

الجمهورية الجزائرية

الديمقراطية الشعبية

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

Département des Télécommunications



MEMOIRE

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

En : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

Par :

- MALKI Dounia Ahlem

- MIMOUNE Chaima

Sujet

Conception Antenne Intégrée à une Cellule Photovoltaïque pour Application LEO Satellitaire.

Soutenu publiquement, le 30/09/2021, devant le jury composé de

M. MELIANI Maghnia
Mr. IRID Sidi Mohammed Hadj
Mr. KOURDI Zakarya
M. DJELTI Hamida

Prof
MCA
MRA
MCA

Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen
Université de Tlemcen

Président
Encadrant
Co-Encadrant
Examineur

Année universitaire 2021/2022

REMERCIEMENTS

***** REMERCIEMENTS *****

Le travail présenté dans ce rapport a été effectué à l'université Abou-Beker Belkaid - Tlemcen-

Avant tout, Nous remercions notre seigneur d'avoir donné à l'homme le pouvoir de raisonner et d'explorer les vérités de l'univers.

Que mes remerciements les plus sincères s'adressent à mon encadreur Ms **IRID Sidi Mohammed Hadj**, maîtres de conférences classe A à l'université Abou-Beker Belkaid - Tlemcen-, pour avoir accepté de superviser mon travail et pour m'avoir initié aux bases de télécommunication système, et le soutien inconditionnel, les conseils précieux et la patience sans fin qu'ils m'ont généreusement fournis pendant mes recherches de mémoire.

Que mes remerciements les plus sincères s'adressent à mon co-encadreur Ms **KOURDI Zakarya**, maître de recherche classe A au Centre développement des satellites à Oran, pour avoir accepté de superviser mon travail et pour m'avoir initié aux bases de télécommunication système. Qui malgré ses multiples responsabilités tant scientifiques que pédagogiques, a accepté de mettre à notre disposition son expérience, son esprit de synthèse et ses conseils qui nous ont été une base d'appui pour notre travail, et surtout de nous avoir accordé une grande liberté dans l'expression de nos idées.

Mes sincères remerciements à madame **MELIANI Maghnia** professeur à l'université Abou-Bakr Belkaid Tlemcen de m'avoir fait l'honneur de présider le jury de soutenance.

Nous remercies également madame **DJELTI Hamida**, Maitre de conférences classe A à l'université Abou-Bakr Belkaid Tlemcen de m'avoir fait l'honneur d'examiner notre travail.

NOUS pourrais oublier de présenter mes vifs remerciements et ma sincère gratitude à toutes celles et tous ceux qui m'ont épaulé dans les moments durs et m'ont donné la force pour continuer et arriver au bout du travail.

Je ne peux terminer sans exprimer toute ma gratitude à tous les membres de ma famille qui m'ont soutenu et conseillé tout le long de ce travail, plus particulièrement ma mère.

*** DEDICACES ***



Dédicace

Je dédie ce mémoire de fin d'études avec grand amour, sincérité et fierté :

À ma chère mère Nacera et à mon chère père Moustafa

Pour l'amour qu'ils m'ont toujours donné, leurs encouragements et toute l'aide

qu'ils m'ont apportée durant mes études.

Que Dieu vous procure bonne santé et longue vie, en espérant que vous serez

toujours fiers de moi.

À mes chères frères Mohammed et Yahia

et à mes chères sœurs Chafia, et Selma

qui ont partagé avec moi tous les moments d'émotion lors de la réalisation de

ce travail. Ils m'ont chaleureusement supporté et encouragé tout au long de

mon parcours.

À mon chers neveu Fares.

À ma chère binôme « Dounia Athlem » et à toute sa famille

Pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension tout au long de ce

projet. Merci pour ton effort avec tous mes vœux de bonheur, de santé et de

réussite dans ta vie personnelle et professionnelle.

Phaima.



Dédicace

À ma chère Mère Nedjma

À mon Père Djilali

*Dont le mérite, les sacrifices et les qualités humaines m'ont
permis de vivre ce jour.*

À mon Frères et mes Sœurs

Zine El-Abidine, Mohammed, Noria, Amel.

À tous les gens m'aiment.

Nour El Houda, Meryem, Asséla, Chaima...

Dounia Athlem.

Abréviations

***** ABRÉVIATIONS *****

AUPC	Automatic Uplink Power Control
BUC	Bloc Up Converter
DVB	Digital video Broadcasting
FAT	Final Acceptance Test
FDMA	Frequency Division Multiple Access
HEMT	High Electron Mobility Transistor
GIS	Geography Information System
LNA	Low Noise Amplifier
LNB	Low Noise Bloc
MMBS	Band Multimedia Broadcasting System
NMS	Network Management System
ODU	Out Door Unit
OSAT	On-Site Acceptance Test
PV	Panel photovoltaic
RCST	Return Channel Satellite Terminal
RF	Radio Frequency
TDM	Time Division Multiplexing
TTC& M	Telemetry and Tele-command Control & Maintenance
IDU	In Door Unit
VSAT	Very Small Aperture Antenna

***** SOMMAIRE *****

*** Remerciements ***	I
*** Dédicaces ***	II
*** Abréviations ***	IV
*** Sommaire ***	IV
Liste des figures	VIII
Listes Du Tableau.....	X
Introduction Générale.....	3
Chapitre I : Généralité sur les antennes.....	2
I. Introduction	2
II. Généralités sur les antennes	2
II-1. Définition de l'antenne.....	3
II-2. Le rôle d'une antenne	4
II-3. Les antennes du satellite	4
III. Les antennes patch	4
III-1-Différents formes d'une antenne patch	5
III-2. Technique d'alimentation.....	6
III-2-A. Alimentation par contact.....	6
III-2-A-1. Alimentation par ligne de transmission micro-ruban	6
III-2-A-2. Alimentation par sonde coaxiale	7
III-2-B. Alimentation par proximité.....	8
III-2-B-1. Alimentation couplée par fente (ouverture).....	8
III-2-b-2. Alimentation couplée par proximité.....	9
III-3. Mécanisme de rayonnement.....	10
III-3-A. Onde rayonnées dans l'espace	10
III-3-B. Onde guidées.....	11
III-3-C. Onde de fuite.....	11
III-3-D. Onde de surface	11

Sommaire

IV.	Paramètres des antennes patch	12
IV-1.	Impédance d'entrée	12
IV-2.	Coefficient de réflexion	12
IV-3.	Rapport d'onde stationnaires ROS.....	13
IV-4.	Bande passante	14
IV-5.	Diagramme de rayonnement	15
IV-6.	Polarisation de l'onde.....	17
IV-7.	Directivité.....	18
IV-8.	Gain	18
IV-9.	Rendement	19
IV-10.	Angle d'ouverture	19
V.	Domaines d'applications	19
V-1.	Avantages et inconvénients des antennes micro-rubans	19
VI.	Conclusion.....	20
	Chapitre II : Etude sur le antenne patch avec jonction solaire	21
I.	Introduction	21
II.	Antenne imprimée	21
III.	Alimentations	26
III-1.	Les alimentations par contact.....	26
III-2.	Alimentation par cellule photovoltaïque	28
III-2-1.	Généralités sur les systèmes solaires	28
III-2-1-A.	Soleil.....	28
III-2-1-B.	Spectre soleil.....	28
III-2-1-C.	L'énergie solaire	29
IV.	L'effet photovoltaïque.....	30
IV-1.	Fonctionnement simplifié d'une cellule photovoltaïque.....	31
IV-2.	Structure du photovoltaïque	31
IV-2-A.	Les cellules en silicium monocristallin	31
IV-2-B.	Les cellules en silicium polycristallin.....	32
IV-2-C.	Cellule en silicium amorphe	32
IV-3.	Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque.....	32
IV-3-A.	Tension en circuit ouvert (V_{oc}).....	34
IV-3-B.	Courant de court-circuit (ISC)	34

Sommaire

IV-3-C. Puissance de la cellule PV	35
IV-3-D. Puissance maximale d'une cellule PV.....	35
IV-3-E. Rendement énergétique.....	36
IV-3-F. Facteur de forme.....	37
V. Principes de conversion AC/DC en Basse Tension.....	38
VI. Dispositifs sans fil et cellules solaires.....	39
VI-1. Approches précédentes des antennes solaires intégrées	39
VI-2. Co-implantation d'antennes et de cellules solaires.....	40
V-3. Cellules solaires fonctionnant comme un plan de masse	41
VII. Les avantages et les inconvénients de l'énergie photovoltaïque.....	42
VII-1. Les avantages de l'énergie photovoltaïque.....	42
VII-2. Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque	42
VIII. Conclusion.....	42
Chapitre III : Résultats et discussion de simulation antenne Patch X bande	44
I. Introduction	44
II. Généralité sur CST Studio.....	44
II-1. Outil de simulation	44
II-2. Différentes étapes d'utilisation du logiciel CST Studio Suite.....	45
II-3. Description générale du logiciel	46
II-4. Structure de l'interface d'utilisateur	47
III-1. Dimensions de l'élément de rayonnement rectangulaire	48
III-2. Création initiale de la structure d'antenne patch.....	49
III-2-A. Le plan de masse.....	49
III-2-B. Le substrat diélectrique	50
III-2-C. L'antenne patch.....	50
III-2-D. La ligne micro ruban.....	50
III-2-E. Le port de polarisation	51
III-3. Définir le domaine de fréquence	51
III-4. Méthode des encoches.....	52
IV-1. Antenne patch en bande X	53
IV-1-A. Etude variation encoche pour adaptateur.....	53
IV-1-B. Coefficient du reflexion S11	54

Sommaire

IV-1-C. VSWR.....	54
IV-1-D. Gain d'antenne patch.....	55
IV-1-E. Diagramme de rayonnement en 2D et 3D.....	56
IV-1-F. Efficacité d'antenne patch.....	57
IV-1-G. Distribution du courant sur le patch	58
VI-2. Antenne avec jonction cellule photovoltaïque.....	59
IV-2-A. Dimension cellule.....	59
IV-2-B. Forme structure.....	60
IV-2-C. Excitation.....	62
IV-2-D. Coefficient du reflexion S_{11}	63
IV-2-E. VSWR.....	63
IV-2-F. Gain.....	64
IV-2-G. Efficacité.....	64
Conclusion générale.....	67
Références.....	68

LISTE DES FIGURES

Chapitre I :

Figure I- 1 : Schéma d'une télécommunication par satellite [I-1].	2
Figure I- 2 : Rayonnement d'une antenne [I-2].	3
Figure I- 3 : Schéma de principe d'un système de communication radio [I-7].	4
Figure I- 4 : Structure d'une antenne patch de forme quelconque [I-13].	5
Figure I- 5 : Principales formes des antennes [I-13].	5
Figure I- 6 : a) Alimentation par une ligne micro-ruban [I-16]	6
Figure I- 7 : Alimentation par une ligne micro-ruban. a) axiale b) décalée et c) axiale avec encoche [I-33].	7
Figure I- 8 : Alimentation par une sonde coaxiale [I-16].	8
Figure I- 9 : Alimentation couplée par fente [I-16].	9
Figure I- 10 : Alimentation par couplage à proximité [I-16].	9
Figure I- 11 : Classé de techniques d'alimentation par antenne.	10
Figure I- 12 : Ondes d'espace [I-23].	11
Figure I- 13 : Ondes guidées [I-23].	11
Figure I- 14 : Ondes de fuite [I-23].	11
Figure I- 15 : Ondes de surface [I-34].	12
Figure I- 16 : Système des coordonnées pour l'analyse d'antenne [I-27].	14
Figure I- 17 : Illustration de la bande passante à -10 dB à partir du coefficient de réflexion [27].	15
Figure I- 18 : Diagrammes de puissance (échelle linéaire) de $U(\theta)=\cos^2(\theta)$. $\cos^2(3\theta)$ en; (a) 2-D et (b) 3-D [16].	15
Figure I- 19 : Diagramme de rayonnement de l'antenne isotrope [I-16].	16
Figure I- 20 : Diagramme omnidirectionnel d'une antenne [I-16].	16
Figure I- 21 : Diagramme de rayonnement de l'antenne directive [I-16].	17
Figure I- 22 : Polarisation d'une antenne : a) Linéaire, b) Circulaire, c) Elliptique [I-28].	17

Chapitre II :

Figure II- 1 : Structure de base d'une antenne imprimée [II.8].	22
Figure II- 2 : Antenne Patch [II-9]	23
Figure II- 3 : Une ligne Microstrip, lignes du champ électrique et la constante diélectrique effective [II-9].	23

Liste des figures

Figure II- 4 : Constante diélectrique effective en fonction de la fréquence pour des substrats typiques [II-10].....	24
Figure II- 5 : La longueur de l'antenne patch est allongée de part et Δl	24
Figure II- 6 : Alimentation de ligne micro ruban [II-12].	27
Figure II- 7 : Composition du soleil par différents éléments chimiques [II.15].....	28
Figure II- 8 : Irradiance ou spectre solaire à la surface de l'atmosphère terrestre et au sol.....	29
Figure II- 9 : Réponse spectrale d'une cellule PV [II-16].....	30
Figure II- 10 : Le fonctionnement d'une cellule PV [II-19]	31
Figure II- 11 : Le recyclage des panneaux photovoltaïques [II-22].	32
Figure II- 12 : Modèle de circuit équivalent d'une cellule PV [II-23].....	33
Figure II- 13 : Circuit équivalent de la terminaison en circuit ouvert d'un modèle PV [II-23].	34
Figure II- 14 : Circuit équivalent de la terminaison du court-circuit d'un modèle PV [II-23].	35
Figure II- 15 : Puissance maximale idéal et pratique [II-23].	36
Figure II- 16: Facteur de remplissage (FF) et forme de puissance maximale [II-23].	37
Figure II- 17 : La première brique de notre chaîne de conversion [II-28].	38
Figure II- 18 : Schéma de la chaîne de conversion [III-29].	38
Figure II- 19 : Antenne à fente pour les applications spatiales [II-31].	40
Figure II- 20 : Antenne à fente quadruple [II-32].	40
Figure II- 21 : Antenne de correction solaire [II-34].	41
Figure II- 22 : Antenne patch maillée [II-35].....	41

Chapitre III :

Figure III- 1: Créé un nouveau projet.....	46
Figure III- 2 : Choix du modèle de structure.....	47
Figure III- 3 : Les différents formes de bas d'un manière similaire de brique.....	47
Figure III- 4 : Créer un plan de masse.....	49
Figure III- 5 : Créer de substrat diélectrique.	50
Figure III- 6 : Créer le premier élément d'antenne.	50
Figure III- 7 : <i>Créer la ligne microbande.</i>	51
Figure III- 8 : <i>Définir le port de polarisation.</i>	51
Figure III- 9 : a) Créer quart d'onde, b) Créer les encoches 1 ère étape, c) Créer les encoches 2 -ème étape, d) Créer les encoches 3 -ème étape et e) Structure finale.	52
Figure III- 10 : Etude variation encoche pour adaptateur.	53

Liste des figures

Figure III- 11 : Coefficient de réflexion.....	54
Figure III- 12 : Taux d'onde stationnaire.....	55
Figure III- 13 : Gain d'antenne patch.....	55
Figure III- 14 : Diagramme de rayonnement en 2D et 3D pour quelques fréquences de résonances.....	57
Figure III- 15 : Efficacité d'antenne patch.....	57
Figure III- 16 : Distribution de courant pour la fréquence 10 GHz.....	58
Figure III- 17 : Dimension de structure antenne patch avec jonction cellule solaire [III-].....	59
Figure III- 18 : Les étapes de création structure antenne avec cellule photovoltaïque.....	60
Figure III- 19 : Signale excitation pour alimentation antenne.....	62
Figure III- 20 : Coefficient de réflexion S_{11} d'antenne avec jonction solaire.....	63
Figure III- 21 : VSWR d'antenne patch avec jonction.....	64
Figure III- 22 : Gain d'antenne patch avec jonction solaire.....	64
Figure III- 23 : Efficacité d'antenne patch avec jonction solaire.....	65
Figure III- 24 : Diagramme de rayonnement en 2D et 3D pour antenne patch avec jonction solaire.....	66

LISTES DU TABLEAU

Chapitre II :

Tableau II- 1 : Dimensions physiques de l'antenne patch.	25
Tableau II- 2 : Comparaison entre les différentes techniques d'alimentation [II-13]	27
Tableau II- 3 : Enregistrement de l'efficacité des cellules solaires [II-25].....	36
Tableau II- 4 : Rendement du module photovoltaïque [II-26].	37

Chapitre III :

Tableau III- 1 : Les paramètres de l'antenne patch.	49
Tableau III- 2 : Géométrie de cellule photovoltaïque.	59
Tableau III- 3.....	66

Introduction Générale

INTRODUCTION GENERALE

L'industrie du spatial a largement évolué, depuis la mise en orbite du premier satellite artificiel de la Terre par l'URSS en 1957. La seule fonction de ce satellite était l'émission d'un signal sonore deux tons. L'industrie du spatial a également vu se multiplier ses domaines d'application. Autour de la Terre il y a des milliers de satellites en orbite, ils couvrent un spectre très large. Parmi leurs tâches il y a aussi l'observation météorologique et celle de la Terre en général, la scrutation de l'Univers, la géolocalisation et la reconnaissance militaire, et enfin les télécommunications de manière générale. Les avantages du satellite dans le domaine des télécommunications sont évidents. Le relais entre plusieurs stations terrestres dispersées dans une zone de couverture (échelle continentale) peut être assuré par un seul satellite [1]. En effet, un satellite peut remplacer avantageusement une infrastructure terrestre lourde et coûteuse en termes de réalisation et de maintenance.

La maîtrise technologique ne tolérait pas les émissions à très fortes puissances, au début des premières communications par satellite. La difficulté afin de garantir le bilan de liaison était alors reportée sur les antennes au sol qui avaient une surface de captation très grande, ceci a pour but de garantir le gain nécessaire. La puissance d'émission au niveau des satellites a augmenté de manière importante grâce au développement technologique successive.

Par contre pour la taille des antennes, les contraintes sur le gain ont été considérablement relaxées. Ces évolutions ont ainsi permis d'adresser des marchés de masse comme la télédiffusion, l'Internet haut débit et bien d'autres encore. La réception individuelle de signaux satellites implique donc la mise en œuvre de solutions bon marché. La conception de tel système s'appuie sur un critère très important qui est la dimension Coût, elle joue un rôle crucial [2].

La multiplication des systèmes de réception au sol a été entraînée par la démocratisation des systèmes terrestres de réception satellite. Les contingentements d'un tel étalage de masse demeurent donc dans la potentielle détérioration visuelle du paysage [3]. Spécialement, les antennes placées sur les toits ou dans les jardins des pavillons, ou encore aux balcons des immeubles, ont saturé notre paysage urbain. Ces antennes sont de plus en plus gênantes au point d'être considérées comme une nuisance publique voire une pollution visuelle. Au-delà de la maîtrise des coûts, la notion de discrétion et donc d'intégration dans le paysage urbain, devient de plus en plus primordial [4]. Donc, ces dernières années, ce n'est pas seulement le critère coût qui est mis en valeur mais le critère discrétion pour éviter la nuisance publique. Ainsi, de nouvelles solutions antennaires à faible impact visuel ont progressivement vu le jour ces dernières années [5].

Dans un premier temps nous allons aborder les généralités sur les antennes pour définir l'antenne ainsi que leurs caractéristiques ensuite au niveau du deuxième chapitre, on va présenter les cellules photovoltaïques, leur caractéristiques et fonctionnement. Ainsi des avantages et inconvénients de l'utilisation de l'énergie photovoltaïque. Enfin, en dernier chapitre, nous présentons les différents outils de simulations ainsi que les résultats et l'interprétations de la solution qu'on a proposé et simulé.

Chapitre I :
Généralités sur les
antennes

CHAPITRE I : GENERALITES SUR LES ANTENNES

I. INTRODUCTION

Le domaine d'application des télécommunications spatiales est très large, parmi les applications les plus importante, on trouve : télécommunications comme il est présenté en figure I.1, positionnement et navigation, observation de la terre, sciences spatiales, etc. La variété de ces applications nécessite l'utilisation d'un large éventail de concepts des antennes de structures simples (antennes imprimées, spirales, etc.) et d'architectures plus complexes (antennes actives à rayonnement direct, réseaux focaux, réflecteurs forme, réseau de réflexion, . . .).

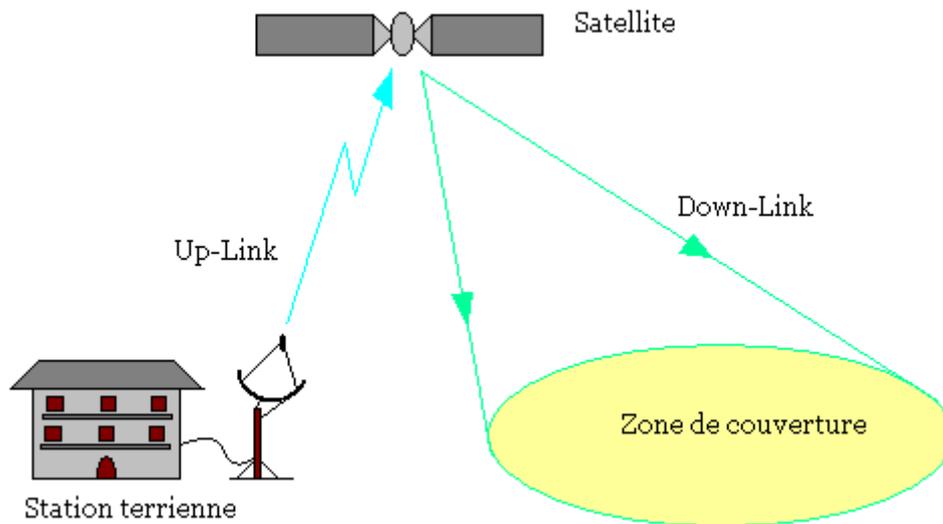


Figure I- 1 : Schéma d'une télécommunication par satellite [I-1].

Une antenne est un dispositif utilisé pour émettre des champs électromagnétiques dans l'espace ou le capturer. Le premier chapitre de notre travail vise à présenter une description générale de l'antenne, ces caractéristiques, la liaison satellite utilisée pour les radiocommunications.

II. GENERALITES SUR LES ANTENNES

Une antenne est un appareil qui émet ou capte des ondes des champs électromagnétiques, ou, en d'autres termes, l'espace libre et ondes guidées. L'antenne d'émission convertit le courant d'excitation modulé en ondes électromagnétiques qui peuvent propager dans l'atmosphère. Tandis que en réception, l'antenne convertit les ondes électromagnétiques reçues en courant électrique qui peut être traité par le récepteur [I-1, I-2].

II-1. Définition de l'antenne

L'une des définitions les plus précises d'une antenne est donnée dans la norme IEEE Définition des termes d'antenne.

Selon cette norme, une antenne est un rayonnement ou réception d'ondes radio [I-3]. Plus précisément, il s'agit d'un appareil reçoit le signal de la ligne de transmission, le convertit en ondes électromagnétiques et Lorsque l'antenne est en mode émission, diffusez-les dans l'espace libre. En mode reception, il capte simplement l'onde électromagnétique entrante et la reconverti en signal électrique. La figure (I-2) illustre une illustration très simple d'une antenne [I-4].

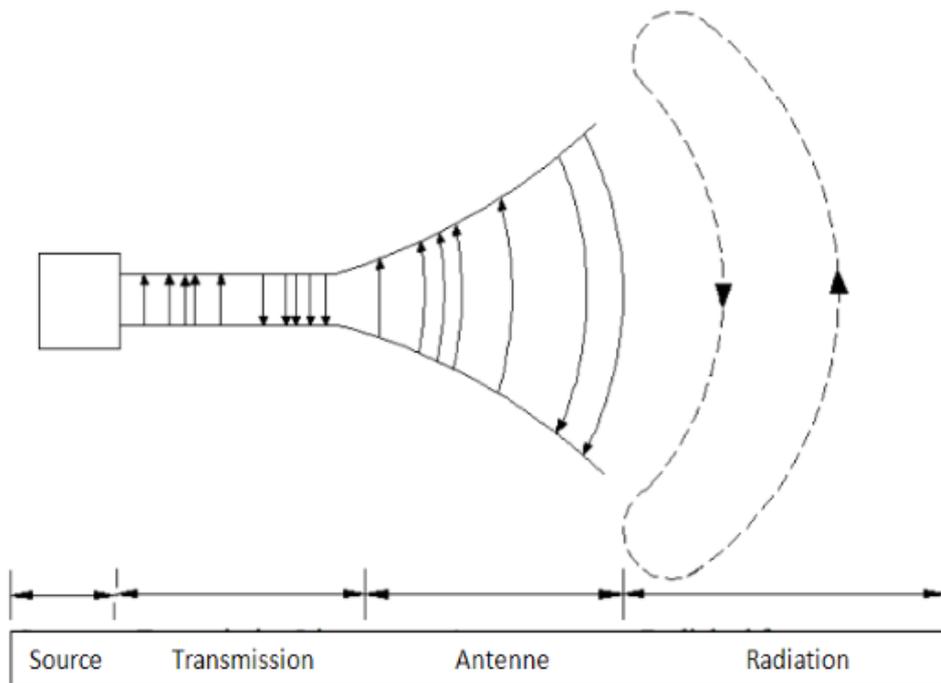


Figure I- 2 : Rayonnement d'une antenne [I-2].

Les antennes peuvent être utilisées (en particulier dans les systèmes de communication) dirigent l'énergie rayonnée dans une direction et la réduit ou l'annuler dans d'autres directions. Autrement dit, l'antenne n'est plus seulement un outil la transmission mais aussi, un dispositif de réception aussi. Selon les besoins techniques et spécifiques, la conception des antennes prend parfois différentes formes et taille, tels que les antennes patches, réflecteurs, lentilles, groupes d'éléments, etc. Une conception adéquate d'une antenne qui répond aux exigences demandés, peut assouplir le fonctionnement du système et améliorer performances globales du système. Le rôle de l'antenne est de convertir l'énergie électrique du signal en énergie ondes électromagnétiques transportées par des ondes électromagnétiques (et inversement) [I-4]. Les antennes sont utilisées sur une large gamme de fréquences (ou de longueurs d'onde) des tonnes d'applications différentes [I-5].

II-2. Le rôle d'une antenne

L'antenne a plusieurs fonctions, principalement :

- * Permet une bonne adaptation entre l'équipement radio et l'environnement d'exploitation propagé.
- * Assure la transmission et la réception de l'énergie dans une direction privilégiée
- * Délivrez le message le plus fidèlement possible [I-6].

Si l'on considère le système de communication sans fil le plus simple, conçu d'un bloc de transmission et un bloc de réception. Les deux blocs sont séparés par un canal de propagation dans lequel le signal est émis avant d'être reçu comme le montre la figure I-3 :

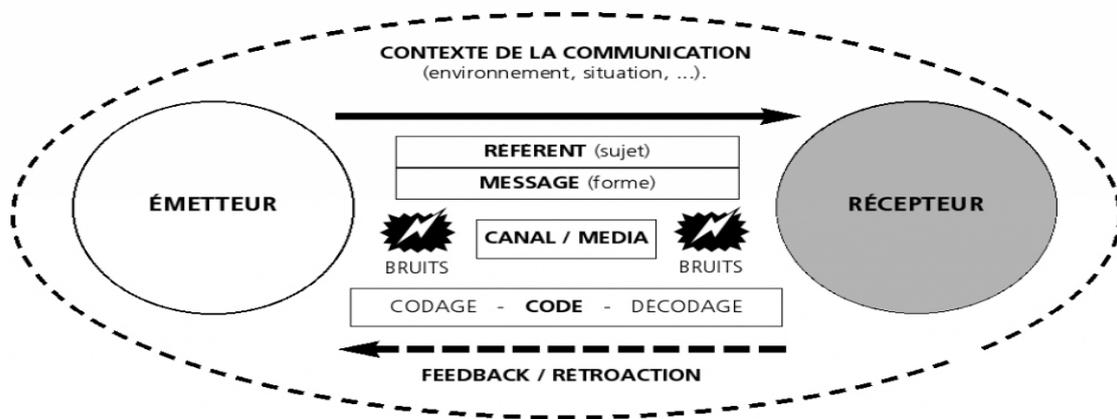


Figure I- 3 : Schéma de principe d'un système du communication radio [I-7].

II-3. Les antennes du satellite

Cela est particulièrement conforme pour les antennes cornet, les antennes à haut rendement, principalement utilisé comme antenne de couverture, antenne de formation de faisceaux [I-8]. Cependant, les antennes multi-faisceau et à réflecteur, à cause de leurs nombreux avantages les dominant le marché des communications spatial [I-9].

