



Université ABBES LAGHROUR Khenchela
Faculté des Sciences et de la Technologie
Département de Génie Industriel
جامعة عباس لغرور خنشلة
كلية العلوم والتكنولوجيا
قسم الهندسة الصناعية



N° Série:

Mémoire de fin d'étude

Présenté pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

THEME

**Étude et Simulation d'une Antenne Patch
Rectangulaire sur un Substrat Isotrope ou
Anisotrope en Utilisant Les Réseaux Neurones
Artificielles sous MATLAB**

Réalisées par : - REBIBA Soumia

- AOUAIDJIA Ghania

Devant Le Jury :

Président:

Dr. KHEZZAR Zaki Aissam

Rapporteur:

Pr. HASSAD Mourad

Examinatrice:

Dr. FERHA Souad

Promotion 2022/2023

Remerciements

Nous remercions tout d'abord, Allah qui nous a donné la force et le courage afin de parvenir à élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à remercier notre encadreur : Mr. HASSAD MOURAD pour nous avoir offert un cadre de travail agréable et un encadrement de qualité et pour l'intérêt qu'il a bien voulu porter à ce travail en acceptant de faire partie du jury.

Enfin, nous remercions tous nos enseignants du département de télécommunication de l'université ABBES LAGHROUR KHENCHELA, sans oublier de citer tous les enseignants qui ont contribué à notre formation depuis l'école primaire jusqu'aux études universitaires.

Dédicaces

On a l'immense honneur de dédier ce mémoire :

À nos très chers parents qui étaient présents de nos côtés durant toute notre vie.

À nos frères et nos sœurs.

À mes très chers amies et collègues.

À tous mes connaissances.

À tous mes enseignants qui ont fait leurs possibles pour nous donner le maximum d'informations concernant notre étude.

À tous la promotion 2023.



Table des matières

Tables des matières

Tables des matières

Tables des matières.....	I
Liste des figures:.....	IV
Liste des tableaux:	VII
Introduction générale.....	1

Chapitre I: Généralité Sur Les antennes

I.1. Introduction	5
I.2. Généralité sur les antennes	5
I.3 Caractéristiques des antennes.....	6
I.4 Paramètres important de l'antenne	6
I.4.1 Bande passante fréquentielle	7
I.4.2 Impédance d'entrée de l'antenne :.....	7
I.4.3 Diagramme de rayonnement :.....	9
I.4.4 Polarisation:	11
I.4.5. le gain:	11
I.4.6 Directivité :.....	12
I.4.7 Rendement :.....	12
I.4.8 Bande Passante	13
I.5 Le Modèle de Cavité :.....	13
I.6 Le Facteur De Qualité :.....	14
I.6. EXEMPLES	15
I.6.1. Dipôle imprimé.....	15
I.6.2. Antenne imprimée sur substrat diélectrique	16
I.7 Avantages et inconvénients des antennes imprimées.....	18
I.8 Application des antennes:.....	19
I.9 ANALYSE DE L'ALIMENTATION D'UN PATCH.....	19
I.9.1 Influence de l'épaisseur du substrat h sur la bande passante.....	21

Tables des matières

I.9.2. Influence de l'épaisseur du substrat sur la fréquence de résonance	22
Conclusion	23

Chapitre II: Les réseaux de Neurones

II.1 Introduction:.....	26
II.2 Historique:	26
II.2.1 Les réseaux de neurones bouclés(Dynamiques).....	27
II.2.2 Réseaux à connexion récurrents	27
II.2.3 Réseau à connexion complet.....	27
II.2.4 Les réseaux de neurones non bouclés (statistique).....	28
II.2.5 Réseau monocouche.....	28
II.2.6 Réseaux multicouche.....	28
II.2.7 Réseaux à connexion local	29
II.3 L'apprentissage des réseaux de neurones	29
II.3.1 Apprentissage supervisée	30
II.3.2 Apprentissage non supervisée	30
II.4 Fonction d'activation	30
II.4.1 Fonction binaire à seuil	30
II.4.2 Fonction linéaire.....	31
II.4.3 Fonction a seuil ou à multi seuil.....	31
II.4.4 Fonction sigmoïde	32
II.5 Modélisation par les réseaux de neurones artificiels (RNA)	33
II.5.1 Pourquoi Les Réseaux De Neurones Artificiels:	33
II.6 Neurone Biologique : Structure et Rôle.....	35
II.7 Quelques applications	38
II.8 Les réseaux de neurones artificiels en pratique	40

Chapitre III: Discussion des résultats numériques obtenus

III.1. INTRODUCTION	44
---------------------------	----

Tables des matières

Résultats numériques:.....	45
III.Conclusion :.....	55
Conclusion générale:	58
Résumé:	60

Liste des figures

Liste des figures:

