

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



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en :
Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES
Filière : Télécommunications
Spécialité : Réseaux et Télécommunications
Thème

Conception et Simulation des filtres passe bande ultra large à base de la technologie SIW

Présenté Par :

- YOUSFI ILHAM
- MANSOURI MOHAMMED IMAD EDDINE

Soutenu le 26/06/2023, devant le jury composé de :

Dr YAGOUB REDA	MCB	UBBAT	Président
Dr MOULESSHOUL WASSILA	MCB	UBBAT	Examineur
AMEZIANE DJAMAL	MAA	UBBAT	Encadrant

Année Universitaire 2022/2023

Remerciements

Tout d'abord, je voudrais exprimer nos remerciements à Dieu qui nous a donné la force, le courage et la patience dans les moments difficiles pour accomplir cette humble œuvre.

Nous tenons à remercier sincèrement notre encadreur Ameziane Djamal son expérience et sa passion pour le domaine de travail ont été une inspiration durable pour nous. Il a su nous guider et nous encourager à donner le meilleur de nous-mêmes. Nous sommes très reconnaissants d'avoir l'occasion de travailler avec lui.

Aux membres du jury, je vous remercie chaleureusement d'avoir pris votre temps et votre expertise pour évaluer notre travail, et nous remercions également tous nos professeurs qui nous ont enseigné pendant les années universitaires.

Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous ceux qui nous ont tendu une main secourable de loin ou de près.

Merci à tous...

Dédicace

Je dédie ce travail particulièrement à :

Ma Mère

Maman, tu as toujours été ma plus grande source d'inspiration. Ton soutien inconditionnel, ta bienveillance et ta sagesse ont été les piliers qui m'ont guidé tout au long de mon parcours. Tu as été là pour moi dans les moments difficiles, m'encourageant à poursuivre mes rêves et à croire en moi-même. Cette dédicace est un humble témoignage de mon amour et de ma reconnaissance éternels envers toi.

Mon Grand-père, ta sagesse, ton expérience et ta persévérance m'ont inspiré depuis mon plus jeune âge.

Ma Chère Sœur Achwak, ta présence dans ma vie a été un véritable cadeau.

Mon frère Rachad.

À mes amies chacune son nom pour leurs aides précieuses.

Avec tout mon amour,

Yousfi Ilham

Dédicace

Je dédie ce mémoire,

À Mes parents, pour leur tendresse, leur amour et leur présence à mes côtés, ainsi que leur soutien tout au long de ma carrière d'étude.

À Mon petit frère et à ma petite sœur, à qui je souhaite beaucoup de bonheur, santé et surtout réussite dans les jours à suivre.

À Tous mes amis, en souvenir de notre sincère et profonde amitié et des moments agréables que nous avons passés ensemble. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de mon respect le plus profond et mon affection la plus sincère.

Mr. MANSOURI Mohammed imad eddine

Résumé

La technologie des guides d'ondes intégrés au substrat (SIW : Substrate Integrated Waveguide) est un sujet attractant pour plusieurs chercheurs dans le domaine de micro-onde, en raison de leurs avantages performants en termes de coût de production faible, d'un facteur de qualité élevé et d'une facilité d'intégration aux circuits de télécommunication

Ce mémoire a été consacré à la conception et simulation des nouvelles topologies de filtres passe bande basées sur la cavité résonante à base de la technologie SIW (Substrate Integrated Waveguide) opérant dans les bandes C, X et K qui correspondent aux plages de fréquences [4-8 GHz], [8-12.5 GHz] et [18-26 GHz] respectivement.

Les différentes simulations ont été effectués à l'aide de simulateur CST Computer Simulation Technology) Microwave Studio. Les résultats obtenus sont convaincants et bons en termes de filtrage et d'adaptation.

Les mots clés : Guide d'ondes, GIS, SIW, filtres analogiques, Filtres passe bande, CST.

Abstract

Substrate integrated waveguide (SIW) technology is an attractive topic for many researchers in the microwave field. Waveguide technology is an attractive subject for many researchers in the microwave field, because of their powerful advantages in terms of low production cost, high quality factor and ease of and ease of integration into telecommunications circuits.

This thesis was devoted to the design and simulation of new topologies for resonant cavity-based bandpass filters based on SIW (Substrate Integrated Waveguide) technology operating in the C, X and K bands corresponding to the frequency ranges [4-8 GHz], [8-12.5 GHz] and [18-26 GHz] respectively.

The various simulations were carried out using the CST Computer Simulation Technology) Microwave Studio simulator. The results obtained are convincing and good in terms of filtering and adaptation.

Key words: Waveguide, GIS, SIW, analogue filters, bandpass filters, CST.

ملخص

تقنية الأدلة الموجية المدمجة في الركيزة (SIW: Substrate Integrated Waveguide) هي موضوع جذاب للعديد من الباحثين في مجال الهندسة الميكروويف، بسبب ميزات المفصلة مثل تكاليف الإنتاج المنخفضة وعامل الجودة العالي وسهولة الاندماج مع دوائر الاتصالات.

هذه الرسالة تركز على تصميم ومحاكاة طوبولوجيات جديدة لمرشحات نطاق النقاط المارة استناداً إلى تجويف الرنين باستخدام تقنية SIW، والتي تعمل في نطاقات C و X و K، والتي تتوافق على التوالي مع نطاقات التردد [4-8 جيجاهرتز] و [8-12.5 جيجاهرتز] و [18-26 جيجاهرتز] على التوالي.

تمت المحاكاة باستخدام برنامج CST (Computer Simulation Technology) Microwave Studio. النتائج المحصلة مقنعة ومشجعة من حيث الفلترية والتوافق.

الكلمات المفتاحية: الأدلة الموجية، GIS، SIW، المرشحات الأناالوجية، مرشحات نطاق النقاط المارة، CST.

LISTE DES FIGURES.....	i
LISTE DES TABLEAUX.....	ii
LISTE DES ABREVIATIONS.....	iii
INTRODUCTION GENERALE.....	2

TABLE DES MATIERES

CHAPITRE 1 : THEORIE DES FILTRES

I.1 INTRODUCTION	4
I.2 DEFINITION DU FILTRE.....	4
I.3 LES TYPES DES FILTRES ANALOGIQUES	5
I.3.1 FILTRE PASSIF	5
I.3.2 FILTRE ACTIF.....	5
I.4 LA DIFFERENCE ENTRE FILTR PASSIF ET FILTRE ACTIF [].....	5
I.5 LES COMPOSANTS DES FILTRES	6
I.5.1 LES COMPOSANTS DES FILTRES PASSIFS	6
I.5.2 LES COMPOSANTS DES FILTRES ACTIFS.....	7
I.6 CLASSIFICATION DES FILTRES	7
I.6.1 FILTRES PASSE BAS	7
I.6.2 FILTRE PASSE HAUT	7
I.6.3 FILTRE PASSE BANDE	8
I.6.4 FILTRE COUPE BANDE	8
I.7 LES CARACTERISTIQUES DES FILTRES	9
I.7.1 LA FONCTION DU TRANSFERT.....	9
I.7.2 LE GAIN.....	9
I.7.3 LA FREQUENCE DE COUPURE.....	10
I.8 DIAGRAMME DE BODE	10
I.9 PERTE D'INSERTION	11
I.10. FACTEUR DE QULITE.....	12
I.11 LA BANDE PASSANTE D'UN FILTRE PASSE BANDE	12
I.12 LES CIRCUIT SIW	13
I.12.1 LES ANTENNES SIW	13
I.12.2 LES FILTRES SIW	13
I.13 CONCLUSION	14

CHAPITRE II : GUIDES D'ONDES INTEGRES AU SUBSTRAT SIW

II.1 INTRODUCTION :.....	16
--------------------------	----

II.2 GUIDE D'ONDES	16
II.2.1 DEFINITION.....	16
II.2.2 LES TYPES DE GUIDE D'ONDES.....	17
II.2.2.1 GUIDE D'ONDES RECTANGULAIRE	17
II.2.2.3 GUIDE D'ONDES ELLEPTIQUE	19
II.2.3 LES EQUATIONS DE MAXWELL.....	19
II.2.4 LA PROPAGATION DANS UN GUIDE D'ONDES	20
II.2.5 LES AVANTAGES DE GUIDE D'ONDES.....	22
II.2.6 TECHNOLOGIE PLANAIRE	22
II.2.6.1 LIGNE MICRO-RUBAN	23
II.2.6.2 LIGNE COPLANAIRE	24
II.2.6.3 LIGNE TRI-PLAQUE.....	25
II.3 LE GUIDE D'ONDES INTGRES AU SUBSTART (GIS)	25
II.3.1 DEFINITION.....	26
II.3.2 LES CARACTERISTIQUES DE PROPAGATION DANS LA STRUCTURE SIW	26
II.3.3 AVANTAGES ET INCONVENIETS DU SIW	27
II.3.4 ADAPTATION DU GUIDE D'ONDES EN TECHNOLOGIE SIW	27
II.3.4.1 LA TRANSITION	27
II.3.5 LES PARAMETRES DE CONCEPTION D'UN GUIDE D'ONDES INTEGRES AU SUBSTRAT	28
II.4 CONCLUSION.....	30

CHAPITRE III : DESCRIPTION DU LOGICIEL CST

III .1 INTRODUCTION.....	32
III .2 Définition du logiciel CST	32
III .3 CREATION D'UN PROJET.....	32
III.4 L'INTERFACE UTILISATEUR DU LOGICIEL CST.....	37
III.5 LES FORMES GEOMETRIQUES.....	38
III.6 LE CHOIX DU MATHRIEL.....	39
III.6.1 LES ELEMENTS D'OBSERVATION DE LA STRUCTURE.....	40
III.6.2 TRANSFORMATIONS GEOMETRIQUES	41
III.7 CONFIGURATION DU MODELE.....	42
III.7.1 LES UNITES.....	42
III.7.2 LES FREQUENCES	43
III.7.3 LES CONDITIONS AUX LIMITES	43
III.8 LES ETAPES DE CONFIGURATIONS D'UN PROJET.....	44
III.9 CONCLUSION	44

CHAPITRE IV : SIMULATION ET RESULTAT

IV.1 INTRODUCTION.....	46
IV.2 CONCEPTION DU GUIDE SIW OPERANT EN BANDE C.....	46
IV.2.1 SANS ADAPTATION.....	46
IV.2.2 GUIDE SIW AVEC ADAPTATION	48
IV.3 CONCEPTION D’UN FILTRE PASSE BANDE A BASE DE LA TECHNOLOGIE SIW DANS LA BANDE C.....	51
IV.3.1 TOPOLOGIE 1	52
IV.3.2 TOPOLOGIE 2	53
IV.3.3 TOPOLOGIE 3	56
IV.4 CONCEPTION D’UN FILTRE PASSE BANDE A BASE DE LA TECHNOLOGIE SIW DANS LA BANDE X.....	57
IV.4.1 STRUCTURE 1	60
IV.4.2 STRUCTURE 2	62
IV.5 CONCEPTION D’UN FILTRE PASSE BANDE A BASE DE LA TECHNOLOGIE SIW DANS LA BANDE K.....	64
IV.6 CONCLUSION	67
Conclusion générale	70
Bibliographie.....	72

LISTE DES FIGURES

Chapitre I

Figure I.1 : Quadripôle de filtre.....	4
Figure I.2 : Les composants des filtres passifs. (a) Résistance, (b) Bobine, (c) condensateurs....	6
Figure I.3 : Composant de filtre actif.....	7
Figure I.4 : Filtre passe-bas.....	7
Figure I.5 : Filtre passe-haut.....	8
Figure I.6 : Filtre passe bande.....	8
Figure I.7 : Filtre coupe bande.....	8
Figure I.8 : La fonction de transfert T.....	9
Figure I.9 : Fréquence de coupure d'un filtre passe bande.....	10
Figure I.10 : Diagramme de bode d'un filtre passe-bas.....	11
Figure I.11 : Observation des pertes d'insertion.....	11
Figure I.12 : les fréquences et la bande passante d'un filtre passe bande.....	12
Figure I.13 : Antenne SIW.....	13
Figure I.14 : Filtre SIW.....	13

Chapitre II

Figure II.1 : Les différents types de guide d'onde. a) Guide d'ondes rectangulaire b) Guide d'onde circulaire c) Guide d'onde à crêtes d) Guide d'onde elliptique.....	17
Figure II.2 : guide d'onde rectangulaire.....	18
Figure II.3 : guide d'onde circulaire.....	19
Figure II.4 : guide d'onde elliptique.....	19
Figure II.5 : Mode TM.....	21
Figure II.6 : Mode TE.....	21
Figure II.7 : Mode TEM.....	22
Figure II.8 : Les différentes structures de technologie planaire. a) ligne micro-ruban b) ligne coplanaire c) ligne trip-laque.....	23
Figure II.9 : Ligne micro-ruban.....	24

Figure II.10 : la ligne coplanaire.....	24
Figure II.11 : Ligne tri plaque.....	25
Figure II.12 : Guide d'onde intégré au substrat SIW.....	26
Figure II.13 : Le champ électrique et sa distribution dans un guide SIW (mode TE_{10}).....	27
Figure II.14 : Guide d'ondes SIW avec transition coplanaire [17].....	28
Figure II.15 : Les paramètres géométriques d'un guide SIW [].....	28
Chapitre III	
Figure III.1 : Création d'un nouveau projet en CST.....	33
Figure III.2 : Types de simulation.....	33
Figure III.3 : Choix de l'environnement de simulation.....	34
Figure III.4 : Sélection du type d'application.....	34
Figure III.5 : Choix du domaine de résolution.....	35
Figure III.6 : Le choix de l'unité.....	35
Figure III.7 : Le choix de fréquence.....	36
Figure III.8 : Fin de la création de nouveau projet.....	36
Figure III.9 : L'interface d'utilisateur du logiciel CST.....	37
Figure III.10 : Image représente ruban du logiciel CST.....	38
Figure III.11 : Formes de base utilisées lors du dessin de structures.....	38
Figure III.12 : La barre des formes géométrique du logiciel CST.....	39
Figure III.13 : Dossier des matériaux.....	39
Figure III.14 : Création d'une autre matière.....	40
Figure III.15 : Les éléments d'observation de la structure.....	40
Figure III.16 : Les éléments des transformations géométriques.....	41
Figure III.17 : Exemple d'une translation de sphère.....	42
Figure III.18 : Les unités de logiciel.....	42

Figure III.19 : Paramètres de la gamme de fréquences.....	43
Figure III.20 : La boîte de dialogue des conditions aux limites.....	43
Chapitre IV	
Figure IV.2 : Réponse fréquentielle du guide SIW sans transition canonique.....	47
Figure IV.3 : Représente la structure d'un taper du guide.....	48
Figure IV.4 : Calcul la largeur de la ligne d'alimentation w_1	48
Figure IV.5 : Topologie de la transition du guide d'onde intégré au substrat. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.....	49
Figure IV. 6 : Réponse fréquentielle du guide SIW avec la transition conique.....	50
Figure IV.7 : Structure du filtre SIW passe-bande fonctionnant avec 3 vias à position variable. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.....	51
Figure IV.8 : Les paramètres S du filtre SIW en bande C avec 3 vias.....	52
Figure IV.9 : La topologie du filtre passe-bande SIW opérant en bande C. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.....	53
Figure IV.10 : Courant surface de topologie 2.....	54
Figure IV.11 : La Puissance réfléchiée et transmise du filtre dans la bande C.....	55
Figure IV.12 : Filtre passe-bande à base de la technologie SIW opérant en bande C. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.....	55
Figure IV.13 : La réponse en fréquence du Filtre passe bande SIW.....	56
Figure IV.14 : Structure du filtre SIW passe-bande fonctionnant en bande X avec 3 cavités. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.....	57
Figure IV.15 : Le courant surface de bande X.....	58
Figure IV.16 : Les paramètres S du filtre passe bande SIW avec trois cavités en bande X avec 3 cavités résonantes.....	58
Figure IV.17 : les paramètres S du filtre passe bande SIW avec trois cavités.....	60
Figure IV.18 : Structure filtre passe bande à base de la technologie SIW opérant à la bande X. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.....	60

Figure IV.19 : Le S11, S21 du filtre SIW en bande X avec 8 vias.....	61
Figure IV.20 : Filtre passe bande à base de la technologie SIW opérant à la bande X avec 4 vais. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.....	62
Figure IV.21 : Courant surface de structure 2 en bande X.....	63
Figure IV.22 : Les paramètres S du filtre passe bande SIW en bande X avec 4 vias.....	63
Figure IV.23 : Structure du filtre SIW passe-bande fonctionnant en bande K avec 4 cavités. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.....	64
Figure IV.24 : Courant surface de la bande K.....	66
Figure IV.25 : les paramètres S du guide d'onde SIW après adaptation dans la bande K.....	66

LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1 : Les différentes équations de maxwell.....	20
Tableau II.2 : Abréviations pour les modes d'un guide d'ondes.....	22
Tableau IV.1 : Dimensions du guide SIW.....	46
Tableau IV.2 : Données de substrat.....	59
Tableau IV.3 : Les dimensions du filtre suggéré.....	59
Tableau IV.4 : Les dimensions de la structure de la bande K.....	65

LISTE DES ABREVIATIONS

Ve : Tension d'entrée.

Vs : Tension de sortie.

RLC : Résistance, Bobine, Condensateur.

AOP : Amplificateur Opérationnel.

ju : Nombre complexe.

dB : Décibels.

f : La fréquence.

fc : La fréquence de coupure.

fl : fréquence de coupure basse.

fh : fréquence de coupure élevée.

T : La fonction de transfert.

G : Gain.

SIW : Substrate Integrated Waveguide.

TE : Transverse électrique.

TM : Transverse magnétique.

TEM : Transverse électrique et magnétique.

E : Le champ électrique.

H : Le champ magnétique.

CPW : Coplanar Waveguide.

GIS : Guide d'onde intégré au substrat.

GHz : Gigahertz.

Hz : Hertz.

CST : Computer Simulation Technology.

CST MWS : CST Microwave Studio.

PCB : Printed Circuit Board.

3D : Trois Dimensions.

S11 : Coefficient de réflexion.

S21 : Coefficient de transmission.

Introduction générale

Introduction générale

Les spécifications de conception des nouveaux circuits sont de plus en plus exigeantes en matière de poids, de volume et de coût. Beaucoup de recherches dans le domaine des télécommunications ont conduit à la réalisation des équipements de plus en plus performants, et fonctionnant à des fréquences élevées.

La technologie appelée Substrate Integrated Waveguide SIW est l'une des nouvelles approches qui a fourni des solutions de composantes hautes performances, cette technologie est avantageuse en termes de faible coût de production, d'un facteur de qualité élevé et d'une facilité d'intégration aux circuits de télécommunication.

L'objectif principale de ce mémoire est de concevoir des filtres passe bande, basés sur la technologie des guides d'ondes intégrées au substrat à cavités résonantes.

Pour atteindre notre objectif, nous avons structuré notre mémoire en quatre chapitres, de la façon suivante :

Le premier chapitre vise à introduire la théorie des filtres et nous donnerons quelques exemples d'application sur cette technologie SIW.

Dans le chapitre 2, nous allons présenter des généralités sur les guides d'ondes et les technologies planaires, puis une description sera donnée sur technologie SIW.

Le troisième chapitre sera dédié à la description générale du logiciel CST Microwave Studio où nous avons présenté le rôle de différentes fonctions pour réaliser nos simulations.

Les différents résultats de simulation à l'aide du logiciel CST sont présentés dans le chapitre 4, les structures des filtres passes bandes proposées fonctionnant dans les bandes C [4-8] GHz, X [8-12.5] GHz et K [18-26] GHz,

On terminera notre travail par une conclusion générale et des perspectives.

CHAPITRE I
Théorie des filtres

I.1 INTRODUCTION

Les filtres constituent un domaine très vaste, où un filtre possède une fonction assimilable à un traitement du signal, le signal utile est envoyé à travers un ensemble de circuits électroniques qui modifient son spectre de fréquence et/ou sa phase, les filtres peuvent être passifs ou actifs et leur fonction peut être réalisée analogiquement ou numériquement.

Le filtrage est l'une des fonctions les plus utilisées dans les systèmes électroniques, dont son but est d'extraire une partie de l'information, afin de restituer un signal plus intelligible.

Le filtrage existe dans plusieurs domaines d'applications, que ce soit dans les systèmes de télécommunication (téléphone, télévision, radio, transmission de données...) ainsi que dans les systèmes d'acquisition et de traitement de signaux physiques (surveillance médicale, ensemble de mesure, radars...).

Cette partie du mémoire a pour objectif de définir le fonctionnement des filtres analogiques, et s'achève par des exemples des circuits basés sur la technologie SIW.

I.2 DEFINITION DU FILTRE

Un filtre est un circuit électronique qui sert à éliminer une fréquence ou une bande de fréquences (bande **atténuée**), ou inversement, à favoriser une fréquence ou une bande de fréquences. Ils peuvent être actifs, s'il utilise des éléments actifs (transistors, ampli OP) ou passifs s'ils ne sont composés que d'éléments passifs (résistances, inductances, condensateurs).

Un filtre est caractérisé par une fonction de transfert, qui réalise une opération de traitement du signal.

Les filtres électroniques, sont considérés comme des quadripôles dont les grandeurs électriques d'entrée et de sortie seraient un signal.

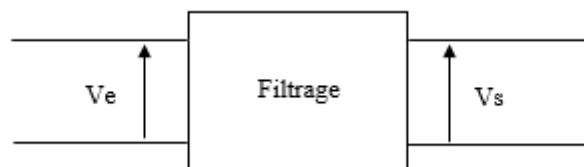


Figure I.1 : Quadripôle de filtre.

V_e : Tension d'entrée.

V_s : Tension de sortie.

I.3 LES TYPES DES FILTRES ANALOGIQUES

Les filtres analogiques permettent de transformer les signaux, ils se divisent en deux grands types, passifs et actifs [1] :

I.3.1 FILTRE PASSIF

Les filtres passifs sont des circuits de filtrage formés uniquement par une résistance, une inductance et un condensateur comme composants principaux, Ils sont actuellement utilisés pour les hautes fréquences.

Les filtres dits passifs à savoir les filtres RC, RLC sont réalisés au moyen de composantes qui dissipent ou emmagasinent de l'énergie électrique [2]. Ils ne nécessitent aucune alimentation extérieure pour leurs fonctionnements.

I.3.2 FILTRE ACTIF

Les filtres actifs sont constitués de composants actifs (transistors, amplificateurs opérationnels).

Contrairement aux filtres passifs, les filtres actifs consomment plus et nécessitent une source d'alimentation en raison des éléments actifs (les amplificateurs et les transistors opérationnels).

I.4 LA DIFFERENCE ENTRE FILTRE PASSIF ET FILTRE ACTIF [3]

- Les filtres actifs ont besoin de sources extérieures pour leur fonctionnement, tandis que les filtres passifs n'ont besoin d'aucune source extérieure.
- Les filtres actifs ont la capacité d'amplifier la sortie du filtre tandis que les filtres passifs consomment la puissance du signal d'entrée et ne peuvent pas amplifier le signal de sortie.
- Les filtres passifs sont conçus à l'aide de condensateurs, de résistances et d'inductances, tandis que les filtres actifs n'utilisent pas d'inductances dans leur conception Il en résulte une conception compacte des filtres actifs par rapport aux filtres passifs.
- Les filtres actifs sont plus coûteux que les filtres passifs en raison de l'ajout d'éléments actifs supplémentaires et de l'alimentation externe requise pour faire fonctionner un élément actif.

I.5 LES COMPOSANTS DES FILTRES

I.5.1 LES COMPOSANTS DES FILTRES PASSIFS

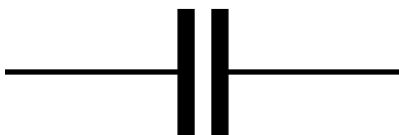
Un circuit RLC est un circuit linéaire qui contient une résistance, une bobine et un condensateur, ils sont des électrodes inactives. Ils existent en trois types de circuits : RLC du second ordre et RC, RL du premier ordre.



(a)



(b)



(c)

Figure I.2 : Les composants des filtres passifs.

(a) Résistance, (b) Bobine, (c) condensateurs.

I.5.2 LES COMPOSANTS DES FILTRES ACTIFS

Les filtres actifs utilisent le composant AOP (Amplificateur Opérationnel)(figureI.3) :

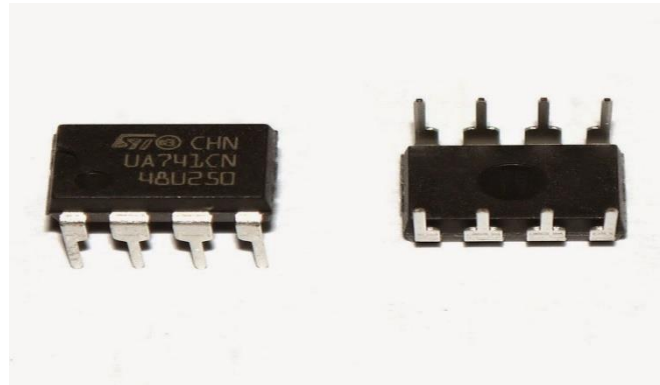
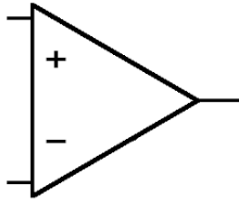


Figure I.3 : Composant de filtre actif.

I.6 CLASSIFICATION DES FILTRES

Les filtres peuvent être regroupés en quatre grandes catégories basées sur la manière de traiter les différentes fréquences d'un signal. Ces grandes familles sont les filtres passe-bas, passe-haut, passe-bande et coupe-bande [4].