En effet, avec les systèmes à antennes à réflecteur, il est possible d'atteindre des gains de 40 dB voire 50 dB et de permettre d'obtenir n'importe quel diagramme de rayonnement [I-10], d'autre part, cette d'antenne à réflecteur décalé à une structure simple et légère, qui sont les deux normes de base dans ce domaine spatial. De plus, il fournit maintenant de très bonnes simulations simples et fiables prévision des performances de la durée de vie utile des satellites.

III. LES ANTENNES PATCH

Les antennes patch sont également appelées antennes imprimées ou antennes micro-ruban [I-11], est un transducteur qui convertit les signaux électriques d'une ligne de transmission en

ondes le champ électromagnétique dans l'espace libre lors de la transmission, et le champ électromagnétique opposé lors de la réception, ce qui signifie le principe général de l'antenne [I-12].

Une antenne patch est constituée d'une très fine feuille de métal appelée des éléments rayonnants (patches) sont gravés sur la surface supérieure du substrat diélectrique sur le visage Ci-dessous, nous trouvons le plan de masse figure (I-4).

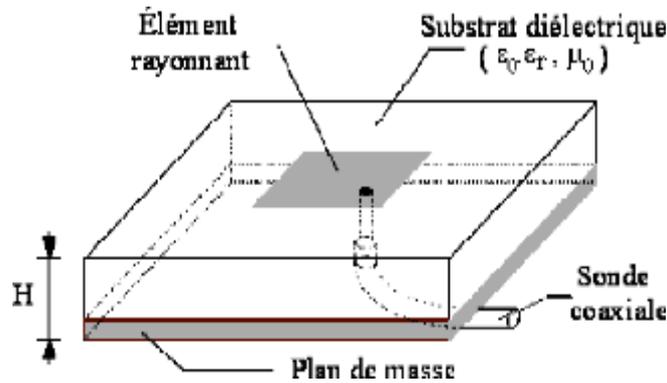


Figure I- 4 : Structure d'une antenne patch de forme rectangulaire [I-13].

III-1-Différents formes d'une antenne patch

Il existe plusieurs formes d'éléments rayonnants, qui peuvent être rectangulaires, carrés, cercles et ovales figure (I-5). Ces formes sont les plus courantes car elles ont facile à analyser et à fabriquer.

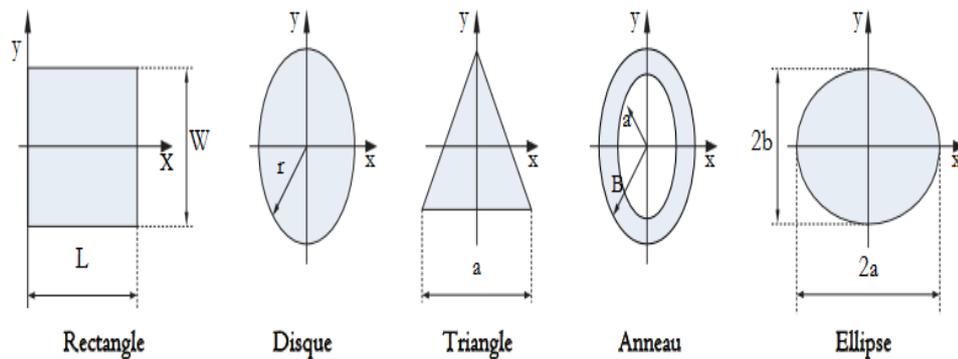


Figure I- 5 : Principales formes des antennes [I-13].

De plus, il génère une carte de rayonnement intéressant. Les dipôles micro-ruban ont les caractéristiques d'une large bande passante et prennent très peu de place, ce qui les rend particulièrement adaptés à la mise en œuvre réseau d'antennes pour améliorer la directivité. Différent du micro-fil les antennes ruban et micro-ruban nécessitent des substrats diélectriques à faible permittivité relative [I-14].

III-2. Technique d'alimentation

L'alimentation joue un rôle très important dans la conception des antennes imprimées. L'énergie est fournie à l'élément rayonnant de manière à influencer directement sur son rayonnement. L'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont celle-ci est intégrée dans

Le dispositif. Le choix de sa position permet l'adaptation de l'antenne à la ligne d'alimentation. Elle peut être centrée ou arbitraire par rapport à la structure de l'élément. Il existe une large variété de techniques d'alimentation permettant d'offrir à l'antenne l'énergie qui lui est Indispensable pour rayonner suivant un diagramme de rayonnement [6].

Les différentes techniques d'alimentation peuvent être divisées en deux grandes catégories :

- Alimentation par contact (par sonde ou ligne micro-ruban)
- Alimentation par proximité (couplage électromagnétique par ligne ou fente).

Concernant la première technique, une ligne micro-ruban est utilisée comme élément de contact pour fournir une puissance RF directement au patch de rayonnement. Pour la seconde technique, la transmission de puissance entre la ligne micro-ruban et le patch rayonnant est réalisée en utilisant un couplage de champ électromagnétique.

III-2-A. Alimentation par contact

III-2-A-1. Alimentation par ligne de transmission micro-ruban

Dans ce cas, la ligne micro ruban est directement connectée à l'élément rayonnant, comme indiqué sur la (figure I-6)

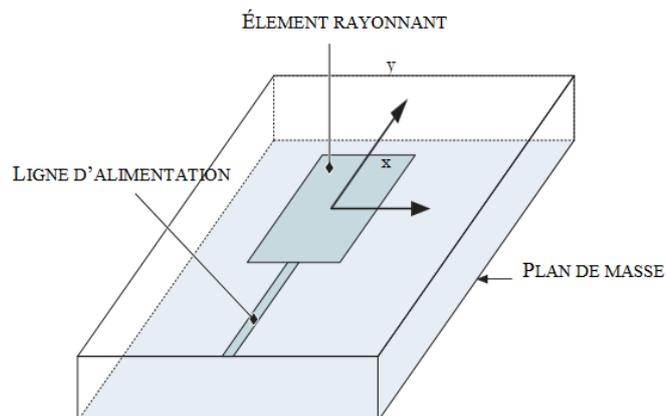


Figure I- 6 : a) Alimentation par une ligne micro-ruban [I-16]

Les avantages de ce type d'alimentation sont [I-17, I-18] :

- Pour obtenir une structure plane, l'alimentation est gravée sur le même substrat et considérée comme une extension du patch. C'est la technique la moins coûteuse et la plus simple à réaliser.
- L'impédance interne peut être facilement vérifiée en ajustant le point de contact entre la ligne d'alimentation et le patch.

- Sa réalisation est facile car la ligne d'alimentation et le patch sont gravés sur le même substrat.
- Une faible impédance (quelques Ohms) est acquise si le point de contact est proche de centre du patch.
- Cette technique est facile à modéliser, principalement pour un substrat fin.

Concernant les inconvénients de cette technologie, ils peuvent être mentionnés ci-dessous :

- L'augmentation de l'épaisseur du substrat diélectrique entraînera une augmentation des ondes de surface et un rayonnement parasite de l'alimentation, ce qui entraînera une diminution de la largeur de bande de l'antenne. De plus, en raison de la polarisation croisée, un tel rayonnement parasite de l'alimentation peut provoquer un rayonnement indésirable.
- La modification de la position de l'alimentation peut entraîner un léger changement de la fréquence de résonance (en raison d'un changement du couplage entre la ligne électrique et l'antenne) mais le diagramme de rayonnement reste le même. Ce décalage de la fréquence de résonance peut être équilibré en ajustant légèrement les paramètres de l'antenne.
- Du fait que le réseau d'alimentation n'est pas déconnecté de l'antenne quand celle-ci rayonne, un fort rayonnement parasite du circuit d'alimentation est remarqué [I-19].

Pour avoir une meilleure adaptation d'impédance, Le point de jonction peut se repérer sur l'axe de symétrie de l'élément rayonnant ou décalé par rapport à cet axe de symétrie,

L'alimentation axiale avec une encoche donne de bons résultats.

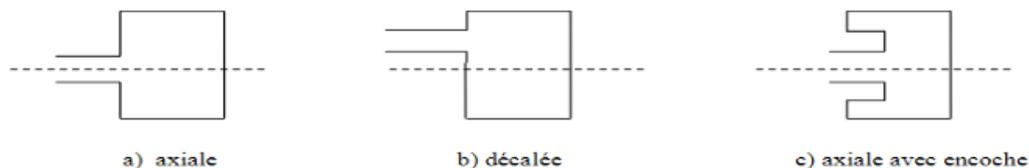


Figure I- 7 : Alimentation par une ligne micro-ruban. a) axiale b) décalée et c) axiale avec encoche [I-33].

III-2-A-2. Alimentation par sonde coaxiale

Ce type d'alimentation, appelée aussi alimentation coaxiale. Le conducteur intérieur du connecteur coaxial s'étend à travers le diélectrique pour être soudé au patch rayonnant, alors que le conducteur extérieur est branché au plan de masse figure (I-8) [I-20, I-21].

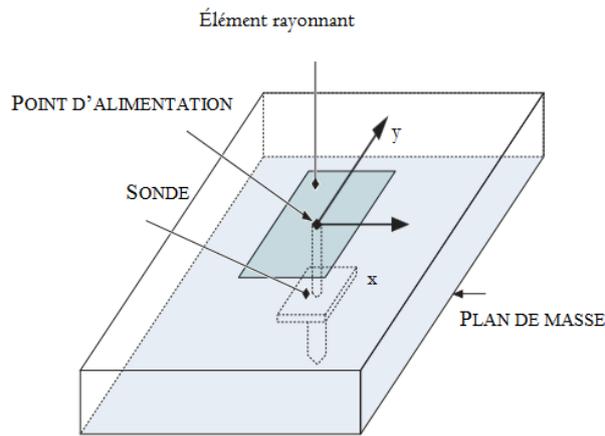


Figure I- 8 : Alimentation par une sonde coaxiale [I-16]

Les avantages de ce type d'alimentation sont [I-20, I-21] :

- La possibilité d'installer la sonde coaxiale à n'importe quel emplacement, à l'intérieur du patch, afin d'effectuer l'adaptation.
- En plus de sa facilité de réalisation, cette technique présente un faible rayonnement parasite et la ligne d'alimentation ne cause aucune perte par rayonnement.
- Un câble peut être installé en dessous du plan de masse pour réduire le couplage entre le patch et l'alimentation.

Les inconvénients de cette technologie sont [I-18] :

- Une bande passante étroite qui est difficile à modéliser.
- L'augmentation de la longueur de la sonde, pour des substrats épais, remet l'impédance d'entrée plus inductive.

III-2-B. Alimentation par proximité

III-2-B-1. Alimentation couplée par fente (ouverture)

Dans cette technique d'alimentation, la ligne d'alimentation et le patch de rayonnement sont séparés par le plan de masse (figure I-9).

Le couplage entre ces deux composants est réalisé grâce à une fente insérée dans le plan de masse. La fente est généralement centrée sous le patch, de sorte que la polarisation croisée diminue en raison de la symétrie de la configuration. Le degré de couplage dépend de la forme, de la taille et de l'emplacement de la fente. Généralement, afin d'optimiser le rayonnement du patch, le substrat inférieur utilise une constante diélectrique élevée et une faible épaisseur, tandis que le substrat supérieur utilise une épaisseur plus grande et une constante diélectrique plus petite.

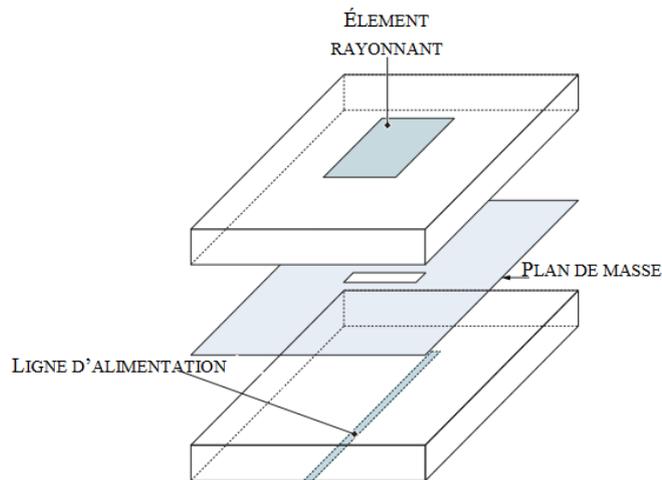


Figure I- 9 : Alimentation couplée par fente [I-16].

L'avantage de ce type d'alimentation est la facilité de modélisation, et son principal inconvénient est la difficulté de fabrication car il comporte plusieurs couches, ce qui augmente également l'épaisseur et le coût du dispositif.

III-2-b-2. Alimentation couplée par proximité

Cette technique est surnommée alimentation par couplage électromagnétique. Comme le montre la figure (I-10) la ligne d'alimentation se trouve entre deux substrats diélectriques superposés, tandis que le patch est gravé sur le substrat supérieur [I-20].

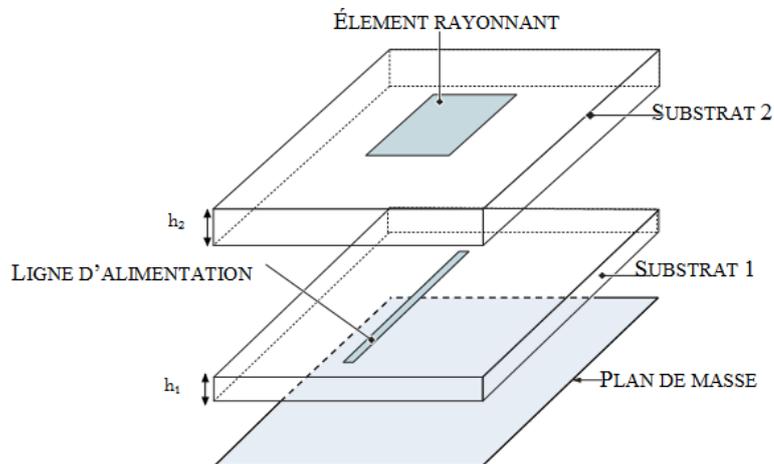


Figure I- 10 : Alimentation par couplage à proximité [I-16].

Les avantages de ce type d'alimentation sont :

- Aucun contact physique n'est requis entre le cordon d'alimentation et le cavalier.
- En raison de la grande distance entre le patch et le plan de masse, cette technique peut fournir une bande passante élevée.

- Il est plus facile d'optimiser les performances de l'antenne grâce à un plus grand nombre de choix de combinaison de deux diélectriques. Peut être ajusté en contrôlant la profondeur du chargeur sous le patch et la largeur du patch.

Les inconvénients de cette technologie sont [I-22] :

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

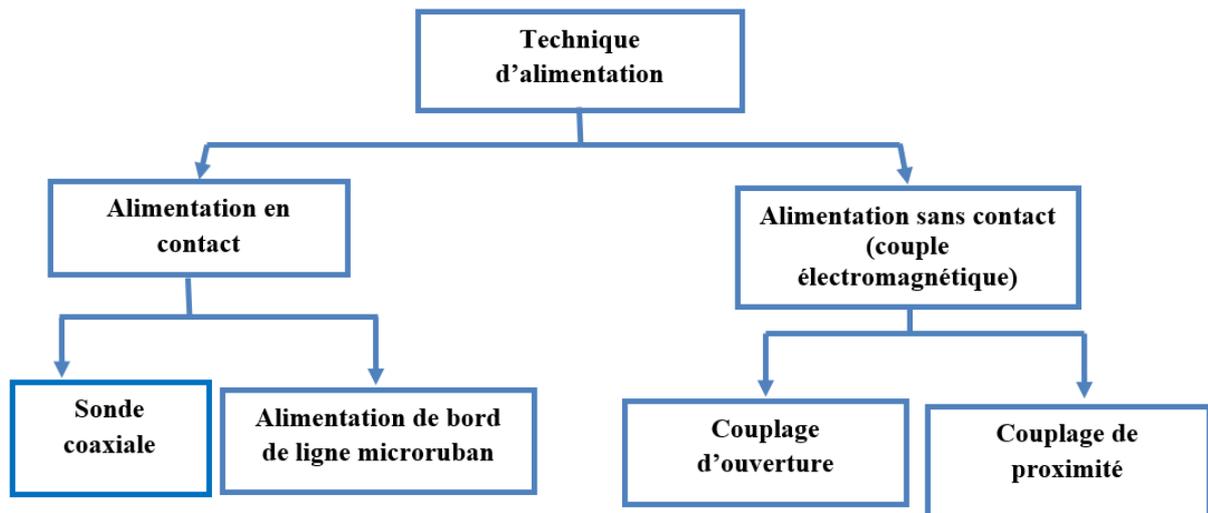


Figure I- 11 : Différentes techniques d'alimentation par antenne.

III-3. Mécanisme de rayonnement

Le mécanisme de rayonnement de l'antenne imprimée est réalisé grâce à sa géométrie. La compréhension physique du fonctionnement des antennes passe également par connaître le champ électromagnétique dans une région proche de la structure rayonnante. Selon la direction prise par l'onde dans la structure de l'antenne, nous pouvons distinguer les quatre types de vagues.

III-3-A. Onde rayonnées dans l'espace

Il s'agit des ondes transmises vers l'espace libre avec un angle d'élévation compris entre 0 et $\pi/2$. Dans le cas des lignes de transmission, cet effet est indésirable car il représente une fuite et donc un rayonnement parasite. Par contre dans le cas des antennes, c'est lui qui contribue à l'efficacité de rayonnement de cette dernière comme le montre la figure (I-12) [I-23].

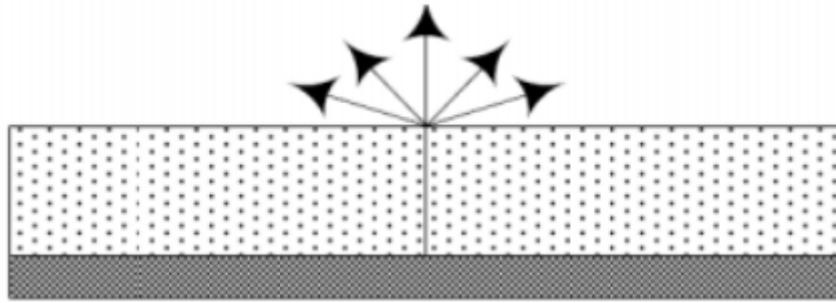


Figure I- 12 : Ondes d'espace [I-23].

III-3-B. Onde guidées

Ces ondes restent entre l'élément rayonnant et le plan de masse elles assurent le fonctionnement normal d'une ligne de transmission de type microruban, mais elles ne sont pas du tout favorables aux antennes patchs (figure I-13) [I-23].

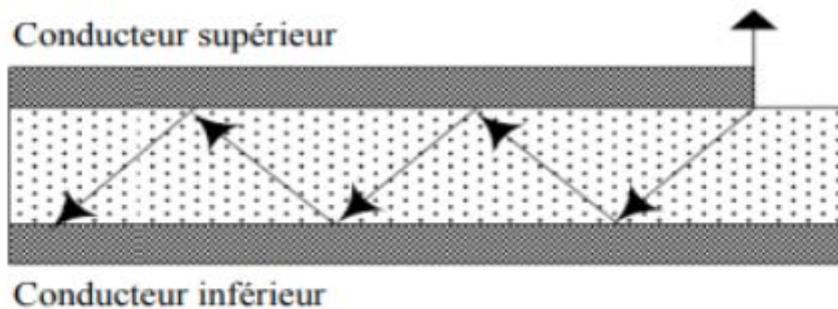


Figure I- 13 : Ondes guidées [I-23].

III-3-C. Onde de fuite

La direction qu'ils pointent est la plus proéminente et l'angle entre eux est $\theta = \pi - \arcsin(1/\sqrt{\epsilon_r})$ et π . Les ondes aident à rayonner et sont utiles pour les antennes figure I-14.

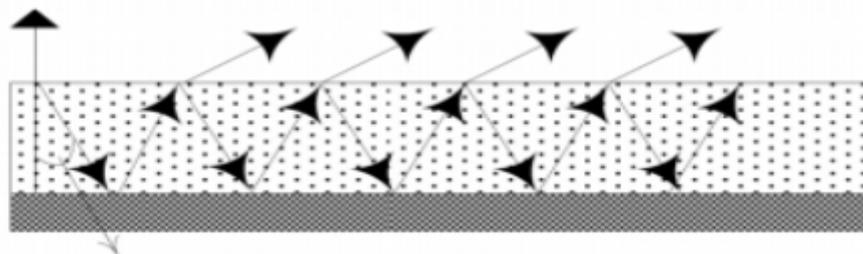


Figure I- 14 : Ondes de fuite [I-23].

III-3-D. Onde de surface

Elles sont légèrement dirigées vers le bas avec des angles d'élévation compris entre $\pi/2$ et $\pi - \arcsin(1/\sqrt{\epsilon_r})$ ce qui va causer leur totale réflexion, les gardant piégées à l'intérieur du

diélectrique, comme le montre la figure I-15. Ces ondes de surface absorbent une partie de l'énergie du signal réduisant ainsi l'efficacité de rayonnement de l'antenne [I-23].

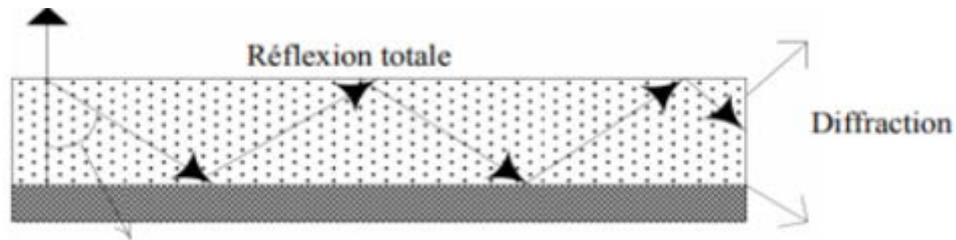


Figure I- 15 : Ondes de surface [I-34].

IV. PARAMETRES DES ANTENNES PATCH

Parmi les paramètres de l'antenne on peut citer :

IV-1. Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée est le rapport entre la tension et le courant à l'entrée de l'antenne définie par l'équation suivante.

$$Z_{in} = \frac{V_{int}}{I_{int}} \quad \dots \quad (I - 1)$$

L'expression d'impédance d'entrée d'une antenne Z_{in} est décomposée en une partie réelle R_a qui représente la puissance dissipée par l'antenne, et une partie imaginaire X_a qui représente la puissance stockée dans la zone proche du champ de rayonnement cette impédance est donnée par l'équation suivante :

$$Z_{in} = R_a + jX_a \quad \dots (I - 2)$$

Par contre, la réactance X_a est liée à la puissance réactive à proximité de l'antenne. D'autre part, l'impédance d'entrée de l'antenne est l'impédance vue de la ligne sur l'antenne. Elle est donnée par l'expression suivante :

$$Z_e = Z_0 \frac{(1 + S_{11})}{(1 - S_{11})} \quad \dots (I - 3)$$

Où :

Z_0 : est l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation.

S_{11} : est le coefficient de réflexion.

IV-2. Coefficient de réflexion

On définit la qualité d'adaptation d'une antenne au circuit qui l'alimente par le niveau du coefficient de réflexion S_{11} qui est le rapport entre l'onde réfléchie, d'amplitude V_0^- et l'onde incidente, d'amplitude V_0^+ [I-24] :

$$S_{11} = \frac{V_0^-}{V_0^+} \quad \dots (I - 4)$$

Lorsqu'une onde incidente change de milieu de propagation ou rencontre une nouvelle interface, une partie de cette onde incidente est réfléchiée et l'autre partie est transmise dans le nouveau milieu. Le coefficient de réflexion ' S_{11} ', et le coefficient de transmission ' T ' quantifient ces deux phénomènes, respectivement [I-25]. Ces deux coefficients sont reliés par l'expression suivante :

$$|T|^2 + |R|^2 = 1 \quad \dots (I - 5)$$

Le coefficient de réflexion ' S_{11} ' ou ' T ' est un paramètre important sur lequel nous nous basons lors de la conception d'une antenne. Il sert à mettre en évidence l'absorption de l'énergie par l'antenne. D'autre part, il dépend de l'impédance caractéristique de la ligne Z_c et l'impédance d'entrée de l'antenne Z_{in} et exprimé par l'équation (I-6)

$$S_{11} = \frac{(Z_{in} - Z_c)}{(Z_{in} + Z_c)} \quad \dots (I - 6)$$

Lorsque ce paramètre diminue, le conditionnement de l'antenne sera meilleur, Le coefficient de réflexion en décibel (dB) et se définit comme suit :

$$S_{11}(dB) = 20 * \left[\frac{(Z_{in} - Z_c)}{(Z_{in} + Z_c)} \right] \quad \dots (I - 7)$$

Dans le cas d'une antenne résonante, pratiquement on néglige la partie imaginaire [I-18]. $\Re(Z_{in}) \approx Z_c \Rightarrow S_{11} \rightarrow 0$, dans ce cas, il n'y a pas d'onde réfléchiée, on parle de l'adaptation de rapport l'impédance d'entrée à la ligne.

IV-3. Rapport d'onde stationnaires ROS

Nous pouvons déterminer ROS ou VSWR (Rapport d'onde stationnaire de tension) à partir de coefficient de réflexion

$$ROS = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad \dots (I - 8)$$

Lorsque $VSWR \leq 2$, l'adaptation d'impédance peut être assurée.

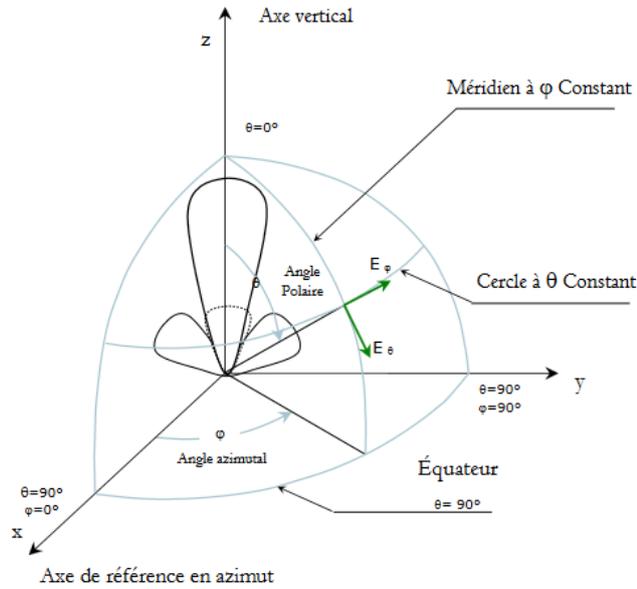


Figure I- 16 : Système des coordonnées pour l’analyse d’antenne [I-27]

IV-4. Bande passante

La bande passante d’une antenne peut être définie comme une bande de fréquence pour laquelle le coefficient de réflexion est inférieur à un seuil donné [27] :

On déduit souvent la bande passante d’une antenne à partir de la courbe de son coefficient de réflexion (figure I-17). Certains critères typiques sont pris comme un coefficient de réflexion inférieur à -6 dB ou à -10 dB. Souvent, on l’exprime en termes de bande passante relative par rapport à la fréquence centrale qui est donnée par :

$$BP (\%) = \frac{\Delta f}{f_0} \times 100 \quad \dots (I - 9)$$

Où :

$$\Delta f = f_2 - f_1 \quad \dots (I - 10)$$

f_0 : Est la fréquence centrale.

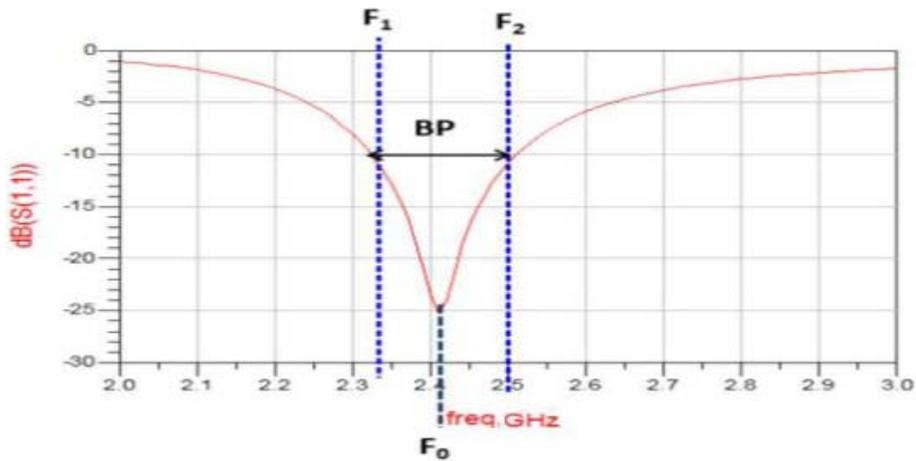


Figure I- 17 : Illustration de la bande passante à -10 dB à partir du coefficient de réflexion [27].

