

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA



كلية التكنولوجيا
FACULTE DE TECHNOLOGIE

قسم الإلكترونيك
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE

MEMOIRE DE MASTER

DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE
FILIERE : Génie Electrique
OPTION : Instrumentation et Maintenance Industrielle

THEME

**Prédiction de la Fréquence de Résonance d'une Antenne
Microbande Avec une Ouverture dans le Plan de Masse**

Proposé et dirigé par : Dr. DJOUANE lotfi

*Réalisé par : MOHAMED SALEM
lehbib*

N° D'ordre: 2016/IMI17/89/385

PROMOTION: JUIN 2016

REMERSEMENTS

Je tiens à remercier tout d'abord ALLAH le tout puissant qui m'a donné, durant toutes ces années, la santé, le courage et la foi pour arriver à ce jour.

Je ne peux, réellement, trouver les expressions éloquentes que mérite mon encadreur: LOTFI DJOUANE, afin de le remercier pour sa sympathie, ses encouragements, son aide, son dévouement pour le travail et sa présence totale, au cours de cette modeste étude.

J'adresse mes remerciements aux membres de jury qui m'ont fait honneur d'évaluer, d'examiner, et d'enrichir mon modeste travail.

Mes remerciements vont également à tous les enseignants et les responsables de notre département.

Enfin, j'exprime mes remerciements à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.

Dédicace

Aux êtres qui me sont les plus chers « MES PARENTS » pour leur AMOUR, leur EDUCATION et leurs SACRIFICES.

A mes sœurs : aicha ,lamira ,salma et Mariam.

A mes chers amis et frères : Nafi lehbib, said salma .

A tous mes amis.

A tous ceux qui m'ont aidé à faire ce travail.

Table des matières

Remerciements	i
Dédicace	ii
Table des matières.....	iii
Liste des Figures et des Tableaux	vi
Introduction générale	8

Chapitre I

Généralités sur les antennes microbandes

I.1. Introduction.....	11
I.2. Description des antennes microbandes.....	11
I.3. la technologie des antennes microbandes.....	12
I.3.1. les matériaux électriques.....	12
I.3.2. les matériaux rayonnants.....	12
I.3.3.Le processus de fabrication	13
I.4. Mécanisme de rayonnement de l'antenne patch.....	14
I.5. polarisation de l'antenne.....	15
I.6. Avantage et inconvénients des antennes patch.....	15
I.7. Alimentation des antennes plaquées.....	16
I.7.1. Alimentation directe par une ligne microruban.....	17
I.7.2. Alimentation coaxiale	17
I.7.3. Alimentation couplée par ouverture	18
I.7.4. Alimentation couplée par proximité.....	19
I.8. Type de réseaux d'antennes.....	19
I.9. Les différentes méthodes d'analyse.....	20
I.9.1. Méthode analytique	20
I.9.2. Méthode d'analyse rigoureuse	22
I.9.2.1. La méthode des éléments finis (FEM).....	22
I.9.2.2. La méthode des différents finis (FDTD).....	22
I.9.2.3. La méthode des moments	23
I.10. Conclusion.....	23

Chapitre II

les machines à vecteur support

II.1.Introduction.....	25
II.2.Notions sur l'apprentissage statistique.....	26
II.3.Théorie des machines à vecteurs de support (SVM)	26
II.4.Principe des machines à vecteurs de support	27
II.4.1.Cas de données linéairement séparables :	27
II.4.2.Cas des données non-linéairement séparables :	29
II.5. Classification SVM	30
II.5.1. Formulation d'un problème de classification (supervisé) :	30
II.5.2. Minimisation du risque structurel :	30
II.5.3. Architecture d'un classificateur SVM :	32
II.5.3.1. la fonction noyau :	32
II.5.3.2. Sélection de modèle SVM :	33
II.5.3.3. Estimation de l'erreur de généralisation :	33
II.6.Les Machines à Vecteurs Supports (SVM) pour la régression	34
II.6.1.Formulation du problème dans le cas linéaire :	35
II.6.2.Extension au cas non linéaire:	37
II.6.3.Choix des hyperparamètres:	38
II.7.DESCRPTION DES OUTILS UTILISES.....	39
II.7.1.LIBSVM.....	39
II.7.1.1.Fonctionnalités de la LIBSVM.....	40
II.7.1.2.Paramètres SVM pris en charge par la librairie :	41
II.7.1.3. Fichiers de données	42
II.7.2.SVM avec matlab :	44
II.7.2.1.Matlab.....	44
II.7.2.2.Travailler avec Matlab.....	44
II.8.Conclusion.....	45

Chapitre III

Mise En Equation Du Problème

III-1/ Introduction	47
---------------------------	----

III-2/ Formulation (Approche) Spectrale Du Problème	48
III-2-2/ Formulation Des Paramètres Caractéristiques De L'antenne :-	48
III-2-2-1/ Calcul De La Fréquence De Résonance Et La Bande Passante :-.....	51
III-2-2-2/ Choix Des Fonctions De Base :	51
III-3/ SVM Pour Le Calcul De La Fréquence De Résonance Complexe (approche SVR).....	52
III-3-1/ Choix De La Base De Données	52
III-3-2/ L'apprentissage.....	53
III-3-4/ Le Modèle Finale.....	53
III.3.5.Comparaison des résultats obtenus par notre méthodes (SVR) et ceux obtenus par d'autres méthodes :	53
III. 4/ Discussion Et Interprétation Des Résultats.....	54
III.4.1/ Variation de la fréquence de résonance complexe de l'antenne en fonction de D(mm), de largure W_p	54
III.4.1.1.la partie réelle :	54
III.4.1.2. la partie imaginaire :	58
III.4.1.3. La Bande Passante :	63
III.5. Conclusion.....	64
Conclusion générale	66
Bibliographies	68
Résumé	x

Liste des figures et des tableaux

Liste des figures

Chapitre I : Généralités sur les antennes microbandes

Figure I.1 : Présentation d'une antenne micro bande

Figure I.2 : Divers types d'élément rayonnant

Figure I.3 : Procédé photolithographique pour la fabrication d'un circuit microbande

Figure I.4 : Le patch alimenté par une ligne microruban à travers un bord non rayonnant

Figure I.5 : Antenne microruban alimenté par sonde

Figure I.6 : Antenne microruban alimenté par une ouverture

Figure I.7 : Alimentation couplée par proximité

Figure I.8 : Différentes configurations géométriques des réseaux, linéaire (a), planaire (b) et Circulaire (c)

Figure I.9 : Modèle de la cavité

Chapitre II : les machine à vecteur support

Fig. II.1. Séparateur a vaste marge

Figure II.2. Architecture d'une machine à vecteurs de support (d'un nombre N)

Chapitre III : Mise En Equation Du Problème

Fig. III .2. les fréquences de résonance de patches rectangulaires sur les plans de masse avec et sans ouvertures rectangulaires

Fig. III .3. les fréquences de résonance de patches rectangulaires sur les plans de masse avec et sans ouvertures rectangulaires

Fig. III .4. la partie réelle de la fréquence de résonance en fonction de (d)

Fig. III .5. la partie réelle de la fréquence de résonance en fonction de (Wp/d)

Fig. III .6. la partie imaginaire de la fréquence de résonance en fonction de (d)

Fig. III .7. la partie imaginaire de la fréquence de résonance en fonction de (Wp/d)

Fig. III .8. la bande passante en fonction de (d)

Fig. III .9. la bande passante en fonction de (Wp)

Liste des tableaux

Tableau III.2 : Comparaison de nos résultats avec les résultats(SVR) d'autres méthodes (SDA

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le domaine des télécommunications est un secteur d'activité en essor rapide et permanent, les inventions et les innovations s'y succèdent à un rythme impressionnant. depuis un siècle, les découvertes relatives aux ondes hertziennes ont rendu possibles les communications sans fil à longue distance. Les premiers travaux théoriques sur le rayonnement et la propagation des ondes électromagnétiques ont accompagné l'expérimentalement avec succès. (Travaux de Maxwell, Hertz, Marconi, Bradlay et sommerfeld)[1].

Durant les années trente, pour des raisons essentiellement militaires, les industriels ont développé des systèmes de radiolocalisation ou RADAR. Ces diverses applications nécessitaient de nombreuses recherches pour accroître l'efficacité de ces dispositifs. l'invention des tubes électroniques, du magnétron et du transistor ont été des étapes importantes dans l'histoire moderne des communications.

Actuellement, la tendance est à la miniaturisation des dispositifs rayonnants et à l'augmentation du débit d'informatique tout en satisfaisant aux contraintes de cout. l'utilisation de circuits imprimés comme antenne présente de nombreux avantages tels qu'une fabrication industrielle simple et peu onéreuse et la possibilité d'obtenir des réseaux complets d'antennes sur un seul support : ce sont les antennes plaques microbandes. Leur domaine est très varié, allant de guidage de missile à la thérmothérapie en passant par les télécommunications.

Bien que l'idée de l'antenne remonte à 1950 [2], [3] mais ce n'était que depuis 1970 qu'une attention sérieuse a été donnée à cet élément, ou une structure planaire qui se constitue d'une bande conductrice séparée d'un plan de masse par un substrat diélectrique a été décrite par BAYRON [4]. Peu après, en 1973, MUNSON a mis au point un élément microbande [5] et des résultats concernant les géométries rectangulaires et circulaires on été présentés par HOWELL et SANFORD qui sont prouvé que l'élément microbande peut être utilisé pour la Conception de réseaux d'antenne servant à la communication par satellites [6]-[7], bien que d'autres travaux relatifs aux plaques microbandes on été publiés par GARVIN en 1975, HOWELL, WEINSHELL, JAMES et WILSON [8]-[9].

Depuis l'avènement des antennes microbandes, plusieurs méthodes d'analyse on été utilisées. Ces méthodes peuvent être classées en deux catégories principales. La première catégorie regroupe les méthodes intuitives simples, dans ces méthodes la simplicité de la formulation se faisant au détriment de la prise en compte des phénomènes physiques intimes

ainsi que des suppositions physiques posées au préalable. Parmi ces méthodes nous citons le modèle de la cavité, ces modèles aboutissent généralement à des formules analytiques simples, menant à une meilleure compréhension du phénomène physique, cependant ces modèles peuvent donner lieu à des résultats inexacts, notamment pour des applications qui requièrent un substrat épais ou une constante diélectrique élevée, la deuxième catégorie regroupe les méthodes sophistiquées dites méthodes d'analyse rigoureuse, ces méthodes n'ont connu un véritable challenge dans la conception des antennes imprimées qu'avec l'accroissement des performances des ordinateurs, les méthodes les plus répandues sont la méthode des différences finies, des éléments finis et la méthode de moments, ces méthodes, qui sont d'actualité, ne sont pas limitées par les conditions classiques imposées sur les substrats et permettent d'analyser des antennes de formes très variées mais nécessitent un temps de calcul relativement important.

Pour surmonter toutes ces limitations, une nouvelle approche pour la modélisation de l'antenne microbande est appliquée dans ce travail, cette approche basée sur la méthode SVM est utilisée pour l'analyse d'une antenne microbande de forme rectangulaire, une forme choisie en raison de son importance inhérente et aussi qu'elle est largement répandue comme élément dans les réseaux d'antenne.

Ce manuscrit est scindé en trois chapitres, conclusion générale et une bibliographie. Il est présenté comme suit :

Chapitre I : une vision générale sur les antennes microbandes est donnée, ainsi qu'une présentation des différentes méthodes d'analyse

Chapitre II : une introduction générale des séparateurs à vecteur support, leur définition, la théorie et les domaines d'application sont représentés dans ce chapitre.

Chapitre III : dans ce chapitre, nous utilisons la méthode SVM et la formulation mathématique du problème de la fréquence de résonance complexe, cette structure sera modélisée en introduisant les SVR, surtout pour évaluer la fréquence de résonance complexe, la bande passante normale au patch et une interprétation des résultats.

Enfin, nous donnons une conclusion générale de ce mémoire, en énumérant les différentes phases importantes de ce manuscrit.

Pour aider le lecteur à bien servir de ce travail, une liste de références bibliographiques a été ajoutée à la fin de ce manuscrit.

Chapitre I

**GENERALITES SUR
LES ANTENNES MICROBANDES**

I.1. Introduction

Le développement des télécommunications spatiales, les contrôles et les commandes à distance, ont fait apparaître la nécessité croissante de réaliser des dispositifs micro-ondes peu coûteux et peu encombrantes, faisant appel à une technologie simple et économique. Les systèmes micro-ondes à structure micro ruban ont été à l'origine du développement des antennes imprimées (antennes plaques ou antennes patch) qui sont le plus souvent utilisées en réseaux afin d'améliorer leurs performances et de permettre la réalisation de fonction très particulières.

Nous exposons dans un premier lieu, une présentation de la structure simplifiée de l'antenne microbande, ses avantages et ses inconvénients ainsi que les différents types d'alimentations existantes. Finalement, nous détaillons le principe des méthodes usuelles les plus utilisées dans le domaine des antennes.

I.2. Description des antennes microbandes

Une antenne micro ruban est un dispositif rayonnant constitué d'un ou plusieurs éléments métalliques (plan de masse, antenne, directeur,..) séparés par des couches de substrats diélectriques dont les épaisseurs sont faibles par rapport à la longueur d'onde (Figure I.1). Les dimensions de l'élément métallique sont de l'ordre de grandeur de la longueur d'onde de travail [10]-[11].

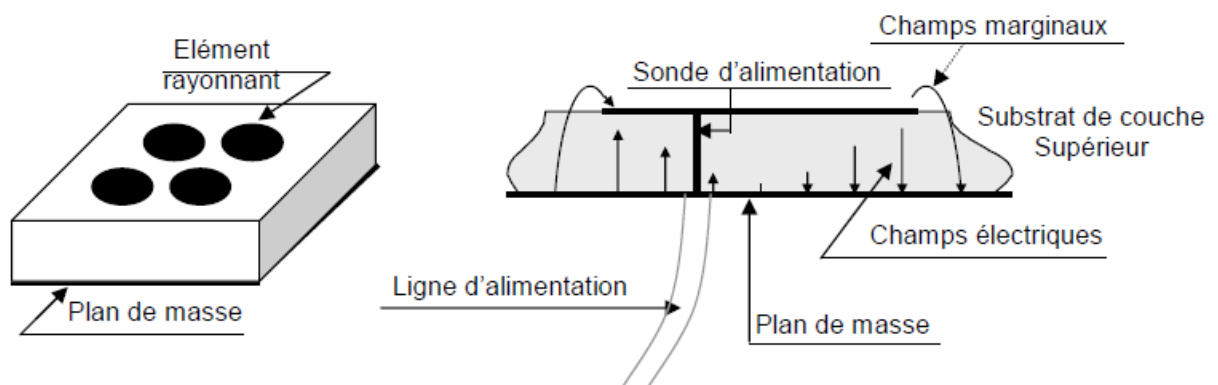


Figure I.1 : Présentation d'une antenne micro bande

Une antenne plaque microbande se caractérise par les grandeurs suivantes :

- l'impédance d'entrée
- la fréquence de résonance
- la bande passante
- le diagramme de rayonnement
- la directivité
- Lapolarisation
- Le facteur de couplage
- Le gain
- le rendement

Pour une utilisation adéquate, il est indispensable de connaître les valeurs de toutes ces grandeurs.

I.3. la technologie des antennes microbandes

I.3.1. les matériaux électriques

Ces matériaux sont utilisés comme un substrat, comme protection ou comme couche intermédiaire. Les qualités qu'ils doivent avoir pour une utilisation en microbande est [12]-[13]:

- une résistance mécanique suffisante, car ils doivent souvent supporter la structure entière.
- une conductivité thermique suffisante pour éviter un échauffement excessif.
- l'hydrophobie, car l'eau altère les performances de matériau.
- des pertes diélectriques très faibles.
- faiblement dispersif.
- une faible anisotropie et un comportement linéaire.
- Un usinage et une découpe facile.

Il existe une grande variété de matériaux tels que les matériaux synthétiques (PTFE, polystyrène,...) les céramique, le quartz, les semi-conducteurs (silicium, arséniure de galium).

I.3.2. les matériaux rayonnants

Dans une structures microruban les conducteurs se présentent sous la forme de ruban Très mince découpé suivant différentes géométries (rectangle, cercle,...) comme le montre la Figure I.2

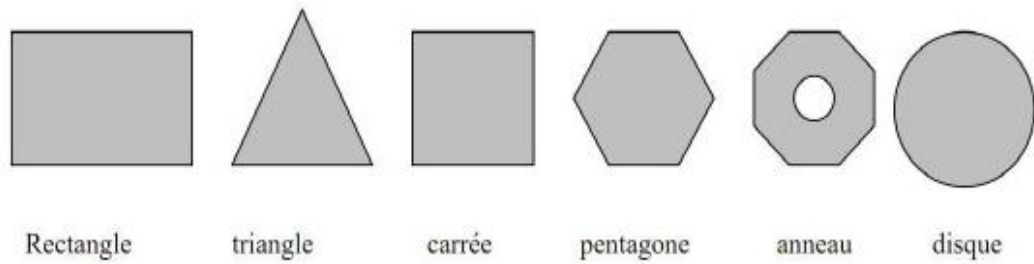


Figure I.2 : Divers types d'élément rayonnant

Les matériaux couramment employés sont le cuivre, l'argent, l'or ou l'aluminium du fait de la valeur élevée de leur conductivité.

Parmi toutes les formes éléments rayonnants, le rectangle est le plus facile à appréhender pour la compréhension des mécanismes de rayonnement des antennes micro bande.

I.3.3. Le processus de fabrication

Une antenne microbande est fabriquée au moyen du procédé photolitho-graphique (figure I.3) utilisé habituellement pour les circuits imprimés à travers les étapes successives suivantes [13] :

- la conception et fabrication du masque
- enduction par un produit photosensible (photoresist)
- exposition aux UV à travers le masque
- bain dissolvant pour enlever les parties non exposées
- attaque chimique pour enlever les parties métallique non protégées
- rinçage et séchage
- perçage de trous éventuels dans le substrat

Si la structure désirée contient plusieurs couches, chacune est traitée séparément suivant ce même procédé avant d'être tout soigneusement superpos

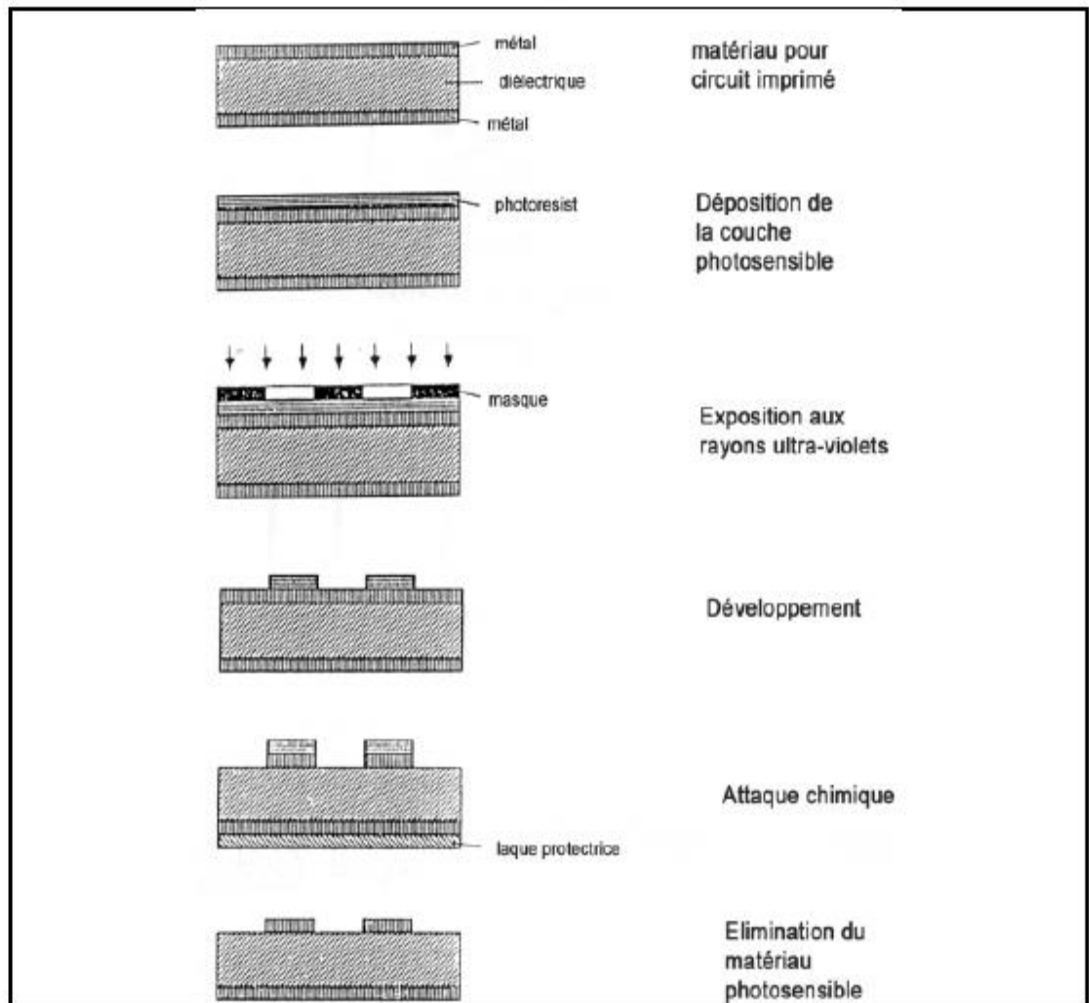


Figure I.3 : Procédé photolithographique pour la fabrication d'un circuit microbande [5]

I.4. Mécanisme de rayonnement de l'antenne patch

Le mécanisme de rayonnement d'une antenne patch se comprend aisément à partir de sa forme géométrique. Lorsque vous excitez la ligne d'alimentation avec une source RF, une onde électromagnétique va se propager sur cette ligne puis va se rencontrer l'élément rayonnant (de largeur plus grande que la ligne, donc plus apte à rayonner). Une distribution de charge va se s'établir à l'interface substrat / plan de masse, sur et sous l'élément rayonnant (champs marginaux).