Figure 1: Rayonnement d'une antenne.....	5
Figure 2: Antenne émettrice	8
Figure 3: Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne	10
Figure 4: DDR des antennes (a) Omnidirectionnel (b) Directionnel et (c) Isotrope	10
Figure 5: Type des polarisations : a) linéaire, b) elliptique. c) circulaire.....	11
Figure 6: Dipôle imprimé alimenté par ligne couplée.....	15
Figure 7: Antenne imprimé sur son mode fondamental TM ₁₀	17
Figure 8: Constitution d'une antenne imprimée	17
Figure 9: Diverses géométries du conducteur métallique	18
Figure 10: Ligne d'alimentation au même niveau.....	20
Figure 11: Ligne d'alimentation « enterrée »	20
Figure 12: Alimentation coaxiale d'une antenne patch sur un substrat diélectrique	21
Figure 13: Variation de la bande passante en fonction de la hauteur du substrat.....	22
Figure 14: Connexion récurrents	27
Figure 15: Connexion complet	27
Figure 16: Réseaux monocouche.....	28
Figure 17: Réseaux multicouche	29
Figure 18: Réseaux à connexion local.....	29
Figure 19: Fonction de Heaviside et désigne.....	31
Figure 20: Fonction linéaire	31
Figure 21: Fonction a seuil	32
Figure 22: Fonction sigmoïde.....	32
Figure 23: FIG (II-1) : Les tâches que le réseau de neurones peut accomplir: (1) classification de modèle. (2) Regrouper /catégorisation. (3) approximation de fonction. (4) prévision/prédiction. (5) optimisation. (6) récupération par le contenu.....	34

Liste des figures

Figure 24: Schéma d'un perceptron multi-couches illustrant l'estimation de l'âge au décès à partir de l'observation de critères osseux de la surface sacro-pelvienne iliaque.....37

Figure 25: fréquence de résonance réelle normalise dune antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $\epsilon_x=2,35$ $\epsilon_z=2,35$, a=15mm b=10mm45

Figure 26: fréquence de résonance imaginaire normalise dune antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $\epsilon_x =2,35$ $\epsilon_z=2,35$, a=15mm b=10mm45

Figure 27: fréquence de résonance réelle normalise dune antenne patch rectangulaire en fonction d/b , pour $\epsilon_x=2,35$ $\epsilon_z=2,35$ a=15mm b=10mm.....46

Figure 28: fréquence de résonance réelle normalise dune antenne patch rectangulaire en fonction de d/b , pour $\epsilon_x=2,82$ $\epsilon_z=2,35$ a=15mm b=10mm47

Figure 29: fréquence de résonance réelle normalise dune antenne patch rectangulaire en fonction de d/b , pour $\epsilon_x=1,88$ $\epsilon_z=2,35$ a=15mm b=10mm47

Figure 30: fréquence de résonance imaginaire normalise dune antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $\epsilon_x= 2,35$ $\epsilon_z= 2,35$ a= 15mm b=10mm48

Figure 31: fréquence de résonance imaginaire normalise d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b, pour a=15mm b=10mm $\epsilon_x=2,82$ $\epsilon_z=2,82$ 48

Figure 32: fréquence de résonance imaginaire normalise dune antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour, a=15mm b=10mm $\epsilon_x=1,88$ $\epsilon_z=2,35$ 49

Figure 33: la bande passante % d'une patch rectangulaire en fonction de d/b pour a=15mm b=10mm $\epsilon_x= 2,35$ $\epsilon_z=2,35$ 49

Figure 34: la bande passante (%) d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour a=15mm b=10mm $\epsilon_x=2,82$ $\epsilon_z=2,35$50

Figure 35: la bande passante (%) d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour a=15mm b=10mm $\epsilon_x=1,88$ $\epsilon_z=2,35$50

Figure 36: fréquence de résonance réelle normalise d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour ; a=15mm b=10mm $\epsilon_x=7$ $\epsilon_z=7$ 51

Figure 37: fréquence de résonance réelle normalise d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour ; a=15mm b=10mm $\epsilon_x=8,4$ $\epsilon_z=7$ 51

Figure 38: fréquence de résonance réelle normalise d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour, a=15mm b= 10mm $\epsilon_x =5,6$ $\epsilon_z =7$ 52

Figure 39: fréquence de résonance imaginaire normalise d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour , a=15mm , b=10mm $\epsilon_x = 7$, $\epsilon_z = 7$ 52

Liste des figures

- Figure 40: fréquence de résonance imaginaire normalise d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $a=15\text{mm}$ $b=10\text{mm}$, $\epsilon_x=8,4$ $\epsilon_z=7$ 53
- Figure 41: la bande passante(%)d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour, $a=15\text{mm}$ $b=10\text{mm}$ $\epsilon_x=7$ $\epsilon_z=7$ 53
- Figure 42: la bande passante(%) d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $a=15\text{mm}$ $b=10\text{mm}$ $\epsilon_x=8,4$ $\epsilon_z=7$ 54
- Figure 43: la bande passante (%) d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $a=15\text{mm}$ $b=10\text{mm}$ $\epsilon_x=5,6$ $\epsilon_z=7$54