IV-5. Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement montre la variation de la puissance rayonnée par l'antenne dans différentes directions dans l'espace. Il indique la direction avec la plus grande puissance rayonnée. Le diagramme de rayonnement peut être exprimé en distribution 3D, ce qui nous permet de mieux visualiser le lobe principal et les lobes latéraux. Il peut également être exprimé en coordonnées polaires ou en coordonnées cartésiennes (Figure I-18)

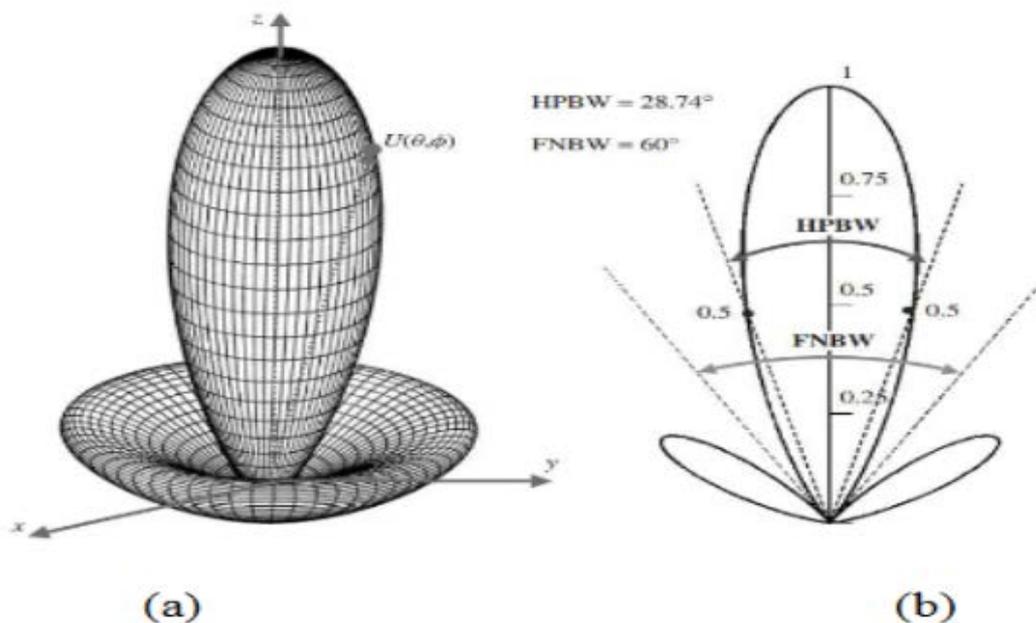


Figure I- 18 : Diagrammes de puissance (échelle linéaire) de $U(\theta)=\cos^2(\theta) \cdot \cos^2(3\theta)$ en; (a) 2-D et (b) 3-D [16].

Nous pouvons distinguer trois types d'antennes selon leurs diagrammes de rayonnement :

♣ Une antenne isotrope (figure I-19) est une antenne qui rayonne fortement son énergie dans toutes les directions de l'espace. Elle est utilisée comme référence pour calculer directivité et le gain du rayonnement des antennes. En fait, il n'y a pas d'antenne isotrope idéale.

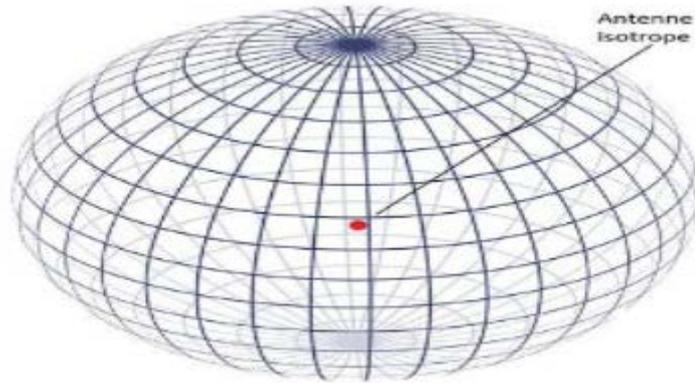


Figure I- 19 : Diagramme de rayonnement de l'antenne isotrope [I-16].

♣ Une antenne omnidirectionnelle est une antenne où le rayonnement est isotrope, mais se produit dans un seul plan spatial. Dans certaines directions, l'antenne émet moins d'énergie. Pour certaines antennes omnidirectionnelles, il existe des directions dans lesquelles l'antenne ne rayonne pas. On dit que ces directions sont aveugles.

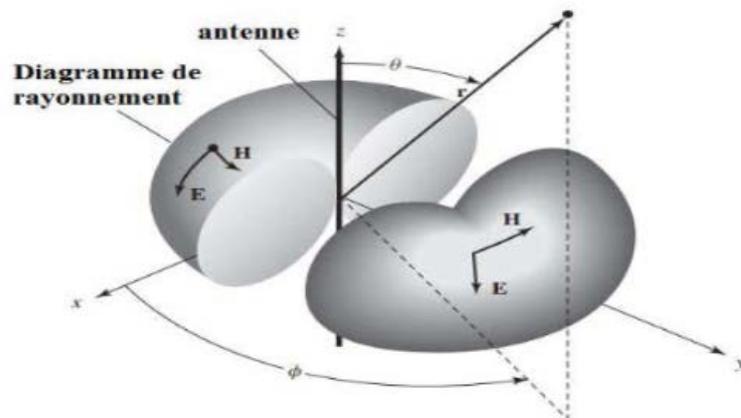


Figure I- 20 : Diagramme omnidirectionnel d'une antenne [I-16].

♣ Antenne directionnelle est une antenne avec un fort rayonnement. La directivité maximale est supérieure au dipôle demi-onde.

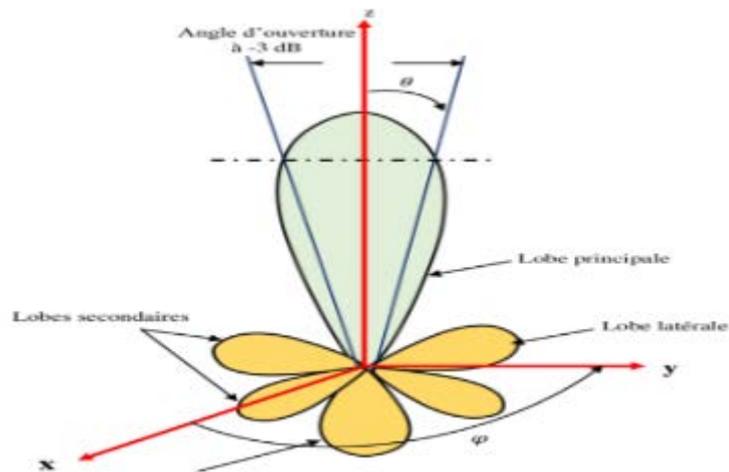


Figure I- 21 : Diagramme de rayonnement de l'antenne directive [I-16].

IV-6. Polarisation de l'onde

La polarisation est définie comme la direction du champ électrique de l'onde électromagnétique. Les ondes électromagnétiques émises par l'antenne dérivées, dans le temps et dans l'espace, du champ électrique et du champ magnétique avec un axe orthogonal. Le champ électrique détermine le plan de polarisation de l'onde. Donc si la polarisation de l'antenne de réception ne correspond pas à la polarisation de l'antenne, les puissances d'émission et de réception ne sont pas adaptées et résulte une perte de puissance.

Les différents types de polarisation sont figure I-21 :

- La Polarisation linéaire.
- La Polarisation circulaire.
- La Polarisation elliptique.

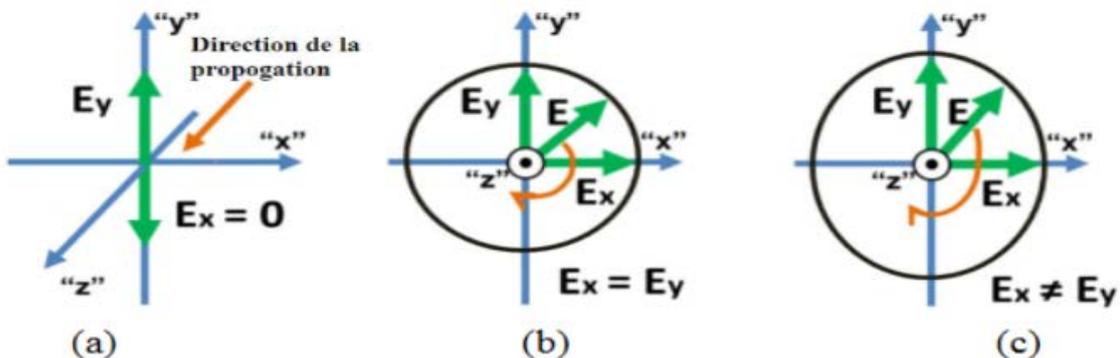


Figure I- 22 : Polarisations d'une antenne : a) Linéaire, b) Circulaire, c) Elliptique [I-28].

En tout point de la sphère d'observation, il est possible d'observer deux polarisations orthogonales.

Nous parlons alors de Co-polarisation pour la polarisation principale et cross polarisation pour la polarisation orthogonale. Dans le cas de la polarisation linéaire, la co-polarisation est le plan formé par la direction de propagation et celle du champ électrique de l'antenne et la cross-polarisation celui formé par la direction de propagation et celle du champ magnétique de l'antenne.

Dans les cas des polarisations circulaire et elliptique nous parlons de polarisation circulaire/elliptique gauche et droite.

La polarisation est dite droite lorsque la direction du vecteur champ électrique se déplace dans le sens horaire. Elle est dite gauche si le vecteur se déplace dans le sens trigonométrique [I-29].

IV-7. Directivité

La directivité de l'antenne fait référence à la mesure de la concentration de rayonnement de l'antenne dans des directions spécifiques de l'espace. Elle est déterminée par le rapport entre l'intensité du rayonnement dans une direction donnée et l'intensité de rayonnement moyen dans toutes les autres directions

$$D(\theta, \varphi) = \frac{U(\theta, \varphi)}{U_0} \quad \dots (I - 11)$$

U_0 : représente l'intensité de rayonnement de la source isotrope et égale :

$$U_0 = \frac{P_{ray}}{4\pi} \quad \dots (I - 12)$$

Cette directivité est maximale lorsque nous considérons la direction où l'intensité de rayonnement de la source isotrope est maximale, donnée par la formule

$$D_{Max} = \frac{U_{Max}}{U_0} = 4\pi \frac{U_{Max}}{P_{ray}} \quad \dots (I - 13)$$

La directivité n'a pas d'unité. Elle est généralement exprimée en décibels :

$$D(dB) = 10 \cdot \log D_{Max} \quad \dots (I. 14)$$

IV-8. Gain

Le gain de l'antenne dans la direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans la direction (θ, φ) et la puissance rayonnée par la source homogène de référence par unité d'angle solide sous la même puissance alimentaire, il est donné par la relation suivante :

$$G = 4\pi \frac{p(\theta, \varphi)}{P_a} \quad \dots (I - 15)$$

Où :

P_a : Est la puissance d'alimentation de l'antenne.

IV-9. Rendement

Le rendement de l'antenne η est en fonction du rapport de la puissance d'alimentation P_a et la puissance totale qu'elle rayonne P , soit :

$$\eta = \frac{P}{P_a} \quad \dots (I - 16)$$

IV-10. Angle d'ouverture

L'angle d'ouverture de l'antenne est l'angle de direction de la puissance. La puissance rayonnée est la moitié de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable (- 3 dB).

V. DOMAINES D'APPLICATIONS

Vu l'avancement technologique dans le domaine des télécommunications, les antennes classiques deviennent incapables de combler ces besoins.

C'est pour cela, les concepteurs des systèmes de télécommunications remplacent les antennes classiques par des antennes micro rubans dans plusieurs applications. En peut citer :

- Les systèmes Radar [I-30].
- Les communications par satellite.
- La téléphonie mobile.
- La sécurité (armes intelligentes).
- Les applications militaires.
- Les applications biomédicales.
- Les systèmes d'aéronautique (avions, moteurs de fusée, missiles).

V-1. Avantages et inconvénients des antennes micro-rubans

Compte tenu de la structure plane des antennes imprimées, nous bénéficions donc de tous les avantages de la technologie des circuits imprimés. Comparées aux antennes conventionnelles, les avantages qu'on peut leur attribuer sont nombreux. Néanmoins, on se contentera de citer les plus attirants d'entre eux [I-13] Parmi ces avantages nous citons :

- Faible poids.
- Faible encombrement.
- Faible épaisseur.
- Simplicité de réalisation et reproduction.
- Fort rendement d'ouverture.
- Polarisation variable simplement avec la position d'alimentation.
- Possibilité de les conformer sur des surfaces non planes.

- Possibilité d'association à des éléments actifs ou passifs tels que : amplificateurs, modulateurs, déphaseurs, etc...

Cependant, comme rien n'est parfait, ce type d'antenne a ses propres défauts [I-13] :

- Bande passante très étroite.
- Gain faible dû aux pertes.
- Rendement faible (concentration des champs sur les parois métalliques).
- Effet de couplage parasite entre les éléments.
- Pureté de polarisation difficile à obtenir.
- Puissance supportée limitée.
- Rayonnement parasite de l'alimentation.

VI. CONCLUSION

Ce chapitre, consacré aux fondamentaux des antennes, nous présentons en premier temps la définition d'une antenne et son fonctionnement, et l'antenne satellite. En deuxième temps, on a parlé des antennes satellite puis on a donné la structure d'une antenne patch ainsi que leurs différentes techniques d'alimentation ont été abordés. Enfin, nous avons défini leurs mécanismes de rayonnement, leurs caractéristiques ses avantages et inconvénients. La conception d'une antenne patch a été très enrichissante. Le dernier cas du patch c'était une idée pour avoir une antenne qui fonctionne en bande X avec type d'alimentation autonome par cellule solaire les choses qui sera étude en suivantes.

Chapitre II :

**Etude de l'antenne patch avec la
jonction solaire**

CHAPITRE II : ETUDE SUR LE ANTENNE PATCH AVEC JONCTION SOLAIRE

I. INTRODUCTION

Les méthodes de conception l'antennes et les cellules photovoltaïques sur le même substrat permet de réduire les coûts. Cependant, leur conception individuelle est inefficace pour réduire la taille et le poids de pondérations pour les systèmes Internet des objets. De nombreuses études récentes ont exploré la relation entre les cellules photovoltaïques et antenne, en raison des avantages potentiels de la communication sans fil qu'ils peuvent offrir.

Plusieurs techniques, telles que l'utilisation d'antennes maillées [II-2] et de matériaux transparents [II-3], ont été utilisées pour augmenter l'exposition au soleil. Généralement, lorsque les antennes et les cellules photovoltaïques sont intégrés, ils sont indépendants les uns des autres [II-4]. Cependant, dans certains cas, des cellules photovoltaïques font partie de l'antenne, améliorant ainsi les performances d'émission et de réception de l'antenne.

Une couche d'aluminium dans la cellule solaire sert de plan de masse pour l'antenne [II-5]. Afin de réduire l'encombrement dans l'antenne, des méta surfaces de cellules solaires sont utilisées pour obtenir des caractéristiques de bande passante améliorées. [II-6]. Les chercheurs ont conçu des antennes qui sont intégrées dans des cellules photovoltaïques de pointe. Compte tenu des progrès réalisés dans les applications technologique, l'antenne photovoltaïque intègre les panneaux photovoltaïques fins, simples et compactes pouvant être facilement conçues et réalisées.

Dans cette partie, une antenne compacte intégrée avec des jonctions cellules photovoltaïques, est proposée pour les applications spatiales. Des cellules photovoltaïques sont proposées pour les applications habituellement, l'antenne et les cellules photovoltaïques sont utilisées séparément, occupant une grande surface. L'antenne sera conçue à un profil bas et petite taille par conséquent, il économise de l'espace important lors de son utilisation avec les appareils antenne conçue, intégrée à des cellules photovoltaïques Intégré, exposé à 100% à la lumière du soleil, et possède d'excellentes caractéristiques d'antenne (bande passante d'impédance, gain et diagramme de rayonnement). D'autre part, les antennes à fente intégrées à des cellules photovoltaïques ont un diagramme de rayonnement omnidirectionnel, ce qui est important pour différentes applications.

II. ANTENNE IMPRIMEE

L'antenne imprimée est conçue par des champs les met effectivement en œuvre depuis 1953. L'antenne utilise des diélectriques à faibles pertes. Le développement technologique, a

permis la réalisation des antennes (légères, faible Volume et épaisseur réduits, réseaux d'antennes, etc.). Ceux-là a divers avantages et inconvénient, tels que : bande passante étroite, faible gain. Les antennes imprimée rectangulaires ou antennes patch rectangles Figure II-1 sont largement utilisés dans différentes applications de télécommunication [II-7].

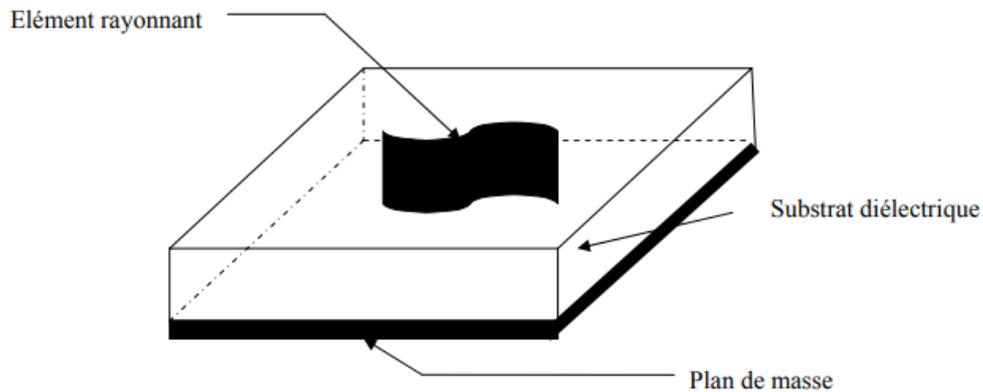


Figure II- 1 : Structure de base d'une antenne imprimée [II.8]

II-1. Définition et structure d'une antenne imprimée

La configuration la plus simple d'une antenne imprimée est constituée d'un plan de masse, un substrat diélectrique caractérisé à la fois par une permittivité électrique ϵ_r et une perméabilité magnétique μ_r , et un élément rayonnant de forme quelconque appelé patch [II.1].

II-2. Méthode de conception d'antenne patch Rectangle

Bien que la méthode de la ligne de transmission est moins précise par rapport aux autres méthodes de modélisation d'antenne patch, cette méthode reste la plus simple. En fait, l'antenne patch rectangulaire est constituée d'une plaque métallique de largeur W et de longueur L , telle que illustré dans la Figure II-2. Pour les lignes micro ruban (Figure II-2-(a)), les lignes de champs électriques sont à l'intérieur du substrat et certaines d'entre elles s'étendent dans l'espace extérieur (Figure II-2-(b)). Pour cette raison, l'espace extérieur ainsi que le substrat sont considérés comme un milieu homogène à constante pour un diélectrique effective (ϵ_{reff}) défini par l'équation 1 $W/h > 1$ (Figure. 4(c)).

$$\epsilon_{reff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \times \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \dots II - 1$$

Où : ϵ_{reff} est la constante diélectrique effective, ϵ_r est la constante diélectrique du substrat, W est la largeur de l'élément rayonnant et h est l'épaisseur.

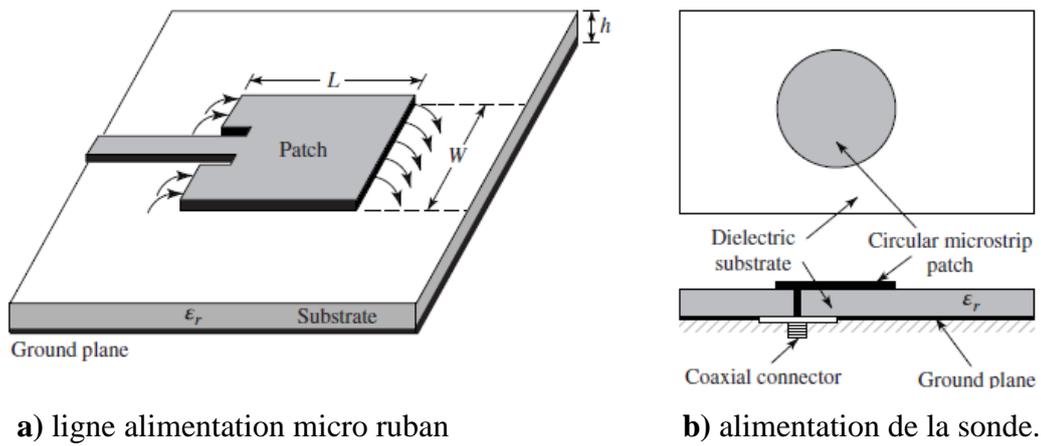


Figure II- 2 : Antenne Patch [II-9]

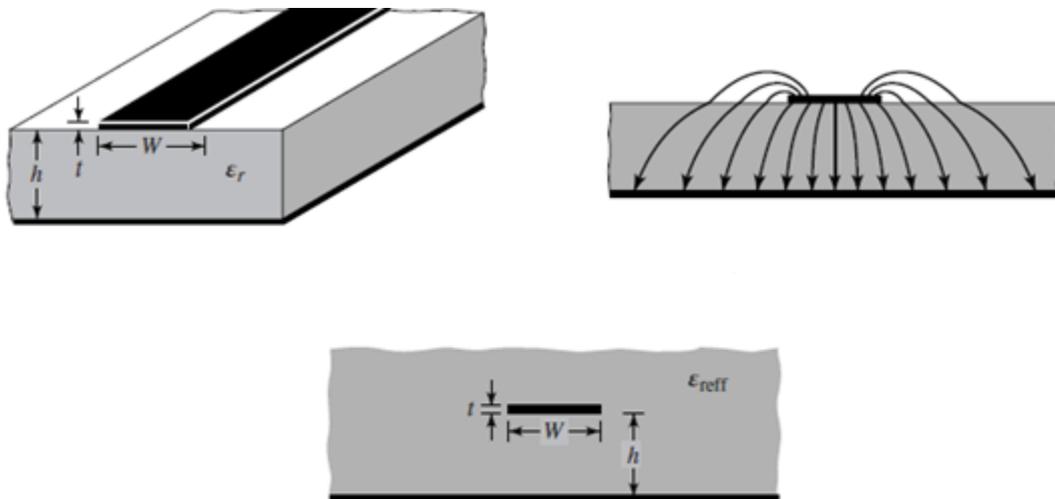


Figure II- 3 : Une ligne Micros trip, lignes du champ électrique et la constante diélectrique effective [II-9].

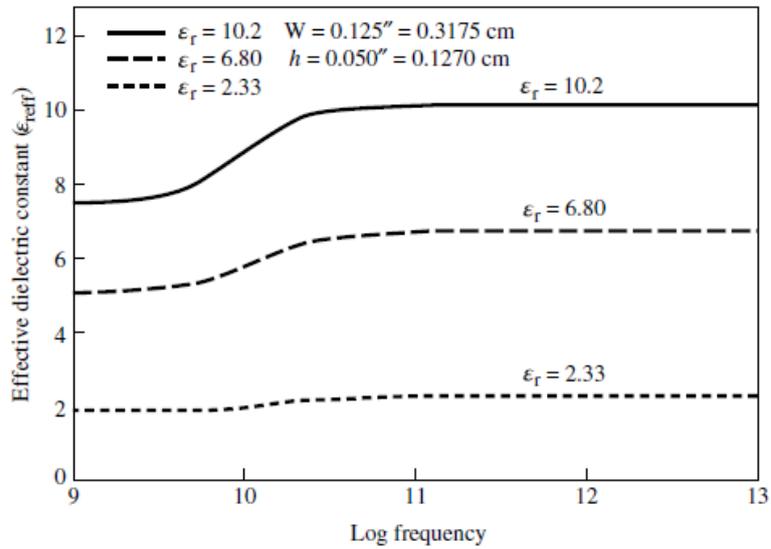


Figure II- 4 : Constante diélectrique effective en fonction de la fréquence pour des substrats typiques [II-10].

En raison des effets de bord, l'antenne patch semble être plus grande que ses dimensions physiques.

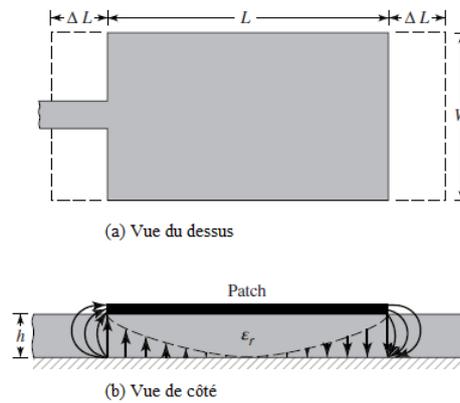


Figure II- 5 : La longueur de l'antenne patch est allongée de part et Δl

Donnée par l'équation II-2 d'autre par une quantité [II-9].

$$\frac{\Delta L}{h} = 0.412 \times \frac{(\epsilon_{reff} + 0.3) \times \left(\frac{W}{h} + 0.264\right)}{(\epsilon_{reff} - 0.258) \times \left(\frac{W}{h} + 0.8\right)} \dots II - 2$$

Remarque : $\Delta L = 0.5 \ h$

La longueur effective de l'antenne patch L_{eff} est alors donnée par l'équation 3.

$$L_{eff} = L + 2\Delta L \dots II - 3$$

Chapitre II : Etude sur les antennes patch avec une jonction solaire

Avec c est la vitesse de la lumière dans l'espace libre. Puisque les effets de bord sont pris en compte, cette fréquence sera déterminée par l'équation ci-dessous :

$$(f_{rc})_{010} = \frac{1}{2L_{eff}\sqrt{\epsilon_{reff}}\sqrt{\mu_0 \cdot \epsilon_0}} = \frac{c}{2(L+\Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}} \dots II - 5$$

Nous pouvons donc définir une représentation du facteur q , qui est le facteur marginal (facteur de bord) est donné par l'équation suivante :

$$q = \frac{(f_{rc})_{010}}{(f_r)_{010}} = \frac{L\sqrt{\epsilon_r}}{(L + \Delta L)\sqrt{\epsilon_{reff}}} \dots II - 6$$

Pour avoir un élément rayonnant efficace, une largeur pratique (W) qui conduit à une bonne efficacité rayonnement est donnée par la formule 7.

$$W = \frac{c}{2f_r} \cdot \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \dots II - 7$$

Nous pouvons donc résumer la procédure de conception des antennes patches rectangulaires par la procédure le tableau II-2 ci-dessous. L'antenne étudiée se caractérise par un substrat (FR4), et une épaisseur h et ayant une constante diélectrique ϵ . En appliquant la méthodologie de conception d'une antenne patch rectangulaire précédente. Les dimensions d'une antenne patch ayant une fréquence de résonance de 9.9 GHz sont : $W=23$ mm et $L=23$ mm. En général, le comportement de l'antenne patch change en fonction du mode d'alimentation.

Paramètre	Mm
Wp	9.30
Lp	6.58
Wf	3.55
Lf	8.21
Ql	2.77
Qw	1.55
Hs	0.035
Ht	0.508

Tableau II- 1 : Dimensions physiques de l'antenne patch.

La polarisation de l'onde est la donnée de base pour l'étude de l'antenne efficace. Selon la façon dont l'antenne est construite, elle ne recevra qu'une certaine forme de polarisation. Donc, si la polarisation de l'antenne de réception ne correspond pas à la polarisation de l'antenne lors de la transmission, la puissance reçue ne sera pas maximale. Nous rappelons ici les caractéristiques de la polarisation des ondes électromagnétiques.

III. ALIMENTATIONS

Les antennes patch micro ruban peuvent être alimentées par une variété de méthodes. Ces méthodes peuvent être classées en deux catégories : avec contact et sans contact. Dans la méthode avec l'alimentation RF est directement transmise au patch rayonnant à l'aide d'un élément de connexion en utilisant un élément de connexion tel qu'une ligne micro ruban. La méthode sans contact, est caractérisée par un couplage de champ électromagnétique qui permet le transférer de la puissance entre la ligne micro ruban et le patch rayonnant. L'onde électromagnétique assure le transfert de l'énergie entre la ligne micro ruban et la plaque radiante patch rayonnant. Les quatre techniques d'alimentation les plus populaires et les plus utilisées sont la ligne micro ruban, la sonde coaxiale (les deux schémas de contact), le couplage par ouverture et le couplage de proximité (les deux schémas de contact), le couplage d'ouverture et le couplage de proximité (tous deux sans contact).

III-1. Les alimentations par contact

Dans ce type d'alimentation, une ligne micro trips (ou micro ruban) sont fixés au patch pour apporter de l'énergie à ce dernier. Cette technique est la plus utilisée pour les antennes micro ruban, étant donné que l'antenne et les circuits d'alimentation sont gravés sur le même substrat, assurant ainsi une mise en œuvre aisée. Cependant, ce régime comporte un rayonnement parasite considérable qui est généré.