Pour la bonne performance d'antenne, un substrat diélectrique épais ayant une faible constante diélectrique est souhaitable, puisque ceci fournit une meilleure efficacité, une largeur de bande plus grande et un meilleur rayonnement [14].

Cependant, une telle configuration mène à une taille d'antenne plus grande. Afin de concevoir une antenne microbande moins encombrante, un compromis entre les dimensions et les performances est nécessaire.

I.5. polarisation de l'antenne

La polarisation d'une antenne est déterminée par celle de l'onde radiée dans une direction donnée, elle est identique à la direction du champ électrique, c'est-à-dire à celle des brins rayonnants de l'antenne. Le plan E (électrique) est parallèle au vecteur E de l'onde émise. On parle de polarisation verticale si le plan E est perpendiculaire au sol ; s'il est parallèle au sol on parle de polarisation horizontale. Aussi le vecteur du champ électrique instantané trace dans le temps une figure, la figure est généralement une ellipse. Si le chemin du vecteur de champ électrique suit une ligne, l'antenne est dite linéairement polarisée. Si le vecteur de champ électrique tourne selon un cercle, elle est dite à polarisation circulaire [15].

I.6. Avantage et inconvénients des antennes patch

Actuellement, les antennes microbandes sont largement utilisées, leurs applications couvrent un large domaine de fréquence 100 MHz à 100 GHz, sont de plus en plus utilisées dans des applications sans fil, ceci est dû à leur structure miniaturisée. Donc elles sont extrêmement compatibles pour les incorporer dans les dispositifs sans fils portatifs tel que le téléphone cellulaire ...etc. pour l'utilisation des antennes microbandes dans la télémétrie et sur les missiles, elles doivent être très minces et conformes. Un autre secteur où elles ont été employées avec succès est la communication par satellite. Parmi les avantages de ces antennes on peut citer [16-18]:

- profil plat
- faible poids
- volume réduit
- La conformabilité et la possibilité d'intégrer les circuits micro-ondes au niveau des antennes
- la simplicité de leurs structures
- faible coût de fabrication donc la production en grandes quantités devient facile
- Plusieurs éléments radiants peuvent être placés sur la même plaque avec le réseau d'alimentation ou avec d'autres circuits imprimés (déphaseurs, commutateurs, etc.) Cependant, elles présentent les inconvénients suivants [10,16] :

- faible bande passante (1 à 5 %) le facteur de qualité Q va d'environ 50 jusqu'à 75.
- impureté de la polarisation
- faible gain
- excitation d'ondes de surface
- rayonnement parasites des alimentations et des jonctions

Les antennes microruban ont un facteur de qualité(Q) très élevé. Q représente les pertes lié à l'antenne et un grand Q mène à une largeur de bande étroite et un faible rendement. Q peut être réduit en augmentant l'épaisseur du substrat diélectrique. Mais au fur à mesure que l'épaisseur augmente, une fraction croissante de la puissance totale délivrée par la source sera consommée par les ondes de surface. Cette contribution d'ondes de surface peut être considérée comme perte de puissance puisqu'elle est finalement dispersée au niveau du substrat et cause la dégradation des caractéristiques de l'antenne. Cependant, les ondes de surface peuvent être minimisées par l'utilisation des structures photoniques comme discuté par Qian et autres [19]. D'autres problèmes tels que le faible gain et la faible puissance peuvent être surmontés en employant un réseau d'antenne.

I.7. Alimentation des antennes plaquées

L'excitation est un point très important en étudiant des antennes imprimées. En effet, l'énergie est fournie à l'élément rayonnant d'une manière ou on peut influencer directement sur son rayonnement et modifier ses performances. L'alimentation de l'antenne dépend de la manière dont l'antenne est intégrée dans le dispositif. Les méthodes d'alimentation des antennes plaques peuvent être classées en deux catégories :

- les alimentations par contacte (par sonde ou ligne micro ruban)
- les alimentations par proximité (couplage électromagnétique par ligne ou par fonte)

I.7.1. Alimentation directe par une ligne microruban

Dans ce type de technique d'alimentation, un ruban conducteur est connecté directement au bord du patch rayonnant comme montré dans la figure I.4. La longueur de la bande conductrice est plus petite par rapport au patch et ce genre d'alimentation à l'avantage qu'elle peut être gravée sur le même substrat pour fournir une structure planaire.

Le but de l'encart coupé dans le patch est d'adapter l'impédance de la ligne d'alimentation au patch sans avoir besoin d'un élément d'adaptation additionnel. Ceci est achevé par un

contrôle correct de la position de l'encart. Cependant, certaines applications nécessitent un substrat épais, ce qui engendre l'augmentation des ondes de surface et le rayonnement parasite, entraînant une dégradation de la bande passante [6]

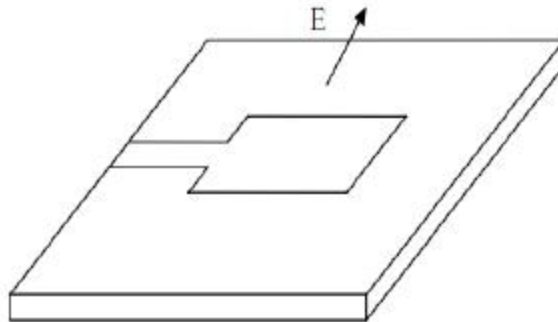


Figure I.4 : Le patch alimenté par une ligne microbande à travers un bord non rayonnant

I.7.2. Alimentation coaxiale

L'alimentation coaxiale ou l'alimentation de sonde est une technique très utilisée pour alimenter les antennes microbandes figure I.5. Dans ce cas le conducteur intérieur du connecteur coaxial traverse le diélectrique et est soudé au patch, alors que le conducteur externe est relié au plan de masse.

L'avantage principal de ce type d'alimentation est qu'elle peut être appliquée à n'importe quel endroit choisi à l'intérieur du patch, avec une facilité de fabrication cependant, cette méthode présente des inconvénients au niveau du diagramme de rayonnement. En effet, la connexion génère un pic de courant localisé au niveau de l'élément rayonnant qui peut induire une dissymétrie dans le diagramme de rayonnement. De plus, des pertes apparaissent avec le perçage du plan de masse, du diélectrique ainsi que l'élément plaqué [20].

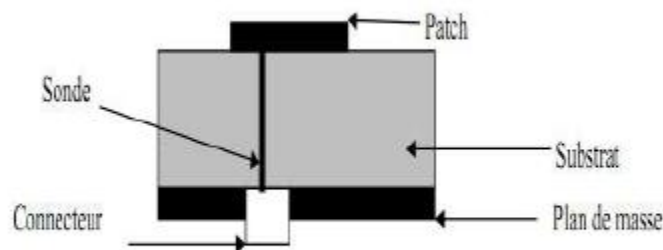


Figure I.5 : Antenne microbande alimentée par sonde

I.7.3. Alimentation couplée par ouverture

Dans ce type d'alimentation, le patch de rayonnement et la ligne d'alimentation du microruban sont séparés en plan de masse comme indique dur la figure I.6. La conjonction entre le patch et la ligne d'alimentation est faite par une ouverture ou une fente dans le plan de masse [14]. Généralement, les matériaux à permittivité élevée sont employés pour le substrat inférieur par contre les matériaux à faible constante diélectrique sont utilisés pour le substrat supérieur dans le but d'optimiser le rayonnement du patch. Ce type d'alimentation est difficile a concevoir à cause des couches multiples, qui augmentent l'épaisseur d'antenne, cependant elle offre l'élargissement de bande passante.

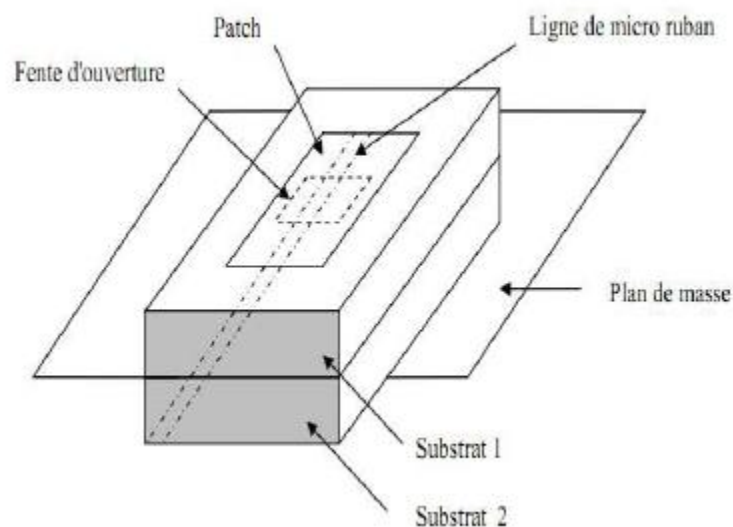


Figure I.6 : Antenne microbande alimenté par une ouverture

I.7.4. Alimentation couplée par proximité

Ce type d'alimentation est représenté sur la figure 1.7, deux substrats diélectriques sont employés tels que la ligne d'alimentation est entre les deux substrats et le patch de rayonnement est sur le substrat supérieur.

L'avantage principale de cette technique d'alimentation est l'élimination du faux Rayonnement d'alimentation et l'obtention d'une bande passante plus large et ce par l'augmentation globale de l'épaisseur de l'antenne.

Parmi les inconvénients de cette méthode d'alimentation nous citons la difficulté de Fabrication à cause des deux couches diélectriques nécessitant un alignement approprié, ainsi Que la difficulté d'intégration de dispositifs actifs.

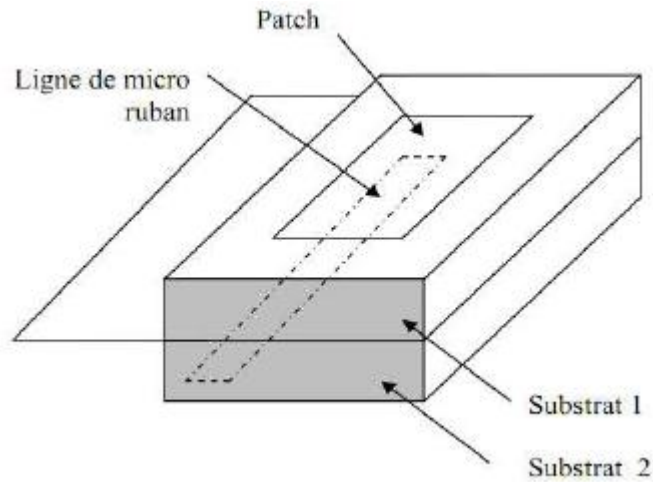


Figure I.7 : Alimentation couplée par proximité

I.8. Type de réseaux d'antennes

L'utilisation d'une antenne plaque unitaire est insuffisante pour répondre aux contraintes de rayonnement imposé.

pour améliorer les performances des antennes patch, on utilise une structure multicouche pour augmenter la bande passante jusqu'à 70 % et associer les différents éléments rayonnants pour former un système appelé réseau, permettant de compenser les limitations des caractéristiques d'une antenne seule et jouer sur de nombreux facteurs (espacement et phase des patches et taille du plan de masse) pour avoir un gain plus élevé et un lobe principal conforme.

La figure I.8 (a, b, c) montre trois configurations de réseaux d'antennes : réseaux linéaires, Réseaux planaires et réseaux circulaires [21]

Antenne en réseau linéaire (rectiligne)

Pour un réseau linéaire, les éléments rayonnants sont placés l'un après de l'autre par des déplacements parallèles sur une même droite (figure I.8.a)

Antenne en réseau plan

Pour un réseau plan, les éléments rayonnants se déduisent l'un de l'autre par des translations parallèles à un même plan (Figure I.8.b)

Antenne en réseau circulaire

Antenne constituée d'un groupement d'éléments rayonnants identiques dans lesquels chaque ensemble de points est placé sur un cercle (Figure I.8.c)

La figure I.8 (a, b, c) montre trois configurations de réseaux d'antennes :

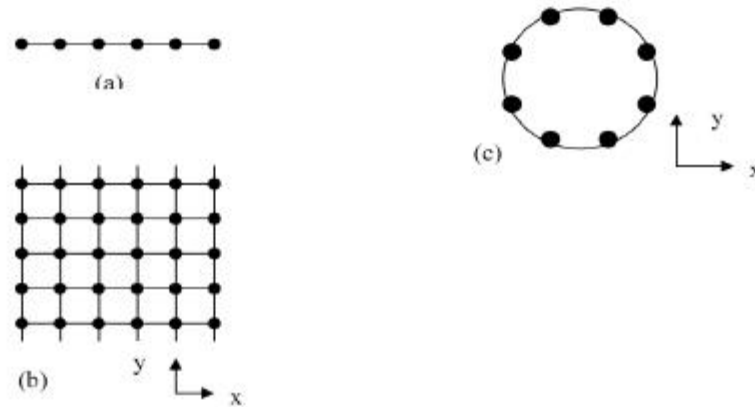


Figure I.8 : Différentes configurations géométriques des réseaux, linéaire(a), planaire (b) et circulaire(c)

I.9. Les différentes méthodes d'analyse

Plusieurs méthodes et modèles sont proposés pour analyser les antennes microbandes, ces derniers peuvent classés en deux groupes

I.9.1. Méthode analytique

Ces méthodes sont basées sur certaines suppositions physiques qui aboutissent généralement à des formules simples. Parmi les méthodes connus les plus utilisés on trouve :

Le modèle de la cavité

Une antenne imprimée peut être assimilée à une cavité fermée par deux murs électriques en $z = 0$, plan de masse et en $z = h$, le conducteur métallique supérieur, et par des murs magnétiques verticaux. Une longueur et une largeur effective sont introduites pour prendre en compte les débordements des champs sur les bords de l'antenne. Pour l'excitation, on prend pour modèle un courant électrique J parallèle à l'axe oz (Figure I.9) et répartie uniformément [22,23].

Pour calculer le champ interne à la cavité EZ, on utilise la méthode dite de raccord de mode. Elle consiste à diviser la cavité en deux régions I et II dépourvues de sources et ensuite à résoudre l'équation de Helmholtz (sans second membre) dans chaque région. Les champs lointains sont donnés par le rayonnement des ouvertures verticales et la puissance totale rayonnée est obtenue en intégrant le champ lointain dans tout le demi-espace supérieur [24,25].

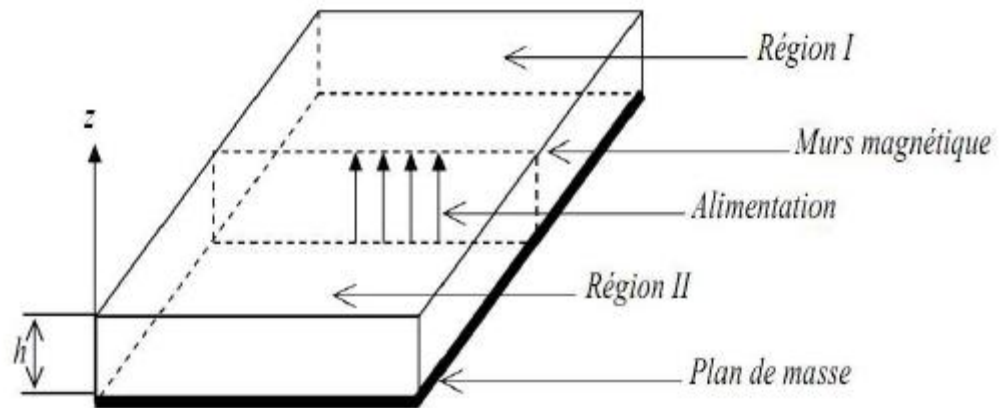


Figure I.9 : Modèle de la cavité

Les inconvénients spécifiques à ces méthodes sont :

- il est difficile de déterminer toutes les caractéristiques de l'antenne
- ces méthodes sont limitées à des formes géométriques simples
- ces méthodes ne s'appliquent pas pour les antennes microbandes à épaisseur et constante diélectrique très faibles

I.9.2. Méthode d'analyse rigoureuse

Les méthodes rigoureuses sont des méthodes d'analyse numériques qui sont le plus utilisées récemment. Parmi ces dernières, on a :

- la méthode des éléments finis
- la méthode des différences finies
- la méthode des moments

I.9.2.1. La méthode des éléments finis (FEM)

La méthode des éléments finis s'applique aux dispositifs micro ondes de formes quelconques. Elle est basée sur la résolution des équations de Maxwell et sur la description géométrique de la structure sous forme d'un maillage. Elle consiste à diviser l'espace en petits éléments homogènes mais de taille pratiquement très variable, ce qui constitue l'un des points forts de cette méthode [20].

Cette méthode permet de calculer, en chaque point des éléments divisant l'espace, les champs électrique qui minimise la fonction d'énergie, cette dernière s'écrit sous forme matricielle : $[J] = [Y] \cdot [E]$.

Ou $[J]$ représente les sources de courant et $[E]$ les champs électriques inconnus. la matrice $[Y]$ qui décrit la géométrie et les contraintes de frontières, est généralement clairsemée car chaque élément n'interagit qu'avec ses voisins. les grandeurs comme le champ magnétique et les courants induits sont calculés à partir des champs électriques.

L'avantage de la méthode des éléments finis est lié au fait que la forme tétraédrique et la variation des dimensions des cellules élémentaires caractérisant le volume discrétisé, donne Au maillage une très grande souplesse. Cette méthode permet de simuler des structures géométriques complexes mais avec des gros moyens informatiques.

I.9.2.2. La méthode des différents finis (FDTD)

La méthode des différences finis dans le domaine temporel, noté FDTD, est fondée sur le schéma explicité de Yee, présenté en 1966. C'est une méthode numérique de modélisation électromagnétique qui utilise une discrétisation spatiale et temporelle des équations de Maxwell afin de remplacer les dérivées partiel par leur développement de Taylor à l'ordre 2, c'est-à-dire par des différence finis (transformation des dérivées partiel en différence finis). [26,27]. Elle permet de calculer à chaque instant discret de l'espace, les composantes du champ électromagnétique dans chaque cellule élémentaire du volume tridimensionnel.

L'avantage principal de cette méthode est la simplicité de sa formule, le calcul est alors fait dans le domaine temporel sur une large bande de fréquence. Le temps de calcul croît de façon linéaire en fonction des nombres d'inconnues (ce qui n'est pas le cas pour la méthode des éléments finis) [20] [28]. Mais son principal inconvénient est lié au fait que le maillage de la structure doit être uniforme et elle est donc peu adaptée au traitement des dispositifs comportant des éléments ayant des ordres de grandeurs très différents.

I.9.2.3. La méthode des moments

Cette méthode consiste à transformer l'équation intégrale en une équation algébrique matricielle qui peut être facilement à résoudre par les méthodes numériques. La méthode des moments est la technique numérique la plus utilisée dans le domaine électromagnétique [29]. La méthode de Galerkin, qui est un cas particulier de la méthode des moments, est implémentée dans le domaine de fourrier pour réduire le système des équations intégrales à une équation matricielle.

I.10. Conclusion

La technologie microbande a permis tout un développement d'une nouvelle technologie dans le domaine des antennes microbandes, grâce à la miniaturisation des circuits ainsi que l'accroissement de leur fréquence de fonctionnement, elle a donné aussi, naissance à de nombreuses structures planaires de transmission de l'information. De part leur encombrement réduit, leur poids et leur facilité de fabrication empruntée à la technologie classique des circuits basse fréquence, ces structures sont largement exploitées dans le milieu industriel.

En commençant par les techniques d'alimentation des antennes microbandes et en terminant par les différentes méthodes d'analyse utilisées, on a essayé d'exposer la théorie des antennes microbandes, afin de prévoir son comportement avant la réalisation d'une part, et de s'assurer qu'elle se conformera aux exigences des systèmes, d'autre part.

Afin de pouvoir améliorer le temps de calcul et la méthode de modélisation, des techniques de modélisation sont introduites tel que la séparation par les machines à vecteur support(SVM). Ceci fera l'objet Du deuxième chapitre.

