE REFLEXION AVEC ET SANS OBJET- ANTENNE PROCHE DE LA POSITION DE L'OBJET	40
FIGURE II.15 : MODELE D'UNE CIBLER VERTICALE ET D'UNE ANTENNE MONOPOLE SOUS LE LOGICIEL CST (VUE DE FACE).....	41

FIGURE II.16 : MODEL D'UNE CIBLE VERTICALE ET D'UNE ANTENNE MONOPOLE SOUS LE LOGICIEL CST (VUE DE COTE).....	42
FIGURE II.17: MODEL D'UNE CIBLE VERTICALE LOINTAINE ET D'UNE ANTENNE MONOPOLE SOUS LE LOGICIEL CST (VUE DE COTE).	43
FIGURE II.18 : UN RESEAU SYNTHETIQUE PLANE FORME PAR LES DIFFERENTES POSITIONS DE L'ANTENNE FACE A CIBLE.....	43
FIGURE II.19 :EXCITATION (ROUGE) ET SIGNAL RETRODIFFUSE ENREGISTRE (VERT) A UNE POSITION DE L'ANTENNE.	44
FIGURE II.20: MODELE SOUS CST REPRESENTANT UNE CIBLE PROCHE INCLINEE.....	45
FIGURE II.21: UN RESEAU SYNTHITIQUE PLAN FORME PAR LES DIFFERENTES POSITION DE L'ANTENNE FACE A LA CIBLE.....	46
FIGURE II.22: MODELE D'UNE CIBLE VERTICALE LOINTAINE ET D'UNE ANTENNE MONOPOLE SOUS LE LOGICIEL CST (VUE DECOTE)	46

Chapitre III

FIGURE III.1 :DIAGRAMME REPRESENTANT LES ETAPES DE NOTRE IMPLEMENTATION DE L'ALGORITHME CONFOCALE.....	50
FIGURE III.2 :SIMULATION AVEC UNE CIBLE LARGE VERTICALE.	52
FIGURE III.3 :SIMULATION AVEC UNE CIBLE LOINTAINE	53
FIGURE III.4 :UNE CIBLE INCLINEE PROCHE DE L'ANTENNE.....	53
FIGURE III.5 :UNE CIBLE INCLINEE LOINTAINE	54

Liste des tableaux

Chapitre II

TABLEAU II.1 DIMENSIONS DES PARTIES DU MODELE DU CIBLE EN METAL	42
TABLEAU II.2 PROPRIETES DIELECTRIQUES DES PARTIES DU MODELE DU CIBLE EN METAL	42

Liste des abréviations

2D : Deux dimensions

3D : Trois dimensions

BP : Back Projection

CST MWS : Computer Simulation Technology, Micro Waves Studio

DA : Données Adaptatives

DAS : Delay and Sum

dB : decibel

DI : Données Indépendantes

DOA : direction of arrive

DOD: Department of defense

FIT: Finite Integration Technique

GHz: Gigahertz

GPS: Global Positioning System

LTT : laboratoire de Télécommunications de Tlemcen

MAMI: Multistatic Adaptive Microwave Imaging

MIST: Microwave Imaging via Space-Time

RADAR : RAdio Detection And Ranging

ROS : le rapport d'onde stationnaire

ROSV : le rapport d'onde stationnaire de volt

RCB : Robust Capon Beamforming

RMN : Résonance Magnétique Nucléaire

SVD : Singular Value Decomposition

TOP : tubes à ondes progressives

TR-MUSIC : Time-Reversal Multiple Signal Classification

ULB : Ultra Large Bande

UWB : Ultra-Wide Band

VSWR : Voltage Standing Wave Ratio

Introduction générale

Le radar est un système électromagnétique qui permet de détecter la présence de cibles dans un espace donné. Il utilise des ondes électromagnétiques pour mesurer la distance, la vitesse et la direction des cibles. Le radar a été largement utilisé pendant la seconde guerre mondiale et continue d'être utilisé dans de nombreux domaines aujourd'hui.

Le processus de reconstruction d'images par radar micro-ondes est une technique avancée qui permet d'obtenir des images détaillées de la zone d'observation en combinant les données de plusieurs radars. Cette méthode offre plusieurs avantages par rapport aux systèmes radar conventionnels, notamment une meilleure résolution spatiale et une capacité accrue à détecter des cibles mobiles.

Ce dernier comprend plusieurs étapes, notamment l'acquisition de données radar, la correction et la synchronisation des données, la combinaison des données pour former une image complète de la zone d'observation, et le traitement de l'image pour améliorer la qualité de l'image obtenue.

Cet technique trouve de nombreuses applications, notamment dans la surveillance maritime, la détection de cibles mobiles. Elle est également utilisée dans d'autres domaines tels que la sécurité nationale, la gestion des catastrophes naturelles et la recherche scientifique. En somme, la reconstruction d'image par radar micro-ondes est une méthode avancée et polyvalente qui permet d'obtenir des images de haute qualité de la zone d'observation et elle offre une grande précision et résolution spatiale, ce qui la rend idéale pour les applications de surveillance, de reconnaissance et de détection.

Ce projet de fin d'études intitulé vise détecter des cibles dans l'espace en exploitant des simulations qui ont été réalisées sous les logiciels CST MWS (Computer Simulation Technology- Micro Waves Studio) et Matlab. Pour atteindre cet objectif, Le présent mémoire est scindé en trois chapitres.

Le premier chapitre se concentre sur l'état de l'art des systèmes radar de reconstruction d'images. Nous présentons le radar Ultra Large Bande (ULB) et quelques notions et

applications sur ces derniers. Puis, les spécificités et les différents types de radar ULB utilisés dans l'imagerie micro-onde sont présentés. Notre étude est ensuite portée sur les radars monostatiques et multistatiques ainsi qu'une comparaison.

Le deuxième chapitre, Nous présentons d'abord des généralités sur les antennes imprimées ou autrement dit les antennes patches, puis notre étude est focalisée sur l'antenne patch microruban de Mme Seladji que nous utilisons dans nos simulations. Ensuite, nous exposons aussi les algorithmes d'imagerie radar. A la fin nous présentons les différents concepts et principes des systèmes d'imageries micro-ondes. Cette partie est axée principalement autour de techniques radars d'imagerie microondes à la détection des objets.

Le troisième chapitre est réservé aux résultats et à leurs discussions. Nous commençons par présenter l'algorithme d'imagerie radar que nous avons utilisé, à savoir la technique confocale de rétroprojection ("BackProjection algorithm"). Ensuite les résultats que nous avons obtenus sont esquissés sous forme d'images en 2D et discutés.

Nous terminerons notre manuscrit par une conclusion générale sur tout ce qui a été dit ou obtenu à propos de la détection et la localisation des objets par imagerie micro-onde ainsi que sur les perspectives prometteuses existantes dans ce domaine d'études intéressant.

CHAPITRE I : LE RADAR

I.1 Introduction

La technologie ULB (Ultra Large Bande) ou UWB (Ultra Wide Band) a d'abord été développée pour des applications militaires et puis a commencé à être utilisée dans des applications militaires et civiles. Après avoir suscité un intérêt croissant dans les communautés scientifiques et industrielles, elle a été transportée pour être utilisée dans des applications de communication.

Ces dernières, qui vont des systèmes de communication tels que l'échange de données entre deux portables aux applications médicales, évoluent actuellement vers des systèmes de communication **on body**¹.

Les caractéristiques uniques de l'ULB, telles que sa large bande spectrale et sa haute résolution temporelle, lui permettent d'offrir des systèmes de communication avec des débits très élevés, pouvant atteindre plusieurs centaines de Mbits/s, voire 10 Gbits/s. Cette largeur de bande est donc avantageuse pour les diffusions erratiques, telles que les applications **indoor**² avec de nombreuses fréquences et normes.

Ce chapitre présente la technologie à bande ultra-large pour l'imagerie micro-ondes et il est consacré aux points suivants :

- Principes fondamentaux des systèmes radar ULB et leurs différentes structures et technologies.
- Radar monostatique et radar multistatique, et les différences entre eux.

I.2 Historique

L'histoire du radar a souvent été racontée par les nations qui l'ont utilisé pour gagner la seconde guerre mondiale. En 1940, la marine nationale des États-Unis adopte le terme RADAR pour désigner ce système (Radio Detection And Ranging), c'est-à-dire la détection radio et l'estimation de la portée. Cependant, ses origines sont plus anciennes et les recherches

¹**On Body** : sont des technologies qui permettent aux dispositifs électroniques d'être portés sur le corps ou les vêtements. Ils sont utilisés dans la surveillance des signes vitaux, les mouvements du corps ...etc.

²**Indoor** : Les applications "indoor" sont des applications destinées à être utilisées dans des environnements intérieurs tels que des bâtiments ou des pièces, elles offrent des fonctionnalités telles que des cartes interactives, des guides audiovisuels, des applications de suivi de l'emplacement, des applications de surveillance et de contrôle d'accès...etc.

sur le système ont commencé bien avant la guerre dans huit des pays les plus puissants du monde.

I.3 Le RADAR

I.3.1 Définition

Le radar [1] est un système qui utilise des ondes électromagnétiques pour détecter la présence, la position et la vitesse d'objets tels que les avions, les bateaux ou la pluie. Les ondes électromagnétiques envoyées par l'émetteur sont réfléchies par la cible, et les signaux de retour (écho radar) sont capturés et analysés par le récepteur, qui est souvent situé à proximité de l'émetteur.

I.3.2 Principe du système radar

Le radar est un dispositif d'imagerie dont le fonctionnement est basé sur l'émission et la réception d'ondes électromagnétiques afin de détecter, localiser et déterminer la vitesse d'un objet.

Un émetteur génère un signal transmissible en utilisant un ou plusieurs éléments de rayonnement antennaire. Lorsqu'elles entrent en contact avec une cible, certaines de ces ondes sont réfléchies et interceptées par le récepteur, cette retransmission par la cible est connue sous le nom d'écho. Le signal sera traité lors de la réception pour fournir une image de la scène numérisée (voir figure I.1).

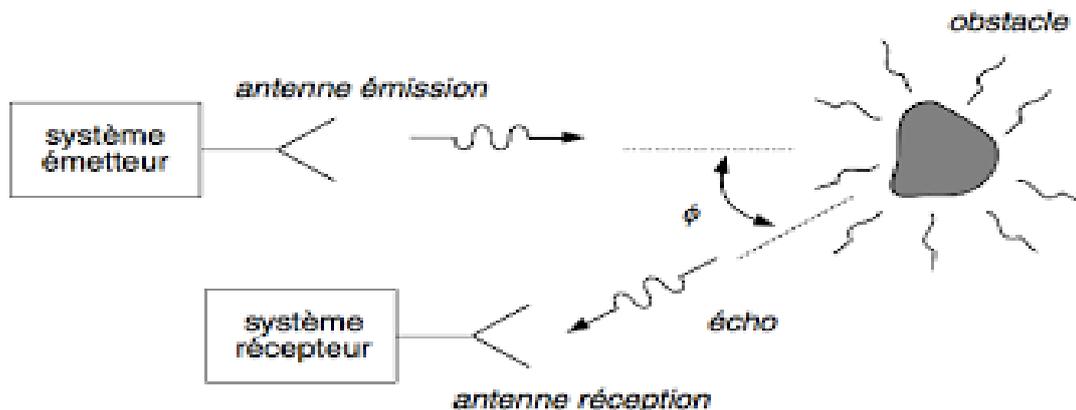


Figure I.1 : Scénario illustrant le principe du radar.

I.4 Composition d'un système radar

De tout ce qui précède, on peut conclure que le radar peut fournir à l'utilisateur des informations telles que la présence d'un corps étranger (avion, bateau, obstacle naturel, etc.) ainsi que sa position et sa vitesse.

Dans certains cas, ces deux informations peuvent être complétées par des informations supplémentaires sur la vitesse, la distance ou la nature de l'objet détecté par le radar. La figure I.2 montre un exemple de bloc fonctionnel type d'un radar [2].

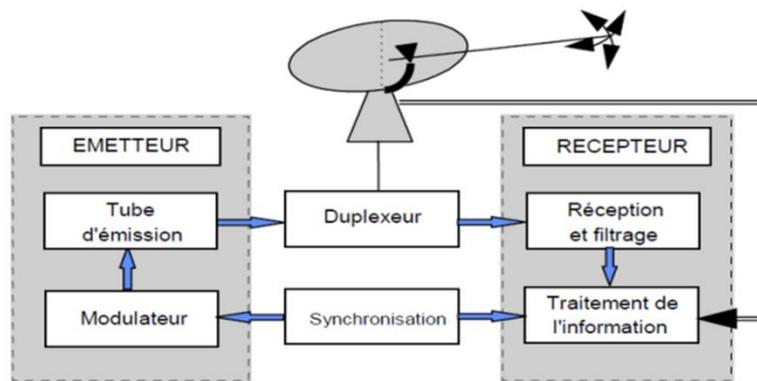


Figure I.2 : Bloc fonctionnel type d'un radar.

I.4.1 L'antenne

Il s'agit de l'élément radar le plus visible et le plus connu du public. Sa fonction est de concentrer l'énergie émise par le radar à un angle prédéterminé. Cet angle **solide**³ est déterminé par le type d'antenne utilisé. La direction dans laquelle il pointe est également liée à l'antenne ; un impact (mécanique ou électronique) sur cette antenne permettra ce changement de direction et déclenchera donc la découverte de la zone autour du radar. L'antenne peut être transformée en miroir pour permettre des fonctions d'émission et de réception indépendantes.

Dans ce cas, les deux antennes primaires doivent toujours être orientées dans la même direction. Elles doivent donc être interdépendantes ou synchrones. En outre, leurs

³Angle solide : L'angle solide est une mesure de la taille apparente d'une source lumineuse. Il correspond à la quantité de flux lumineux émis par la source et interceptée par une surface située à une certaine distance de celle-ci. L'unité de mesure de l'angle solide est le stéradian (sr)

interférences radio doivent être aussi faibles que possible afin que le signal extrêmement puissant émis lors de la transmission ne perturbe pas le fonctionnement du récepteur.

Tous ces facteurs augmentent le coût des antennes doubles. Dans la plupart des cas, il est préférable d'opter pour une solution à antenne unique, utilisée à la fois pour l'émission et la réception et connectée à un duplexeur.

I.4.2 Le duplexeur

Il s'agit d'un déviateur électronique qui permet, d'une part, de diriger le signal émis vers l'antenne tout en isolant le récepteur et, d'autre part, de diriger le signal reçu vers l'antenne sans contourner l'émetteur et toujours avec une perte minimale.

La complexité du duplexeur est déterminée par la puissance du signal (de quelques kilowatts à 20 MW pour les radars de moyenne et longue portée). Elle est liée à la restriction des signaux au récepteur (il ne peut tolérer des signaux au-delà d'environ 100 mW sans atténuation) [2].

I.4.3 L'émetteur

L'émetteur est composé de deux parties principales : l'étage de puissance, où le signal transmis est généré ou amplifié, et l'étage qui est alimenté par un modulateur électrique et le signal de commande.

Les paramètres caractéristiques de l'émetteur sont les suivants :

- Puissance crête et puissance moyenne émise
- Largeur de bande de travail
- Fréquence de travail
- Stabilité à court et à long terme (bruit de phase)
- Spectre du signal émis
- Forme des impulsions

I.4.4 L'étage de puissance

Le composant actif est le tube d'émission, qui génère l'impulsion. Des micro-ondes à la fréquence et à la puissance souhaitées.

Il peut s'agir d'un oscillateur de puissance, le tube utilisé étant un aimant, une triode oscillante ou tout autre tube oscillant. Il capte les niveaux d'énergie les plus élevés en utilisant le générateur de haute fréquence.

L'amplification en chaîne est un autre type d'étage de puissance dans lequel le signal est amplifié par des paliers successifs, la puissance de sortie finale variant en fonction du tube utilisé et de la longueur de l'onde. Les tubes d'amplification radar sont :

- Les klystrons.
- Les tubes à ondes progressives (TOP).
- Les tubes à champs croisés (Pour les niveaux de puissance élevés).
- Amplificateurs à état solide (diodes, transistors) aux basses puissances, ou pour la Fourniture de « modules » de puissance.