I.6.1 FILTRES PASSE BAS

Les filtres passe-bas conservent la partie du signal dont les fréquences sont inférieures à une fréquence de coupure et éliminent le reste du spectre, La figure I.4 représente le gain d'un filtre passe bas.

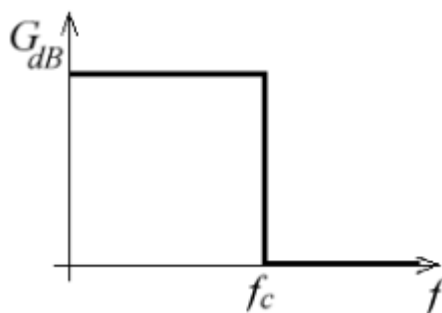
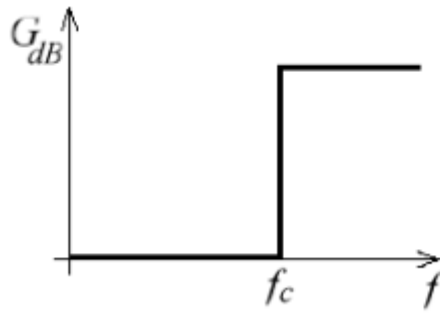


Figure I.4 : Filtre passe-bas.

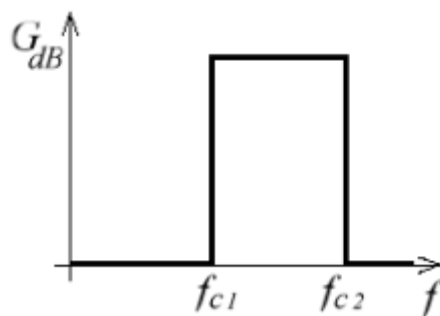
I.6.2 FILTRE PASSE HAUT

Un filtre passe Haut permet le passage des fréquences qui sont supérieures à une fréquence de coupure et éliminent les fréquences inférieures à cette dernière. Il est l'inverse du filtre passe bas, ces deux filtres combinés un filtre passe-bande (figure I.5).

**Figure I.5 :** Filtre passe-haut.

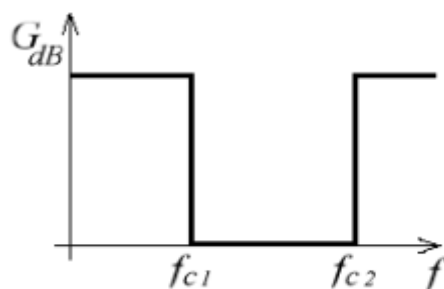
I.6.3 FILTRE PASSE BANDE

Contrairement aux premiers types de filtres, le filtre passe bande permet le passage de la partie du signal dont les fréquences sont comprises entre une fréquence de coupure basse et une fréquence de coupure haute et rejettent les autres fréquences. La figure I.6 représente la fonction de transfert du filtre passe bande :

**Figure I.6 :** Filtre passe bande.

I.6.4 FILTRE COUPE BANDE

Les filtres coupe bande pour leur part, sont l'inverse des filtres passe-bande. Ils laissent passer toutes les fréquences sauf celles incluses entre les fréquences de coupure basse et haute (Figure I. 7).

**Figure I.7 :** Filtre coupe bande.

Étant donné que les filtres passe-bande sont les plus utilisés dans les systèmes de communications mobiles, ce sont ces derniers qui feront l'objet de cette étude.

I.7 LES CARACTERISTIQUES DES FILTRES

I.7.1 LA FONCTION DU TRANSFERT

Chaque filtre se caractérise par sa fonction de transfert qui représente le rapport de la transformée de Laplace du signal de sortie sur celle du signal d'entrée, notée T , appelée aussi la transmittance du filtre, elle est fonction complexe dépend de la variable $(j\omega)$.

La fonction de transfert $H(j\omega)$ en tension d'un filtre s'écrit :

$$T(j\omega) = \frac{V_2}{V_1} \quad (\text{I.1})$$

$j\omega$: nombre complexe.

V_2 : tension de sortie.

V_1 : tension d'entrée.

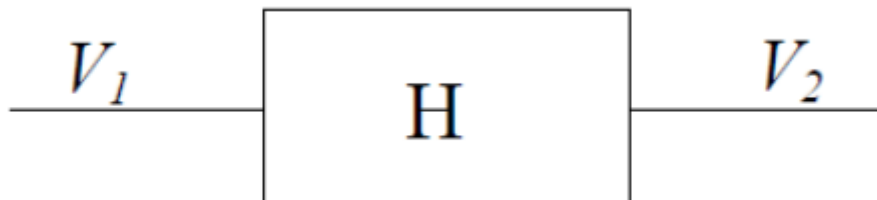


Figure I.8 : La fonction de transfert T .

I.7.2 LE GAIN

Le gain est la capacité d'un dispositif à augmenter la puissance d'un signal, la notion de gain se développe le plus facilement à partir du modèle quadripôle d'un amplificateur, l'unité du gain est le décibel noté dB.

Le gain en dB est donné par :

$$G = 20 \log(T) \text{ dB} \quad (\text{I.2})$$

I.7.3 LA FREQUENCE DE COUPURE

La fréquence de coupure définit la partie utile ou importante du spectre. Les fréquences de coupure basse et haute définissent la bande passante.

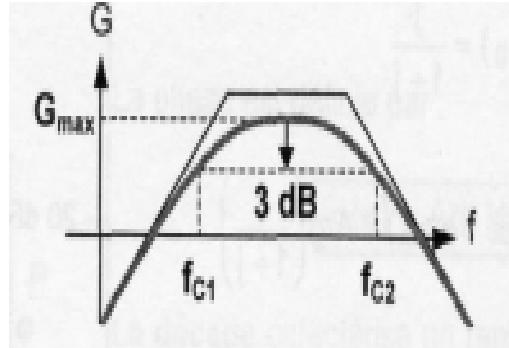


Figure I.9 : Fréquence de coupure d'un filtre passe bande.

I.8 DIAGRAMME DE BODE

Diagramme de bode est un moyen de représenter la réponse en fréquence d'un système.

Le diagramme de Bode d'un système de réponse fréquentielle $T(j\omega)$ se compose de deux tracés :

- Le gain (ou amplitude) en décibels (dB). Sa valeur est calculée à partir de (I.3).
- La phase en degré, donnée par (I.4).

L'échelle des pulsations est logarithmique et est exprimée en rad/s (radian par seconde)

$$G = 20 \log(T) \quad (\text{I.3})$$

Et

$$Q = \arg(T) \quad (\text{I.4})$$

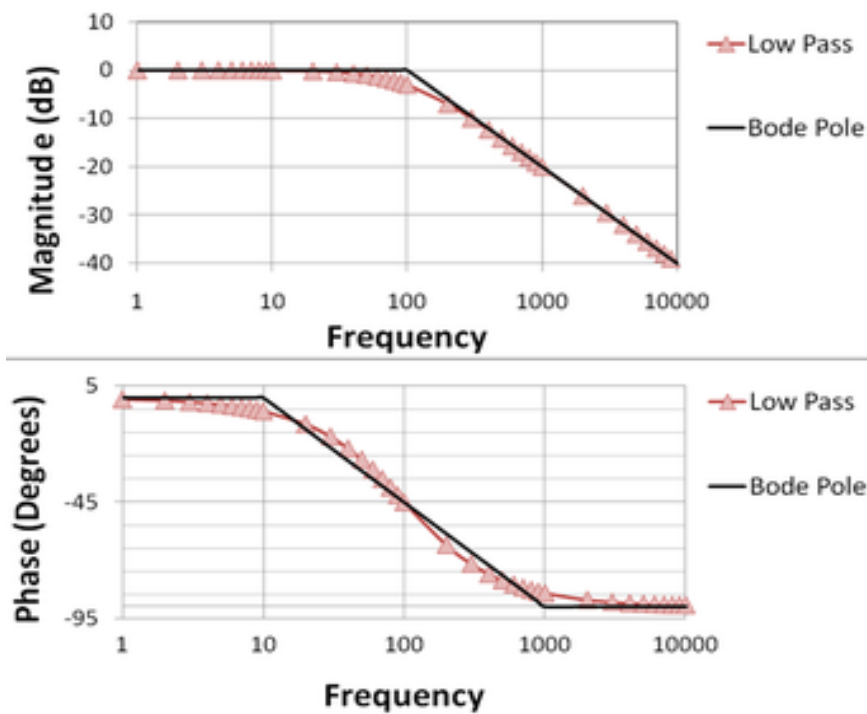


Figure I.10 : Diagramme de bode d'un filtre passe-bas.

I.9 PERTE D'INSERTION

L'un des paramètres essentiels dans la bande passante d'un filtre est la perte d'insertion, (ou « Insertion Losses » IL en anglais) qui doivent être les plus faibles possibles.

On définit les pertes d'insertion comme le niveau de pertes mesuré à la résonance sur la réponse électrique en transmission, ce qui correspond à l'atténuation du paramètre S_{21} à la fréquence centrale.

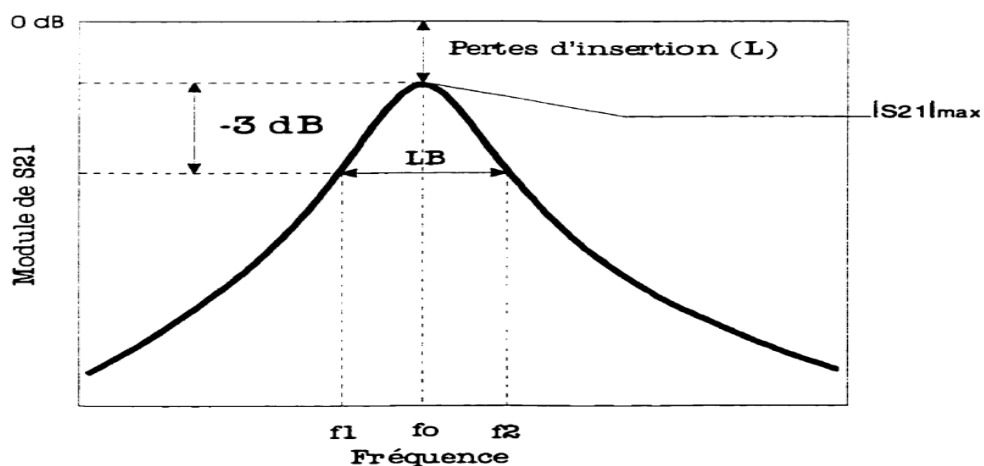


Figure I.11 : Observation des pertes d'insertion.

I.10. FACTEUR DE QUALITE

Le facteur Q décrit la capacité d'un filtre à sélectionner une fréquence. Il représente le rapport de la largeur de la bande passante à la fréquence centrale comme le montre l'équation suivante :

$$Q = \frac{F_0}{F_2 - F_1} \quad (I.5)$$

Où les fréquences F1 et F2 correspondent à la bande passante prise à -3 dB et F0 est la fréquence de résonance.

Plus le Q est élevé, plus le taux de perte d'énergie est faible.

I.11 LA BANDE PASSANTE D'UN FILTRE PASSE BANDE

Les limites de la bande passante sont généralement les fréquences où le gain diminue de 3 dB (à $1/\sqrt{2}$ de son gain en tension maximal). Ces fréquences sont appelées les fréquences à -3 dB ou les fréquences de coupure.

La bande passante d'un filtre passe bande c'est l'intervalle entre la fréquence de coupure basse (FL) et la fréquence de coupure élevée (FH).

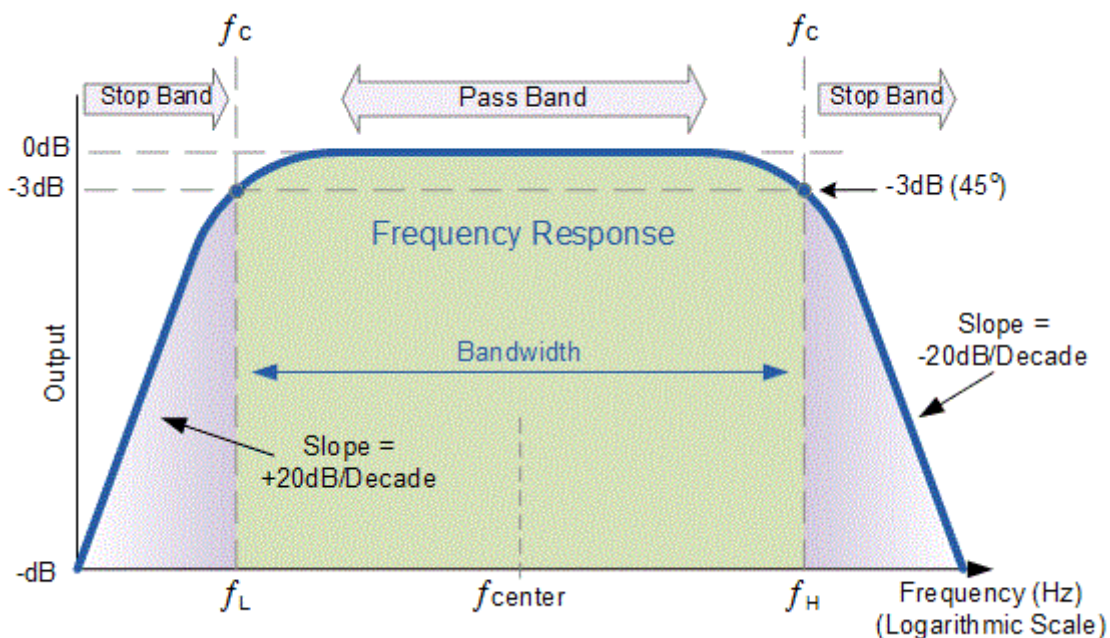


Figure I.12 : les fréquences et la bande passante d'un filtre passe bande.

I.12 LES CIRCUIT SIW

I.12.1 LES ANTENNES SIW

La conception des antennes à base SIW est très appropriée pour les télécommunications, La Figure suivante illustre une antenne SIW.

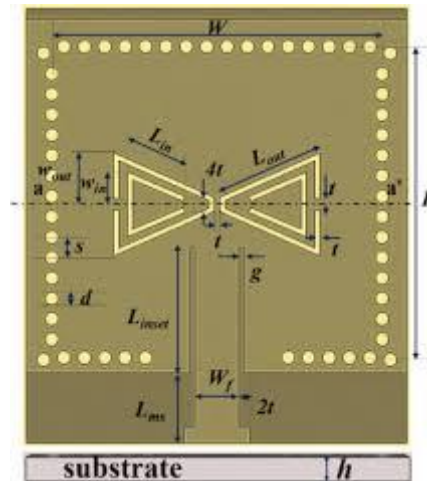


Figure I.13 : Antenne SIW.

I.12.2 LES FILTRES SIW

Filtre SIW est une technologie révolutionnaire qui a été développée par une équipe de scientifiques et d'ingénieurs dans le but d'améliorer la qualité, ils sont des composants essentiels dans de nombreux systèmes de communication.

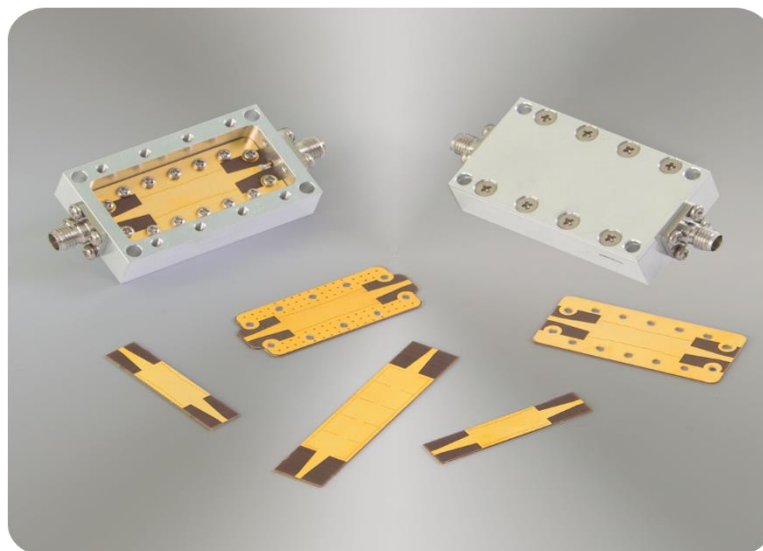


Figure I.14 : Filtre SIW.

I.13 CONCLUSION

Nous avons présenté dans ce chapitre quelques notions sur les filtres et leurs Caractéristiques vue le rôle important qui joue le filtre dans de nombreuses applications hyperfréquences et radiofréquences (RF). La conception et la fabrication de circuits hyperfréquences tel que les filtres est basée sur quelques critères comme, faible perte d'insertion, petite taille et coût limité,

Le prochain chapitre sera consacré à la présentation de Guides d'ondes intégrés au substrat SIW.

CHAPITRE II
Guides d'ondes intégrés au
substrat SIW

II.1 INTRODUCTION :

Pour la transmission des ondes hautes fréquences les guides d'ondes sont utilisés, dont l'objectif est de diriger et guider les ondes électromagnétiques d'un point à un autre, Contrairement aux ondes basse fréquence inférieures à 1 MHz, des lignes de transmission parallèles ou des câbles coaxiaux sont utilisés [5]

Un guide d'ondes est avantageux en termes de la réduction de pertes de transmission par rapport aux câbles coaxiales et aux lignes de transmission.

Actuellement une récente technologie de pointe appelée guide d'ondes intégré au substrat (GIS) qui s'appuie sur des circuits imprimés adopté pour limiter les caractéristiques des guides d'ondes traditionnelles. Cette technologie est caractérisée par plusieurs avantages tels que le facteur de qualité relativement fort, une adaptation facile, une taille réduite et un faible cout. De nombreux dispositifs ont été développés grâce à cette technologie GIS tels que les diviseurs de puissance, les filtres, les circulateurs, les coupleurs, les déphaseurs, et les antennes. [6]

Dans la première partie du ce chapitre, nous présentons le guide d'onde de façon générale et ainsi que leurs propriétés, cependant la deuxième partie de ce chapitre, est consacré à la présentation de La technologie de guide d'ondes intégré au substrat SIW (Substrat Integrated Waveguide).

II.2 GUIDE D'ONDES

II.2.1 DEFINITION

Un guide d'ondes est un système qui sert à guider les ondes électromagnétiques et les ondes acoustiques haute fréquences, selon la taille du guide, celui-ci peut être monomode, c'est-à-dire qu'il ne supporte qu'un mode de propagation ou alors multi-mode, c'est-à-dire qu'il va supporter plusieurs modes de propagation [7]

Le guide d'ondes est une structure métallique, vide de l'intérieur, qui permet de transmettre efficacement des ondes électromagnétiques, avec une grande rugosité et avec haute qualité.

La partie importante du guide d'ondes est la partie intérieure creuse appelée la cavité, Elle peut prendre différentes formes tels que cercle, rectangle, mais les plus couramment utilisées sont les formes rectangulaires et circulaires.

Selon le matériau avec lequel ils sont fabriqués, les guides d'onde sont divisés en deux groupes : guide d'ondes diélectriques et guide d'ondes métalliques [5]

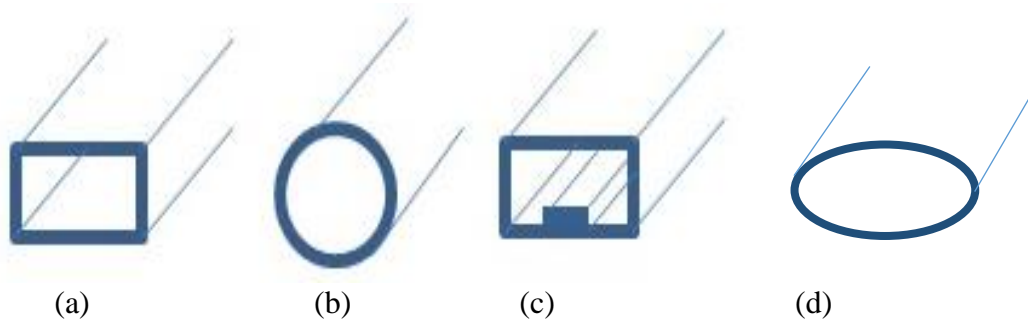


Figure II.1 : Les différents types de guide d'onde.

a) Guide d'ondes rectangulaire b) Guide d'onde circulaire c) Guide d'onde à crêtes d) Guide d'onde elliptique

II.2.2 LES TYPES DE GUIDE D'ONDES

II.2.2.1 GUIDE D'ONDES RECTANGULAIRE

Le guide d'ondes rectangulaire est l'un des types de lignes de transmission les plus utilisés en hyperfréquence, où sa structure de guidage à un conducteur en forme de tube creux de section rectangulaire.

Le guide d'onde à section rectangulaire permet de réaliser tous les raccordements à l'intérieur d'un équipement (à l'intérieur d'un émetteur ou d'un récepteur), et de raccorder plusieurs équipements ensemble [8].

Ce type de guide d'ondes est avantageux en termes de faible perte d'insertion, une faible atténuation, et de meilleures caractéristiques de transmission.

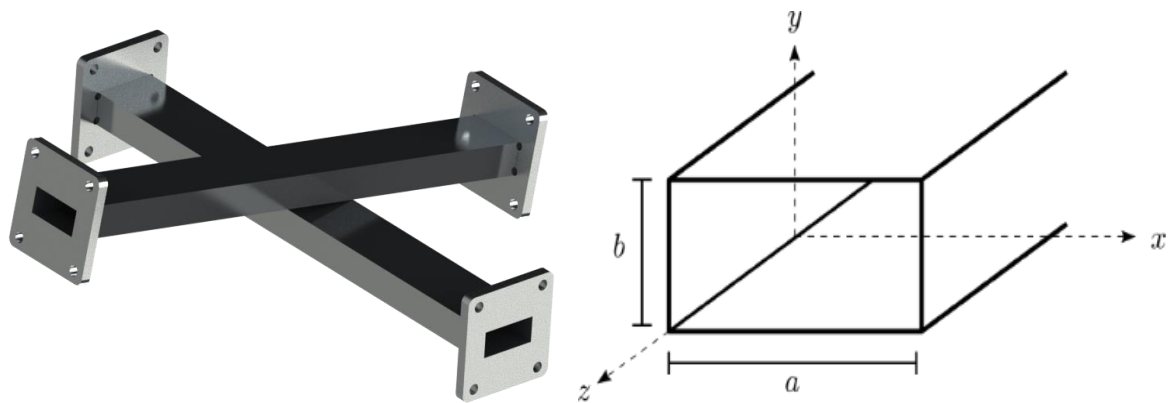


Figure II.2 : guide d'onde rectangulaire.

II.2.2.2 GUIDE D'ONDES CIRCULAIRE

Un guide d'ondes circulaire est constitué d'un cylindre métallique creux avec un rayon intérieur R .

La forme d'un guide d'ondes circulaire ressemble à un câble coaxial mais ne contient pas de conducteur interne. Il s'agit d'une structure de tube circulaire supportant TE et TM, le mode TEM ne peut pas y être utilisé.

Le guide d'onde circulaire présente une atténuation plus faible que les autres types de guide [9], il est meilleur pour les fréquences les plus élevées mais il est difficile de calculer directement ses caractéristiques.

La fréquence de coupure pour un guide d'ondes de section transversale circulaire de rayon R est donnée par :

$$f_c = \frac{1.8412 C}{2\pi R}$$

f_c = Fréquence de coupure (Hz)

C = Vitesse de la lumière (m/s)

R = Rayon interne du guide d'ondes circulaire (m)



Figure II.3 : guide d'onde circulaire.

II.2.2.3 GUIDE D'ONDES ELLEPTIQUE

Si la forme de la section du guide d'ondes est elliptique on dit alors que c'est un guide d'ondes elliptique, il est largement utilisé dans les équipements électroniques pour l'alimentation d'antenne.

C'est un support de transmission léger, facile à installer et flexible.



Figure II.4 : guide d'onde elliptique.

II.2.3 LES EQUATIONS DE MAXWELL

Les équations de Maxwell sont des formalisations mathématiques, Ils décrivent les différents phénomènes magnétiques, électriques et lumineux. Ils fournissent des relations entre les variations des grandeurs électromagnétiques (\vec{E} , \vec{B} , \vec{D} , \vec{H}) en tout point M (x, y, z) de l'espace.

Le fondement de la théorie de l'électromagnétisme est basé sur 4 équations de Maxwell. Et qui correspondre aux lois suivantes :

La loi de Gauss, La loi de Maxwell-flux, La loi de Faraday, La loi d'Ampère-Maxwell

Le tableau suivant résume les quatre équations de Maxwell

Non de l'équation	Forme différentielle	Forme d'intégrable
Maxwell-Gauss	$\text{div}(\vec{E}) = \frac{\rho}{\epsilon_0}$	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = \frac{\rho}{\epsilon_0}$
Maxwell-Flux	$\text{div}(\vec{B}) = 0$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = 0$
Maxwell-Faraday	$\text{rot}(\vec{E}) = -\frac{d\vec{B}}{dt}$	$\int \vec{E} \cdot d\vec{l} = -\frac{d}{dt} \oint \vec{B} \cdot d\vec{s}$
Maxwell-Ampère	$\text{rot}(\vec{B}) = \mu_0(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt})$	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{l} = \mu_0(\vec{j} + \epsilon_0 \frac{d\vec{E}}{dt})$

Tableau II.1 : Les différentes équations de Maxwell.

Avec :

\vec{j} : Densité de courant.

μ_0 : Perméabilité de vide.

ϵ_0 : Permittivité de vide.

\vec{E} : est le vecteur d'intensité du champ électrique.

\vec{B} : est le vecteur d'intensité du champ magnétique.

ρ : La densité volumique d'une charge électrique.

