

Université du Littoral Côte d'Opale
Pôle de Calais
Département de mathématiques



Mémoire de fin d'année
Option :

Traitements du Signal et des Images

Thème

**Étude et Conception des antennes micro ruban à
l'aide de la technologie ULB**

Présenté par :

M^{me} BOULAHBAL Ghouzlane Oum El Kheir

M^r KOUBBA Hamza

Soutenu le : 11 Avril 2023

Encadré par :

M^r DUFRENOIS Franck

M^r BIGAND André

Année universitaire 2022/2023

REMERCIEMENTS

Avant d'entamer ce rapport nous adressons nos vifs remerciements à toute personne ayant contribuée, de près ou de loin à sa réalisation. on souhaite tout d'abord remercier notre encadrant :

M. DUFRENOIS Franck , qui nous a encadré avec patience durant cet semestre et qui n'a épargné aucun effort pour mettre à notre disposition la documentation et les explications nécessaires.

A tous nos professeurs de l'Université du Littoral Côte d'Opale de Calais. Si nous avons pu élaborer ce travail, c'est grâce à l'ensemble de nos professeurs de l'université, en particuliers nos braves et vaillants professeurs du département mathématique, avec vous on a certes trouvé source d'inspiration et de motivation pour notre futur métier d'ingénieur, nous en sommes reconnaissant.

Merci à vous .

DÉDICACES

A Nos Parents : Aucun mot si sacré soit-il, ne suffira à apprécier à sa juste valeur Le soutien matériel et spirituel, les sacrifices que vous ne m'avez cessés de déployer. Je vous offre en guise de reconnaissance, ce modeste travail en vous souhaitant santé, bonheur et longue vie que je puisse combler à mon tour.

A Mes Chers Frères et Sœurs : Pour leurs soutiens, encouragement et félicitations.

A Mes Très Chers Amis: En témoignage de mon admiration et grand respect. J'ai eu l'insigne joie de dédies ce travail a mes amis et tous les étudiants de l'Université du Littoral Côte d'Opale de Calais , A tous ceux qui m'ont soutenu de près ou loin.

RÉSUMÉ

La technologie ULB est décrite comme une solution innovante et prometteuse pour de nombreuses applications. Le développement récent des communications en ultra large bande a nécessité la création d'antennes spécifiquement adaptées à cette technologie. Les antennes patch représentent la meilleure option, car elles offrent des avantages significatifs par rapport aux antennes traditionnelles.

Dans le cadre de notre étude, nous avons proposé deux nouvelles géométries d'antennes imprimées pour des applications en ultra large bande (ULB). Nous avons intégré des fentes de différentes formes dans l'élément rayonnant et dans le plan de masse partiel. De plus, nous avons ajusté plusieurs paramètres pour étendre la bande passante de l'antenne.

Les deux antennes ont été conçues à l'aide du logiciel CST MWS. Les performances obtenues pour les antennes développées, telles que le gain, le coefficient de réflexion, la bande passante et les diagrammes de rayonnement, montrent que les résultats correspondent bien aux exigences requises.

Mots clés : **Antenne microruban, Antenne ultra large bande, ULB, Fentes, Plan de masse partiel, Conception, Logiciel CST MWS.**

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	iii
1 les antennes Micro-rubans	2
1.1 Structure des antennes micro ruban	2
1.2 Différentes formes de l'antenne micro ruban	3
1.3 Techniques d'alimentation	3
1.3.1 Alimentation par contact	3
1.3.2 Alimentation sans contact (par couplage)	5
1.4 Caractéristiques des antennes micro rubans	6
1.4.1 Coefficient de réflexion S11	6
1.4.2 Rapport d'ondes stationnaires R.O.S	7
1.4.3 Bande passante	8
1.4.4 Impédance d'entrée	8
1.4.5 Diagramme de rayonnement	9
1.4.6 La Directivité	11
1.4.7 Gain	12
1.4.8 Rendement	12
1.4.9 Facteur de qualité	12
1.5 Modélisation des antennes patch	13
1.5.1 Antenne patch rectangulaire	13
1.5.2 Antenne patch circulaire	15
2 Technologie Ultra Large Bande	17
2.1 Définition	17
2.2 Comparaison système ULB / système à bande étroite	18
2.3 Applications de la technologie ULB	18
2.3.1 Systèmes d'imagerie radar	19
2.3.2 Systèmes de communication	19

2.3.3	Application médicale	19
2.3.4	Systèmes radars de véhicule	20
2.4	Différents types des antennes ULB	20
2.4.1	Antennes indépendantes de la fréquence	21
2.4.2	Antennes omnidirectionnelles	21
2.4.3	Antennes directives	22
2.5	Avantages et inconvénients de l'ULB	22
2.5.1	Avantages	22
2.5.2	Inconvénients	22
3	Conception des antennes ULB	23
3.1	Description du logiciel de simulation	23
3.2	Conception d'une antenne patch carré à la fréquence 5.8GHz	24
3.3	Conception d'une antenne patch circulaire à la fréquence 5.8 GHz	28
Annexe		34

Liste des figures

1.1	Présentation d'une antenne micro ruban.	2
1.2	Différentes formes d'antenne micro ruban.	3
1.3	Alimentation par une ligne micro ruban	4
1.4	Alimentation par sonde coaxiale	4
1.5	Alimentation par le couplage par fente	5
1.6	Schéma d'une antenne connectée à une ligne de transmission et un générateur	6
1.7	Mesure de la bande passante à partir du coefficient de réflexion	8
1.8	Antenne patch micro ruban rectangulaire	13
1.9	Antenne patch micro ruban circulaire	15
2.1	Spectre du signal ULB par rapport au signal a bande étroite	17
2.2	Différentes applications de large bande	19
2.3	Exemple d'utilisation de radar UWB destiné à la détection de collisions	20
3.1	Géométrie de l'antenne initiale et sa structure dans le rédacteur du CST microwave Studio	24
3.2	le coefficient de réflexion pour les trois tests	25
3.3	3 pics sur la gamme de fréquence de 8.3 GHz à 10 GHz . .	26
3.4	le taux d'onde stationnaire pour les 3 tests	26
3.8	Géométrie de l'antenne initiale	29
3.9	coefficient de réflexion de l'antenne initial	30
3.10	La fente sur le plan de masse	30
3.11	Coefficient de réflexion pour les déférentes wef	31
3.12	le taux d'onde Stationnaire pour les déférentes wef	31
3.13	diagrammes de rayonnements en 2D et en 3D	32

3.14 ouverture du nouveau projet	34
3.15 ouverture du nouveau projet	35
3.16 ouverture du nouveau projet suite (domaine d'étude)	35
3.17 ouverture du nouveau projet suite (bande de fréquence d'étude)	36
3.18 ouverture du nouveau projet suite (bande de fréquence d'étude)	36
3.19 ouverture du nouveau projet suite	37
3.20 fenêtre de travail du logiciel CST	37
3.21 les outils de conception	38
3.22 paramètre de patch	38
3.23 Calculateur d'impédance	39
3.24 Calculateur de coefficient k	39
3.25 Rassembler le patch avec la ligne micro ruban	40
3.26 Résulat finale de l'addition	40

Liste des abréviations

- **2D** - Deux Dimension
- **3D** - Trois Dimension
- **BP** - Bande passante
- **CEPT** - European Conference of Postal and Telecommunications Administration
- **CST** - Computer Simulation Technology
- **dB** - Décibel
- **dB_i** - Décibel isotropique
- **ECC** - Comité électronique de communications
- **FCC** - Fédéral Communication Commission
- **GHz** - Gigahertz
- **GPR** - Ground Penetrating Radar
- **IEEE** - Institute of Electrical and Electronics Engineers
- **RFID** - Radio Frequency Identification
- **ROS** - Rapport d'Onde Stationnaires
- **ULB** - Ultra Large Bande
- **UWB** - Ultra Wide Band
- **VSWR** - Voltage Standing Wave Ratio

Introduction générale

De nos jours, la télécommunication se définit comme suit : "l'envoi, la transmission à distance et la réception d'informations de toutes sortes par câble, radioélectricité, système optique ou électromagnétique". En d'autres termes, la télécommunication est avant tout un échange d'information dans n'importe quel espace donné.

La transmission de données à haut débit, en lien avec la demande croissante des dispositifs mobiles, a suscité un intérêt important pour les antennes microbandes, qui sont probablement les antennes les plus utilisées dans les conceptions compactes commerciales. Les principaux avantages de ces antennes sont : leur faible poids, volume et épaisseur, la simplicité de fabrication, le faible coût, la possibilité de mise en réseau, l'intégration d'éléments discrets et la conformabilité facilitant l'implantation sur tout type de support. Toutefois, ce type d'éléments présente des limites, notamment la bande passante étroite, le faible gain et la possibilité de résonner avec une seule fréquence.

Notre travail vise à étudier et concevoir des antennes microrubans ULB (Ultra Large Bande) pour des fréquences de 3,1 à 10,6 GHz. Le mémoire est divisé en trois chapitres : le premier traite des définitions et caractéristiques des antennes microrubans ; le deuxième aborde les principes fondamentaux de la technologie ULB, sa régulation et ses applications et le troisième chapitre se concentre sur la conception des antennes microrubans ULB en utilisant le simulateur CST Microwave Studio, ainsi que sur les résultats des simulations et leur discussion.

Chapter 1

les antennes Micro-rubans

1.1 Structure des antennes micro ruban

La structure des antennes micro ruban (ou antennes patch) est constituée d'un substrat diélectrique mince, généralement en matériau céramique ou polymère, qui est recouvert sur l'une ou les deux faces d'un conducteur métallique formant la surface rayonnante. Ce conducteur métallique est généralement en forme de patch rectangulaire, circulaire ou encore elliptique, et peut être alimenté par une ligne de transmission en utilisant différentes techniques d'alimentation. Les dimensions de la structure de l'antenne, notamment la taille du substrat et la forme du patch, sont ajustées pour fournir les performances souhaitées en termes de gain, de directivité, de polarisation et de bande Passante.