Cet étage comprend, en outre, des dispositifs annexes :

- Refroidissement d'alimentation.
- Circuits de mise en route et de contrôle...

Son rendement global est de l'ordre de 10 à 30 %.

I.4.5 Le Modulateur

Le modulateur fournit la puissance nécessaire à la partie active de l'émetteur. Il peut économiser de l'énergie entre deux émissions consécutives et la restituer lors d'une courte (très courte) émission radar.

La puissance de sortie du modulateur est extrêmement élevée (par exemple, 3 MW pour une puissance de sortie de 1 MW). Cela correspond à un courant de plusieurs dizaines d'ampères sous une contrainte de plusieurs dizaines de milliers de volts.

Pour éviter les effets parasites sur le signal transmis, la qualité du signal du modulateur doit être contrôlée [3].

Deux types de structure sont utilisés :

- Dans la modulation haute niveau le signal radar est généré à grande puissance par un oscillateur de puissance hyperfréquence.

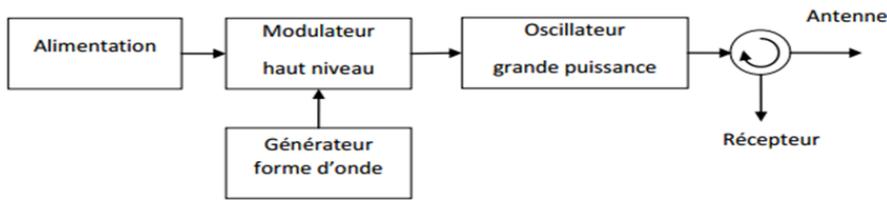


Figure I.3: Synoptique de l'émetteur haut niveau [3].

Figure I.3 montre la modulation de niveau haut de signal radar.

- Le deuxième type le signal radar est généré par un générateur de forme d'onde à bas niveau puis amplifié par un amplificateur de puissance hyperfréquence.

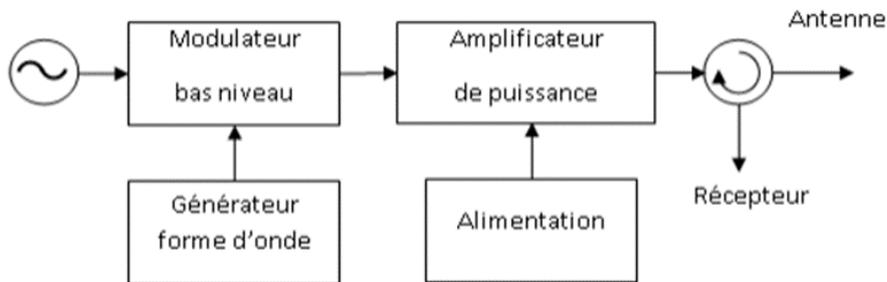


Figure I.4 : Synoptique de l'émetteur bas niveau [3].

I.4.6 Le récepteur

Il s'agit de l'élément le plus délicat et le plus souvent sophistiqué du radar. Il assure l'amplification, le filtrage et le traitement du signal radar, et sa sensibilité doit donc être très élevée (environ 10-15 watts). Il amplifie les signaux à très grande échelle. Il doit également effectuer le filtrage du signal et d'autres traitements en fonction des informations obtenues (par exemple, vitesse, position angulaire, etc.). Sa production doit être minutieusement planifiée afin de minimiser toute distorsion involontaire du signal et le bruit associé aux signaux radar [2].

I.4.7 Le traitement et l'exploitation des informations

Le traitement des informations radar est fait à partir des éléments suivants :

- Signal vidéo délivré par le récepteur,
- Signaux de synchronisation,
- Information de position angulaire du faisceau d'antenne,

- Eventuellement autres informations en provenance d'un traitement spécial ou de sources extérieures.

Il peut fournir des "schémas radar" qui sont pris en compte par le système d'exploitation.

Ces données sont présentées à l'opérateur sous la forme d'une image radar adaptée à la zone étudiée. Il appartient alors à l'opérateur d'interpréter les informations affichées et d'effectuer les opérations nécessaires (identification, instruction, anticollision, etc.). L'utilisation de "fonctionnalités automatiques" assurées par des moyens numériques facilite le travail de l'opérateur ; les informations sont transmises à l'opérateur par l'intermédiaire du panneau d'affichage.

Ces écrans de cockpit, qui bénéficient d'une visibilité maximale, sont de véritables systèmes capables de recevoir des données radars bruts ainsi que des données d'exploitation "ajustées". Ils permettent également la communication entre l'opérateur et l'ordinateur chargé de générer les informations appropriées.

I.4.8 La synchronisation

Le "synchroniseur" est le cœur du système radar. Il fournit les signaux de base qui déterminent le temps de transmission ainsi que les signaux supplémentaires nécessaires aux opérations en temps réel.

Ces signaux sont distribués aux différents éléments à contrôler. Pour éviter de fausser les résultats des mesures, leur distribution doit être assurée avec une grande reproductibilité.

I.4.9 Les informations de pointe angulaire

Dans une antenne traditionnelle, la position angulaire du faisceau est liée à la position mécanique de l'antenne. Par conséquent, elle doit être copiée et transmise au système d'extraction des informations. Les systèmes de retransmission utilisés dans les antennes à équilibrage mécanique peuvent être analogiques ou numériques. (Codeurs). Ces données sont générées et transmises par un pointeur d'antenne informatique dans les antennes à balayage électronique.

I.4.10 La liaison duplexeur antenne

Cette liaison doit permettre la transmission des signaux de la micro-onde à différents endroits de l'antenne. Elle est composée de tubes haute fréquence (coaxiaux et interrupteurs) et d'éléments plus complexes qui permettent à l'antenne de se déplacer. (Joints tournants). Au

niveau de l'antenne, elle peut être complétée par divers circuits haute fréquence (diviseurs de puissance, coupleurs, circulateurs, déphaseurs, etc.) [2].

I.5 Concept général de l'ultra large bande (ULB)

La bande ultralarge, abrégée ULB ou UWB, désigne une technologie plus ancienne portant un nom moderne. Plusieurs noms lui ont été donnés par différentes personnes, notamment technologie d'impulsion, technologie de soutien, etc. Elle date en fait de la fin du XIXe siècle, mais ne montre aucun signe d'évolution. En raison de problèmes d'interopérabilité avec d'autres systèmes, et parce que les possibilités de ces systèmes pulsés n'ont pas encore été approuvées, les chercheurs proposent depuis les années 1960 d'Actualiser la recherche et le développement de ces systèmes et permettre leur première utilisation.

Alliés dans les applications de l'armée américaine et du département de la défense (DoD), le progrès de cette technologie s'est progressivement accéléré dans les années 1990. Elle a récemment connu un regain d'intérêt important et a fait l'objet de plusieurs projets, dont celui de pousser pour une utilisation commerciale.

I.5.1 Définition de l'ULB

Le terme "ULB" (Ultra-large Bande, ou UWB pour Ultra Wide Band) désigne une stratégie d'accès radio qui repose sur la transmission d'impulsions de très courte durée, souvent inférieure à une nanoseconde. Au cours des dernières années, elle a été affublée de divers surnoms dans le monde littéraire. On peut citer la "radio impulsionnelle", la "radio sans porteuse", la "radio du domaine temporel", la "radio non sinusoïdale", la "radio à fonction orthogonale" et la "radio à grande largeur de bande relative" [4]. La largeur de bande relative est définie comme suit :

$$B_{f,3dB} = 2 \cdot \frac{F_H - F_L}{F_H + F_L} \quad \text{I.1}$$

Où F_H et F_L représentent respectivement les fréquences de coupure supérieure et inférieure de la bande définie à -3dB. Les signaux ULB ont été initialement définis comme des signaux présentant une largeur de bande relative de 25% ou plus [5].

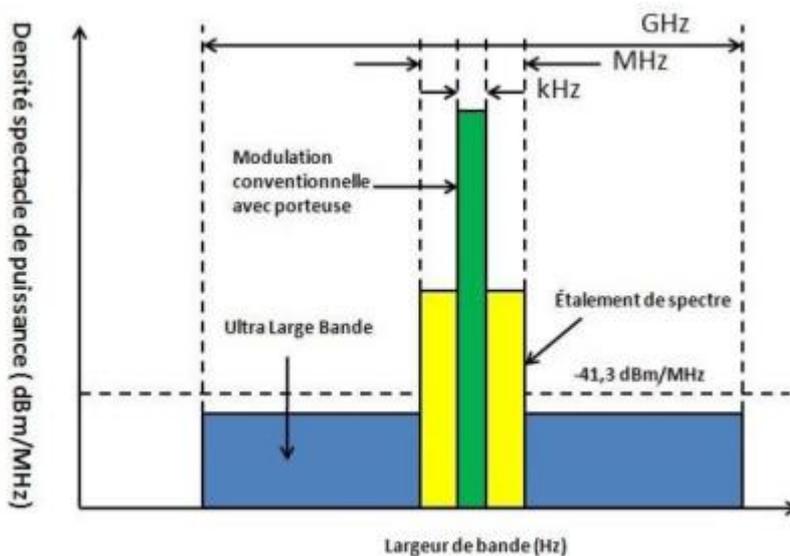


Figure I.5 : Comparaison des spectres de différents systèmes radio [6].

La figure I.5 compare les systèmes radio classiques, qui modulent généralement un signal à bande étroite sur une fréquence porteuse, les systèmes à large bande, tels que les approches de l'alignement du spectre, et les systèmes ULB, qui ont une très faible densité spectrale de puissance.

I.5.2 Applications des radars ULB

Le radar ULB a été utilisé dans un grand nombre d'applications :

- **Radar ULB anti-collision** : Le système anti-collision [7], développé principalement par les constructeurs automobiles, équipe déjà un certain nombre de véhicules de série. Il s'agit d'une combinaison de radars ULB (à 24 GHz) et de radars conventionnels avec effet Doppler. Cette relation permet de détecter des obstacles avec une résolution de 10 cm à 30 cm et de mesurer leur vitesse de déplacement. Ces systèmes sont installés dans les portières et sur les côtés du véhicule et alertent le conducteur en cas de collision potentielle avec d'autres obstacles.
- **Radar ULB de surveillance locale** : Les systèmes de radar de surveillance locale ULB [8] sont disponibles dans le commerce et permettent de créer une sphère de surveillance autour d'un objet sensible. Ces petits systèmes, de la taille d'une canette, contiennent un micro-radar d'une portée de quelques mètres, un système radio typique pour transmettre une alarme en cas d'incursion, et/ou un système GPS pour des applications spécifiques. Ce type de système peut également être utilisé comme système d'alarme autour d'une maison ou à l'entrée d'une piscine.
- **Radar ULB dans le secteur médical** : Deux applications majeures peuvent être identifiées dans le domaine médical. Tout d'abord, les systèmes de surveillance [9], installés au plafond d'une salle d'opération, permettent de surveiller simultanément le rythme cardiaque ou respiratoire de plusieurs patients. Ils peuvent également être utilisés pour déclencher rapidement une alerte en cas d'apnée du sommeil ou de mort subite du nouveau-né. Ils permettent également de surveiller en continu les fonctions fœtales dans le ventricule de la mère lors de grossesses pathologiques. L'autre grande catégorie d'applications médicales est actuellement celle des systèmes d'imagerie médicale [10].

Les différents tissus humains ayant des caractéristiques d'absorption et de réflexion uniques, il est possible de concevoir des systèmes d'imagerie très

performants et de fournir un diagnostic plus rapide et moins lourd pour le patient que si l'on utilisait des appareils RMN (Résonance Magnétique Nucléaire) ou à rayons X. Des systèmes de mammographie très prometteurs sont en cours de développement ; ils permettront de détecter de petites tumeurs dans le corps qui ne sont pas détectables avec les normes actuelles.

- **Systèmes ULB de discrimination et de caractérisation de l'objet** : Ils sont destinés à distinguer et à identifier clairement différentes sortes de matériaux. Placés, par exemple, à la base d'une scie tournante, ils peuvent facilement distinguer un morceau de bois d'un doigt qui s'approche dangereusement et ainsi déclencher l'arrêt d'une machine [11].

Une application récente [12] est développée autour des détecteurs d'armes. À une époque où le terrorisme devient de plus en plus sophistiqué, le développement de matériaux tels que la fibre de carbone, le kevlar, la céramique et d'autres matériaux synthétiques très résistants permet de mettre au point des armes de destruction massive non détectables dans les terminaux aéroportuaires standard.

- **L'imagerie radar ULB à travers les murs et système d'analyse de matériaux du bâtiment** : Les radars ULB permettent de voir à travers les murs et autres obstacles. Ces systèmes compacts, de la taille d'un ordinateur portable, sont réservés aux agences de sécurité (police) ou aux forces militaires pour déterminer, par exemple, le nombre d'ennemis (terroristes) ou de preneurs d'otages dans une maison. Ces appareils sont également utilisés dans le bouclier anti-émeute utilisés par les forces de l'ordre pour voir ce qui se passe derrière une barricade ou à travers un nuage de fumées de gaz lacrymogène.

Ces radars [13] ne sont évidemment pas destinés au grand public ; néanmoins, un dérivé de cette technologie est utilisé dans l'industrie de la construction pour déterminer avec précision les structures à l'intérieur d'un mur, telles que les barres d'armature, les lignes électriques enfouies ou autres conduites d'eau. A terme, on

peut imaginer que de tels systèmes équiperont les futures perceuses électriques, évitant au bricoleur de couper accidentellement une ligne d'eau ou d'électricité.

I.5.3 Différentes configurations des radars ULB

I.5.3.1 Radar monostatique

La fonction fondamentale d'un radar est de mesurer le temps nécessaire à une impulsion électromagnétique pour atteindre une cible, être réfléchi et revenir au récepteur du radar. Avec un radar monostatique, l'émetteur et le récepteur sont nominalement situés au même endroit, de sorte qu'après avoir éliminé les retards internes du radar, le délai est simplement dû à la propagation d'une émission vers et depuis une cible le long du même chemin. Il est intéressant d'étudier le radar monostatique, il fournit une base utile pour la théorie du radar, comme les méthodes de détection optimales, et détaille des concepts tels que la propagation du temps de détection optimal et la résolution. Tout au long de ce travail, un site d'émission ou de réception séparé dans l'espace sera appelé nœud. Lorsqu'il fonctionne seul, un nœud est essentiellement un radar monostatique (capable d'émettre et de recevoir des signaux).

Pour déterminer la distance d'une cible, les radars monostatiques utilisent généralement une transmission par impulsions.

La vitesse de propagation étant égale à la vitesse de la lumière, le vecteur distance, R , d'une cible ponctuelle d'un radar monostatique peut être calculé en mesurant le temps écoulé entre le début de la transmission et la réception de l'écho.

Transmission et réception d'une impulsion par écho :

$$\| R \| = \frac{1}{2} c_p \quad \mathbf{I.2}$$

Où c_p est égal à la vitesse de la lumière : $c_p = 3 \times 10^8 \text{ms}^{-1}$

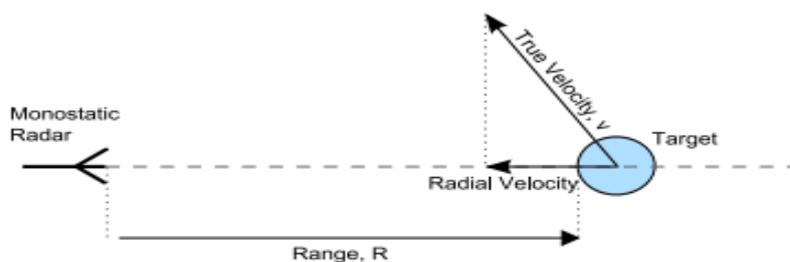


Figure I.6 : Géométrie radar monostatique.

La figure I.6 montre la géométrie applicable à la situation monostatique. En plus de la portée de la cible ponctuelle qui détermine le délai du signal reçu, la vitesse radiale provoque un effet Doppler de la cible ponctuelle déterminant le délai du signal reçu, la vitesse radiale provoque un décalage de fréquence Doppler f_d , sur le signal reçu par rapport au signal émis sur le signal reçu par rapport au signal émis. La relation entre la vitesse de la cible, v , et ce décalage Doppler vers le radar est illustrée dans l'équation (I.3). λ est la longueur d'onde du signal transmis et λ la longueur d'onde du signal reçu.