II.2.4 LA PROPAGATION DANS UN GUIDE D'ONDES

Les guides d'ondes assurent la propagation de l'énergie électromagnétique dans une direction préférée, où les ondes se propagent à l'intérieur des parois du guide, et une telle onde est appelée onde guidée.

L'objectif est d'atteindre l'autre extrémité du tube sans avoir une perte d'énergie.

Les équations de Maxwell précédentes doivent être vérifiées en tout point du milieu considéré pour avoir une onde propagée [10].

Les principaux modes de propagation de l'onde électromagnétique, sont deux, le mode magnétique (TM) et le mode électrique (TE), cependant il existe un troisième mode TEM applicable pour certains cas.

- **Mode TM**

TM est l'abréviation des ondes magnétiques transversales, est défini par le fait que le vecteur (H) est toujours perpendiculaire à la direction de propagation (figure II.5).

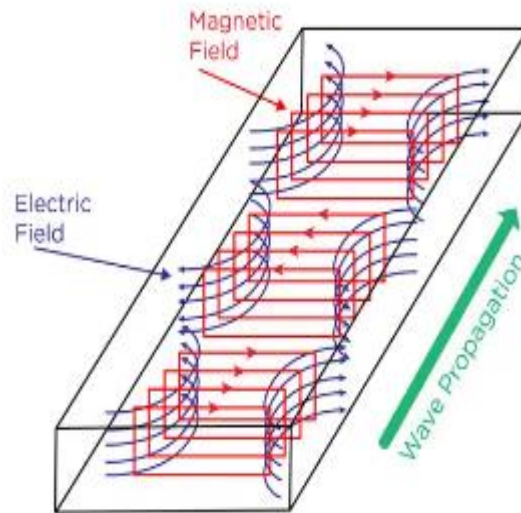


Figure II.5 : Mode TM.

- **Mode TE**

On note les ondes électriques transversales (TE), appelées aussi ondes (H). Le vecteur (E) est perpendiculaire à la direction de propagation (figure II.6).

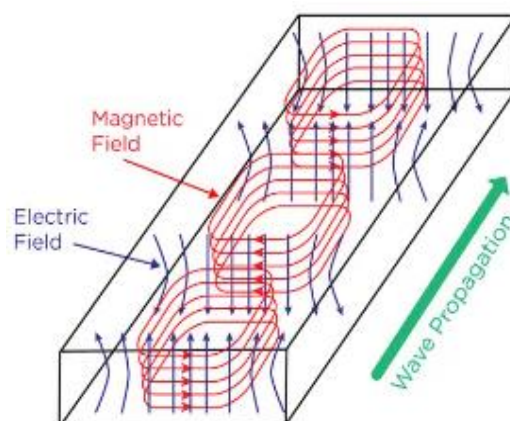


Figure II.6 : Mode TE.

- **Mode TEM**

Ce mode de propagation est caractérisé par le fait que le vecteur électrique (E) et le vecteur magnétique (H) sont tous deux perpendiculaires à la direction de propagation (figure II.7).

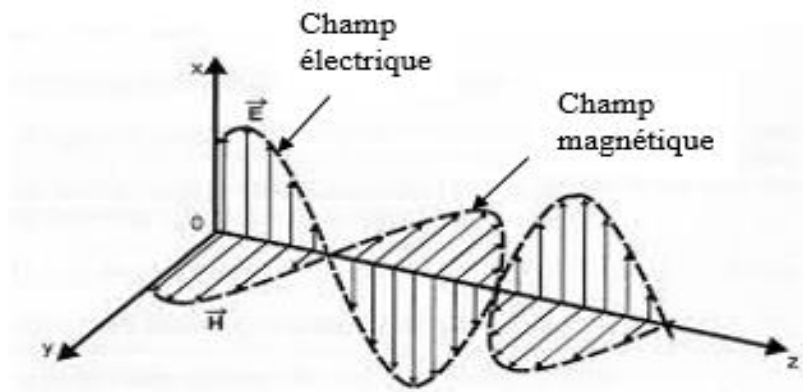


Figure II.7 : Mode TEM.

Mode	Symbole	Les champs
Transverse électrique	TE	$E_z = 0, H_z \neq 0$
Transverse magnétique	TM	$E_z \neq 0, H_z = 0$
Transverse électrique et magnétique.	TEM	$E_z = 0, H_z = 0$

Tableau II.2 : Abréviation pour les modes d'un guide d'ondes.

II.2.5 LES AVANTAGES DE GUIDE D'ONDES

Le guide d'ondes présente des avantages considérables par rapport aux autres moyens de transmission, à savoir, la transmission du signal avec un minimum de pertes.

Ce support de transmission permet aussi le transport des signaux de forte puissance avec des fréquences élevées, De plus, Il est complètement blindé ce qui entraîne une bonne immunité vis-à-vis les interférences externes [10].

Cependant ces structures présentent des défauts majeurs tels que l'encombrement, et L'incompatibilité d'intégration avec les circuits planaires et le coût important.

II.2.6 TECHNOLOGIE PLANAIRE

La technologie planaire est basée sur l'utilisation d'un substrat diélectrique sous forme de plaques, des couches métalliques fines qui sont déposées sur l'une ou sur les deux faces du substrat. L'utilisation de cette technologie planaire est une solution pour pallier les problèmes d'encombrement et de poids des structures volumétriques.

Dans le cadre de ce travail, nous allons voir la conception des filtres à base de cette technologie planaire.

Plusieurs structures peuvent être envisageables pour cette technologie à savoir : les lignes micro rubans (a), les coplanaires(b) et tri plaque (c) [11].

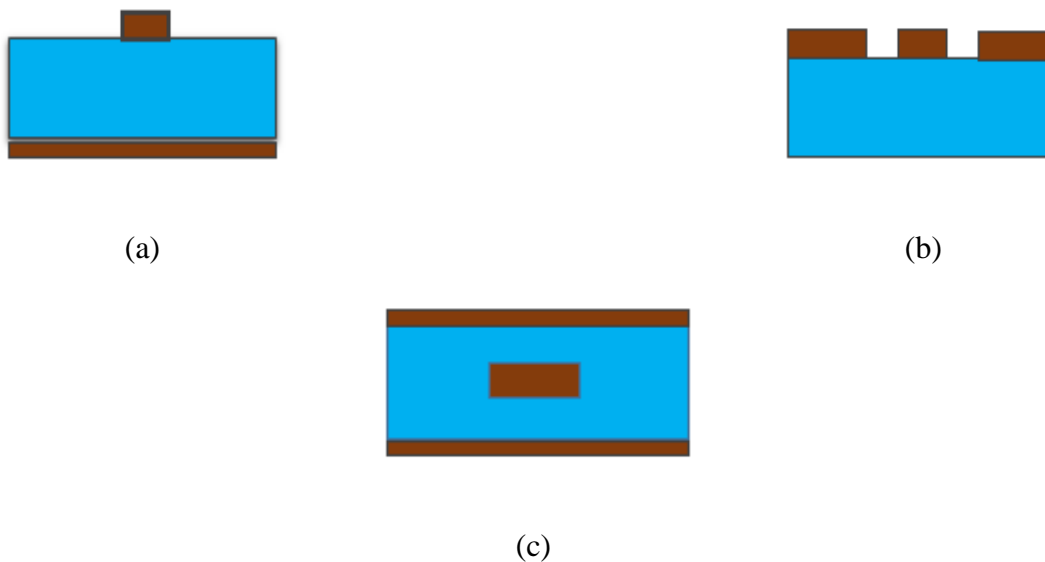


Figure II.8 : Les différentes structures de technologie planaire.

a) ligne micro-ruban b) ligne coplanaire c) ligne trip-laque.

II.2.6.1 LIGNE MICRO-RUBAN

Dans la conception des circuits intégrés à haute fréquences telle que la réalisation des antennes et des filtres microondes, la ligne micro ruban est largement exploitée, vue leurs avantages par rapport aux autres lignes de transmission en termes de bonne connectivité et de faible encombrement.

La ligne micro ruban est composée d'un conducteur de largeur W imprimé sur un substrat d'épaisseur h et de permittivité relative ϵ_r . Le dessous du substrat est recouvert d'un plan de masse qui sert à la mise à terre, sa géométrie est décrite dans la figure II.11. Il est à noter que ses dimensions varient en fonction de sa fréquence de fonctionnement.

Ses pertes élevées par suite de rayonnement et sa dépendance à l'épaisseur h et à la constante diélectrique du substrat sont des inconvénients qui limite cette structure.

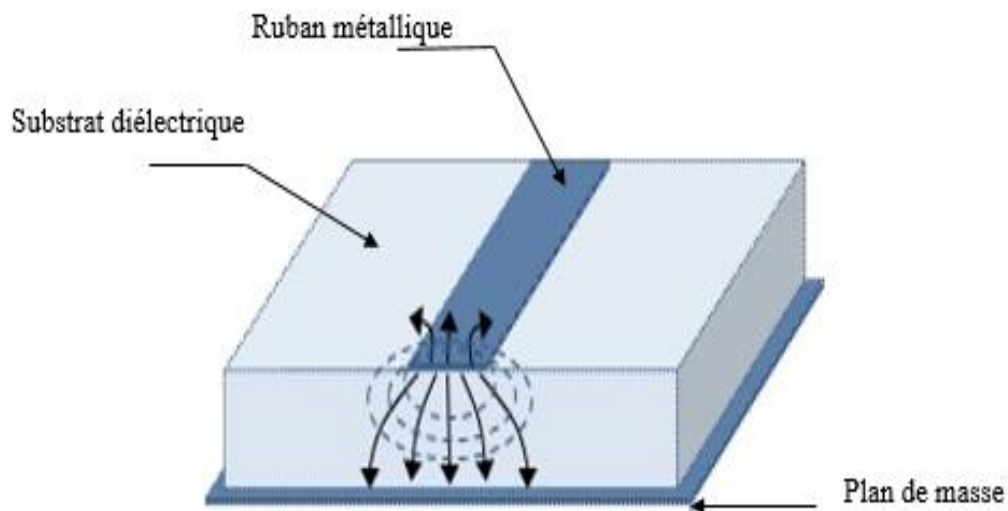


Figure II.9 : Ligne micro-ruban.

II.2.6.2 LIGNE COPLANAIRE

La structure de cette ligne coplanaire est constituée d'un plan de masse déposé sur une seule face du substrat. Sur cette même face, le conducteur (ruban métallique) est délimité grâce à deux fentes parallèles (**Figure II.10**).

La présence de deux plans de masse et d'un conducteur pour cette technologie fait apparaître deux modes de propagation possibles, un mode quasi-TEM recherché et un mode TE non désiré [12].

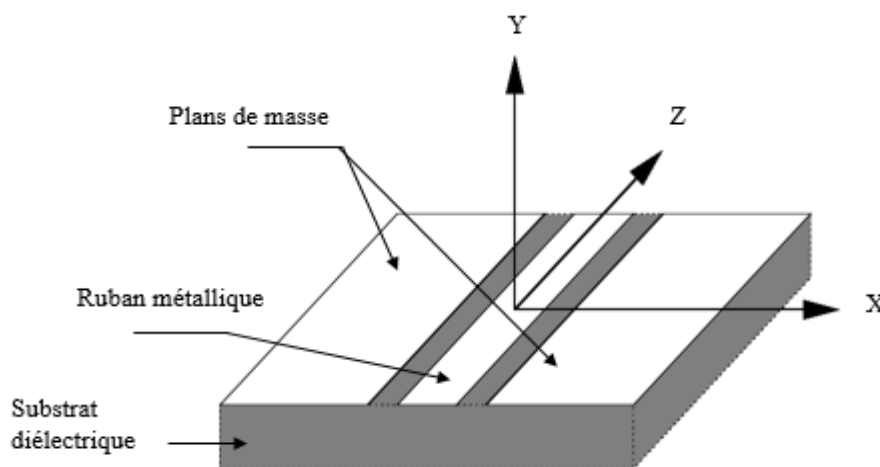


Figure II.10 : la ligne coplanaire.

II.2.6.3 LIGNE TRI-PLAQUE

La géométrie de cette ligne composée d'un ruban métallique noyé dans un substrat sur les faces duquel sont situés deux plans de masse, **voir figure II.11 [13]**.

Ce type de ligne est marqué par un coût de réalisation élevé par rapport aux autres techniques planaires.

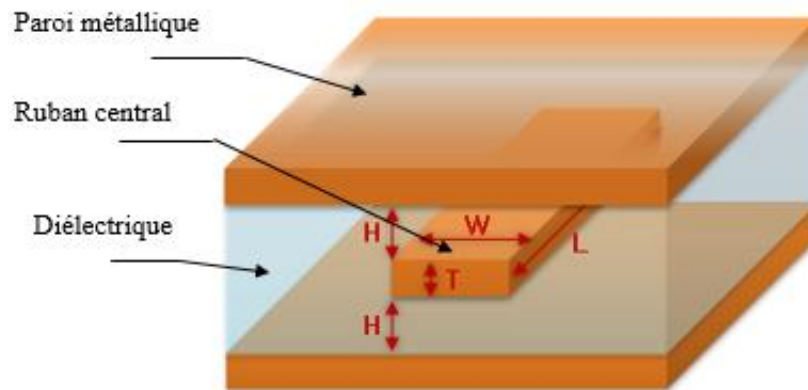


Figure II.11 : Ligne tri plaque.

Avec :

T : Epaisseur de trace.

W : Largeur de trace.

H : Epaisseur diélectrique.

L : Longueur de trace.

II.3 LE GUIDE D'ONDES INTGRES AU SUBSTART (GIS)

La technologie GIS en anglais SIW (Substrate Integrated Waveguide) représente une nouvelle approche pour la mise en œuvre et l'intégration de composants micro-ondes.

Cette technique a été développée suite aux nouvelles exigences par certaines applications, que ne trouvaient pas des solutions en utilisant les techniques traditionnelles.

Le SIW est une combinaison de guides d'ondes et de lignes de transmission planes, et permet l'intégration de composants passifs ; composants actifs et antennes dans un seul substrat, ce qui réduit les pertes et les effets parasites.

II.3.1 DEFINITION

Le guide d'ondes intégré au substrat SIW (figure II.12) constitue un nouveau type de ligne de transmission, et qui combine les avantages de la technologie planaire et la technologie volumique.

Cette technologie est basée sur la réalisation de guide d'ondes dans un substrat diélectrique où les métallisations supérieure et inférieure du substrat sont utilisées comme des parois (plaques métalliques) de la structure de guide d'ondes et dans le substrat nous avons des parois latérales remplacées par deux rangées de trous percés et métallisés afin d'assurer le contact entre les deux plans métalliques supérieure et inférieure [14], comme ci montré dans la figure II.12.

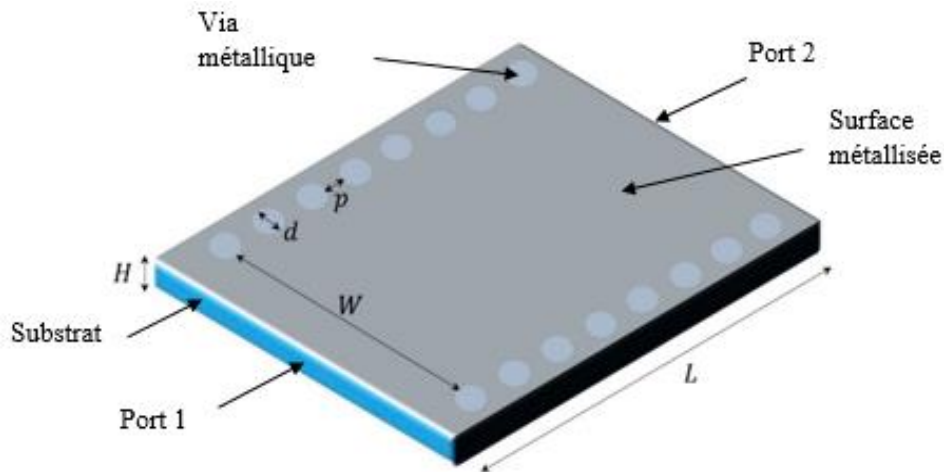


Figure II.12 : Guide d'onde intégré au substrat SIW.

Où : le d est le diamètre du via, le p est la distance entre le milieu de deux vias, H est la hauteur du substrat.

II.3.2 LES CARACTERISTIQUES DE PROPAGATION DANS LA STRUCTURE SIW

Du point de vue géométrique, les caractéristiques de propagation d'un guide SIW sont similaires à celles des guides d'ondes métalliques rectangulaires [12] : en effet, les rangées de vias (trous) métallisés en contact avec les plans conducteurs du substrat peuvent définir une région de propagation d'ondes électromagnétiques semblable à celle d'un guide d'ondes rectangulaire métallique.

Si on néglige les pertes de rayonnement entre les trous métallisés, les modes SIW coïncident exactement avec les modes de propagation d'un guide d'ondes rectangulaire transverse électrique TE_{10} .

La figure **II.13** montre la distribution du champ électrique dans un guide SIW et un guide équivalent.

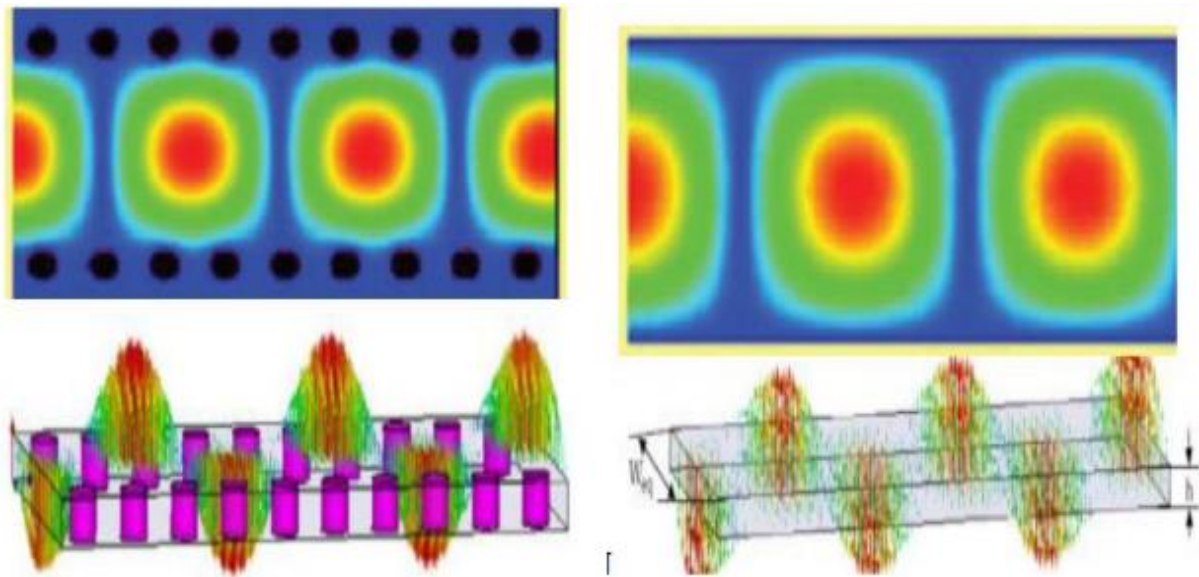


Figure II.13 : Le champ électrique et sa distribution dans un guide SIW (mode TE_{10}).

II.3.3 AVANTAGES ET INCONVENIENTS DU SIW

La technologie SIW est avantageuse par ses caractéristiques favorables à la conception des circuits microondes et millimétriques, parmi les avantages nous citons, les faibles pertes, le facteur de qualité élevé, intégration facile avec d'autres composants, un prix réduit, taille réduite ...etc.

Bien que cette technique présente des avantages, elle est difficile à modéliser, de plus, les structures SIW ont une flexibilité faible ce qui rend la conception un travail difficile.

II.3.4 ADAPTATION DU GUIDE D'ONDES EN TECHNOLOGIE SIW

L'adaptation du Guide d'Ondes en technologie GIS peut être utilisée pour améliorer la planification des réseaux de télécommunication. La transition micro-ruban est la technique la plus courante pour l'adaptation des guides GIS :

II.3.4.1 LA TRANSITION

Le signal transitant par un guide d'ondes, nécessite généralement une transition intermédiaire pour faire un lien entre le circuit planaire en technologie micro-ruban et le guide d'ondes. Cette transition doit permettre d'adapter en impédance le mode fondamental du guide TE_{10} sur le mode quasi-TEM de la ligne micro-ruban [15].

Les structures de transition entre les circuits planaires et les guides d'ondes rectangulaires traditionnels ont été largement étudiées, et différentes approches d'adaptation d'impédances ont été utilisées en microondes. A titre d'exemple la technique du guide d'onde corruguée [9] considère une transition constituée d'une discontinuité entre une ligne micro ruban et un guide d'ondes corrugué qui se transforme ensuite en un guide d'ondes rectangulaire métallique. D'autres techniques utilisent une fente située au niveau du plan de masse sous la ligne micro-ruban [16].

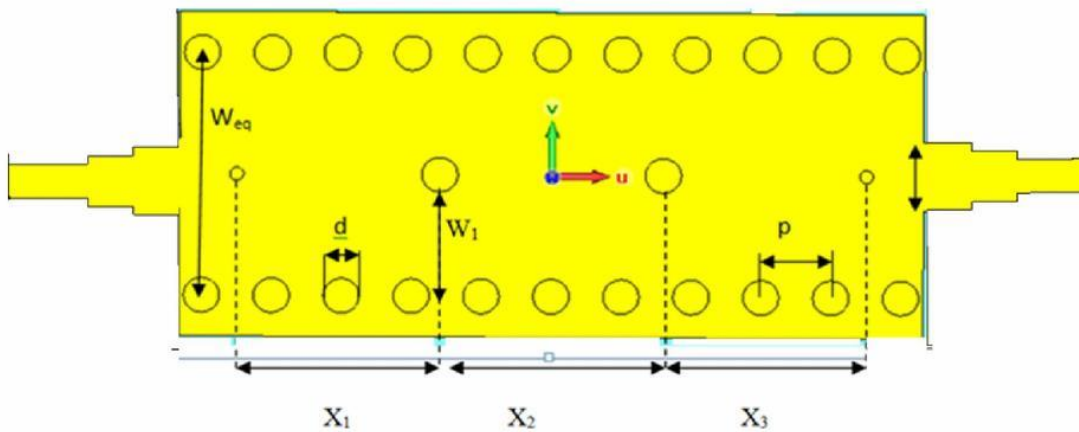


Figure II.14 : Guide d'ondes SIW avec transition coplanaire [13].

II.3.5 LES PARAMETRES DE CONCEPTION D'UN GUIDE D'ONDES INTEGRES AU SUBSTRAT

Pour bien répondre aux exigences de performances et de qualités, il est nécessaire de choisir soigneusement les paramètres géométriques du guide SIW, lors de sa conception

Voici quelques paramètres à prendre en considération pour la conception du guide SIW : Le diamètre d des vias métalliques, la distance p entre les vias, h est la hauteur du substrat.

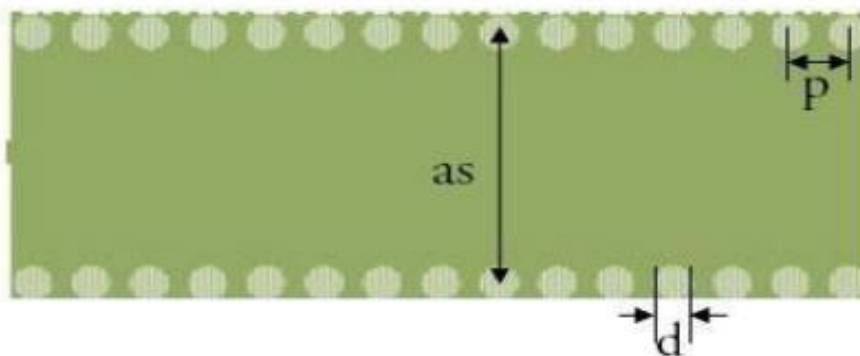


Figure II.15 : Les paramètres géométriques d'un guide SIW [17].

Le choix de l'espacement entre deux vias p doit être effectué judicieusement pour éviter les pertes par radiation, En effet si p est élevé, les pertes par radiation peuvent rapidement devenir trop élevées. Pour cela il faut respecter cette condition :

$$d < p \leq 2d \quad (\text{II.1})$$

Un autre paramètre important qui définit la largeur du guide est la distance entre les deux rangées de vias (centre à centre) noté a_s ou bien w_{siw} .

Pour calculer la largeur du guide d'ondes rectangulaire conventionnel, nous utilisons la relation de la fréquence de coupure suivante :

$$fc = \frac{c}{2} \sqrt{\left(\frac{m}{a}\right)^2 + \left(\frac{n}{b}\right)^2} \quad (\text{II.2})$$

Pour le mode TE₁₀, cette relation peut être simplifiée par la formule suivante :

$$fc = \frac{c}{2a} \quad (\text{II.3})$$

La largeur effective a_d du guide d'ondes pour la même fréquence de coupure est donnée par l'équation :

$$ad = \frac{a}{\sqrt{\epsilon_r}} \quad (\text{II.4})$$

La formule finale pour la conception d'un guide d'ondes SIW s'écrit :

$$as = ad - \frac{d^2}{0.95p} \quad (\text{II.5})$$

La condition qu'on doit respecter pour garder des faibles pertes par rayonnement est donnée par :

$$d \leq \lambda g / 5 \quad (\text{II.6})$$

Où

$$\lambda g = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{(2\pi f)^2 \epsilon_r}{c^2} \left(\frac{\pi}{a}\right)^2}} \quad (\text{II.7})$$

II.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons abordé des notions générales sur les guides d'ondes classiques, ainsi que leurs différentes caractéristiques.

Puis nous avons discuté une nouvelle technologie qui est le guide d'ondes intégrés au substrat, où leur théorie ainsi que leurs avantages et leurs inconvénients ont été donnés.