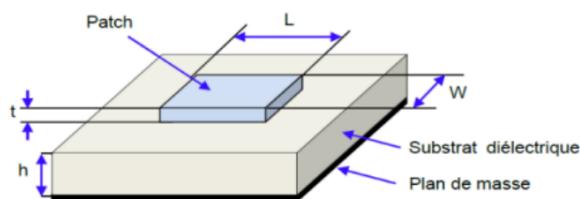


Figure 1.1: Présentation d'une antenne micro ruban.

1.2 Différentes formes de l'antenne micro ruban

L'antenne micro ruban peut prendre plusieurs formes : rectangulaire, carrée, circulaire ou triangulaire. Ces formes sont les plus utilisées car elles présentent une grande facilité d'analyse et de fabrication. La figure ci-dessous montre ces différentes formes :

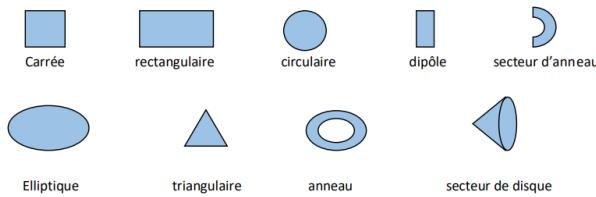


Figure 1.2: Différentes formes d'antenne micro ruban.

1.3 Techniques d'alimentation

Il existe plusieurs techniques d'alimentation des antennes micro rubans, ces techniques doivent être soit par contact soit sans contact (par couplage). Dans la classe d'alimentation avec contact, le patch rayonnant doit être relié directement par un câble coaxial ou bien par une ligne micro ruban. Dans la deuxième classe, le couplage électromagnétique est utilisé pour transmettre la puissance de la ligne au patch rayonnant.

1.3.1 Alimentation par contact

Alimentation par ligne micro ruban :

la technique d'alimentation par ligne micro ruban qui utilise des lignes de transmission pour acheminer l'énergie électrique vers les circuits électroniques à haute fréquence. Cette technique offre

une alimentation stable et de haute qualité pour les circuits de radiofréquence, les amplificateurs, les systèmes de radar et de télécommunications. Les avantages incluent une efficacité élevée, une large bande passante et une faible distorsion. La ligne micro ruban est connectée directement à l'élément rayonnant

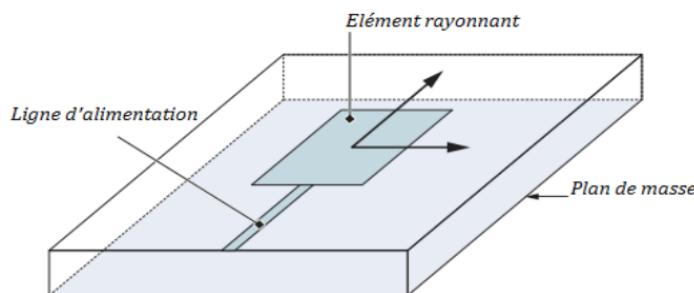


Figure 1.3: Alimentation par une ligne micro ruban

Alimentation par sonde coaxiale :

Cette alimentation est réalisée par une connexion directe de l'élément rayonnant au conducteur central d'une ligne coaxiale, tandis que le conducteur extérieur est relié au plan de masse, est utilisée pour alimenter les patchs de forme circulaire et annulaire. Cette méthode est couramment utilisée.

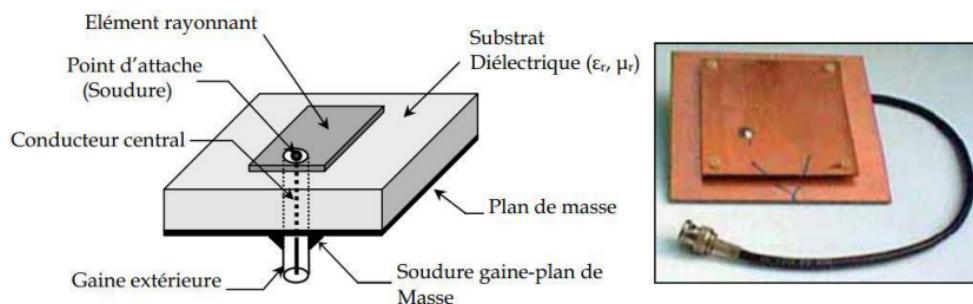


Figure 1.4: Alimentation par sonde coaxiale

Ce type d'alimentation présente les inconvénients suivants :

- Difficulté de modélisation surtout pour les substrats électriquement épais.
- Rayonnement parasite de la sonde mono polaire.
- Les pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse.

1.3.2 Alimentation sans contact (par couplage)

Alimentation par le couplage par fente (ouverture) :

La technique d'alimentation par couplage par fente utilise une fente pratiquée dans un guide d'onde pour fournir de l'énergie électrique à des circuits électroniques à haute fréquence tels que les antennes et les amplificateurs. Cette méthode offre des avantages tels qu'une faible perte d'énergie, une large bande passante et une grande précision de l'alimentation électrique. La position précise de la fente est cruciale pour une alimentation efficace et stable du circuit électronique.

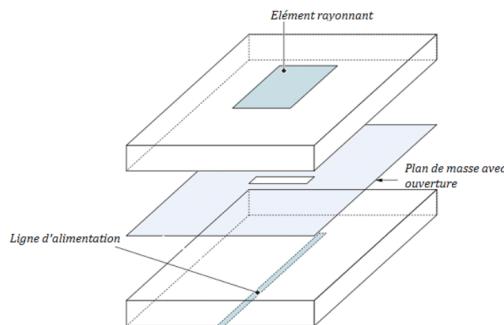


Figure 1.5: Alimentation par le couplage par fente

Alimentation par couplage de proximité :

La technique d'alimentation par couplage de proximité repose sur le couplage inductif entre deux bobines électromagnétiques placées à proximité l'une de l'autre pour alimenter les circuits électroniques

à haute fréquence. Cette méthode offre une faible perte d'énergie, une grande précision de l'alimentation électrique et une isolation électrique entre les circuits électroniques, ce qui en fait une solution idéale pour les applications telles que les antennes, les capteurs sans fil et les systèmes de télécommunications.

1.4 Caractéristiques des antennes micro rubans

1.4.1 Coefficient de réflexion S11

On considère un système comportant l'antenne, un générateur et une ligne de transmission d'impédance caractéristique Z_c .

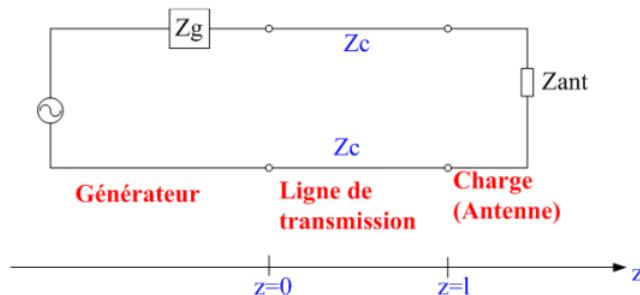


Figure 1.6: Schéma d'une antenne connectée à une ligne de transmission et un générateur

Le coefficient de réflexion S_{11} est crucial pour l'efficacité de transmission d'une antenne ULB (Ultra Low Band) qui fonctionne à des fréquences très basses. Un S_{11} élevé indique une mauvaise adaptation d'impédance, tandis qu'un S_{11} faible indique une adaptation optimale et une efficacité de transmission accrue.

Mesurer et optimiser le S11 est important pour améliorer la performance de l'antenne ULB pour des applications telles que la communication sans fil, la navigation et les capteurs. Des techniques telles que la modification de la forme, de la taille ou des matériaux de l'antenne peuvent être utilisées pour obtenir une adaptation d'impédance optimale. La formule pour calculer le paramètre de réflexion S11 en z=1 est donnée :

$$S_{11} = \frac{Z_{ant} - Z_c}{Z_{ant} + Z_c} \quad (1.1)$$

1.4.2 Rapport d'ondes stationnaires R.O.S

Le ROS ou le VSWR (Voltage Standing Wave Ratio) rassemble au coefficient de réflexion qui traduit l'adaptation ou la désadaptation de l'impédance entre deux éléments. Quand l'adaptation n'est pas parfaite, une superposition se passe entre l'onde réfléchie et l'onde incidente afin de former une seule onde qu'on l'appelle onde stationnaire. En cas de séparation d'impédance, l'émetteur émet une partie de la puissance P1 qui sera réfléchie au point de séparation, vers l'émetteur P2. Un VSWR<2 assure une bonne performance.

Le VSWR est donné par :

$$VSWR = \frac{P_1 + P_2}{P_1 - P_2} \quad (1.2)$$

On donne le rapport d'onde stationnaire en fonction du coefficient de réflexion par:

$$VSWR = \frac{1 + |S_{11}|}{1 - |S_{11}|} \quad (1.3)$$

1.4.3 Bande passante

La bande passante est importante pour une antenne ULB afin qu'elle fonctionne de manière optimale avec un ROS acceptable. La bande passante est mesurée à l'aide d'un analyseur de réseau vectoriel qui mesure le ROS à différentes fréquences. La plage de fréquences pour laquelle l'antenne fonctionne de manière optimale est limitée par une fréquence minimale et maximale qui dépendent des conditions de fonctionnement de l'antenne.