Du signal émis et \hat{R} le vecteur unitaire du vecteur de distance de la cible R :

$$f_d = \frac{-2\hat{v} \cdot \hat{R}}{\lambda} \quad \text{I.3}$$

Toute composante de vitesse, \hat{v} , transversale à \hat{R} ne contribuera pas à f_d en raison du produit de point des deux vecteurs indiqués dans l'équation (I.3).

Par conséquent, la vectrice vitesse réelle, v , de la cible ne peut pas être complètement spécifiée. Au cours du processus de propagation et de réflexion, il y aura des pertes de puissance. Il est important d'estimer la puissance du signal désiré revenant de la portée R , car cela déterminera en partie la couverture (c'est-à-dire le nombre d'antennes). La couverture (c'est-à-dire la zone de surveillance dans laquelle une cible peut être détectée) du système radar. Si l'on considère maintenant une puissance d'impulsion transmise P_t , alors pour une antenne isotrope à une distance R donnée le flux de puissance (densité de puissance par unité de surface) est réparti sur la surface d'une sphère de rayon R :

$$\text{Flux de puissance à la distance } R \text{ de l'émetteur} = \frac{P_t}{4\pi|R|^2} \quad \text{I.4}$$

I.5.3.2 Radar multistatique

Un radar multistatique [14] est un système radar composé d'au moins trois éléments, tels qu'un récepteur et deux émetteurs, ou deux récepteurs et un émetteur, ou plusieurs émetteurs et plusieurs récepteurs, pour détecter une région commune. Il peut même être constitué uniquement de récepteurs, comme un radar passif, et utiliser les émissions électromagnétiques de sources externes (signaux de télévision, GPS, etc.). Il s'agit en fait d'une généralisation du radar bidirectionnel avec un ou plusieurs récepteurs traitant les données d'un ou plusieurs capteurs situés à des endroits différents. Une différence importante entre les radars monostatiques et les radars multistatiques est que les échos des différentes composantes du multistatique doivent être fusionnés pour déterminer la position et le mouvement des cibles.

Cependant, la diversité spatiale offerte par les systèmes multi-agents permet la visualisation simultanée de plusieurs éléments d'une cible et présente un potentiel d'acquisition de connaissances supérieur à celui des systèmes traditionnels.

I.5.3.3 Principes du radar multistatique

Les radars multistatiques sont des systèmes qui détectent et suivent des cibles en utilisant de nombreuses paires d'émetteurs-récepteurs dans l'espace. Ces paires peuvent être monostatiques ou bistatiques, mais la géométrie bistatique est plus proche de la géométrie multistatique. La technique de combinaison des informations provenant de différentes paires d'émetteurs-récepteurs peut aller de la simple sélection de l'émetteur-récepteur le plus proche à la production de faisceaux par fusion de signaux radio.

Les avantages des radars multistatiques par rapport aux systèmes monostatiques et bistatiques sont notamment une plus grande diversité spatiale des paires capteur-récepteur et un gain potentiel d'informations. Les systèmes multistatiques peuvent prendre plusieurs formes et sont classés en fonction de leur cohérence spatiale et du niveau d'intégration de l'information.

La mise en œuvre de ces systèmes nécessite de prendre en compte le fonctionnement des systèmes individuels, la gestion du système qui les intègre et la méthode par laquelle l'information est transmise à l'utilisateur.

La figure I.7 donne une représentation simple d'un système multistatique.

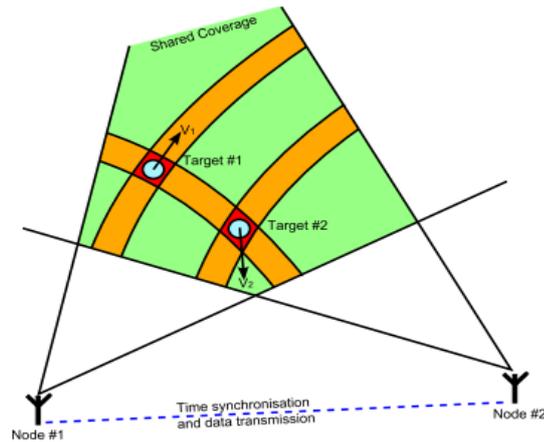


Figure I.7 : Capacités du système radar multistatique

Il existe plusieurs méthodes pour augmenter la couverture d'un radar multistatique, comme l'ajustement de la géométrie du radar pour rapprocher les cibles des paires émetteurs-récepteurs, la réduction du bruit de fond et l'amélioration du rapport signal-bruit. La diversité spatiale peut également contribuer à réduire les effets de l'éblouissement dans les environnements clos ou urbains. Enfin, plusieurs paires d'émetteurs-récepteurs équipés d'un système d'émission et de réception peuvent agréger les informations de plusieurs signaux reçus pour améliorer les performances de détection. L'approche par "cellules" superposées peut offrir des avantages en termes de couverture par rapport à la solution traditionnelle "force brute" consistant à augmenter la puissance de l'émetteur pour une seule paire. Les méthodes de gestion du système et de fusion des informations seront également essentielles pour fournir un résultat utile à l'opérateur.

I.5.3.4 La différence entre le radar multistatique et monostatique

La principale distinction entre un radar multistatique et un radar monostatique est le nombre et l'emplacement des antennes émettrices et réceptrices. Avec un radar monostatique, les antennes émettrices et réceptrices sont généralement combinées en une seule antenne située au même endroit que l'opérateur du radar. Cela signifie que la même antenne est utilisée pour envoyer le signal radar et recevoir le signal réfléchi par l'objet cible.

En revanche, un radar multistatique possède au moins deux antennes émettrices et réceptrices situées à des endroits différents dans l'espace. Cela signifie que les signaux émis par les différentes antennes peuvent être réfléchis par les cibles à des angles et à des moments différents, ce qui permet une détection et une localisation plus précises de la cible. En outre, la

diversité spatiale des antennes dans un système multistatique peut contribuer à réduire les effets d'occlusion et à augmenter la couverture radar.

En résumé, un radar monostatique utilise une seule antenne située au même endroit que l'opérateur radar pour émettre et recevoir des signaux, tandis qu'un radar multistatique utilise plusieurs antennes situées à des endroits différents pour émettre et recevoir des signaux, ce qui permet une détection et une localisation plus précises des cibles.

I.6 Conclusion

Le radar est un dispositif essentiel qui utilise des signaux électromagnétiques pour détecter et distinguer les objets d'intérêt des interférences indésirables. Les informations captées à partir du signal d'écho sont traitées pour fournir des données telles que la détection et localisation des objets ou des cibles. Ainsi, le radar constitue une technologie polyvalente et incontournable dans de nombreux domaines d'application.

Dans ce chapitre, nous avons pu voir un état de l'art sur les radars et leur compositions, ensuite nous avons présenté une définition de l'Ultra Large Bande et quelques notions sur les radars ULB et leur diverse application, et à la fin nous avons focalisé sur les configurations des radars ULB tels que les radars monostatique et les radars multistatiques en montrant la préférence entre ces derniers.

CHAPITRE II : IMAGERIE MICRO-ONDES

II.1 Introduction

Il existe plusieurs applications pour les antennes imprimées qui intéressent particulièrement les chercheurs. Dans ce chapitre, nous aborderons les antennes patch. Nous définirons d'abord les antennes imprimées, puis nous discuterons de leurs différentes caractéristiques. Nous présenterons ensuite le type d'antenne que nous avons utilisé et les simulations que nous avons réalisées. Enfin nous aborderons les Différentes techniques d'imagerie radar pour la détection d'objets en général et de l'Algorithme de rétroprojection en particulier

II.2 Description des antennes patch

L'antenne imprimée ou l'antenne patch est constituée d'un plan de masse, d'une ou plusieurs couches de substrat diélectrique de permittivité ϵ_r (figure II.1). L'élément rayonnant est une surface conductrice de géométrie rectangulaire, circulaire, carré, etc. Ce dernier est situé sur la surface supérieure. Il existe plusieurs mécanismes d'alimentation pour exciter l'antenne [15]. La figure II.1 représente la constitution d'une antenne patch rectangulaire.

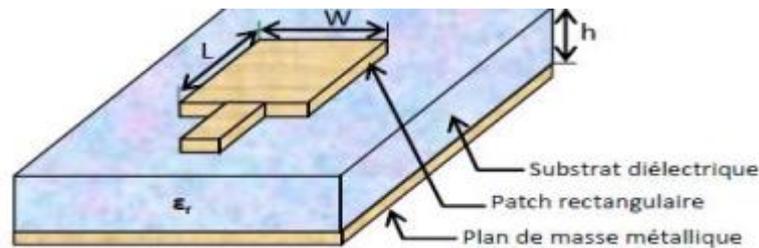


Figure II.1 : Présentation d'une antenne patch.

L'antenne patch peut prendre plusieurs formes comme la montre sur la Figure II.2 :

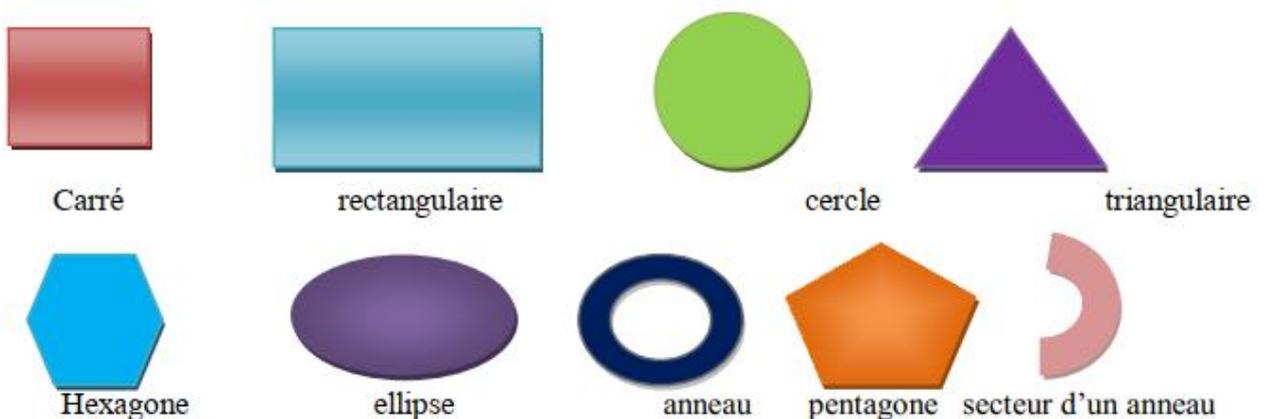


Figure II.2 : Les différentes formes du patch

II.3 Les caractéristiques des antennes

Chaque application des communications sans fil met en évidence des caractéristiques d'antenne particulières. En règle générale, une antenne utilisée dans un type d'application ne peut pas être utilisée dans un autre. Une antenne peut être caractérisée par [16] :

II.3.1 Le coefficient de réflexion S11

La qualité d'adaptation d'une antenne est définie soit par son impédance caractéristique (II.1) (généralement 50Ω), soit en donnant son coefficient de réflexion S11 (II.2).

$$Z_e = R + j X \quad \text{II.1}$$

$$|S_{11}|^2 = \frac{P_r}{P_t} \quad \text{II.2}$$

$|S_{11}|$ est le coefficient de réflexion en tension, donné par la formule et exprimée en Décibels. C'est le rapport entre la puissance réfléchie et la puissance transmise.

Le paramètre S11 qui est le coefficient de réflexion à l'entrée de l'antenne exprime le transfert d'énergie par cette antenne. La valeur de ce paramètre varie en fonction de la fréquence. Afin d'assurer une bonne adaptation dans la bande de fréquence désirée, nous imposons le critère suivant : $|S_{11}| \leq -10 \text{ dB}$ [16].

II.3.2 La bande passante

La bande passante d'une antenne est une plage de fréquences dans laquelle le transfert d'énergie entre l'alimentation et l'antenne (ou entre l'antenne et le récepteur) est maximisé. La définition précise de la bande passante peut varier en fonction des critères choisis, mais elle est généralement définie en termes de coefficient de réflexion. Il n'existe pas de limite précise pour le coefficient de réflexion, mais il est courant de chercher à avoir un coefficient de réflexion inférieur à -10 dB sur toute la plage de fréquences de la bande passante.

Certaines antennes sont très sélectives (bandes passantes très étroites), d'autres peuvent être utilisées sur une très large bande de fréquences [16].

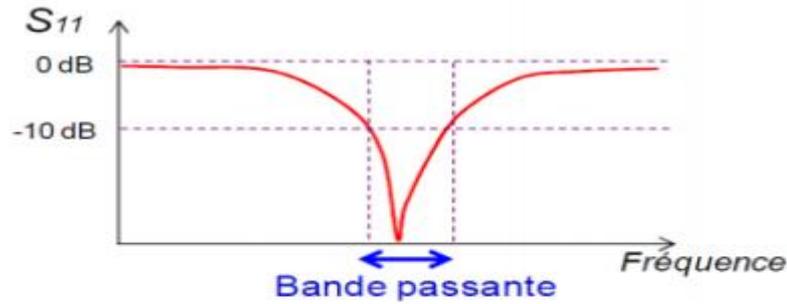


Figure II.3 : La Bande passante [17]

II.3.3 La Directivité

La directivité d'une antenne mesure sa capacité à concentrer l'énergie radioélectrique dans une direction donnée. Elle est exprimée en décibels en comparant la puissance émise dans cette direction à celle émise dans toutes les directions. Cette dernière est un paramètre important pour les applications de communication, de radiodiffusion et de radar. Les antennes très directrices permettent d'établir des liens à longue distance et de réduire les interférences.

La directivité $D(\theta, \varphi)$ d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la densité puissance rayonnée dans une direction donnée (θ, φ) et la puissance que rayonnerait une antenne isotrope [18] [19]

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r / 4\pi} = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r} \quad \text{II.3}$$

II.3.4 Le Gain

C'est le rapport entre la puissance rayonnée P_r sur la puissance d'alimentation P_a . Il dépend de sa directivité, c'est le rapport entre la puissance rayonnante dans le lobe principal et la puissance rayonnée par une antenne de référence [20] [21]. Il est présenté par l'équation suivante :

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

Il peut être exprimé en fonction de rendement et la directivité :

$$G(\theta, \varphi) = \eta \times D(\theta, \varphi) \quad \text{II.5}$$

II.3.5 Rendement de l'antenne

L'efficacité ou le rendement η d'une antenne définit la capacité de transformer la puissance transmise à l'antenne P_t en puissance rayonnée P_{ray} [22]. Elle est définie par :

$$\eta = \frac{P_{ray}}{P_t} \quad \text{II.6}$$

Avec P_{ray} et P_t sont données par :

$$\begin{aligned} P_{ray} &= \iint r^2(\theta, \varphi) d\varphi \\ P_t &= 4\pi r^2 S_{ri} \end{aligned} \quad \text{II.7}$$

S_{ri} : la surface effective

D'après les équations, l'efficacité peut être exprimée par le rapport entre le gain et la directivité :

$$\eta = (G(\theta, \varphi))/(D(\theta, \varphi)) \quad \text{II.8}$$

II.3.6 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne est une représentation graphique des champs électromagnétiques qui existent dans le champ lointain. Il peut être tracé en 2D (cartésien ou polaire) ou en 3D.

Ce diagramme est caractérisé par un lobe principal qui montre l'ouverture dans laquelle l'énergie est émise avec le maximum d'efficacité, ainsi que des lobes secondaires qui indiquent les directions dans lesquelles l'énergie est émise avec une moindre efficacité. Le diagramme de rayonnement indique également les orientations vers lesquelles l'antenne émet peu ou pas d'énergie, appelées les zéros, ainsi que les lobes de périodicités pour les réseaux d'antennes [20].