Le prochain chapitre sera consacré à la présentation du logiciel CST.

CHAPITRE III
Description du logiciel CST

III .1 INTRODUCTION

Ce chapitre est consacré à la description générale du logiciel CST (Computer Simulation Technology), où Nous allons présenter les différentes parties de cet outil tel que la barre d'outils, la barre de menu ainsi que les différentes étapes à suivre pour créer un projet.

III .2 Définition du logiciel CST

CST (Computer Simulation Technology) est un logiciel de simulation électromagnétique 3D de haute performance, il est basé sur la méthode des éléments finis pour résoudre des problèmes complexes de conception et d'analyse de composants électromagnétiques.

Cet Outil de simulation informatique peut être utilisé pour la conception de diverses applications, telles que les antennes, les cartes de circuits imprimés, les dispositifs de communication, les capteurs, les systèmes radar, les émetteurs-récepteurs et les systèmes de propulsion. Il possède une interface conviviale et offre une grande variété de fonctionnalités, telles que la modélisation de structures complexes, la génération de maillages adaptatifs, l'analyse des paramètres de performance, la visualisation des champs électromagnétiques et la simulation de signaux à haute fréquence.

III .3 CREATION D'UN PROJET

Le logiciel peut être lancé en initiant les étapes nécessaires suivantes :

Nous créons un nouveau projet en cliquant sur le bouton Créer un Projet sur la nouvelle page récente comme le montre la Figure III.1. Un assistant de modèle se lancera alors et il nous guidera à travers une série de questions pour définir la portée de votre nouveau projet.

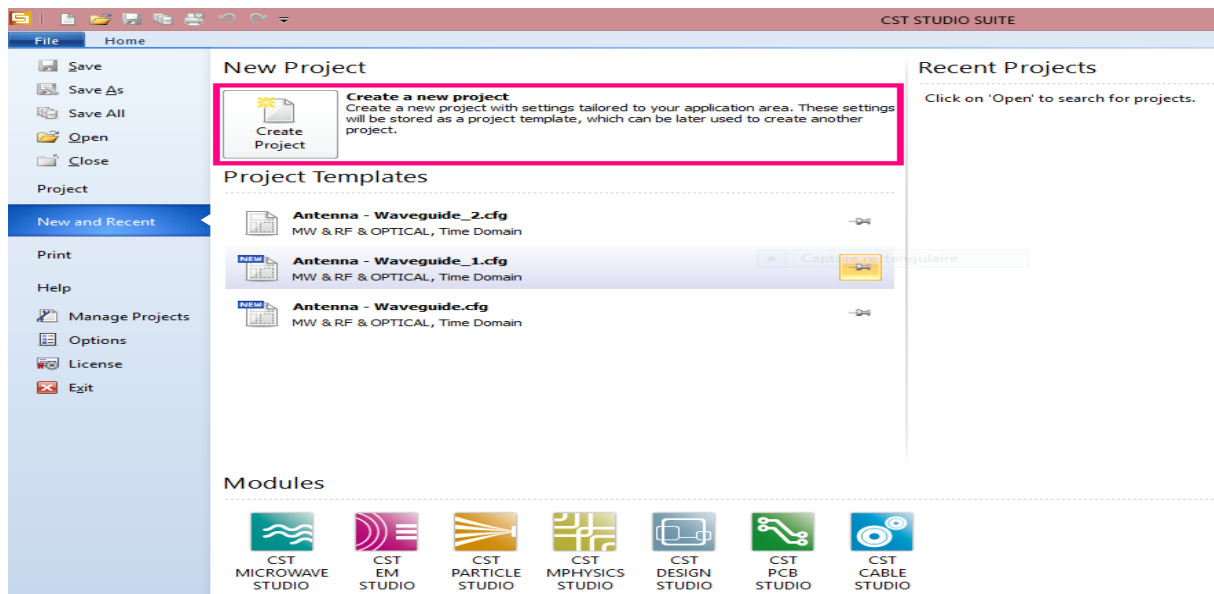


Figure III.1 : Création d'un nouveau projet en CST.

Une fenêtre apparaît comme ci-dessous :

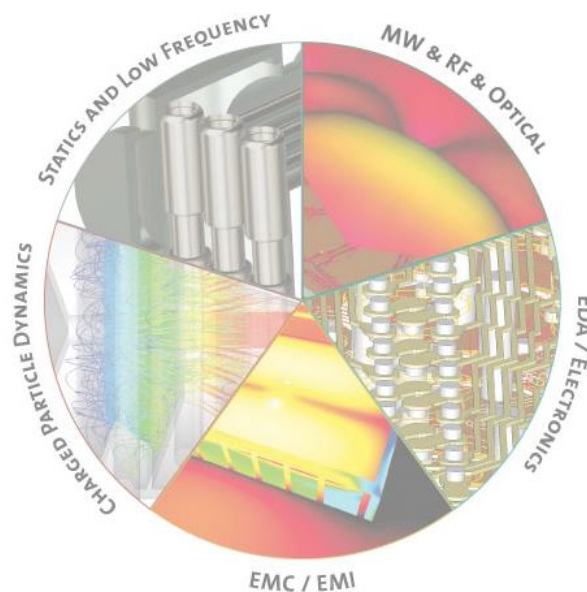


Figure III.2 : Types de simulation.

Pour cette introduction, la boîte de dialogue nous permet de choisir le type de simulation que nous voulons effectuer, il nous suffit donc de sélectionner MW & RF & OPTICAL et Antennas, et d'appuyer sur le bouton suivant (Figure III.3).

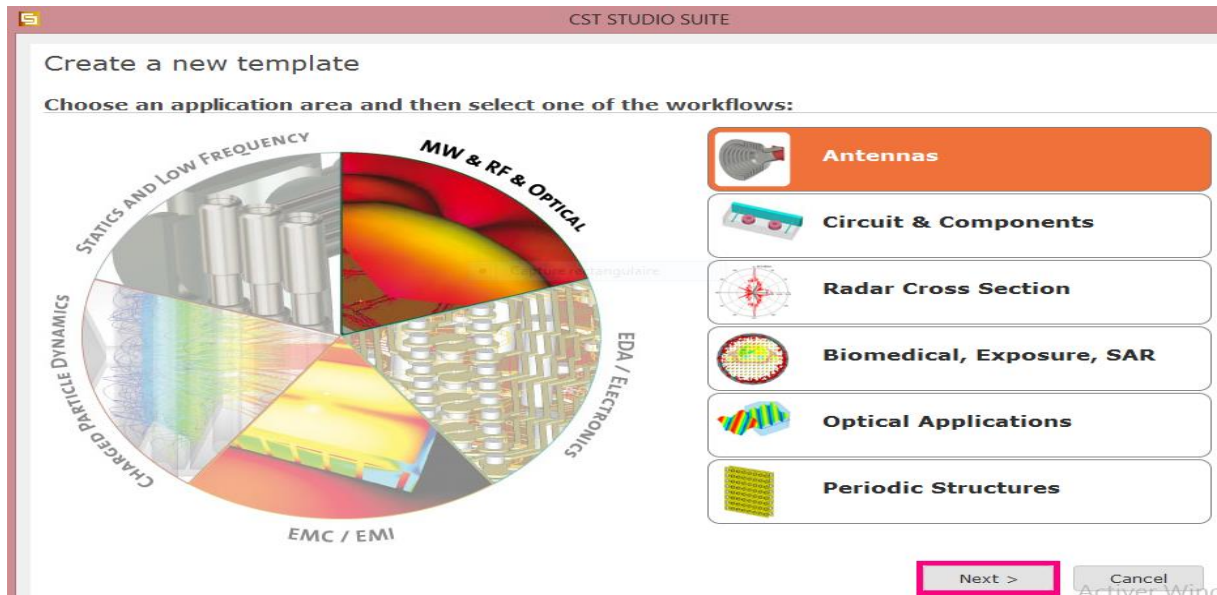


Figure III.3 : Choix de l'environnement de simulation.

La fenêtre suivante apparaît, où on doit choisir le modèle le plus proche de la structure que nous voulons réaliser, pour notre type de sujet, nous choisissons waveguide.

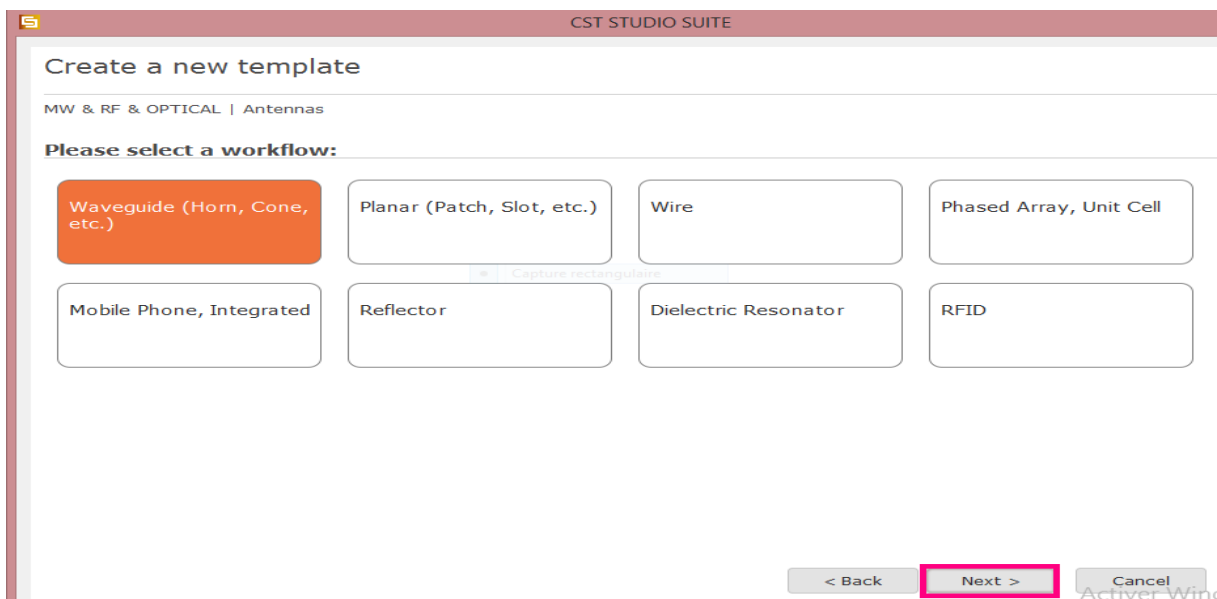


Figure III.4 : Sélection du type d'application.

Pour la suite nous choisissons Time Domain.

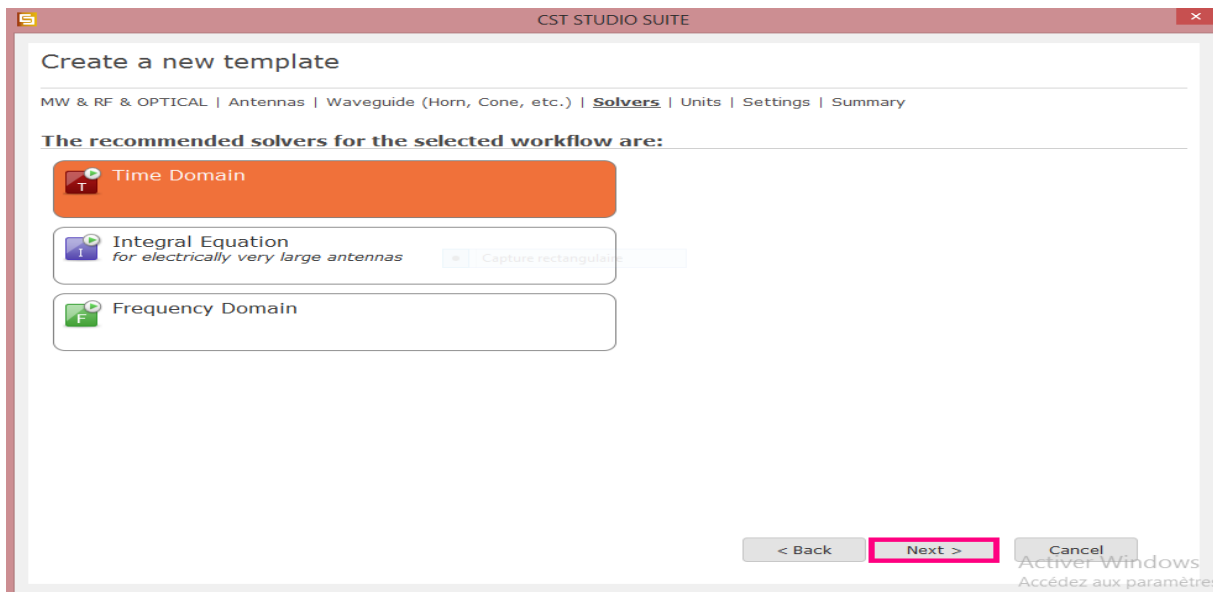


Figure III.5 : Choix du domaine de résolution.

La fenêtre suivante nous permet de choisir les différentes unités des paramètres.

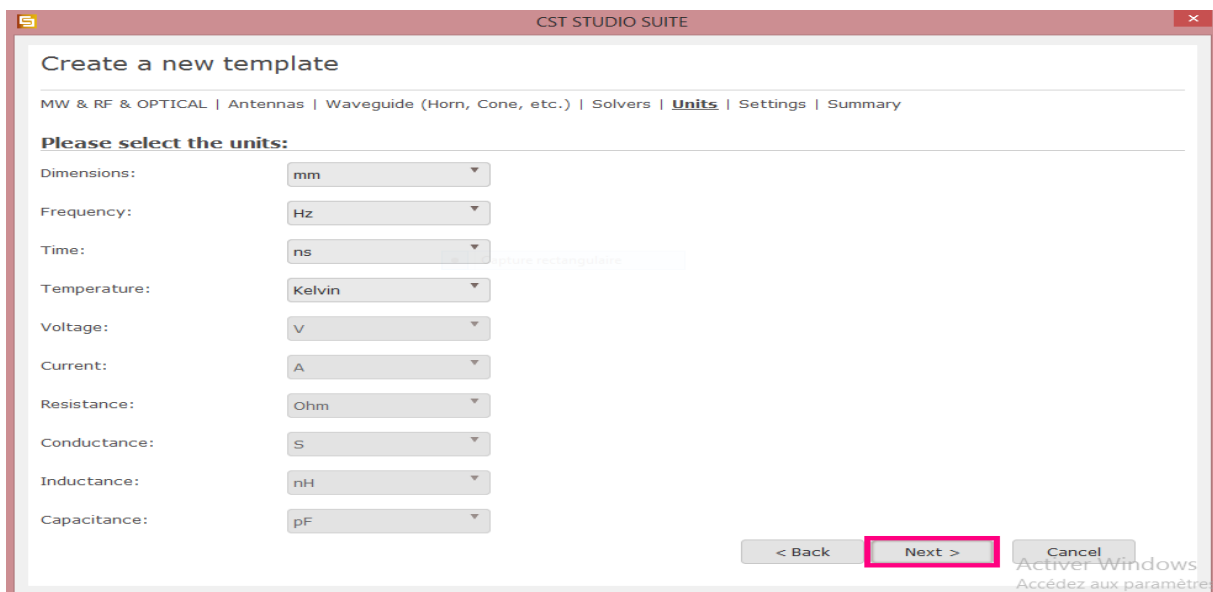


Figure III.6 : Le choix de l'unité.

Pour choisir l'intervalle de fréquence, nous appuyons sur la commande SETTINGS.

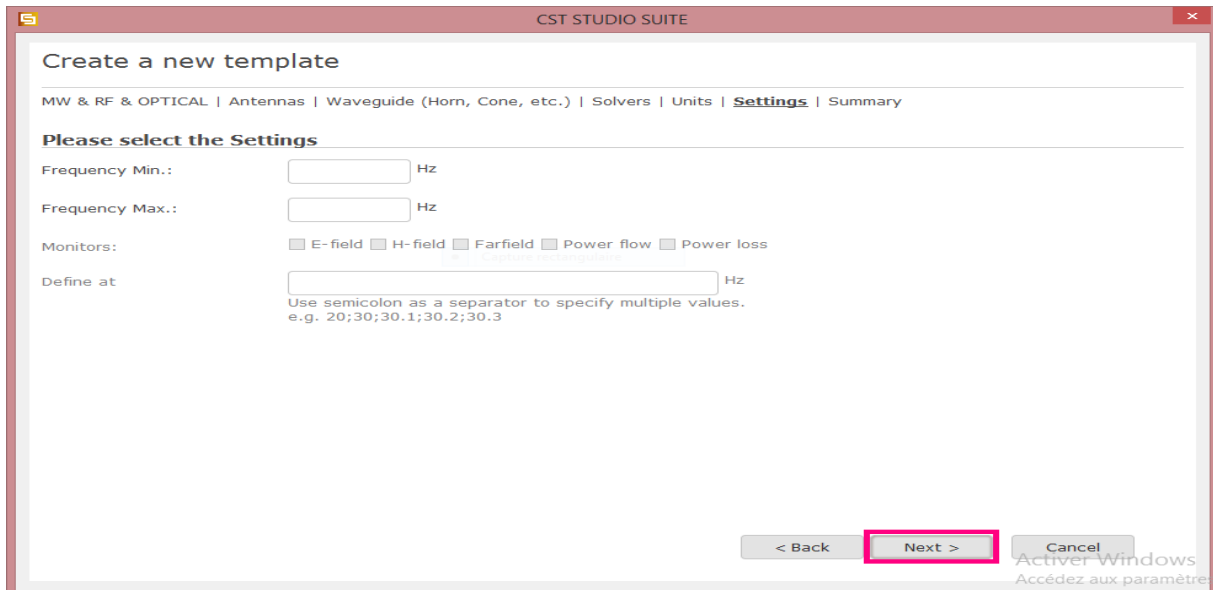


Figure III.7 : Le choix de fréquence.

Sur la fenêtre suivante, le choix pour changer le nom de modèle est donné et enfin, appuyez sur le bouton Finish pour lancer la création de votre projet.

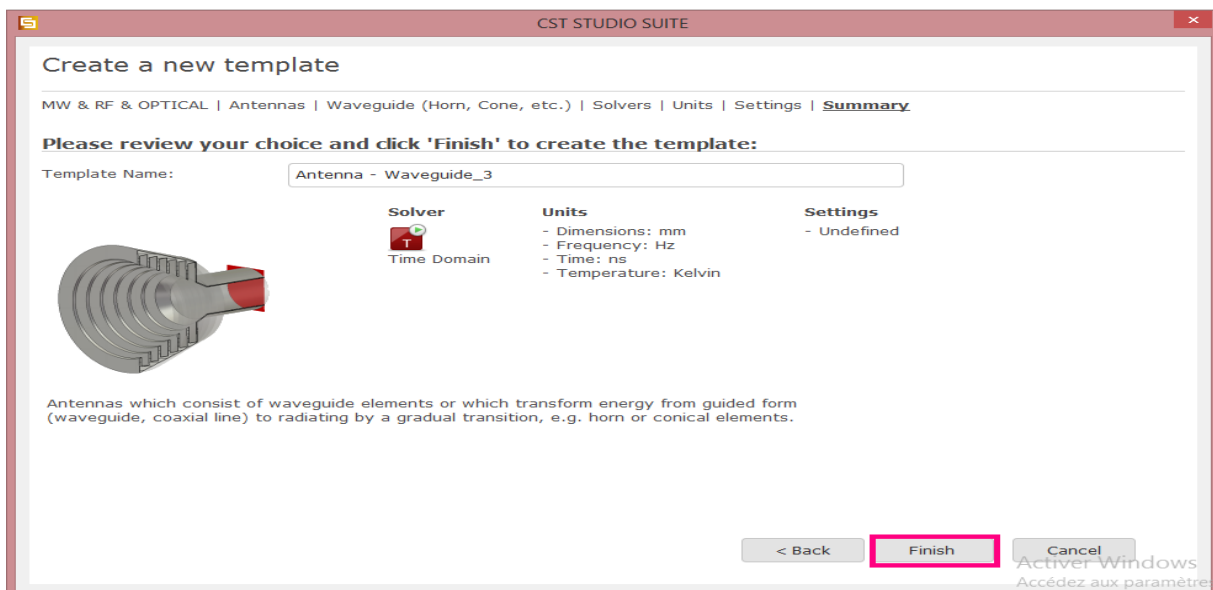


Figure III.8 : Fin de la création de nouveau projet.

III.4 L'INTERFACE UTILISATEUR DU LOGICIEL CST

L'interface utilisateur est conçue pour permettre aux utilisateurs d'accéder à des outils avancés du logiciel. La figure ci-dessous montre les différents éléments de cette interface.

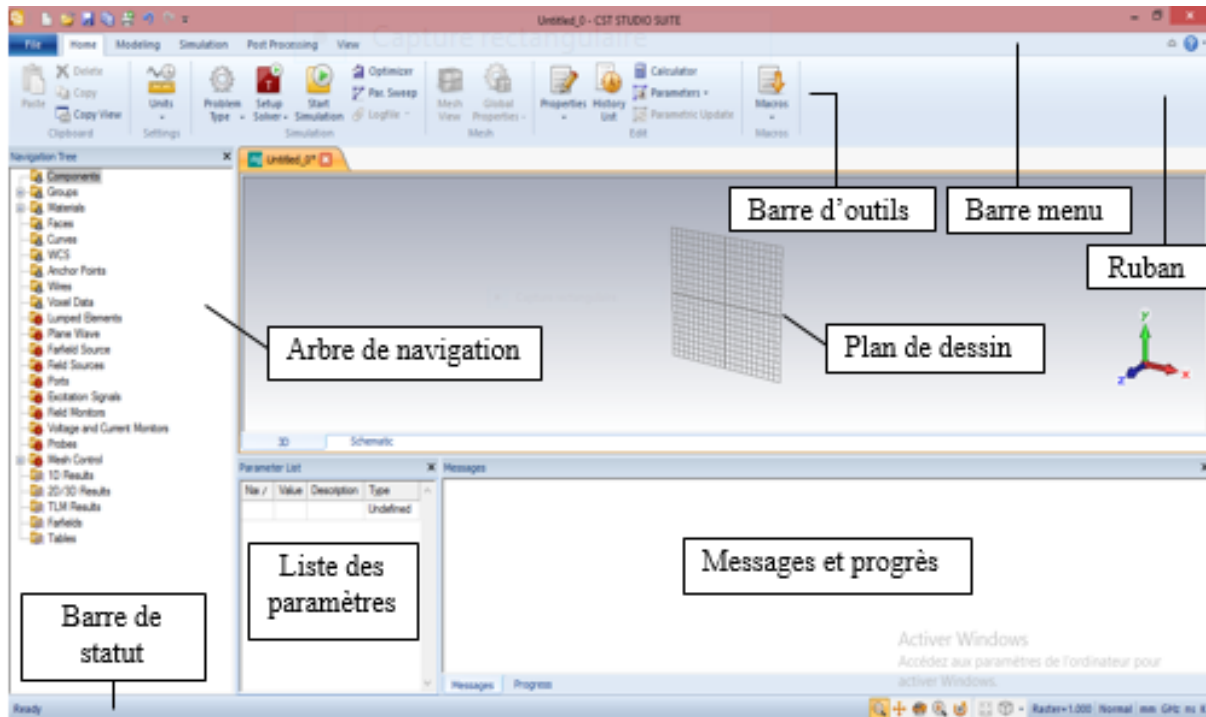


Figure III.9 : L'interface d'utilisateur du logiciel CST.

Barre de menu : située en haut de la fenêtre principale offre un accès rapide aux fonctions de base telles que l'ouverture et l'enregistrement de fichiers, la configuration des simulations, les outils de modélisation, les résultats de simulation et l'aide en ligne.

Barre d'outils : ces outils est un ensemble de raccourcis dans la barre de menu.

Plan de dessin : est le plan de travail sur lequel on va dessiner les primitives de la structure.

L'arbre de navigation : un élément important de l'interface utilisateur. Il fournit les résultats de l'entretien et de la simulation d'éléments structurels.

Liste des paramètres : il s'agit d'une liste de toutes les variables utilisées dans le processus de simulation.

Barre de statut : il fournit des informations utiles sur les paramètres actuels du projet.

Messages et progrès : les résultats de la simulation sont affichés et indiquent la présence d'erreurs, le cas échéant.

Ruban : est une barre en haut de l'interface utilisateur du logiciel CST Studio Suite. Cette barre donne à l'utilisateur un accès rapide aux principales fonctions du logiciel CST, telles que la création de géométrie, l'ajout de matériaux, comme la montre la Figure III.10.

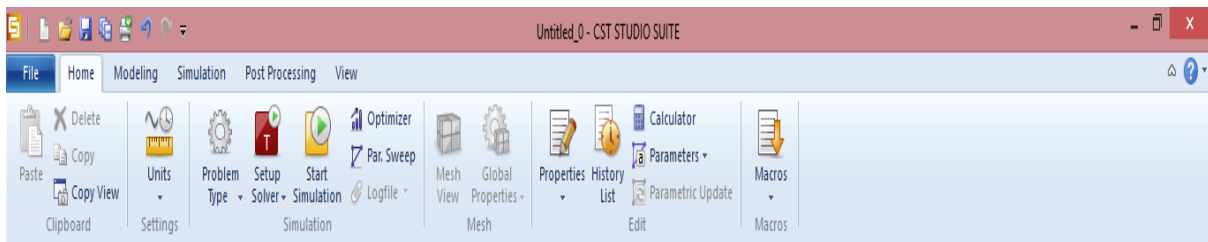


Figure III.10 : Image représente ruban du logiciel CST.

III.5 LES FORMES GEOMETRIQUES

Pour modéliser les différentes structures électromagnétiques, le Logiciel CST offre une variété de formes géométriques tels que : les sphères, les cylindres, polygones...etc. La figure ci-dessous résume les différentes formes géométriques.