La formule de la bande passante est donnée par :

$$BP(\%) = \left[\frac{F_2 - F_1}{F_0} \right] \times 100 \quad (1.4)$$

F0 : représente la fréquence de résonance (centrale)

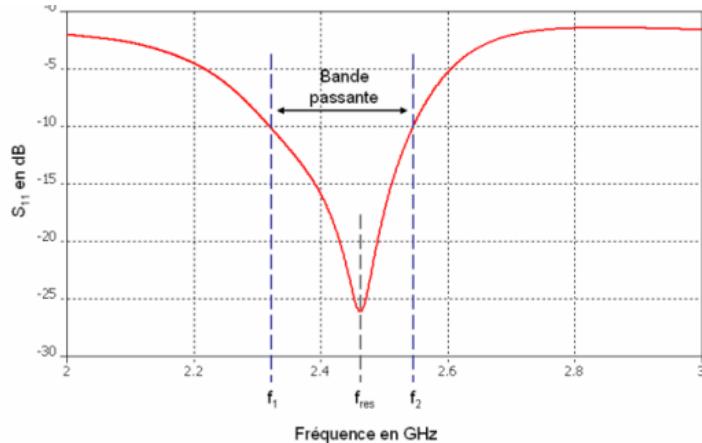


Figure 1.7: Mesure de la bande passante à partir du coefficient de réflexion

1.4.4 Impédance d'entrée

L'impédance d'entrée d'une antenne est définie comme le rapport entre la tension V_{int} et le courant I_{int} aux bornes de l'antenne, ou comme le rapport entre les composantes appropriées des champs

électriques et magnétiques. Cette Impédance est exprimée en termes de la partie réelle R_a , qui caractérise la puissance dissipée par l'antenne sous forme de rayonnement et de pertes diverses dans sa structure (effet Joule, onde de surface, etc.), et une partie imaginaire X_a , qui représente la puissance stockée dans les régions proches du champ rayonné.

$$Z_{ant} = \frac{V_{int}}{I_{int}} \quad (1.5)$$

$$Z_{ant} = R_a + jX_a \quad (1.6)$$

La partie réelle de l'impédance R_a regroupe une partie due aux pertes ohmiques et diélectriques des matériaux et la résistance de rayonnement de l'antenne. Cette dernière s'écrit comme suit :

$$R_a = R_{pertes} + R_{ray} \quad (1.7)$$

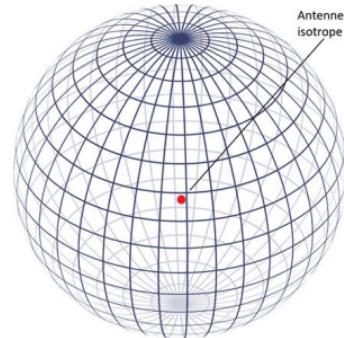
$$Z_{ant} = Z_c \frac{(1 + S_{11})}{(1 - S_{11})} \quad (1.8)$$

1.4.5 Diagramme de rayonnement

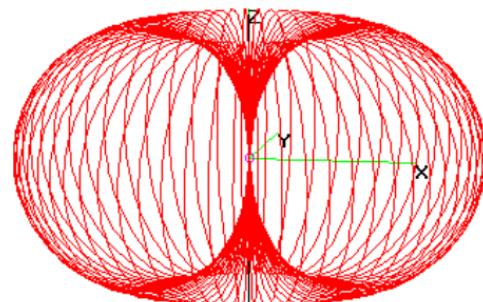
Le diagramme de rayonnement d'une antenne représente la façon dont la puissance rayonnée varie dans toutes les directions de l'espace. Ce paramètre est influencé par la structure globale de l'antenne. Le diagramme de rayonnement permet de déterminer les zones de forte ou de faible puissance autour de l'antenne. Bien que le diagramme de rayonnement puisse varier en fonction de l'antenne, il peut être divisé en trois formes typiques :

isotrope:

qui émet également dans toutes les directions. Un exemple courant d'une antenne isotrope est le soleil, dont la radiation moyenne prise dans une direction et à une distance donnée est la même dans toutes les autres directions à la même distance.

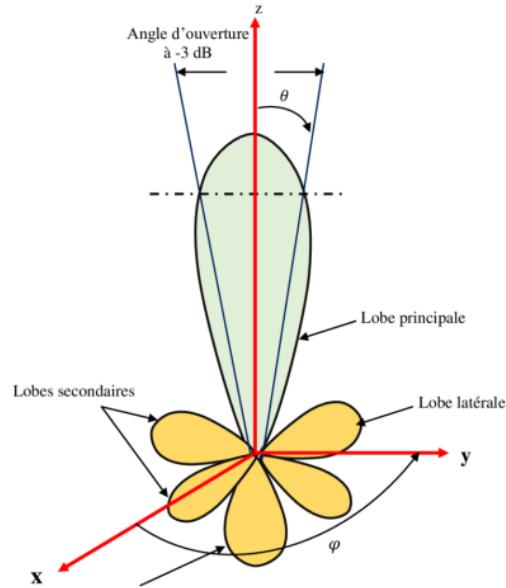
**Omnidirectionnelle:**

L'antenne ULB omnidirectionnelle émet ou reçoit des signaux uniformément dans toutes les directions. Elle permet une communication bidirectionnelle sans avoir besoin de pointer l'antenne dans une direction particulière, ce qui est utile pour les applications où la source du signal ou la destination est inconnue ou en mouvement. Ces antennes sont couramment utilisées dans les applications de Communication à courte portée.



Directive:

L'antenne ULB directive émet ou reçoit des signaux de manière préférentielle dans une ou plusieurs directions spécifiques en utilisant des techniques de focalisation du faisceau. Cela permet une meilleure portée et qualité de communication dans une direction particulière, mais une couverture moins étendue dans les autres directions. Ces antennes sont souvent utilisées dans les applications de communication à plus longue portée, comme la communication satellitaire, les radars, les communications militaires et les télécommunications de longue distance.



1.4.6 La Directivité

La directivité d'une antenne est définie comme sa capacité à diriger la puissance de rayonnement dans une direction spécifique par rapport à une source isotrope de référence. C'est une mesure importante pour évaluer la capacité d'une antenne à émettre ou à recevoir des signaux dans une direction donnée. Plus la directivité est élevée, plus l'antenne est capable de concentrer la puissance dans une direction spécifique.

$$D = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_r} \quad (1.9)$$

$P(\theta, \phi)$: puissance rayonnée par unité d'angle solide (θ, ϕ) .

P_r : puissance totale rayonnée.

1.4.7 Gain

Le gain d'une antenne ULB est sa capacité à diriger la puissance de rayonnement dans une direction spécifique par rapport à une antenne isotrope de référence, mesuré en décibels (dB) comme une mesure relative. Les antennes ULB à gain élevé sont utilisées pour les communications à longue portée.

$$G = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_a} \quad (1.10)$$

P_a : puissance d'alimentation de l'antenne.

La directivité et le gain sont liés par la relation suivante :

$$G(\theta, \phi) = \eta D(\theta, \phi) \quad (1.11)$$

1.4.8 Rendement

Le rendement d'une antenne est alors défini comme étant le rapport de la puissance totale qu'elle rayonne à sa puissance d'alimentation P_a :

$$\eta = \frac{P}{P_a} \quad (1.12)$$

1.4.9 Facteur de qualité

Les antennes peuvent être assimilées à un circuit résonant RLC et que le facteur de qualité Q du circuit à la fréquence de résonance est lié à la bande passante à 3 dB. Un facteur de qualité élevé permet une émission efficace sur une plage de fréquences très étroite, réduisant les interférences hors bande, mais une bande passante trop étroite peut entraîner une atténuation des signaux hors plage.

$$Q = \frac{f_r}{BW} \quad (1.13)$$

1.5 Modélisation des antennes patch

1.5.1 Antenne patch rectangulaire

Dans toutes les formes possibles, l'élément rectangulaire est indéniablement le plus simple à saisir pour comprendre les mécanismes de rayonnement des antennes microstrip.

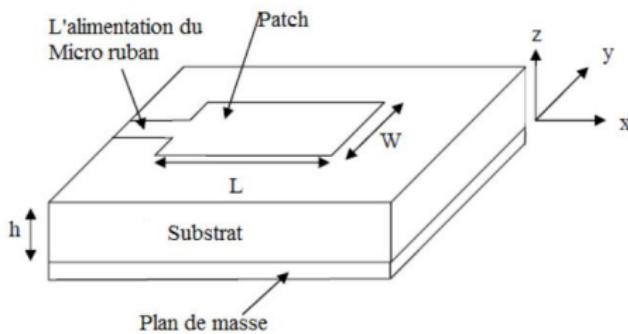


Figure 1.8: Antenne patch micro ruban rectangulaire

D'après Huang, Boyle et Balanis, la fréquence de résonance d'une antenne patch rectangulaire en mode TM010 est exprimée comme suit :

$$f_r = \frac{c}{2L_{eff} \sqrt{\epsilon_{ref}}} \quad (1.14)$$

Pour un rayonnement efficace, la largeur du patch est donnée par BAHAL et BHARTIA comme :

$$W = \frac{c}{2f_r(\sqrt{\epsilon_r + 1/2})} \quad (1.15)$$

Avec :

c : vitesse de la lumière dans le vide.

ϵ_r : permittivité relative du substrat.

f_r : fréquence de résonance (centrale).

L'expression de la constante diélectrique efficace ϵ_{eff} est donnée par Balanis comme :

$$\epsilon_{ref} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{w} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (1.16)$$

Avec :

ϵ_r : constante diélectrique du substrat.

h : hauteur du substrat diélectrique.

w : largeur du patch.

Les dimensions du patch sur toute sa longueur ont maintenant été étendues à chaque extrémité par une distance ΔL qui est donnée empiriquement par HAMMERSTAD comme :

La longueur du patch L est donnée par l'équation suivante :

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{ref} + 0.3)(\frac{w}{h} + 0.264)}{(\epsilon_{ref} - 0.258)(\frac{w}{h} + 0.8)} \quad (1.17)$$

Pour une fréquence de résonance f_r , la longueur effective est donnée par :

$$L_{eff} = \frac{C}{2f_r \sqrt{\epsilon_{ref}}} \quad (1.18)$$

La longueur du patch L est donnée par l'équation suivante :

$$L = L_{eff} - 2\Delta L \quad (1.19)$$

La longueur du substrat L_g et la largeur du substrat W_g sont données par les équations suivantes :

$$L_g = L + 6h \quad (1.20)$$

$$W_g = W + 6h \quad (1.21)$$

1.5.2 Antenne patch circulaire

Les patchs circulaires sont largement utilisés dans la pratique à cause de sans contexte le plus facile.