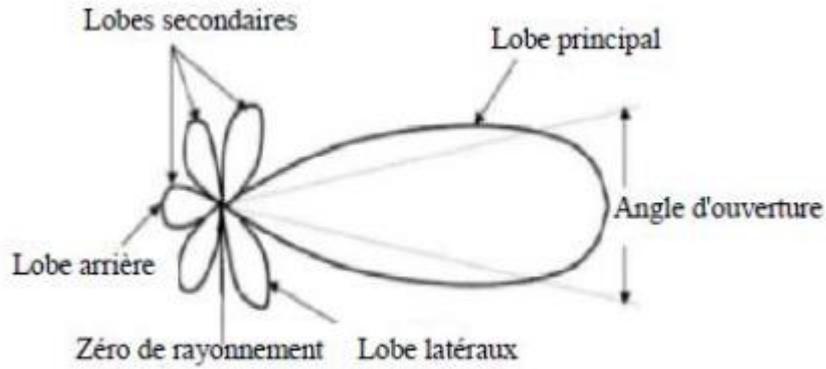


Figure II.4 : Diagramme de rayonnement classique d'une antenne directive [23]

II.3.7 Impédance d'entrée de l'antenne

Une antenne alimentée par une ligne de transmission d'impédance caractéristique, l'impédance d'antenne peut être considérée comme une impédance complexe :

$$Z_a = R_a + jX_a \quad \text{II.9}$$

L'impédance d'entrée de l'antenne est clairement influencée par sa forme, mais elle est également couplée à la ligne d'autres façons.

L'impédance d'entrée de l'antenne doit être la plus proche possible de 50Ω dans sa partie réelle, et nulle dans sa partie imaginaire. Elle dépend du type d'alimentation [17].

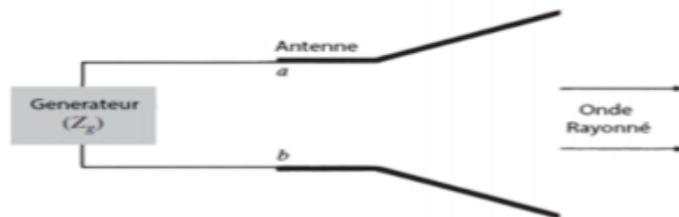


Figure II.5 : Antenne en mode d'émission [10]

II.3.8 Le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio)

L'adaptation de l'antenne est souvent décrite par le rapport d'onde stationnaire (ROS) ou le rapport d'onde stationnaire de tension (ROSV) dans les notes d'application sur les antennes. En cas de désadaptation, la réflexion d'une partie de l'onde incidente et l'addition avec l'onde incidente entraînent l'apparition d'une onde stationnaire dans la ligne reliant l'antenne à la source (ou au récepteur) [25].

Le VSWR est donné par :

$$VSWR = \frac{1+|S_{11}|}{1-|S_{11}|} \quad \text{II.10}$$

$$\text{Avec } S_{11} = \frac{V_r}{V_i} = \frac{Z_{an}-Z_c}{Z_{an}+Z_c} \quad \text{II.11}$$

V_r : Amplitude de l'onde réfléchie.

V_i : Amplitude de l'onde incidente.

Une bonne adaptation veut dire une VSWR minimal, une impédance de 50 Ω à 75 Ω pour avoir une bonne conception d'antenne.

II.4 Simulation sous CST Microwave Studio

Dans ce chapitre nous allons concevoir avec le logiciel CST Microwave une antenne patch rectangulaire. Nous allons tout d'abord donner un bref aperçu sur le logiciel de conception CST Microwave studio, puis nous allons détailler les étapes de simulations pour arriver à notre objectif principal.

II.4.1 Description du Logiciel de Simulation CST

Développé pendant de nombreuses années pour fournir les solutions de calcul les plus précises et les plus efficaces pour la conception électromagnétique, le logiciel de simulation électromagnétique CST STUDIO SUITE a été lancé en 1992.

Un programme de simulation électromagnétique tridimensionnelle appelé CST Microwave Studio est basé sur la technique d'intégration finie (FIT) pour résoudre les équations de Maxwell. Cette approche numérique donne une discrétisation spatiale qui permet la description directe en 3D de chaque composant des systèmes décrits. Par conséquent, elle peut être utilisée pour un large éventail de questions électromagnétiques, de la statique aux micro-ondes dans l'analyse temporelle et fréquentielle. En outre, CST discrétise la forme intégrale des équations de Maxwell plutôt que leurs versions différentielles, ce qui constitue l'un de ses principaux avantages par rapport à d'autres logiciels de modélisation électromagnétique. Le paquet CST DESIGN STUDIO inclut CST Microwave Studio, qui fournit une variété de solutions basées sur l'application et le problème. [15]

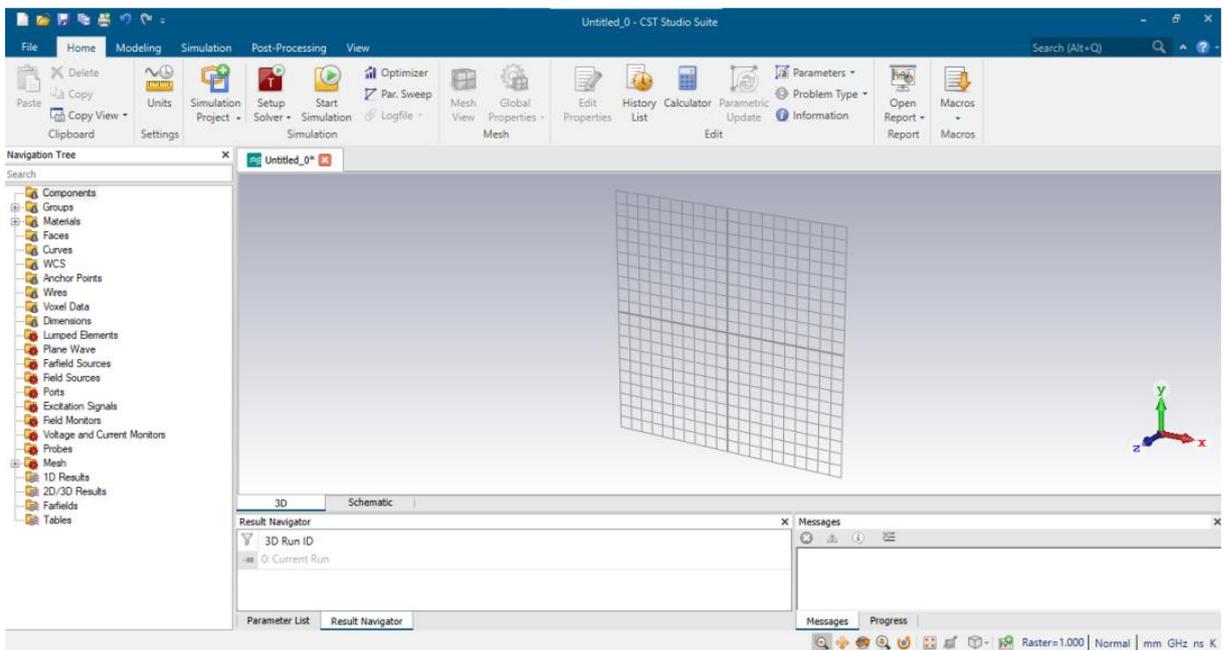


Figure II.6 : fenêtre principale de logiciel de simulation CST microwave.

II.4.2 Type d'antennes utilisé

Dans nos applications, nous avons utilisé une antenne ULB micro-ruban conçue, au laboratoire de Télécommunications de Tlemcen LTT, par N. SELAIDJI [26].

Dans ce qui suit, nous allons montrer les résultats de simulation obtenus d'un point de vue, coefficient de réflexion, gain et impédance d'entrée ainsi que l'antenne réalisée et une comparaison entre les coefficients de réflexion simulé et mesuré. Mais tout d'abord nous allons présenter les étapes de conception de cette antenne rectangulaire utilisée.

II.4.3. Conception de l'antenne

La figure II.7 illustre la géométrie de l'antenne micro-ruban étudiée. L'antenne est un patch rectangulaire qui a subi une série de modifications pour surmonter la restriction de la largeur de bande basée sur l'origine.

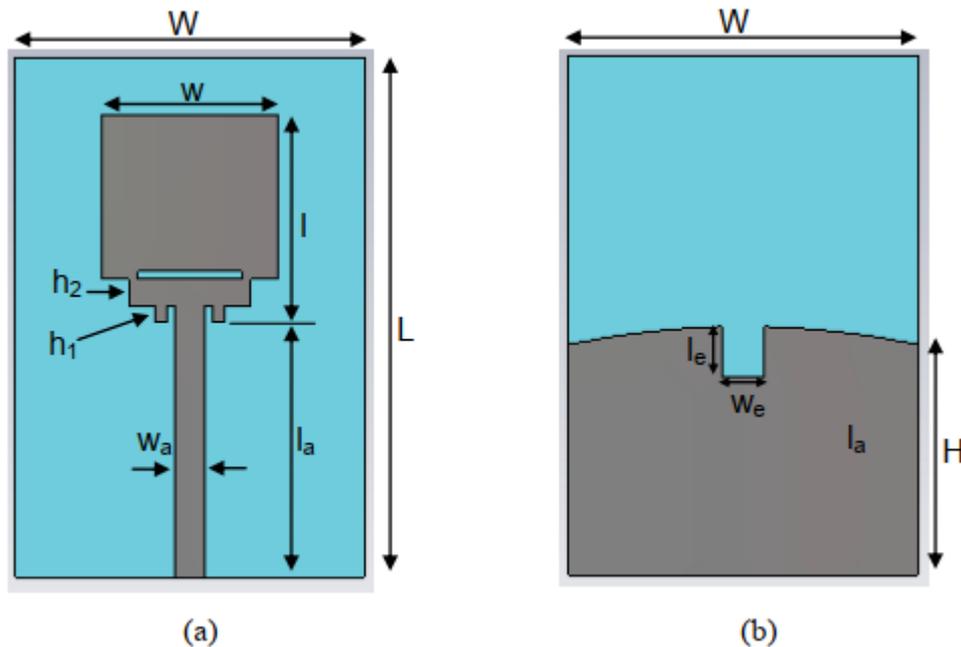


Figure II.7 : Géométrie de la structure (a) Face supérieure (b) Face inférieure [26].

Le patch ($l=12\text{mm}$, $w=10\text{mm}$) est réalisé sur un substrat de type FR-4 (permittivité diélectrique $\epsilon_r = 3.34$, épaisseur $h=0.794\text{mm}$) et de dimensions $L=30\text{mm}$ et $W=25\text{mm}$. Une fente rectangulaire est insérée sur l'élément rayonnant ($0.5 \times 6 \text{ mm}^2$) assurant sa miniaturisation. Ce dernier est alimenté par ligne micro-ruban de largeur w_a égale à 1.8 mm afin de l'adapter à une alimentation à 50 Ohm .

Une progression en marches d'escaliers entre l'alimentation et l'antenne permet une meilleure adaptation et l'apparition de nouvelles résonances. La largeur des marches est de 1.5mm, leurs hauteurs respectives sont $h_1 = 1\text{mm}$ et $h_2 = 1.5\text{mm}$. La longueur de la ligne d'alimentation, ainsi que la largeur des encoches à l'entrée du patch ont été optimisées grâce au logiciel de simulation CST, afin d'obtenir une meilleure adaptation.

Un plan de masse partiel, semi-circulaire, auquel on a inséré une encoche, est imprimé sur la surface inférieure du substrat. Sa hauteur H est de 13.2mm, il est de même largeur que le substrat (25mm). La courbure du plan de masse est obtenue par un arc dont le rayon R est de 48.2 mm. L'encoche a pour dimensions $l_e = 3\text{mm}$ et $w_e = 2.4\text{mm}$.

II.4.4 résultats de simulation

La figure II.8 montre le coefficient de réflexion de l'antenne utilisée pour un plan de masse avec et sans encoche (rouge et vert), en fonction de la fréquence. Cette dernière montre le coefficient de réflexion de l'antenne utilisée pour un plan de masse avec et sans encoche (en rouge et en vert), en fonction de la fréquence. Ce résultat démontre l'existence de résonances aux fréquences de 4,03 GHz, 7,58 GHz et 10,15 GHz avec des valeurs de S_{11} qui sont respectivement de -31 dB, -29,3 dB et -35 dB. [26]

La bande passante en impédance, mesurée à -10 dB, s'étale de 3.55 GHz à 11.17 GHz, soit une largeur de 7.62 GHz.

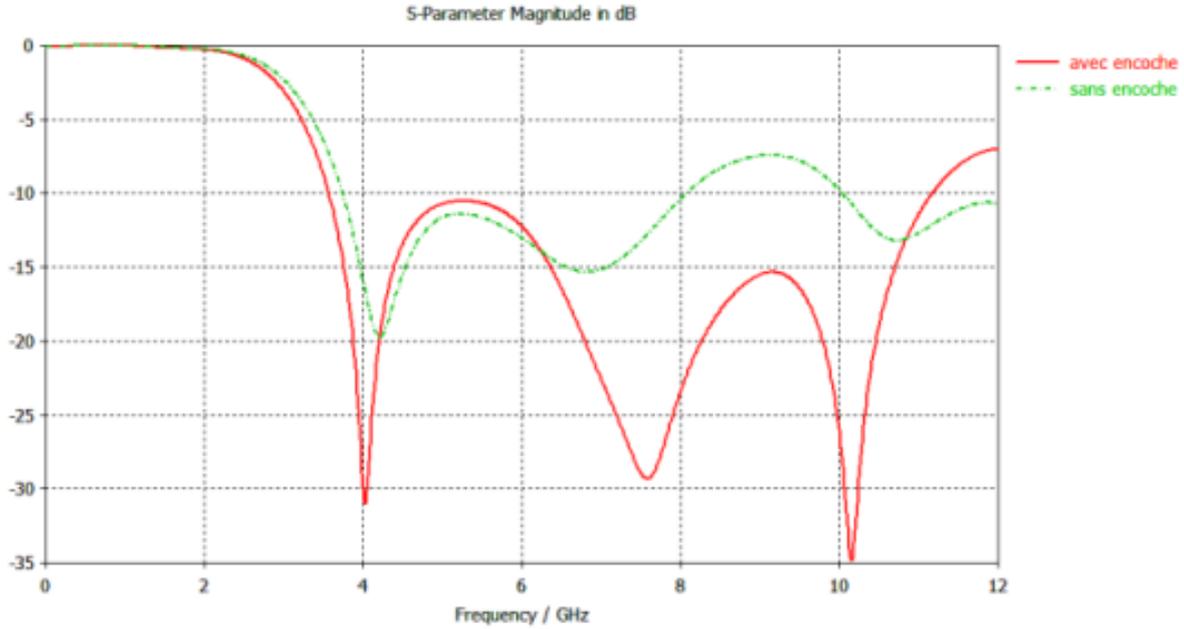


Figure II.8 : Coefficient de réflexion simulé S11 en fonction de la fréquence pour un plan de masse avec et sans encoche [26]

La figure II.9 montre la fluctuation de l'impédance d'entrée de l'antenne en fonction de la fréquence. Sur l'ensemble de la largeur de bande (entre 80 Ohm et 38 Ohm), nous avons une assez bonne adaptation d'impédance avec une variation d'environ 50 Ohm

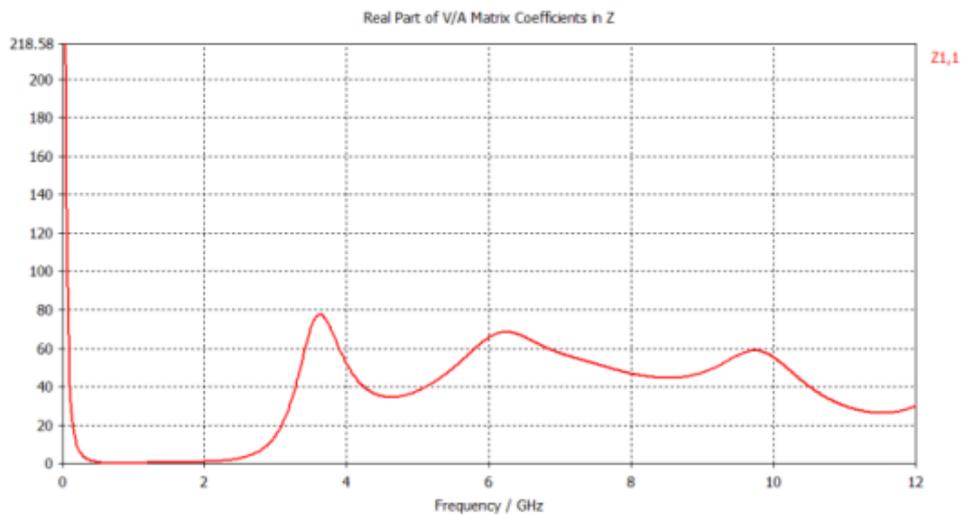


Figure II.9 : Variation de l'impédance d'entrée de l'antenne en fonction de la fréquence [26].