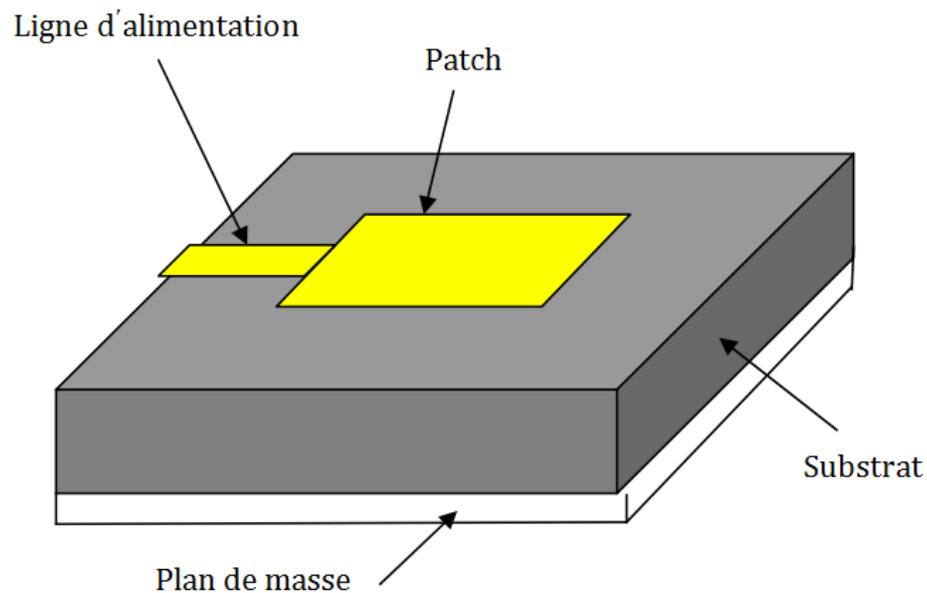


Figure II- 6 : Alimentation de ligne micro ruban [II-12].

Caractéristiques	Alimentation par Ligne micro-ruban	Alimentation Coaxiale	Alimentation couplée par Ouverture	Alimentation couplée par Proximité
Rayonnement parasite de l'alimentation	Plus	Plus	Moins	Minimum
Fiabilité	Meilleur	Pauvre à cause de soudure	Bon	Bon
Facilité de fabrication	Facile	Soudure et forage requis	Alignement requis	Alignement requis
Adaptation d'Impédance	Facile	Facile	Facile	Facile
Bande passante (Réalisée avec adaptation d'impédance)	2-5%	2-5%	2-5%	2-5%

Tableau II- 2 : Comparaison entre les différentes techniques d'alimentation [II-13]

III-2. Alimentation par cellule photovoltaïque

III-2-1. Généralités sur les systèmes solaires

III-2-1-A. Soleil

Le soleil est une étoile parmi tant d'autres. Il a un diamètre de 1390000 km, soit environ 50 fois celui de la terre. Il est composé de 80% d'hydrogène, 19% d'hélium et 1% d'un mélange de 100 éléments (figure II-7). Il est aujourd'hui admis que le soleil est une bombe thermonucléaire hydrogène hélium transformant chaque seconde 564 millions de tonnes d'hydrogène en 560 millions tonnes d'hélium ; la réaction se faisant dans son noyau à la température d'environ 25 millions de degrés Celsius. Ainsi, à chaque seconde, le soleil est allégé de 4 millions de tonnes dispersées sous forme de rayonnement. Sa lumière, à une vitesse de 300000 km/s, met environ 8 minutes pour parvenir à la terre [II-14].

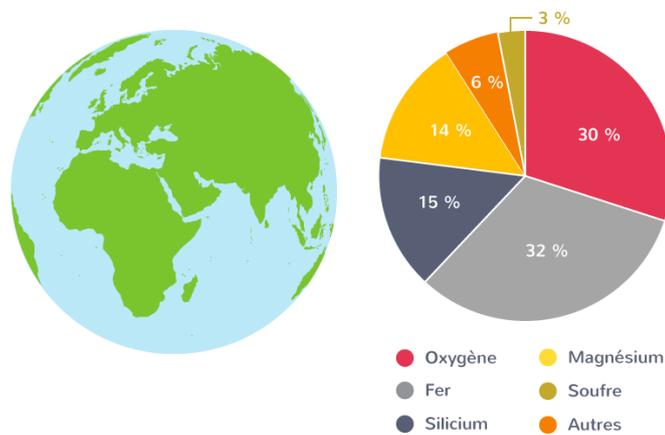


Figure II- 7 : Composition du soleil par différents éléments chimiques [II.15]

III-2-1-B. Spectre soleil

La lumière solaire est composée de toutes sortes de rayonnements, de couleurs différentes, caractérisées par différentes longueurs d'onde. Des photons ; grains de lumière composent ce rayonnement électromagnétique. En 1924, Louis de Broglie a confirmé la nature à la fois corpusculaire et ondulatoire de la lumière : présence de corpuscules (photons) et propagation d'ondes avec une fréquence de vibration et une longueur d'onde. Le rayonnement émis par le soleil correspond à celui du corps noir à la température de 6000 °C. L'intensité du rayonnement au-dessus de l'atmosphère est de 1.35 kW/m², avec un spectre centré au voisinage de $\lambda=0.48 \mu\text{m}$. A la surface du sol, la densité de puissance n'est plus que de 0.9 kW/m² en raison de l'absorption essentiellement par l'ozone, l'eau et le gaz carbonique. En outre, le spectre n'est plus continu mais présente des bandes d'absorption. Pour mesurer l'effet de l'atmosphère on utilise l'air masse, défini par $AM=1/\cos \alpha$ ou α représente l'angle que fait la direction du soleil avec la

verticale. AM0 est utilisé pour préciser les conditions au-dessus de l'atmosphère. AM 1.5 étant celui atteignant le sol par temps clair (surface d'un mètre carré faisant un angle de 48° avec l'équateur). De plus, on distingue les spectres AM1.5D et AM1.5G qui correspondent respectivement au flux direct et au flux global (direct et diffus). La figure [II-8] donne ces spectres. Elle indique quelques semi-conducteurs utilisés pour les applications photovoltaïques ainsi que leurs énergies de gap correspondantes [II-14].

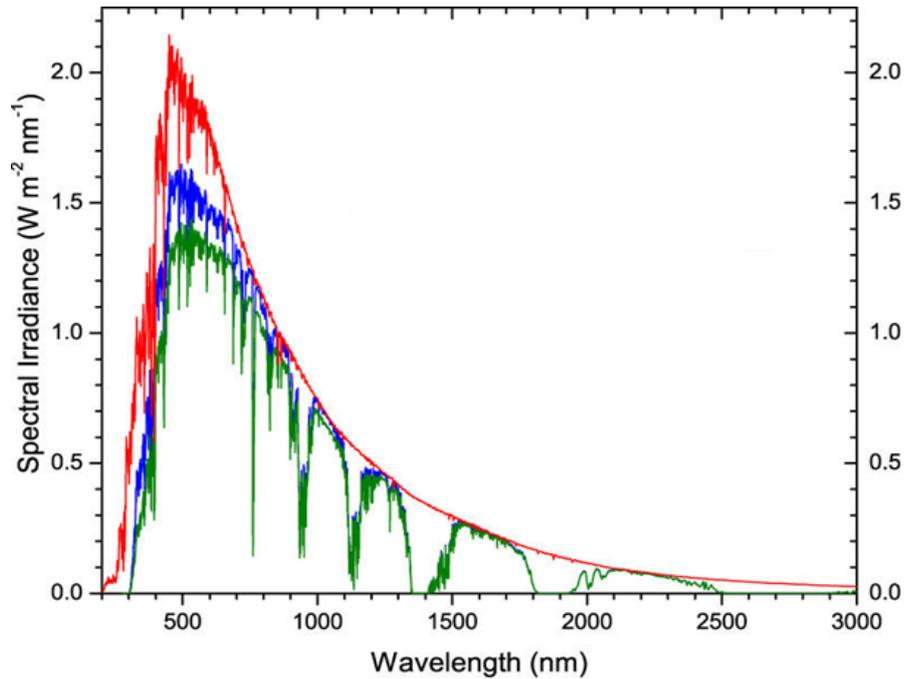


Figure II- 8 : Irradiance ou spectre solaire à la surface de l'atmosphère terrestre et au sol

[II-14].

III-2-1-C. L'énergie solaire

La constante solaire est la densité d'énergie solaire qui atteint la frontière externe de l'atmosphère faisant face au soleil. La valeur de l'éclairement est communément prise égale à 1360 W/m^2 . Au niveau du sol, la densité d'énergie solaire est réduite à 1000 W/m^2 à cause de l'absorption dans l'atmosphère. Albert Einstein a découvert en travaillant sur l'effet Photoélectrique que la lumière n'avait pas qu'un caractère ondulatoire, mais que son énergie est portée par des particules, les photons. L'énergie d'un photon étant donnée par la relation :

$$E = \frac{h * c}{\lambda} \quad \dots II - 8$$

Energie des photons

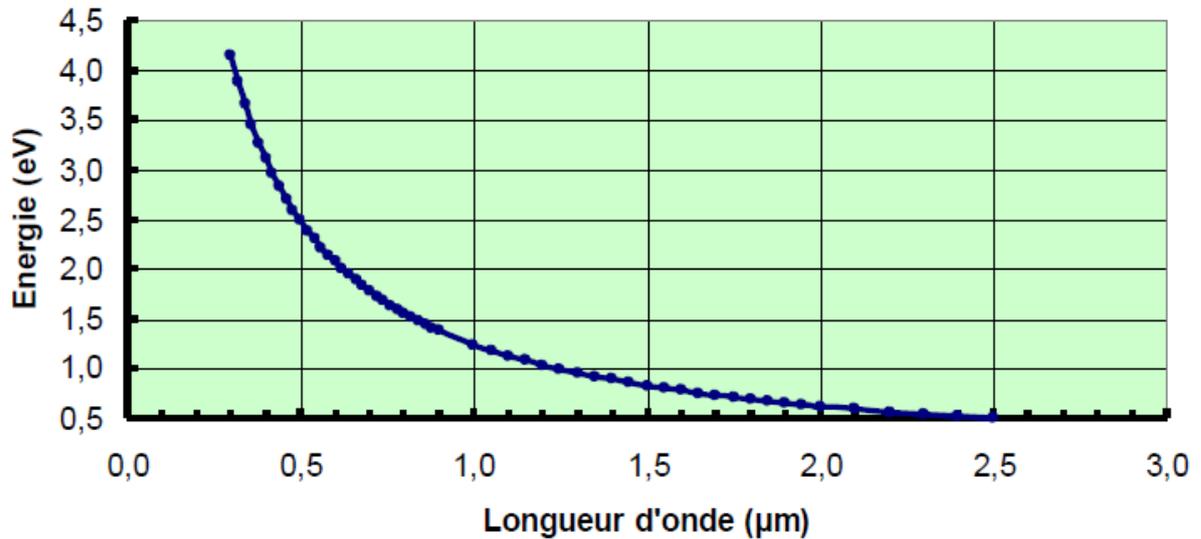


Figure II- 9 : Réponse spectrale d'une cellule PV [II-16]

h : la constante de Planck [j. s⁻¹].

C : la vitesse de la lumière [m. s⁻¹].

λ : la longueur d'onde [m].

Ainsi, plus la longueur d'onde est courte, plus l'énergie du photon est grande [II-15]. L'énergie d'un photon étant donnée par la relation suivante, une façon commode d'exprimer cette énergie est :

$$E = \frac{h * c}{\lambda} \quad \dots \text{II}_8$$

$$E = \frac{1.26}{\lambda}$$

Le soleil émet un rayonnement électromagnétique compris dans une bande de longueur d'onde variant de 0,22 à 10 microns (μm) [II-16].

IV. L'EFFET PHOTOVOLTAÏQUE

L'effet photovoltaïque est la conversion directe de l'énergie du rayonnement solaire en énergie électrique au moyen de cellules généralement à base de silicium. Pour obtenir une puissance suffisante, les cellules sont reliées entre elles et constituent le module solaire [II-17].

Une cellule photovoltaïque est un composant électronique qui produit de l'électricité lorsqu'il est exposé à la lumière [II-18]. Le plus souvent, elle est constituée de semi-conducteurs fabriqués à base de silicium, l'un des éléments les plus abondants sur terre mais délicat à transformer.

Récemment, des technologies reposant sur d'autres semi-conducteurs, comme le tellure de cadmium notamment, ont été développées.

IV-1. Fonctionnement simplifié d'une cellule photovoltaïque

Afin d'expliquer le fonctionnement des cellules photovoltaïques, il est nécessaire d'employer quelques concepts physiques. Le silicium est le matériau principal des cellules et est constitué d'atomes. Les atomes eux-mêmes sont constitués d'un noyau et d'électrons gravitant autour de lui. Lorsque les électrons de silicium entrent en contact avec des photons (particules de lumière solaire), ils sont agités. Pour qu'ils circulent de manière à produire du courant, il faut qu'il y ait un positif et un négatif, comme sur une batterie. Pour cela, le silicium est associé au bore pour l'électrode positive et au phosphore pour l'électrode négative (c'est la face tournée vers le soleil). En raison de ce système positif et négatif, les électrons se déplacent naturellement entre les deux pour rééquilibrer la charge. Cela génère du courant [II-18].

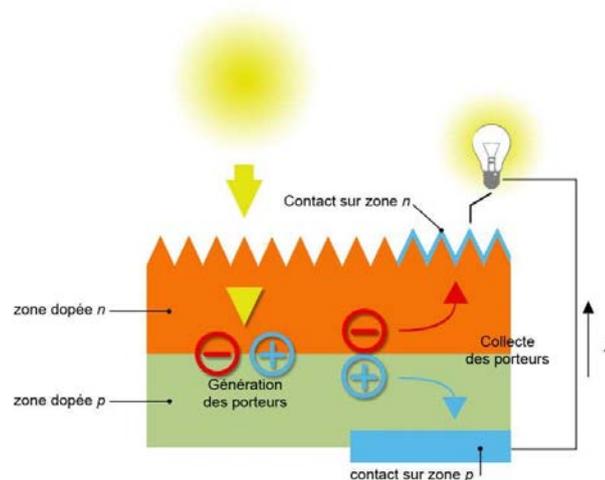


Figure II- 10 : Le fonctionnement d'une cellule PV [II-19]

IV-2. Structure du photovoltaïque

Il existe différentes sortes de cellules photovoltaïques. Même si elles fonctionnent globalement de la même manière, chacune a ses propres spécificités.

IV-2-A. Les cellules en silicium monocristallin

Les cellules de silicium monocristallin sont constituées de silicium formé à partir d'un seul cristal ordonné. Ce matériau est obtenu directement à partir de germes ou recristallisé sous forme de lingot à haute température. Il est ensuite découpé en tranches fines, qui produiront des cellules. La couleur des cellules est généralement bleu uniforme.

IV-2-B. Les cellules en silicium polycristallin

Batterie au silicium polycristallin Ces cellules sont identifiées par leur couleur bleue. Ils sont constitués de cristaux d'orientations différentes : c'est pourquoi leurs couleurs ne sont pas uniformes. Globalement, c'est le matériau photovoltaïque le plus utilisé car il est actuellement le plus rentable. Le coût de fabrication est en effet inférieur à celui du silicium monocristallin, et le principal inconvénient des cellules en silicium polycristallin est que le rendement est inférieur à celui du silicium monocristallin. Il est donc nécessaire d'en installer plusieurs pour générer la même quantité d'énergie [II-20].

IV-2-C. Cellule en silicium amorphe

La technologie « couche mince » désigne un type de cellule obtenue par diffusion d'une couche mince de silicium amorphe sur un substrat (verre). Son rendement typique est de 6%-7%, au laboratoire le rendement maximum obtenu est de 12.7% [II-21].

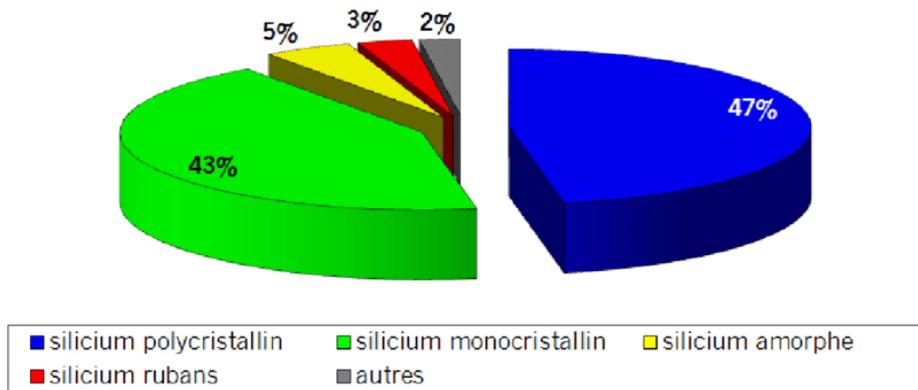


Figure II- 11 : Le recyclage des panneaux photovoltaïques [II-22].

IV-3. Caractéristiques d'une cellule photovoltaïque

En l'absence d'éclairage, une cellule PV fonctionne comme une diode semi-conductrice unique idéale en parallèle avec une source de courant, où un courant de diode, I_D , circule du côté p au côté n de la jonction p-n. Comme le montre la figure [II-12] ci-dessous, un modèle de cellule solaire PV peut être représenté par un circuit électrique équivalent. Lorsque la cellule PV est soumise à un éclairage variable, un courant est généré par les photons, qui est souvent appelé (photo courant, I_{ph}). Une valeur de sortie constante dépend de l'intensité lumineuse constante de l'éclairage et de la température.

Le circuit électrique équivalent est également nécessaire pour comprendre le comportement des caractéristiques de la courbe I-V, ce qui sera démontré dans ce chapitre. Le modèle de circuit équivalent d'une cellule solaire PV simple est illustré à la Figure [II-12].

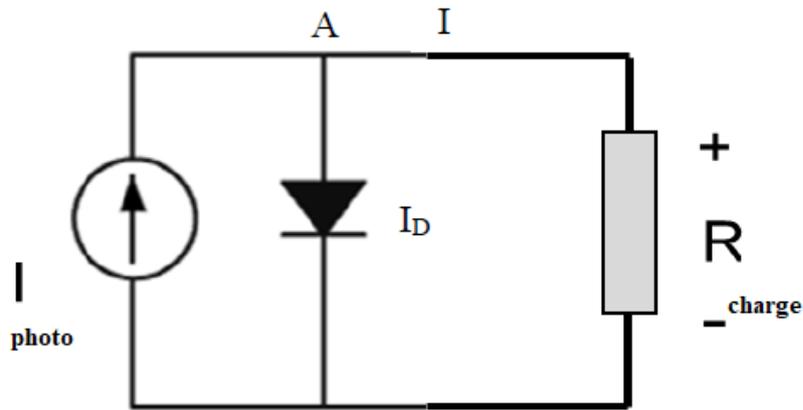


Figure II- 12 : Modèle de circuit équivalent d'une cellule PV [II-23].

Du point de vue de la théorie des composants électriques, les règles de la loi du courant de Kirchhoff peuvent être appliquées à un circuit équivalent PV idéal et à sa réponse à une charge, afin d'analyser et de déterminer les courants distribués par les cellules solaires. Le courant de la cellule peut être obtenu comme indiqué ci-dessous si la loi du courant de Kirchhoff est appliquée au circuit du nœud (A) [II-23].

$$I = I_D + I_{ph} \dots II - 9$$

Où, I : est le courant de sortie de la cellule solaire, I_{ph} : est le courant photo-généré, I_D : est le courant de la diode. Le courant de diode I_D est donné par la formule de la diode de Schrockley :

$$I_D = I_o \left[\exp \frac{qV}{KT} - 1 \right] \dots II - 10$$

En remplaçant I_D de l'équation (4.1) par l'équation (4.2), on obtient :

$$I = I_L - I_o \left[\exp \frac{q(V)}{nKT} - 1 \right] \dots II - 11$$

Où :

I_o : " courant de saturation de l'obscurité "

Q : charge d'un électron ($1,602 \times 10^{-19}$ C),

V : tension appliquée aux bornes de la diode,

n : facteur idéal,

K : constante de Boltzmann ($1,381 \times 10^{-23}$ J/K),

T : température de fonctionnement de la cellule

I_L : courant généré par la lumière.

Afin de déterminer la puissance de sortie globale d'une mesure des caractéristiques d'une cellule solaire polycristalline lorsqu'elle est intégrée à des antennes patch hyperfréquences. Plusieurs

paramètres clés importants doivent être réalisés et mesurés, tels que : la tension en circuit ouvert (V_{oc}), le courant de court-circuit (I_{sc}), le facteur de remplissage (FF) et le rendement, qui sont examinés dans les sections suivantes.

IV-3-A. Tension en circuit ouvert (V_{oc})

La tension en circuit ouvert, V_{oc} : est la tension maximale disponible aux bornes en circuit ouvert d'une cellule solaire idéale sans charge connectée, et ce, à courant nul. Son modèle de circuit équivalent est illustré à la figure [II-13].

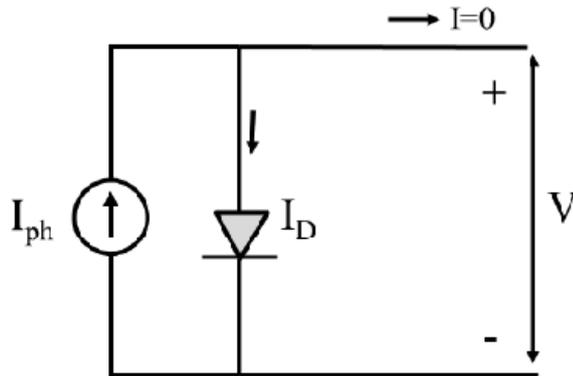


Figure II- 13 : Circuit équivalent de la terminaison en circuit ouvert d'un modèle PV [II-23].

En supposant que le courant de sortie, zéro le V_{oc} peut être dérivé comme suit :

$$I = I_L - I_0 \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right) \dots II - 12$$

$$I_{ph} = qAG(L_h + L_e) \dots II - 13$$

Où : q : est la charge électrique, A est la surface de la section transversale, G : est le taux de génération et (L_h, L_e) sont les longueurs de diffusion du trou et de l'électron. Comme à la terminaison en circuit ouvert, le courant de la cellule est égal à zéro, il peut être exprimé par :

$$I = \left\{ I_0 \left[\exp \frac{qV}{KT} - 1 \right] - I_{ph} \right\} = 0 \dots II - 14$$

Si le courant de la cellule est égal à zéro, donc, un point de puissance de sortie est $P = I \times V = 0$, à $I = 0 \rightarrow V = V_{oc}$, la tension en circuit ouvert peut être donnée comme :

$$V_{oc} = \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} + 1 \right) \cong \frac{KT}{q} \ln \left(\frac{I_{ph}}{I_0} \right) \dots II - 15$$

IV-3-B. Courant de court-circuit (ISC)

Le courant de court-circuit d'une cellule solaire idéale est la valeur maximale du courant d'une cellule lorsque les bornes sont connectées (condition de court-circuit, SC) avec une charge

à résistance nulle, lorsque la tension est égale à zéro. La figure [II-23] illustre un modèle simplifié de circuit équivalent pour le courant de court-circuit (I_{sc}). Notez que I_{sc} est directement proportionnel à la lumière solaire disponible, le courant de court-circuit est donc le courant maximum qui peut être produit par la cellule solaire.

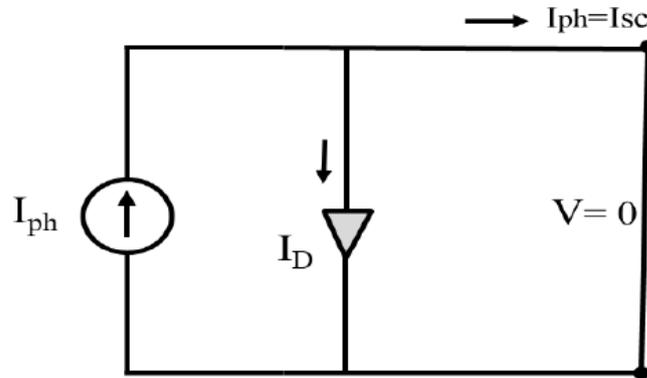


Figure II- 14 : Circuit équivalent de la terminaison du court-circuit d'un modèle PV [II-23]

Dans cette situation, la tension aux bornes du modèle de diode est égale à zéro, $I_D = 0$, ce qui signifie que le courant de cellule résultant est égal aux photons courants. Par conséquent, cela conduit à $I_{ph} = I_{sc}$, qui est le courant maximal pouvant être délivré par une cellule solaire dans un circuit. A partir du circuit équivalent simplifié ci-dessus dans la Figure 4.4, le courant de court-circuit peut être trouvé comme suit :

$$I_{sc} = \left\{ I_o \left[\exp \frac{qV}{KT} - 1 \right] - I_{ph} \right\}_{V=0} \dots II - 16$$

En substituant $V=0$, dans l'équation (II - X), le courant de court-circuit peut être déterminé comme suit :

$$I_{sc} = I_{ph} = -qAG(L_h + L_e) \dots II - 17$$

IV-3-C. Puissance de la cellule PV

Dans des conditions de fonctionnement ambiantes fixes (éclairage, température, vitesse de circulation de l'air ambiant, etc.), puissance électrique disponible P (W) aux bornes d'une cellule photovoltaïque est:

$$P = V \times I \dots II - 18$$

$P(w)$: Puissance fournie par la cellule PV.

$V(V)$: Tension mesurée aux bornes de la cellule PV.

$I(A)$: Intensité débitée par la cellule PV.

IV-3-D. Puissance maximale d'une cellule PV

$$P_{max} = V_{co} \times I_{cc} \dots II - 19$$

P_{max} (W) : La puissance fournie par la cellule PV.

V_{co} (V) : La tension de circuit ouvert mesurée aux bornes de la cellule PV.

I_{cc} (A) : L'intensité de court-circuit débitée par la cellule PV.

En pratique, la courbe caractéristique d'une cellule photovoltaïque est plus « arrondie » (Figure II- 15), et la tension du point de puissance maximale $V_{P_{max}}$ est inférieure à la tension du circuit allumé V_{co} comme si le courant fourni $I_{P_{max}}$ était inférieur à la même tension courant de court-circuit I_{cc} . L'expression de la puissance à ce moment est :

$$P_{Max} = VP_{Max} * IP_{Max} \dots II - 20$$

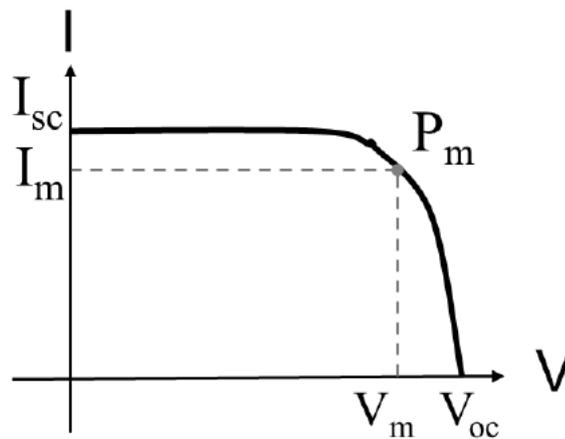


Figure II- 16 : Puissance maximale idéal et pratique [II-23].

IV-3-E. Rendement énergétique

C'est le rapport entre la puissance électrique maximale fournie par la cellule $V_{max}(I_{opt},V_{opt})$ et la puissance solaire incidente. Il est donné par :

$$\eta = \frac{P_{max}}{P_{inc}} = \frac{I_{max}V_{max}}{P_{inc}} \dots II - 21$$

Type de cellule photovoltaïque	Efficacité maximale (recherche)
Monocristalline Silicon	26.7 ± 0.5 %
Polycristalline Silicon	22.3 ± 0.4%
Amorphes Silicon	11.9 ± 0.3%

Tableau II- 3 : Enregistrement de l'efficacité des cellules solaires [II-25].

Rayonnement [W/m ²]	Température [°C]	Puissance optimale [W]	Rendement
1000	55	71.79	12.04
750	45	57.30	12.82
500	35	40.26	13.51
250	25	20.85	13.99

Tableau II- 4 : Rendement du module photovoltaïque [II-26].