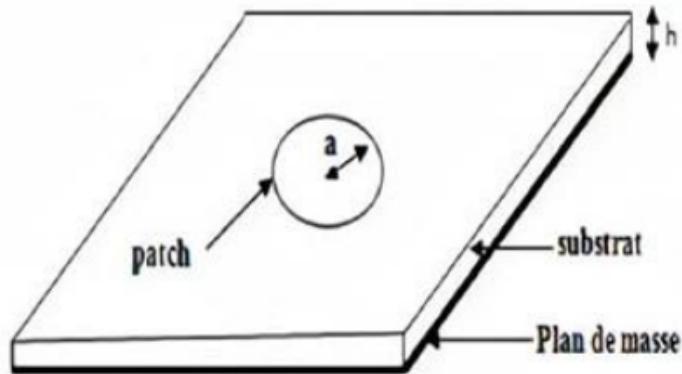


Figure 1.9: Antenne patch micro ruban circulaire

Le rayon de l'antenne patch circulaire est donné par la relation suivante:

$$a = \frac{F}{\sqrt{1 + \frac{2h}{\pi\epsilon_r F} \left[\ln\left(\frac{\pi F}{2h}\right) + 1.7726 \right]}} \quad (I.22)$$

$$F = \frac{8.791 \times 10^9}{f_r \sqrt{\epsilon_r}} \quad (I.23)$$

Avec :

h : l'épaisseur du substrat.

ϵ_r : permittivité relative.

f_r : fréquence de résonance.

Généralement la longueur de la ligne d'alimentation est de l'ordre de la demi-longueur d'onde :

$$L_L = \frac{\lambda}{2} = \frac{c}{2f_r} \quad (1.24)$$

Avec :

c: c'est la vitesse de la lumière.

λ : la longueur d'onde.

La largeur de l'antenne est exprimée par la relation suivante :

$$W_G = 2 \times a + 6 \times h \quad (1.25)$$

Où :

a: le rayon du patch.

h: l'épaisseur.

L'équation de la longueur de l'antenne est donnée par :

$$L_G = 2 \times a + L_L + 6 \times h \quad (1.26)$$

Avec :

a: le rayon du patch.

h: l'épaisseur.

L_L : la longueur de la ligne d'alimentation.

Chapter 2

Technologie Ultra Large Bande

2.1 Définition

Une antenne est dite ultra large bande si :

- Selon DARPA (Defense Advanced Research Projects Agency 1990), l'antenne à une valeur de la bande passante (BP) supérieure à 0.25.
- - Selon la FCC (Federal Communications Commission), l'antenne à une valeur de BP supérieure à 0.2. Tels que :

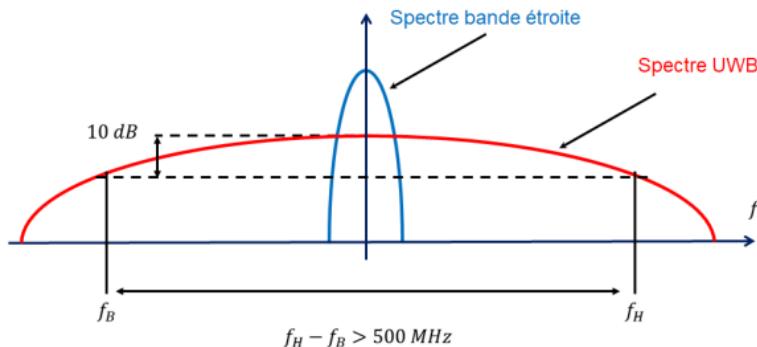


Figure 2.1: Spectre du signal ULB par rapport au signal a bande étroite

$$BP_{relative} = \frac{2(f_{max} - f_{min})}{(f_{max} + f_{min})} \quad (2.1)$$

BP_{relative} : la bande passante relative à la fréquence centrale.

f_{\max} : la valeur supérieure de la bande passante.

f_{\min} : la valeur inférieure de la bande passante.

De plus, la FCC définit l'antenne ULB comme toute antenne ayant une bande passante supérieure à 500 MHz. La fréquence la plus élevée et la fréquence la plus basse de la bande passante sont définies selon la FCC par les fréquences auxquelles la puissance rayonnée est -10dB de sa valeur maximale.

2.2 Comparaison système ULB / système à bande étroite

Systèmes ULB	Systèmes à bande étroite
Largeur de bande très importante	Largeur de bande faible
Résolution temporelle élevée	Résolution temporelle inférieure
Débit de données élevé	Débit de données faible
Bonne pénétration des matériaux	Capacité de pénétration moindre
Moins sensibles aux interférences	Plus susceptibles d'interférences
Complexité et coût plus élevés	Simplicité et coût plus faibles

2.3 Applications de la technologie ULB

Trois catégories principales d'applications sont associées aux systèmes ULB : la détection, la géolocalisation et les communications sans fil. Les applications de détection et de géolocalisation n'exigent pas nécessairement un débit d'information élevé, mais elles reposent sur une grande précision sur de longues distances et une résistance aux trajets multiples. En revanche, les communications sans fil tirent parti des débits très élevés offerts par la technologie ULB sur de courtes distances.

2.3.1 Systèmes d'imagerie radar

Cette catégorie comprend les systèmes d'imagerie par radar à pénétration du sol (GPR: Ground Penetrating Radar), d'imagerie de l'intérieur des murs et à travers les murs, d'imagerie médicale, d'imagerie pour la construction et les réparations à domicile, d'imagerie pour l'exploitation minière et d'imagerie de surveillance. La bande de ces systèmes doit être inférieure à 960MHz ou comprise entre 1.99 et 10.6 GHz

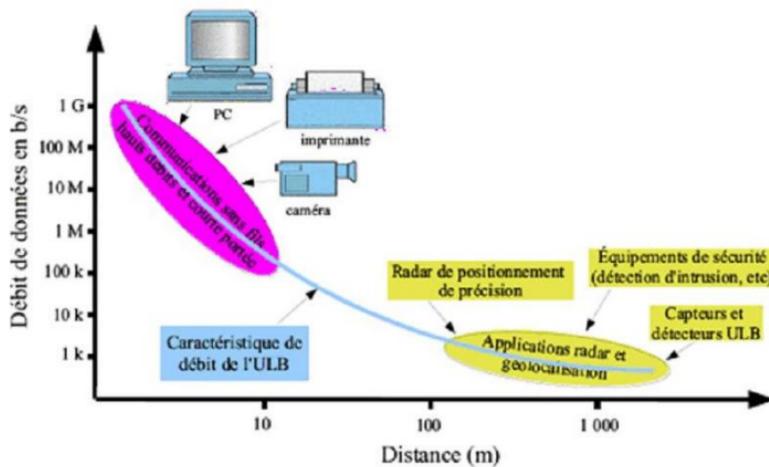


Figure 2.2: Différentes applications de large bande

2.3.2 Systèmes de communication

Cette catégorie présentera certainement la plus grande prolifération en raison de possibilité d'utilisation massive des dispositifs UWB dans les immeubles à bureaux, les salles de réunion et de conférence et les endroits publics (par exemple les aéroports ou les centres commerciaux). Cette catégorie comprend les systèmes de communication à courte distance, notamment les réseaux personnels sans fils et les systèmes de mesure.

2.3.3 Application médicale

Les signaux ULB peuvent pénétrer à travers le corps humain, les murs, la terre, la neige, la boue, et beaucoup d'applications intéressantes de

l'ULB peuvent être envisagées dans le domaine de la médecine. Les hôpitaux, plateaux opératoires, soin domestique, les services de réanimations, la pédiatrie clinique, opérations de sauvetages (pour rechercher le battement de cœur sous des ruines, ou le sol, ou la neige) sont certains domaines d'applications potentiels.

2.3.4 Systèmes radars de véhicule

Cette catégorie comprend les radars d'avertissement de collision (figure II.6), les systèmes radar de véhicule peuvent déterminer la distance entre des objets et un véhicule et ils peuvent être intégrés aux systèmes de navigation du véhicule. Certains dispositifs radar de véhicule installés sur des voitures de luxe ont fait leurs apparitions dans des salons de l'automobile.

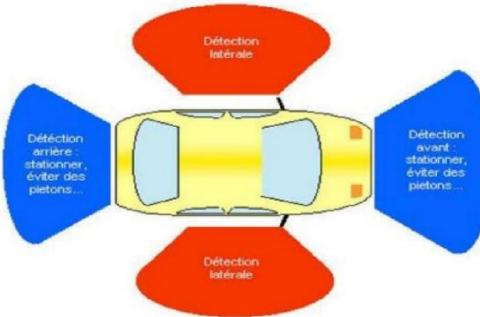


Figure 2.3: Exemple d'utilisation de radar UWB destiné à la détection de collisions

2.4 Différents types des antennes ULB

Plusieurs types d'antennes ultra-large bande (ULB) existent. Les antennes ULB les plus couramment utilisées sont classées en fonction de certaines propriétés, telles que les caractéristiques géométriques ou la spécificité du diagramme de rayonnement (antenne omnidirectionnelle ou directive). Chacune de ces antennes présente des caractéristiques d'adaptation sur une très large bande de fréquences.

2.4.1 Antennes indépendantes de la fréquence

Les antennes à fréquence indépendante sont reconnues depuis longtemps, ayant été définies en 1957 par Rumsay et Dyson [II.16]. Leur caractéristique principale réside dans les dimensions angulaires qui composent la structure de l'antenne. En théorie, les antennes à fréquence indépendante présentent un diagramme de rayonnement, une impédance d'entrée et une polarisation qui demeurent pratiquement invariables sur une largeur de bande presque infinie.

En effet, si on multiplie toutes les dimensions de l'antenne par un facteur , les performances de l'antenne restent inchangées, seule la fréquence de travail augmente du même facteur ,donc l'expression générale de leur forme géométrique peut s'écrire sous la forme suivante :

$$r = \exp(\alpha(\phi + \phi_0)) \cdot F(\theta) \quad (2.2)$$

Avec :

ϕ, θ : des coordonnées sphériques.

α, ϕ_0 : deux constantes.

F : fonction dépendant uniquement de θ .

parmi les antennes indépendantes on peut citer :

- Antennes log-périodiques
- Antennes spirales

2.4.2 Antennes omnidirectionnelles

Il est possible d'obtenir des antennes qui présentent à la fois une large bande passante et un diagramme de rayonnement omnidirectionnel de manière naturelle. Parmi cette catégorie, on peut citer:

- l'antenne biconique
- l'antenne discone
- les monopôles plans montés sur un plan de masse.

2.4.3 Antennes directives

Les antennes ULB directives peuvent être décrites comme des systèmes de transition entre un guide d'onde et l'espace libre. On part d'une ligne de transmission dont l'un des paramètres est une impédance caractéristique constante quelque soit la fréquence. Elles sont souvent utilisées dans des applications particulières; par exemple dans le cas d'une station de base en communication avec des stations fixes. on peut citer:

- l'antenne Cornet
- Antenne à transition progressive (Vivaldi)

2.5 Avantages et inconvénients de l'ULB

2.5.1 Avantages

- Aptitude de partager le spectre de fréquence.
- Grande capacité du canal.
- Architecture simple d'émetteur/récepteur.
- Complexité réduite et faible coût.