La figure II.10 présente la variation du Gain en fonction de la fréquence de l'antenne utilisé. Le Gain se trouve entre 2 dBi et 4.1dBi sur la bande de fréquence qui nous intéresse [3.1-10.6 GHz].

Cette limitation du gain pourrait être améliorée par une éventuelle mise en réseau de l'antenne.

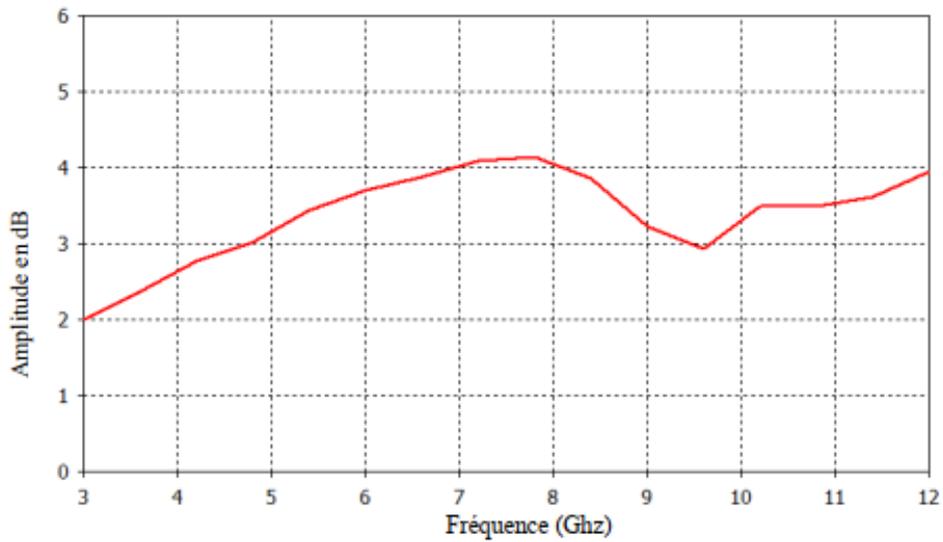


Figure II.10 : Variation du gain de l'antenne en fonction de la fréquence [26]

La figure qui suit nous montre un diagramme de rayonnement 3D de l'antenne microruban de Mme Seladji [26] à la fréquence 6 GHz.

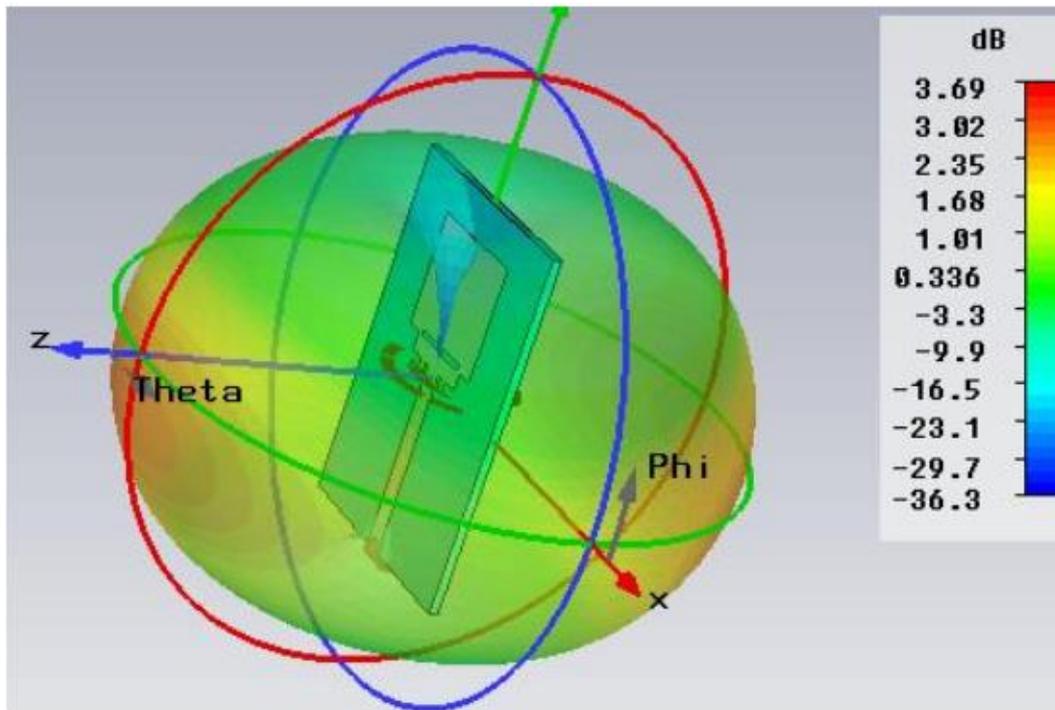


Figure II.11 : Diagramme de rayonnement 3D de l'antenne [26].

La figure II.12 nous permet de vérifier la précision de nos simulations en comparant les coefficients de réflexion (S_{11}) simulés et observés de l'antenne micro-ruban.

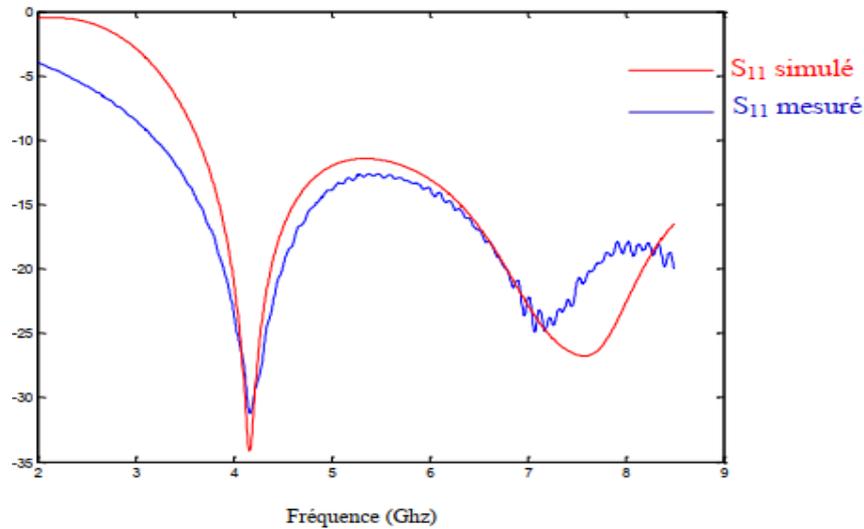


Figure II.12 : Comparaison des coefficients de réflexion (S_{11}) simulé et mesuré [26]

II.5 Différentes techniques d'imagerie radar pour la détection d'objets

Deux catégories de méthodes de traitement des signaux sont présentées, chacune étant utilisée pour réduire les interférences et augmenter la résolution dans l'imagerie radar à micro-ondes.

Les techniques indépendantes des données (DI) s'appuient sur une large bande de formation de faisceaux pour concentrer la réponse à un endroit particulier et supposent un modèle de propagation du signal d'entrée indépendant des données.

Ces derniers, tel que le DAS (Delay-And-Sum) utilisant une configuration monostatique [38] ou multistatique [39] et MIST (Microwave Imaging Space-Time) [40] sont deux exemples d'algorithmes DI utilisés en imagerie micro-ondes pour la détection du cancer du sein. La résolution de ces algorithmes et leur capacité à supprimer les interférences sont toutefois médiocres. Lorsque le signal d'intérêt est bien compris, les algorithmes de données adaptatives (AD) sont considérés comme plus efficaces car ils peuvent reconstruire des images à haute résolution. Cependant, dans les applications pratiques d'imagerie par micro-ondes, cela représente un défi. Les techniques de vision à travers les murs et de détection précoce du cancer du sein MAMI [41-42], RCB [43], TR-MUSIC [44-45] et DAS sont des exemples de méthodes d'imagerie micro-ondes adaptatives prometteuses.

Voici le principe de quelques algorithmes couramment utilisés en imagerie micro-onde radar.

II.5.1 Algorithme RCB

Guo et al [27] ont mis en œuvre l'algorithme adaptatif RCB pour le diagnostic précoce du cancer du sein. Les signaux sont pondérés de manière égale et alignés avec précision avant l'application de l'algorithme RCB. Il génère un vecteur de direction complexe qui réduit les effets indésirables des interférences et du bruit sur le signal. Cette technique est créée pour traiter les impacts des canaux de propagation qui ne sont que partiellement compris ainsi que d'autres artefacts tels que les disparités de caractéristiques des antennes, le couplage mutuel, etc. Voici comment elle est expliquée :

$$\min_w \{w^T R_w\} \text{ Tel que } w^T a_0 = 1 \quad \text{II.12}$$

Où $W = [w_1, w_2, \dots, w_M]^T$ est un vecteur pondéré pour M canaux multistatistiques, a_0 le vecteur de direction correspondant au signal d'intérêt, et R la matrice de covariance d'échantillon.

$$I(r) = \sum_{n=1}^{T_{win}} \sum_{i=1}^M W_i \cdot Si(r, n - \Delta_i(r)) \quad \text{II.13}$$

Si (r, n) représente le i^{eme} signal diffusé dans le temps, alors n est un indice d'échantillon avec le délai discret du i^{eme} canal, comme suit :

$$\Delta_i(r) = \frac{d_i(r)}{vT_s} \quad \text{II.14}$$

$$\text{Où } d_i(r) = |r - r_i^t| + |r - r_i^r| \quad \text{II.15}$$

Décrit la i^{eme} longueur du parcours du canal. r_i^t et r_i^r sont les positions des antennes d'émission et de réception ; v est la vitesse moyenne de propagation du signal dans le tissu mammaire, T_s est l'intervalle d'échantillonnage et T_{win} est la taille de la fenêtre des échantillons temporels. Le facteur de pondération W_n est utilisé pour tenir compte de l'atténuation du signal due à sa transmission dans le tissu du sein.

II.5.2 Algorithme MAMI

Pour améliorer ses performances, l'algorithme MAMI utilise l'algorithme RCB en deux phases. Voici une représentation des signaux estimés lors de la première phase :

$$S(n) = a_s s(n) + e_s(n), n = 1, \dots, N \quad \text{II.16}$$

Où $S(n)$ est une représentation temporelle des signaux estimés à partir de la première étape, a_s désigne le vecteur de direction pour la deuxième étape, $e_s(n)$ est l'erreur d'estimation,

et $S_n(n)$ est le signal désiré.

Le vecteur poids W_s pour la deuxième étape de MAMI peut se définir comme suit :

$$W_s = R_s^{-1} a_s / a_s^T R_s^{-1} a_s \quad \text{II.17}$$

Ainsi, l'énergie au point focal $r = [x, y, z]$ dans l'espace imagé peut être calculée comme suit :

$$I(r) = \sum_{n=1}^{Twin} \sum_{i=1}^M w_{si} \cdot S(r, n) \quad \text{II.18}$$

Où $\hat{S}_i(r, n)$ est une estimation du signal $s_i(n)$ dans l'équation (II-16) pour le calcul de l'énergie à l'emplacement r .

4. La contribution de n acquisitions (positions d'antenne) est calculé se façon d'écrite précédemment, puis additionnée. Enfin on associe au point focal 4 dans l'image final la valeur d'intensité $I(r \rightarrow)$ elle est donnée par la formule suivante :

$$I(r \rightarrow) = [\sum_n B_n(\tau_n(r \rightarrow))]^4 \quad \text{II.19}$$

⁴Point focal : est la position vers laquelle l'algorithme de formation de faisceaux concentre l'énergie du signal reçu. C'est le point dans la scène qui est le plus nettement mis en évidence et qui bénéficie de la plus grande résolution.

Dans le contexte de l'algorithme DAS (Delay And Sum) mentionné précédemment, le point focal de l'image est la position spécifique dans la scène où l'algorithme cherche à concentrer l'énergie du signal radar.

II.5.3 Algorithm TR-MUSIC

L'algorithme TR-MUSIC (Time-Reversal Multiple Signal Classification) est un algorithme utilisé en imagerie micro-onde radar pour la détection et la localisation de cibles. Son principe repose sur la technique du "retour dans le temps" (time-reversal) et la méthode de classification de signaux multiples (MUSIC).

Ensuite, l'algorithme TR-MUSIC applique la méthode de classification de signaux multiples (MUSIC) pour estimer les angles d'arrivée des signaux réfléchis par les cibles. Cette technique permet de détecter et de localiser avec précision les cibles présentes dans la scène observée.

L'avantage de l'algorithme TR-MUSIC réside dans sa capacité à fournir une résolution élevée et une bonne précision de localisation des cibles, même dans des environnements complexes avec des interférences et du bruit. Il peut être utilisé dans diverses applications d'imagerie micro-onde radar, telles que la détection d'objets cachés ou la surveillance de zones à travers des obstacles.

Les étapes principales de l'algorithme TR-MUSIC :

- Acquisition des données : Les signaux micro-ondes sont émis et reçus par un réseau d'antennes. Les données reçues sont enregistrées pour chaque antenne.

- Formation de faisceaux : Les données enregistrées sont traitées pour former des faisceaux spatiaux en appliquant des techniques de formation de faisceaux telles que le filtrage adaptatif ou la beamforming⁵.

- Prétraitement des données : Les données prétraitées subissent généralement des étapes de filtrage, de compensation de l'écho et de correction du mouvement pour améliorer la qualité des signaux.

- Traitement du signal : L'algorithme TR-MUSIC repose sur la décomposition de la matrice de covariance des signaux en sous-espaces de signal et de bruit. Cela peut être réalisé

⁵La beamforming, également appelée formation de faisceaux, est une technique utilisée en traitement du signal et en imagerie pour améliorer la directionnalité des signaux. L'objectif de la beamforming est de concentrer l'énergie du signal dans une direction spécifique, appelée faisceau, tout en réduisant l'énergie dans les autres directions.

En imagerie micro-onde radar, la beamforming est utilisée pour former des faisceaux d'émission et de réception afin de détecter et de localiser des cibles.

en utilisant des techniques telles que l'analyse en composantes principales (PCA) ou la décomposition en valeurs singulières (SVD).

- Estimation de la direction d'arrivée (DOA) : À partir des sous-espaces de signal et de bruit, les directions d'arrivée des signaux réfléchis par les cibles sont estimées. Cela permet de localiser les cibles dans l'espace.

- Recherche des pics : Les directions d'arrivée estimées sont examinées pour trouver les pics correspondant aux cibles détectées. Les pics indiquent les angles d'incidence des signaux réfléchis.

- Localisation des cibles : En utilisant les informations sur les directions d'arrivée des signaux réfléchis, les cibles peuvent être localisées dans l'espace en prenant en compte la géométrie du système de radar.

Il convient de noter que l'expression générale de l'algorithme TR-MUSIC peut varier en fonction des détails de mise en œuvre spécifiques et des variantes utilisées dans la littérature scientifique.

II.5.4 Algorithme de rétroprojection

L'algorithme de rétroprojection est une méthode couramment utilisée en imagerie micro-onde radar pour reconstruire des images à partir de données d'écho capturées par un système radar. Son principe repose sur la transformation des données en une image en utilisant des techniques de rétroprojection. Il fait aussi calculer l'amplitude du signal réfléchi par chaque point de l'espace cible en utilisant l'information de phase et d'amplitude des données d'écho. Il effectue ensuite une transformation inverse en projetant les amplitudes calculées sur une image 2D ou 3D.

Mathématiquement, l'expression générale de l'algorithme de rétroprojection peut être représentée comme suit :

Où :

$$I(x_i, y_i) = \sum_n S[t_i(n), n] \tag{II.20}$$

$I(x_i, y_i)$ est l'intensité de réflexion au pixel (x_i, y_i) de la scène, Σ représente la sommation sur toutes les antennes,

$S(t_i(n))$ est la valeur du signal à l'instant $t_i(n)$, qui correspond au temps de parcours de l'onde de l'émetteur à la cible puis de la cible au récepteur.