Chapitre II

LES MACHINE A VECTEUR

SUPPORT

II.1.Introduction:

Les travaux de V. Vapnik [30], publiés en 1979, sur la théorie statistique de l'apprentissage (cf. Chapitre 1 : Modélisation) peuvent être considérés comme le point de départ de ce qui devint par la suite les machines à vecteurs supports (ou SVM pour Support Vector Machines). L'intérêt pour ce sujet ne prit de l'ampleur qu'au début des années 1990, en réponse à différents problèmes d'apprentissage supervisé : les concepts relatifs à la théorie statistique de l'apprentissage furent alors exploités pour aborder d'une façon nouvelle la question du dilemme biais / variance [31], c'est-à-dire le compromis à trouver entre la capacité d'apprentissage et la capacité de généralisation d'un modèle par apprentissage. Vapnik et Chervonenkis avaient introduit en 1971 [32], dans le domaine de la classification, une manière de quantifier la capacité d'apprentissage d'une famille de fonctions en définissant une quantité (appelée depuis dimension de Vapnik-Chervonenkis ou VC-dimension) définie comme le nombre maximum d'exemples séparables par un classifieur à deux classes issu de cette famille. Le principe de minimisation du risque structurel, issu de la théorie statistique de l'apprentissage, a permis d'autre part de définir des bornes à la capacité de généralisation d'un classifieur [33]. Il devint ainsi possible, au sein d'une famille de fonctions particulières, de formuler et de traiter d'un point de vue pratique des problèmes de classification, afin de trouver le meilleur compromis biais / variance, plutôt que de traiter séparément ces deux aspects du problème d'apprentissage.

Les machines à vecteurs supports ont été inventées en 1992 [34], mais le terme « machines à vecteurs supports » n'est apparu qu'en 1995 [35]. Depuis lors, de nombreux développements ont été réalisés pour adapter cette méthode d'apprentissage supervisé [36], pour établir des liens avec les méthodes de régularisation [37], ou pour proposer des variantes, qui, comme les SVM, entrent dans la catégorie des méthodes de noyaux, et qui en reprennent les principes essentiels [38]. Dans de nombreuses applications, ces outils de modélisation se sont avérés très performants, surpassant parfois d'autres méthodes, notamment les réseaux de neurones, pour des problèmes de classification [39] ou de régression [40].

Dans ce chapitre, nous introduirons dans une première les notions sur l'apprentissage statistiques et le principe de machine à vecteur support et l'apprentissage dans le cas de classification.

Dans la seconde partie du chapitre, nous proposons une méthodologie d'adaptation des algorithmes d'apprentissage existants au cas des modèles régression pour la prédiction de la fréquence de résonance de l'antenne microbande avec et sans ouverture, avant de présenter une vision en logiciel MATLAB se quiller la plateforme de la méthode de SVM.

II.2/Notions sur l'apprentissage statistique:

D'après Mari & Napoli (1996) [41], une classification, c'est mettre en évidence, d'une part, des relations entre des objets et, d'autre part les relations entre ces objets et leurs paramètres. Il s'agit de construire une partition de l'ensemble des objets en un ensemble de classes qui soient les plus homogènes possible. La classification, a donc deux objectifs à atteindre :

- Trouver un modèle capable de représenter la répartition des données (catégorisation).
- Définir de manière formelle l'appartenance à l'une ou l'autre des classes de toute nouvelle donnée (généralisation).

En effet la classification a pour but de réduire l'espace de recherche dans une base de données lors du processus d'identification. En pratique, on peut rencontrer deux catégories de problèmes de classification, la classification supervisée et non-supervisée :

- **Apprentissage supervisé:** dans ce type d'apprentissage, on cherche à : Estimer une fonction $f'(x)$ qui est la relation entre les objets et leurs classes. Les objets utilisés comme données d'apprentissages sont accompagnés par la classe à laquelle ils appartiennent.
- **Apprentissage non supervisé:** on ne cherche pas cette fois à estimer une fonction mais on cherche à regrouper les objets ayant des caractéristique commune, les objets utilisés comme données d'apprentissage sont présentés sans leur classes.

II.3.Théorie des machines à vecteurs de support (SVM) :

Les Machines à Vecteurs de Support -SVM - [42,43] ont été largement utilisées et appliquées aux problèmes de classification [44-46] et la régression non linéaire [47,48]. Nous nous intéressons ici à l'application des SVM dans le domaine bio-informatique et médical.

Les SVM ont été utilisées comme méthode de prédiction de cancer du sang (leucémie, lymphome, etc.) dans le contexte de la technologie des puces d'ADN (ou micro-array) [49,50].

Liang et Lin ont prouvé l'efficacité des SVMs pour la classification des données ECG pour la détection d'une vidange gastrique tardive dans [51].

Une autre application en diagnostic médicale est présentée pour la détection des micro- classifications dans les mammographies dans [52,53].

II.4.Principe des machines à vecteurs de support :

Les SVM constituent une classe d'algorithmes basée sur le principe de minimisation de « Risque structurel » décrit par la théorie de l'apprentissage statistique qui utilise la séparation linéaire. Cela consiste à séparer par un hyperplan des individus représentés dans un espace de dimension égale au nombre de caractéristiques, les individus étant alors séparés en deux classes. Cela est possible quand les données à classer sont linéairement séparables. Dans le cas contraire, les données seront projetées sur un espace de plus grande dimension qu'elles deviennent linéairement séparables [54].

II.4.1.Cas de données linéairement séparables :

Considérons « l » points, $\{(x_1, y_1, x_2, y_2, \dots, x_l, y_l)\}$, $x_i \in \mathbb{R}^N$ Avec $i=1 \dots L$ et $y_i \in \{\pm 1\}$ Ces points sont classés en utilisant une famille de fonctions linéaires définies par :

$$\langle w, x \rangle + b = 0 \quad (\text{II.1})$$

Avec w et $b \in \mathbb{R}$ de telle sorte que la fonction de décision concernant l'appartenance d'un point à l'une des deux classes soit donnée par :

$$f(x) = \text{sgn}(\langle w, x \rangle + b) \quad (\text{II.2})$$

La fonction (1) représente l'équation de l'hyperplan H. La fonction de décision (2) va donc observer de quel côté de H se trouve l'élément de x .

On appelle la marge d'un élément, la distance euclidienne prise perpendiculairement entre H et x . Si on prend un point quelconque t sur H, cette marge peut s'exprimer en :

$$M_x = \frac{w}{\|w\|} (x - t) \quad (\text{II.3})$$

La marge de toutes les données est définie comme étant :

$$M = \min_{x \in E} M_x \quad (\text{II.4})$$

L'approche de classification par SVM tend à maximiser cette marge pour séparer le plus clairement possible deux classes. Intuitivement, avoir une marge la plus large possible sécurise mieux le processus d'affectation d'un nouvel élément à l'une des classes.

Un SVM fait donc partie des classificateurs à marge maximale.

Un classificateur à marge maximale est un classificateur dont l'hyperplan optimal séparant deux classes est une solution du problème d'optimisation mathématique suivant (forme primale) :

$$\text{minimiser } \frac{1}{2} \|\mathbf{w}\|^2 \quad (\mathbf{w}, +\mathbf{b}) \cdot \mathbf{z} \geq 1 \quad \forall \mathbf{x} \in E \quad (\text{II.5})$$

La fonction objective de ce problème est le carré de l'inverse de la double marge qu'on veut maximiser. La contrainte unique correspond au fait que les éléments x doivent être bien placés. La résolution de ce problème nécessite de fixer les paramètres w et b qui constituent les variables α_i de la machine d'apprentissage.

Les classificateurs à marge maximale donnent de bons résultats lorsque les données sont linéairement séparables.

La tâche de discrimination est de trouver un hyperplan qui sépare deux (ou plus) ensembles de vecteurs (Figure 1).

Pour la détection et la reconnaissance des vertèbres, ces deux classes peuvent être région de vertèbre ou non.

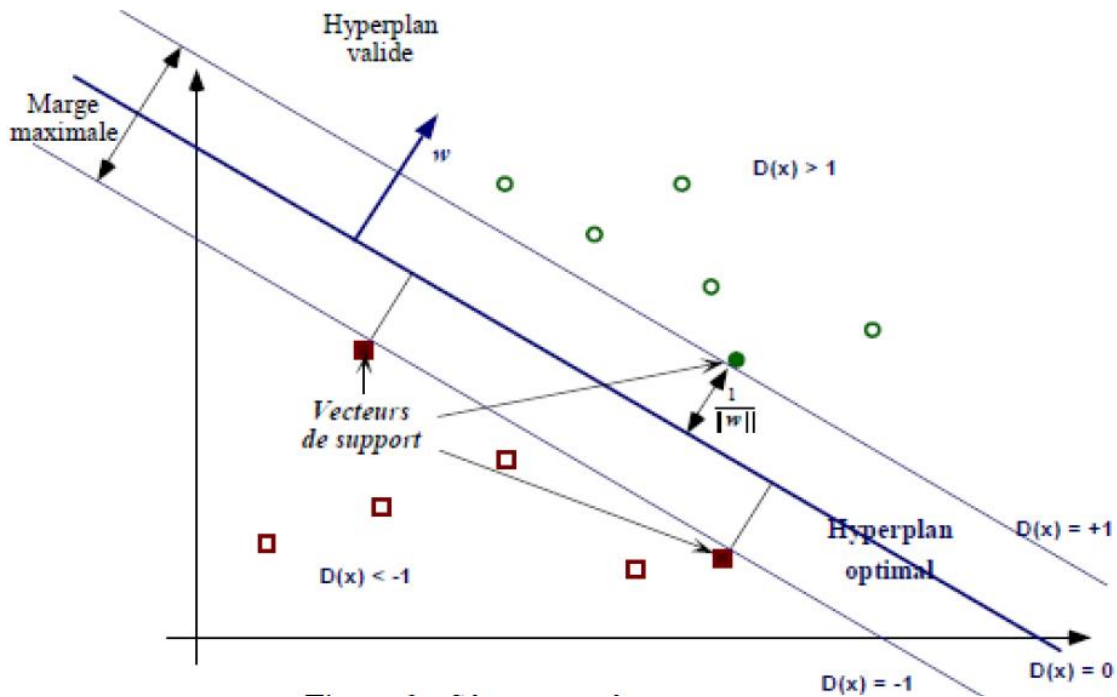


Fig. II.1. Séparateur a vaste marge

Forme duale :

La formulation primale peut être transformée en formulation duale en utilisant les multiplicateurs de Lagrange. L'équation (5) s'écrit alors sous la forme suivante :

$$L(W, b, \alpha) = \frac{1}{2} \|W\|^2 - \sum_{i=1}^l \alpha_i (y_i(W \cdot x_i) + b) - 1 \tag{II.6}$$

II.4.2. Cas des données non-linéairement séparables :

En pratique, il est assez rare d'avoir des données linéairement séparables. Afin de traiter également des données bruitées ou non linéairement séparables, les SVM ont été généralisées grâce à deux outils : la marge souple (soft margin) et les fonctions noyau (kernel functions).

Le principe de la marge souple est d'autoriser des erreurs de classification. Le nouveau problème de séparation optimale est reformulé comme suit :

$$MIN_{W, b, \epsilon} \frac{1}{2} W^T W + c \sum_{i=1}^l \epsilon_i, c \geq 0 \text{ souce contraintes} \tag{II.7}$$

$$y_i((W, X) + b) \pm 1 - \epsilon_i$$

$$\epsilon_i \geq 0 \text{ Pour } i=0, \dots, l$$

Un terme de pénalité est introduit dans la formule (7), Le paramètre C est défini par l'utilisateur. Il peut être interprété comme une tolérance au bruit de classificateur.

Remarque:

L'idée de base pour les données non linéairement séparable, est de projeter l'espace d'entrée (espace des données) dans un espace de plus grande dimension appelé espace de caractéristiques (feature space) afin d'obtenir une configuration linéairement séparable (à l'approximation de la marge souple près) de nos données, et d'appliquer alors l'algorithme SVM.

II.5. Classification SVM :

L'enjeu essentiel de l'apprentissage artificiel est l'aptitude à généraliser des résultats obtenue à partir d'un échantillon limitée. Dans ce travail, nous choisissons la méthode à base des machines à vecteurs de support comme un moyen opérationnel pour ce problème [54].

II.5.1. Formulation d'un problème de classification (supervisé) :

Le classificateur doit estimer une fonction $f(x)$ qui est l'estimation de la fonction qui représente la relation entre l'objet et sa catégorie. Cette fonction est appelée fonction de décision :

$$f: X \rightarrow Y$$

X: L'ensemble des objets à classifier (appelé espace d'entrée).

Y: L'ensemble des catégories (appelé espace d'arrivée).

II.5.2. Minimisation du risque structurel :

Deux types de données sont utilisés pour un problème d'apprentissage : les données d'entraînement (données d'origine pour calculer le modèle) et les données de test (pour évaluer la performance de généralisation du modèle). La qualité de ce modèle est alors jugée par rapport à sa capacité à réduire l'erreur de test ou de « généralisation ». Cependant, comme le modèle n'est pas construit en utilisant l'ensemble de test, l'erreur de généralisation ne peut pas être évaluée exactement car elle dépend de la distribution de probabilité des données. suivant la théorie de Vapnik [55], nous supposons que les données sont générées selon une

distribution de probabilité inconnue $P(x,y)$. De plus, nous supposons que les données sont indépendantes et identiquement distribuées (iid).

L'erreur moyenne commise sur toute la distribution $P(x,y)$ par la fonction $f(x)$ est donnée par:

$$R[f] = \int \frac{1}{2} Q(x) dp(x,y) \quad (\text{II.8})$$

Où:

Q : est la fonction d'erreur (erreur absolue dans le cas des SVM).

x : est le vecteur d'entrée.

y : est l'ensemble des classes.

Ainsi la fonction f devra être optimale : la fonction f_{opt} devra être calculée de sorte que l'erreur moyenne sur toute la distribution soit minimale.

$$F_{opt} = \operatorname{argmin}_f (R[F]) \quad (\text{II.9})$$

Le critère formulé dans (9) est malheureusement inutilisable en pratique. En effet, pour calculer le risque, nous devrions disposer d'une estimation de la distribution $P(x,y)$, ce qui n'est pas le cas. La seule information dont nous disposons comme évaluation de l'erreur est l'erreur d'entraînement appelée Risque empirique :

$$R_{emp} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^l \frac{1}{2} Q(x_i) \quad (\text{II.10})$$

Où :

- l est le nombre d'objets d'entraînements.

Ceci n'est pas suffisant. La raison en est que l'on peut facilement trouver un modèle minimisant l'erreur d'entraînement mais pour lequel l'erreur de généralisation sera très grande. Donc cette dernière est liée à la famille de fonction utilisée comme modèle. Cette dépendance est nommée « risque structurel ».

Dans la théorie de l'apprentissage statistique, Vapnik et Chervonenkis ont prouvé qu'il est possible de définir une majoration du risque structurel en fonction de la famille de fonctions utilisée pour le modèle [55]. L'une de ces majorations peut être calculée en utilisant la dimension de Vapnik–Chervonenkis (dimension VC) qui représente le plus grand nombre de points pouvant être séparés de toutes les façons possibles par un membre de l'ensemble de fonctions de F . Cela veut dire qu'il doit exister une configuration de $h (=VC(F))$ points, telle que les fonctions $f \in F$ peuvent leur assigner les 2^h combinaisons des labels (classes) possibles.

II.5.3. Architecture d'un classificateur SVM :

II.5.3.1. la fonction noyau :

Afin de résoudre le problème de données non linéaires, la fonction noyau joue le rôle central de liaison des vecteurs d'entrées à l'espace de caractéristiques de grande dimension. (Voir figure 2) [54].

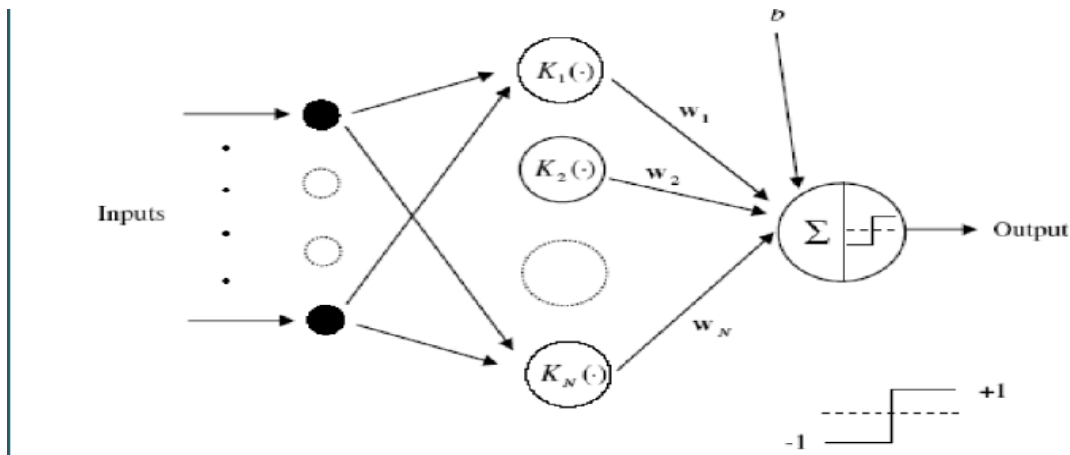


Figure II.2. Architecture d'une machine à vecteurs de support (d'un nombre N)

Les choix typiques pour la fonction noyau sont :

Noyau gaussien à base radiale (ou RBF : Radial Basis Function) :

$$K(x, x_i) = \exp[-\gamma \|x - x_i\|^2] \tag{II.11}$$

Noyau polynômiale :

$$K(x_i - x_j) = (x_i^T x_j + 1)^p \tag{II.12}$$

Avec p : une constante qui spécifie le degré du polynôme.

Remarque :

Si $p=1$: la formule (12) devient la fonction d'un noyau linéaire.

II.5.3.2. Sélection de modèle SVM :

Une machine à vecteur de support binaire sépare les exemples positifs des exemples négatifs dans la phase d'apprentissage.

Les multiplicateurs de Lagrange α_i pour chaque machine binaire sont déterminés par la minimisation de la fonction coût donnée par la formule (13) suivante :

$$P(W) = \frac{1}{2} \|W\|^2 \quad (\text{II.13})$$

Ce problème est résolu à partir de la forme duale qui est exprimée par :

$$L_D = \sum_i \alpha_i - \frac{1}{2} \sum_i \sum_j \alpha_i \alpha_j y_i y_j x_i x_j \quad (\text{II.14})$$

Cela revient à chercher : $\sum_i \alpha_i y_i = 0$ et $0 \leq \alpha_i \leq c$

Si la valeur du paramètre de régularisation « C » qui contrôle la tolérance aux erreurs de classification dans la phase d'apprentissage est élevée, donc plus de pénalité sera donnée à l'erreur.

Le vecteur d'apprentissage x_i qui a une valeur de α_i non nul est appelé « *vecteur de support* ».

II.5.3.3. Estimation de l'erreur de généralisation

La technique la plus populaire pour l'estimation de l'erreur de généralisation est la validation croisée (en anglais cross validation ou Leave One Out (LOO)) qui est utilisée indépendamment de la nature de la machine d'apprentissage utilisée. Le principe de cette méthode consiste à séparer en N sous-ensembles les échantillons de la base d'apprentissage, à apprendre sur N - 1 sous-ensembles, à valider sur le sous-ensemble restant, puis à faire tourner les sous-ensembles de façon à ce que chacun ait pu être testé. Au final, on note le nombre d'erreurs de classification de la procédure LOO par $(X_1, Y_1, \dots, X_n, Y_n)$.

Il a été démontré que dans [45] que cette procédure donne une estimation presque non biaisée de l'espérance de l'erreur de généralisation.

En effet, l'espérance $E(\cdot)$ de la probabilité P_{err}^{n-1} de l'erreur de test par une machine Entraînée à partir de n-1 exemples est donnée par la formule (15):

$$E(P_{err}^{n-1}) = \frac{1}{2} E(l(x_1, y_1, \dots, x_n, y_n)) \quad (\text{II.15})$$

Cependant la procédure est coûteuse en calcul, car nécessitant « n » apprentissages.

Une procédure simple d'estimation d'erreur de généralisation est la validation croisée dite *K*-fold. Elle consiste à diviser l'ensemble des données en *k* sous-ensembles mutuellement exclusifs de taille approximativement égale.

L'apprentissage de la machine est effectué en utilisant *k*-1 sous ensemble et le test est effectué sur le sous-ensemble restant. Cette procédure est utilisée une fois pour le test. La moyenne des *k* taux d'erreur obtenus estime l'erreur de généralisation.

II.6. Les Machines à Vecteurs Supports (SVM) pour la régression

Lorsque les SVM sont utilisés dans des problèmes de régression pour prédire des valeurs réelles, on parle des SVR (Support Vector Regression). « Les SVM peuvent également être mis en oeuvre en situation de régression, c'est-à-dire pour l'approximation de fonctions quand *Y* est quantitative. Dans le cas non linéaire, le principe consiste à rechercher une estimation de la fonction par sa décomposition sur une base fonctionnelle. La forme générale des fonctions calculées par les SVM se met sous la forme :

$$\phi(x, W) = \sum_{i=1}^{\infty} W_i V_i(x) \quad (\text{II.16})$$

Le problème se pose toujours comme la minimisation d'une fonction coût, mais plutôt que d'être basée sur un critère d'erreur quadratique (moindres carrés), celle-ci s'inspire des travaux de Huber sur la recherche de modèles robustes et utilise des écarts absolus.