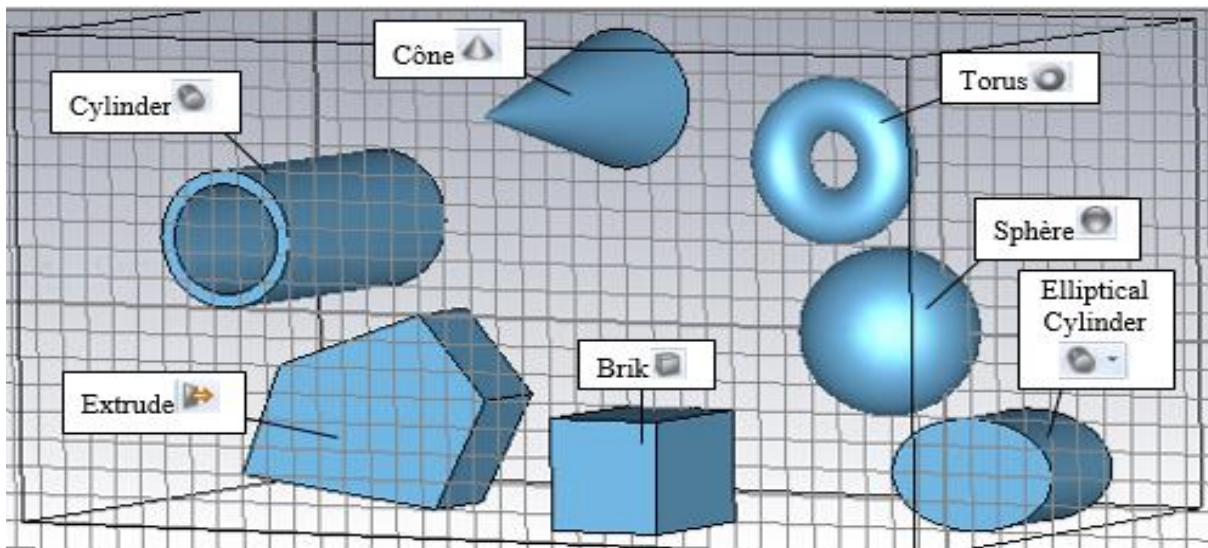


Figure III.11 : Formes de base utilisées lors du dessin de structures.

Pour y accéder, il faut cliquer sur Bouton Modeling, ensuite nous choisissons la forme que nous voulons comme figure III.12.

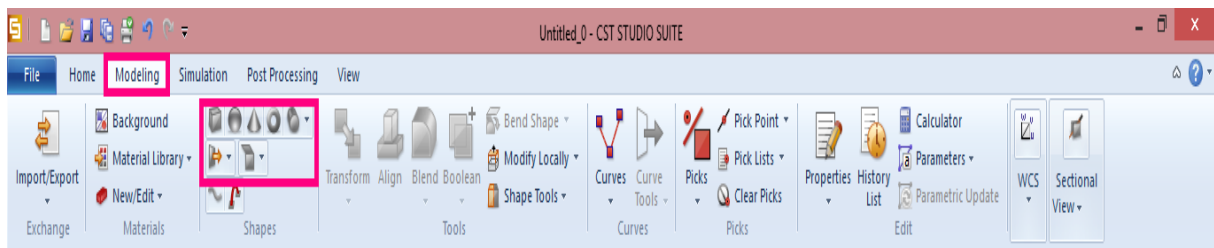


Figure III.12 : La barre des formes géométrique du logiciel CST.

III.6 LE CHOIX DU MATRIEL

Avant de dessiner notre structure, nous pouvons définir le matériau que nous allons utiliser dans le répertoire "Matériaux" de l'arbre de navigation : par défaut deux matériaux ont été créés (figure III.13).

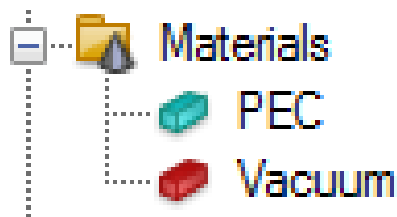


Figure III.13 : Dossier des matériaux.

PEC : Perfect Electric Conductor.

Vacuum : Vacuum : vide ou air.

Si nous voulons créer un autre matériau, nous devons cliquer avec le bouton droit de la souris sur le dossier du matériau et choisir New Material. Une fenêtre apparaît comme indiqué dans la figure III.14

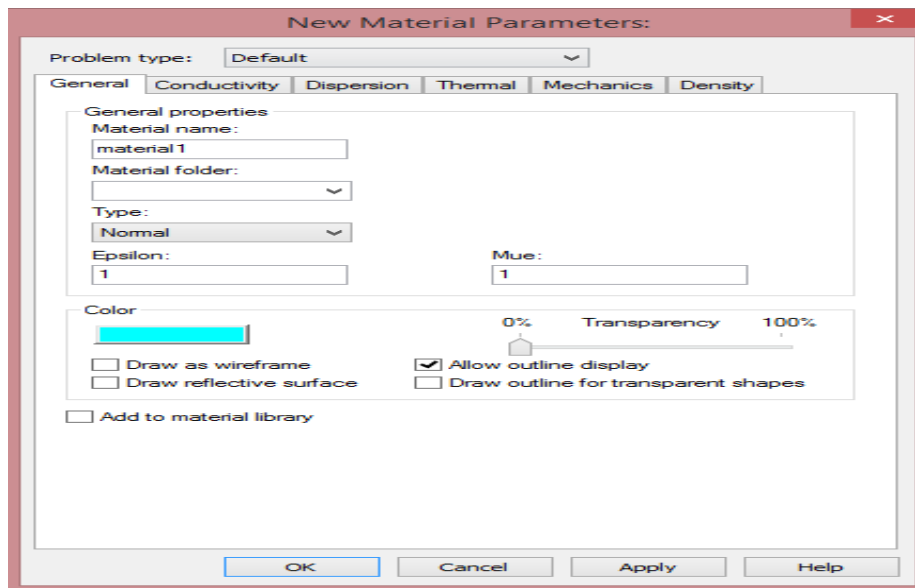


Figure III.14 : Création d'une autre matière.

III.6.1 LES ELEMENTS D'OBSERVATION DE LA STRUCTURE

Dans la barre d'outils et la barre statut, nous avons à notre disposition une barre pour modifier la vue de notre structure à tout moment. Le changement de la vue de la structure du logiciel CST implique plusieurs éléments, tels que zoom, rotate, Plan

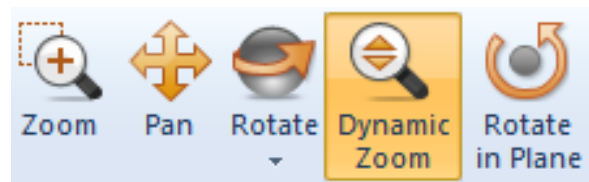


Figure III.15 : Les éléments d'observation de la structure.

Zoom : La fenêtre de zoom peut être définie en faisant glisser la souris. Lorsque vous relâchez le bouton gauche de la souris, le facteur de zoom et la position de la vue seront mis à jour.

Pan : Lorsque le curseur de la souris est déplacé, la structure se déplace dans le plan de l'écran.

Rotation : La structure tourne autour des deux axes de l'écran.

Zoom dynamique : Déplacer la souris vers le haut diminue le facteur de zoom, tandis que déplacer la souris vers le bas augmente le facteur de zoom.

Rotation dans le plan : La structure sera tournée dans le plan de l'écran.

III.6.2 TRANSFORMATIONS GEOMETRIQUES

Le logiciel CST vous permet d'effectuer diverses transformations géométriques pour créer et modifier des objets dans l'espace de travail. Nous ouvrons la boîte de dialogue de conversion comme suit :

Cliquez sur Modeling dans la barre de menus et sélectionnez Transforme ou cliquez avec le bouton droit et sélectionnez la commande Convertir.

Dans la figure III.16 montre les transformations géométriques disponibles dans le logiciel CST :

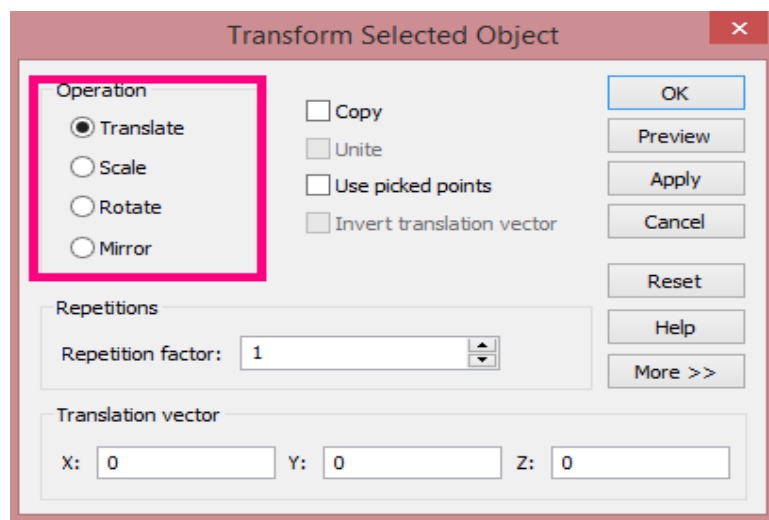


Figure III.16 : Les éléments des transformations géométriques.

Il existe 4 transformations :

Translate : Déplace les objets dans l'espace de travail d'une distance spécifiée dans une direction donnée.

Scale : Permet de modifier la taille de l'objet.

Rotate : Permet de faire pivoter l'objet d'un angle spécifié autour de l'origine.

Mirror : cette transformation vous permet de créer de nouveaux objets en soustrayant la forme des objets existants.

La figure suivante donne un Exemple d'une translation de la sphère de 13mm selon l'axe x d'une brique avec un facteur de répétition de 2 et avec une conservation de la brique d'origine Figure III.17.

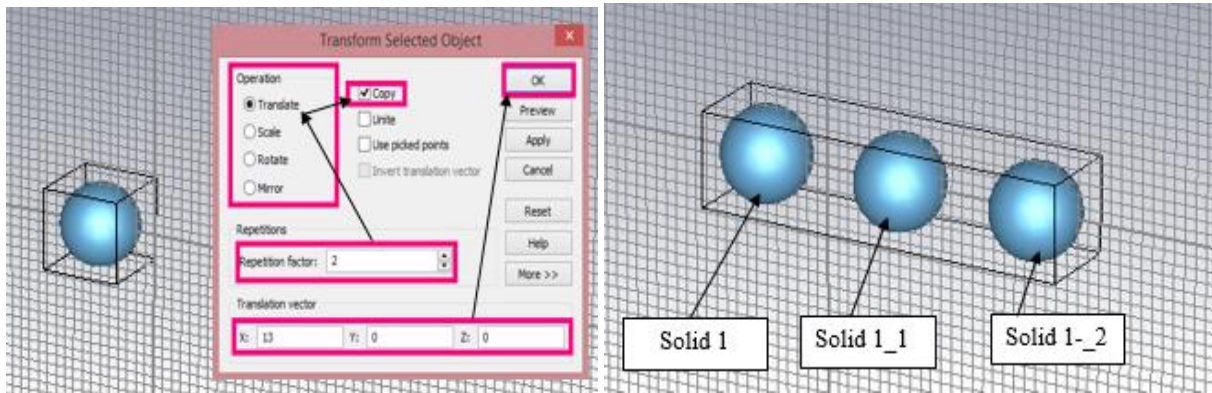


Figure III.17 : Exemple d'une translation de sphère.

III.7 CONFIGURATION DU MODELE

III.7.1 LES UNITES

L'unité dans le logiciel CST est utilisée pour spécifier les dimensions et les propriétés des objets modélisés. Elle est défini par défaut de l'extérieur, c'est-à-dire au début des étapes de création d'un nouveau projet, ou de l'intérieur du logiciel lorsque vous cliquez sur Home ensuite sur Units. La fenêtre apparaît comme indiqué sur la figure III.18.

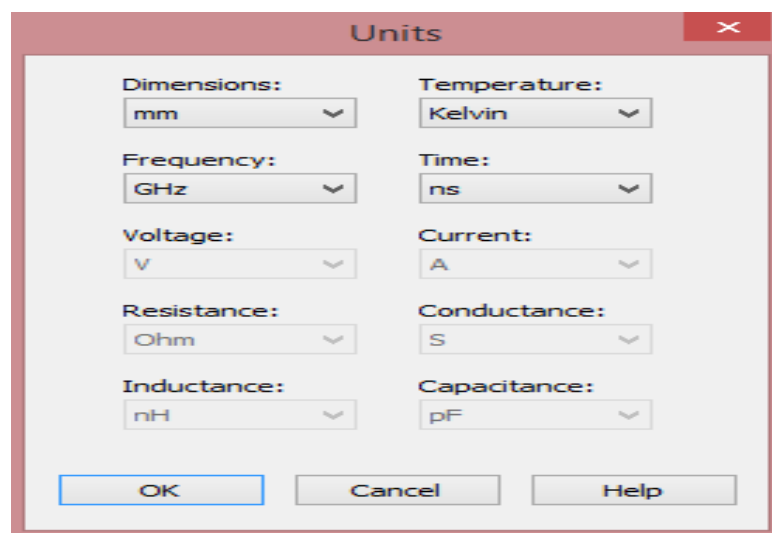


Figure III.18 : Les unités de logiciel.

III.7.2 LES FREQUENCES

La fréquence est un paramètre important dans les simulations électromagnétiques car elle détermine la longueur d'onde des ondes électromagnétiques et par conséquent, la résolution spatiale requise pour la modélisation. Cliquer sur Home ensuite sur Simulation puis sur Frequency (figure III.19).

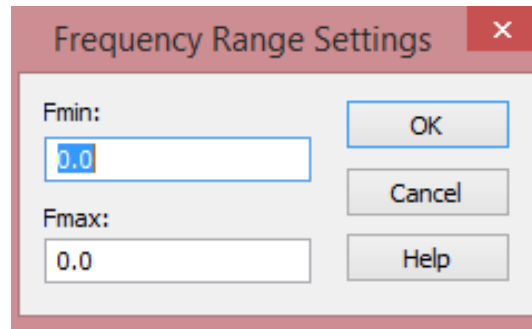


Figure III.19 : Paramètres de la gamme de fréquences.

III.7.3 LES CONDITIONS AUX LIMITES

Pour définir la structure lors de la simulation, des conditions aux limites doivent être spécifiées pour chaque plan. Nous cliquons sur Simulation puis Boundaries et définissons les conditions aux limites à partir de la boîte de dialogue qui apparaît figure III.20.

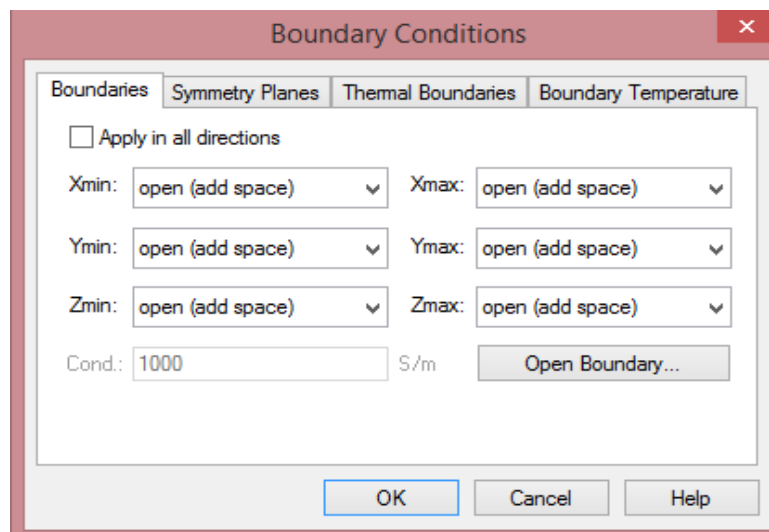


Figure III.20 : La boîte de dialogue des conditions aux limites.

III.8 LES ETAPES DE CONFIGURATIONS D'UN PROJET

Pour configurer un modèle dans le logiciel CST, vous pouvez suivre les étapes ci-dessous :

Etape 1 : Créez un nouveau projet et sélectionnez le type de modèle que vous souhaitez simuler, comme une antenne.

Etape 2 : Créez de nouvelles conceptions pour vos modèles en définissant les dimensions et les propriétés des matériaux.

Etape 3 : Ajoutez des composants à votre modèle, tels que des conducteurs, des sources de courant, des ports, des couches diélectriques, etc.

Etape 4 : Configurez les paramètres de simulation pour votre modèle, tels que la fréquence de simulation, la méthode de résolution, les conditions aux limites, etc.

Etape 5 : Exécutez une simulation pour obtenir les résultats du modèle.

Etape 6 : Analysez les résultats de la simulation pour évaluer les performances du modèle.

Si nécessaire, modifiez le modèle et répétez le processus de simulation jusqu'à ce que les résultats souhaités soient obtenus.

III.9 CONCLUSION

Nous avons donné une présentation générale du logiciel CST, cet outil de simulation est puissant dans le domaine de l'électromagnétisme pour la conception et l'analyse de systèmes complexes. Le prochain chapitre sera consacré à la présentation de différents simulations réalisées à l'aide de ce logiciel et exposer les résultats obtenus.

CHAPITRE IV
Simulation et Résultat

IV.1 INTRODUCTION

La partie simulation est indispensable pour analyser le comportement électromagnétique de différentes structures conçues.

Nous avons simulés à l'aide du simulateur CST Microwave Studio. Des guides d'ondes en technologie SIW ainsi que des filtres passe bande à cavités résonante latérales fonctionnant dans les bandes de fréquences K, X et C, et qui correspondent aux plages de fréquences respectivement [18-26 GHz], [8-12.5 GHz] et [4-8 GHz]. Une optimisation des résultats a été achevée par le logiciel CST dans le but de trouver des structures de filtres SIW passe bande performantes.

IV.2 CONCEPTION DU GUIDE SIW OPERANT EN BANDE C

IV.2.1 SANS ADAPTATION

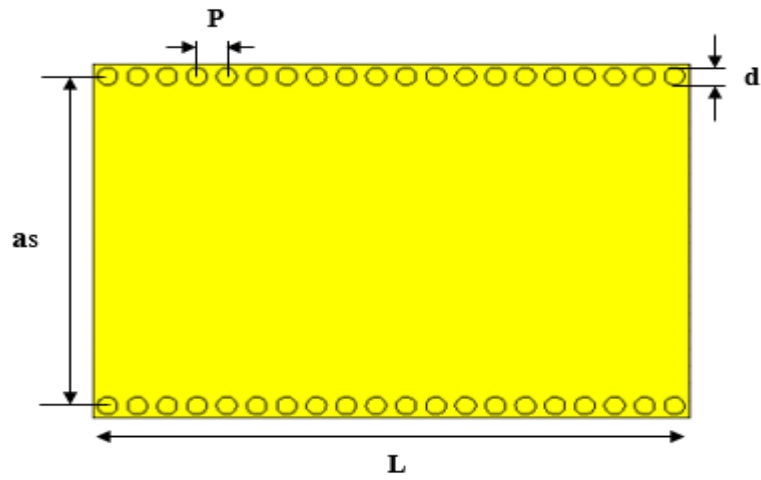
Dans cette section, nous examinerons d'abord la conception d'un guide d'onde SIW en bande C [4-8] GHz utilisant un substrat (FR-4). Pour le mode TE₁₀, nous avons choisi une fréquence de coupure f_c de 4 GHz et une épaisseur de conducteur de 0,05 mm. Le diélectrique utilisé présente les caractéristiques suivantes :

Une permittivité relative ϵ_r de 4.3, Une hauteur de substrat h de 1.54 mm, Une perte tangentielle $tg\delta$ de 0.018.

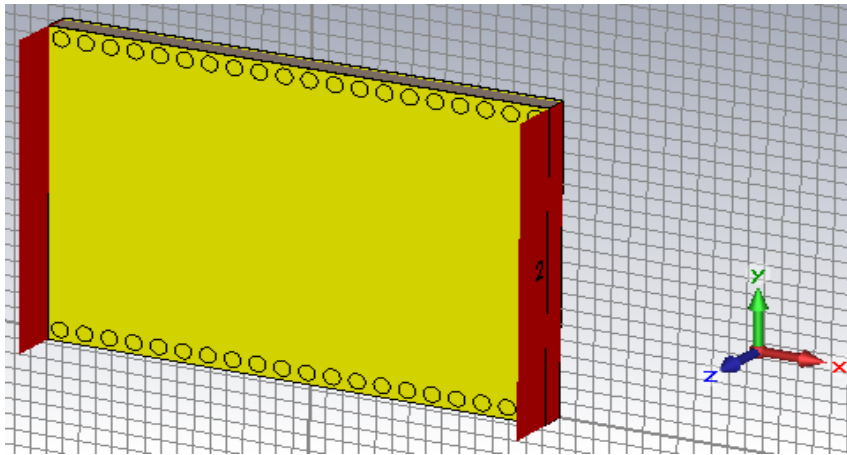
Les paramètres géométriques sont récapitulés dans le tableau ci-dessous :

Paramètres	Symbol	Valeurs (mm)
La longueur du guide d'onde	L _{siw}	30 mm
La Largeur du substrat	W	20.3 mm
La largeur siw	as	18.8 mm
Le diamètre des vias	d	1 mm
La distance entre les vias du centre au centre	p	1.5 mm

Tableau IV.1 : Dimensions du guide SIW.



(a)



(b)

Figure IV.1 : Guide SIW en bande C, (a) Vue de face, (b) Vue en perspective.

Nous avons commencé par simuler une structure simple d'un guide d'ondes SIW dans la plage de fréquence 0 à 8 GHz, Les résultats de simulation de ce guide SIW à savoir le coefficient de réflexion S11 et de transmission S21 sont montré dans la figure ci-dessous.

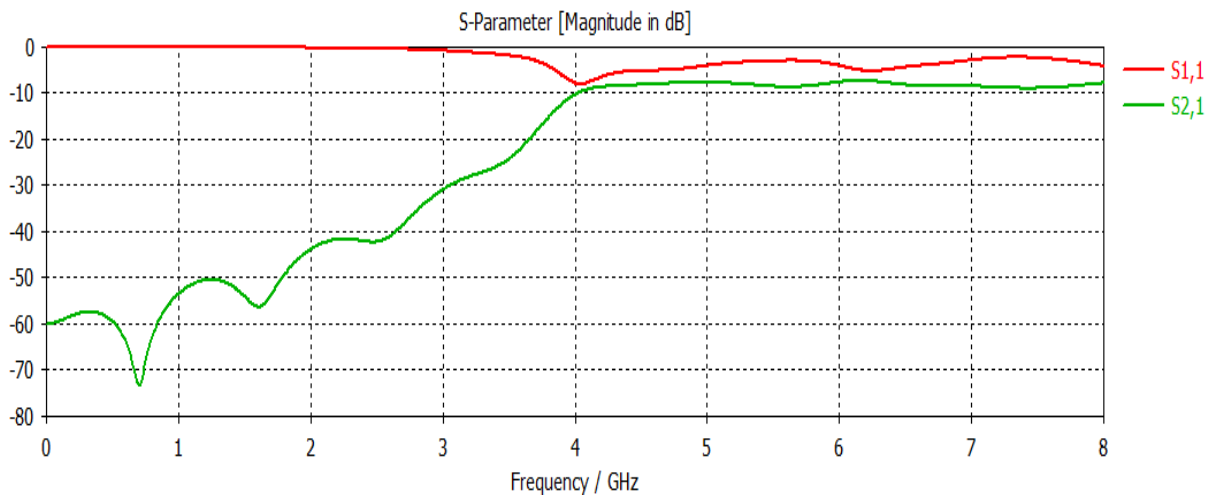


Figure IV.2 : Réponse fréquentielle du guide SIW sans transition canonique.

D'après le graphe IV.2, on voit bien que le coefficient de transmission est autour de la valeur -70dB , dans la plage de $[0-4]$ GHz, et à partir de la fréquence de coupure $f=4$ GHz, la valeur du coefficient de transmission est autour de -5dB .

Ce résultat représente une mauvaise en terme d'adaptation, et nécessite une amélioration de ce fait, nous allons rajouter 2 tapers symétriques dans les deux côtés du guide (Voir IV.3).

IV.2.2 GUIDE SIW AVEC ADAPTATION

Le taper joue le rôle d'un adaptateur d'impédances sous forme transformateur, entre la ligne micro ruban et le guide d'ondes, les dimensions du taper changent selon la bande de fréquence désirée. Pour notre étude on va s'intéresser sur les transitions de la forme conique.

Le taper est utilisé dans divers domaines tels que les guides d'onde, les antennes, dont le bus est d'optimiser les performances et les transitions entre différentes géométries.

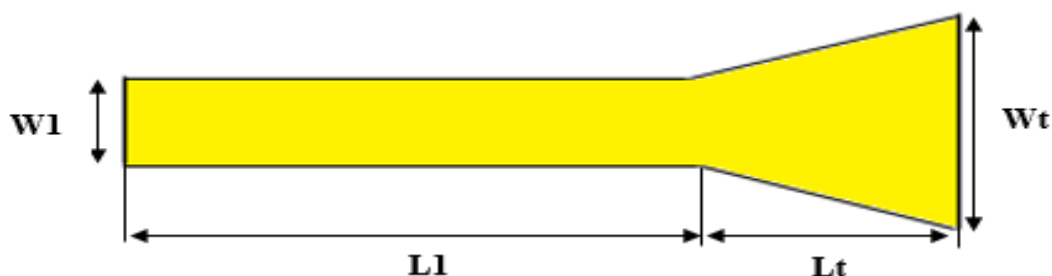


Figure IV.3 : Représente la structure d'un taper du guide.