Cette expression générale décrit le processus de rétroprojection dans lequel les signaux reçus sur chaque antenne sont accumulés et sommés pour obtenir l'intensité de réflexion au pixel correspondant.

À courte distance (par rapport à la taille de l'ouverture du système), l'algorithme conventionnel de rétroprojection produit une représentation précise de la scène. Cependant, sur de grandes distances ou lorsqu'il y a de nombreuses cibles, l'image contient plusieurs artefacts. Des algorithmes modifiés de rétroprojection ont été créés pour résoudre ce problème [41-42].

II.5.5 Algorithme DAS (Delay and Sum)

L'algorithme DAS (Delay And Sum) est une méthode largement utilisée en imagerie micro-onde radar pour la formation de faisceaux et la reconstruction d'images. Son principe repose sur le retard et la sommation des signaux reçus par un réseau d'antennes afin de focaliser l'énergie sur une position spécifique.

Elle consiste tout d'abord à calculer le retard approprié pour chaque signal reçu par chaque antenne, en fonction de la distance entre l'antenne et le point d'intérêt dans la scène. Ce retard est nécessaire pour aligner les signaux en phase et les combiner de manière constructive.

Ensuite, les signaux retardés sont sommés pour chaque point de l'image reconstruite. Cette sommation des signaux permet de focaliser l'énergie sur la position correspondant au point d'intérêt, améliorant ainsi la résolution et la qualité de l'image.

En fait, la technique **confocale**⁶ monostatique à micro-ondes est la base du DAS [30-31]. Dans cette méthode, la cible d'imagerie est éclairée par un signal ULB micro-ondes, et l'énergie micro-ondes que les cibles potentielles peuvent diffuser est enregistrée par la même antenne émettrice.

⁶La micro-onde confocale monostatique : est une technique d'imagerie qui utilise des ondes électromagnétiques micro-ondes pour former une image en trois dimensions d'un objet ou d'une scène. Dans cette technique, une seule antenne est utilisée à la fois pour émettre et recevoir les signaux micro-ondes.

Le principe de l'algorithme DAS est le suivant :

1. Calcul de la distance entre le point focal et chaque $n^{\text{ème}}$ position de l'antenne.
2. Calcul du retard correspondant, c.-à-d. le temps nécessaire aller-retour de l'onde pour se déplacer de l'antenne vers le point focal et il est donné par la formule suivante dans

Le cas d'un milieu homogène :

$$\tau_n(\vec{r}) = \frac{2|\vec{r} - \vec{r}_n|}{v} \quad \text{II.21}$$

\vec{r} et \vec{r}_n sont les positions du point focal et de l'antenne, respectivement, et v est la Vitesse de propagation du signal dans la structure sous inspection.

3. Chaque position d'antenne est une contribution de pixel. Elle est donnée par la valeur absolue du signal associé à cette position et appelée $B_n(t)\tau_n$ à l'instant

II.6 Détection d'objets

Actuellement, dans la détection et la reconstruction d'objets plusieurs méthodes et techniques sont utilisées. Dans cette section, nous présentons la méthode d'imagerie pour détecter une cible métallique (PEC) dans l'espace (vide) grâce à l'application de l'imagerie micro-onde radar et utilisant l'algorithme confocale de rétroprojection qui est déjà expliqué précédemment.

En outre, sur certains sites d'antenne, nous avons comparé les coefficients de réflexion des simulations avec et sans objet. Après plusieurs essais nous avons choisi la sous-bande 3,5 à 5,5 GHz, nous avons constaté que les coefficients de réflexion des deux simulations correspondent aux emplacements où l'antenne est éloignée de l'axe de l'objet (figure II.14).

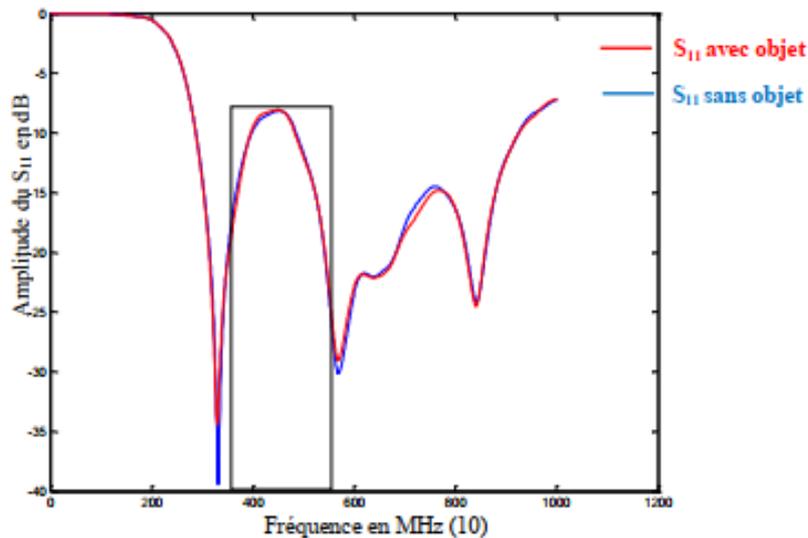


Figure II.13 : Comparaison de deux S_{11} avec et sans objets - Antenne éloignée de la position de l'objet cible.

En revanche, pour les positions où l'antenne se trouve sur l'axe de l'objet cible, les coefficients de réflexion diffèrent entre les deux simulations, avec et sans objets, dans la même sous-bande de 3,5 à 5,5 GHz, comme illustré dans la figure II.15.

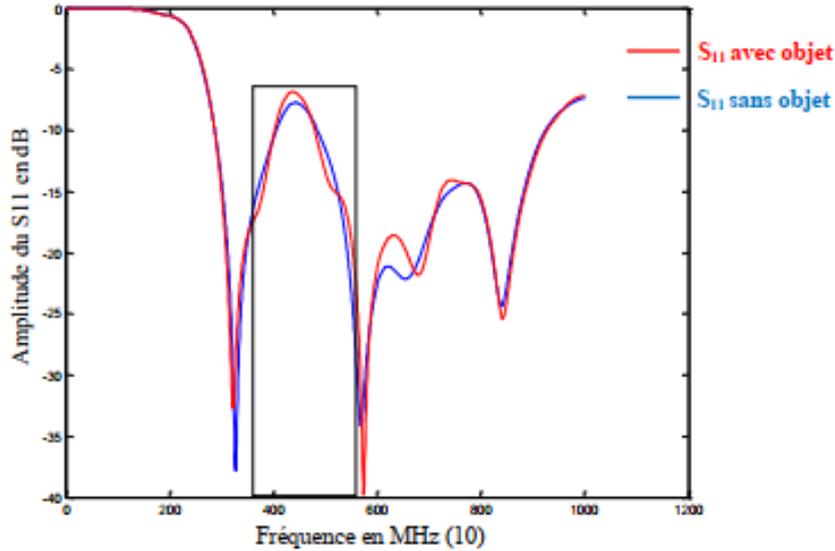


Figure II.14: comparaison entre deux signaux de réflexion avec et sans objet-Antenne proche de la position de l'objet.

C'est cette différence qui sera exploitée pour reconstruire l'image de l'objet cible à partir des données récupérées des simulations avec et sans objets, par l'implémentation de la technique d'imagerie micro-onde confocale de rétroprojection, introduite dans [36].

II.6.1 Méthodologie utilisée

Dans cette section, nous allons démontrer la performance de BP en simulant des signaux rétrodiffusés reçus de la cible conçue sous le logiciel CST [32]. Tout d'abord, une simulation avec une cible parallélépipède. L'introduction d'un algorithme, qui consiste à post-traiter les images résultantes obtenues est également exploré. Ce post-traitement permet d'obtenir une image beaucoup plus nette avec moins d'artéfacts.

II.6.2 Acquisition de données

Les données utilisées pour notre méthode d'imagerie micro-ondes ULB sont obtenues à partir d'un modèle de cible créé parallélépipède dans le logiciel CST. Nous utilisons une antenne monopôle pour transmettre et recevoir l'impulsion ULB (comme illustré dans la figure II.16).

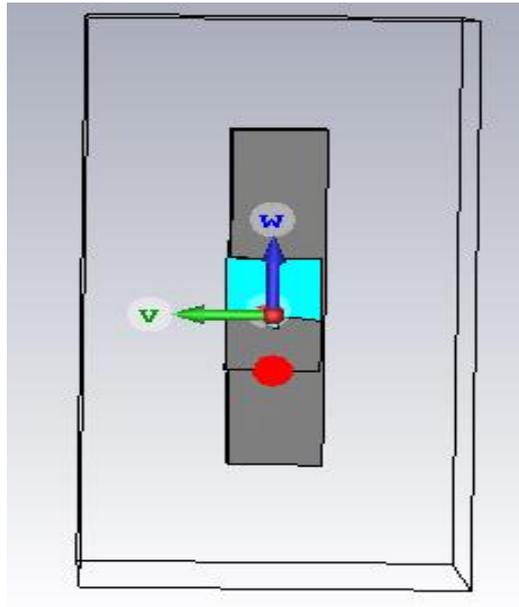


Figure II.15 : Modèle d'une cible verticale et d'une antenne monopole sous le logiciel CST
(Vue de face).

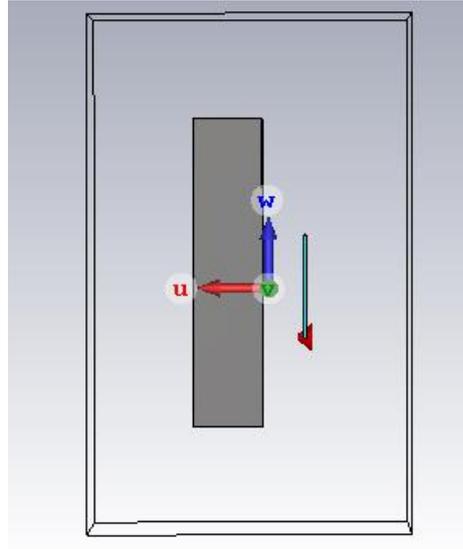


Figure II.16 : Modèle d'une cible verticale et d'une antenne monopole sous le logiciel CST
(Vue de coté).

Les dimensions parallélépipède mince sont répertoriées dans le tableau II.1. Les propriétés diélectriques associées sont fournies dans le tableau II.2

Tableau II.1 DIMENSIONS DES PARTIES DU MODELE DU CIBLE EN METAL(PEC)

Partie du modèle	Dimension (mm)
Longueur de la cible	90
Largeur de la cible	20

Tableau II.2 PROPRIETES DIELECTRIQUES DES PARTIES DU MODELE DU CIBLE EN METAL (PEC) [33]

Matériau	Conductivité σ (S/M)	Permittivité ϵ_r
Métal	$9,93 \times 10^6$	Infinie

Ensuite, nous utilisons la même antenne microruban citée dans la section précédente pour détecter la même cible utilisée mais d'une distance lointaine qui est figuré dans les figure suivantes :

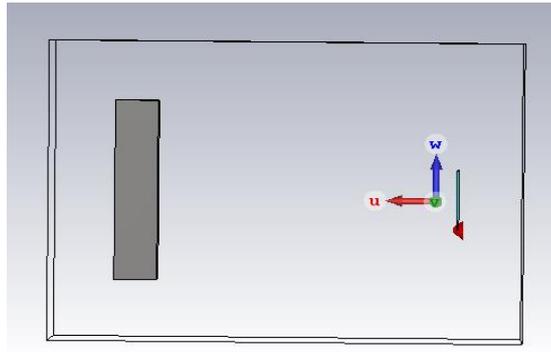


Figure II.17 : Modèle d'une cible verticale lointaine et d'une antenne monopole sous le logiciel CST (Vue de coté).

II.6.3 Antenne utilisée pour la collecte des données

Nous utilisons la même antenne micro-ruban citée dans la section II.4.2. (Figure II.7) pour notre simulation puisqu'elle présente de bonnes performances en termes de coefficient de réflexion. Elle est placée très proche de la surface de la cible verticale de la section II.6.2).

Après, on déplace cette antenne monopôle de manière séquentielle pour former un réseau plan. À chaque position prédéfinie, elle envoie une impulsion ULB dans le vide. Le signal rétrodiffusé est enregistré par la même antenne dans une configuration radar monostatique (voir Figure II.15). Les signaux enregistrés du réseau synthétique sont exportés vers "Matlab" pour être traités et créer une image.

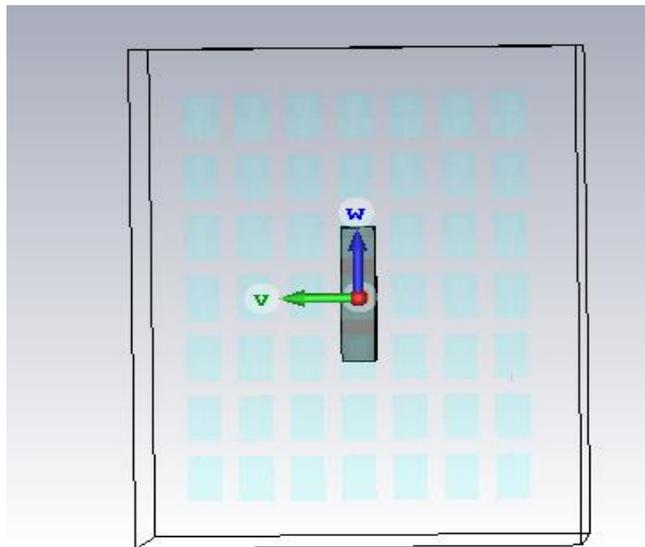


Figure II.18 : Un réseau synthétique plan formé par les différentes positions de l'antenne face à la cible.

La forme d'onde monocyclique gaussienne ULB qui a servi de signal d'excitation normalisé pour l'antenne utilisée dans les simulations est représentée sur la figure II.20. La fréquence utilisée se situe dans la plage de 3.5 à 5.5 GHz.

La Figure II.20 présente le signal d'excitation ainsi que la forme d'onde réfléchi dans l'une des positions de l'antenne. Le signal rétrodiffusé est constitué des réflexions provenant de la cible et de l'antenne elle-même.

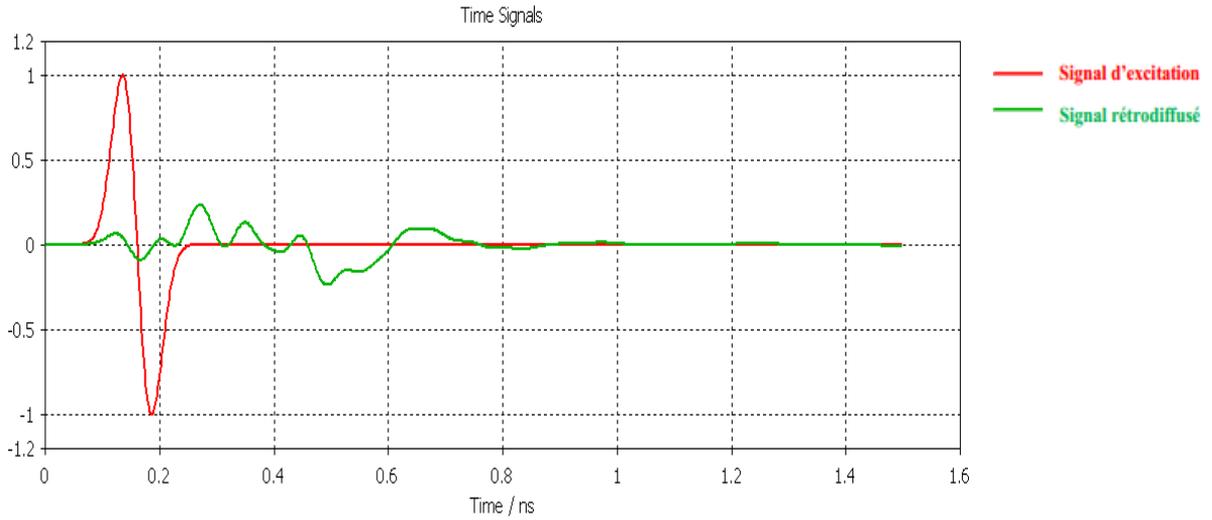


Figure II.19 : Excitation (rouge) et signal rétrodiffusé enregistré (vert) à une position de l'antenne.