On note $|\cdot|_{\epsilon}$ la fonction qui est paire, continue, identiquement nulle sur l'intervalle $[0, \epsilon]$ et qui croît linéairement sur $[\epsilon, +\infty[$. La fonction coût est alors définie par :

$$E(W, \gamma) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Y_i - \phi(x_i, w)| + \gamma \|W\|^2 \quad (\text{II.17})$$

Où γ est, comme en régression rigide, un paramètre de régularisation assurant le compromis Entre généralisation et ajustement. De même que précédemment, on peut écrire les solutions du Problème d'optimisation. Pour plus de détails, se reporter à Schölkopf et Smola (2002). Les points de la base d'apprentissage associés à un coefficient non nul sont là encore nommés vecteurs support. Dans cette situation, les noyaux *k* utilisés sont ceux naturellement associés à la définition de bases de fonctions. Noyaux de splines ou encore noyau de Dérictet associé à un développement en série de Fourier sont des grands classiques. Ils expriment les produits scalaires des fonctions de la base. » [56].

II.6.1. Formulation du problème dans le cas linéaire :

nous allons à présent décrire les machines à vecteurs supports sous leur forme conventionnelle. On dispose d'un ensemble de données $D = \{(X_i, Y_i) \in X \times Y\}_{i=1}^N$,ou $X \subset \mathbb{R}^d$ et $Y \subset \mathbb{R}$ L'objectif est de trouver une fonction f dans un espace de Hilbert H , par minimisation du risque structurel (SRM), établissant une relation entre les variables \mathbf{x} et la grandeur à modéliser y , à partir de l'ensemble de mesures D . La fonctionnelle que l'on cherche à optimiser s'écrit :

$$F[f] = c \sum_{i=1}^N |Y_i - f(x_i)|_\epsilon + \frac{1}{2} \|f\|_H^2 \tag{II.18}$$

où $\|\cdot\|_H$ est une norme sur H , et où $|\cdot|_\epsilon$ représente la fonction de coût ϵ -insensible suivante

$$V(Y, f(x)) = |Y - f(x)|_\epsilon = \begin{cases} 0 & \text{si } |X| < \epsilon \\ |X| - 1 & \text{sinon} \end{cases}$$

Cette fonction de coût ne pénalise que les déviations supérieures à ϵ entre les sorties mesurées et estimées. Nous allons, dans un premier temps, réaliser un modèle linéaire, en cherchant la fonction de régression f sous la forme suivante : $f(\mathbf{x}) = \mathbf{w} \cdot \mathbf{x} + b$, où $\mathbf{w} \cdot \mathbf{x}$ est un produit scalaire dans l'espace X . En introduisant des variables d'erreurs ξ_i et ξ_i^* (pour les erreurs respectivement positives et négatives), on parvient à intégrer la fonction de coût ϵ -insensible au sein du problème d'optimisation suivant :

$$\begin{aligned} & \min \frac{1}{2} \|W\|^2 + c \sum_{i=1}^N (\xi_i + \xi_i^*) \\ \text{sous } & \begin{cases} Y_i - W \cdot X_i - b \leq \epsilon + \xi_i \\ W \cdot X_i + b - Y_i \leq \epsilon + \xi_i^* \\ \xi_i, \xi_i^* \geq 0 \end{cases} \end{aligned} \tag{II.19}$$

Le premier terme de la fonction objectif limite la capacité de la fonction de régression (terme de régularisation), tandis que le second pénalise les erreurs supérieures à ϵ , qu'elles soient par valeur positive ou négative : ce compromis biais/variance est contrôlé par la constante C . Le lagrangien associé à la fonction objectif sous contrainte ci-dessus est :

$$\begin{aligned} L(W, b, \xi, \xi^*, \alpha, \alpha^*, \eta, \eta^*) = & \frac{1}{2} \|w\|^2 + c \sum_{i=1}^N (\xi_i + \xi_i^*) - \sum_{i=1}^N (\eta_i \xi_i^* + \eta_i^* \xi_i) \\ & - \sum_{i=1}^N \alpha_i (\epsilon + \xi_i - y_i + W \cdot X_i + b) - \sum_{i=1}^N \alpha_i^* (\epsilon + \xi_i^* + y_i - W \cdot y_i - b) \end{aligned} \tag{II.20}$$

Où $\alpha_i, \alpha_i^*, \eta_i, \eta_i^*$ sont les multiplicateurs de Lagrange positifs (variables duales) associés aux contraintes inégalités du problème initial (17). On peut montrer que, pour le problème d'optimisation ci-dessus (fonction de coût convexe, contraintes linéaires), les conditions complémentaires de KKT sont nécessaires et suffisantes. De plus, l'existence d'un point selle impose que le minimum par rapport aux variables primales (w, b, ξ, ξ^*) coïncide avec le maximum par rapport aux variables duales ($\alpha, \alpha^*, \eta, \eta^*$). En imposant la stationnarité du lagrangien vis-à-vis des variables primales, on obtient :

$$\begin{cases} \frac{\partial L}{\partial b} = 0 \leftrightarrow \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) \\ \frac{\partial L}{\partial W} = 0 \leftrightarrow W = \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) X_i \\ \frac{\partial L}{\partial \xi_i} = 0 \leftrightarrow C = \alpha_i^* + \eta_i^* \end{cases}$$

Où $\alpha(*)$ représente α ou α^* . En substituant les relations ci-dessus dans l'expression du lagrangien (18), on aboutit au problème d'optimisation suivant, qui n'est fonction que des variables duales :

$$\min -\frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) (\alpha_j - \alpha_j^*) X_i \cdot X_j - \mathcal{E} \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) + \sum_{i=1}^N y_i (\alpha_i - \alpha_i^*)$$

$$\text{sous } \begin{cases} \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0 \\ \alpha_i, \alpha_i^* \in [0, C] \end{cases} \quad (\text{II.21})$$

On est ainsi ramené à la résolution d'un problème d'optimisation quadratique, dont les contraintes d'égalité sont plus aisées à manipuler que celles du problème primal. Les conditions complémentaires de KKT s'écrivent :

$$\begin{cases} \alpha_i (\mathcal{E} + \xi_i - y_i + W \cdot X_i + b) = 0 \\ \alpha_i^* (\mathcal{E} + \xi_i^* + y_i - W \cdot X_i - b) = 0 \\ (c - \alpha_i) \xi_i = 0 \\ (c - \alpha_i^*) \xi_i^* = 0 \end{cases}$$

Seuls les coefficients α_i relatifs aux exemples pour lesquels les contraintes sont saturées peuvent être non nuls : on appelle ces points les *vecteurs supports*. Les conditions de KKT permettent également de déterminer le biais b . Après détermination des coefficients α_i, α_i^* par résolution du problème d'optimisation (19), la fonction f recherchée s'écrit :

$$f(x) = \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) X_i \cdot X + b \quad (\text{II.22})$$

Cette fonction s'écrit donc comme une somme, pondérée par les coefficients α_i, α_i^* de produits scalaires sur l'ensemble des exemples de la base d'apprentissage. Cette caractéristique, qui est conforme au résultat énoncé dans la relation (2), va à présent être

exploitée pour étendre ces résultats au cas non linéaire (« astuce des noyaux »). Remarque : la différence fondamentale entre les SVM conventionnelles et les LSSVM introduites au paragraphe précédent réside dans la fonction de coût utilisée : plutôt que d'employer la fonction de coût quadratique, on se sert ici d'une fonction de coût ε -insensible. Ce choix a une incidence sur la nature du problème d'optimisation obtenu (présence de contraintes d'inégalité) ainsi que sur l'expression de la solution (développement sur un nombre limité de vecteurs supports, correspondant à des contraintes saturées)[57].

II.6.2.Extension au cas non linéaire:

Comme nous l'avons indiqué dans le paragraphe 2, il est possible de traiter le problème non linéaire de manière essentiellement identique à ce qui vient d'être fait dans le cas linéaire, en cherchant la solution dans un RKHS muni d'un noyau convenablement choisi. Ceci revient à effectuer un « prétraitement » des variables, qui consiste en une transformation non linéaire de l'espace des variables X vers un espace image F , grâce à une fonction $\varphi : X \rightarrow F$ associée au noyau K . Les résultats obtenus au paragraphe précédent dans l'espace initial X sont alors transposables à l'espace image F , le noyau choisi définissant la « distance » entre les objets dans l'espace des caractéristiques.

Le problème d'optimisation (19) devient donc :

$$\begin{aligned} \min & -\frac{1}{2} \sum_{i,j=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*)(\alpha_j - \alpha_j^*)(\varphi(x_i)\varphi(x_j)) - \varepsilon \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) + \sum_{i=1}^N y_i (\alpha_i - \alpha_i^*) \\ \text{sous} & \begin{cases} \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) = 0 \\ \alpha_i, \alpha_i^* \in [0, C] \end{cases} \end{aligned} \tag{II.23}$$

Notons que la fonction de régression, qui par construction sera non linéaire vis-à-vis des entrées, reste toutefois linéaire en ses paramètres. La propriété de convexité du problème d'optimisation (21) garantit donc l'unicité de la solution.

D'autre part, la transformation φ , qui n'intervient dans le problème (21) qu'à travers des produits scalaires dans l'espace image F , peut être définie de manière implicite au moyen d'une fonction noyau SV-admissible K , telle que : $(\varphi(x_i), \varphi(x_j))$. Comme indiqué dans le paragraphe 2, il n'est donc pas nécessaire de connaître explicitement la transformation φ : celle-ci est entièrement définie par le choix du noyau K qui lui est associé. la solution du problème d'optimisation (21) s'écrira finalement :

$$f(x) = (W, \varphi(x)) + b = \sum_{i=1}^N (\alpha_i - \alpha_i^*) K(x_i, x) + b \tag{II.24}$$

II.6.3. Choix des hyper paramètres:

La résolution des problèmes d'optimisation quadratique (19) ou (21) s'effectue à l'aide d'algorithmes classiques¹ (on pourra se référer à [58] pour un inventaire des principaux algorithmes utilisés). Elle nécessite la définition d'un ensemble d'hyper paramètres, regroupés dans le vecteur Θ_{hyper} , dont les composantes sont :

ε : la valeur d'insensibilité

C : le compromis entre régularisation et pénalisation des erreurs

les différents paramètres relatifs au noyau utilisé (écart type des gaussiennes dans le cas de noyaux gaussiens) Afin de choisir au mieux ces hyper paramètres, des méthodes classiques peuvent être mises en oeuvre (notamment la validation croisée). Il est également possible, dans ce cas particulier des SVM, d'établir des bornes à certains indices de performance (erreur de validation, erreur de leave-one-out, ...), et d'optimiser ceux-ci par une descente de gradient vis-à-vis des hyper paramètres [59].

La solution obtenue par un algorithme de SVM, c'est-à-dire l'ensemble des coefficients $\{\alpha_i, \alpha_i^*\}_{i=1}^N$, dépend évidemment des hyperparamètres utilisés. Toutefois, le résultat suivant simplifie grandement le problème [59].

Théorème : soit $\mathbf{v}\theta$ un vecteur de dimension $(n \times 1)$ et $\mathbf{P}\theta$ une matrice $(n \times n)$, dépendant continûment du paramètre θ . Considérons la fonction :

$$L(\theta) = \max \left(\mathbf{x}^T \mathbf{v}\theta - \frac{1}{2} \mathbf{x}^T \mathbf{P}\theta \mathbf{x} \right) \quad (\text{II.25})$$

$$\text{Ou } f = \{ \mathbf{x} : \mathbf{b}^T \mathbf{x} = c, \mathbf{x} \geq 0 \}$$

Soit \mathbf{x}_0 la valeur en laquelle le maximum est atteint. Si ce maximum est unique, alors on a :

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = \mathbf{x}_0^T \frac{\partial \mathbf{V}\theta}{\partial \theta} - \frac{1}{2} \mathbf{x}_0^T \frac{\partial \mathbf{P}\theta}{\partial \theta} \mathbf{x}_0 \quad (\text{II.26})$$

En d'autres termes, on peut différentier L par rapport à θ comme si \mathbf{x}_0 ne dépendait pas de θ . Ce résultat reste valable si certaines contraintes dans la définition de F sont supprimées. Il est donc possible de rechercher, en premier lieu, la solution SVM avec un jeu particulier d'hyper paramètres Θ_{hyper} , puis de chercher, par descente de gradient, le minimum d'un indice de performance convenable par rapport à Θ_{hyper} , par différentiation de celui-ci comme si les coefficients a_i (*) ne dépendaient pas de Θ_{hyper} .

II.7.Description Des Outils Utilisent:

Ce travail décrit les principaux outils utilisés dans la mise en œuvre de l'application de prédiction de la fréquence de résonance, nous verrons une introduction à l'usage de la librairie LIBSVM et de ses principales fonctionnalités, puis une présentation du logiciel MATLAB. La description des outils est tirée en majeure partie de la documentation officielle de ces derniers.

II.7.1.LIBSVM

La LIBSVM est une librairie dédiée aux Machines à Support de Vecteurs (Support Vector Machines). Élaborée par Chih-Chung Chang et Chih-Jen Lin, deux chercheurs du département informatique de l'université de Taipei à Taiwan « National Taiwan University ». La librairie englobe un ensemble de fonctions implémentant des algorithmes de fouille de données, particulièrement utilisée pour mettre en oeuvre des classifications et des régressions. Elle est disponible en langage C++ et en JAVA, et compatible avec diverses plateformes logicielles (Python, R, MATLAB, Perl, Ruby, Weka, Common LISP, CLISP, Haskell, LabVIEW, interfaces PHP, C# .NET, extensions CUDA) [54].

La LIBSVM est vastement exploitée dans le domaine de l'apprentissage automatique (learning machines), principalement en supervisé. Elle a gagné en popularité depuis le début des années 2000 et jusqu'à maintenant vu qu'elle traite divers problèmes d'optimisation (minimisation) en intégrant des solveurs pour la classification de type C-support vector (C-SVC) et ν -support vector (ν -SVC), pour l'estimation de la distribution (one-class SVM), pour la régression de type ϵ -support vector (ϵ -SVR), et ν -support vector (ν -SVR), ainsi que pour la classification multi-classes. Les temps de traitement sont particulièrement satisfaisant tout autant que les résultats obtenus, raison pour laquelle la librairie est considérée comme référence en la matière.

Un site web dédié à la LIBSVM a été dressé par les auteurs pour fournir la documentation et les guides d'utilisation de la librairie, les exécutables et les codes sources en plusieurs langages (un point fort de l'outil), des jeux de données pour les tests, ainsi que les dernières mises à jours : <http://www.csie.ntu.edu.tw/~cjlin/libsvm> . De même une foire aux questions est présente sur le même site et est significativement constructive. Il est possible de contacter les auteurs pour toute remarque, report de bug ou suggestion d'amélioration de la librairie.

II.7.1.1.Fonctionnalités de la LIBSVM

La LIBSVM peut être exploitée en l'intégrant à un code applicatif donné, ou directement en faisant appel aux fichiers exécutables. Que l'utilisateur tourne sous un

environnement Windows ou Unix, il peut facilement récupérer les makefile ou les DLL disponibles en ligne, puis de les compiler pour générer leurs .exe respectifs. Après compilation, l'utilisateur peut faire appel aux fonctionnalités de la librairie en ligne de commande, ci-dessous un descriptif des commandes les plus basiques :

-Normalisation des données : svm-scale

La normalisation des données est préconisée dans la plupart des traitements d'analyse, la LIBSVM appuie cette pratique et propose une fonctionnalité pour la normalisation : svm-scale, elle recommande une normalisation linéaire utilisant les intervalles [-1; +1] ou [0; 1], en utilisant bien sûr la même intervalle pour le jeu de données d'apprentissage et de test. Pour faire appel à cette commande il faut taper en ligne de commande :

svm-scale -y lower upper

Où **lower** et **upper** constituent les bornes de l'intervalle à utiliser pour la normalisation, généralement [0,1] ou [-1,1].

- Apprentissage : svm-train

La commande svm-train permet de lancer le processus d'apprentissage sur les données, elle prend en entrée un format de données spécifique, décrit plus loin, et génère un fichier de modèle. La commande pour utiliser cette fonctionnalité est :

svmtrain [options] training_set_file [model_file]

Où **training_set_file** constitue le fichier d'apprentissage et **model_file** le nom du modèle à générer.

- Prédiction : svm-predict

Génère les classes prédites ou les valeurs prédites (en cas de régression), en se basant sur un modèle entraîné, la commande à utiliser est la suivante :

svmpredict test_file model_file output_file

Où **test_file** est fichier de test, ou les données que l'on souhaite prédire, à noter qu'il doit également être sous le format LIBSVM et **model_file** le nom du modèle à générer. Après prédiction, la fonction svm-predict compare les résultats de la prédiction avec les labels du fichier de test, pour en déduire la justesse de la prédiction et par la même occasion le taux d'erreur commis.

II.7.1.2. Paramètres SVM pris en charge par la librairie

Afin d'entamer le processus d'apprentissage avec la LIBSVM, certains paramètres sont à renseigner selon qu'on souhaite faire une classification, une régression ou autre, le choix des bons paramètres est déterminant pour obtenir des résultats satisfaisants. Ci-dessous

la liste de tous les paramètres LIBSVM possibles. À noter que dans le cas où ces paramètres ne sont pas renseignés, la librairie utilise les valeurs par défaut, précisées ci-après également:

- **s svm_type** : C'est le type de l'algorithme SVM à utiliser, peut être l'une des fonctions: C_SVC, NU_SVC, ONE_CLASS, EPSILON_SVR, NU_SVR, et peut prendre respectivement les valeurs suivantes :

0: Pour une classification de type C-SVM

1: Pour une classification de type nu-SVM

2: Pour une classification de type one-class-SVM

3: Régression de type epsilon-SVM

4: Régression de type nu-SVM

Par défaut le type SVM utilisé est C_SVC.

-**t kernel_type** : C'est le type de la fonction noyau à utiliser, peut être défini à : LINEAR, POLY, RBF ou SIGMOID, et par conséquent prendre les valeurs :

0: Pour utiliser une fonction linéaire de formule $=u*v$

1: Pour une fonction polynomiale de formule $= (\text{gamma}*u*v + \text{coef0})^{\text{degré}}$

2: Pour une fonction Radiale de formule $= \exp(-\text{gamma}*|u-v|^2)$

3: Pour une fonction sigmoïde de formule $= \tanh(\text{gamma}*u*v + \text{coef0})$

4: Pour créer un kernel dans le fichier de test (cf. documentation LIBSVM pour le détail).

Tels que : **u'** représente la transposé du vecteur contenant les valeurs des attributs de l'ensemble d'apprentissage, et **v** le vecteur des labels (étiquettes). Le **gamma**, **degré** et **coef0** sont des paramètres (rentrés pas l'utilisateur). Par défaut le type de la fonction noyau utilisée est RBF, la documentation LIBSVM recommande l'utilisation de la fonction RBF pour plusieurs raisons, entre autre parce que RBF gère le cas où la relation entre les labels et les attributs est non linéaire.

Paramètres des fonctions noyau :

- **d degree** : Paramètre degré de la fonction noyau , par défaut 3

- **g gamma** : Paramètre gamma de la fonction noyau, par défaut 1

- **r coef0** : Paramètre coef0 de la fonction noyau, par défaut 0.

Paramètres dépendants du type SVM choisi :

-**c cost** : C'est le paramètre C (coût), qui représente la pénalité de l'erreur, à renseigner lors de l'utilisation du type SVM C-SVC, epsilon-SVR et nu-SVR, par défaut le coût est égal à 1

-**wi weight** : pour changer le paramètre C à $\text{weight} * C$, s'il n'est pas renseigné weight est égale à 1 sa valeur par défaut, et par conséquent neutre.

-**n nu** : Paramètre nu du type nu-SVC, One-class-SVM et nu-SVR, par défaut 0.5

-**p epsilon** : Paramètre epsilon de la fonction de perte (Loss Function) pour le type epsilon-SVR, par défaut égal à 0.1

Paramètres SVM généraux :

-**m cachesize** : Pour paramétrer la taille mémoire (Mbits) allouée au noyau, par défaut 100

-**e epsilon** : C'est le critère d'arrêt de l'apprenant, par défaut 0.001. Il est recommandé d'utiliser une valeur de 0.00001 pour le nu-SVC, et 0.001 pour les autres types.

-**h shrinking** : Pour activer/désactiver l'heuristique de shrinking, par défaut mis à 1

-**b probability-estimates**: Pour activer/désactiver l'apprentissage avec probabilité, par défaut à 0

-**v n** : paramètre spécifique au mode validation-croisée (cross-validation), le n est le nombre de sous-divisions de l'ensemble d'apprentissage (n-fold), par défaut désactivé.

-**q**: Mode silencieux, pour omettre l'affichage des messages, par défaut mis à 0

À noter que la librairie propose un utilitaire pour vérifier la validité des paramètres avant de faire appel à la fonction d'apprentissage, via la commande `svm_check_parameter()`.