IV-3-F. Facteur de forme

On appelle facteur de forme FF, dit aussi facteur de courbe ou facteur de remplissage (fill factor), le rapport entre la puissance maximum fournie par la cellule P_{max} (I_{max} , V_{max}) et le produit du courant de court-circuit I_{cc} par la tension de circuit-ouvert V_{co} (c'est-à-dire la puissance maximale d'une cellule idéale). Le facteur de forme indique la qualité de la cellule, plus il s'approche de l'unité plus la cellule est performante, il est de l'ordre de 0.7 pour les cellules performantes ; et diminue avec la température. Il traduit l'influence des pertes par les deux résistances parasites R_s et R_{sh} . Il Est représenté par l'équation suivante:

$$FF = \frac{\text{Max power from real cell}}{\text{Max power from ideal cell}} = \frac{V_m I_m}{V_{oc} I_{sc}} \quad \dots II - 22$$

Ainsi, à partir de l'équation (II – 22), le facteur de remplissage peut être ré-exprimé et donné comme suit :

$$FF = \frac{P_{MP}}{V_{oc} I_{sc}} \quad \dots II - 23$$

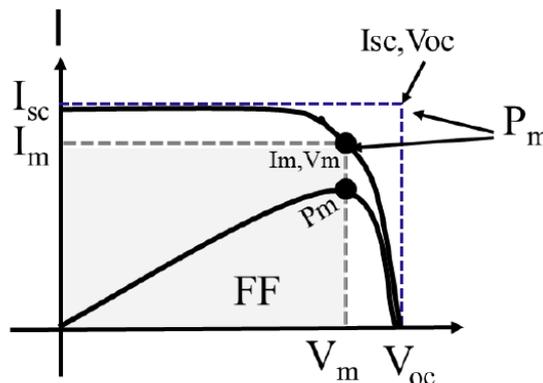


Figure II- 17: Facteur de remplissage (FF) et forme de puissance maximale [II-23].

V. PRINCIPES DE ALIMENTATION D'ANTENNE

Dans cette première étape, nous avons donc transformé l'énergie solaire en énergie électrique (courant continu et basse tension). On peut représenter cette conversion par le schéma ci-dessous.

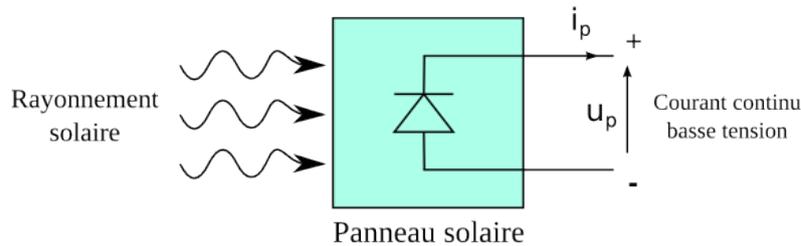


Figure II- 18 : La première brique de notre chaîne de conversion [II-28].

Les impuretés pour le silicium sont en général des atomes de phosphore et des atomes de bore. On appelle cela le suivi du point de puissance maximale. On rencontre généralement l'abréviation anglaise MPPT pour maximal (power point tracking). Les modules solaires pour les particuliers sont en général des assemblages d'environ 70 cellules solaires en série.

L'assemblage en série pose des problèmes de robustesse, si par exemple une cellule tombe en panne ou se retrouve à l'ombre.

Augmenter le niveau de tension avec un convertisseur boost

L'étape qui suit la conversion de l'énergie solaire en courant électrique basse tension, est l'élévation de tension. On utilise pour ça un convertisseur continu-continu dit survolteur. Le plus simple est le convertisseur boost [II-29].

Le convertisseur boost convertit le courant continu basse tension en courant continu haute tension. Il transforme dans une première étape l'énergie électrique en énergie magnétique, et dans une deuxième étape l'énergie magnétique en énergie électrique. On recommence périodiquement ces deux étapes jusqu'à la fin des temps.

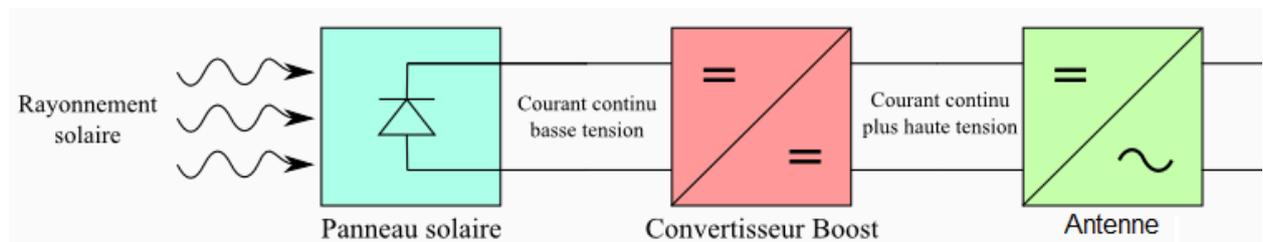


Figure II- 19 : Schéma de la chaîne de conversion [III-29].

Le composant qui stocke l'énergie magnétique et la restitue est une bobine. Dans une des configurations, la source fournit de l'énergie par cellule solaire à la bobine ; dans l'autre, la bobine fournit de l'énergie vers la sortie vers l'antenne.

VI. DISPOSITIFS SANS FIL ET CELLULES SOLAIRES

Les capteurs sans fil où les cellules solaires sont séparées du système sans fil ont été largement utilisés jusqu'à présent et de nombreux travaux ont été menés pour optimiser la production d'énergie et utiliser intelligemment l'énergie stockée. Dans [II-30], une alimentation photovoltaïque est développée pour alimenter un nœud de capteur d'intensité lumineuse sans fil séparé. Un système de gestion de l'énergie a été mis au point pour suivre le point de puissance maximale d'un petit panneau solaire et assurer la charge régulière d'un super condensateur dans des conditions d'intensité lumineuse variables.

Les super condensateurs à charge rapide sont un composant essentiel de la production d'énergie solaire à petite échelle afin d'utiliser pleinement les courants élevés produits par les cellules solaires en silicium mono et polycristallin. Alors que les circuits d'élévation de tension et de charge des batteries ont des capacités de traitement du courant limitées, un super condensateur peut rapidement stocker autant d'énergie que possible pendant de courtes périodes d'insolation.

Dans, un système est développé pour choisir la route la plus efficace pour transmettre des données entre deux nœuds dans un réseau. Le système suit l'énergie stockée de chaque nœud, qui varie en fonction de l'intensité lumineuse à l'emplacement de chaque nœud. Il utilise ces données pour choisir une route.

VI-1. Approches précédentes des antennes solaires intégrées

De nombreuses tentatives ont été faites pour coupler des antennes et des cellules solaires. L'intégration, d'antennes et de cellules solaires, prend généralement l'une des cinq formes suivantes :

- ❖ La cellule solaire est simplement placée au-dessus de l'élément rayonnant ou du plan de masse avec suffisamment d'espace autour de l'antenne pour permettre à l'antenne de rayonner en laissant un espace de surface inutilisé.
- ❖ La cellule solaire fournit un support auxiliaire pour l'antenne métallique, par exemple en tant que réflecteur parabolique.
- ❖ La cellule solaire est utilisée comme élément rayonnant de l'antenne et un plan de masse métallique est fourni pour obtenir le rayonnement.
- ❖ La cellule solaire est utilisée comme masse RF pour l'antenne métallique.
- ❖ Antenne solaire complète intégrée, dans laquelle les cellules solaires forment les éléments rayonnants, aucune métallisation supplémentaire n'est nécessaire pour obtenir le rayonnement.

VI-2. Co-implantation d'antennes et de cellules solaires

La forme la plus simple d'intégration solaire consiste à Co-localiser l'antenne et la cellule solaire afin de minimiser l'espace, c'est-à-dire que l'antenne est entièrement métallique avec des cellules solaires disposées à proximité. Cela minimise l'interaction en garantissant que les deux systèmes sont fonctionnellement séparés.

Cependant, des biens immobiliers supplémentaires sont nécessaires, ainsi que le coût additionnel de la métallisation de l'antenne et du plan de masse.

La co-implantation d'une antenne en F inversé (IFA) à guide d'ondes coplanaire de 920 MHz avec des cellules solaires a-Si a démontré l'isolation des fonctions de l'antenne et du système solaire pour éviter les interférences mutuelles. L'antenne occupait 25% de l'empreinte solaire disponible.

Des antennes à polarisation circulaire ont été utilisées avec des cellules solaires dans des applications spatiales. Dans ce cas, des antennes patch à microbande à polarisation circulaire fonctionnant à 2,4 GHz ont été positionnées à différents endroits sur un mini-vaisseau spatial afin de déterminer la meilleure configuration pour garantir le maintien de la communication au sol. Ces conceptions nécessitent des surfaces distinctes pour les antennes et les cellules solaires, ce qui signifie que le satellite doit être de grande taille.

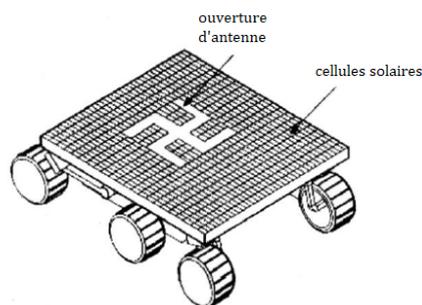


Figure II- 20 : Antenne à fente pour les applications spatiales [II-31].

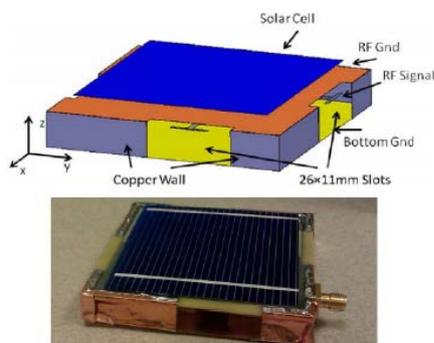


Figure II- 21 : Antenne à fente quadruple [II-32].

V-3. Cellules solaires fonctionnant comme un plan de masse

Les coûts de fabrication peuvent être encore réduits en utilisant des cellules solaires comme plans de masse et en intégrant des éléments rayonnants métalliques à un coût bien inférieur. Cependant, les ombres d'antenne sur les cellules solaires peuvent affecter négativement la production d'énergie solaire, et la structure des cellules solaires peut entraîner des difficultés d'adaptation d'impédance.

Les solutions avec une hauteur intégrée de 2 mm utilisent des antennes patch sur des cellules poly cristallines [II-33].

Dans [II-33], les cellules solaires ont été fixées à une plaque d'aluminium à l'aide d'époxy conducteur pour former le plan de masse de l'antenne maillée sur un substrat transparent. L'antenne s'est avérée difficile à faire correspondre l'impédance de l'alimentation à travers la cellule solaire connectée au plan de masse, causant des dommages au radiateur.

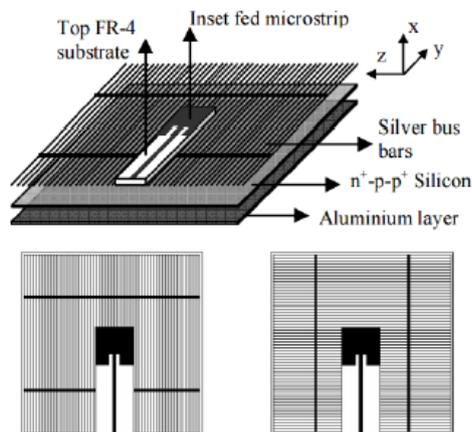


Figure II- 22 : Antenne de correction solaire [II-34].

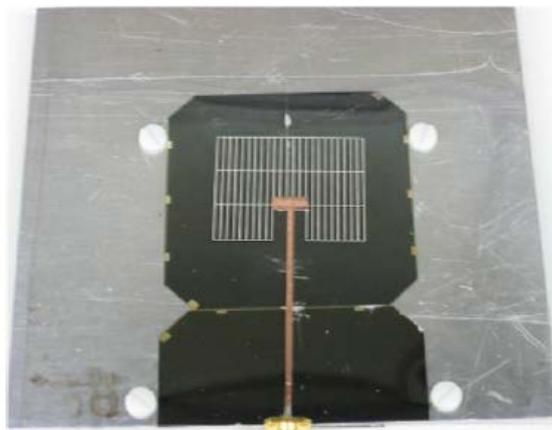


Figure II- 23 : Antenne patch maillée [II-35].

VII. LES AVANTAGES ET LES INCONVENIENTS DE L'ENERGIE PHOTOVOLTAÏQUE

VII-1. Les avantages de l'énergie photovoltaïque

L'énergie photovoltaïque offre de multiples avantages.

- ❖ La production de cette électricité renouvelable est propre. Elle n'est pas toxique.
- ❖ Les systèmes photovoltaïques sont extrêmement fiables.
- ❖ L'énergie photovoltaïque est particulièrement attractive pour les sites urbains, dus à leur petite taille, et leur opération silencieuse.
- ❖ La lumière du soleil étant disponible partout, l'énergie photovoltaïque est exploitable aussi bien en montagne dans un village isolé que dans le centre d'une grande ville.
- ❖ L'électricité photovoltaïque est produite au plus près de son lieu de consommation, de manière décentralisée, directement chez l'utilisateur.
- ❖ Les matériaux employés (verre, aluminium) résistent aux pires conditions climatiques (Notamment à la grêle).
- ❖ La durée de vie des panneaux photovoltaïques est très longue. Certains producteurs garantissent les panneaux solaires pour une durée de 25 ans.

VII-2. Les inconvénients de l'énergie photovoltaïque

- ❖ Production d'énergie qui dépend de l'ensoleillement, toujours variable.
- ❖ Le coût très élevé.
- ❖ Faible rendement de conversion.
- ❖ S'il faut stocker l'énergie avec des batteries, le coût de l'installation augmente.
- ❖ Pollution à la fabrication.

Malgré ces inconvénients, le marché photovoltaïque ne cesse pas de trouver des applications et de s'agrandir. En plus, la technologie photovoltaïque est dans un processus de maturation dans laquelle les inconvénients pourraient s'atténuer, surtout en ce qui concerne les coûts de fabrication.

VIII. CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons présenté la description et la géométrie de l'antenne patch, et nous avons exposé les différentes techniques d'alimentation par des systèmes de conversion photovoltaïque (PV).

Nous avons aussi présenté les avantages et les inconvénients de ce type d'antenne afin de justifier le choix des modules qui composent notre système et assurer sa compatibilité avec notre besoin technique.

Chapitre II : Etude sur les antennes patch avec une jonction solaire

L'étude et la simulation d'un système conçu d'une antenne alimenté par une cellule photovoltaïque seront présenté dans le chapitre suivant.

Chapitre III :
Résultats et
Discussions

CHAPITRE III : RESULTATS ET DISCUSSION DE SIMULATION ANTENNE PATCH EN BANDE X

I. INTRODUCTION

Pour les antennes patch, les exigences principales des caractéristiques d'antennes sont précisées par une couverture omnidirectionnelle associée à un faible gain, une robustesse mécanique et une résistance aux effets environnementaux tels que les rayons ultraviolets, les charges diélectriques profondes et les charges de surface différentielles. Pour obtenir une couverture quasi omnidirectionnelle, plusieurs antennes sont souvent nécessaires. En inspectant simplement le diagramme de faisceau d'une seule antenne, on peut être induit en erreur en pensant que plusieurs antennes produiront un diagramme de rayonnement également lisse parce que cela n'est pas nécessaire. Mais ces dernières étaient exploitées dans des directions opposées et séparées les unes des autres par dix longueurs d'onde. Pour concevoir une configuration d'antenne adaptée à un mini satellite, il faut tenir en compte l'ensemble des objectifs du protocole de recherche. Les majeures parties des données utiles requises et le débit de transmission, ainsi que la puissance satellitaire disponible, permettent de définir le gain requis pour l'antenne. Les antennes à gain élevé nécessitent un mécanisme de direction d'antenne. Les configurations des paramètres déjà calculés doivent être incluses dans la simulation pendant la phase de conception et doivent prendre en compte les effets des plans de masse limités, des structures adjacentes et des systèmes d'antennes Co-implantées. Le but de ce chapitre est de mettre en œuvre le modèle théorique de notre antenne par CST Microwave studio. Un processus de la simulation étape par étape de l'antenne était présenté en détail. De plus, l'optimisation proposée par rapport à l'antenne d'icône est également décrite. Enfin, les résultats de la simulation en termes de perte de retour, de largeur de faisceau, d'impédance d'entrée et de performances sont illustrés et validés avec les valeurs théoriques, et même comparés avec les autres travaux expérimentaux.

II. GENERALITE SUR CST STUDIO

II-1. Outil de simulation

Plusieurs logiciels commerciaux sont utilisés pour simuler le comportement des structures planaires et étudier leurs performances. Parmi ces logiciels on peut citer le logiciel HFSS (High Frequency Structure Simulator) et le logiciel CST (Computer Simulation Technology). Ces deux simulateurs sont des logiciels solides et applicables à un grand type de structures. Mais nécessitent un temps de calcul important et une grande capacité mémoire. Le logiciel Microwave Studio CST que nous employons, fait usage de la méthode des

intégrales finies (FIT : Finite Integration Technique) développée par Weiland en 1977, cette méthode FIT consistée à faire une discrétisation spatiale des équations de Maxwell sous leur forme intégrale. La FIT procède par la description des équations de Maxwell sur un espace de grille, en préservant les propriétés de conservation de l'énergie, et en constituant des équations différentielles particulières telles que celle de Poisson ou l'équation d'onde. Il s'agit d'une approche très sophistiquée, et on peut l'utiliser à la fois dans le domaine temporel et fréquentiel [III-1]. Donc l'utilisateur est amené à représenter la structure de l'antenne, indiquer les caractéristiques des matériaux, définir les ports, valider et simuler le modèle dans le logiciel. La solution logicielle offerte par CST, est une option très intéressante pour la conception d'antenne en micro-ruban. Des fonctions comme l'optimisation, l'édition en 3D, la modélisation par variable, la mise à la terre finie et la possibilité de définir les conditions aux bornes, en font un logiciel très intéressant pour la tâche à effectuer dans le cadre de ce travail. Cet outil est très complet pour le développement de composante micro-onde allant de composante en micro-ruban aux composantes coaxiales. Le CST utilise deux techniques de discrétisation : une discrétisation surfacique (cellules en 2D) et une discrétisation volumique (cellule en 3D) [III-2]. En outre, vu que le calculateur du domaine temporel du logiciel agit rapidement sur une immense bande de fréquence correspondant à une faible impulsion d'entrée du domaine temporel, le CST se trouve plus approprié pour simuler sur des gammes de fréquence élevées.

Dans CST, les cellules de maillage ont toutes des formes cubiques, et l'outil de résolution temporelle utilise les différentielles Δt à la place des dérivées partielles. L'une des raisons de notre choix de ce logiciel est le gain de temps de calcul obtenu lors de la simulation d'antenne large bande, à travers l'usage d'un outil de résolution.

II-2. Différentes étapes d'utilisation du logiciel CST Studio Suite

1. Préparation sur papier de la structure à simuler
2. Dessin de la structure : dimensions géométriques des différents objets → Respect des règles de simulation.
3. Spécification des matériaux pour chaque objet. → Constantes diélectriques, conductivité des matériaux.
4. Identification des sources et (où) ports d'entrée/sortie. → Manière d'exciter la structure
5. Spécification des conditions aux limites → Types de frontières : CCE, CCM, cl rayonnantes ...
6. Configuration des paramètres de simulation → Fréquence(s) de maillage, paramètres de convergence ...
7. Analyse des solutions à 1 ou plusieurs fréquences.
8. Visualisation des résultats → Champs (\vec{H} , \vec{J} ...) → Paramètres S (+ paramètres z, y etc.)
9. Discussion et exploitation des résultats par l'utilisateur solution

II-3. Description générale du logiciel

Après avoir lancé le STUDIO SUITE™ de CST, on sera invité à ouvrir un dossier existant ou à créer un nouveau projet :

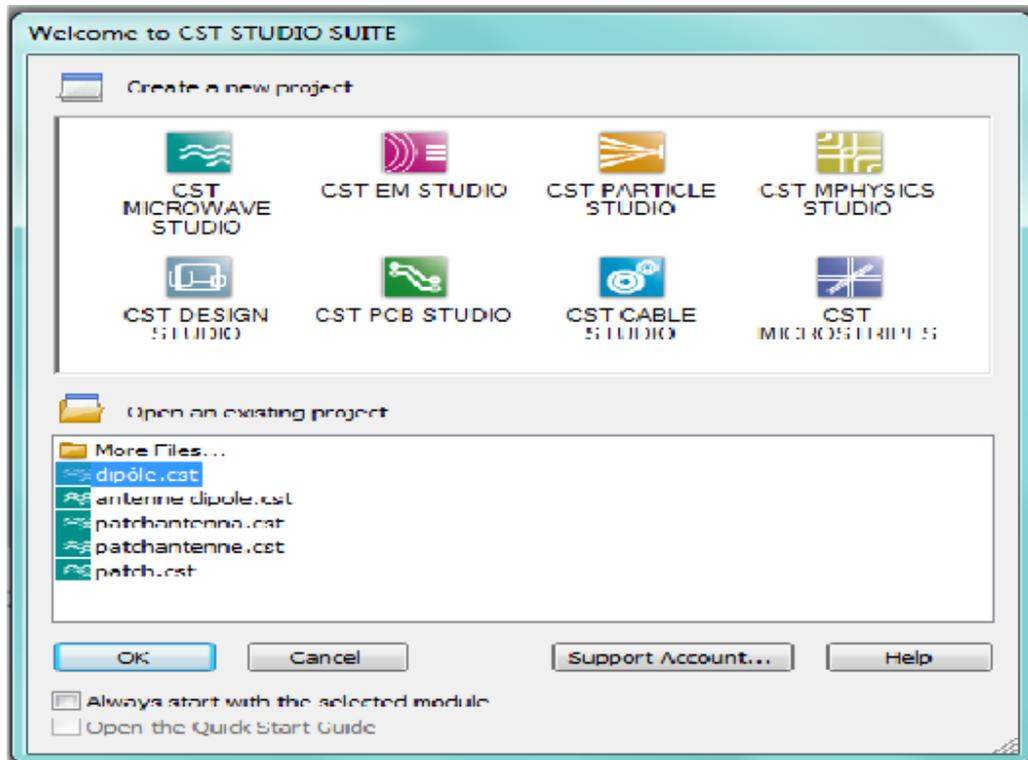


Figure III- 1: Crée un nouveau projet.

Cette boîte de dialogue nous donne la possibilité de choisir le type de projet à réaliser (CST Microwave studio, CST EM Studio, CST Particle Studio, CST Mphysics Studio, CST Design Studio, CST PCB Studio, CST Cable Studio, CST Microstrips). Pour les antennes et les micros ondes on choisit « CST Microwave studio », on clique sur « OK », la fenêtre suivante apparaît nous demandant de sélectionner un modèle de la structure qui est le plus proche de celui qu'on veut réaliser.

Une fois qu'on a choisi le modèle de structure, on accède à l'interface d'utilisateur du CST.

II-4. Structure de l'interface d'utilisateur

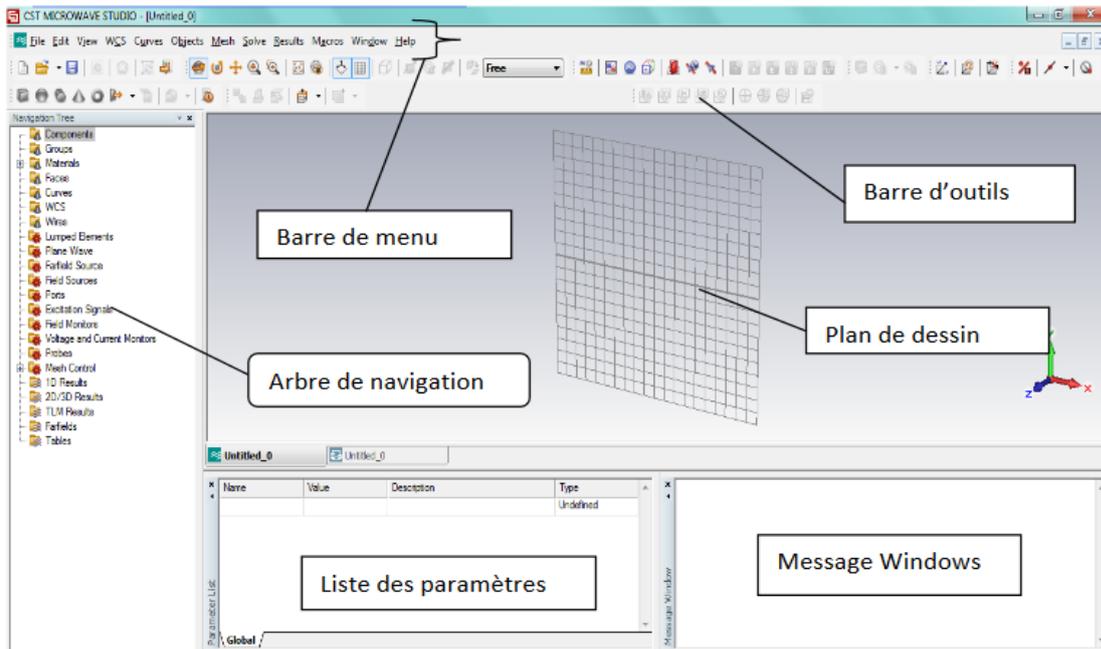


Figure III- 2 : Choix du modèle de structure.

La figure III-2 ci-dessous donne un bref aperçu de toutes les formes de base qui peuvent être générées d'une manière similaire à la brique (tel que décrit ci-dessus).

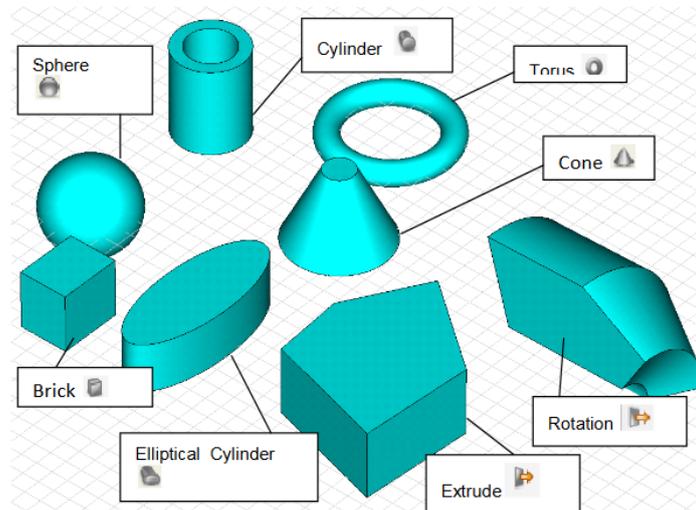


Figure III- 3 : Les différents formes de bas d'un manière similaire de brique.

Après qu'une forme ait été définie, elle est automatiquement cataloguée dans l'arbre de navigation. On peut trouver toutes les formes dans le dossier « Components ». Si on ouvre ce dossier, on trouvera un sous-dossier appelé « component1 », qui contient toutes les formes définies. Le nom de chaque forme est attribué dans la boîte de dialogue de forme définitive

lorsque la forme est créée. Les noms par défaut commencent par "solide", suivi par un nombre croissant: solid1, solid2,... etc.

On peut sélectionner une forme en cliquant sur la rubrique correspondante dans l'arbre de navigation. Lorsqu'on sélectionne une forme, elle sera affichée opaque tandis que les autres seront

transparentes (voir la photo ci-dessous). Une forme peut également être sélectionnée en double-cliquant dessus dans la fenêtre principale. Dans ce cas, l'élément correspondant dans l'arbre de navigation sera sélectionné.

III. Calcul théoriques et des dimensions du patch

III-1. Dimensions de l'élément de rayonnement rectangulaire

Tout d'abord, calculons les dimensions des éléments de rayonnement nécessaire pour avoir

une fréquence de résonance de 9,9 GHz.