2.5.2 Inconvénients

- Difficile à adapté.
- Le haut débit induit l'utilité du traitement d'un signal très dense à la réception, avec une rapidité raisonnable, ce qui est difficile à réaliser.
- Une faible couverture de la bande.

Chapter 3

Conception des antennes ULB

3.1 Description du logiciel de simulation

Le logiciel CST MICROWAVE STUDIO est utilisé pour l'analyse et la conception électromagnétiques en hautes fréquences. Il possède plusieurs techniques de simulation et types de maillage adaptés à différents types d'applications.

Le logiciel utilise également des techniques avancées telles que Perfect Boundary Approximation et Thin Sheet Technique pour augmenter la précision de la simulation par rapport aux simulateurs classiques.

Cette solution est utiliser par toute personne confrontée à des problèmes électromagnétiques dans les hautes fréquences. Le programme est particulièrement adapté à l'analyse et à la conception rapides et efficaces de composants tels que les antennes (notamment les matrices), les filtres, les lignes de transmission, les coupleurs, les connecteurs (à une ou plusieurs broches), les cartes de circuit imprimé, les résonateurs et bien d'autres. La méthode sous-jacente étant une approche 3D générale, CST MICROWAVE STUDIO peut résoudre pratiquement tous les problèmes des champs hauts fréquence.

3.2 Conception d'une antenne patch carré à la fréquence 5.8GHz

La forme de l'antenne patch choisie est carré avec une alimentation au centre via une ligne micro-ruban de longueur **La**. L'antenne est composée d'un élément rayonnant rectangulaire (**LP x WP**) avec des encoches, imprimé sur un substrat diélectrique (**Lg x wg**) de type **FR4** avec une permittivité relative de **4,3** et d'une épaisseur **h**. Le plan de masse est situé sur la face inférieure du substrat. La figure 3.1 montre la géométrie et la structure de cette antenne dans le logiciel CST Microwave Studio.

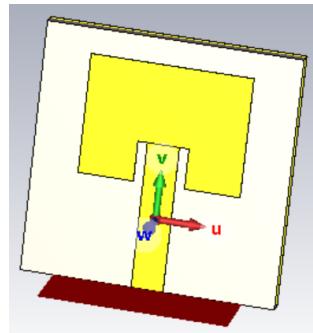


Figure 3.1: Géométrie de l'antenne initiale et sa structure dans le rédacteur du CST microwave Studio

Les dimensions de notre antenne sont obtenues par les calculs théoriques de l'antenne micro ruban à la fréquence 5.8 GHz(les équations sont indiquées dans le chapitre I). Les dimensions de l'antenne initiale sont mentionnées dans le Tableau ci-dessous:

Paramètre	Dimension (mm)
W_s	25
L_s	25
W_p	15.88
L_p	11.88
W_c (en couche)	5
W_f	0,98
L_f	14.56
ϵ	4.3
t	0.035
h	0.5
Matériau patch	Cooper (annealed)
Matériau substrat	FR_4
Encoche (W x L)	0.9315 x 4

Nous avons fait trois tests et créé trois antennes différentes. Le premier test avait une antenne avec ces caractéristiques : $h=0,5$ mm, $l_f=14,56$ mm et $W_f=0,98$ mm. En changeant l'épaisseur à 1,2 mm et la largeur à 2,35 mm, nous avons eu une nouvelle antenne avec un taux de réflexion de **-12,1 db** et une largeur de bande passante autour de 1,9 %. En ajustant encore l'épaisseur à 1,6 mm et la largeur à 3,137 mm, nous avons eu un taux de réflexion de **-29,5 db** et une largeur de bande de 3,7 %, adaptée pour une fréquence de 5,8 GHz.

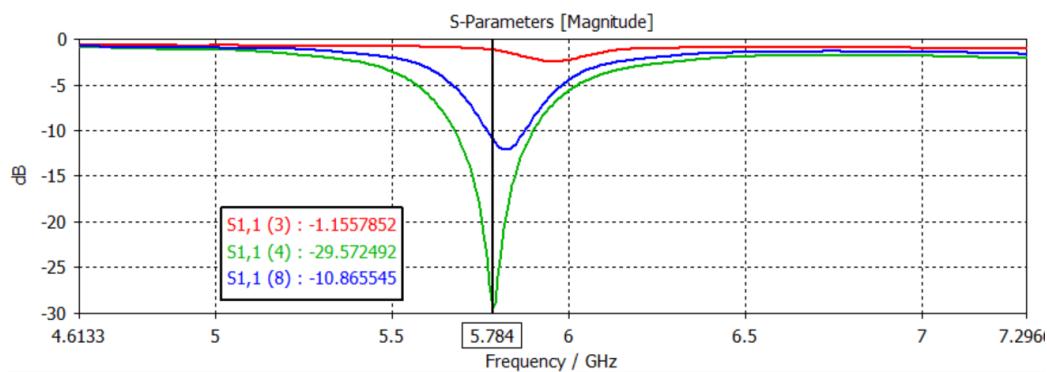


Figure 3.2: le coefficient de réflexion pour les trois tests

On visualise aussi plusieurs pics qui sont inférieurs à -3.5dB sur toute la gamme de fréquence de 8.3 GHz à 10 GHz. Donc l'antenne s'approche d'un fonctionnement très large bande dans les hautes fréquences.

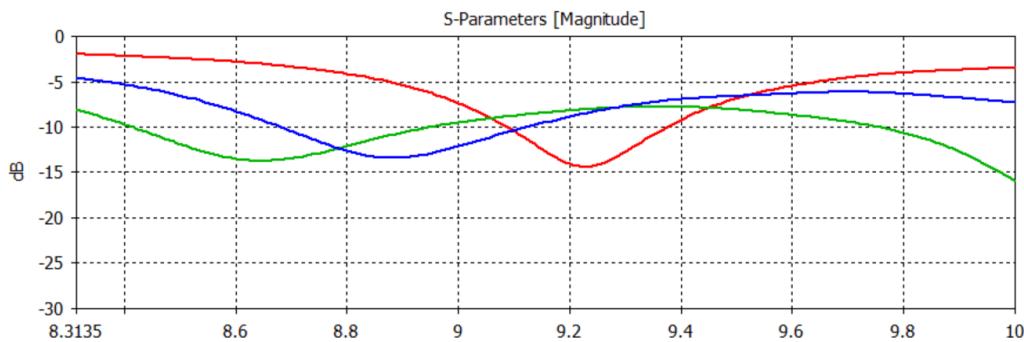


Figure 3.3: 3 pics sur la gamme de fréquence de 8.3 GHz à 10 GHz

La Figure 3.4 illustre clairement que, lors de notre troisième essai, le rapport d'onde stationnaire est inférieur à 1,1 à la fréquence de résonance de 5,78 GHz, ce qui indique une excellente adaptation à la fréquence de résonance sélectionnée.

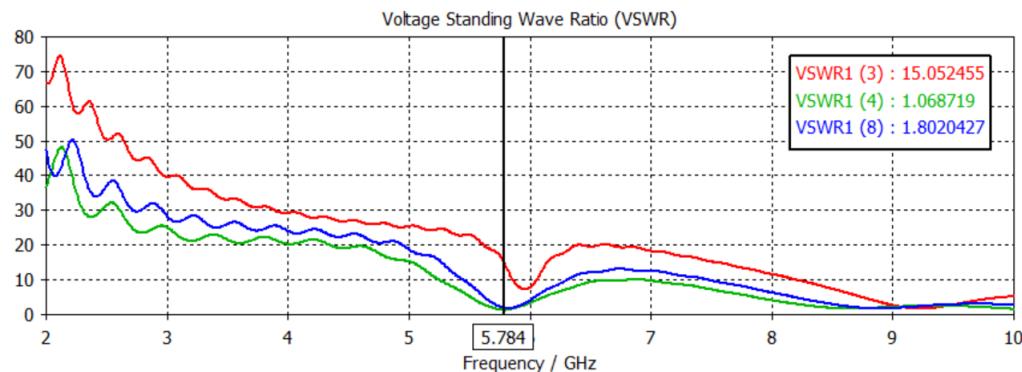
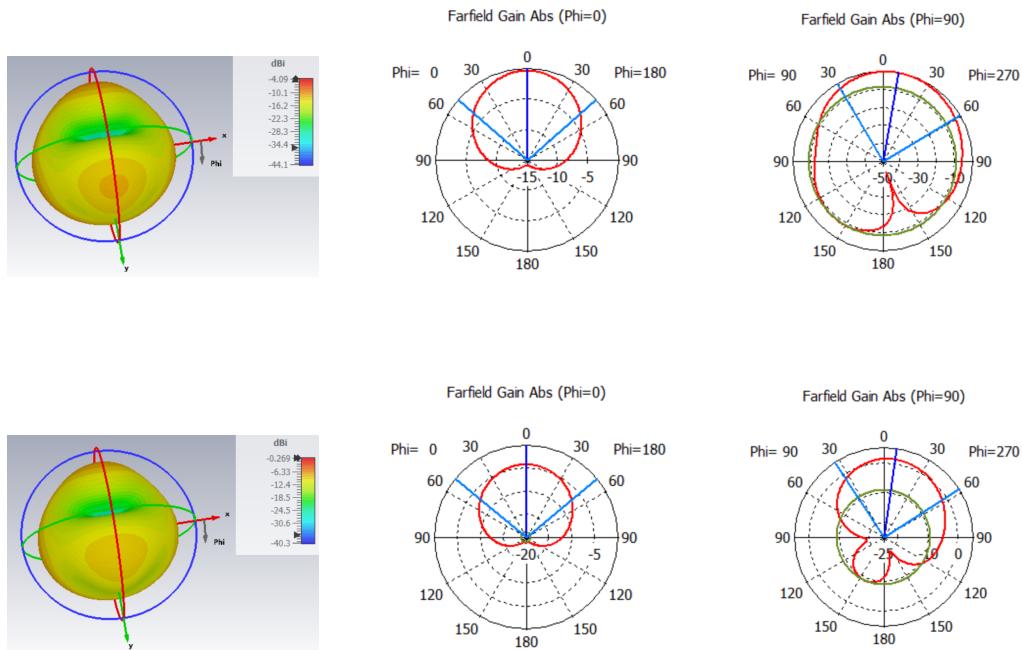