II.7.1.3. Fichiers de données**- Entrées : Fichier au format LIBSVM**

Les fonctions de la LIBSVM reçoivent en paramètre des fichiers textes, qui doivent suivre un format bien particulier, il s'agit en fait d'un tableau où les données doivent commencer par le libellé de la classe (habituellement 1 ou -1), suivi d'une série de données sous la forme de paires (index : valeur). Dans le cadre d'une régression, comme c'est le cas pour ce projet, le principe est le même, sauf que les données du tableau commencent par une valeur réelle qui constitue la valeur à prédire appelée cible (target), suivie d'un ensemble de données toujours sous la forme (index : valeur) qui constituent les antérieurs de la cible.

En ouvrant un fichier d'apprentissage ou un fichier de test on retrouve l'ensemble du jeu de données sous la forme:

```
[label] [index1]:[value1] [index2]:[value2] ...  
[label] [index1]:[value1] [index2]:[value2] ...  
[label] [index1]:[value1] [index2]:[value2] ...
```

Label : C'est le libellé ou la classe de l'enregistrement. C'est un entier lors d'une classification, et un réel lors d'une régression.

Index : Indexes dans l'ordre croissant, ils sont généralement contiguës.

Value : Ce sont les valeurs à apprendre, généralement des nombres réels.

Chaque ligne du fichier représente un enregistrement (ou un individu) appartenant un une classedu jeu de données, comme sur l'exemple ci-dessous :

```
+1 1:0.708 2:1 3:1 4:-0.320 5:-0.105 6:-1
```

- **Sorties** :

-Fichier modèle :

Le fichier du modèle contient les paramètres qui ont été utilisés lors de la phase d'apprentissage, suivis d'un tableau dont les lignes représentent les supports vecteurs. Les supports vecteurs sont listés dans l'ordre des labels, et regroupés par classes. Sachant que pour un jeu de données de k classes, on aura k-1 coefficients pour les supports vecteurs de chacune des classes.

-Fichier de prédiction

Le format du fichier de prédiction résultant après l'appel de la fonction svm-predict est simple, chaque ligne de ce fichier contient le label relatif à la classe prédite pour la ligne équivalente du fichier de test. Dans le cas d'une régression, le fichier contient des valeurs réelles illustrant les prédictions trouvées pour les antérieurs contenus dans le fichier de test. La figure ci-dessous représente un fichier de prédiction (régression) ouvert sous Bloc note [54].

II.7.2.SVM avec matlab

II.7.2.1.Matlab

Il s'agit d'un logiciel parfaitement dédié à la résolution de problèmes d'analyse numérique ou de traitement du signal. Il permet d'effectuer des calculs matriciels, de visualiser les résultats sous forme graphique. La formulation des problèmes s'apparente à la formulation mathématique des problèmes à résoudre. L'utilisation du logiciel consiste à lancer des lignes de commandes, qui peuvent le plus souvent s'apparenter à de la programmation en C. Associé à Simulink (commande lancée sous Matlab), il devient un outil graphique très simple d'utilisation pour la simulation de processus (programmation par copier/coller de blocs fonctionnels) [60].

II.7.2.2.Travailler avec Matlab

Matlab dispose de plusieurs fenêtres (selon les versions) dont le principal est la **fenêtre de commande** (Command Window) associée à l'espace de travail (**Workspace**). Il s'agit de la première fenêtre ouverte dans laquelle seront tapées les différentes 'commandes' après le prompt '>>'. C'est également dans cet espace de travail que sont définies toutes les variables utilisées par Matlab.

La syntaxe générale d'appel d'une fonction est : $[s_1, s_2, \dots, s_n] = \text{nom_fonction}(e_1, e_2, \dots, e_p)$ où les e_i sont les paramètres d'entrée de la fonction nom_fonction et les s_j les paramètres de sortie. **Le point virgule ';' facultatif** dernière une commande empêche l'affichage du résultat de celle-ci (bien utile lorsque le résultat est un vecteur de grande taille).

II.8.Conclusion:

La caractéristique essentielle de support vecteur machine est qu'ils peuvent capter les dépendances non linéaires de haut niveau entre les variables explicatives, ce qui est possible grâce à la présence d'une transformation, elle même non linéaire, dans le calcul de la valeur prédite. Les supports vecteurs régressions sont de puissants outils de modélisation et de prédiction. Ils ont été adoptés dans divers champs d'application plus ou moins variés. Cependant, Les supports vecteurs machine à rétro propagation du gradient présentent l'inconvénient de la lenteur due à la phase d'apprentissage, qui dépend du nombre d'entrées et d'exemples utilisés, car pour un nombre important d'éléments, il faut une base de données assez riche.

Nous avons présenté dans ce chapitre les idées de base sur l'optimisation par SVM, la validité de ce modèle sera supportée par les différents cas de simulation dans le chapitre qui suit.

Chapitre III

MISE EN EQUATION DU PROBLEME

III.1/ Introduction

Dans ce chapitre, nous calculons la fréquence d'opération d'une antenne microbande de forme rectangulaire constituée d'un substrat avec l'élément rayonnant (patch) imprimé sur une surface, le plan de masse sur l'autre. Le problème de la fréquence de résonance complexe est formulé en terme d'une équation intégrale, cette dernière est calculée à l'aide de plusieurs formules et procédures, les transformées vectorielles de Hankel et la fonction de Green. La procédure de Galerkin est utilisée pour résoudre l'équation intégrale.

Lorsque la complexité des problèmes électromagnétiques demande des conceptions d'optimisation sophistiqués et des outils d'analyses sensibles, ce qui peut être réalisé en utilisant SVM.

Une approche pour la modélisation de l'antenne microbande est appliquée dans ce travail, cette approche basée sur la méthode support vecteur regression est utilisée pour l'analyse d'une antenne microbande de forme rectangulaire, une forme choisie en raison de son importance inhérente et aussi parce qu'elle est largement répandue comme élément dans les réseaux d'antennes.

Le support vector machine est employés en conjonction avec la technique SVM pour l'analyse des antennes microbandes, une méthode nommée: *support vector regression*. La fréquence de résonance complexe, l'impédance d'entrée et d'autres paramètres de l'antenne rectangulaire microbande ont été calculés en utilisant cette méthode. Le but était de réduire les complexités informatiques, manipuler les singularités surgissant dans l'approche spectrale et diminuer, de ce fait, considérablement le temps de calcul.

Pour être validés, les résultats obtenus, par cette nouvelle approche, sont comparés à ceux de l'approche spectrale (SDA) et à d'autres résultats théoriques et expérimentaux de la littérature.

La figure [FIG.III-1] montre la géométrie d'un patch rectangulaire de longueur ' L_p ' et de Largeur ' W_p ' imprimée sur un substrat diélectrique d'épaisseur ' d ' caractérisé par la perméabilité du vide μ_0 et une permittivité ϵ_r .

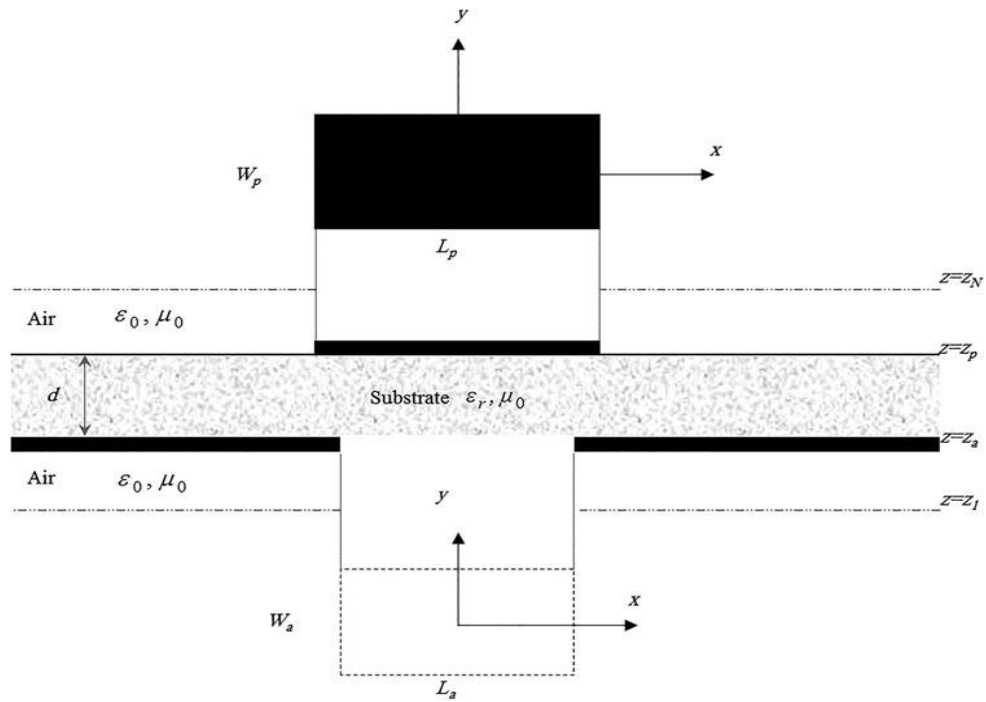


FIG (III-1): la structure géométrique d'un paramètre ajustable patch microruban rectangulaire sur un plan de masse avec une ouverture rectangulaire.

III-2/ Formulation (Approche) Spectrale Du Problème :-

III-2-1/Transformées vectorielles de Fourier :

Pour simplifier les calcul nous allons passer au domaine de transformées vectorielles. le formalisme des transformés vectorielles de Fourier est utilisé pour les géométries rectangulaires et triangulaires, alors que celui des transformées de Hankel est réservé aux formes circulaires et annulaires.

Les transformées vectorielles de fourier sont definies par les relations suivant :

$$A(k_x, K_y, Z) = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} A(X, Y, Z) e^{-i(K_x X + K_y Y)} dx dy$$

$$A(x, y, z) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} A(K_x, K_y, Z) e^{i(K_x X + K_y Y)} dx dy$$

III-2-2/ Formulation Des Paramètres Caractéristiques De L'antenne :-

La géométrie de la structure considérée est représentée sur la Fig. 1. Nous avons un patch de longueur Lp microruban rectangulaire le long la direction x et la largeur Wp long de la direction y au-dessus de plan de masse avec une ouverture rectangulaire de longueur La et largeur Wa. À la fois au centre de la pièce et le centre de l'ouverture a la valeur de coordonnées

(x, y) = (0, 0). En outre, le métal patch et le plan de masse sont supposés être parfaits des conducteurs électriques d'épaisseur négligeable. la diélectrique couche d'épaisseur d est caractérisée par la perméabilité de l'espace libre μ_0 et la permittivité ϵ_0, ϵ_r (ϵ_0 est la permittivité en espace libre et la permittivité ϵ_r relative peut être complexe à compte pour la perte diélectrique).

Le milieu ambiant est l'air avec des paramètres constitutifs μ_0 et ϵ_0 . Tous les champs et les courants harmoniques de temps avec la dépendance temporelle supprimée. Les champs transversaux à l'intérieur du région de substrat peut être obtenue via le vecteur inverse les transformées de Fourier en tant que [61]-[62].

Les transformées vectorielles de Fourier sont définies par les relations suivantes :-

$$E(r_s, z) = \begin{bmatrix} E_x(r_s, z) \\ E_y(r_s, z) \end{bmatrix} = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{f}(k_s, r_s) \cdot e(k_s, z) dk_x dk_y \quad (III.1)$$

$$H(r_s, z) = \begin{bmatrix} H_y(r_s, z) \\ -H_x(r_s, z) \end{bmatrix} = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{f}(k_s, r_s) \cdot h(k_s, z) dk_x dk_y \quad (III.2)$$

Où $F(k_s, r_s)$ est le noyau du vecteur de transformation de Fourier

Domaine (VFTE)[61]-[62].

$$\bar{f}(k_s, r_s) = \frac{1}{k_s} \begin{bmatrix} k_x & k_y \\ k_y & -k_x \end{bmatrix} e^{ik_s \cdot r_s} \quad r_s = \hat{x}x + \hat{y}y, k_s = \hat{x}k_x + \hat{y}k_y, k_s = A = |k_s| \quad (III.3)$$

La relation qui concernait courant $j(k_s), j_0(k_s)$ sur la conducteur patch (plan de masse avec ouverture rectangulaire) au champ électrique à l'interface électronique correspondante $e(k_s, z_p)$, Et $e(k_s, z_a)$ donnée par

$$e(k_s, z_p) = \bar{G}(k_s) \cdot j(k_s) + \bar{\Psi}(k_s) \cdot e(k_s, z_a) \quad (III.4)$$

$$j_0(k_s) = -\bar{\Phi}(k_s) \cdot j(k_s) - \bar{V}(k_s) \cdot e(k_s, 0) \quad (III.5)$$

Les quatre 2×2 matrices diagonales $\bar{G}(k_s)$, $\bar{\psi}(k_s)$, $\Phi(k_s)$, et $\bar{Y}(k_s)$ représentent un ensemble de fonctions de dyadique vertes dans le vecteur transformé de Fourier. Il est à noter que $\bar{G}(k_s)$ est en rapport avec le courant du patch et $\bar{Y}(k_s)$ est reliée à l'ouverture champ. $\bar{\psi}(k_s)$ et $\bar{\Phi}(k_s)$ représentent les interactions entre le patch champ actuel et l'ouverture. Dans les équations (5) et (6), les inconnues sont $j(k_s)$ et $e(k_s, z_a)$. Un autre choix possible l'analyse des pastilles micro ruban sur les plans de masse avec des ouvertures est de considérer $j_0(k_s)$ comme inconnu au lieu de $e(k_s, z_a)$. Il est prévu, cependant, qu'un très grand nombre de termes de fonctions de base serait nécessaire pour la l'expansion du courant $j_0(r_s)$ sur le plan de masse avec une ouverture en raison de la zone de conducteur de large. Par conséquent, il est préférable d'appliquer la procédure de Galerkin à l'inconnu $E(r_s, z_a)$ terrain à l'ouverture [62].

Le champ électrique transversal au plan de la pastille et la densité de courant sur la surface du plan de masse avec une forme rectangulaire l'ouverture peut être obtenue à partir des équations (4) et (5) respectivement, par l'intermédiaire de transformées de Fourier du vecteur inverse tel que

$$E(r_s, z_p) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(k_s, r_s) [G(k_s).j(k_s) + \psi(k_s).e(k_s, z_a)] dk_x dk_y \quad (\text{III.6})$$

$$j_0(r_s, z_p) = -\frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{f}(k_s, r_s) [\bar{\Phi}(k_s).j(k_s) + \bar{Y}(k_s).e(k_s, z_a)] dk_s dk_y \quad (\text{III.7})$$

Les conditions limites exigent que le électrique transversal domaine de l'équation (6) est nul sur le parfaitement conducteur patch et le courant de l'équation (7) disparaît de la plan de masse, pour donner les équations intégrales couplées suivant pour le courant de patch et le champ d'ouverture:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \bar{f}(k_s, r_s) . (\bar{G}(k_s).j(k_s) + \bar{\psi}(k_s).e(k_s, z_a)) dk_s dk_y = 0 \quad r_s \in \text{patch} \quad (\text{III.8})$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f(k_s, r_s) . (\bar{\Phi}(k_s).j(k_s) + \bar{Y}(k_s).e(k_s, z_a)) dk_s dk_y = 0 \quad r_s \in \text{ouverture} \quad (\text{III.9})$$

La première étape dans la solution de méthode des moments d'équations (8) et (9) consiste à étendre à la fois le courant de correction $j(k_s)$ et de l'ouverture champ $E(k_s, z_a)$ comme

$$j(k_s) = \sum_{n=0}^n a_n \begin{bmatrix} J_{xn}(r_s) \\ 0 \end{bmatrix} \sum_{m=1}^M b_m \begin{bmatrix} 0 \\ J_{jm}(r_s) \end{bmatrix} \quad (\text{III.10})$$

$$E(r_s, z_a) = \sum_{p=1}^P C_p \begin{bmatrix} E_{xp}(r_s) \\ 0 \end{bmatrix} + \sum_{q=1}^Q d_q \begin{bmatrix} 0 \\ E_{yq}(r_s) \end{bmatrix} \quad (\text{III.11})$$

Où J_{xn}, J_{ym}, E_{xp} et E_{yq} sont les fonctions de base connues et $a_n, b_m, C_p,$ et d_q sont les coefficients d'expansion de mode à recherché. En utilisant la technique dite de la méthode des moments [62], avec des modes de pondération choisie identique à l'expansion les modes, les équations (8) et (9) sont réduits à un système d'équations linéaires qui peut être écrit de manière compacte sous forme matricielle

$$\begin{bmatrix} \begin{bmatrix} (\bar{U}^{11})_{N \times N} & (\bar{U}^{12})_{N \times M} \\ (\bar{U}^{21})_{M \times N} & (\bar{U}^{22})_{M \times M} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} (\bar{V}^{11})_{N \times P} & (\bar{V}^{12})_{N \times Q} \\ (\bar{V}^{21})_{M \times P} & (\bar{V}^{22})_{M \times Q} \end{bmatrix} \\ \begin{bmatrix} (\bar{W}^{11})_{P \times N} & (\bar{W}^{12})_{P \times M} \\ (\bar{W}^{21})_{Q \times N} & (\bar{W}^{22})_{Q \times M} \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} (\bar{Z}^{11})_{P \times P} & (\bar{Z}^{12})_{P \times Q} \\ (\bar{Z}^{21})_{Q \times P} & (\bar{Z}^{22})_{Q \times Q} \end{bmatrix} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} (a)_{N \times 1} \\ (b)_{M \times 1} \\ (c)_{P \times 1} \\ (d)_{Q \times 1} \end{bmatrix} = 0 \quad (\text{III.12})$$

III-2-2-1/ Calcul De La Fréquence De Résonance Et La Bande Passante :-

Les éléments de le matrice $(\bar{U})_{(N+M) \times (N+M)}, (\bar{V})_{(N+M) \times (P+Q)}, (\bar{W})_{(P+Q) \times (N+M)},$ et $(\bar{Z})_{(P+Q) \times (P+Q)}$ sont donnés dans [62]. Il est facile de montrer que la matrice entière dans l'équation (12) est une matrice symétrique. L'existence d'une solution non triviale de l'équation (12), nous devons avoir

$$\text{Det}(\bar{Q}(f)) = 0 \quad \bar{Q} = \begin{bmatrix} \bar{U} & \bar{V} \\ \bar{W} & \bar{Z} \end{bmatrix} \quad (\text{III.13})$$

L'équation (13) est l'équation caractéristique pour la complexe fréquence de résonance $f = fr + ifi$ de la microbande généralisée la structure illustrée sur la Fig. 1. fr Est la fréquence de résonance et $2fi/fr$ est la largeur de bande passante de la structure.

III-2-2-2/ Choix Des Fonctions De Base :

La procédure de Galerkin consiste à développer la distribution des courants Surfiques en séries de fonctions. Théoriquement il existe plusieurs types et formes de base, Mais dans les études pratiques, le nombre de fonctions utilisées est limité, ces fonctions Doivent vérifier certaines considérations (par exemple il faut qu'elles soient en rapport direct Avec la géométrie du patch).

Généralement les fonctions sinusoïdales sont utilisées pour étudier les géométries Triangulaires et rectangulaires, alors que les fonctions de Bessel sont réservées aux formats Annulaires et circulaires.

Le choix de ces fonctions influe sur la vitesse de la convergence des résultats Numériques (le calcul de la fréquence de résonance) et le choix inexact de ces fonctions peut Donner des résultats erronés.

Dans notre étude, nous allons utiliser un types de fonction de base, pour développer la Distribution du courant surfacique, connus sur la plaque rectangulaire.

Le premier type de fonction de base est formé par l'ensemble des modes TM d'une Cavité rectangulaire avec murs latéraux magnétiques, ces modes sont donnés par:

$$J_{xk}(x, y) = \sin \left[\frac{K^2 \pi}{a} \left(x + \frac{a}{2} \right) \right] \cos \left[\frac{K^2 \pi}{b} \left(y + \frac{b}{2} \right) \right]$$

$$J_{ym}(x, y) = \sin \left[\frac{m_2 \pi}{b} \left(y + \frac{b}{2} \right) \right] \cos \left[\frac{m_1 \pi}{a} \left(x + \frac{a}{2} \right) \right]$$

Les courants donnés par les équations sont définis uniquement sur la plaque Rayonnante et nulle en dehors de cette dernière ; les couples (k_1, k_2) et (m_1, m_2) sont des Nombres entiers, le choix de ces nombres dépend du mode étudié. Dans notre étude, nous Nous intéressons au mode TM₀₁ qui possède un courant dominant dans la direction Y.