La largeur w_1 du micro-ruban dépend de la hauteur du substrat diélectrique h , constante diélectrique du substrat ϵ_r et impédance de la ligne micro-ruban Z_0 .

On peut aussi calculer la largeur de la ligne d'alimentation w_1 par un calculateur sur le logiciel CST, en faisant :

Home / macros / calculate / calculate analytical line impedance, la fenêtre ci-dessous apparait ça nous permet de calculer w_1 , en introduisant l'impédance d'entrée à 50 Ohm, la permittivité relative ϵ_r , la hauteur du substrat h et la fréquence de travail.

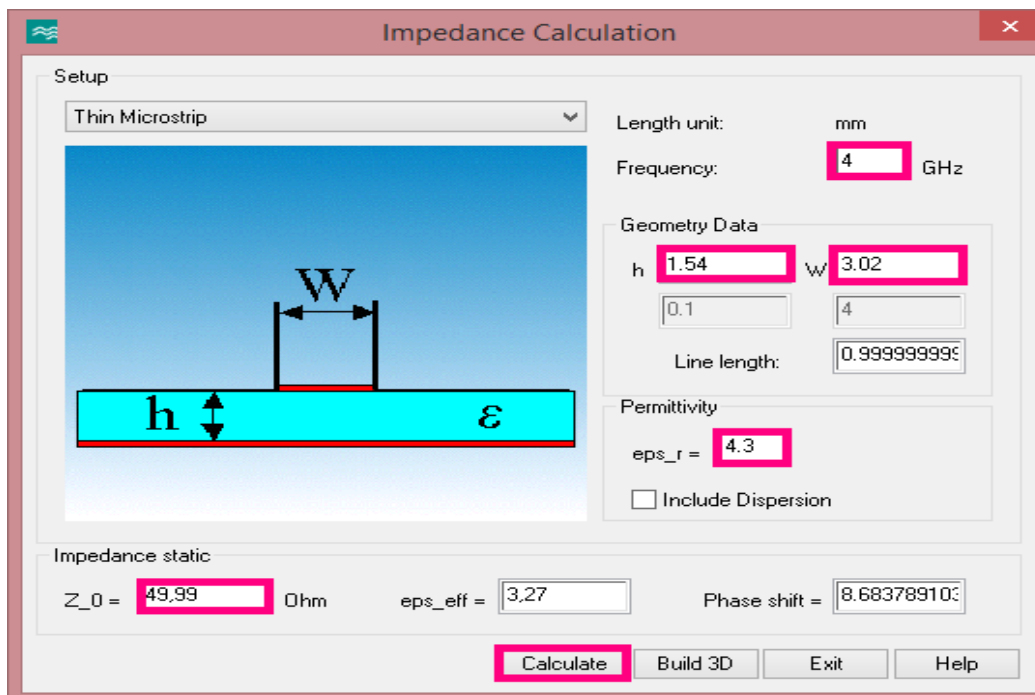


Figure IV.4 : Calcul la largeur de la ligne d'alimentation w_1 .

La largeur W_t et la longueur L_t sont deux paramètres essentiels pour la conception du taper.

Nous basons sur des équations théoriques au début pour trouver les valeurs de différentes paramètres, mais généralement ces valeurs initiales nécessitent une optimisation, supposons que λ_g est la longueur d'onde de la ligne, alors les valeurs initiales de W_t et L_t peuvent être déterminées par les relations suivantes :

$$W_t/\lambda_g \approx 0.4 \quad (\text{IV.1})$$

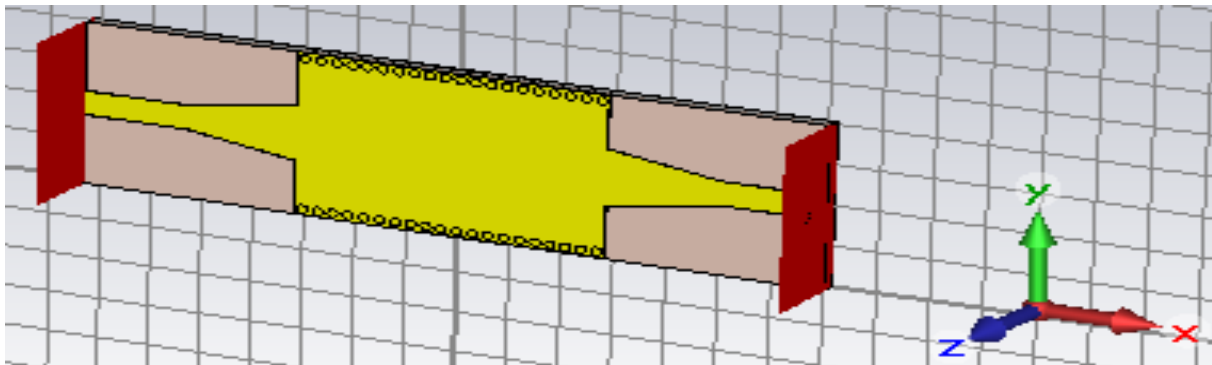
$$(\lambda_g/2) < L_t < \lambda_g \quad (\text{IV.2})$$

Où

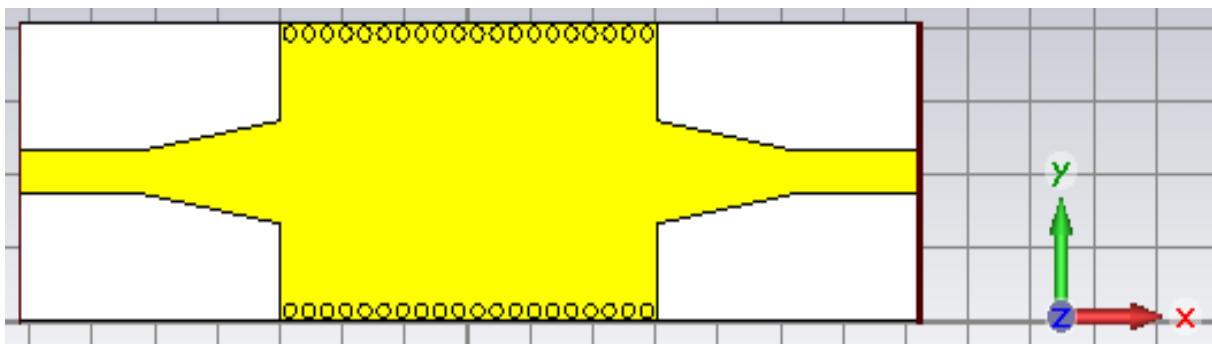
$$\lambda_g = \lambda_c / \sqrt{\epsilon_r} \quad (\text{IV.3})$$

$$\lambda_c = c/f_c \quad (\text{IV.4})$$

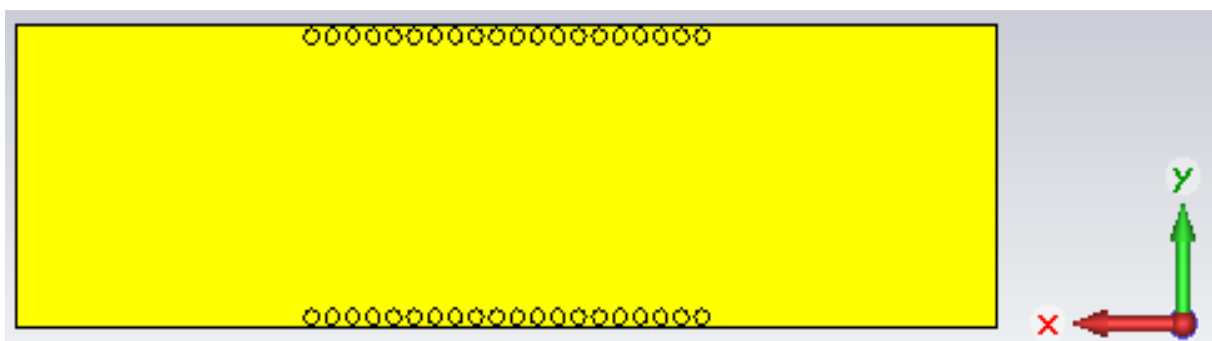
La structure finale du guide SIW après transition est représentée dans la figure IV.5.



(a)



(b)



(c)

Figure IV.5 : Topologie de la transition du guide d'onde intégré au substrat.

(a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.

La figure IV. 5 présente une structure symétrique utilisée dans cette recherche, comprenant deux lignes micro-ruban qui fournissent une alimentation équivalente à toute la structure avec les mêmes dimensions physiques. De plus, un guide d'ondes intégré au substrat et deux transitions coniques sont utilisées pour réaliser une adaptation d'impédance, également avec les mêmes dimensions physiques.

Après avoir effectué plusieurs simulations à l'aide du logiciel CST, nous avons abouti à des valeurs optimales du taper et des dimensions de la ligne micro-ruban. Ces valeurs sont les suivantes :

$$L_t=10.8mm, W_t=7mm, L_1=10mm, W_1=3.02mm$$

Les coefficients S21 et S11 après l'adaptation sont présentés dans la figure IV. 6.

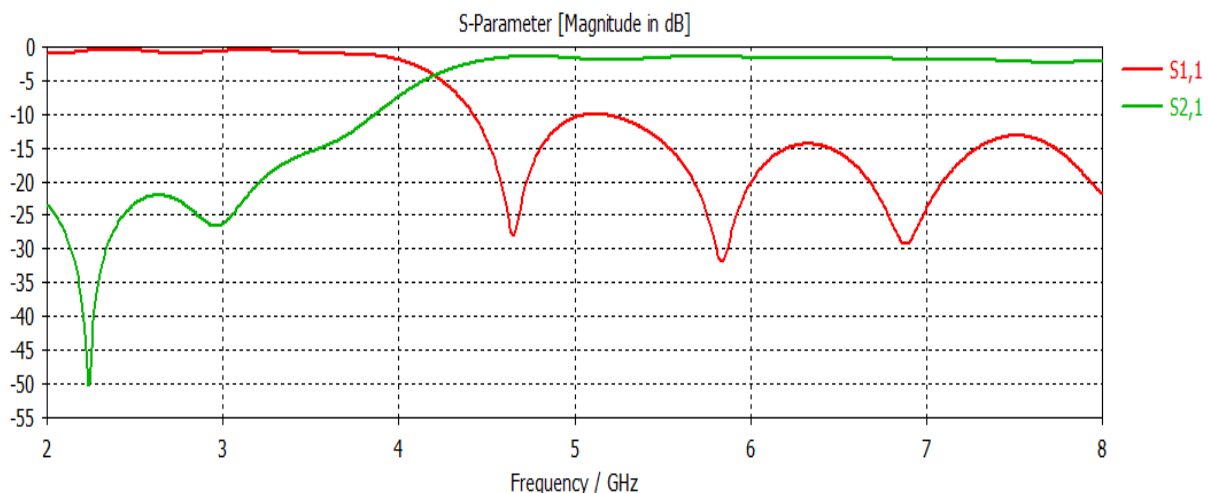


Figure IV. 6 : Réponse fréquentielle du guide SIW avec la transition conique.

Les résultats en termes de coefficients de réflexion sont satisfaisantes ou nous observons qu'il y a une bonne adaptation dans la plage de fréquence de 4 à 8GHz, avec un coefficient de réflexion S11 égale à moins de -30dB à la fréquence 5.84GHz. Le coefficient de transmission S21 dans cette même plage de fréquence est autour de -2dB.

IV.3 CONCEPTION D'UN FILTRE PASSE BANDE A BASE DE LA TECHNOLOGIE SIW DANS LA BANDE C

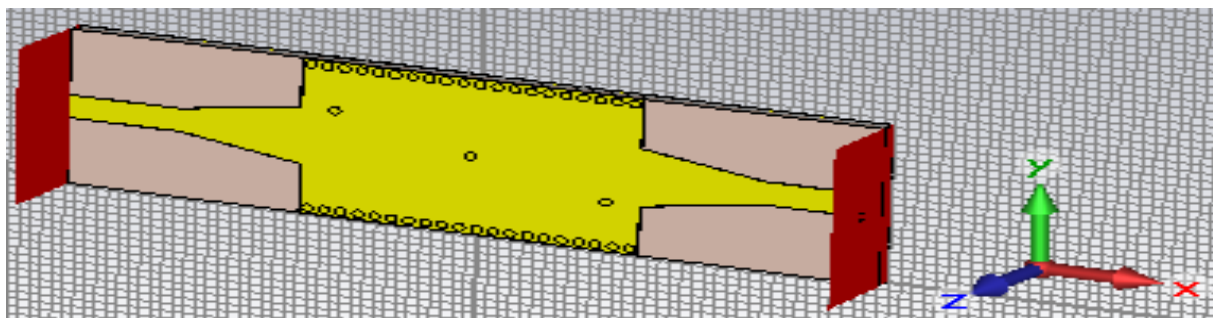
Nous intéressons maintenant à la conception d'un filtre passe-bande à partir du guide d'ondes intégrés au substrat fonctionnant dans la bande de fréquence [4-8 GHz].

Pour arriver à notre objectif de conception, nous avons travaillé avec la même dimension du guide, juste on a optimisé la dimension du taper ou la vaut 7,52 mm.

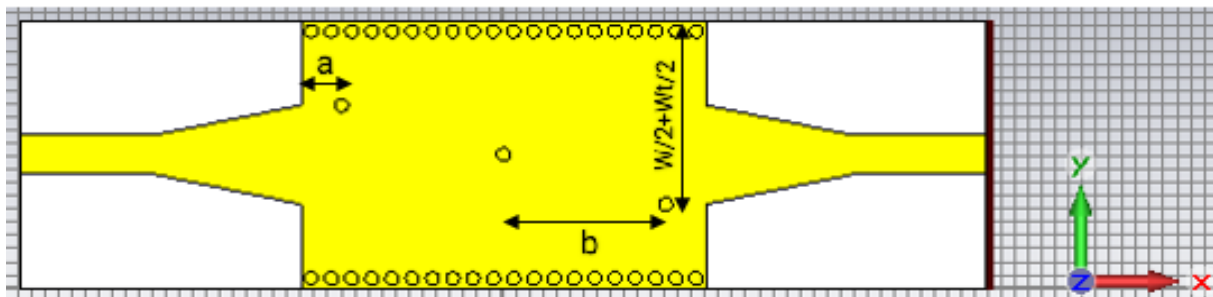
IV.3.1 TOPOLOGIE 1

Nous allons essayer d'injecter des vias métalliques à l'intérieur du guide dans le but de concevoir des cavités résonnantes. L'efficacité d'injecter des vias à la conception des filtres a été déjà montrée par plusieurs recherches.

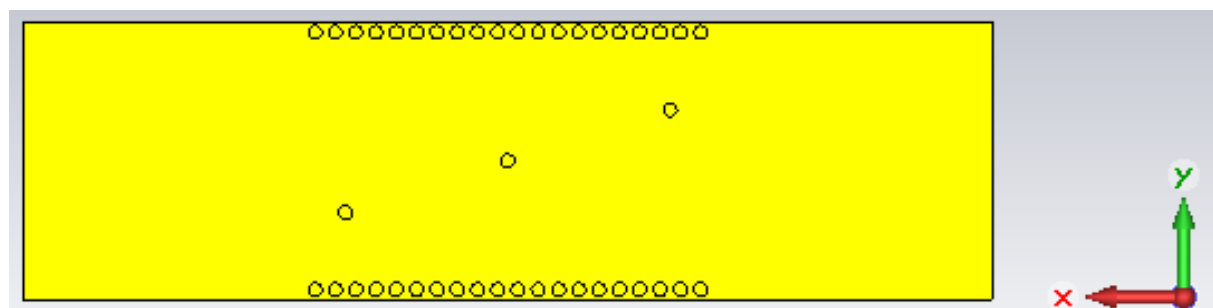
Dans cette première topologie, nous allons insérer trois vias éloignés avec des positions variables afin d'observer leurs effets comme le montre la figure IV.7.



(a)



(b)



(c)

Figure IV.7 : Structure du filtre SIW passe-bande fonctionnant avec 3 vias à position variable. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.

Les positions des vias sont fixés selon les valeurs de : a et b tel que :

$$a = 2 \text{ mm}, b = 12 \text{ mm}$$

Les paramètres S du filtre après la simulation sont présentés dans la figure ci-dessous :

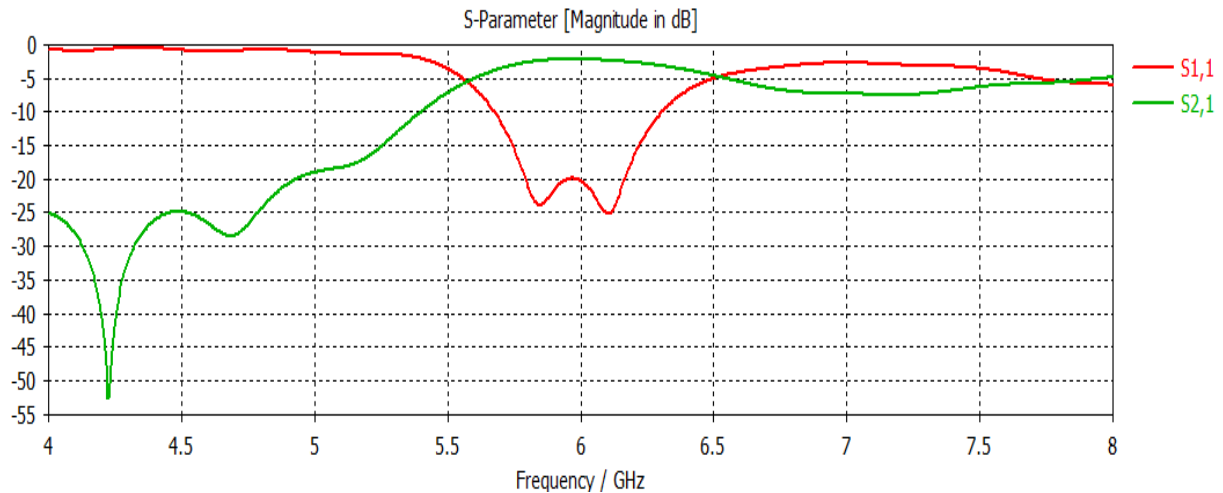


Figure IV.8 : Les paramètres S du filtre SIW en bande C avec 3 vias.

Après avoir ajouté trois vias, et les modifications de leurs positions, nous avons obtenu un bon résultat en termes d'adaptation dans la bande [5,6 à 6,5] GHz, et son comportement passe-bande est clairement observable dans cette gamme.

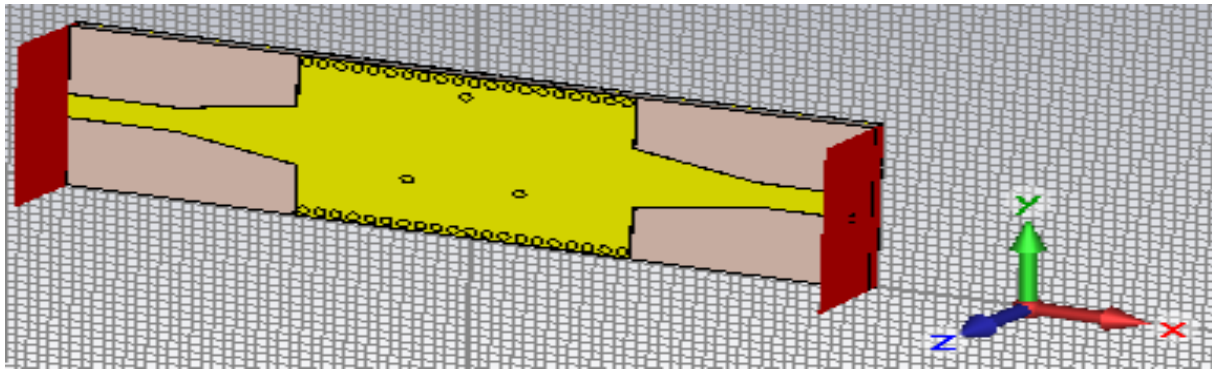
On voit clairement selon le graphe du S₂₁, qu'il une bonne transmission est enregistrée, avec une atténuation de seulement -2 dB.

Dans cette même bande, nous constatons que la largeur de la bande de notre filtre conçu est de 1.2 GHz.

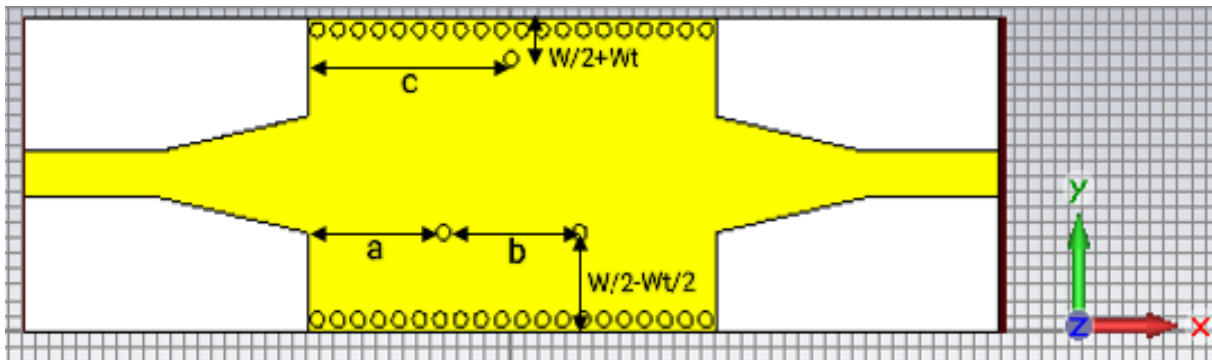
IV.3.2 TOPOLOGIE 2

La position des vias à l'intérieur du guide d'onde est important pour avoir une structure plus performante, pour cela, nous avons introduit 3 vias Afin de visualiser l'effet de ce changement le comportement de la réponse en fréquence du filtre, dans cette topologie les vias constituent un triangle selon la figure IV.9.

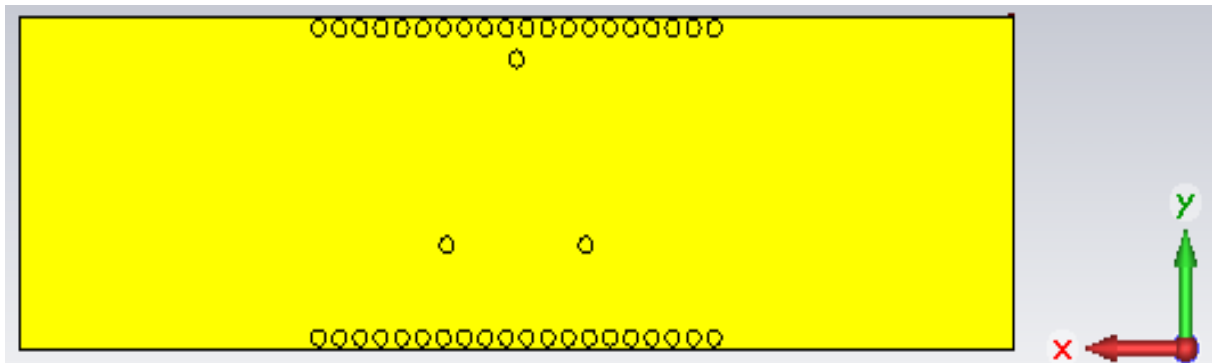
Les positions des vias sont donnees comme suit : $a = b = 10 \text{ mm}, c = 15 \text{ mm}$



(a)



(b)



(c)

Figure IV.9 : La topologie du filtre passe-bande SIW opérant en bande C.

(a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.

La figure IV.10 représente le courant surface de la topologie 2 en la bande C :

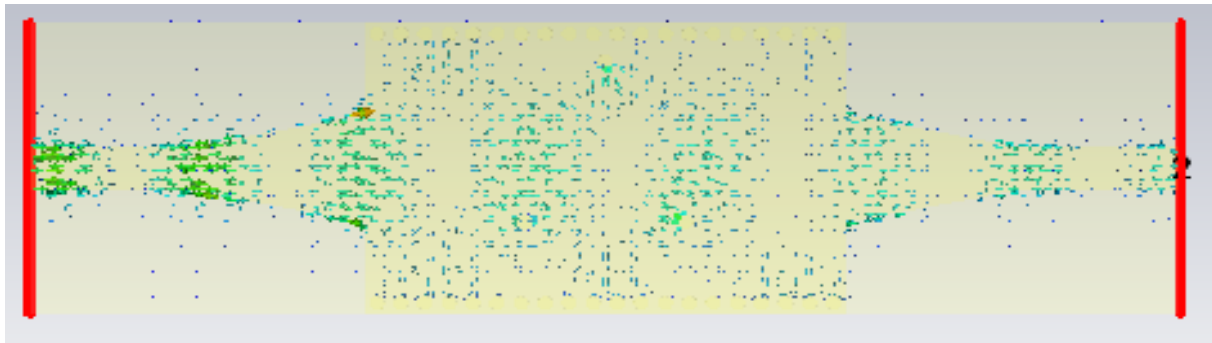


Figure IV.10 : Courant surface de topologie 2.

Les résultats de simulation du coefficient de réflexion S_{11} et du coefficient de transmission S_{21} sont montrés dans la figure IV.11.