Figure 3.4: le taux d'onde stationnaire pour les 3 tests

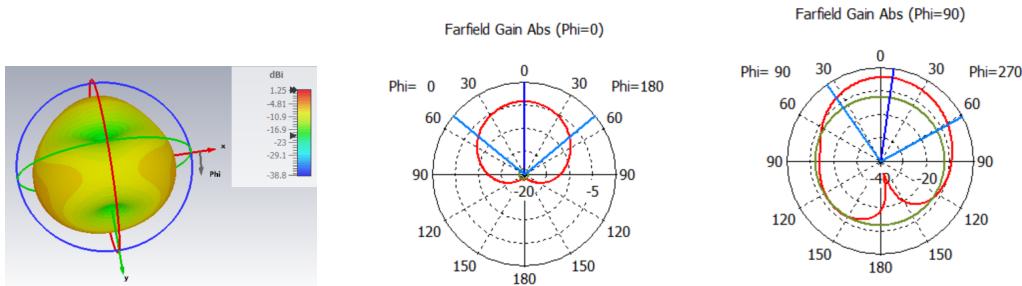
En résumé, les changements dans les caractéristiques de l'antenne ont affecté ses performances. La troisième antenne, avec une épaisseur de 1,6

mm et une largeur de 3,137 mm, est plus efficace pour notre fréquence étudier (5,8 GHz). *En augmentant l'épaisseur de substrat et la largeur de feedline, on obtient de meilleurs résultats.*

Le logiciel CST MWS permet de visualiser aussi les diagrammes de rayonnement en 2D et en 3D 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. Les résultats du diagramme de rayonnement pour les deux principaux plans en 2D et en 3D pour les différentes fréquences de résonances 5Ghz, 5.5Ghz et 6Ghz sont montrés sur les figures suivantes.



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.



Pour la fréquence 5 GHz, on remarque que le diagramme de rayonnement en 2D dans le plan E ($\phi=0^\circ$) est constitué d'un seul lobe principale. Et pour le plan H ($\phi=90^\circ$), on visualise deux lobes d'ouvertures presque égaux et dans deux directions différentes. Ceci montre que le diagramme de rayonnement est presque quasi omnidirectionnel.

Pour les fréquences 5GHz, 5.5GHz et 6GHz, les diagrammes de rayonnements en 2D pour les deux plans E et H sont constitués de plusieurs lobes d'ouvertures différentes. Ce qui signifié que le rayonnement est quasi omnidirectionnel pour chacune des trois fréquences choisies.

Le tracé en 3D donne une meilleure exploration du diagramme de rayonnement, on peut constater que la plupart du rayonnement est dans la direction Z.

3.3 Conception d'une antenne patch circulaire à la fréquence 5.8 GHz

L'antenne patch sélectionnée possède une structure circulaire, alimentée au centre par une ligne micro-ruban. L'antenne est composée d'un élément rayonnant circulaire, avec un rayon R, imprimé sur la surface supérieure d'un substrat diélectrique de dimensions ($L_g \times w_g$). Le patch rayonnant et le plan de masse sont fabriqués en cuivre, tandis que le substrat diélectrique est en FR-4, avec une permittivité relative de 4,3 et

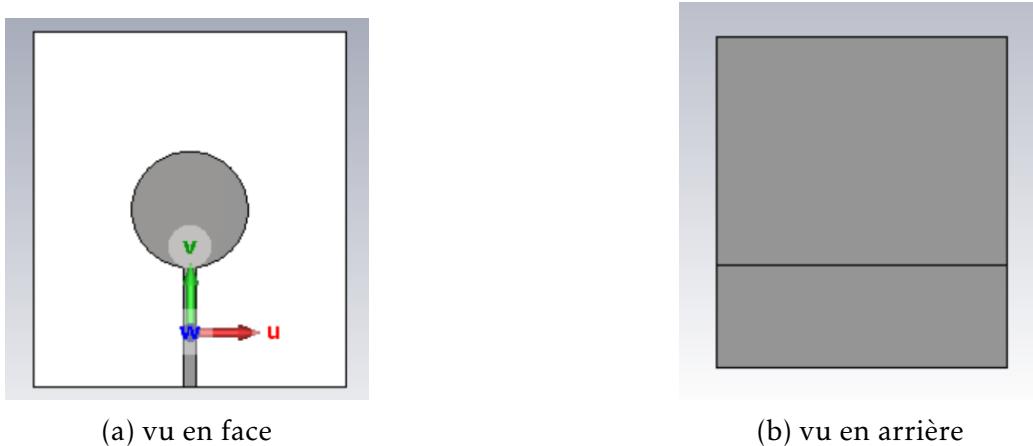


Figure 3.8: Géométrie de l'antenne initiale

une épaisseur h . La géométrie initiale de l'antenne et sa structure dans l'éditeur CST Microwave Studio sont présentées à la Figure 3.5.

Paramètre	Dimension (mm)
L_g	32
W_g	28.1
W_f	2
L_f	16
ϵ	4.3
hs	0.794
hr	2
hg	0.035
Matériau patch	Cooper (annealed)
Matériau substrat	FR_4

Les dimensions de l'antenne initiale sont obtenues par les calculs théoriques de l'antenne micro ruban circulaire à la fréquence 5.8 GHz(les équations sont indiquées dans le chapitre 1). Ces dimensions sont mentionnées dans le Tableau ci-dessus.

D'après la figure 3.9 nous remarquons que le coefficient de réflexion S11 de cette antenne est au-dessus de -10 dB ce qui conduit à une désadaptation de l'antenne notamment à la fréquence désirée. Pour améliorer le niveau d'adaptation de l'antenne initiale dans la gamme de fréquence de [3–12] GHz, nous avons effectuées des modifications sur les dimensions de l'antenne initiale au niveau de plan de masse et aussi la largeur de la ligne d'alimentation.

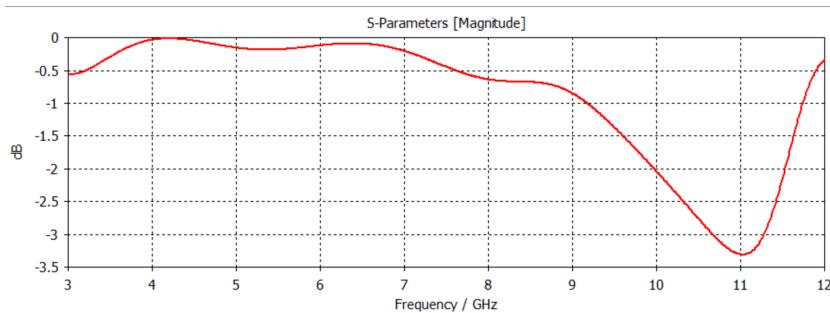


Figure 3.9: coefficient de réflexion de l'antenne initial

En ce qui concerne le plan de masse, nous avons conçu une fente avec les dimensions **Wslot = 28,1mm** et **Lslot = 10mm** afin d'obtenir des résultats optimaux pour une fréquence de 4,13 GHz. Nous avons obtenu un coefficient de réflexion de -19 dB, un VSWR de 1,26 dB et une large bande passante.

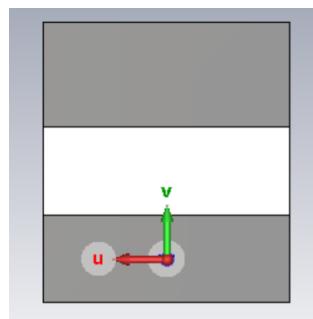


Figure 3.10: La fente sur le plan de masse

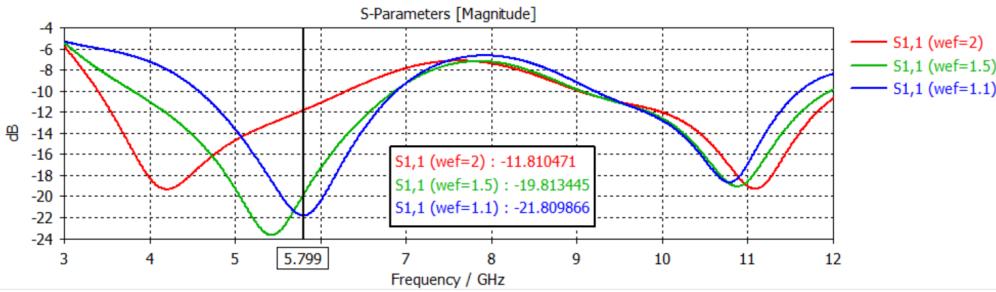


Figure 3.11: Coefficient de réflexion pour les différentes wef

La Figure 3.11 présente les coefficients de réflexion de trois antennes ayant des valeurs de largeur de la ligne d'alimentation équivalente (Wef) de 2 mm, 1,5 mm et 1,1 mm. Les résultats des simulations montrent clairement que pour Wef = 1,1 mm, le coefficient de réflexion est inférieur à -10 dB pour une fréquence de résonance 5.8 Ghz, ce qui signifie qu'aucune puissance n'est réfléchie à l'entrée de l'antenne. De plus, la bande passante de cette structure est extrêmement large et correspond à la gamme de fréquence à laquelle l'antenne est adaptée à sa ligne d'alimentation, ce qui en fait une solution idéale pour les communications ULB.