III-3/ SVM Pour Le Calcul De La Fréquence De Résonance Complexe (approche SVR):

III-3-1/ Choix De La Base De Données

Afin de pouvoir générer l'apprentissage du réseau, il est nécessaire de créer une base d'apprentissage. Comme l'apprentissage est supervisé, cette base doit contenir à la fois l'entrée du réseau et la sortie souhaitée. Une base de données, composée de 70 exemples est conçue à partir des résultats de l'algorithme de (fréquence de résonances) ainsi que par l'utilisation de la méthode de la phase stationnaire . Cette base de données est subdivisé par la suite entre un ensemble de teste et un autre d'apprentissage. Les deux bases de données, ainsi obtenues, doivent impérativement couvrir tout l'espace de fonctionnement. Dans notre cas la base d'apprentissage est composée de 50 exemples.

III-3-2/ L'apprentissage

L'apprentissage de ce type de réseau, consiste en un entraînement. On présente au réseau des entrées et on lui demande de modifier sa pondération de telle sorte que l'on retrouve la sortie correspondante. L'algorithme consiste dans un premier temps à propager vers l'avant les entrées jusqu'à obtenir une sortie calculée par le réseau. La seconde étape compare la sortie calculée à la sortie réel connue, l'erreur commise entre la sortie calculée et connue soit minimisée.

III-3-4/ Le Modèle Finale

Après avoir étudié toutes les dernières étapes, nécessaires à la modélisation par SVM, et après les nécessaires optimisations, on peut donc dire qu'on a abouti à notre modèle final, avec ses paramètres optimisés. C'est à partir des résultats trouvés par ce modèle qu'on va étudier les différentes caractéristiques de l'antenne fréquence de résonance complexe, bande passante, en fonction de ses paramètres physique et géométrique.

III.3.5. Comparaison des résultats obtenus par notre méthode (SVR) et ceux obtenus par d'autres méthodes :

Nous comparons à présent, nos résultats obtenus pour une antenne microbande rectangulaire, avec les résultats portés par d'autres scientifiques, qui sont tout donnés sur le tableau TAB(III.1).

Les paramètres d'entrée				Méthode conventionnelle (SDA)	Méthode Support vecteur regression (SVR)	Erreur relative
Wa (mm)	La (mm)	D (mm)	ϵ_r	La fréquence de resonance (GHz)	La fréquence de resonance (GHz)	(%)
2.5	3.7	1	2.35	10.814	10.569	2.31
3	3	1	2.35	8.817	8.571	2.87
3	4.5	1	2.35	8.530	8.283	2.98

Tableau III.2 : Comparaison de nos résultats(SVR) avec les résultats d'autres méthodes(SDA)

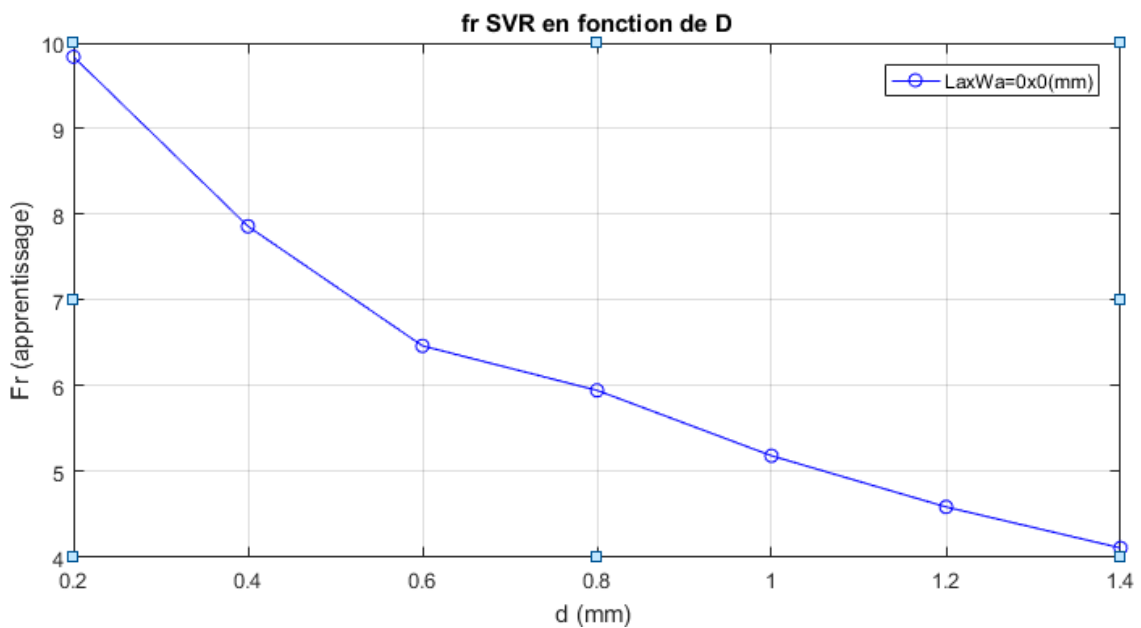
III. 4/ Discussion Et Interprétation Des Résultats:

III.4.1/ Variation de la fréquence de résonance complexe de l'antenne en fonction de $D(\text{mm})$, de W_p/d .

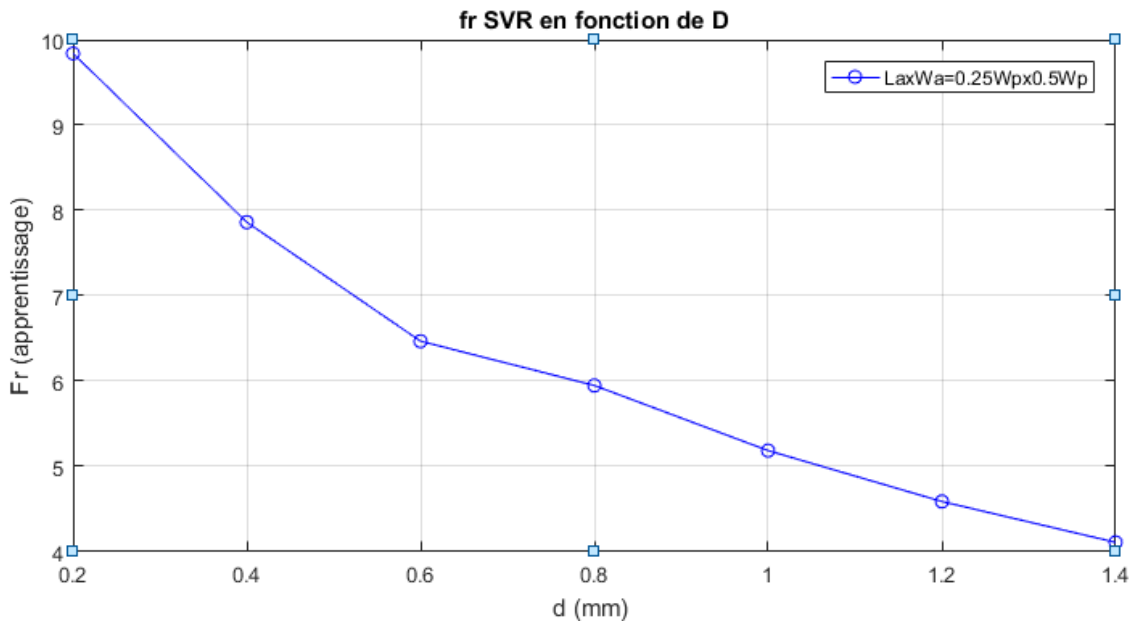
III.4.1.1.la partie réelle :

➤ La Fréquence d'apprentissage(SVR) réelle :

Les figures [FIG.III:2-3] montrent la variation de la fréquence d'apprentissage en fonction de l'épaisseur du substrat (d),et largeur de patch et ceci pour différentes valeurs de la Permittivité (ϵ_r). Pour montrer, à la fois, l'effet de l'épaisseur et de largeur de patch utilisés sur la fréquence de résonance de l'antenne, il est bien clair que l'augmentation de l'épaisseur (d) du substrat a pour effet de diminuer la fréquence d'apprentissage de l'antenne.

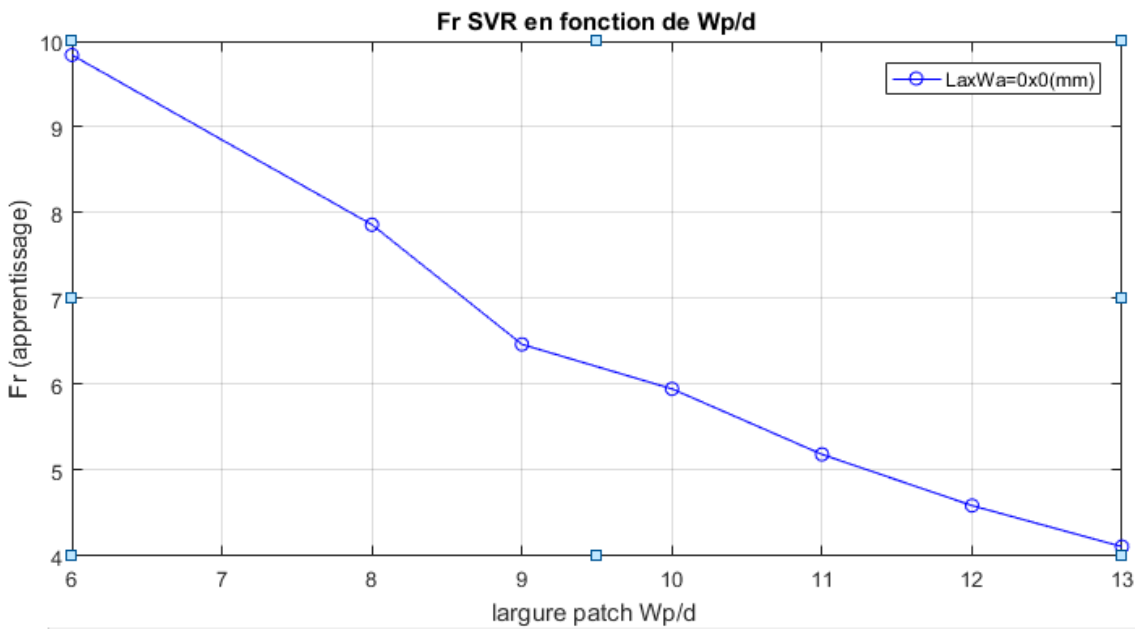


(a)

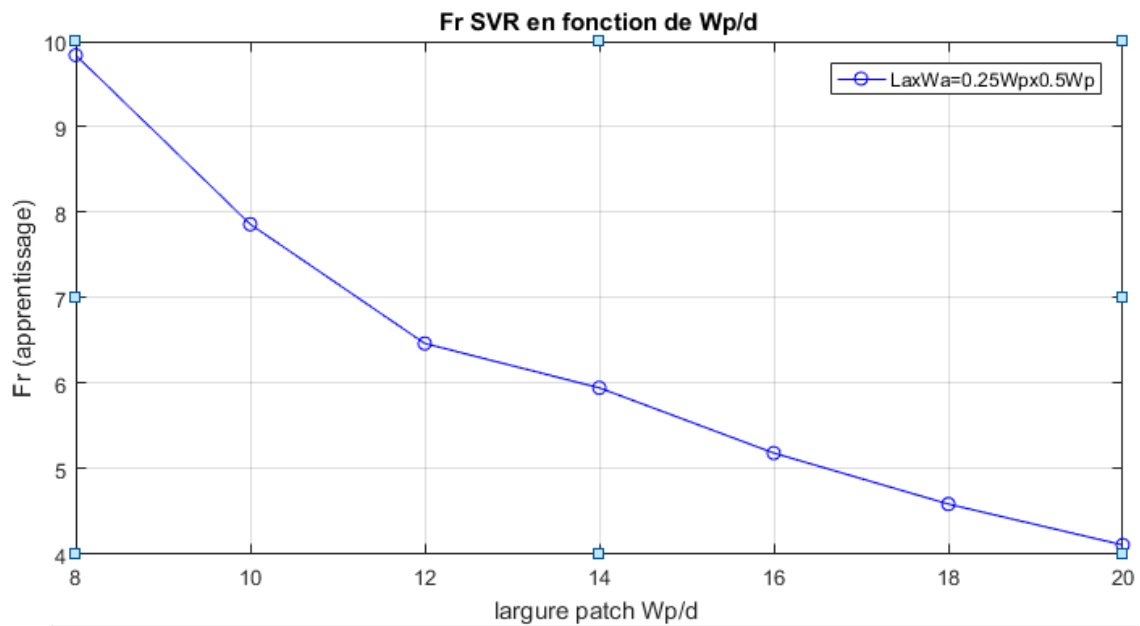


(b)

Fig. III .2. les fréquences de résonance(SVR) GHz de patches rectangulaires sur les plans de masse avec et sans ouvertures rectangulaires, **a)** $L_p=15, W_p=10, \epsilon_r=10.3$, **b)**, $\epsilon_r=2.35, L_p=1.5W_p$



(a)

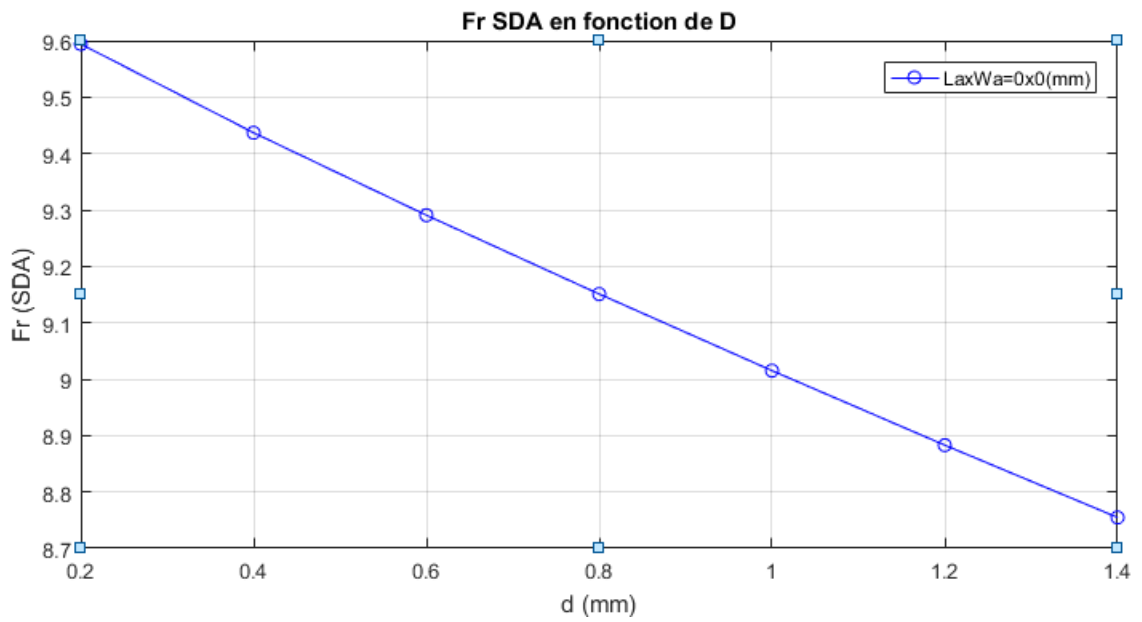


(b)

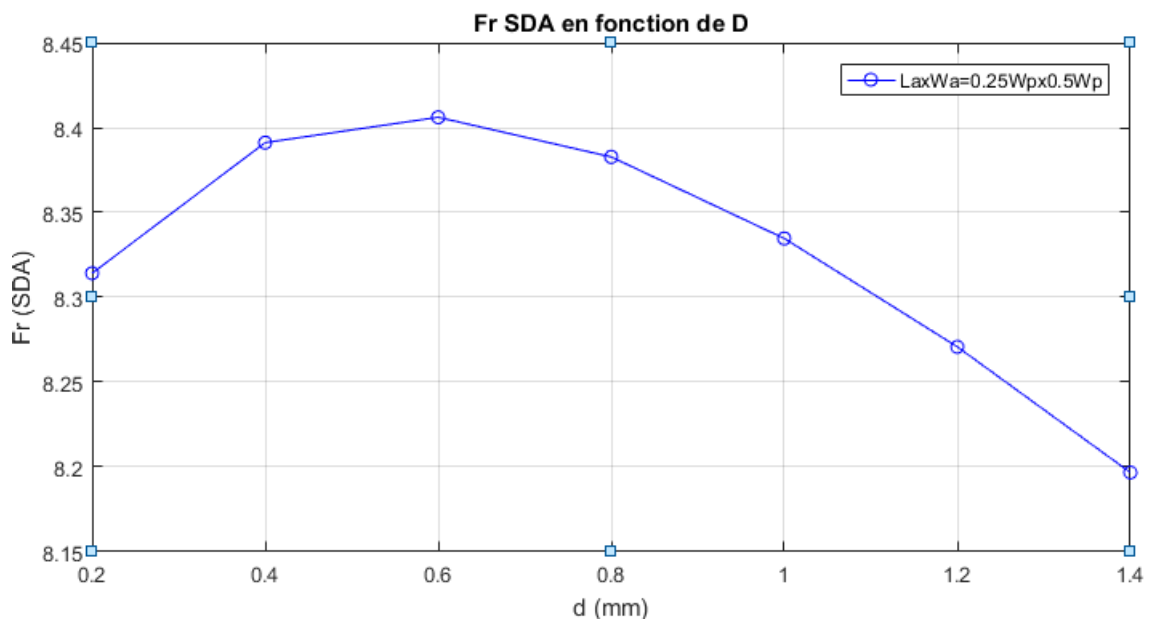
Fig. III .3. les fréquences de résonance(SVR) GHz de patches rectangulaires sur les plans de masse avec et sans ouvertures rectangulaires, **a)** $L_p=1.5W_p$, $\epsilon_r=2.35$, **b)**, $\epsilon_r=2.35, L_p=1.5W_p$

➤ **La Fréquence de résonance (SDA) :**

Les figures [FIG.III:4-5] montrent la variation de la partie réelle de la fréquence de Résonance en fonction de l'épaisseur du substrat (d), et ceci pour différentes valeurs de la Permittivité (ϵ_r) . Pour montrer, à la fois, l'effet de l'épaisseur et de largeur de patch utilisés sur la fréquence de résonance de l'antenne, il est bien clair que l'augmentation de l'épaisseur (d) du substrat et (W_p) a pour effet de diminuer la fréquence de résonance(SDA) de l'antenne.