Commençons avec le calcul de W, la largeur de l'élément, qui va donner un rayonnement efficace, cette dimension se calcule avec l'équation (II.7).

$$w = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 9,5 \times 10^{-9}} \times \sqrt{\frac{2}{4,3 + 1}} = 0,009m = 9000mm \dots III - 1$$

Ensuite, on peut calculer ϵ_e pour $\frac{w}{h} \geq 1$; avec h qui est l'épaisseur du substrat, ϵ_e peut être calculé avec l'équation suivante :

$$\epsilon_e = \frac{4,3 + 1}{2} + \frac{4,3 - 1}{2} \times \left[1 + 12 \times \frac{0,16}{0,009} \right]^{-\frac{1}{2}} = \dots III - 2$$

Maintenant, calculons la longueur efficace L_e et ΔL avec les équations suivantes :

$$l_e = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 9,5 \times 10^{-9} \times \sqrt{3,90}} = 7,4 \times 10^{-3}m = 7,4mm \dots III - 3$$

$$\Delta L = 0,412 \times 0,16 \times \left[\frac{(3,9 + 0,3) \times \left(\frac{8,98}{0,16} + 0,264 \right)}{(3,9 - 0,258) \times \left(\frac{8,98}{0,16} + 0,8 \right)} \right] = 0,00075m = 0,75mm \dots III - 4$$

On peut calculer la longueur effective de l'élément de rayonnement rectangulaire avec l'équation ci-dessous :

$$L_{eff} = 7,4 \times 10^{-3} - 2 \times 0,00075 = 0,0059m = 5,9mm \dots III - 5$$

Résultats et discussion de simulation antenne patch en bande X

On calcule la longueur de la ligne de l'alimentation avec l'équation :

$$L_l = \frac{3 \times 10^8}{2 \times 9,5 \times 10^9} = 0,01578m = 15,78mm \dots III - 6$$

Finalement, on peut calculer la longueur et la largeur du substrat avec les équations suivantes :

$$L_g = 0,0059 + 6 \times 0,16 + 0,01578 = 0,98168m = 981,68 \mu m \dots III - 7$$

$$W_g = 0,009 + 6 \times 0,16 = 0,969m = 969 \mu m \dots III - 8$$

Le tableau III-1 suivant représente les paramètres de l'antenne patch :

W(mm)	ϵ_e	L_e (mm)	Δ_l (mm)	L_{eff} (mm)	L_l (mm)	Lg(um)	Wg(um)
9000	3,90	7,4	0,75	5,9	15,78	981,68	969

Tableau III- 1 : Les paramètres de l'antenne patch.

III-2. Création initiale de la structure d'antenne patch

III-2-A. Le plan de masse

1. Activez l'outil de briques en cliquant sur l'icône  correspondante dans la barre d'outils de l'objet
2. On peut définir un point de départ par un double-clic sur un emplacement sur le plan du dessin.
3. Maintenant, on peut sélectionner la base de la face de coin de la brique sur le plan du dessin par double-cliquant dessus

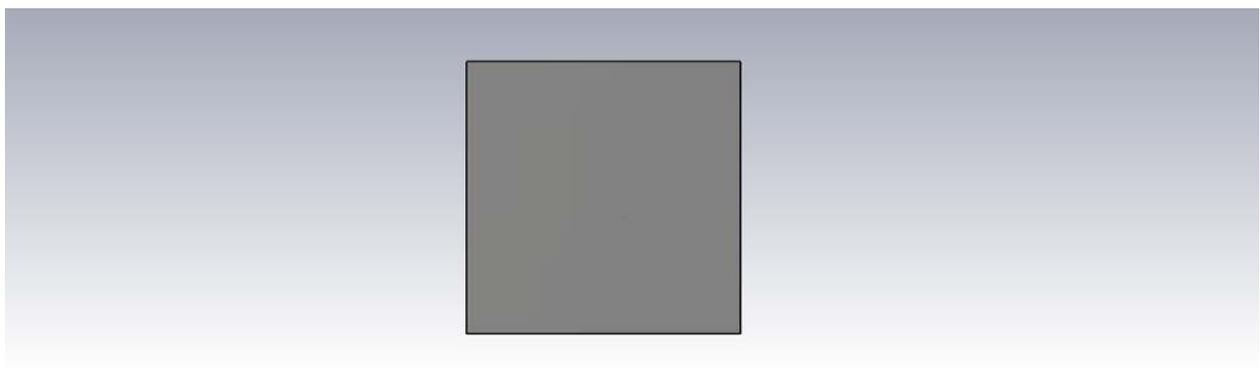


Figure III- 4 : Créer un plan de masse.

4. Ensuite, définir la hauteur de la brique en faisant glisser la souris. Double-cliquez pour fixer la hauteur de la brique.

5. Enfin, une boîte de dialogue s'ouvre où on peut introduire les valeurs numériques de toutes les coordonnées et choisir le matériau dans ce cas (PEC : perfect electric conductor) et cliquez sur OK.

III-2-B. Le substrat diélectrique

1. Choisir dans la barre d'outils l'icône  correspondante et les mêmes étapes que celles du plan de masse.

En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas « **vacuum : air** » puis cliquez sur OK.

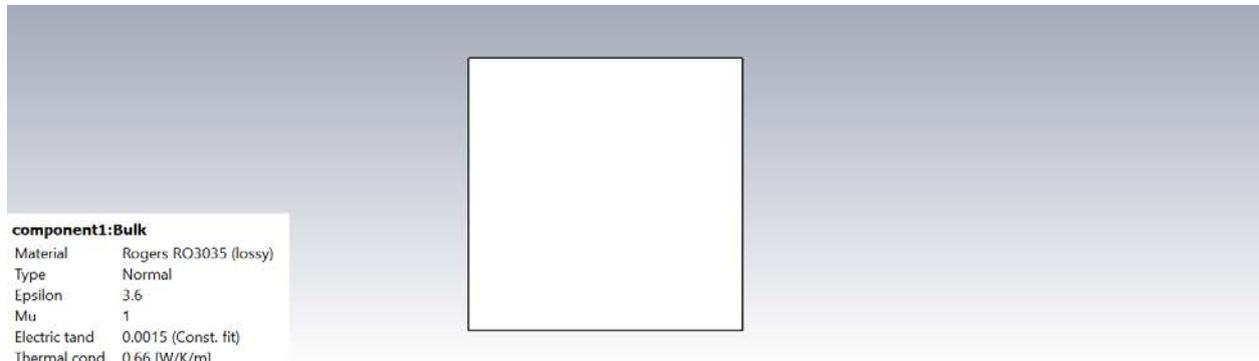


Figure III- 5 : Créer de substrat diélectrique.

III-2-C. L'antenne patch

Pour créer les 02 éléments du réseau patches il faut :

1. Choisir dans la barre d'outils l'icône  correspondante et les mêmes étapes du plan de masse.
2. En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas (PEC) et cliquez sur OK.
3. On va le refaire ces étapes pour le deuxième élément du réseau.

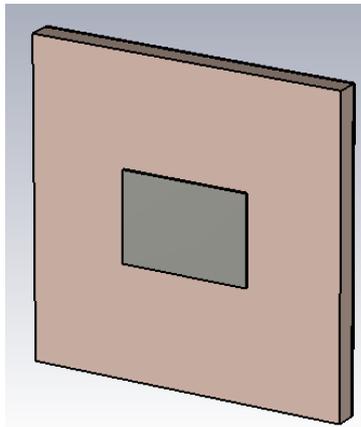


Figure III- 6 : Créer le premier élément d'antenne.

III-2-D. La ligne micro ruban

1. Choisir dans la barre d'outils l'icône correspondante et les mêmes étapes du plan de masse
2. En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas (PEC) et clique sur **OK** ;
3. On clique sur le patch, ensuite sur la barre d'outils on clique sur et choisir « **add** », après une autre clique sur l'encoche que l'on a créé puis sur **Entrée** ;

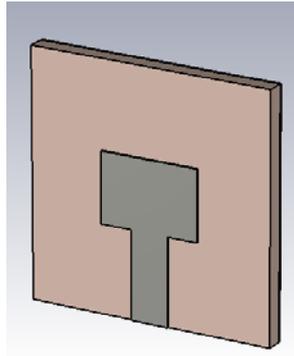


Figure III- 7 : Créer la ligne microbande.

III-2-E. Le port de polarisation

1. Choisir dans la barre d'outils l'icône correspondante  dans la barre d'outils ;
2. Choisir **Pick face**.
3. Choisir l'icône  complétez les paramètres et cliquez sur **OK**.

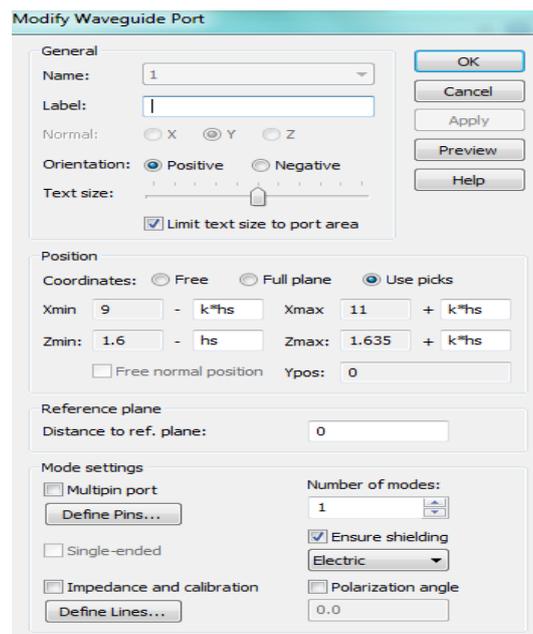


Figure III- 8 : Définir le port de polarisation.

III-3. Définir le domaine de fréquence

1. Activez l'outil de fréquence en cliquant sur l'icône  correspondante dans la barre d'outils de l'objet ;
2. En utilisant la boîte de dialogue on limite le domaine de fréquence entre 8 et 12 et cliquez sur **OK**.

III-4. Méthode des encoches

Choisir dans la barre d'outils l'icône  correspondante et les mêmes étapes du plan de masse ;

En utilisant la boîte de dialogue, on va introduire les valeurs numériques et choisir le matériau dans ce cas (PEC) et clique sur **OK** ;

On clique sur le patch, ensuite sur la barre d'outils on clique sur  Boolean et choisir « **substrat** », après une autre clique sur l'encoche qu'on a créé puis sur **Entrée** ;

Les mêmes étapes pour la deuxième encoche ;

La géométrie de cette antenne et sa structure dans le rédacteur du CST Microwave Studio sont données par la figure suivante :

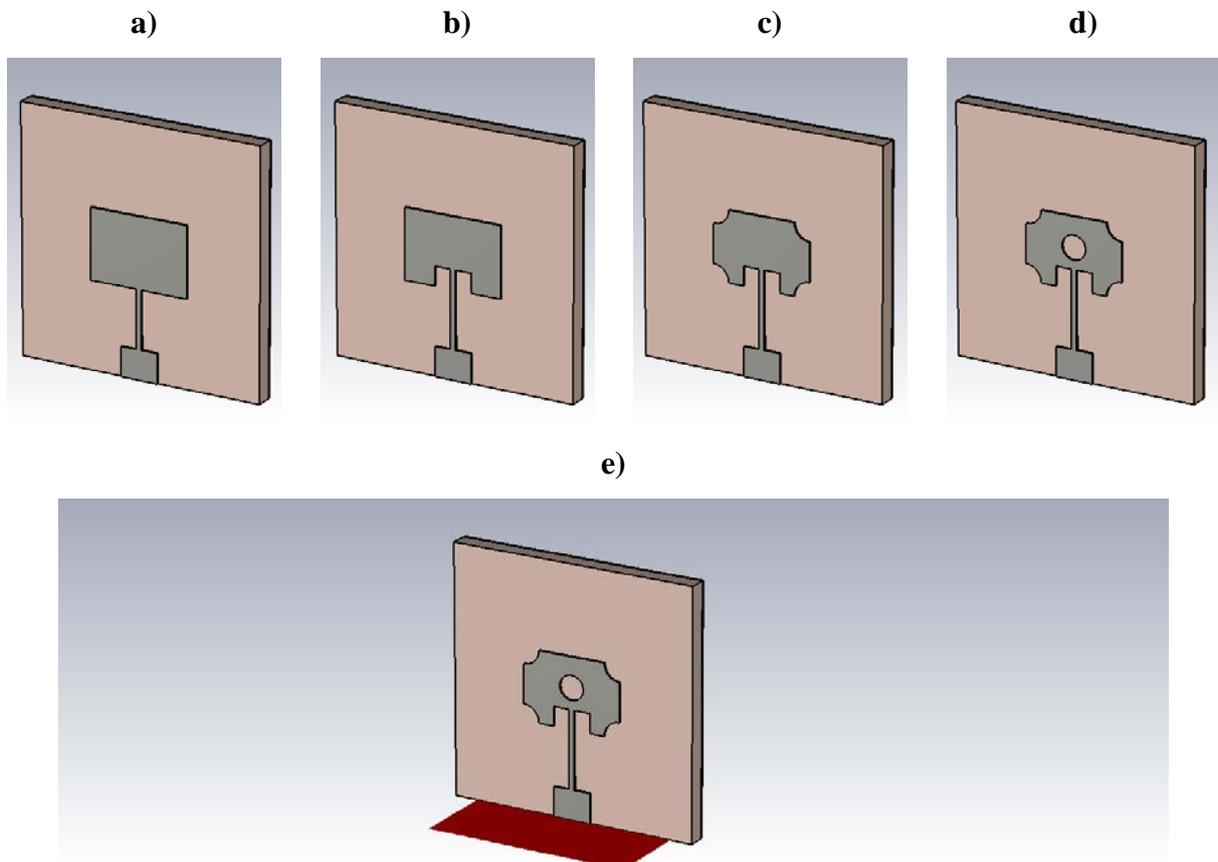


Figure III- 9 : a) Créer qart d'onde, b) Créer les encoches 1 ère étape, c) Créer les encoches 2 -ème étape, d) Créer les encoches 3 -ème étape et e) Structure finale.

La structure de l'antenne patch choisie est de forme rectangulaire alimentée au centre par une ligne micro-ruban de longueur L_g . L'antenne est constituée d'un élément rayonnant rectangulaire ($L_e \times W_p$) avec des encoches qui est imprimé sur la face supérieure d'un substrat

diélectrique ($L \times W_g$) de type Roger RO4003 de permittivité relative 3.9 et d'épaisseur h . Le plan de masse est imprimé sur la surface de dessous du substrat.

IV. Résultat et discussion

IV-1. Antenne patch en bande X

IV-1-A. Etude variation des encoches pour adaptateur

La figure III-10 nous montre l'impact de longueur de la ligne sur la variation du coefficient de réflexion en fonction de la fréquence. Où lorsqu'on augmente la longueur de la ligne microruban on obtient l'adaptation plus acceptable.

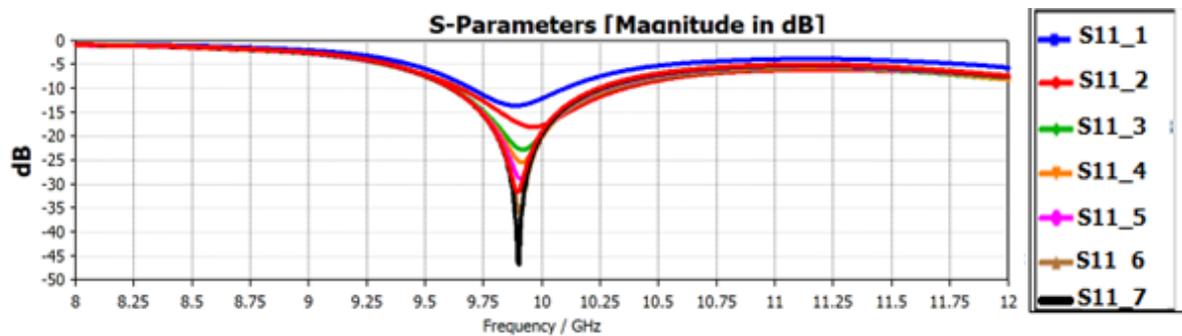


Figure III- 10 : Etude variation encoche pour adaptateur.

S paramètre	Valeur	Méthode adaptation
S11_1	-12	Line microruban
S11_2	-18	Qart d onde
S11_3	-23	1 ère En couche
S11_4	-27	2 -ème En couche
S11-5	-32	3 -ème En couche
S11_6	-36	4 -ème En couche
S11_7	-48	5 -ème En couche

La figure III-10 présente les paramètres S_{ij} des monopôles optimisés en épaisseur de micro ruban, il apparaît que le paramètre S_{ii} de chaque monopôle est perturbé. L'antenne n'est pas adaptée et le couplage est très fort. Donc, on a toutes les informations électromagnétiques nécessaires pour calculer les impédances à présenter sur chaque élément ainsi que les ondes tensions/courants a_i à générer.

On rappelle que l'adaptation d'impédance se fait en faisant varier la longueur du L_g et les dimensions de la fente. Ainsi, pour une fente de 30 mm et un stub de longueur proche d'une ligne quart d'onde, le patch excité par fente est adapté ($S_{11} < -10$ dB) sur une bande passante d'environ 1.6 GHz.

IV-1-B. Coefficient du reflexion S_{11}

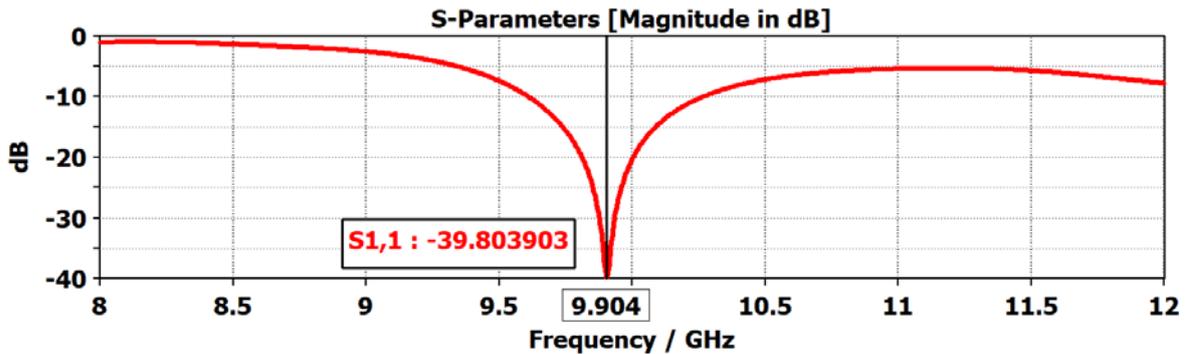


Figure III- 11 : Coefficient de réflexion.

L'antenne doit plus rayonnante que d'être absorbante. La quantité de puissance rayonnée et renvoyée à travers le port peut être calculée pour trouver la perte de retour à cette fréquence de résonance. Pour les fréquences de résonance, l'atténuation à l'entrée doit être inférieure à -10 dB, c'est-à-dire que $S_{11} < -10$ dB.

Les résultats de la simulation montrent que l'antenne conçue peut être utilisée comme une antenne de fréquence sans perte de retour effective de -39.8 dB à notre fréquence de résonance 9.9 GHz.

L'antenne patch doit alors présenter une impédance d'entrée complexe conjuguée de celle de la source (généralement fixée à 50 Ω).

IV-1-C. VSWR

La figure III-12 montre la simulation du VSWR (rapport de tension des ondes stationnaires) par polarisation linéaire pour l'antenne patch (rapport d'ondes stationnaires de tension).

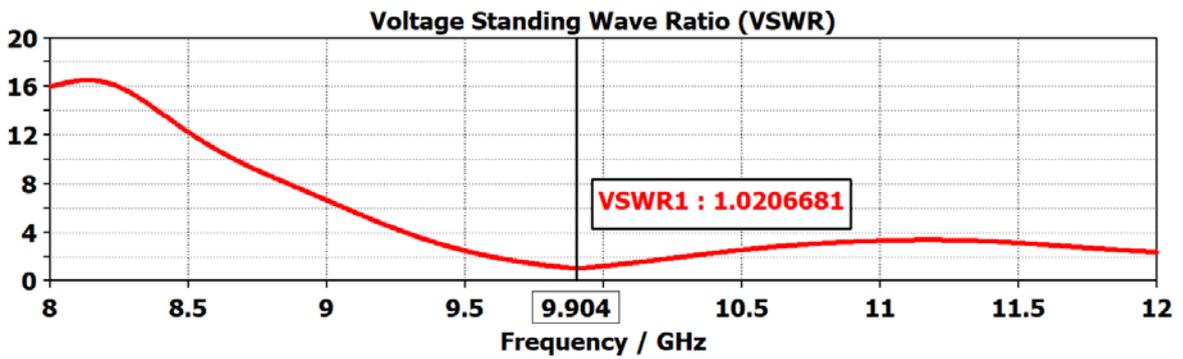


Figure III- 12 : Taux d'onde stationnaire.

VSWR (rapport de tension des ondes stationnaires), c'est une quantité d'efficacité avec laquelle une puissance radiofréquence est transmise d'une source d'alimentation, via une ligne de transmission, à une charge.

On remarque que les valeurs de VSWR sont comprises entre 1 et 3, avec une valeur maximale de $VSWR < 3,2$. Dans la gamme de fréquences entre 8 et 12 GHz, la puissance réfléchie n'est pas réfléchie, et de 9.75 GHz à 10 GHz on voit que la tension sera notre X. La bande de fréquence a une amplitude stable dans la partie descendante, ce qui signifie que l'antenne s'adaptera à cette partie de la gamme.

IV-1-D. Gain d'antenne patch

Le gain de l'antenne est simulé au-dessus de 8 GHz à 12 GHz gamme représentés sur la figure III-13.

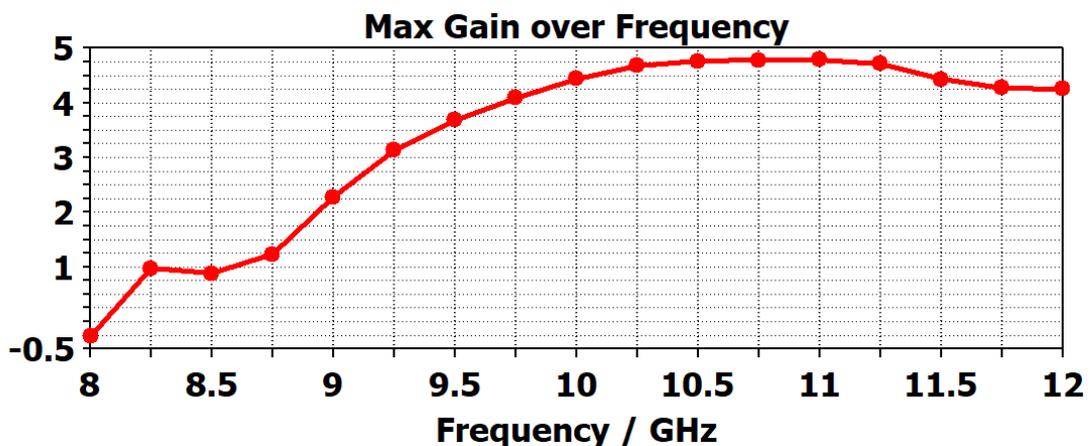


Figure III- 13 : Gain d'antenne patch.

Résultats et discussion de simulation antenne patch en bande X

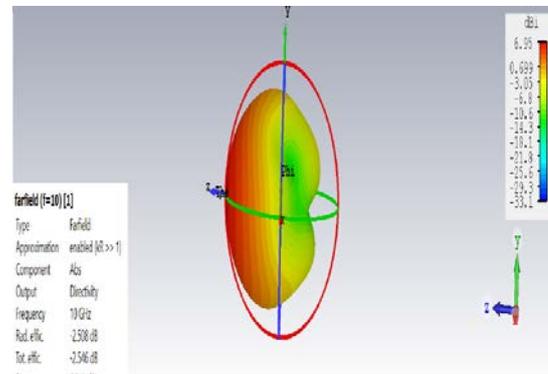
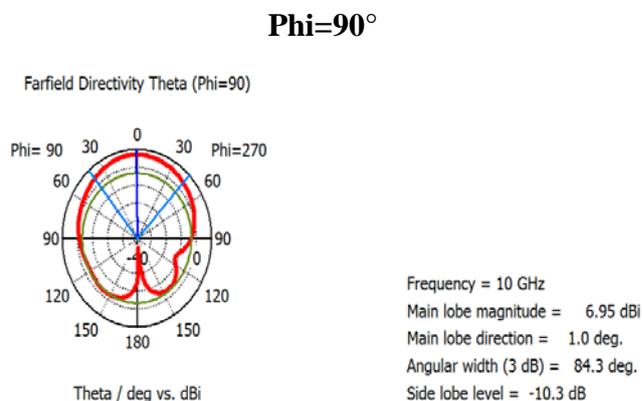
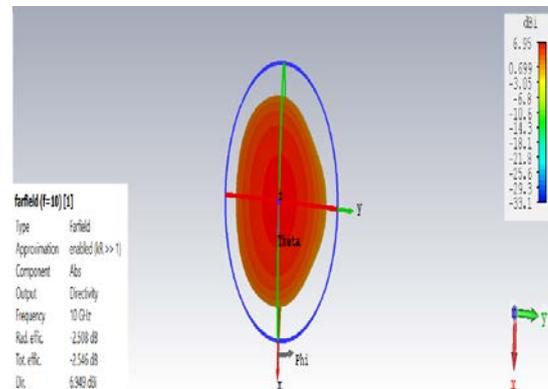
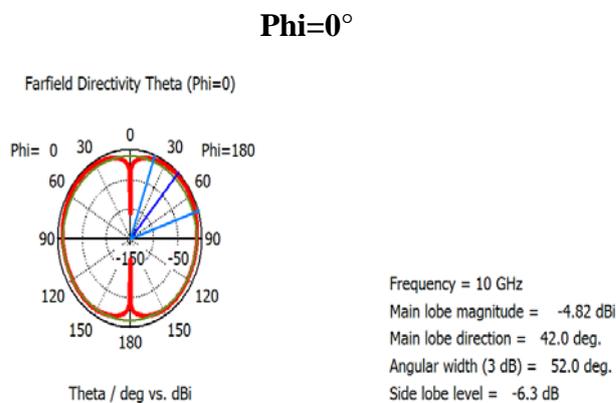
Les valeurs de gain mesurées et simulées sont illustrées à la Figure III-13. Le gain maximal simulé était de 4.9 dB, mais il a légèrement baissé jusqu'à toutefois, il a légèrement diminué pour atteindre un maximum de 4.2 dB dans la largeur de bande d'impédance.

Le patch modélisé avec la plus petite masse utilisé dans le strict besoin d'espace était quelque peu simplifié par rapport aux autres travaux réels, mais était qualitativement similaire en fonction avec un gain élevé.

IV-1-E. Diagramme de rayonnement en 2D et 3D

Le logiciel CST permet de visualiser aussi les diagrammes de rayonnement en 2D de l'antenne. C'est une représentation qui nous informe sur le gain et la directivité de l'antenne. Il nous donne la possibilité de visualiser le rayonnement sur un plan polaire ; ceci nous donne une idée sur l'angle d'ouverture.

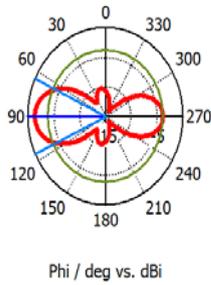
Le diagramme de rayonnement permet de visualiser les lobes dans deux dimensions, dans le plan horizontal ($\phi=0^\circ$) ou dans le plan vertical ($\phi=90^\circ$) incluant le lobe le plus important. Notre étude sera sur le plan horizontal. Le résultat illustre le diagramme de rayonnement pour les deux principaux plans en 2D pour la fréquence de résonances 10 GHz sont montrés sur la figure ci-dessous :



Thêta=90°



Farfield Directivity Theta (Theta=90)



Frequency = 10 GHz
 Main lobe magnitude = -1.4 dBi
 Main lobe direction = 90.0 deg.
 Angular width (3 dB) = 50.1 deg.
 Side lobe level = -2.5 dB

Figure III- 14 : Diagramme de rayonnement en 2D et 3D pour quelques fréquences de résonances.

Le diagramme de rayonnement permet de visualiser les lobes dans deux ou trois dimensions, dans le plan horizontal ($\phi=0^\circ$) ou dans le plan vertical ($\phi=90^\circ$) incluant le lobe le plus important.

Les résultats obtenus, dans le plan horizontal, lors de ce travail ont apporté une contribution à la conception d’une antenne qui se caractérise par une très large bande passante adaptée à la réceptions de la chaîne de transmission satellitaire.

Pour la fréquence 10 GHz on a obtenu des angles d’ouverture de 52° pour ($\phi=0^\circ$), 84.3° pour ($\phi=90^\circ$) et 50.1° pour ($\theta=90^\circ$) respectivement, et on remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Ceci montre que le diagramme de rayonnement est omnidirectionnel. On constate une augmentation au niveau de lobe latéral entre [-2, -10] dB.

IV-1-F. Efficacité d’antenne patch

L’efficacité de rayonnement pour l’antenne patch est élevée proche de 0 dB dans la plupart de bande de liaison descendante d’antenne, avec rendement total de l’antenne patch alimentée par micro ruban est proche de 0 dB à 9.5 GHz, avec une stabilité presque complète après la bande de 10.25 GHz, comme le montre la Figure III-15.