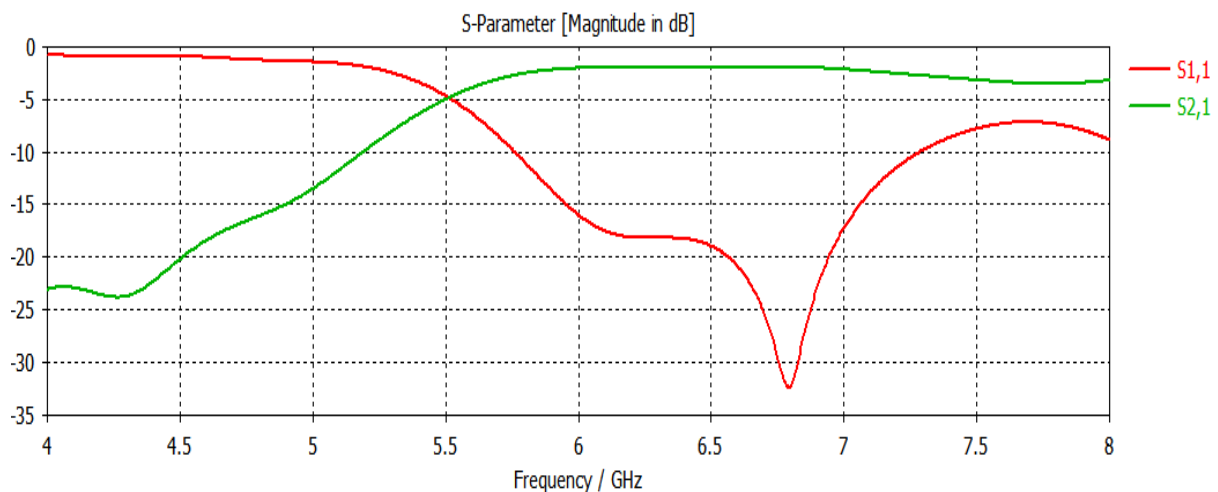


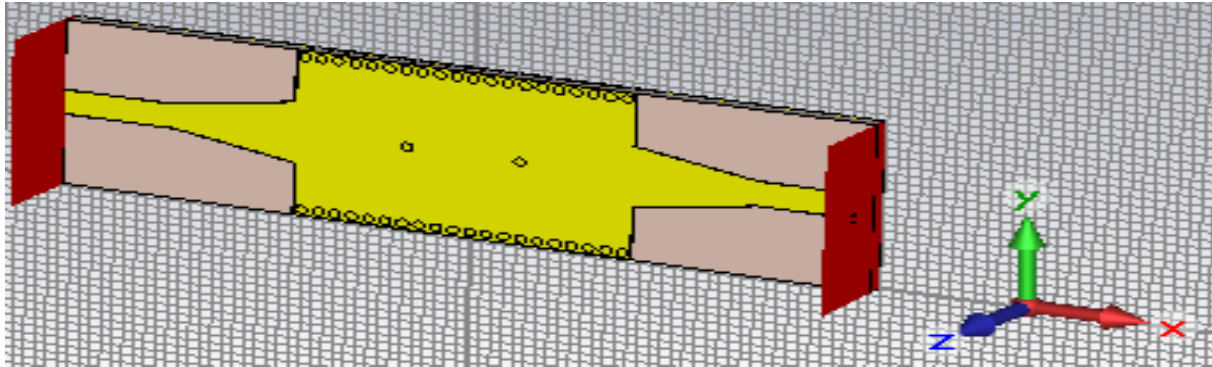
Figure IV.11 : La Puissance réfléchie et transmise du filtre dans la bande C.

Nous remarquons, Après les modifications apportées, que notre filtre présente une bonne adaptation dans la bande [5.5- 7.5] GHz, et le Comportement passe-bande ultra large est bien évident dans cette plage de fréquence.

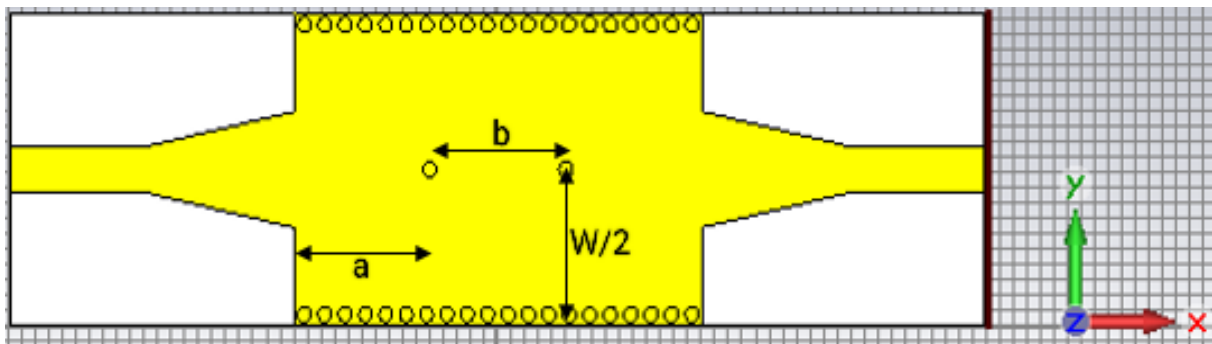
Le coefficient de transmission est autour du -2dB à partir de de la fréquence 6GHz, et le S_{11} est maximale pour la fréquence de 6.75 GHz avec une valeur de -33dB. La largeur de bande a -10dB est 3 GHz ce qui représente une bande très large.

IV.3.3 TOPOLOGIE 3

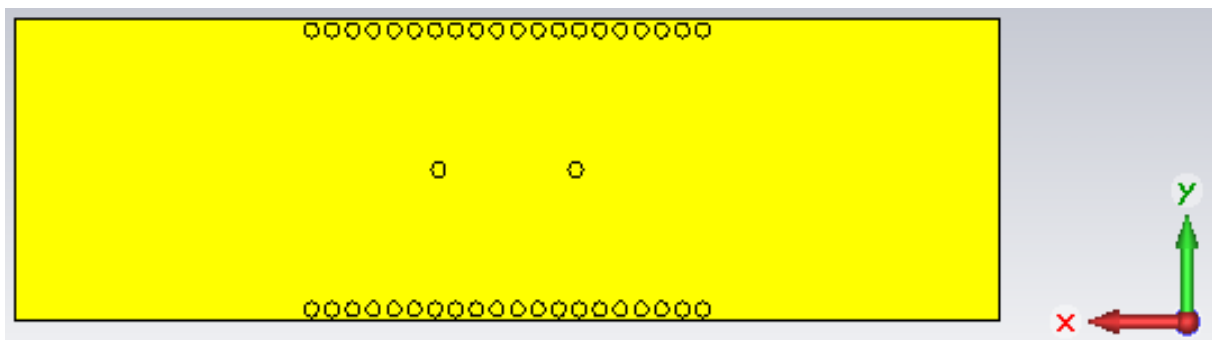
Nous restons dans la même bande de fréquence du 4 aux 8 GHz, et nous continuons à proposer une structure de conception du filtre, dans la topologie 3, nous avons introduit, deux vias au milieu du guide d'ondes et repartie symétriquement comme le montre la figure IV.12 l'étude paramétrique.



(a)



(b)



(c)

Figure IV.12 : Filtre passe-bande à base de la technologie SIW opérant en bande C. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.

Les paramètres S de la 3ieme Topologie du Filtre passe bande SIW sont donnés dans la figure IV.13.

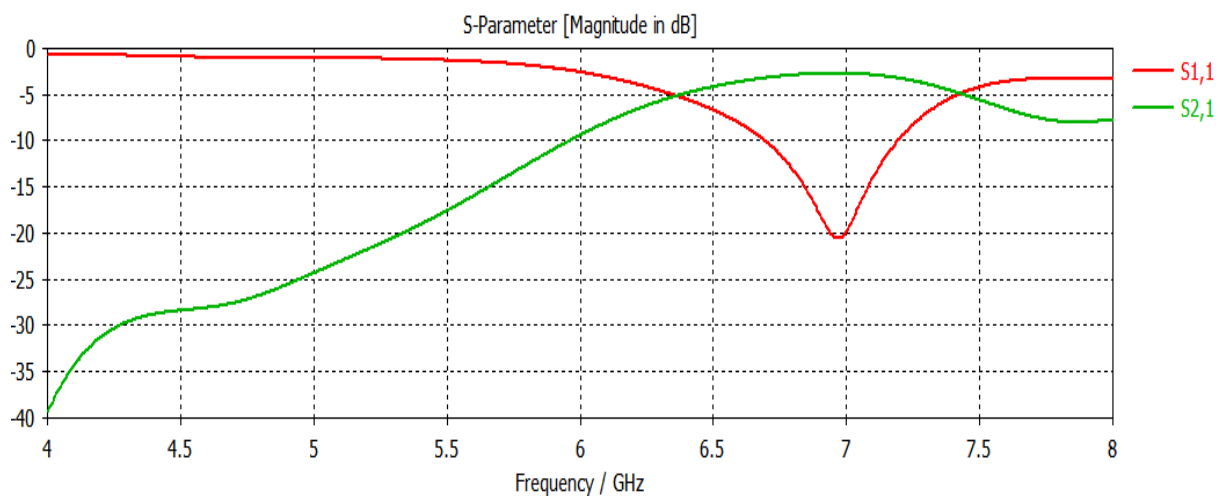


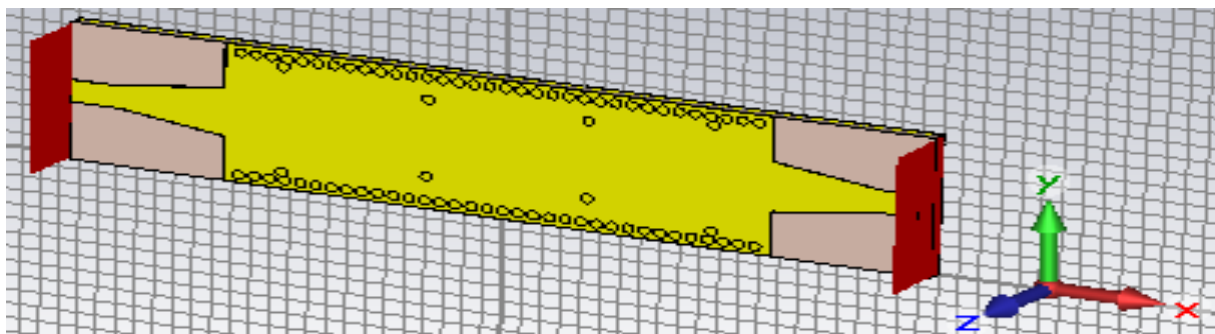
Figure IV.13 : La réponse en fréquence du Filtre passe bande SIW.

A partir du graphe ci-dessus, nous voyons bien que dans la plage [4 - 6.3 GHz] la puissance transmise est presque maximale avec une valeur de S₂₁ autour de -2dB, et la puissance réfléchie est minimale avec une valeur du S₁₁ de -20dB à la fréquence f= 6.9 GHz.

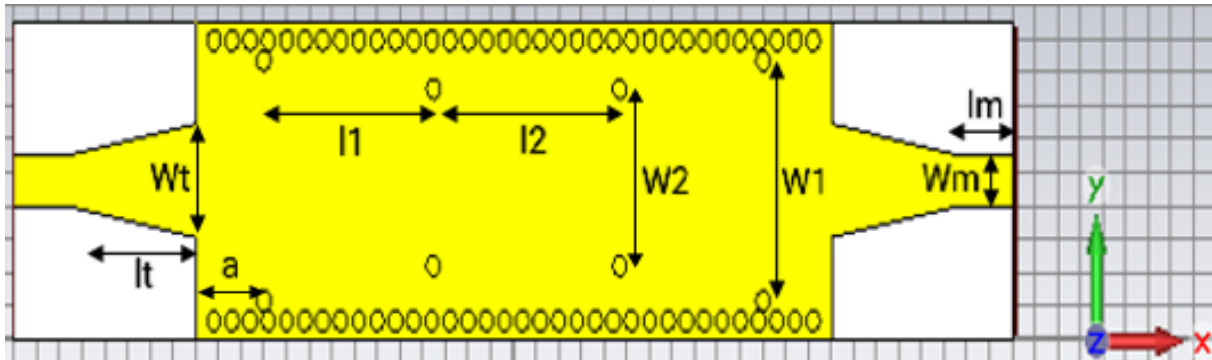
Il est à noter que la largeur de la bande égale 500MHz, ce qui signifie que filtre SIW est convient.

IV.4 CONCEPTION D'UN FILTRE PASSE BANDE A BASE DE LA TECHNOLOGIE SIW DANS LA BANDE X

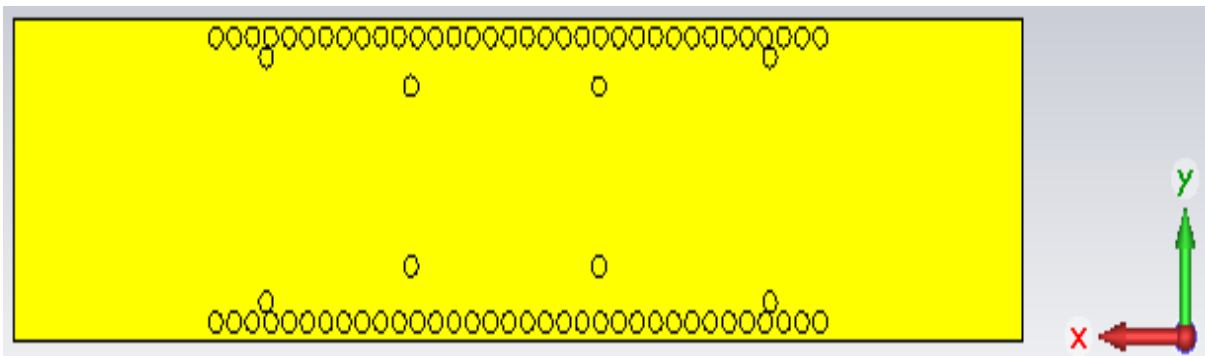
Le filtre SIW proposé a été conçu selon l'article [18] fonctionnant dans la bande X [8-12] GHz. La ligne micro-rubans coniques (taper) est placée sur la couche supérieure du substrat FR-4, les caractéristiques de substrat sont données dans le tableau IV.2. La figure IV.14 montre le filtre SIW.



(a)



(b)



(c)

Figure IV.14 : Structure du filtre SIW passe-bande fonctionnant en bande X avec 3 cavités. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.

Le courant surface de la structure filtre SIW en bande X représente dans la figure IV.15 :

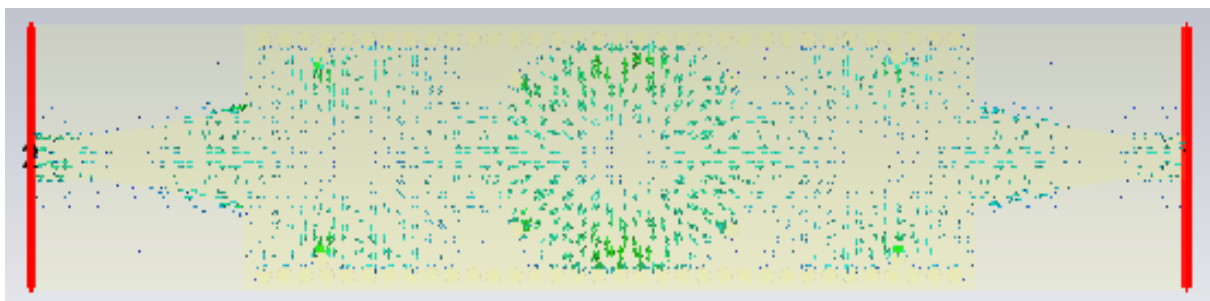


Figure IV.15 : Le courant surface de bande X.

Les paramètres initiaux de filtre sont optimisés et données dans le tableau IV.3.

Propriétés du substrat	Valeurs (mm)
La permittivité relative	4.3
La hauteur du substrat	0.8
L'épaisseur du conducteur	0.035
L'épaisseur du plan de masse	0.035
La perte tangente	0.025

Tableau IV.2 : Données de substrat.

Le tableau suivant présente les valeurs des paramètres du filtre proposé, on prend la fréquence de coupure $f_c=8\text{GHz}$.

Paramètres	Optimisés
lt	5.51
Wt	3.4
lm	2.5
Wm	1.55
W1	7.2
W2	5.3
l1	7.47
l2	8.2
a	3
P	0.8
d	0.6
as	8.4
Wsiw	9.5
Lsiw	28

Tableau IV.3 : Les dimensions du filtre suggéré.

Après avoir simulé la structure de filtre proposé, Les résultats de simulation des paramètres S sont présenté sur la figure IV.16.

On peut dire que ce filtre montre des bonnes performances dans la page de fréquence [10.7 - 12.3] GHz ou la largeur de la bande du filtre a -10dB, est autour de 2.3 GHz.

La bande passante du filtre est d'environ 14 %, le coefficient de réflexion est égal a - 27 dB à la fréquence 11,3. Ce filtre pourrait être exploité dans des applications satellitaires.

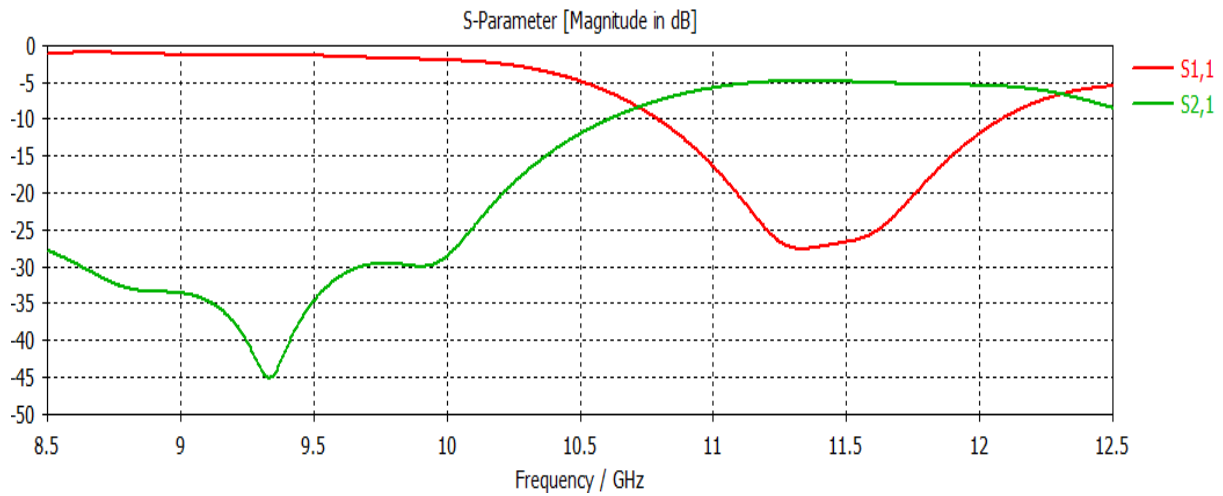


Figure IV.16 : Les paramètres S du filtre passe bande SIW avec trois cavités en bande X avec 3 cavités résonantes.

Notre résultat est comparable avec l'article [28], on remarque qu'il y a une bonne correspondance entre les deux graphes avec un décalage dans la bande des fréquences.

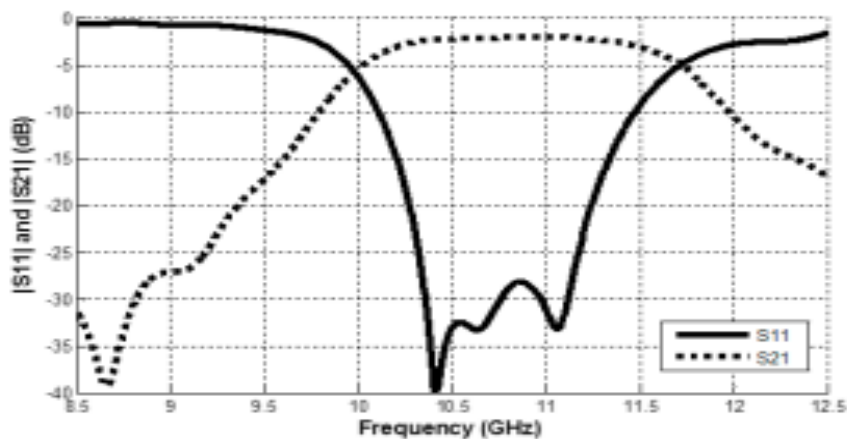
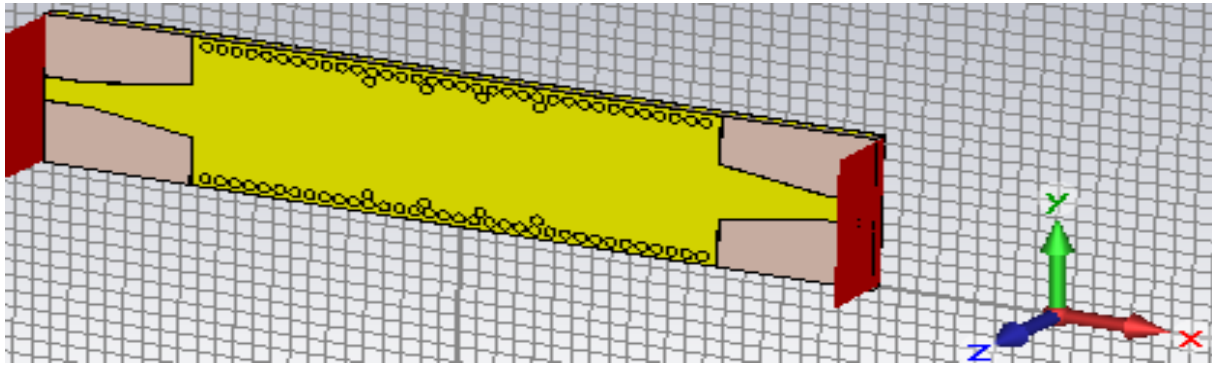


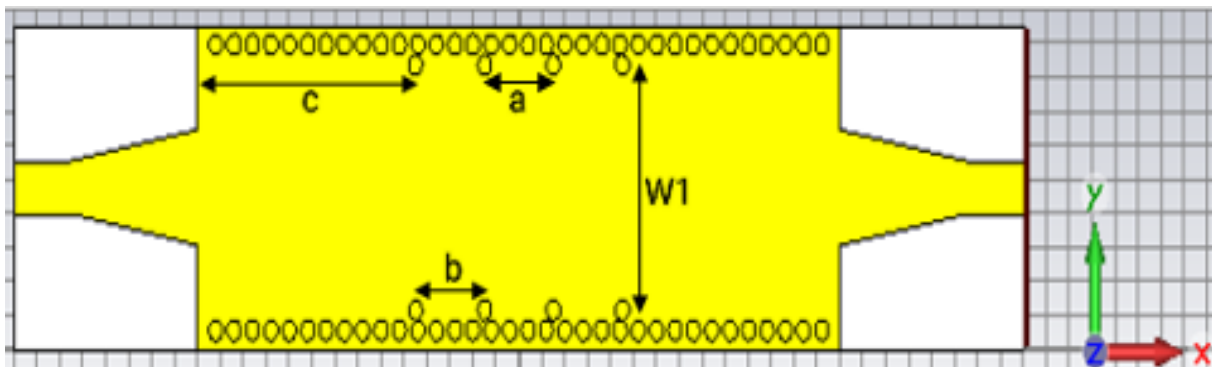
Figure IV.17 : les paramètres S du filtre passe bande SIW avec trois cavités.

IV.4.1 STRUCTURE 1

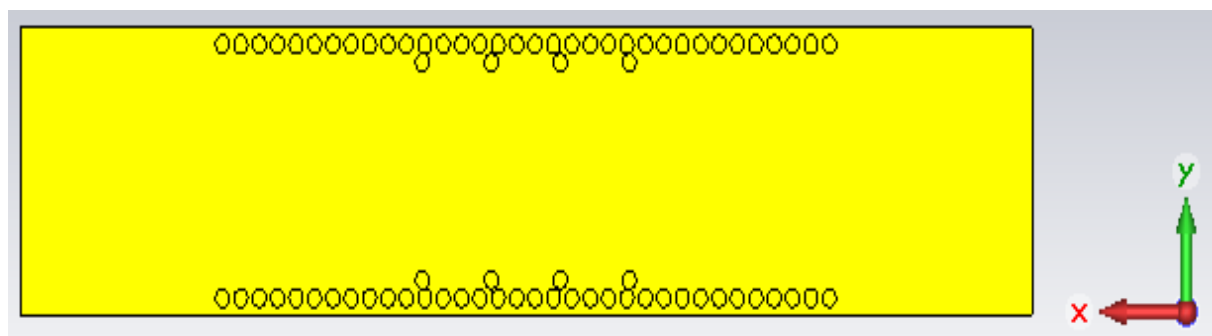
Nous allons essayer de changer la position des vias métalliques à l'intérieur du guide. Afin d'observer leurs effets, comme le montre la figure IV.18.



(a)



(b)



(c)

Figure IV.18 : Structure filtre passe bande à base de la technologie SIW opérant à la bande X. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.