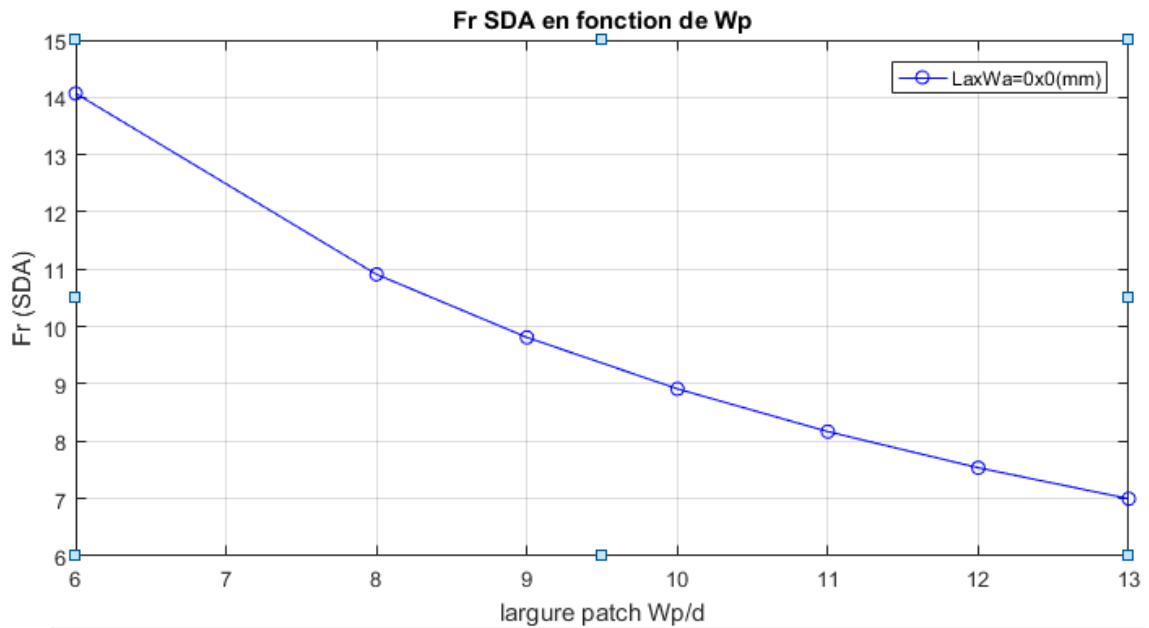
(a)



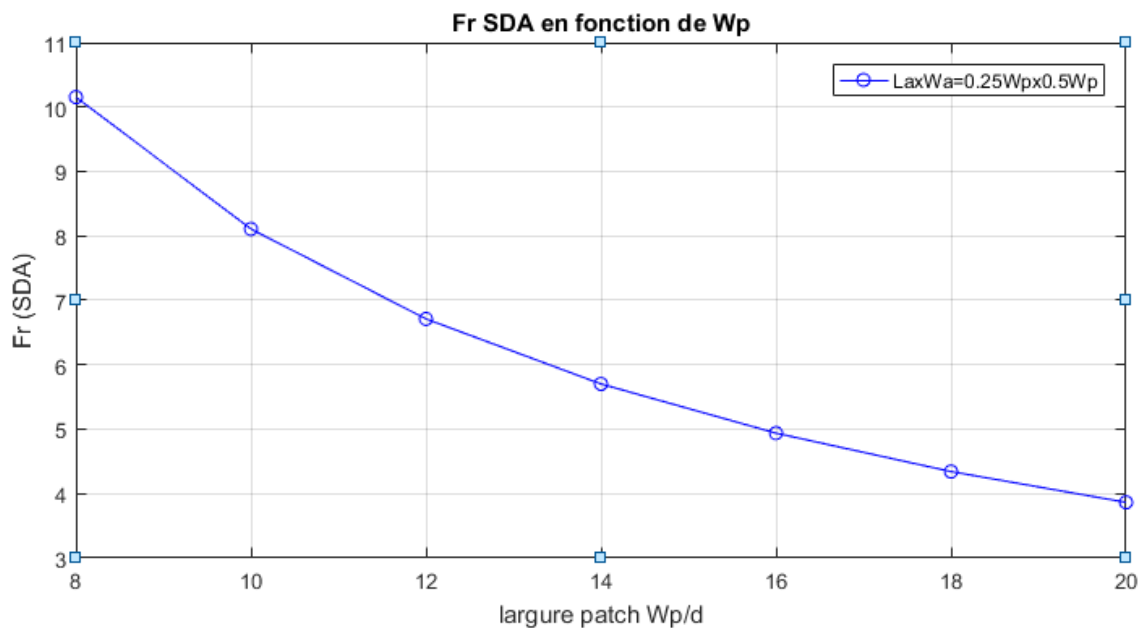
(b)

Fig. III .4. la partie réelle de la fréquence de résonance (SDA) GHz en fonction de (d)

A) $L_p=15, W_p=10, d=1(\text{mm}), \epsilon_r=10.3,$ **b)** $L_p=1.5W_p, \epsilon_r=2.35.$



(a)



(b)

Fig. III .5. la partie réelle de la fréquence de résonance(SDA) GHz en fonction de (Wp/d)

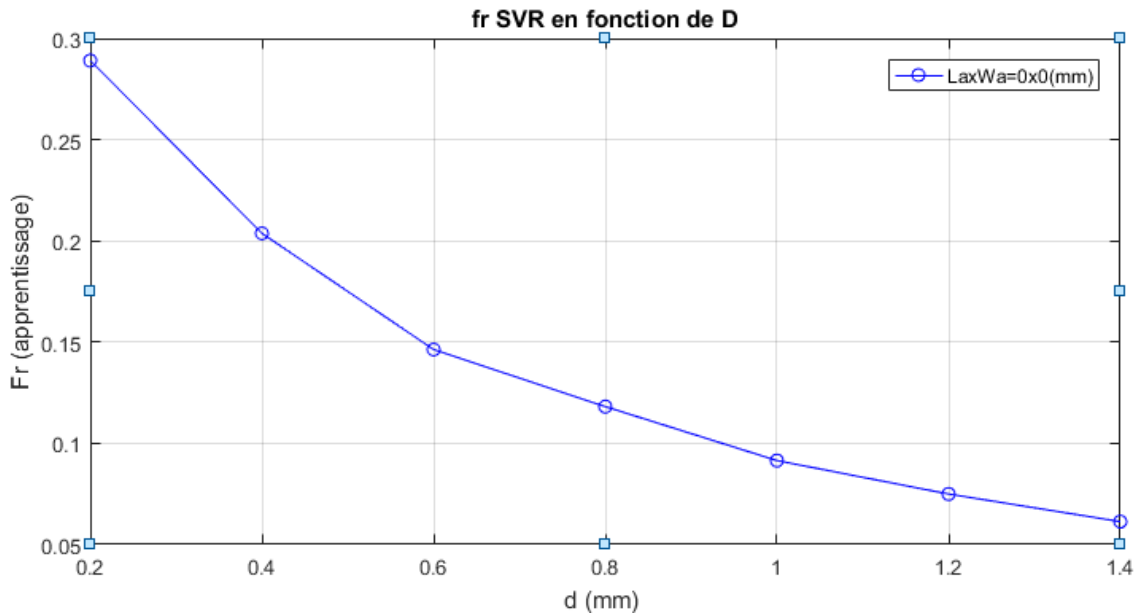
A) $L_p=1.5W_p, d=1(\text{mm}), \epsilon_r=2.35$, b) $L_p=1.5W_p, \epsilon_r=2.35$.

III.4.1.2. la partie imaginaire :

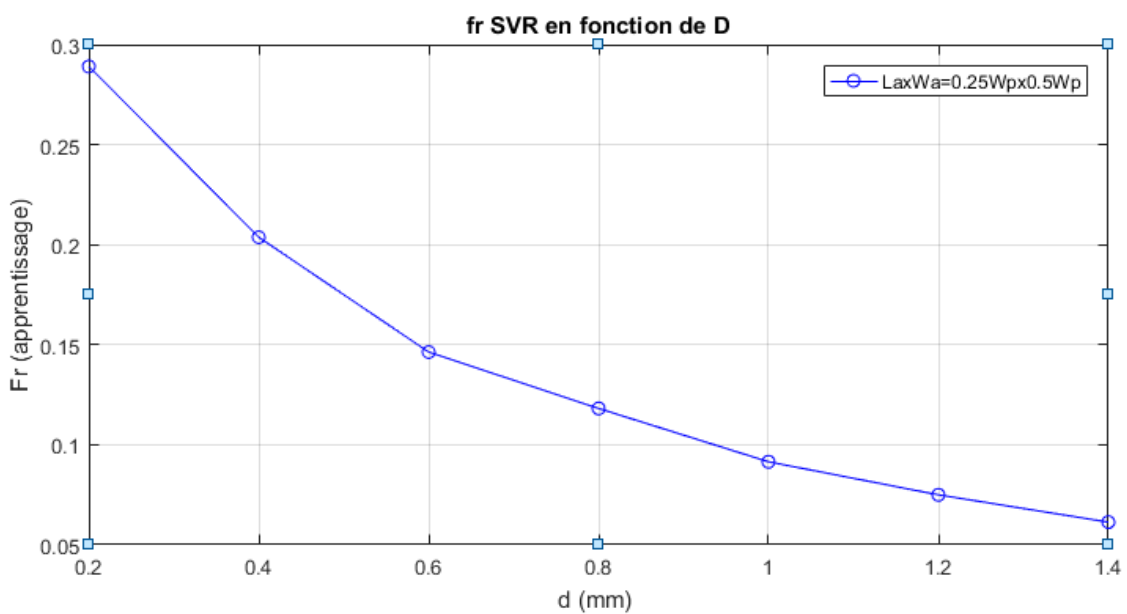
➤ **La Fréquence d'apprentissage(SVR) imaginaire :**

Les figures [FIG.III :6-7] montrent la variation de la fréquence d'apprentissage en fonction de l'épaisseur du substrat (d),et largure de patch et ceci pour différentes valeurs de la Permittivité (ϵ_r) . Pour montrer, à la fois, l'effet de l'épaisseur et de largure de patch utilisés sur

la fréquence de résonance(SVR) de l'antenne, il est bien clair que l'augmentation de l'épaisseur (d) du substrat et (W_p) a pour effet de diminuer la fréquence d'apprentissage de l'antenne.

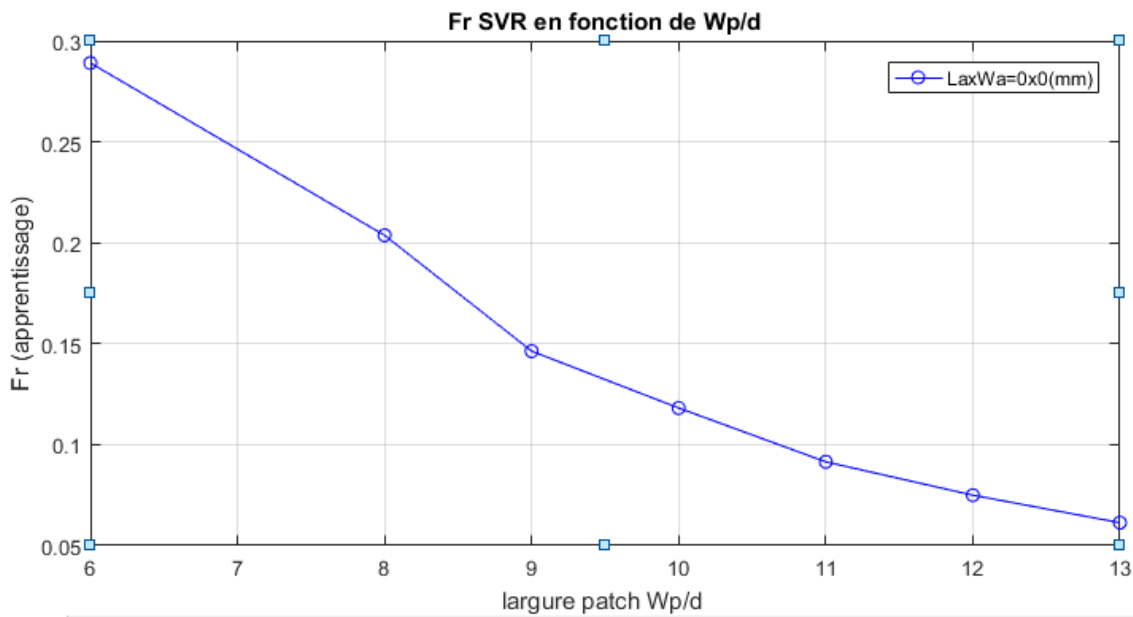


(a)

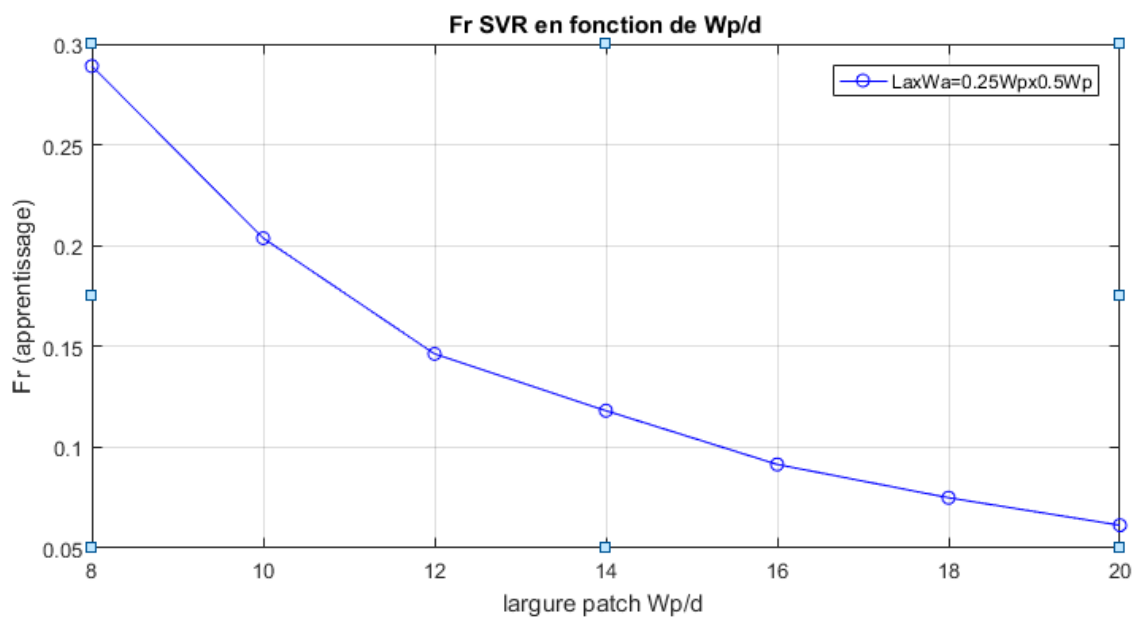


(a)

Fig. III .6. les fréquences de résonance(SVR) GHz de patches rectangulaires sur les plans de masse avec et sans ouvertures rectangulaires, **a)** $L_p=15, W_p=10, \epsilon_r=10.3$, **b)**, $\epsilon_r=2.35, L_p=1.5W_p$



(a)



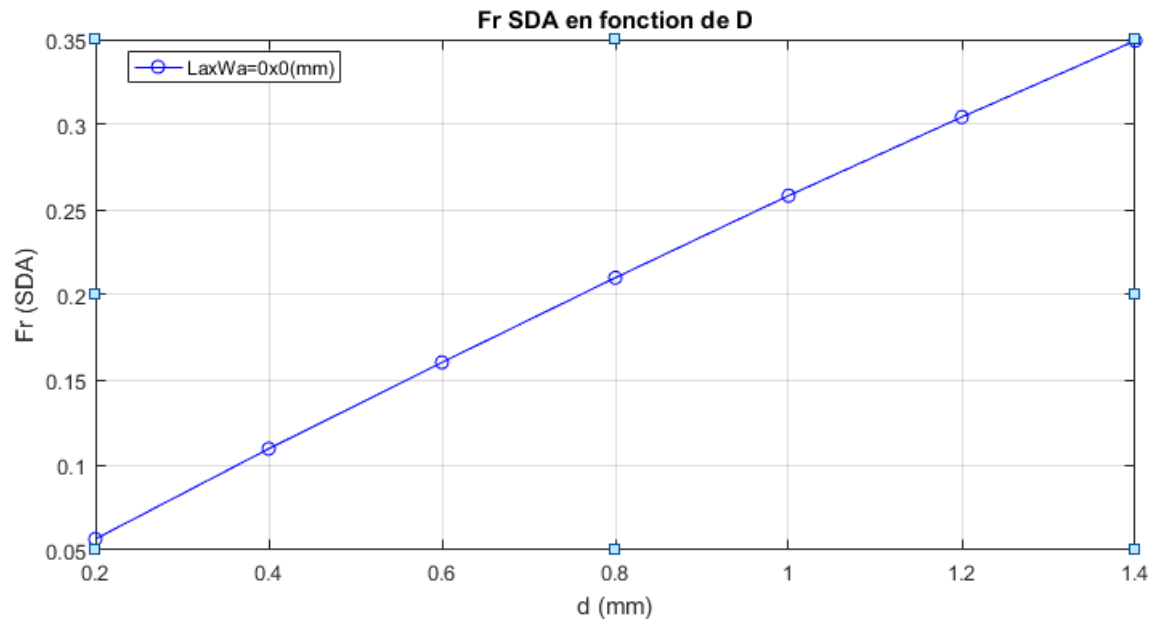
(b)

Fig. III .7. les fréquences de résonance(SVR) GHz de patches rectangulaires sur les plans de masse avec et sans ouvertures rectangulaires, **a)** $L_p=1.5W_p$, $\epsilon_r=2.35$, **b)**, $\epsilon_r=2.35, L_p=1.5W_p$

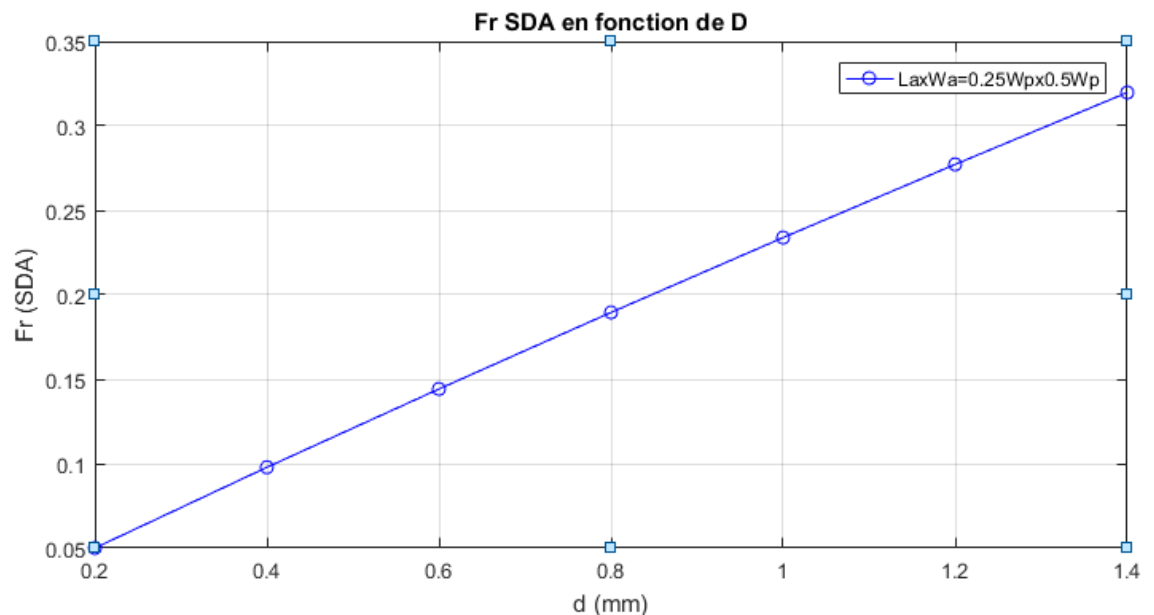
➤ **La Fréquence de resonance(SDA) imaginaire:**

Dans cette section, on entame l'étude de l'autre caractéristique importante de l'antenne Qui est la partie imaginaire de la fréquence qui représente les pertes par rayonnement de cette antenne.

Comme pour la fréquence de résonance (partie réelle), les figures [FIG.III: 8-9] Mettent en évidence la variation de la partie imaginaire de la fréquence en fonction de l'épaisseur (d) du substrat, et largeur de patch (W_p) pour différentes valeurs de sa permittivité (ϵ_r).



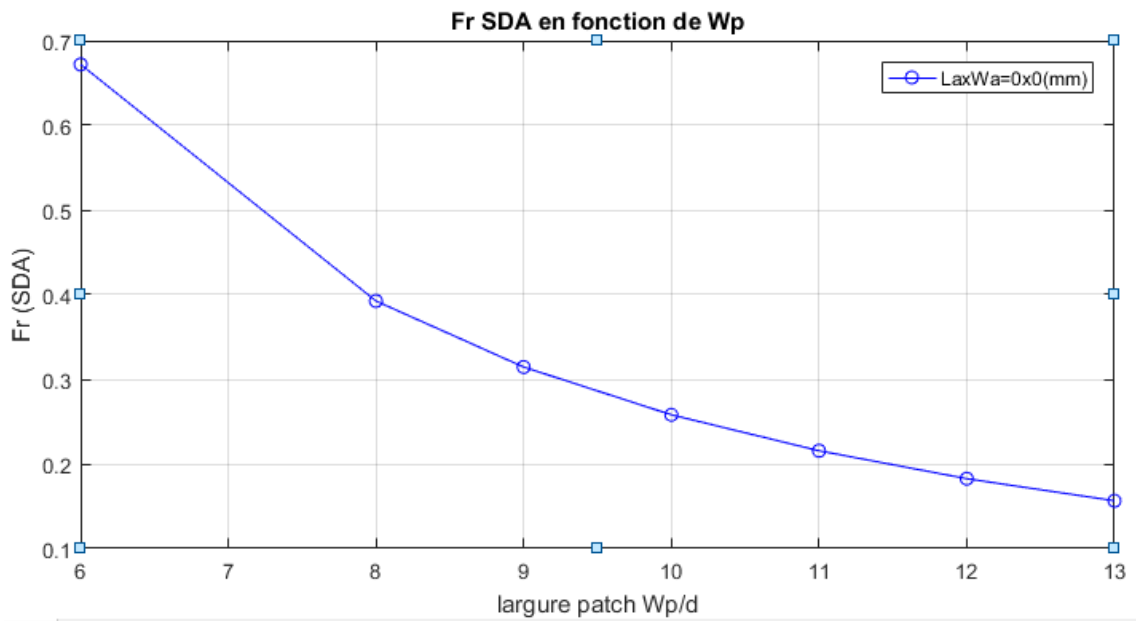
(a)



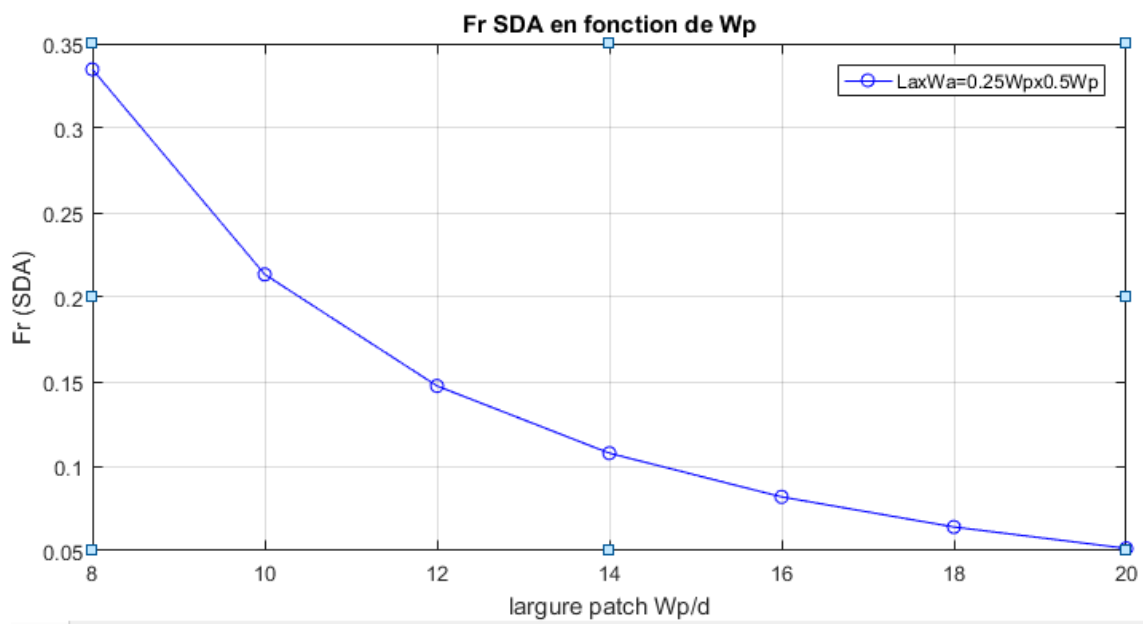
(b)

Fig. III .8. la partie imaginaire de la fréquence de résonance (SDA) GHz en fonction de (d)

a). $L_p=15, W_p=10, d=1(\text{mm}), \epsilon_r=10.3,$ b) $L_p=1.5W_p, \epsilon_r=2.35.$



(a)



(b)

Fig. III .9.la partie imaginaire de la fréquence de résonance (SDA) GHz en fonction de (Wp/d)

A) $L_p=1.5W_p, d=1(\text{mm}), \epsilon_r=2.35$, **b)** $L_p=1.5W_p, \epsilon_r=2.35$.