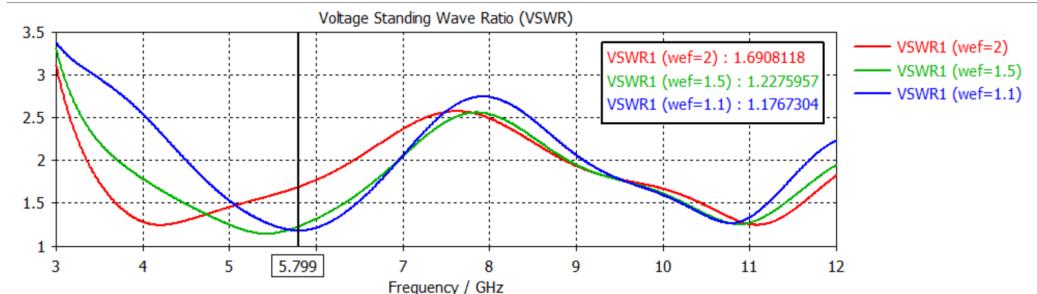


Figure 3.12: le taux d'onde Stationnaire pour les différentes wef

De même la représentation du rapport d'onde stationnaire (ROS) où le VSWR confirme les performances de l'antenne conçue, où la valeur de VSWR reste inférieure à 2 dans toute la gamme de fréquence de [4.5-7]

GHz. On remarque que la diminution de Wef augmente le fréquence, et aussi le gain maximal de l'antenne proposée égal à 3.3dB.

Les modifications effectuées se voient clairement sur les résultats de simulation, cette différence est due aux nouvelles valeurs des paramètres qu'on a utilisés pour la conception. On peut observer d'après les résultats de simulation que la nouvelle antenne présente un niveau d'adaptation très important par rapport à l'antenne initiale dans la plage de fréquence de [3-12] GHz.

Nous avons présenté aussi les diagrammes de rayonnements en 2D et en 3D pour la fréquence de résonance 5.5GHz simulés sous CST MWS selon les figures suivantes:

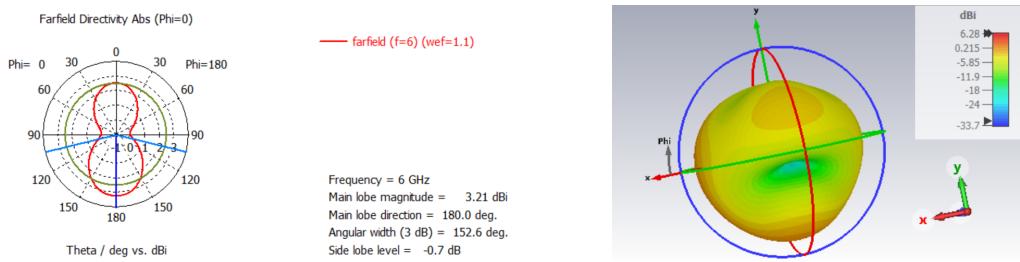


Figure 3.13: diagrammes de rayonnements en 2D et en 3D

Le diagramme de rayonnement de l'antenne dans le plan $\Phi=0^\circ$ change lorsque la fréquence augmente, on constate une modification importante du diagramme de rayonnement avec la variation de la fréquence.

le diagramme est composé de deux lobes opposés d'ouvertures différentes. Ce qui donne un fonctionnement presque quasi omnidirectionnel.

Le tracé en 3D donne une meilleure exploration du diagramme de rayonnement.

Conclusion

Étant donné la demande d'antennes ultra large bande pour les systèmes de radiocommunications mobiles, ce mémoire se focalise sur la conception et la simulation d'antennes patch ultra large bande.

Dans le premier chapitre, nous avons passé en revue la théorie des antennes imprimées, en abordant leur structure, leurs différentes formes, les divers types d'alimentation, leurs avantages et inconvénients, ainsi que leurs caractéristiques et domaines d'application dans les systèmes de communication mobiles et sans fil.

Le deuxième chapitre traite des principes fondamentaux de la technologie Ultra Large Bande, en commençant par une introduction générale. Nous avons ensuite comparé les systèmes ULB et ceux à bande étroite, expliqué la réglementation de cette technologie dans le monde et présenté ses diverses applications. Enfin, nous avons présenté les différents types d'antennes ULB, leurs avantages et inconvénients.

Le troisième chapitre est consacré à l'étude et la conception de nouvelles antennes imprimées ULB alimentées par une ligne microruban. Nous avons intégré plusieurs techniques, telles que les fentes et le plan de masse partiel, pour élargir la bande passante de l'antenne patch. Le logiciel CST Studio nous a permis de simuler les performances des antennes proposées, dont les résultats sont présentés et analysés.

Ce mémoire de recherche peut servir de base pour d'autres travaux futurs sur les systèmes ULB.

Annexe

Etapes de conceptions des antennes ULB

D'abord nous devons cliquer sur l'icône du logiciel CST sur le bureau .on obtient la fenêtre représentée dans la Figure 3.14 et on clique sur la cellule New and Recent et un autre clique sur New Template.

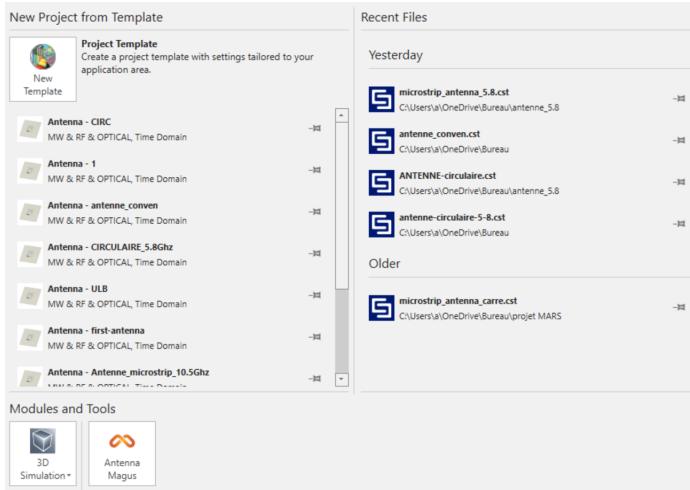


Figure 3.14: ouverture du nouveau projet

On obtient la fenêtre suivante qui affiche des choix multiples pour la simulation Figure 3.15 et nous choisissons MW, RF, Optical ensuite Antennes et on clique sur Next:

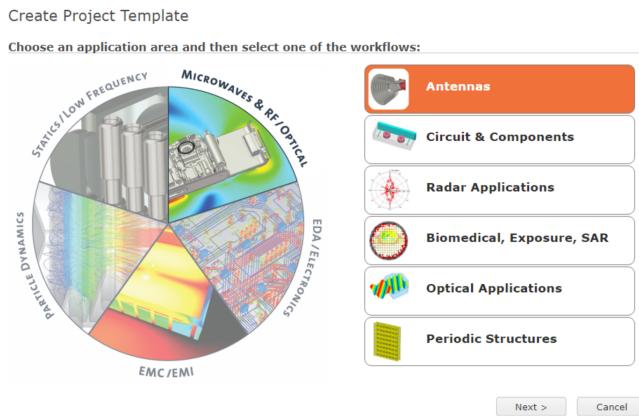


Figure 3.15: ouverture du nouveau projet

Ensuite nous cliquons sur Planar Patch, Slot, etc...) dans la fenêtre suivante Figure 3.16

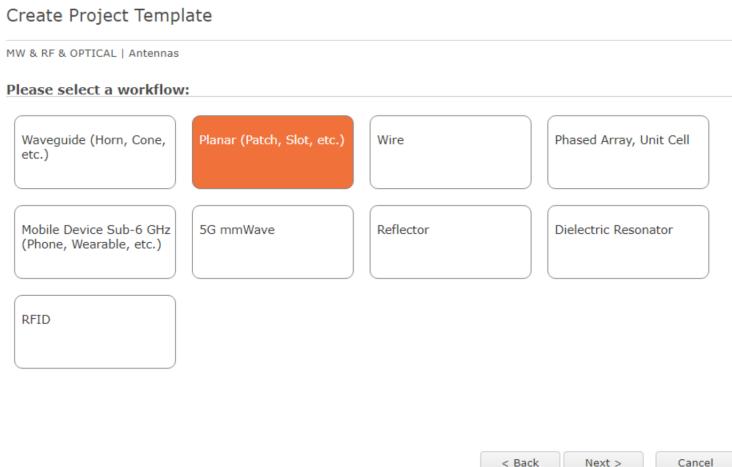


Figure 3.16: ouverture du nouveau projet suite (domaine d'étude)

Nous choisissant ensuite Time domain comme suivant Figure 3.17

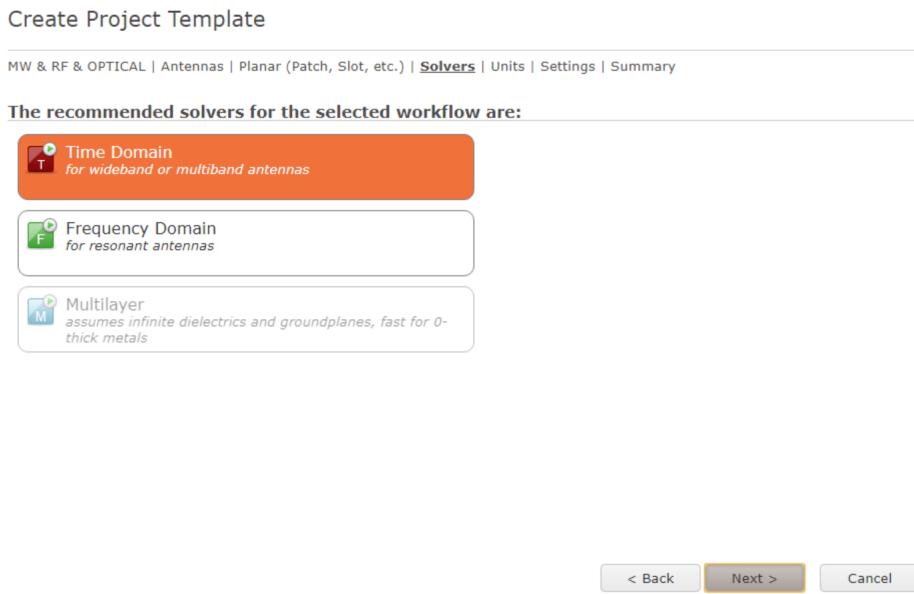


Figure 3.17: ouverture du nouveau projet suite (bande de fréquence d'étude)

Nous devons aussi limiter la bande de fréquence qu'on doit étudier les performances de notre antenne

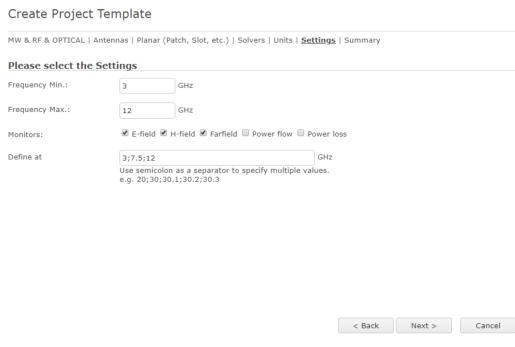


Figure 3.18: ouverture du nouveau projet suite (bande de fréquence d'étude)

Maintenant tous les paramètres sont bien réglées, et on est prêt pour commencer la conception.