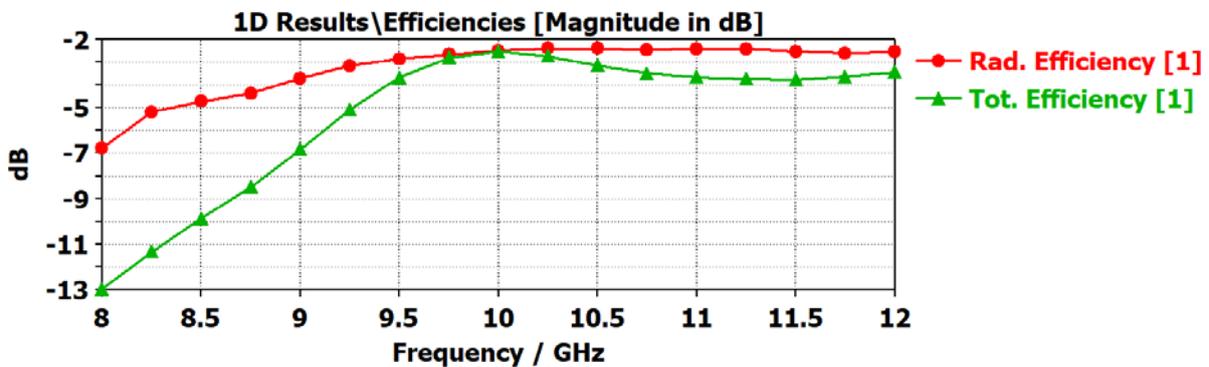


Figure III- 15 : Efficacité d’antenne patch.

IV-1-G. Distribution du courant sur le patch

La figure III-16 illustre la distribution de courant sur la surface du patch pour différentes fréquences, où la zone verte représente les ventres de courant et la zone en bleu représente les nœuds de courant. On note ici, que les lignes de courant sont parallèles à la direction longitudinale L du patch et il n’y a pas de variation des lignes de courant suivant la largeur W du patch.

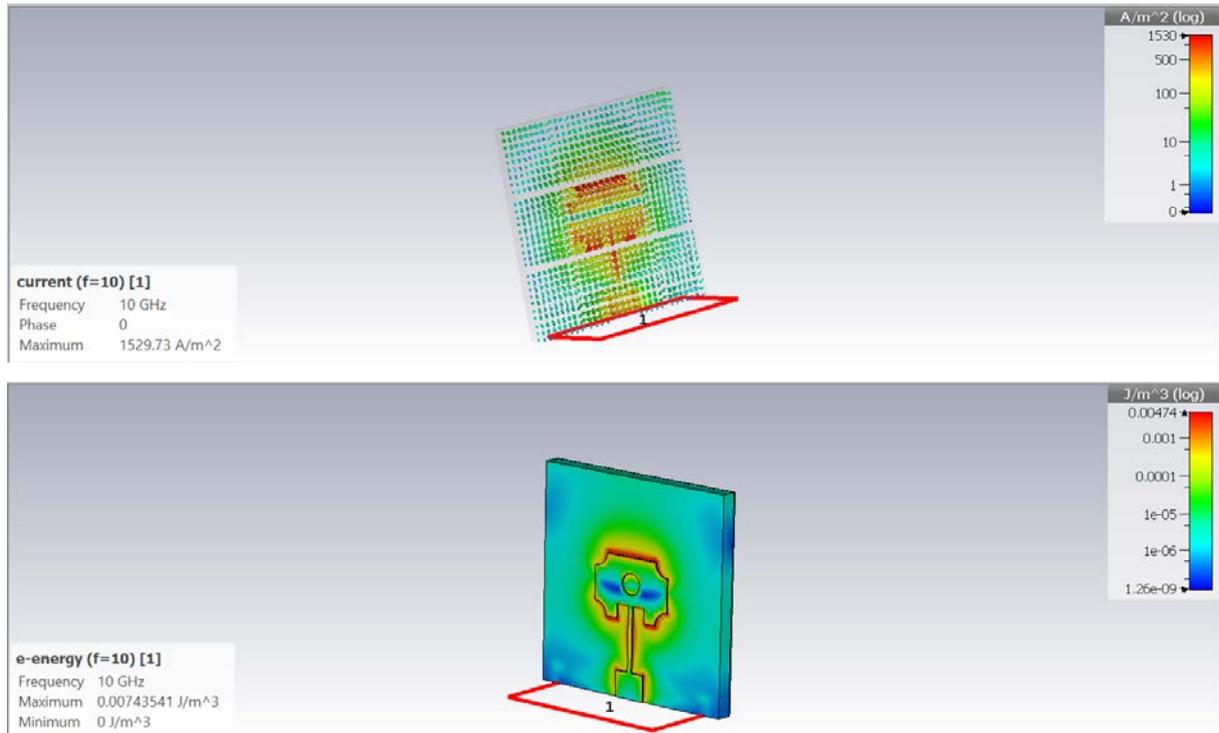


Figure III- 16 : Distribution de courant à la fréquence 10 GHz.

D’après les résultats obtenus dans la figure III-16 suivante on peut remarquer qu’à la fréquence 10 GHz la propagation du courant électrique est importante dans l’antenne patch spécialement sur la ligne microruban.

A la fréquence de résonance ($f = 10$ GHz) l’impédance d’entrée du patch est bien adaptée à la ligne d’alimentation, nous constatons qu’il y a une distribution de courant sur le patch où une demi-sinusoïde de courant suivant la direction longitudinale L qui va s’établir avec des nœuds de courant aux bords et au centre du patch. Pour avoir une polarisation circulaire il suffit de jouer sur la répartition du courant surfacique par l’excitation en deux points différents par deux sources en quadrature.

VI-2. Antenne avec jonction cellule photovoltaïque

Alors que par conséquent, la conception d'un système d'antenne fiable et efficace compatible avec nos spécifications d'objectifs est en demande. Compte tenu des inconvénients tels que le coût mécanique des antennes filaires déployées et la surface limitée d'un petit satellite, il est avantageux d'intégrer des antennes planaires à jonction de cellules solaires. Des intégrations d'antennes sous ou autour des cellules solaires ont été désignés [III- 3, III-4]. La partie suivante consiste à présenter notre étude sur l'impression d'une antenne patch directement au-dessus de la cellule solaire et à examiner comment les cellules solaires et l'antenne sont affectés l'un sur l'autre.

En raison de la fréquence de fonctionnement élevée, la taille de l'antenne est petite et l'effet sur l'efficacité de la cellule solaire est gérable. L'étude fournit également une base pour étendre l'antenne imprimée à une antenne maillée optiquement transparente [III-5] ainsi qu'un achèvement pour l'intégration précédemment rapportée [III-6], où une antenne patch avec son propre substrat a été placé sur des cellules solaires.

IV-2-A. Dimension cellule

Le tableau suivant présente les dimensions de cellule photovoltaïque

W	25	L	31	h1	0.505
Bs	1	L1	29	h2	0.385
Wp	9.30	L2	2.25	Gm	0.1
Lp	6.58	Ls	1.3	P	1.975

Tableau III- 2 : Géométrie de cellule photovoltaïque.

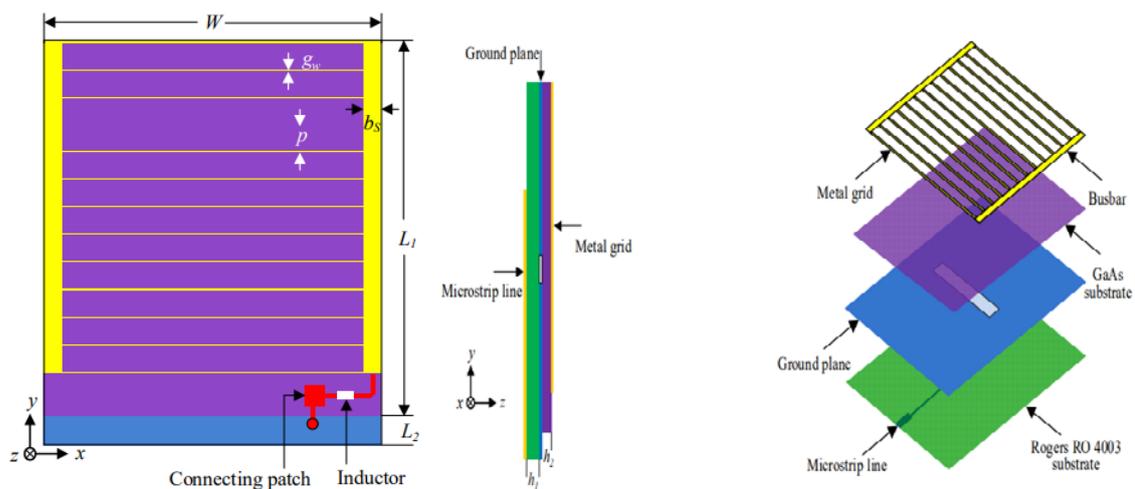


Figure III- 17 : Dimension de structure antenne patch avec jonction cellule solaire [III-7].

IV-2-B. Forme structure

La figure III.17 montre la géométrie de l'antenne à fente intégrée à la cellule photovoltaïque. Une cellule photovoltaïque en GaAs substrat a été utilisée pour l'intégration avec l'antenne à fente. L'épaisseur de la couche de GaAs est 0.350 mm. La cellule photovoltaïque a été configurée comme suit : une grille métallique garnie de deux barres omnibus a été imprimée sur la face supérieure de la couche de GaAs.

Le figure III-18 suivante présente l'assemblage de l'antenne à cellule solaire intégrée est illustré sur CST.

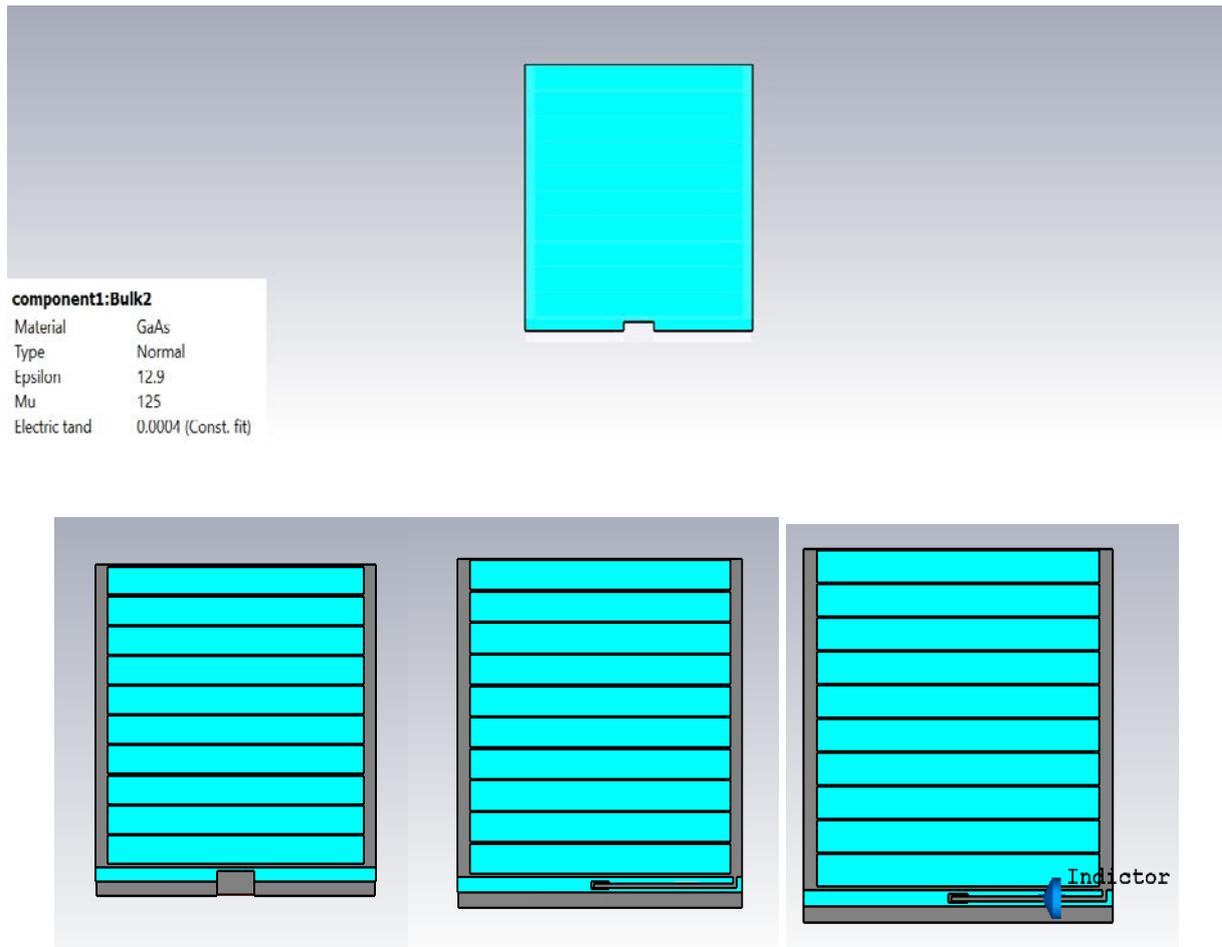


Figure III- 18 : Les étapes de création structure antenne avec cellule photovoltaïque.

La structure finale de notre antenne est présentée sur la figure suivante.

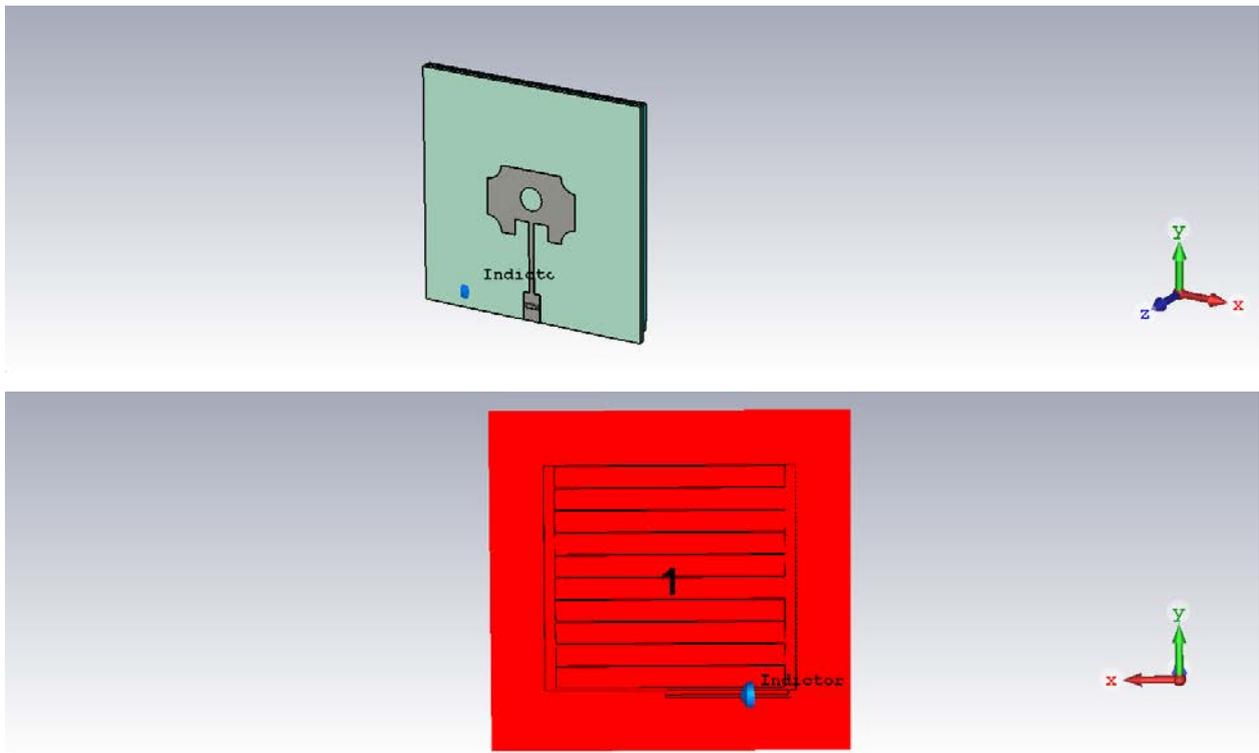


Figure III-17 : La structure d'antenne patch avec cellule photovoltaïque.

Les informations de géométrie sont les suivantes. De bas en haut, il y a une couche d'or imprimée d'antenne suivie de la couche de substrat Roger RO4003, le sol avec PEC en milieu suivi de la jonction de la couche GaAs et du verre de couverture sur le dessus. La couche de Kapton est très fine (0,06 mm) et elle est utilisée pour isoler du sol le revêtement métallique au bas de la cellule solaire car la couche métallique est le positif électrique de la cellule photovoltaïque. Le verre de protection est courant pour les cellules solaires spatiales afin de les protéger d'un environnement complexe, et peut être utilisé de manière pratique comme substrat diélectrique pour l'antenne.

L'épaisseur de la couche de GaAs ($\epsilon_r = 12,9$ et $\tan\delta = 0,0004$) était $h_2 = 0,385$ mm. La cellule photovoltaïque a été configurée comme suit : une grille métallique garnie de deux barres omnibus a été imprimée sur la face supérieure de la couche de GaAs. Les lignes de grille étaient espacées d'une distance de $p = 1,975$ mm. Les valeurs pour la largeur de la ligne de grille et de la barre omnibus étaient $g_w = 0,1$ mm et $b_s = 1$ mm, respectivement. Un contact inférieur métallique est placé sous la couche de GaAs. Le contact inférieur métallique de la cellule photovoltaïque servait également de plan de masse pour l'antenne à fente. Pour la résonance, une fente a été découpée dans le contact inférieur de la cellule photovoltaïque. Un circuit de blocage de courant alternatif (AC) mis en œuvre avec une inductance de 59 nH a été utilisé pour empêcher le flux de courant radiofréquence (RF) vers la cellule solaire.

Un patch de connexion a été utilisé pour connecter une borne d'inductance au plan de masse de l'antenne. L'autre borne de l'inducteur était connectée à la barre omnibus.

Les figures III-18 montrent respectivement les vues de dessus, de côté et en trois dimensions (3D) d'antenne à fente intégrée à la cellule photovoltaïque. La structure détaillée et les caractéristiques des cellules photovoltaïques utilisées dans ce travail ont été présentées dans [III-8] et [III-9].

La figure III-18 illustre la géométrie détaillée de l'antenne à fente, qui comprend une ligne d'alimentation microruban, un substrat et un plan de masse. Une structure de fente simple a été utilisée afin qu'il y ait un effet minimal sur les performances de la cellule photovoltaïque. De plus, les antennes à fente sont de plus petite taille, à profil bas et peuvent être facilement intégrées dans de petites surfaces satellites.

IV-2-C. Excitation

Le signal d'excitation se fait soit par amplitude soit par phase. La méthode consiste à suivre les étapes suivants :

1. Allez à la fenêtre 'schéma' et introduisez une excitation externe avec des 'ports externes'. Connectez ces ports à votre circuit.
2. Ensuite, allez dans 'nouvelle tâche' dans le menu principal, une nouvelle fenêtre s'ouvrira avec le nom 'sélectionner une tâche de simulation'. Choisissez 'AC, combiner les résultats' et une nouvelle fenêtre s'ouvrira.
3. Modifiez l'amplitude du signal d'excitation comme dans la figure III-18. L'important est de vérifier l'option Combiner les résultats dans l'onglet Combiner les résultats.
4. Encore une fois, allez à "nouvelle tâche" dans le menu principal et choisissez les paramètres s. À présent ; nous exécutons la simulation ici et montrons nos résultats.

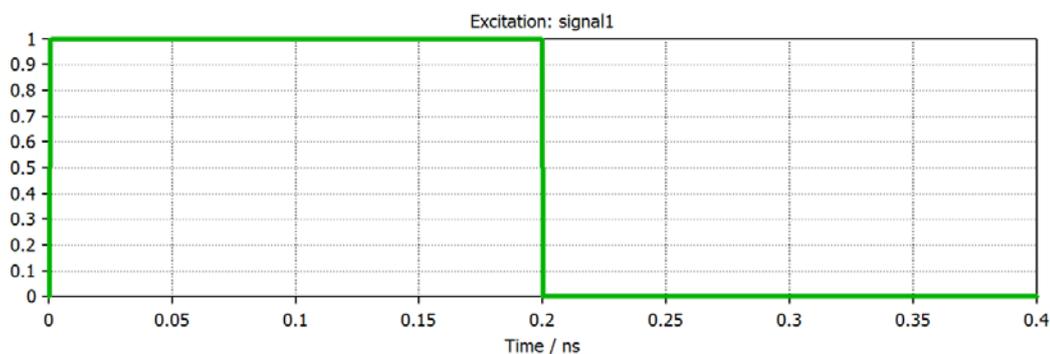


Figure III- 19 : Signale excitation pour alimentation antenne

Résultats et discussion de simulation antenne patch en bande X

Le couplage électromagnétique est également un moyen efficace d'empêcher l'énergie DC du port RF. Pour bloquer le courant RF vers le port DC, des filtres coupe-bande microruban sont ajoutés au chemin DC [III-10].

La ligne de transmission DC comprend les structures en cuivre supérieures, le chemin DC avec des filtres sur le substrat inférieur et des bandes verticales imprimées sur le substrat vertical pour connecter le chemin DC inférieur et la structure métallique supérieure.

IV-2-D. Coefficient du reflexion S_{11}

Le résultat de simulation de coefficient de réflexion S_{11} d'antenne patch avec jonction solaire sur la figure III-20.

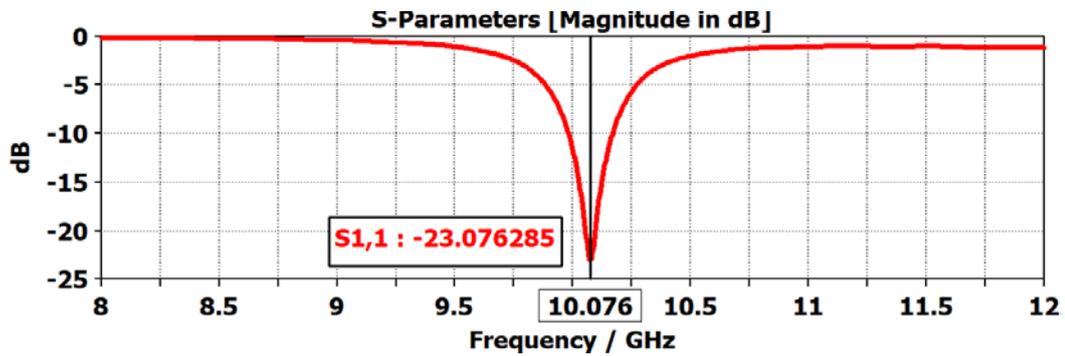


Figure III- 20 : Coefficient de réflexion S_{11} d'antenne avec jonction solaire.

Pour analyser l'influence de la structure supérieure sur les performances de l'antenne, les paramètres S avec structure supérieure sont représentés sur la Figure III-20. On observe que la structure supérieure a certains effets sur les performances de l'antenne en bande X. La bande passante de -10 dB peut être à peine maintenue à 10 GHz avec une structure supérieure. Les résultats de simulation montrent bien que le coefficient de réflexion a une valeur minimale inférieure à -25 dB dans notre fréquence de résonance 10 GHz. Alors l'antenne diminue par rapport au résultat précédent.

IV-2-E. VSWR

La figure III-21 montre simulée du VSWR par polarisation linéaire pour d'antenne patch avec jonction solaire (rapport d'ondes stationnaires de tension).

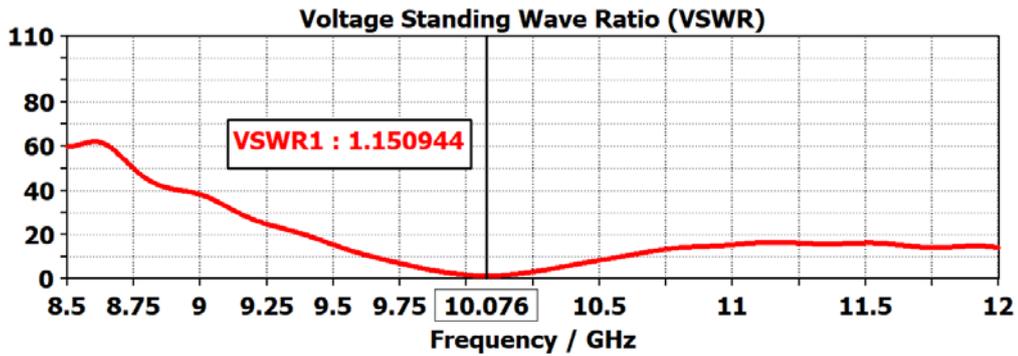


Figure III- 21 : VSWR d'antenne patch avec jonction.

La figure III-21 montre bien que le taux d'onde stationnaire est supérieur à 1.15 à la fréquence de 10.07 GHz, ce qui traduit une bonne adaptation à la bande passante choisie.

IV-2-F. Gain

Le gain de l'antenne est simulé au-dessus de 8 GHz à 12 GHz gamme pour d'antenne patch avec jonction solaire est représenter sur la figure III-22.

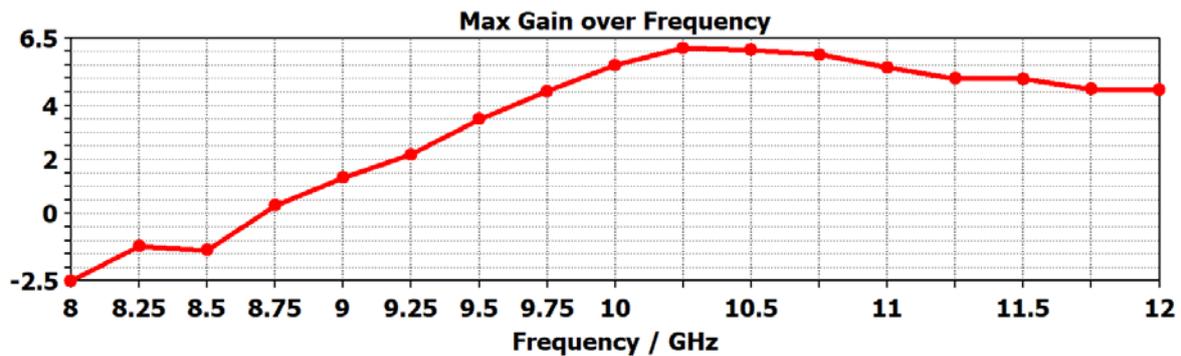


Figure III- 22 : Gain d'antenne patch avec jonction solaire.

On peut remarquer que le gain est environ de 6.5 dB était qualitativement similaire des autres travaux dans le domaine de bande X. Alors l'antenne garde son résultat précédent III-22.

Après avoir chargé la structure supérieure, l'adaptation d'impédance a été améliorée et le gain dans la direction normale est supérieur de 1,4 dB à celui sans structure supérieure.

IV-2-G. Efficacité

L'efficacité de l'antenne est simulée au-dessus de 8 GHz à 12 GHz gamme pour d'antenne patch avec jonction solaire est représenter sur la figure III-23.