III.4.1.3. La Bande Passante :

L'influence de l'épaisseur (d) du substrat utilisé et de largeur de patch(W_p) sur la bande Passante de l'antenne réalisée est représentée sur les figures [FIG. III: 10-11]

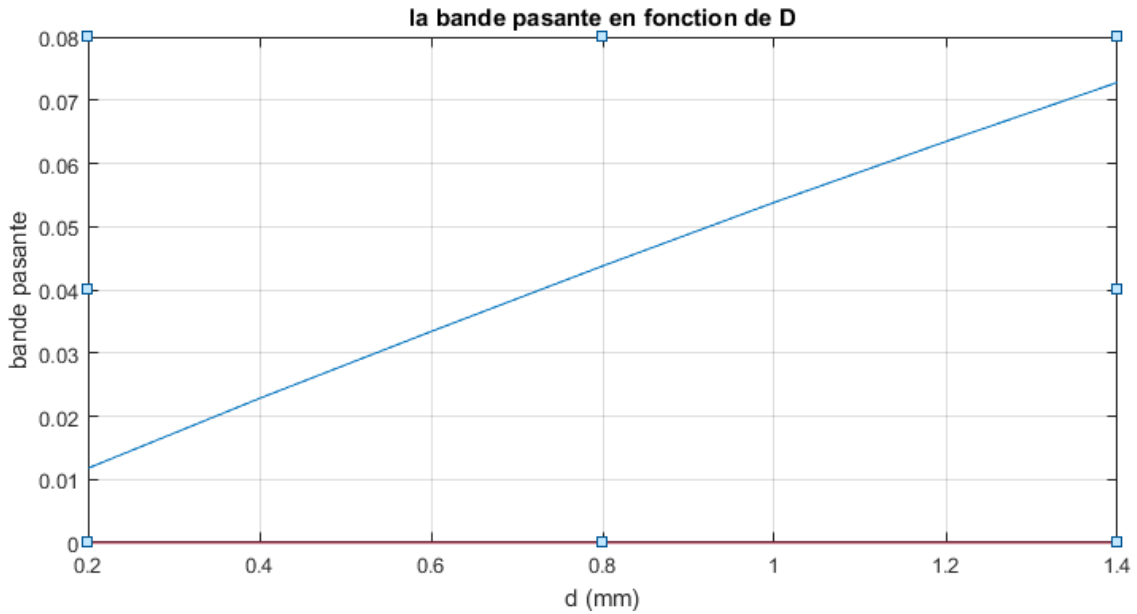


Fig. III .10. la bande passante en fonction de (d) **a).** $L_x W_a = 0 \times 0$ (mm) $L_p = 15, W_p = 10,$
 $d = 1$ (mm), $\epsilon_r = 10.3,$ **b)** $L_x W_a = 0.25 W_p \times 0.5 W_p$ $L_p = 1.5 W_p, \epsilon_r = 2.35.$

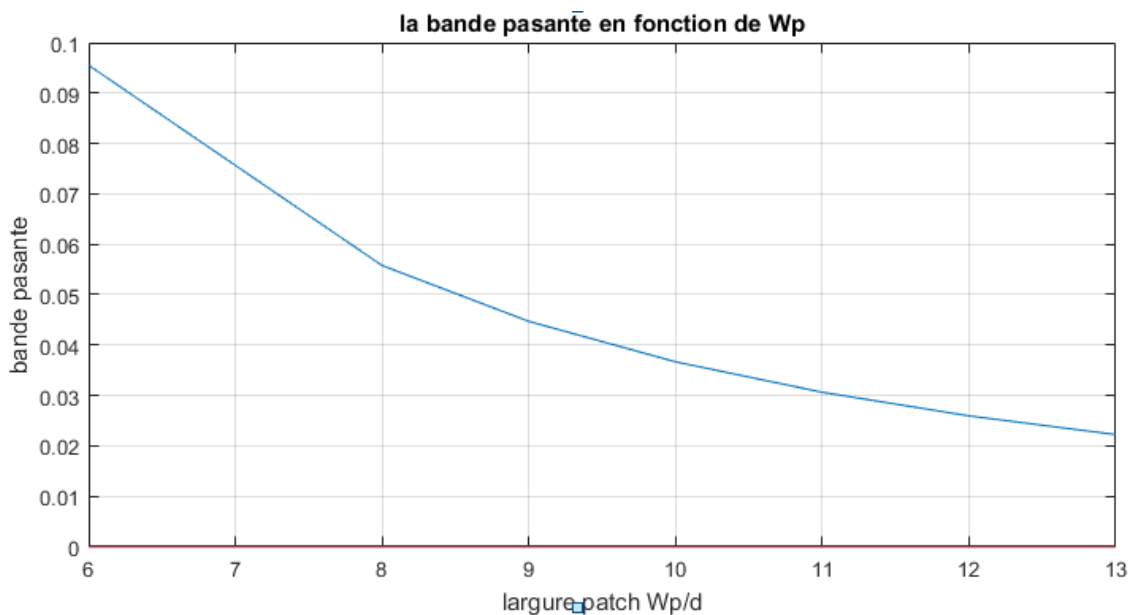


Fig. III .11. la bande passante en fonction de (W_p) **a).** $L_x W_a = 0 \times 0$ (mm) $L_p = 1.5 W_p, d = 1$ (mm),
 $\epsilon_r = 10.3,$ **b)** $L_x W_a = 0.5 W_p \times 0.25 W_p$ $L_p = 1.5 W_p, \epsilon_r = 2.35.$

III.5/Conclusion

Dans ce chapitre, des résultats, concernant la fréquence de résonance complexe, la Bande passante , pour une structure rectangulaire, ont été présentés en fonction des différents paramètres physiques et géométriques de l'antenne. Les effets de ces paramètres sur les caractéristiques, déjà citées, de l'antenne sont représentés en se basant sur les résultats obtenus à partir de la méthode svm,et un comparaison entre notre resultats obtenus et d'autres methodes

CONCLUSION GENERALE

Conclusion général

Conclusion générale

L'objectif essentiel de notre travail était d'étudier une antenne microbande de forme Rectangulaire avec et sans ouverture dans le plan de masse, selon la fréquence de résonance et la bande passante, en utilisant l'outil de simulation MATLAB basé sur la méthode de SVM.

Nous avons commencé par la présentation, la description, le mécanisme de fonctionnement, les avantages, et les inconvénients des antennes patches, ainsi que les différents types d'alimentation, et leurs applications, en plus le principe des méthodes d'analyses les plus utilisées dans le domaine des antennes.

La support vecteur regression sont très prometteurs pour la prediction et nous appliquons cette methode pour la prediction de la fréquence de résonance d'une antenne microbande ayant une ouverture dans le plan de masse.

L'étude d'une antenne microbande de forme rectangulaire avec une ouverture, où nous avons vérifié quelques résultats, les résultats obtenus sont:

- Les caractéristiques de l'antenne microbande sont liées directement à ses paramètres dimensionnels.
- La diminution de la longueur du patch augmente la fréquence de résonance.
- La fréquence de résonance augmente avec la diminution de largeur du patch.
- La directivité change en variant les dimensions du patch et les permittivités des Différentes couches du substrat.

Comme perspective, on peut étudier d'autre forme d'antenne circulaire ou triangulaire par exemple. L'utilisation des nouveaux matériaux comme les patch supraconducteur est envisageable.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographies

Bibliographies

- [1].E.Nazih Hamdiken, "analyse d'une antenne microbande circulaire par la méthode neurospectrale",2012
- [2] G. A. Deschamps, "Microstrip Microwave Antennas", presented at the Third USAF Symp, on Antennas, 1953.
- [3] H. Gutton and G. Baissinot, "Flat Aerial For Ultra High Frequencies", French Patent no. 703 113, 1955.
- [4] E. V. Byron, "A New Flush-Mounted Antenna Element For Phased Array Application", in Proc. Phased-Array Antenna Symp. 1970, pp. 187-192.
- [5] R. E. Munson, "Single Slot Cavity Antennas Assembly", U.S. Patent No. 3713 162, Jan. 23, 1973.
- [6] J. Q. Howell, "Microstrip Antennas", in Dig. Int. Symp. Antennas Propagat. SOC., Williamsburg, VA, Dec. 1972, pp. 177-180.
- [6] H. D. Weinschel, "Progress Report On Development Of Microstrip Cylindrical Arrays For Sounding Rockets", Physic. and Sci. Lab., New Mexico State Univ., Las Cruces, 1973.
- [8] G. W. Garvin, R. E. Munson, L. T. Ostwald, and K. G. Schroeder, "Low Profile Electrically Small Missile Base Mounted Microstrip Antennas", in Dig. Znt. Symp. Antennas Propagat SOC., Urbana, IL, June 1975. pp. 244-247.
- [9] J. R. James and G. J. Wilson, "New Design Techniques For Microstrip Antenna Arrays" in Proc. 5th European Micro. Conf., Hamburg, Sept. 1975, pp. 102-106.
- [10] G. Kumar and K. P. Ray, "Broadband microstrip antennas," Artech House Boston. London 2003.
- [11] V. Planisamy and R. Garg, " Analysis of arbitrarily shaped microstrip patch antennas using segmentation technique and cavity model," IEEE Transactions on Antennas and Propagations, Vol. AP-34, N°. 10, Octobre 1986.
- [12] CARVER (K.R.), MINK (J.W.) , " Microstrip antenna technology," IEEETrans. Ant.Propa vol29, N:1, June 1981, p. 2-24
- [13] GARDIOL (F.) , "Conception et réalisation de circuits microruban," Annales des Télécommunications,VOL43,n:5-6,1988, p. 220-236
- [14] C. A. Balanis, "Antenna theory analysis and design," 2eme edition John Wiley and Sons, 1997
- [15] Hubregt. J. Visser, "Array and phased array antenna basics, "Antenna Engineer, the Netherlands 2005.

Bibliographies

- [16] I. J. Bahl and P. Bhartia, "Microstrip antennas," Dedham, Ma: Artech House 1980.
- [17] D. M. Pozar, "Microstrip antennas," IEEE, Vol. 80, N° .1, pp. 79-91, January 1992
- [18] J .R. James and P. S. Hall, "Broadband microstrip antennas," IEE Electromagnetic Waves Series 28, 1989.
- [19] Y.Qian and al, "A microstript patch antenna using novel photonic band gap structures", Microwave J, vol.42, Jan1999, pp.66-67.
- [20] M. Diblang , " Développement du concept de l'antenne a résonateur bie pour la génération de la polarisation circulaire," Université de Limoges. Thèse de doctorat 20 mars 2006.
- [21] F. Najib , " Contribution à l'optimisation de la synthèse du lobe de rayonnement pour une antenne intelligente. Application à la conception de réseaux à déphasage, "Université de Limoges. Thèse de doctorat 24 Mai 2005.
- [22] E. H. Newman and P. Tulyathan, " Analysis of microstrip antennas using moment methods" IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol-AP 29, PP 47-53, Jan. 1981.
- [23] J. P. Daniel, G. Dubost, C. Terret, J. Citerne, and M. Drissi, " Research on planar antennas and arrays: " structures rayonnantes" " IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol35, no 1, PP 14-38, Feb. 1993.
- [24] I. J. Bah land P. E. Bhartia, Microstrip Antennas. Dedham, MA: Artech House, 1980.
- [25] K. F. Lee, K. Y. Ho, and J. S. Dahele, " Circular-disk microstrip antenna with an air gap" IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol AP 32, PP 880-884, Augb. 1984.
- [26] E. GIRARD, R. GILARD, "Utilisation des conditions de Floquet dans la FDTD pour l'étude des réseaux infinis d'antenne", INSA Rennes, 12èmes journées Nationales Micro-onde, 16-17-18 mai 2001-POITIERS.
- [27] G. poitau, B. Sauviac, G. Noyel, P. Pinard, "Modélisation FDTD de composants passifs à effet non réciproque. Validation et perceptives d'intégration", INSA Lyon.
- [28] A. Hafiane, "Etude du couplage d'antennes imprimées par la méthode des différences finies et extraction du modèle électrique," Université de Marne la Vallee Thèse de doctorat 10 mars 2003.
- [29] T. Itoh, "Numerical Techniques for Microwave and Millimeter-Wave Passive Structures," John Wiley & Sons, New York, USA, 1989.
- [30] V.N. Vapnik. Estimation of dependences based on empirical data. Nauka, Moscow, 1979 (traduction anglaise: Springer Verlag, Berlin, 1982).
- [31] S. Geman, E. Bienenstock, R. Doursat. Neural networks and the bias / variance dilemma. Neural Computation 4, pp. 1-58, 1992.

Bibliographies

- [32] V.N. Vapnik, A.Y. Chervonenkis. On the uniform convergence of relative frequencies of events to their probabilities. *Th. Prob. And its Applications*, 17(2), pp. 264-280, 1971.
- [33] I. Guyon, V. Vapnik, B. Boser, L. Bottou, S.A. Solla. Structural risk minimization for character recognition. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 4, pp. 471-479, 1992.
- [34] B. E. Boser, I. M. Guyon, V. N. Vapnik. A training algorithm for optimal margin classifiers. In D. Haussler, editor, *5th Annual ACM Workshop on COLT*, Pittsburgh, PA, pp. 144-152, ACM Press, 1992.
- [35] C. Cortes, V. Vapnik. Support vector networks. *Machine Learning*, 20, pp. 273-297, 1995.
- [36] K. R. Müller, A. Smola, G. Rätsch, B. Schölkopf, J. Kohlmorgen, V. Vapnik. Predicting time series with support vector machines. In *Proceedings of the International Conference on Artificial Neural Networks*, pp. 999-1004, Springer Lecture Notes in Computer Science, vol. 1327, 1997.
- [37] A. Smola, B. Schölkopf, K.R. Müller. General cost functions for support vector regression. In *Proceedings of the Ninth Australian Conference on Neural Networks*, Brisbane, Australia, pp. 79-83, 1998.
- [38] N. Cristianini, J. Shawe-Taylor. *Support Vector Machines and other Kernel-based Learning Methods*. Cambridge University Press, 2000.
- [39] B. Schölkopf, K. Sung, C. Burges, F. Girosi, P. Niyogi, T. Poggio, V. Vapnik. Comparing support vector machines with Gaussian kernels to radial basis function classifiers. *IEEE Transaction on Signal Processing*, Vol. 45, pp. 2758-2765, 1997.
- [40] H. Drucker, C.J.C. Burges, L. Kaufman, A. Smola, V. Vapnik. Support Vector Regression Machines. In *Advances in Neural Information Processing Systems*, Vol. 9, pp. 155-161, 1997.
- [41] A. Tezmol, H. Sari-Sarraf, S. Mitra, R. Long. "Customized Hough Transform for Robust Segmentation of the Cervical Vertebrae from X-Ray Images". *SSIAI2002, Proc. IEEE* 1537, pp.224-228, 2002.
- [42] Vapnik VN *the nature of statistical learning theory* springer – Verlag New York 1995.
- [43] VapnikVN *statistical learning theory*. Wiley New York ,1998.
- [44] Chappelle.O, Haffner.P, Vapnik VN, Support vector machines for histogram-based image classification. *IEEE Transaction on Neural Networks* **10:1055-1064, 1999.**
- [45] Drucker N, Donghui W, Vapnik VN Support vector machines for spam categorization. *IEEE Transaction on Neural Networks* 10:1048-1054,**1999.**

Bibliographies

- [46] Hua.S, Sum.Z, A novel method of protein secondary structure prediction with high segment overlap measure: support vector machine approach. *Journal of molecular Biology* 308:397-407,**2001**.
- [47] Mukkamala.S Sung AH, Abraham.A Intrusion detection using an ensemble of intelligent paradigms. *Journal of Network and Computer Applications*, In Press, **2004**.
- [48] Norinder.U Support vector machine models in drug design: application to drug transport processes and QSAR using simplex optimisation and variable selection. *Neuro computing* 55:**337-346,2003**.
- [49] Russo.G, Zegar.C, Giordanoa advantages and limitations of microarray technology in human cancer.*oncogene*.22:6497-6507, 2003.
- [50] Slonim.Dk from pattern to path ways: gene expression data analysis comes of age. *Nature Genetic suppl.* **32:502-508,2002**.
- [51] VapnikVN statistical learning theory. Wiley New York ,1998.
- [52] Campanini, R et al, “A novel approach to mass detection in digital mammograms”. In *Proc. of the 6th Int. Workshop on Digital Mammography* ,2002.
- [53] El-Naqa, I., Yongyi Yang, Wernick, M.N., Galatsanos, N.P., Nishikawa, R.: Support vector machine learning for detection of microcalcifications in mammograms. In: *Biomedical Imaging, Proceedings. 2002 IEEE International Symposium on*, pp. 201--204, 2002.
- [54].Mme Benyahia souad "qpplication de la classe des methods d'apprentissage statistique SVM",2012.
- [55] Benjamin M. HOWE, B.S., B.S.E.E.,” Segmentation of cervical and lumbar vertebrae in X-ray images using active appearance models and extensions », Thèse de Master,Université Texas tech,2003.
- [56]. <http://wikistat.fr/> ,20 mai 2016
- [57] Marc luca“Modelisation dynamique par machines a vecteurs supports”,2006.
- [58] A.J. Smola, B. Scholkopf. A tutorial on support vector regression. *NEUROCOLT Technical Report NC-TR-98-030*, Royal Holloway College, London, 1998.
- [59] O. Chapelle, V.N. Vapnik, O. Bousquet, S. Mukherjee. *Choosing Multiple Parameters for Support Vector Machines*. Springer, 2002.
- [60] www.mathzorks.com .,23 mai 2016
- [61] Fortaki, T.; Khedrouche, D.; Bouttout, F.; Benghalia, A.: Numerical analysis of rectangular microstrip patch over ground plane with rectangular aperture. *Commun. Numer. Methods Eng.*, 20 (6) (2004), 489–500.

Bibliographies

[62] Fortaki, T.; Benghalia, A.: Rigorous full-wave analysis of rectangular microstrip patches over ground planes with rectangular apertures in multilayered substrates that contain isotropic and uniaxial anisotropic materials. *Microw. Opt. Technol. Lett.*, 41 (6) (2004), 496–500.

Résumé

L'objectif principal de notre travail est de prédire la fréquence complexe d'une antenne microbande rectangulaire ayant une ouverture dans le plan de masse.

La méthode utilisée pour la prédiction est SVR.

Nous étudions l'influence des paramètres géométriques de l'antenne sur la fréquence de résonance et sur la bande passante. Les paramètres que nous avons étudiés : l'épaisseur, la largeur du patch, et la permittivité du substrat.

Mots clés: antenne microbande rectangulaire, méthode SVM.

ABSTRACT

The main objective of our work is to predict the frequency of a rectangular microstrip antenna with a complex opening in the ground plane.

The method used for the prediction is SVR.

We study the influence of geometric parameters of the antenna on the resonance frequency and bandwidth. The parameters that were studied: the thickness, the width of the patch, and the substrate permittivity.

Keywords: rectangular micro strip antenna, SVM method.

ملخص:

الهدف الرئيسي لعملنا هذا هو التنبؤ بترددات الرنين للهوائي مدقق مستطيل الشكل له فتحة على مستوى السطح الارضي والطريقة المستخدمة لهذا التنبؤ هي SVR

نقوم بدراسة تأثير المتغيرات الهندسية للهوائي على تردد الرنين وعرض النطاق الترددي. المعايير التي تمت دراستها هي: سمك، وعرض العنصر المشع، وسماحية الطبقة العازلة.