II.7 Détection d'objets incliné

Dans cette section, nous présentons méthode d'imagerie pour détecter cible parallélépipède grâce à l'application de l'imagerie micro-onde système radar monostatique avec un balayage de 5×5 .

L'antenne utilisée est miniature de forme rectangulaire satisfait les caractéristiques ULB en termes de bande passante et de coefficient de réflexion(S_{11}) [26]. Enfin, nous avons implémenté l'algorithme d'imagerie confocale micro-onde de rétroprojection, qui est déjà expliqué précédemment. Dans cette application nous avons réussi à détecter et localiser une cible parallélépipède incliné de la même propriété et dimension que la cible dans la section II.6.2

Tout d'abord, sous le logiciel CST MWS, nous avons réalisé (02) simulations, une simulation sans la présence de la cible et l'autre simulation en présence de la cible. Dans chacune d'elles nous avons déplacé l'antenne suivant un balayage de 5×5 c.à.d 25 positions pour balayer tout l'espace en face la cible. Dans la première simulation sans cible l'objectif étant d'avoir un signal S11 représentant l'environnement que nous devons soustraire avec la deuxième simulation, pour avoir la position et la dimension de la cible parallélépipède incliné.

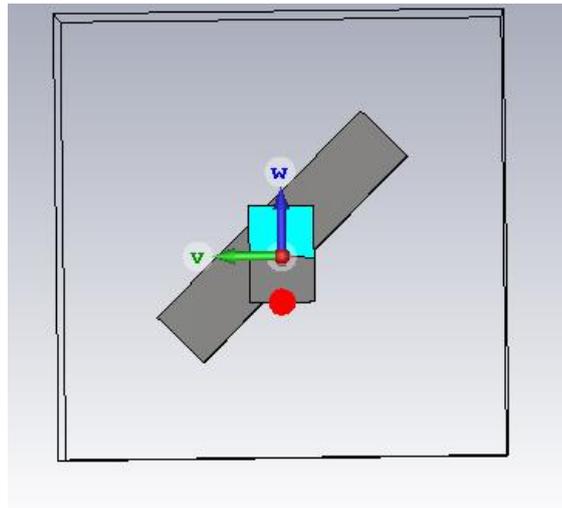


Figure II.20 : Modèle sous CST représentant une cible proche inclinée.

Pour nos simulations, nous utilisons la même antenne microruban citée dans la section II.4.2. (Figure II.7) puisqu'elle présente de bonnes performances en termes de coefficient de réflexion. Elle est placée soit directement soit à faible distance de la surface de la cible.

Ensuite, cette antenne monopôle est déplacée de façon séquentielle afin de former un réseau circulaire synthétique et, à chaque position prédéfinie, elle transmet une impulsion UWB dans la cible. Le signal rétrodiffusé est enregistré par la même antenne dans une configuration radar monostatique, Les signaux enregistrés du réseau synthétique sont exportés dans "Matlab" pour traitement et création de l'image.

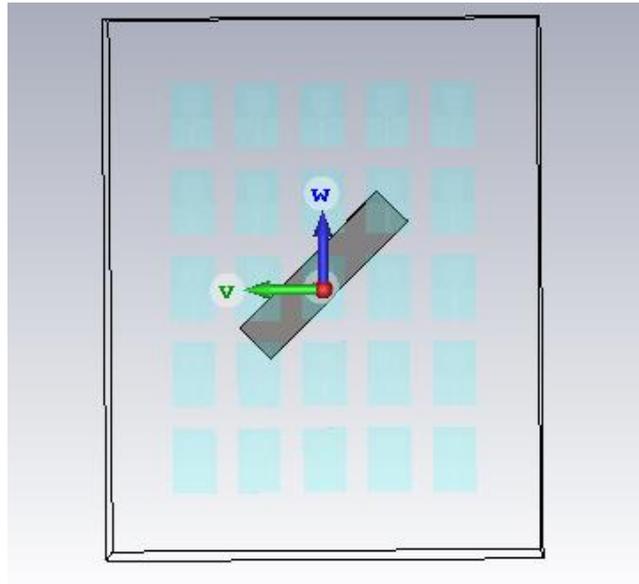


Figure II.21 : Un réseau synthétique plan formé par les différentes positions de l'antenne face à la cible.

Après, suivant les mêmes étapes de la simulation précédentes de la cible verticale. Nous avons éloigné la cible de l'antenne qui est figuré dans la figure suivante. (Figure II.23)

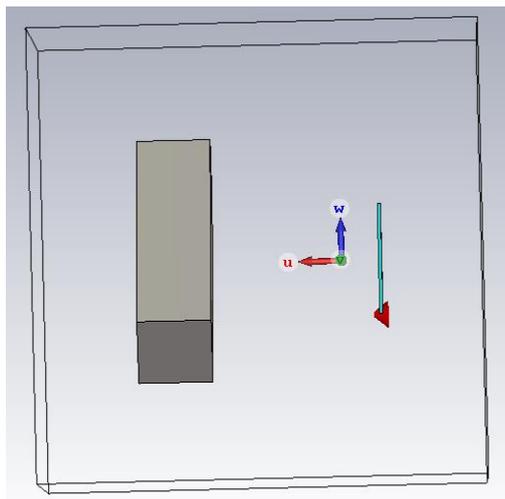


Figure II.22 : Modèle d'une cible verticale lointaine et d'une antenne monopole sous le logiciel CST (Vue de coté).

II.8 Conclusion

Ce chapitre a été consacré aux différents modèles de simulations telles que cible parallélépipède. Tout d'abord nous avons présenté une généralité sur les antennes patch tel que l'antenne patch microruban que vous avez utilisé dans nos simulations. Après nous avons commencé par valider notre utilisation du logiciel de conception électromagnétique CST. A la fin nous avons simulé plusieurs essais pour la détection des cibles de différentes distances et formes, par conséquent, dans le chapitre suivant nous allons faire le traitement d'image a partir des résultats obtenu dans le but de reconstruire des images 2D.

CHAPITRE III : Résultats des simulations

III.1 Introduction

Ce chapitre se concentre sur l'application des techniques d'imagerie radar micro-ondes pour la détection d'objets. Dans un premier temps, nous mettrons en évidence les caractéristiques spécifiques des techniques radars et leur utilisation dans la localisation et la détection. Ensuite, nous présenterons les résultats de simulations sous la forme d'images en deux dimensions.

III.2 Implémentation de l'algorithme confocale de rétroprojection

Nous décrivons dans cette section la fonctionnalité de l'implémentation de la méthode confocale "Back Projection" (BP) pour l'imagerie confocale microonde. Le système radar monostatique utilisé dans notre étude, est constitué d'une antenne située à différents endroits XY qui transmet des ondes micro-ondes sur une large bande de fréquences.

Deux fichiers comprennent deux ensembles de signaux (S_{11}) provenant de chaque point XY de cette antenne, dans le cas avec et sans cible. Nos simulations utilisent une grille de 5 par 5 avec 25 emplacements pour la cible incliné, et 7 par 7 avec 49 emplacements pour la cible verticale selon différentes positions X et Y. $E_{XY}(f)$ et $E_{cXY}(f)$ représentent toutes les fréquences et tous les signaux récupérés dans l'environnement sans l'objet cible et dans l'environnement avec l'objet cible, respectivement. Nous avons développé un diagramme illustrant les étapes de la technique confocale pour convertir ces données rétrodiffusées en une image bidimensionnelle traçant le contour de l'objet dans le vide.

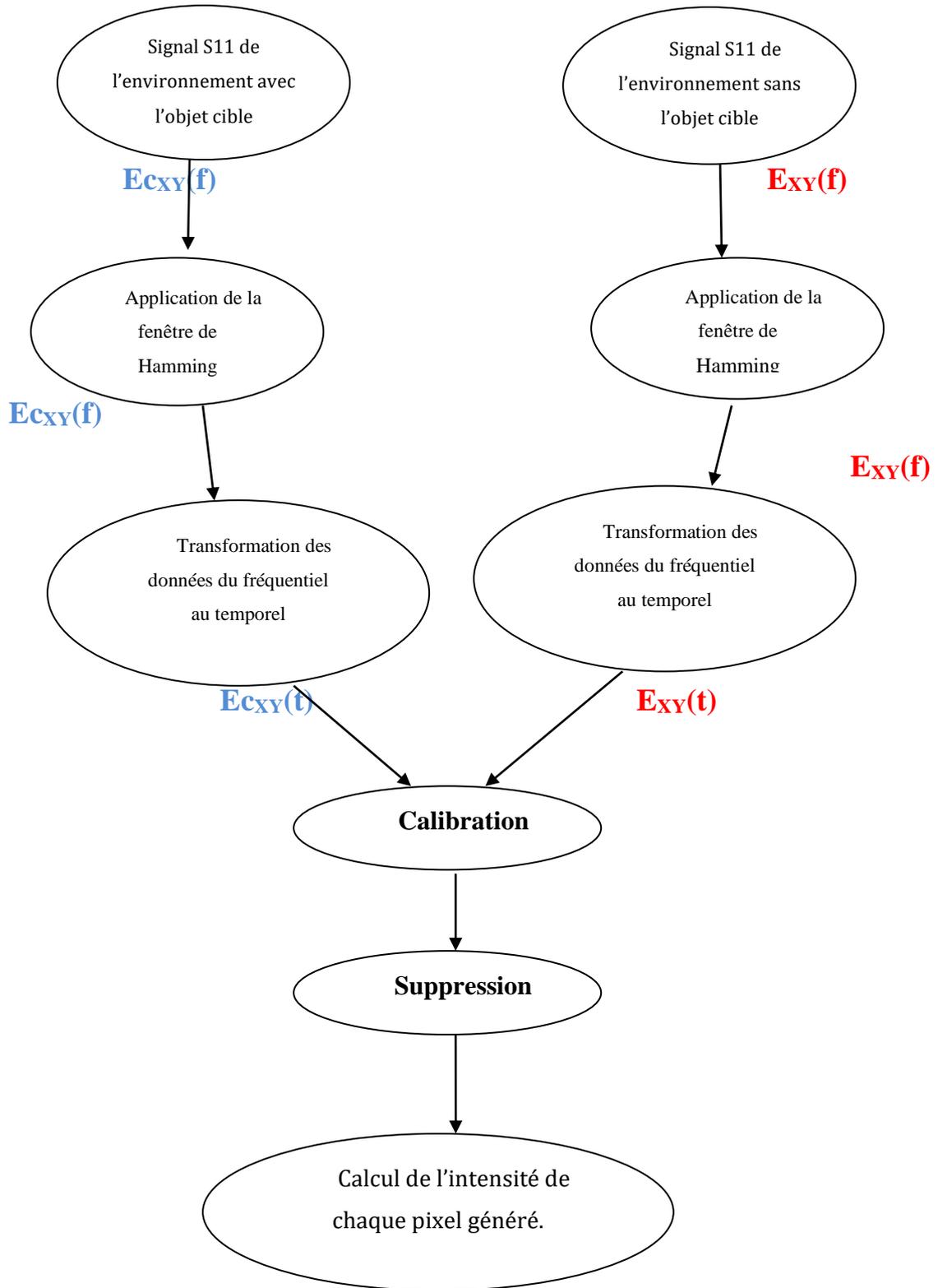


Figure III.1 : Diagramme représentant les étapes de notre implémentation de l'algorithme confocale.

III.2.1 Fenêtre de Hamming

Afin de minimiser l'effet des lobes secondaires dans notre traitement, nous avons appliqué la fenêtre de Hamming. La forme de la fenêtre de Hamming est définie par la formule suivante :

$$W(n) = 0.54 - 0.46 \times \cos((2\pi n) / (N - 1)) \quad \text{III.1}$$

Ou :

- $w(n)$ est la valeur de la fenêtre de Hamming à l'échantillon n .
- n est l'indice de l'échantillon dans la fenêtre ($0 \leq n \leq N-1$).
- N est la longueur totale de la fenêtre (nombre d'échantillons).

III.2.2 Transformée de Fourier Rapide Inverse (IFFT)

La transformation du domaine fréquentiel vers le domaine temporel pour les deux signaux $EXY(f)H$ et $ECXY(f)H$ en utilisant Transformée de Fourier Rapide Inverse (Inverse Fast Fourier Transform).

$$EXY(t) = \text{ifft}(EXY(f)H) \quad \text{III.2}$$

$$ECXY(t) = \text{ifft}(ECXY(f)H) \quad \text{III.3}$$

III.2.3 Calibration

Dans calibration, nous soustrayons $EC_{XY}(t)$ signaux environnement avec cible et $E_{XY}(t)$ signaux environnement sans cible, afin de garder que la signature de l'objet cible.

$$C_{XY}(t) = EC_{XY}(t) - E_{XY}(t) \quad \text{III.4}$$

III.2.4 Suppression du bruit

Le signal $C_{XY}(t)$ est bruité grâce à des réflexions de l'antenne lui-même et à l'environnement, pour éliminer ce bruit, nous calculons la moyenne de chaque ligne de $C_{XY}(t)$, puis nous la soustrayons de $C_{XY}(t)$.

$$A_X(t) = \frac{\sum_{Y=1}^N C_{XY}(t)}{N}, P_{XY}(t) = C_{XY}(t) - A_X(t) \quad \text{III.5}$$

N : c'est le nombre de lignes et de colonnes de la grille des 49 positions de l'antenne.

III.2.5 Génération des pixels et de leurs intensités

Dans cette phase, des pixels sont générés sur une surface de 10×10 cm, et la distance entre chaque emplacement d'antenne et chaque pixel est ensuite mesurée. Le temps de transit du signal sur cette distance est ensuite calculé. Ce temps de parcours dépend de la permittivité moyenne de l'environnement, qui peut être estimée de manière simple.

Le signal traité $P_x(t)$, où t représente le temps de trajet estimé précédemment, est évalué à l'aide des équations déjà citées dans la section II.5.4, afin de déterminer l'intensité de chaque pixel.

III.3 Résultats de simulation de l'algorithme de rétroprojection

Après implémentation et le traitement d'image de l'algorithme d'imagerie BP, nous avons obtenu les quatre images correspondant aux différents cas de simulations :

- Cas 1 : une barre assez large verticale et dans la zone du champ proche de l'antenne pour 49 emplacements (figure III.2),
- Cas 2 : une verticale assez loin (figure III.3),
- Cas 3 : une cible inclinée dans la zone du champ proche de l'antenne aussi pour 25 emplacements (figure III.40),
- Et cas 4 : une cible inclinée dans la zone du champ lointain de l'antenne pour toujours 25 emplacements (figure III.5).

Ces figures présentent la position et les dimensions assez originales des objets cibles encadré en noir. L'intensité maximale de puissance est représentée en rouge.

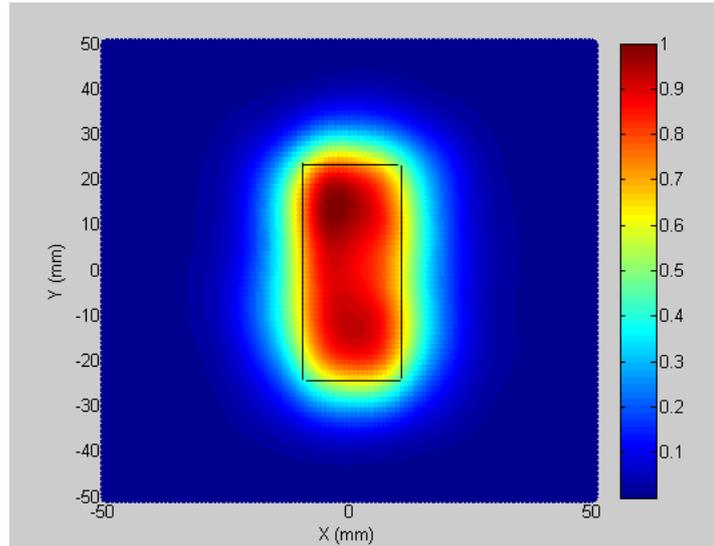


Figure III.2 : Simulation avec une cible verticale proche.