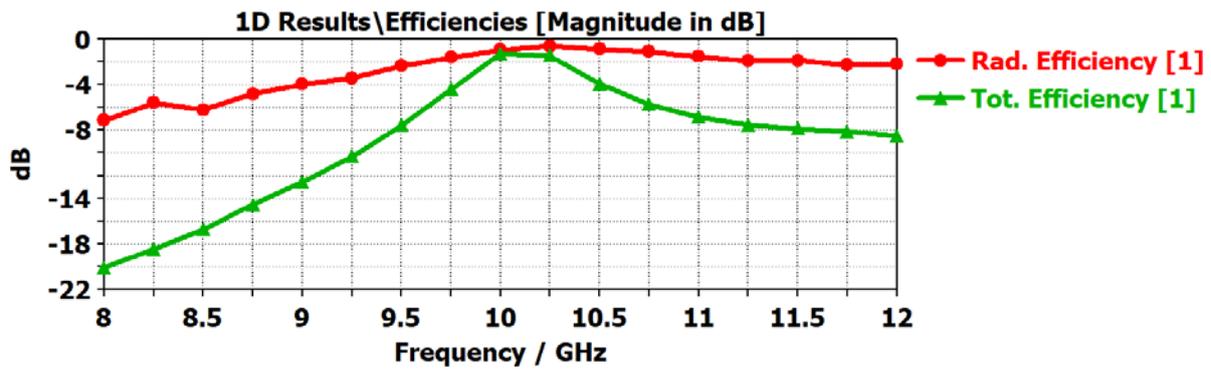
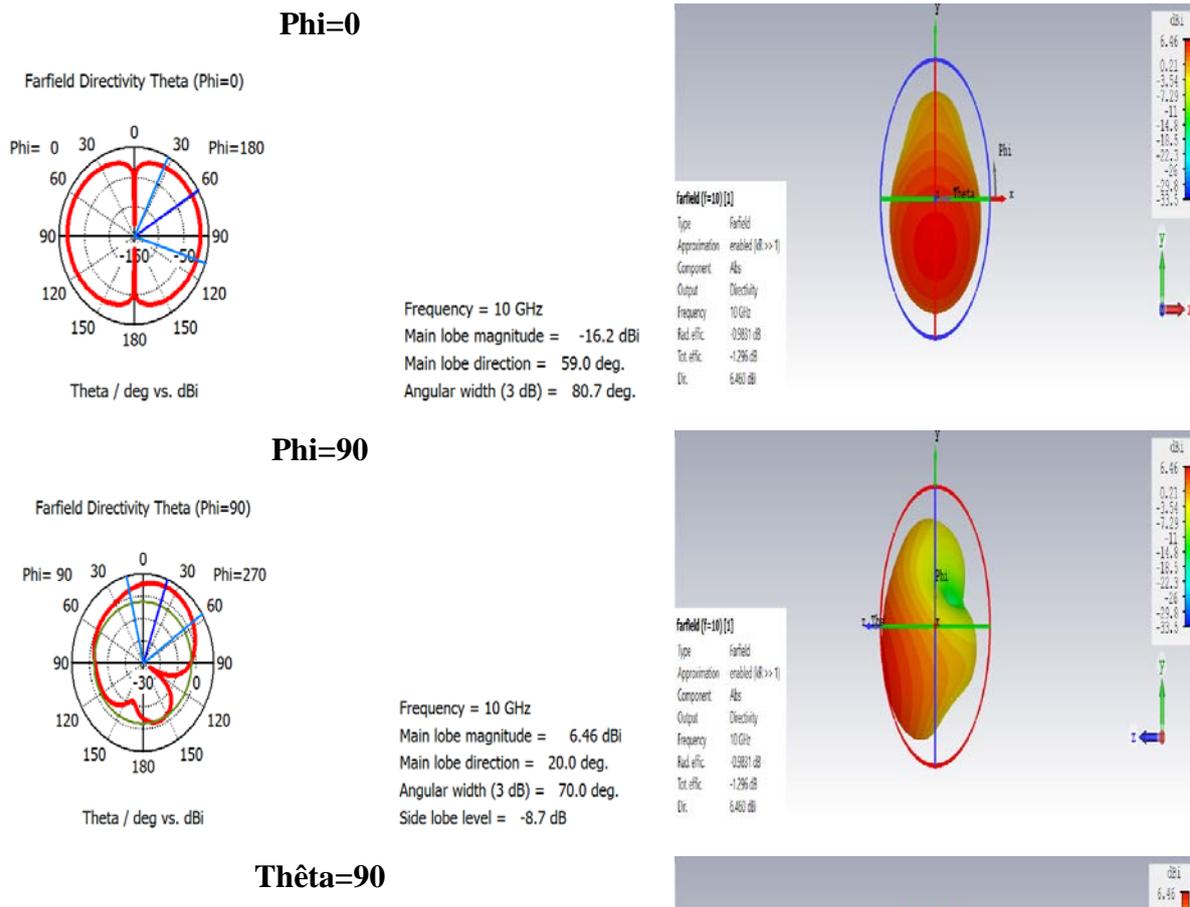


Figure III- 23 : Efficacité d’antenne patch avec jonction solaire.

On remarque dans cette figure III-23 garde un rendement d’antenne patch entre 8 dB à 10 dB avec une légère diminution à 9.75 GHz jusqu’à 10.75 GHz.

IV-2-H. Diagramme du rayonnement

Le résultat de simulation de diagramme de rayonnement en 2D et 3D d’antenne patch avec jonction solaire sur la figure III-24.



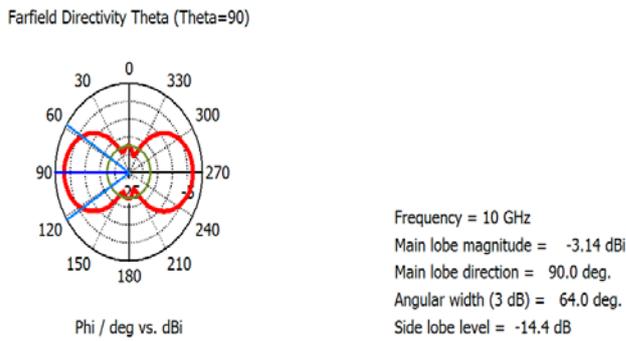


Figure III- 24 : Diagramme de rayonnement en 2D et 3D pour antenne patch avec jonction solaire.

Pour la fréquence 10 GHz on a obtenu des angles d’ouverture de $80,7^\circ$ pour $\phi=0^\circ$, 70° pour $\phi=90^\circ$ et 64° pour $\theta=90^\circ$ respectivement alors on remarque une diminution importante au niveau de cet angle. Ceci montre que le diagramme de rayonnement est omnidirectionnel.

IV-3. Comparaison entre les performances des antennes avec jonction PV

En résumé, le tableau III-2 présente une comparaison entre les performances de ces antennes. Nous constatons que notre antenne proposée réalisée sur des substrats RO4003/GaAs à faible coût réalise une performance compétitive par rapport aux autres antennes présentées dans [III-7], [III-11] et [III-12].

Paramètre	Antenne	Réf [III-7]	Réf [III-11]	Réf [III-12]
Substrat	RO4003/GaAs	RO4003/GaAs	Glass/Si	Glass/Si
Constante de diélectrique	3.55	3.55	11.9	11.9
La fréquence de la résonance [GHz]	10	5.8	10	5
S_{11} [dB]	-23	-30	-30	-27
Gain [dB]	6.5	3.41	4.1	6.1

Tableau III- 3

L’étude comparative menée dans la dernière section a montré une meilleure performance obtenue notamment dans le gain.

V. CONCLUSION

Résultats et discussion de simulation antenne patch en bande X

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'étude et simulé, une antenne patch sans jonction et avec jonction solaire dans la bande X, par le logiciel du studio CST.

Dans notre recherche, on a utilisé des antennes et des cellules photovoltaïques spécialement utilisés pour les applications spatiales. Cependant, nous présentons un seul dispositif à double fonction qui peut fonctionner simultanément comme une antenne et une cellule PV.

Une cellule PV à base de GaAs est utilisée, et il est gravé d'une fente rayonnante pour l'antenne. La fente est excitée qui est placé au-dessous du substrat. Deux des patchs métalliques rectangulaires sont utilisés le long de la ligne d'alimentation, et ils sont connectés au contact inférieur de la cellule PV à travers des trous. L'antenne intégrée à la cellule PV proposée est parfaitement adaptée aux applications spatiales en raison de sa compacité, profil bas et structure simple. En plus, notre conception permet un taux d'exposition au soleil de 90% avec une tension en circuit ouvert (V_{oc}) de 1.0 V. Nous avons utilisé un circuit de blocage AC pour limiter le courant RF vers la cellule PV et permettre au dispositif de fonctionner indépendamment les uns des autres. Les résultats montrent que l'antenne a d'excellentes caractéristiques en termes d'impédance bande passante, gain et diagramme de rayonnement.

Conclusion

Générale

Conclusion générale

CONCLUSION GENERALE

La communication par satellite est en constante évolution au quotidien et c'est le résultat d'études et de recherches continues et de colossaux efforts à travers le développement de tout ce qui concerne les méthodes de diffusion par satellite et les dispositifs d'accompagnement, en particulier les antennes imprimées. L'étude examine l'évolution de ce domaine de communication.

Dans ce mémoire, Nous démontrons la colossale essentialité de l'antenne patch dans le domaine de la communication par satellite, et son adaptation à la ligne de transmission à travers les résultats obtenus après conception et simulation par le logiciels CST Studio.

L'objectif de ce travail de recherche est d'étudier, de concevoir et de développer une antennes patch planaires à jonction de cellule photovoltaïque utilisé dans la bande des fréquences de la bande X.

Dans ce mémoire, de nouveaux résultats dans le domaine des communications des antennes patches photovoltaïques ont été obtenus. Les conceptions compactes que nous proposons, ont soulevé des inconvénients associés aux antennes PV actuelles qui se trouvent en littérature. Ces conceptions développées ont le potentiel et ont confirmé qu'elles fonctionnent à des fréquences élevées et présentent une large bande en liaison descendante et en liaison ascendante, en mettant en œuvre de nouvelles techniques de transparence de la topologie. En outre, ils permettent un fonctionnement simultané en double polarisation à partir de la même antenne patch PV pour la réutilisation des fréquences, avec un faisceau étroit et un gain accru. En outre, il est possible d'utiliser et d'incorporer des antennes solaires en réseau 2D à alimentation directe en bande X.

Il est clair que la gamme d'applications des antennes solaires est diverse et qu'avec l'état actuel des réserves d'énergie, il y'aura une demande croissante de prise en compte des sources d'énergie renouvelables et durables dans la conception des produits à venir. Dans ce travail, nous avons démontré que l'intégration d'un certain nombre d'antennes solaires a permis de répondre à la demande technique dans la conception de tels systèmes.

En effet, compte tenu du gain d'intérêt pour les énergies renouvelables, ce type de conversion d'énergie doit être amélioré et sécurisé si l'on veut que le photovoltaïque connaisse la croissance souhaitée dans le futur.

REFERENCES

- [1]. A. Aurengo, B. Auvert, F. Grémy, F. Leterrier, and T. PetitClerc. Biophysique. François Grémy, Flammarion, médecine sciences, 1982.
- [2]. A. Boyer « Cours_antennes_oct11_v4_5RT », INSA Toulouse, octobre 2011.
- [3]. A. Boyer. « Antennes » Support De Cours Enoncé De Travaux Dirigés. Institut National Des Sciences Appliquées De Toulouse, octobre 2011.
- [4]. A.S. Bazán, “Design of a Circularly Polarized Patch Antenna for Satellite Communications in L-Band,” Polytechnic University of Cataluña, 2010.
- [5]. Aguilar, S.M.; Al-Joumayly, M.A.; Burfeindt, M.J.; Behdad, N.; Hagness, S.C. Multiband miniaturized patch antennas for a compact, shielded microwave breast imaging array. *IEEE Trans. Antennas Propag.* 2014, 62, 1221–1231. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- [I-1]. IEEE standard definitions of terms for antennas. IEEE std 145-1993. IEEE press, 1993.
- [I-2]. CA. Balanis, *Modern Antenna Handbook*. John Wiley and Sons, 2008.
- [I-3]. Constantine A. Balanis, “*Antenna Theory Analysis and Design*”, 2005, John Wiley & Sons, INC.
- [I-4]. A. Kamil, Conception d’une antenne patch ultra-large bande (3.1 GHz-10.6 GHz), grade du Maître ès sciences (M.Sc), Université du Québec, 2011.
- [I-5]. Thème Dimensionnement et planification des liens de transmission dans les réseaux de téléphonie mobile Réalisé par: Mme. Asmaa BOULAKAKEZ Mme. Mme. Zineb OGGAD Promotion: 2015/2016.
- [I-6]. Md. Ashikur Rahman, Moinul Hossain, IbnulSanjid Iqbal, Syed Sobhan, ” Design and Performance Analysis of A Dual-band Microstrip Patch Antenna for Mobile WiMAX, WLAN, Wi-Fi and Bluetooth Applications”, 3rd international conference on informatics, electronics & vision 2014.
- [I-7]. MADOUN AMINA, " Étude et simulation d’une antenne SIW ", Mémoire de fin d’étude pour l’obtention du diplôme master en télécommunication, Université Dr Tahar Moulay, Promotion : 2016/2017.
- [I-8]. A. K. Maini and V. Agrawal. *Satellite Technology: Principles and Applications*. 2nd Edition edition, 2011.
- [I-9]. T. Kitsuregawa. *Advanced Technology in Satellite Communication Antennas*. Electrical Mechanical Design. 1990.
- [I-10]. O. Picon, L. Cirio, C. Ripoll, and M. Bellanger. *Les Antennes. Théorie, conception et applications*. 2009.
- [I-11]. M. N. Moghadasi, R. A. Sadeghzadeh, T. Sedghi, T. Aribi, And B. S. Virdee, Member, IEEE « UWB CPW-Fed Fractal Patch Antenna With Band-Notched Function Employing Folded T-Shaped Element » *IEEE Antennas And Wireless Propagation Letters*. 12. 2013.
- [I-12]. G. Kossiavas, R. Staraj, C. Luxey, A. Papiernik, "Antennes imprimées- Bases et principes", *Technique de l’ingénieur*, Référence E3310, 05/ 2007.
- [I-13]. S. Azzaz-Rahmani et N. Boukli-Hacene. « Analyse des antennes imprimées en anneaux concentriques ». Édition universitaires européennes.
- [I-14]. Rabia. AKSAS . Télécommunications . Antennes . Théorie et applications .Les filières technologiques des enseignements supérieurs . ellipses. Novembre 2013.
- [I-15]. Y. Tighilt, "Identification des antennes microrubans multicouches par la méthode spectrale et les réseaux de neurones", Thèse de doctorat présentée à l’université de Sétif, Algérie, 2011.
- [I-16]. Constantine A. Balanis. *Antennas Theory -Analysis and Design*. 3rd Edition. John Wiley&Sons, Inc, 2005.
- [I-17]. F. Chetouah, N. Bouzit, I. Messaoudene, S. Aidel, M. Belazzoug, Y. B. Chaouche, “Miniaturized printed rectangular monopole antenna with a new DGS for WLAN applications”,

Références

- International Symposium on Networks, Computers and Communications (ISNCC), Marrakech, Morocco, 16-18 May 2017.
- [I-18]. S. Singh, N. Agarwal, N. Nitin and A. K. Jaiswal, "Design consideration of microstrip patch antenna", *International Journal of Electronics and Computer Science Engineering*, vol. 2, no. 1, 306–316, 2013.
- [I-19]. V. Azman, "Conformal antenna arrays for 3G cellular base stations", Thèse de doctorat présentée à l'université de Queensland Brisbane, Australia, 2002.
- [I-20]. M. T. Kawser, "Investigation of a novel dual band microstrip/ waveguide hybrid antenna element", Thèse de master présentée à l'institut polytechnique de Virginia, United States, 2005.
- [I-21]. Z. Harouni, "Conception et caractérisation d'une antenne à double polarisation circulaire à 2.45 GHz", Thèse de doctorat de l'université Paris-Est et de la faculté des sciences de Tunis, Tunisie, 2011.
- [I-22]. M. Kara, "Empirical formulas for the computation of the physical properties of rectangular microstrip antenna elements with thick substrates", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 14, no. 2, 115–121, 1997.
- [I-23]. A. A. Salih, M. S. Sharawi, "Highly miniaturized dual band patch antenna", 10th European Conference on Antennas and Propagation (EuCAP), Davos, Switzerland, 10–15 April 2016.
- [I-24]. HASSAINE Nawel épouse SELADJI, « Conception d'antennes microrubans miniatures pour différents standards de communication sans fil », thèse de doctorat, Université Aboubakr Belkaïd-Tlemcen-, Algérie, Novembre 2020.
- [I-25]. O. Picon et Collectif, *Les antennes : Théorie, conception et applications*. Dunod, 2009.
- [I-26]. NIANG Anna, « Antenne miniatures et structures électromagnétiques avec circuits non-Foster », thèse de doctorat, Université Paris SACLAY, France, Janvier 2017.
- [I-27]. ADJILA Fatima et MELATI Nadia, « Étude et conception d'une antenne fractale reconfigurable en fréquence », mémoire de fin d'étude, Université 8 Mai 1945, Guelma, Juillet 2019.
- [I-28]. Oumy DIOP, "Étude et Minimisation du Facteur de Qualité d'Antennes Miniatures conçues pour de Petits Objets Communicants", Thèse de Doctorat, Université De Nice-Sophia Antipolis, Septembre 2013.
- [I-29]. Kraus, J. D., [1950], "Antennas," New York-Toronto-London Mc Graw-Hill Book company, Electrical and Electronic Engineering Series, Frederick Emmos Terman, Consulting Editor; W. W. Harman and J.G. Truxal, Associate Consulting Editors; ISBN 07-035410-3; pp 465.
- [I-30]. VALLEAU Jérémy, « Miniaturisation d'antenne très large bande pour applications spatiales », thèse de doctorat, Université de Toulouse, Décembre 2016.
- [I-31]. A. Pandey, *Practical Microstrip and Printed Antenna Design*, Hardcover. Artech House.
- [II-1]. O. O'Conchubhair, P. McEvoy, and M. J. Ammann, "Integration of antenna array with multi-crystalline silicon solar cell," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 14, pp. 1231-1234, 2015.
- [II-2]. S. K. Podilchak, D. Comite, B. K. Montgomery, Y. Li, V. G. G. Buendia, and Y. M. M. Antar, "Solar-panel integrated circularly polarized meshed patch for CubeSats and other small satellites," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 96560-96566, 2019.
- [II-3]. T. W. Turpin and R. Baktur, "Meshed patch antennas integrated on solar cells," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 8, pp. 693-696, 2009.
- [II-4]. K. Kuru and D. Ansell, "City-state: A comprehensive systematic framework for transforming cities into smart cities," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 18615_18644, 2020.
- [II-5]. K. Shaque, B. A. Khawaja, F. Sabir, S. Qazi, and M. Mustaqim, "Internet of Things (IoT) for next-generation smart systems: A review of current challenges, future trends and prospects for emerging 5G-IoT scenarios," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 23022_23040, 2020.
- [II-6]. Y. A. Qadri, A. Nauman, Y. B. Zikria, A. V. Vasilakos, and S. W. Kim, "The future of healthcare Internet of Things: A survey of emerging technologies," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 22, no. 2, pp. 1121_1167, 2nd Quart., 2020.

Références

- [II-7]. Lee K.F., Luk K.M., Tong K.F., Shum S.M., Huynh T., and Lee R.Q. Experimental and simulation studies of the coaxially fed u-slot rectangular patch antenna. *Microwaves, Antennas and Propagation*, IEE Proceedings, 144(5) :354–358, Oct 1997.
- [II-8]. K. C. M. U. J. Z. W. A. S. J. M. A. K. M. P. G. L. B. G. A. G. M. C. U. M. B. P. a. M. N. S. S. Gao, «Antennas for Modern Small Satellites,» *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 51, n° 14, pp. 40 - 56, 2009.
- [II-9]. A. Balanis: 'Antenna theory analysis and design' , Constantine A. Balanis, Arizona State University Tempe, AZ.2005.
- [II-10]. D. W. e. M. Rami, «Etude et conception d'une antenne patch ultra,» 2017.
- [II-11]. O. Barrou Etude Paramétrique Des Antennes Patches Rectangulaires Alimentées Par Proximité.
- [II-12]. GUENNACH Mohamed , "Conception d'une antenne "PIFA " multi-bandes pour applications sans fil ", mémoire de master 2016.
- [II-13]. DEGHFEL Walid et MERZOUGUI Rami; "Etude et conception d'une antenne patch ultra large bande ULB à bande rejetée"; mémoire de Master Académique en Electronique, Département d'Electronique, Université Mohamed Boudiaf – M'sila, juin 2016.
- [II-14]. H. Amar, « Propriétés électriques de cellule solaire à base de Sélénure de Cuivre Indium Galium $\text{CuIn}_{(1-x)}\text{Ga}_x\text{Se}^2$ (CIGS) », mémoire de magister, Biskra, 2014.
- [II-15]. S .ABADA, « Etude et optimisation d'un générateur photovoltaïque pour la recharge d'une batterie avec un convertisseur sepic» Mémoire maitre es Scianges, Université laval, Quebec Canada 2011.
- [II-16]. J .Royer, T. Djiako, E. Schiler et B. Sadasy, «Le pompage photovoltaïque» université d'ottawa,1998.
- [II-17]. I.M. Mahmoud, S. O. Abdellatif, T. S. Abdelsalam, O. E. Abdellatif. NOVEL TECHNIQUE IN CHARACTERIZING A PV MODULE USING PULSE WIDTH MODULATOR, IJRET: International Journal of Research in Engineering and Technology eISSN: 2319-1163 | pISSN: 2321-7308.
- [II-18]. J .Royer, T. Djiako, E. Schiler et B. Sadasy, «Le pompage photovoltaïque» université d'ottawa ,1998.
- [II-19]. <https://mypower.engie.fr/energie-solaire/conseils/types-cellules-solaires.html>
- [II-20]. <https://www.futura-sciences.com/planete/dossiers/developpement-durable-cellules-photovoltaiques-coeur-panneaux-solaires-1688/page/5/>
- [II-21]. Y. Pankow, « Etude de l'intégration de la production décentralisée dans un réseau Basse Tension. Application au générateur photovoltaïque », thèse de doctorat, Ecole nationale supérieur des arts et métiers, France, Décembre 2004.
- [II-22]. M.F.Shraif« Optimisation et mesure de chaîne de conversion d'énergie photovoltaïque en énergie électrique ». Thèse de doctorat de l'université Paul Sabatier de Toulouse 2002.
- [II-23]. Nashad, Farhat Emhemed (2018) Design and development of dual-Polarised photovoltaic solar antennae for Ku-band SatComsp. Doctoral thesis, Northumbria University.
- [II-24]. J. Nelson, *The physics of solar cells*: World Scientific Publishing Company, 2003.
- [II-25]. <https://slideplayer.fr/slide/508240/>.
- [II-26]. <https://www.photovoltaique.info/fr/realiser-une-installation/choix-du-materiel/architecture-electrique-dune-installation-photovoltaique/rendement-dun-systeme-photovoltaique/>
- [II-27]. Hidri.Imed ,' D'électronique de puissance Les convertisseurs AC-DC et AC-AC ''.
- [II-28]. Pierre-Baptiste Steckler,' Contribution à la conversion AC/DC en Haute Tension'', tel.archives-ouvertes.fr.
- [II-29]. Pierre-BaptisteSteckler, Contribution à la conversion AC/DC en Haute Tension, //tel.archives-ouvertes.fr/tel-03177305/document.
- [II-30]. https://www.researchgate.net/figure/Schema-de-principe-dune-conversion-AC-DC_fig1_257043461

Références

- [II-31]. M. Danesh, J. R. Long, "Photovoltaic Antennas for Autonomous Wireless Systems," *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. 58, pp. 807-811, 2011.
- [II-32]. M. Z. J. Huang, "Antennas Integrated with Solar Arrays for Space Vehicle Applications," in *5th Intl Symp on Antennas Propag. & EM Theory*, Beijing, China, 2000.
- [II-33]. T. Wu, R. Li, M. M. Tentzeris, "A Scalable Solar Antenna for Autonomous Integrated Wireless Sensor Nodes," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 510-513, 2011.
- [II-34]. A. Georgiadis, A. Collado, S. Kim, H. Lee, M.M. Tentzeris, "UHF Solar Powered Active Oscillator Antenna on Low Cost Flexible Substrate for Wireless Identification Applications," in *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest (MTT)*, 2012.
- [II-35]. T. W. Turpin, "Meshed Patch Antennas Integrated On Solar Cell - A Feasibility Study And Optimization," Utah State University, 2008. [Online]. Available: http://www.ece.usu.edu/grad/reports_theses_disseratations/2008/turpin_timothy_w/thesis.pdf. [Accessed 21 Sept. 2015].
- [III-1]. A. Kamil, "Conception d'une antenne patch ultra-large bande (3.1 GHz-10.6 GHz)", grade du Maitrès sciences (M.Sc), Université du Québec, 2011.
- [III-2]. BENDAHMANE Zhor, PFE Master, Centre Universitaire BLHADJ Bouchaib d'Ain T'émouchent, 2015.
- [III-3]. R. Caso, A. D'Alessandro, A. Michel, and P. Nepa, Integration of slot antennas in commercial photovoltaic panels for stand-alone communication systems, *IEEE Trans Antenna Propag* 61 (2013), 62–69.
- [III-4]. M. Mahmoud, R. Baktur, and R. Burt, Fully integrated solar panel slot antennas for small satellites, *Proc. 15th Annual AIAA/USU Conf. on Small Satellites* (2010), Logan, UT.
- [III-5]. T.W. Turpin and R. Baktur, Meshed patch antennas integrated on solar cells, *IEEE Antenna Wirel Propag Lett* 52 (2009), 693 696.
- [III-6]. S.V. Shynu, M.J. Roo-Ons, M.J. Ammann, S.J. McCormack, and B. Norton, Integration of microstrip patch antenna with polycrystalline silicon n solar cell, *IEEE Trans Antenna Propag* 57 (2009), 3969–3972
- [III-7]. Ahmed Ali, Heesu Wang, Yeojun Yun, Jaejin Lee, Ikmo Park, "Compact Slot Antenna Integrated with a Photovoltaic Cell", *JOURNAL OF ELECTROMAGNETIC ENGINEERING AND SCIENCE*, VOL. 20, NO. 4, 248~253, OCT. 2020.
- [III-8]. S. X. Ta, J. J. Lee, and I. Park, "Solar-cell meta surface integrated circularly polarized antenna with 100% insolation," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol.16, pp. 2675-2678, 2017.
- [III-9]. S. Moon, K. Kim, Y. Kim, J. Heo, and J. Lee, "Highly efficient single-junction GaAs thin-film solar cell on flexible substrate," *Scientific Reports*, vol. 6, article no. 30107, 2016.
- [III-10]. Luo S, Zhu L, Sun S. Stopband-Expanded Low-Pass Filters Using Microstrip Coupled-Line Hairpin Units. *IEEE Antennas Wireless Compon Lett* (2008) 18(8):506–8. doi:10.1109/LMWC.2008.2001004.
- [III-11]. T. Yekan and R. Baktur, "AN X BAND PATCH ANTENNA INTEGRATED WITH COMMERCIAL TRIPLE-JUNCTION SPACE SOLAR CELLS", *MICROWAVE AND OPTICAL TECHNOLOGY LETTERS / Vol. 59, No. 2, February 2017*.
- [III-12]. T. Yekan and R. Baktur, "An experimental study on the effect of commercial triple junction solar cells on patch antennas integrated on their cover glass", *Prog Electromagn Res C* 63 (2016), 131–142.

Résume

Résumé

L'approche consistant à concevoir une antenne et une cellule photovoltaïque sur le même substrat est utile pour réduire les coûts. De nombreuses études récentes ont exploré l'intégration de cellules photovoltaïques avec des antennes en raison des avantages potentiels de la communication sans fil. Les chercheurs ont conçu des antennes photovoltaïques à la pointe de la technologie intégrées à des cellules de grande taille avec des géométries complexes. Dans ce travail, une antenne compacte mono-dispositif intégrée à une cellule photovoltaïque est proposée pour les applications des satellites LEO. Le modèle proposé peut accepter d'augmenter plus qu'à l'exposition au soleil, la cellule photovoltaïque fait partie de l'antenne et améliore ainsi les performances de l'antenne. L'antenne intégrée à la cellule photovoltaïque conçue accepte 100% à l'exposition au soleil et nous extrayons toutes les caractéristiques de l'antenne (bande passante d'impédance, gain et diagramme de rayonnement).

Mots-clés : Satellite, LEO, antenne patch, Ultra large band, Cellule Photovoltaïque.

Abstract

The approach of designing an antenna and a photovoltaic cell on the same substrate is useful for reducing costs. Many recent studies have explored the integration of photovoltaic cells with antennas due to the potential advantages of wireless communication. The researchers designed state-of-the-art photovoltaic antennas integrated into large cells with complex geometries. In this work, a compact single-device antenna integrated with a photovoltaic cell is proposed for LEO satellite applications. The proposed model can accept to increase more than exposure to the sun, the photovoltaic cell is part of the antenna and thus improves the performance of the antenna. The antenna integrated with the designed photovoltaic cell accepts 100% exposure to sunlight and we extract all the characteristics of the antenna (impedance bandwidth, gain and radiation pattern).

Keywords: Satellite, LEO, patch antenna, Ultra-wide band, Photovoltaic cell.

تلخيص

يعتبر نهج تصميم الهوائي والخلية الكهروضوئية على نفس الركيزة مفيدًا لتقليل التكاليف. استكشفت العديد من الدراسات الحديثة تكامل الخلايا الكهروضوئية مع الهوائيات بسبب المزايا المحتملة للاتصالات اللاسلكية. صمم الباحثون أحدث هوائيات كهروضوئية مدمجة في خلايا كبيرة ذات أشكال هندسية معقدة. في هذا العمل، تم اقتراح هوائي مدمج أحادي الجهاز مدمج مع خلية كهروضوئية لتطبيقات الأقمار الصناعية في المدار الأرضي المنخفض. يمكن أن يقبل النموذج المقترح زيادة أكثر من التعرض للشمس، فالخلية الكهروضوئية هي جزء من الهوائي وبالتالي تعمل على تحسين أداء الهوائي. يقبل الهوائي المدمج بالخلية الكهروضوئية المصممة التعرض بنسبة 100% لأشعة الشمس ونستخرج جميع خصائص الهوائي (عرض النطاق الترددي للمقاومة، ومخطط الكسب والإشعاع).
الكلمات المفتاحية: القمر الصناعي، المدار الأرضي المنخفض، هوائي التصحيح، نطاق عريض للغاية، خلية ضوئية.