Les nouvelles dimensions de position des vais comme suit :

$$a = b = 3 \text{ mm}, c = 9.5 \text{ mm}$$

Les paramètres S du filtre après la simulation sont présentés dans la figure ci-dessous :

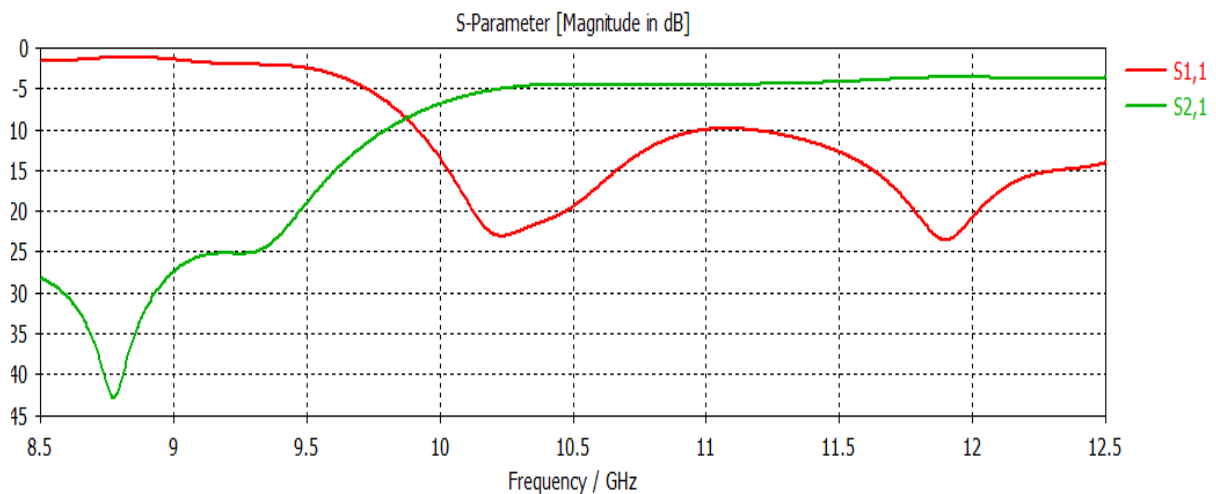
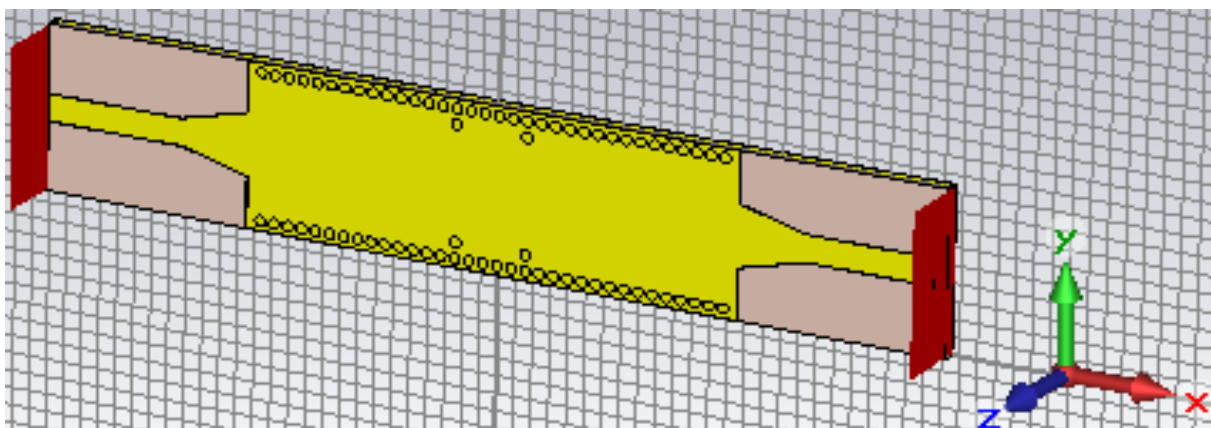


Figure IV.19 : Le S₁₁, S₂₁ du filtre SIW en bande X avec 8 vias.

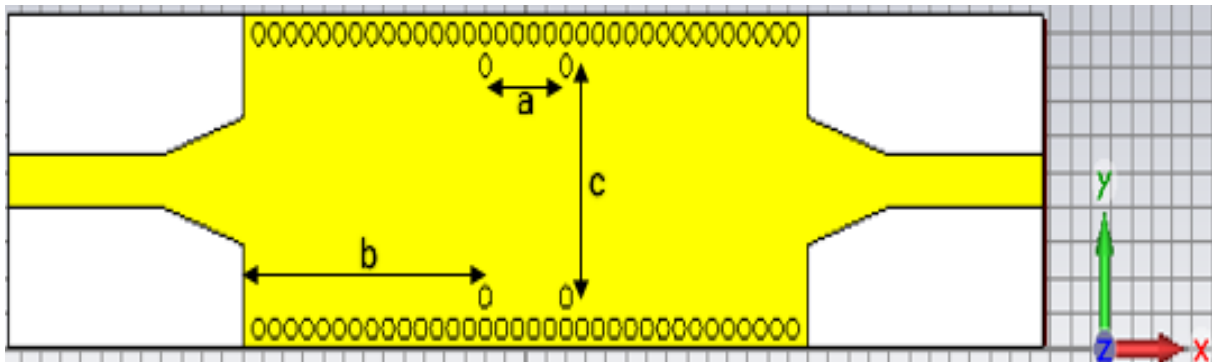
Les résultats obtenus en termes d'adaptation sont satisfaisantes dans la plage de fréquence de 10 à 12.5 GHz, où nous voyons un comportement large bande dans la plage de fréquence de 9.8GHz au 10.85 GHz, où la largeur de la bande est de 1 GHz.

IV.4.2 STRUCTURE 2

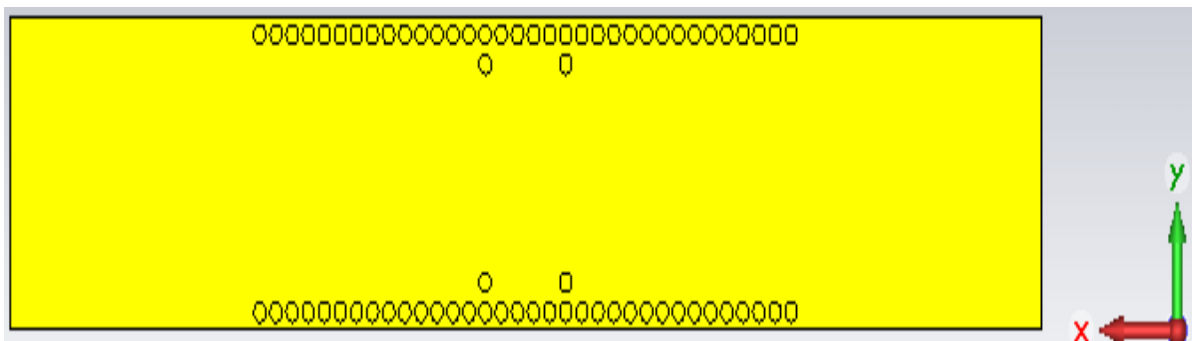
Dans la deuxième structure, nous essayons de redimensionner les taper et d'introduire 4 vias métalliques symétriques par rapport à l'axe des X dans le guide SIW (figureIV.20).



(a)



(b)



(c)

Figure IV.20 : Filtre passe bande à base de la technologie SIW opérant à la bande X avec 4 vais. (a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.

La figure suivante montre le courant surface de la structure 2 du la bande X :

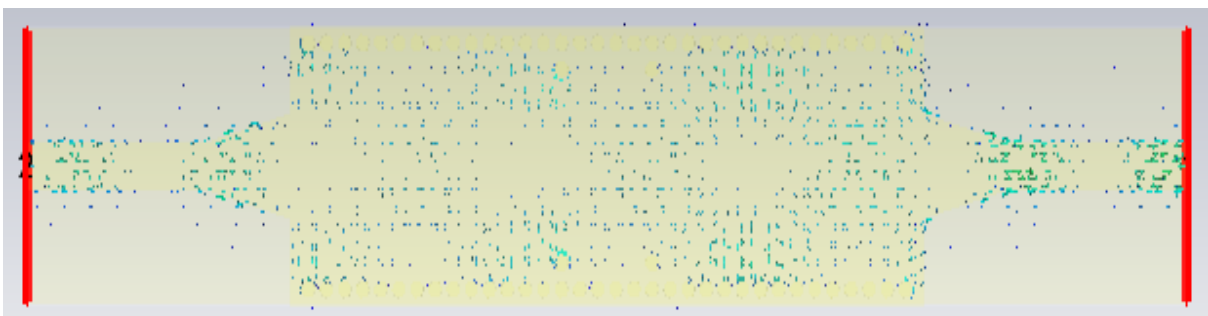


Figure IV.21 : Courant surface de structure 2 en bande X.

Les dimensions de taper optimisés après plusieurs essais :

$$W_t = 3.6 \text{ mm}, l_t = 8 \text{ mm}, W_m = 1.569 \text{ mm}, l_m = 7.8 \text{ mm}$$

Les positions des vais selon les valeurs de : a et b, c tel que :

$$a = 4 \text{ mm}, b = 12 \text{ mm}, c = 6.6 \text{ mm}$$

Les résultats du filtre SIW après adaptation sont présentés dans la figure IV.19 :

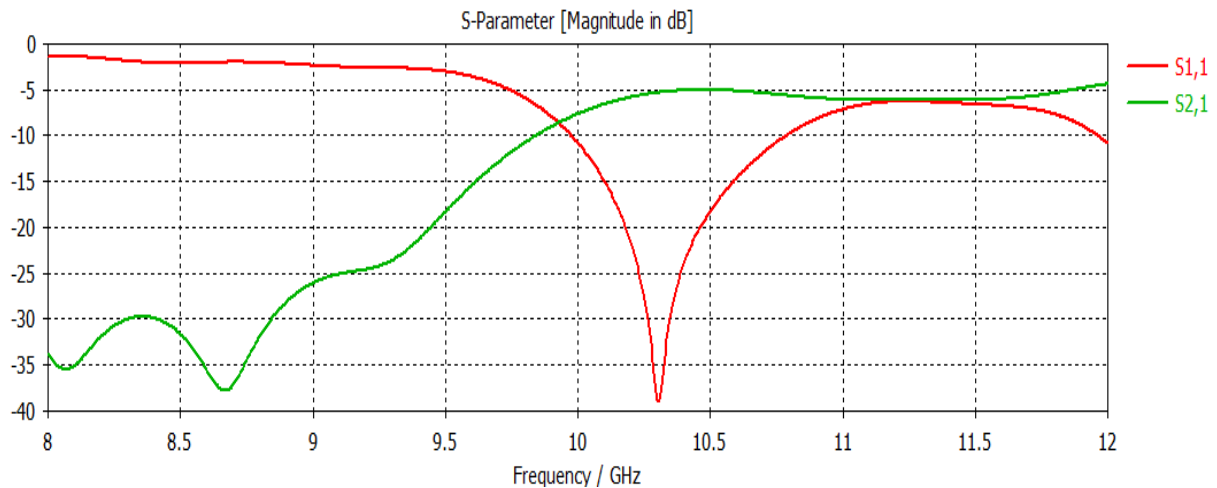


Figure IV.22 : Les paramètres S du filtre passe bande SIW en bande X avec 4 vias.

Les résultats de la simulation montrent que ce filtre présente une bonne adaptation dans la bande de [9.9-10.75] GHz, la valeur du coefficient de réflexion S11 est maximale et égale -39 dB à la fréquence centrale de 10.3 GHz, tandis que le coefficient de transmission S21 est minimale et sa valeur est autour de -5 dB.

IV.5 CONCEPTION D'UN FILTRE PASSE BANDE A BASE DE LA TECHNOLOGIE SIW DANS LA BANDE K

Nous allons nous intéresser maintenant à la conception d'un filtre passe bande dans la bande K [18-26] GHz, Concernant cette structure proposée, le substrat utilisé est de type Rogers R04003 avec les caractéristiques suivantes : La permittivité $\epsilon_r = 2.94$ et la hauteur $h = 0,508$ mm et la tangente = 0.0012. D'autres paramètres intéressants dans notre conception sont :

- L'épaisseur du conducteur est 0.035mm.
- Diamètre des vias $d = 0.5$ mm.
- Distance entre les vias $P = 1$ mm.

Pour déterminer les paramètres du guide SIW, on utilise les formules données par les équations 1, 2 et 3 du chapitre 2, pour le mode TE₁₀. Selon cette approche, la distance entre les

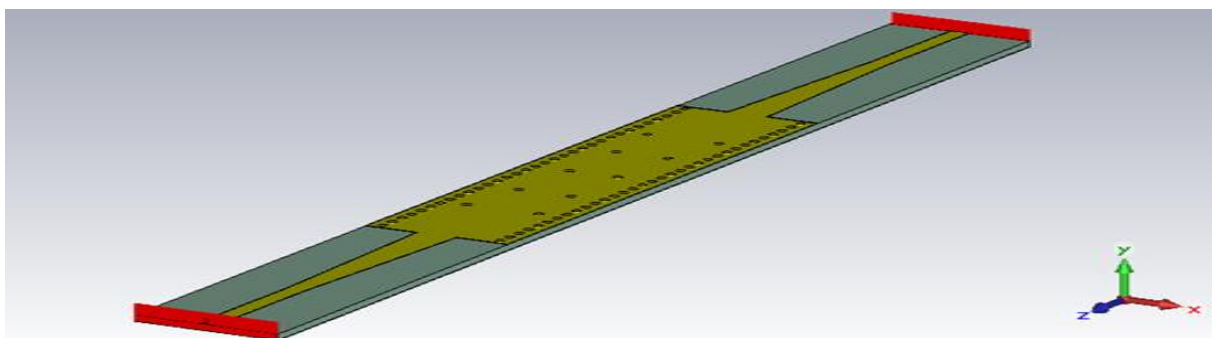
centres des vias verticalement est $A_s = 7,13$ mm et la longueur totale du guide SIW est $L = 80$ mm.

Les dimensions finales de la structure sont les suivantes (tableau IV.4) :

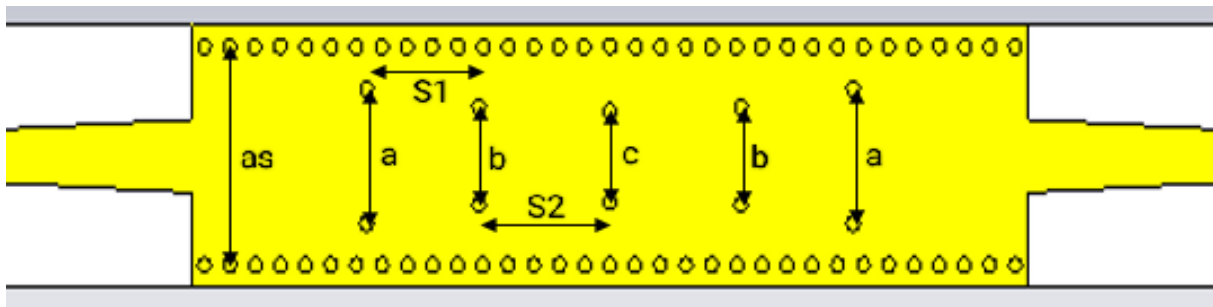
Propriétés de la structure	Valeurs (mm)
Lsiw	33.05
as	7.13
S1	4.43
S2	5.17
a	4.4
b	3.2
c	2.94
lt	14.565
Wt	2.4
lm	8.91
Wm	1.13

Tableau IV.4 : Les dimensions de la structure de la bande K.

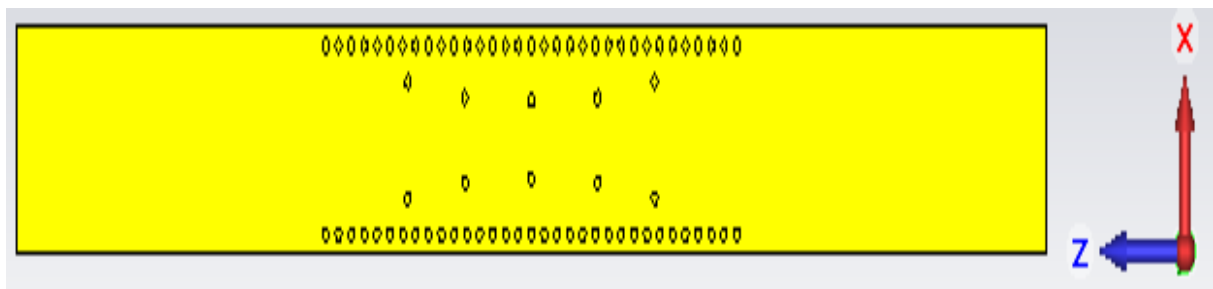
La figure IV.23 représente la structure de la bande K :



(a)



(b)



(c)

Figure IV.23 : Structure du filtre SIW passe-bande fonctionnant en bande K avec 4 cavités.

(a) Vue en perspective. (b) Vue de face. (c) Vue arrière.

L'illustration ci-dessous présente la répartition du courant de surface dans la structure du filtre passe-bande utilisant la technologie SIW dans la bande K :

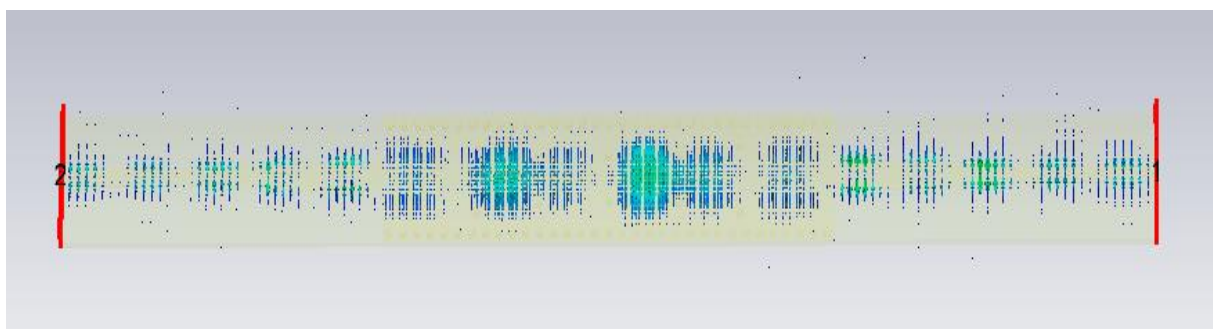


Figure IV.24 : Courant surface de la bande K.

Les résultats de la simulation de filtre passe bande à base de la technologie SIW opérant à la bande K sont illustrés dans la figure suivante :

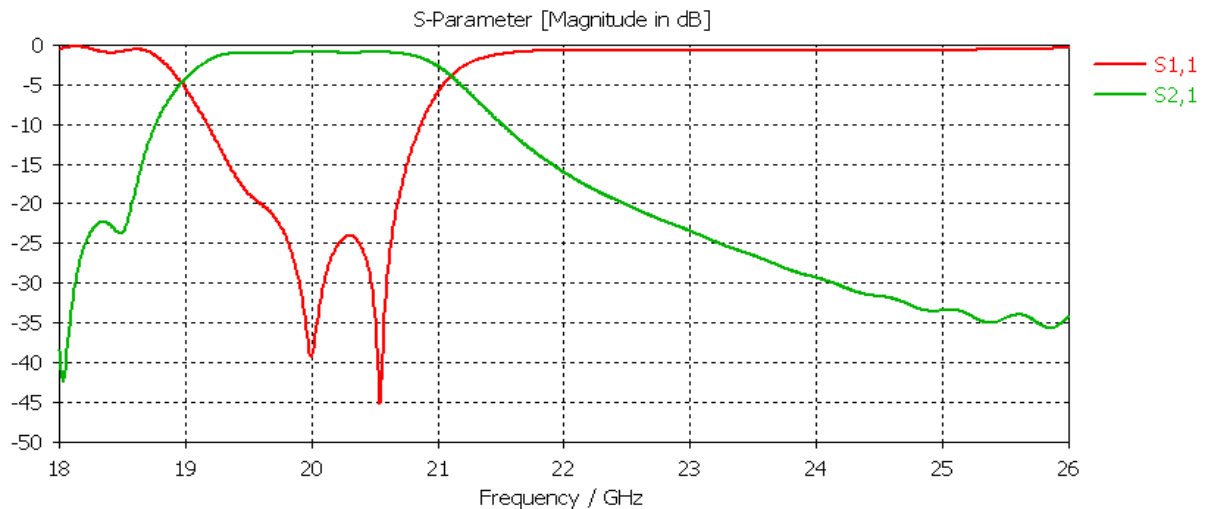


Figure IV.25 : les paramètres S du guide d'onde SIW après adaptation dans la bande K.

Le résultat obtenu montre bien le comportement large bande dans la plage de fréquence [19,57- 20,67] GHz du filtre ou la largeur de la bande est autour de 1.7 GHz, à -10dB.

Le coefficient de réflexion est minimal à la fréquence de résonance 20.5 GHz. Le nombre de cavités résonantes est 5 dans cette structure ; nous pouvons dire les positions et le nombre des vias métalliques à l'intérieur du guide joue un rôle primordiale à l'amélioration des performances des filtres passe bande en terme d'adaptation et en termes bande passante.

IV.6 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons simulé en premier lieu des guides d'ondes intégrés au substrat fonctionnant dans la bande C [4-8] GHz pour montrer l'intérêt majeur de taper conique utilisé pour adapter la ligne micro ruban et le guide d'onde.

Ensuite, nous avons proposé des topologies pour la conception des filtres passe bande travaillant dans les bandes C et X, K qui correspondent aux plages de fréquences [4-8] GHz, et [8-12] GHz, [18-26] GHz respectivement, en insérant des vias métalliques à l'intérieur du guide d'ondes dans le but de former des cavités résonantes latérales et aussi avoir le comportement large bande du filtre.

Les réponses en fréquence ont été achevées à l'aide du simulateur 3D CST, les filtres passe bande proposée avec des cavités résonantes montrent des résultats intéressants dans la bande souhaitée en terme de filtrage et d'adaptation.

Conclusion générale

Conclusion générale

Ce travail a été réalisé dans le cadre de mémoire de projet de fin d'études, et portait sur la conception de filtres passe-bandes large voir ultra large bande, fonctionnant dans les bandes C, X et K en basant sur la technologie des guides d'ondes intégrés au substrat SIW pour répondre aux exigences de la fonction de filtrage.

Cette nouvelle technologie SIW connaît un grand essor dans 20 années passées en raison de leurs qualités en termes de coût faible, facilité d'intégration avec les circuits imprimés, elle est largement utilisée dans les applications modernes de radar et de communications satellitaires.

Le premier chapitre, a été dédié principalement à la présentation des filtres passifs, des exemples d'applications qui utilisent la technologie SIW ont été exposés pour prendre une vision complète sur le fonctionnement de cette technologie.

Le deuxième chapitre a été consacré à la présentation sur les guides d'onde classiques, et aussi à donner une description résumé sur la technologie de guide d'ondes intégrés au substrat GIS (SIW en anglais) et ses applications.

Dans le troisième, nous avons donné une description générale sur le logiciel CST Studio Suite, que nous avons utilisé pour réaliser nos structures.

Enfin, le quatrième chapitre présentait les résultats des simulations que nous avons effectués à l'aide du simulateur CST, ou différentes structures des filtres passe bande à cavités résonantes à base de la technologie des guides d'ondes intégrés au substrat SIW dans les bandes C, X et K ont été analysées.

Le logiciel CST nous a permis de visualiser les réponses fréquentielles des filtres étudiés, on peut dire que les résultats obtenus sont bons et convaincants en termes de filtrage et d'adaptation.

Comme suite à ce travail, dans le futur, il est à envisager de réaliser d'autres types de filtres passe bande et large bande à base de la technologie SIW pour les applications dans le domaine des télécommunications notamment les communications satellitaires.

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Lissorgues, G., & Félix, H. « Filtrage et filtres électriques - Avant-propos. » Techniques de L'Ingénieur. 2008
- [2] René Boite, Martin Hasler, Hervé Dedieu. « Effets non linéaires dans les filtres numériques. » PPUR presses polytechniques. 1997.
- [3] Smith, T. (n.d.). Différence entre filtre actif et filtre passif » wiki utile Comparez la différence entre des termes similaires - La Technologie - 2023. Strephonsays.
- [4] M. T. BENHABILES, « TELECOMMUNICATIONS FONDAMENTALES » cours. Université des Frères Mentouri Constantine 1
- [5] https://fr.wikipedia.org/wiki/Filtre_passe-bande
- [6] Naimi Bouthaina, Chergui Nadjette. « Etude et simulation d'un guide d'ondes métallique pour les systèmes de communication par HFSS » mémoire de fin d'étude. Université Mohamed Khider de Biskra, 2022.
- [7] E.A.J. Marcatili. « Dielectric Rectangular Waveguide and Directional Coupler for Integrated Optics. » Bell System Technical Journal, 1969.
- [8] Stockman, Mark I. « Nanofocusing of Optical Energy in Tapered Plasmonic Waveguides. » Phys. Rev. Lett. 93, 137404, 2004.
- [9] CHERIFI Hakima, MIRAOUI Lemya. « Conception des Nouvelles Configurations des Filtres » mémoire de fin d'étude, Tlemcen : Université Abou Bekr Belkaid, 2017.
- [10] DAMANE Sabrina. « Conception et simulation des Filtres Passe-bande à base de la Technologie SIW Opérant en bandes X, Ku pour des applications satellitaires » mémoire de fin d'étude, TIZI-OUZOU : Université Mouloud Mammeri, 06/2021.
- [11] Vaillant, P. (n.d.). Radar Tutoriel - Notions de base sur les guides d'ondes.
- [12] Nahal Sabrina. Belouidiane Asma. « CARACTERISATION DE LA LIGNE DETRANSMISSION MICRO RUBAN PAR L'APPROCHE QUASI-STATIQUE » mémoire de fin d'étude. Université Kasdi Merbah Ouargla, 2022.
- [13] Aissa, SOLTANI. « Conception D'un Filtre Volumique a La Base de La Technologie SIW. » mémoire de fin d'études. Université Dr. Tahar Moulay – Saida, 2014.

[14] Etude de la deuxième structure du filtre SIW passe-bande – Projet de fin d'études. (n.d.)

[15] Alexandre.Manchec. (2021, October 18). Nos technologies de filtres - Elliptika. Elliptika.

[16] Peterson, Z. «Paramètre S11, perte de retour et coefficient de réflexion : le guide.» article. 2023.

[17] CORSI, Jordan. «Guides à ondes lentes intégrés au substrat en technologie interposeur : applications aux filtres passe-bande aux longueurs d'onde millimétriques.» Thèse doctorat Université Grenoble Alpes, 2016.

[18] Badaoui, I., Touhami, N. A., Moubadir, M., & Khorassani, M. E. (2019). Substrate Integrated Waveguide Symmetrical Window Bandpass Filter for Satellite Applications.