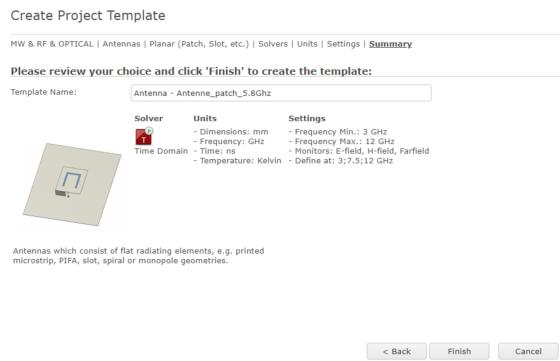


Figure 3.19: ouverture du nouveau projet suite

Après qu'on termine le réglage des paramètres, on aura la fenêtre de travail suivante (Figure 3.20) sur laquelle nous allons faire la conception et la simulation.

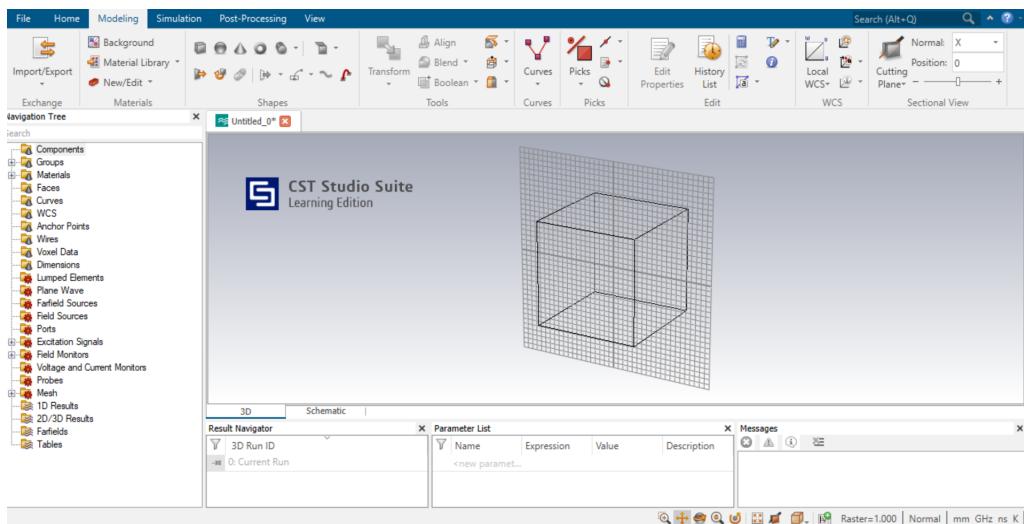


Figure 3.20: fenêtre de travail du logiciel CST

Nous commençons la conception en utilisant les outil shapes dans la case de Modeling comme suivant:

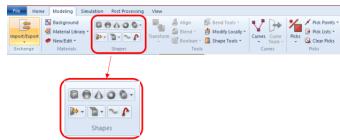


Figure 3.21: les outils de conception

Nous utilisons le cube pour tracer les dimensions des composants de notre antenne patch ensuite nous faisons entrer les longueurs nécessaires pour les dimensionner et les positionner. Dans la petite fenêtre nous pouvons choisir le type de matériel utilisé dans la bibliothèque du logiciel, ce dernier contient tous les paramètres électriques des matériaux organisés par ordre alphabétique. Dans ce cas on peut prendre le Cuivre (Copper annealed) qui représente la matière utilisée pour le patch que nous voulais étudier.

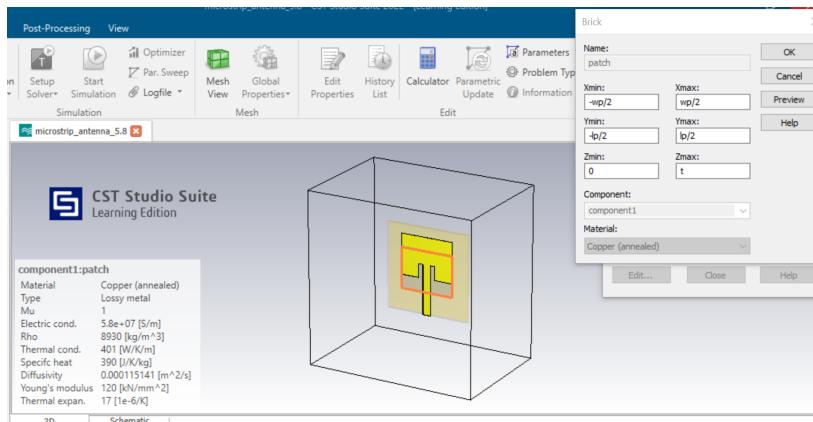


Figure 3.22: paramètre de patch

On peut calculer aussi l'impédance pour savoir notre largeur de notre ligne d'alimentation par l'insertion de notre fréquence de résonance, Wef, L'épaisseur de substrat et la permittivité (epsilon).

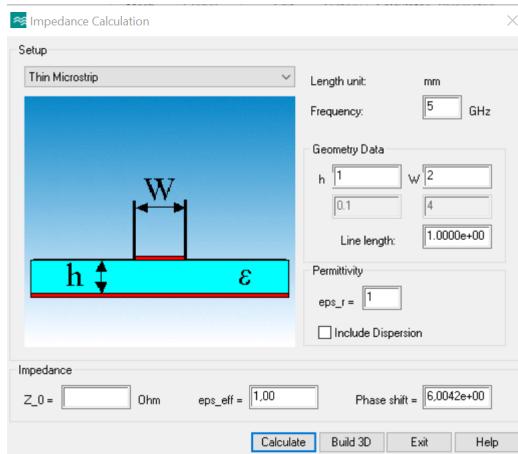


Figure 3.23: Calculateur d'impédance

Pour calculer le coefficient k qui va être utilisé dans notre port pour alimenter notre ligne on cherche Macros → Solver → port → calculate port extention coefficient

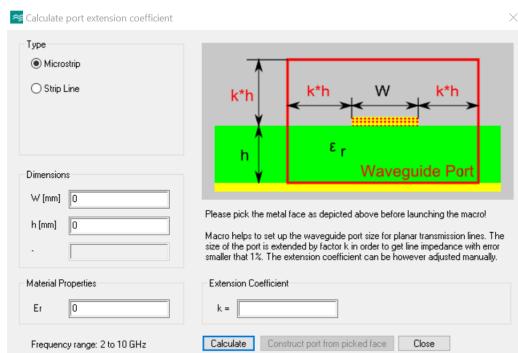


Figure 3.24: Calculateur de coefficient k

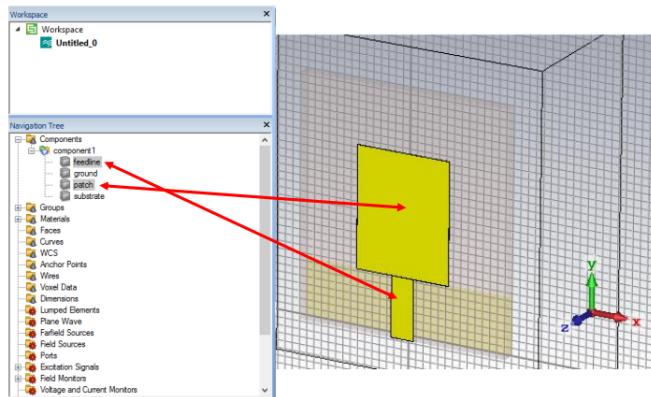


Figure 3.25: Rassembler le patch avec la ligne micro ruban

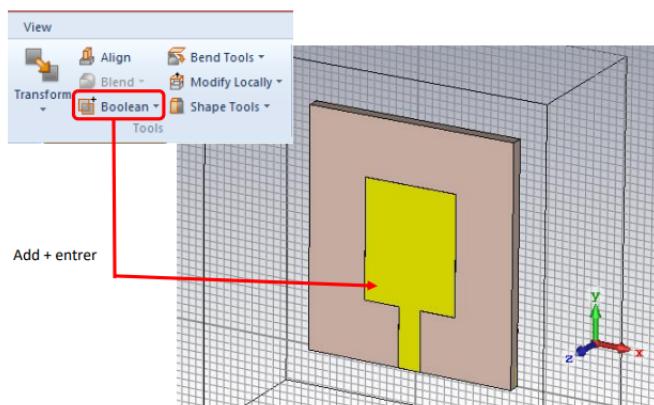


Figure 3.26: Résultat finale de l'addition

Bibliography

- [1] Alain Sibille, Christophe Roblin, *Conception et caractérisation d'antennes ULB pour communications multimédia haut débit*, ResearchGate, 2004.
- [2] N.Seladjji, *Antenne Microruban Miniature Ultra Large Bande ULB pour Imagerie Micro-onde*, Université Abou Bekr Belkaid, Faculté de Technologie, 2013.
- [3] MAALOUL Elhadi, HAMADOU Akram, *Université Abou Bekr Belkaid, Faculté de Technologie*, Université Kasdi Merbah Ouarda, 2018.
- [4] Hammache Boualem, *Etude, conception et développement d'antennes compactes pour les applications ULB*, Université des Frères Mentouri Constantine 1 , 2021.
- [5] Amina Benouakta, *Antenne Ancre Ultra-Large Bande Reconfigurable en Fréquence et à Polarisation Circulaire pour applications de localisation d'objets*, LEAT - Laboratoire d'Electronique, Antennes et Télécommunications , 2019.
- [6] LAMOURI Merwa, KHOUANI Madjida *Etude et conception des antennes micro ruban pour la technologie ULB*, UNIVERSITE ABOU-BEKR BELKAID – TLEMCEN , 2020.