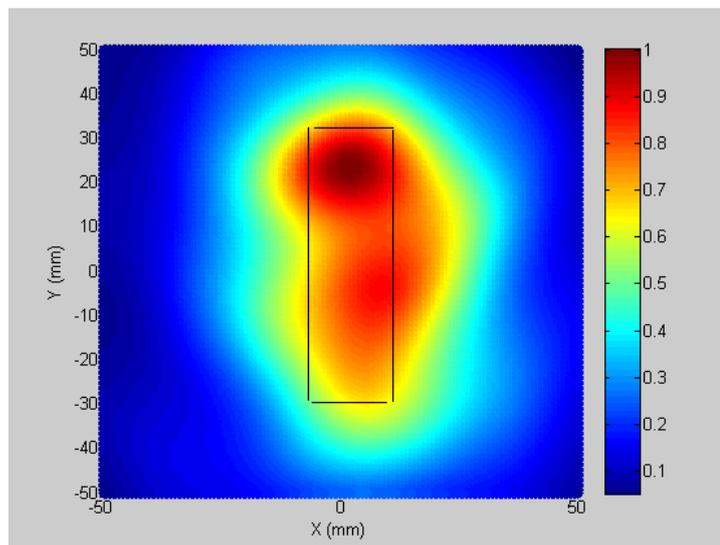


Figure III.3 : Simulation avec une cible verticale lointaine.

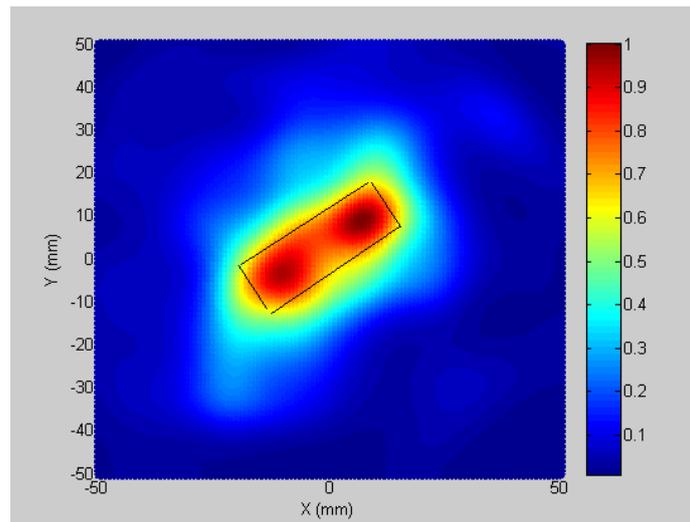


Figure III.4 : une cible inclinée proche de l'antenne.

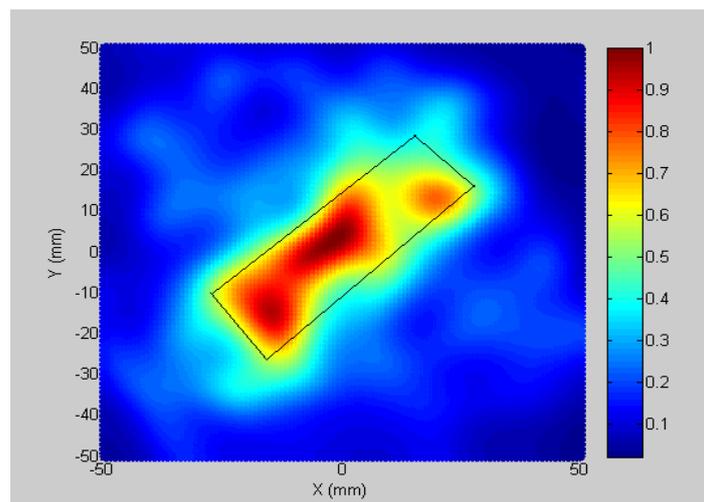


Figure III.5 : une cible inclinée lointaine.

La résolution s'améliore avec l'augmentation de la fréquence, comme la montre [46]. Cependant, le signal s'affaiblit à des fréquences plus élevées. Nous avons choisi une bande de

fréquences comprise entre 3,5 GHz et 5,5 GHz pour pouvoir détecter la cible. Les micro-ondes dans cette bande de fréquences peuvent traverser les matériaux avec très peu d'atténuation. Dans notre cas c'est le vide donc aucune atténuation n'est faite. Cependant, l'image reconstruite subit une perte de résolution dans cette bande de fréquence.

Dans la figure III.2 et figure III.4, nous constatons que l'image reconstruite a presque les mêmes dimensions que l'objet utilisé. L'image est claire et sans présence d'interférences. Ceci est à cause du rayonnement de l'antenne, et à la distance de l'objet qui est proche de l'antenne.

Dans la figure III.3 et figure III.5, nous constatons que l'image reconstruite n'a pas les mêmes dimensions que l'objet. Ceci est dû au rayonnement de l'antenne et à la distance entre l'antenne et la cible.

III.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons réussi à reconstruire les formes des objets cibles en utilisant les Algorithmes BP. Cependant, il reste à éliminer certains parasites ainsi qu'affiner leurs localisations exactes.

Conclusion Générale

L'objectif de ce projet de fin d'études était de détecter et reconstruire des formes d'objets en utilisant la technologie radar dans le domaine de l'imagerie micro-ondes. Nous avons exploré des algorithmes de détection pour améliorer les images obtenues. Nous nous sommes particulièrement intéressés à la détection d'objets dans l'espace. En utilisant le logiciel CST, nous avons pu simuler la scène et prendre en compte tous les éléments du système radar, y compris l'environnement de la cible.

Nous avons présenté un état de l'art sur les radars et ces compositions. Puis les différentes applications des radars ULB et leurs configurations.

Aussi, nous avons présenté les antennes patch et leurs caractéristiques utilisées dans l'imagerie microondes. Ensuite, nous avons donné une description de l'antenne patch microruban utilisée dans nos simulations pour la détection des objets, et les différents algorithmes utilisés dans l'imagerie microondes pour le traitement d'image. A la fin nous avons utilisé un système radar monostatique pour la détection des cibles.

Nous avons réussi à reconstruire des images de cibles de formes rectangulaires assez larges. Les paramètres position et dimension de la cible sont obtenues grâce à l'algorithme rétroprojection (BP) de traitement d'image en utilisant le logiciel Matlab.

Les résultats obtenus au cours de ce projet fin d'étude sont encourageants et ouvrent la voie à l'étude de d'autres formes de cibles et au développement d'autres systèmes radar dédiés à l'imagerie microonde.

Références

- [1] « Radio detection and ranging » Nature, vol.152, n°3857, 2octobre 1943 p. 391-392 (DOI 10.1038/152391b0, lire en ligne[archive],[PDF] 30 janvier 2022
- [2] Jacques Darricau, Sommaire le radar, « *chapitre 1 : Description générale* », ISBN : 978-2-9544675-1-1, radars-darricau.fr/livre/I-Pages/Sommaire.html, 2021
- [3] Jacques Darricau, « *radars : Principes de bases* », *Article TE6650 Technique de l'ingénieur*, 2013
- [4] T. W. BARRETT, “History of ultrawideband (UWB) radar & communications: pioneers and innovators”, in Progress in Electromagnetics Symposium, Cambridge, MA, USA, juillet 2000.
- [5] J. D. TAYLOR, Introduction to Ultra-Wideband Radar Systems, Boca Raton : CRC Press,1995.
- [6] FCC, “First report and order, revision of Part 15 of the Commission’s rules regarding ultra-wideband transmission systems”, Document technique ET Docket 98-153, FCC, avril 2002.
- [7] L. Sakkila, C. Tatkeu F. Boukour, F. El Hillali, A. Rivvenq, and J-M. Rouvean, “Uwb radar system for road anti-collision application. Information and Communication Technologies: From theory to Applications”, ICTTA 3rd International conference, pp. 1-6, April2008.
- [8] A. Martinez-Vazquez and J. Fortuny-Guasch, "Uwbmimo radar arrays for small area surveillance applications". Antennas and Propagation, EuCAP. The second European Conference, pp. 1-6, November.2007.
- [9] D. Zito, D. Pepe, B. Neri, and D. De Rossi, “Feasibility study of a low-cost system-on-a-chip uwb pulse radar on silicon for the heart monitoring”. Waveform Diversity and Design ConferenceInternational, pp. 32-36, June 2007.
- [10] M. Jalilvand, E. Pancera, X. Li, T. Zwich, and W. Wiesbeck, “Hemorrhagic stroke detection via adaptive uwb medical imaging radar”. Radar Conference (EuRAD), European, pp. 317-320, October 2011.
- [11] G-K. Stratis, V. Naik, W-M, Boerner and J-B. Cole, “Wideband polarimetric radar imaging”, Antennas and Propagation Society International Symposium, AP-S. Digest. Held in

Conjunctionwith: URSI Radio Science Meeting and Nuclear EMP Meeting., IEEE, Vol. 2,
page1130, July 1992.

[12] L. Carrer, A-G. Yarovoy, “Concealed weapon detection using UWB 3-D radar imaging and automatic target recognition”. Antennas and Propagation (EuCAP), 2014 IEEE 8th European Conference, pp. 2786 – 2790, 2014.

[13] R. Salman, T. Schultze, and I. Willms, “Uwbmaterailcharacterisation and object recognition with applications in fire and security”. Ultra-Wideband, ICUWB. IEEE International Conference, Vol. 2 : pp. 203- 206, September 2008.

[14] V.S. Chernyak, *Fundamentals of Multisite Radar System*, Gordon and Breach Science Publishers, 1998

[15] Mr REFICE Mohamed Lamine (Modélisation et simulation des antennes en onde Millimétrique à base de méta matériaux) mémoire de magister Université Ziane Achour de Djelfa Faculté des Sciences et de la Technologie2013-2014.

[16] Mohamed Mansouri et El haithem Ezzeroug, « Conception et simulation d’une antenne Patch ultra large bande [1-8 GHz] », Mémoire Master en aéronautique. L’institut d’aéronautique et des études spatiales.

[17] A. Boyer, « Cours_antennes_oct11_v4_5RT », INSA Toulouse, octobre 2011.

[18] ZianecherifAbderrahmanetBenhaddoudiabderrahim, « Conception, modélisation et réalisation d'une antenne micro ruban triangulaire miniature ULB », Mémoire de Fin d'Etudes MASTER.Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d’Ain-Temouchent, 2016/2017.

[19] Rabih A Slim, « Conception Antenne WIFI », Rapport MDR. Université Antonine Faculté des Ingénieurs en Télécommunications, Informatique.

[20] Belabas Lynda et Chemmoun Lila, « Miniaturisation de l'antenne PATCH sous CST » ; Mémoire de Fin d'Etudes MASTER, Université Mouloud MAMMERI de Tizi-Ouzou, 2017 / 2018.

[21] Chorfi Hamid, « Conception d'un nouveau système d'antenne réseau en onde », Thèse de doctorat, Université De Québec, Mai 2012.

- [22] CHAIMA Amel, « Etude et conception d'une antenne reconfigurable pour les applications WLAN », Master en télécommunication, université Mohamed Boudiaf - M'SILA, 2017/2018.
- [23] NOURI Mouna et TERKI Zakia, « Conception d'une Antenne Microruban Reconfigurable à base de Diode PIN et des Structures EBG », Master Académique systèmes de télécommunication, Université Mohamed Boudiaf - M'SILA, 2018 /2019.
- [24] Ben Tahar Zohra et Ben Abdesselam Sarah Yamina, « Réalisation d'une Interface graphique de Calcul des paramètres d'antennes patch et conception logicielle », Mémoire de Fin d'Etudes MASTER. Centre Universitaire Belhadj Bouchaib d'Ain-Temouchent, 2018/2019.
- [25] A. Boyer, « support de cours énoncé de travaux dirigés », Cours 5^{ème} année réseau et Télécom. Institut national des sciences appliquées de Toulouse, 2011
- [26] Seladji, N. ; Marouf, F.Z. ; Merad, L. et al. ; 2012 ; “Antenne microruban miniature Ultra Large Bande ULB pour imagerie microonde.” Proceedings of the Congrès Méditerranéen des Télécommunications, CMT'12, pp 21-25, March 22-24; Fès, Morocco.
- [27] B. Guo, Y. Wang, J. Li, P. Stoica, and R. Wu, “Microwave imaging via adaptive beamforming methods for breast cancer detection”, Journal of Electromagnetic Waves and Applications, Vol. 20, No. 1, 53-63, 2006.
- [28] S. Jacobsen and Y. Birkelund, “Improved Resolution and Reduced Clutter in Ultra-Wideband Microwave Imaging Using Cross-Correlated Back Projection: Experimental and Numerical Results”, International Journal of Biomedical Imaging, Volume 2010, Article ID781095, 2010.
- [29] W. Lei, S. Zeng, J. Zhao, Q. Wang, J. Liu, “An improved back projection imaging algorithm for subsurface target detection”. Turk. J. Electr. Eng. Comput. Sci., Vol. 21, 1820–1826, 2013.
- [30] X. Li and S.C. Hagness, “A confocal microwave imaging algorithm for breast cancer detection,” IEEE Microwave Wireless Components Lett., vol. 11, pp. 130-132, Mar. 2001.

- [31] M. Klemm, I. J. Craddock, J. A. Leendertz, A. Preece And R. Benjamin, “Improved Delay-and-Sum Beamforming Algorithm for Breast Cancer Detection”, *International Journal of Antennas and Propagation*, Vol. 04.2008, pp. 761402-1 - 761402-9, 2008
- [32] X. Chen and K. Huang, “Microwave Imaging of Buried Inhomogeneous Objects Using Parallel Genetic Algorithm Combined with FDTD Method”, *Progress in Electromagnetics Research, PIER* 53, pp. 283-298, 2005.
- [33] M. Pastorino, and A. Randazzo, “Buried object detection by an inexact-Newton method applied to nonlinear inverse scattering”, *Int. J. Microwave Sci. Technol*, 2012..
- [34] CST Microwave Studio, CST Inc., 2014
- [35]H-C. Rhim and O. Büyükoztürk, “Electromagnetic Properties of Concrete at Microwave Frequency Range”, *ACI Materials Journal*, Title n° 95-M25, pp.262-271, 1998.
- [36] X. Li and S. C. Hagness, “A confocal microwave imaging algorithm for breast cancer detection”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, pp. 130–132, 2001
- [37] Y. Wang, and A. E. Fathy, “Micro-Doppler signatures for intelligent human gait recognition using a UWB impulse radar,” in *IEEE AP-S Int. Symp. Antennas and Propag.*, Spokane, WA, Jul. 2011
- [38] X. Li and S. C. Hagness, “A confocal microwave imaging algorithm for breast cancer detection”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, pp. 130–132, 2001.
- [39] R. Nilavalan, A. Gbedemah, I. J. Craddock, X. Li, and S. C. Hagness, “Numerical investigation of breast tumour detection using multi-static radar”, *IEE Electronics Letters*, vol. 39, December 2003
- [40]E-J. Bond, X. Li, S-C. Hagness, and B-D. Van Veen, “Microwave imaging via spacetime beamforming for early detection of breast cancer”, *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 51, pp. 1690–1705, August 2003
- [41] Y. Xie et al, “Multistatic adaptive microwave imaging for early breast cancer detection” *IEEE Trans. Biomed.Eng.*, vol. 53, no. 8, pp. 1647-1657, Aug. 2006
- [42]Y-F. Chen et al, “Multiple-input multiple-output radar for lesion classification in ultrawideband breast imaging,” *IEEE J. Sel. Topics Signal Process.*, vol. 4, no. 1, pp. 187-201, Feb. 2010.

[43] J. Li, P. Stoica and Z. Wang, “On Robust Capon Beamforming and Diagonal Loading,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol. 51, No. 7, 1702-1715, July 2003.

[44] E-A. Marengo et al, “Time-reversal MUSIC imaging of extended targets,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 16, no. 8, pp. 1967-1984, Aug. 2007.

[45] M-D. Hossain et al, “Beamspace time-reversal microwave imaging for breast cancer detection,” *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 12, pp. 241-244, Feb. 2013

[46] X. Li and S. C. Hagness, “A confocal microwave imaging algorithm for breast cancer detection”, *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 11, pp. 130–132, 2001.