Liste des tableaux

Liste des tableaux:

Tableau 1: La fréquence de résonance d'une structure à faible et à forte épaisseur avec $\epsilon_r = 2,33$	23
---	----



Introduction

générale

Introduction générale

Introduction générale

La montée en puissance des technologies de communication a conduit à une demande accrue d'antennes plus efficaces et moins encombrante. En raison de leur simplicité de conception, de leur faible coût et de leurs performances satisfaisantes profil bas, les antennes patch rectangulaires sont largement utilisées dans de nombreuses applications. Cependant, en raison de la multitude de facteurs à prendre en compte, l'optimisation des paramètres d'une antenne patch a devenu un défi complexe.

Les antennes patch rectangulaires présentent plusieurs avantages, notamment, leur légèreté, leur fabrication peu coûteuse et leur intégration facile avec d'autres circuits électroniques. Ils sont couramment utilisés dans les applications de communication sans fil telles que les téléphones portables, les réseaux Wifi, les systèmes radar, les systèmes de positionnement global (GPS) et les communications par satellite.

Il existe plusieurs variantes d'antennes patch rectangulaires, notamment les antennes patch imprimées, les antennes patch à fentes, les antennes patch multi-bandes, etc. Chaque variante est optimisée pour répondre à des exigences spécifiques en matière de fréquence et de bande passante.

Les réseaux de neurones dans l'étude et la simulation d'antennes patch rectangulaires nécessitent des ensembles de données adéquats pour former le réseau, ainsi qu'une modélisation précise des propriétés électromagnétiques de l'antenne. De plus, un apprentissage dans les réseaux de neurones, l'ingénierie des antennes et l'électromagnétisme est nécessaire pour mettre en œuvre efficacement et correctement ces approches.

Les réseaux de neurones peuvent être utilisés pour prédire les performances d'une antenne patch rectangulaire avant sa fabrication. En formant un réseau de neurones sur un ensemble de données contenant les propriétés géométriques de l'antenne et les performances correspondantes (par exemple, le gain, le diagramme de rayonnement), le réseau peut être utilisé pour prédire les performances d'une nouvelle antenne en fonction de sa conception.

Dans ce mémoire, nous nous concentrons sur l'utilisation des réseaux de neurones artificiels (RNA) pour l'étude et la simulation d'une antenne patch rectangulaire imprimée sur un substrat isotrope et anisotrope. Notre objectif est de développer un modèle basé sur les RNA qui peut prédire les performances de l'antenne pour différentes configurations de

Introduction générale

substrat, qu'il soit isotrope ou anisotrope. Nous utilisons MATLAB comme plateforme de développement pour notre modèle.

Dans le premier chapitre, vous trouverez une description générale des antennes et de leurs caractéristiques principales. Pour commencer, nous expliquons les principes fondamentaux des antennes et comment elles sont utilisées pour la transmission et la réception des signaux. Nous examinons ensuite les différents types des antennes existants, en mettant l'accent sur les antennes patch rectangulaires. Nous abordons les avantages, les inconvénients et les applications courantes. Ensuite, nous examinons les paramètres clés d'une antenne, tels que la fréquence de résonance, la largeur de bande. De plus, nous présentons les techniques conventionnelles utilisées pour concevoir et optimiser les antennes patch.

Dans le deuxième chapitre nous présentons les fondements des réseaux de neurones artificiels et comment ils peuvent être utilisés dans le domaine des antennes. Nous commençons par expliquer les concepts fondamentaux des RNA, tels que les neurones, les poids, les biais et les fonctions d'activation. Nous décrivons également les différentes architectures des réseaux de neurones. Ensuite, nous parlons de la formation des RNA et des algorithmes d'apprentissage courants, comme la rétro-propagation du gradient. Nous examinons également diverses méthodes pour évaluer les performances d'un modèle de RNA, y compris l'erreur quadratique moyenne et la précision des prédictions.

Dans la troisième chapitre nous présentons les résultats de notre étude et de nos simulations sont présentés dans le troisième chapitre. Nous commençons par expliquer la méthode que nous avons utilisée pour créer l'ensemble de données d'entraînement et de test, ainsi que les caractéristiques que nous avons considérées pour décrire l'antenne patch rectangulaire. Nous discutons ensuite des résultats obtenus à l'aide de notre modèle basé sur les RNA. Nous mettons en évidence les avantages et les inconvénients de notre modèle en examinant les performances de l'antenne pour diverses configurations de substrat. De plus, nous comparons nos résultats à ceux obtenus à l'aide de méthodes traditionnelles.

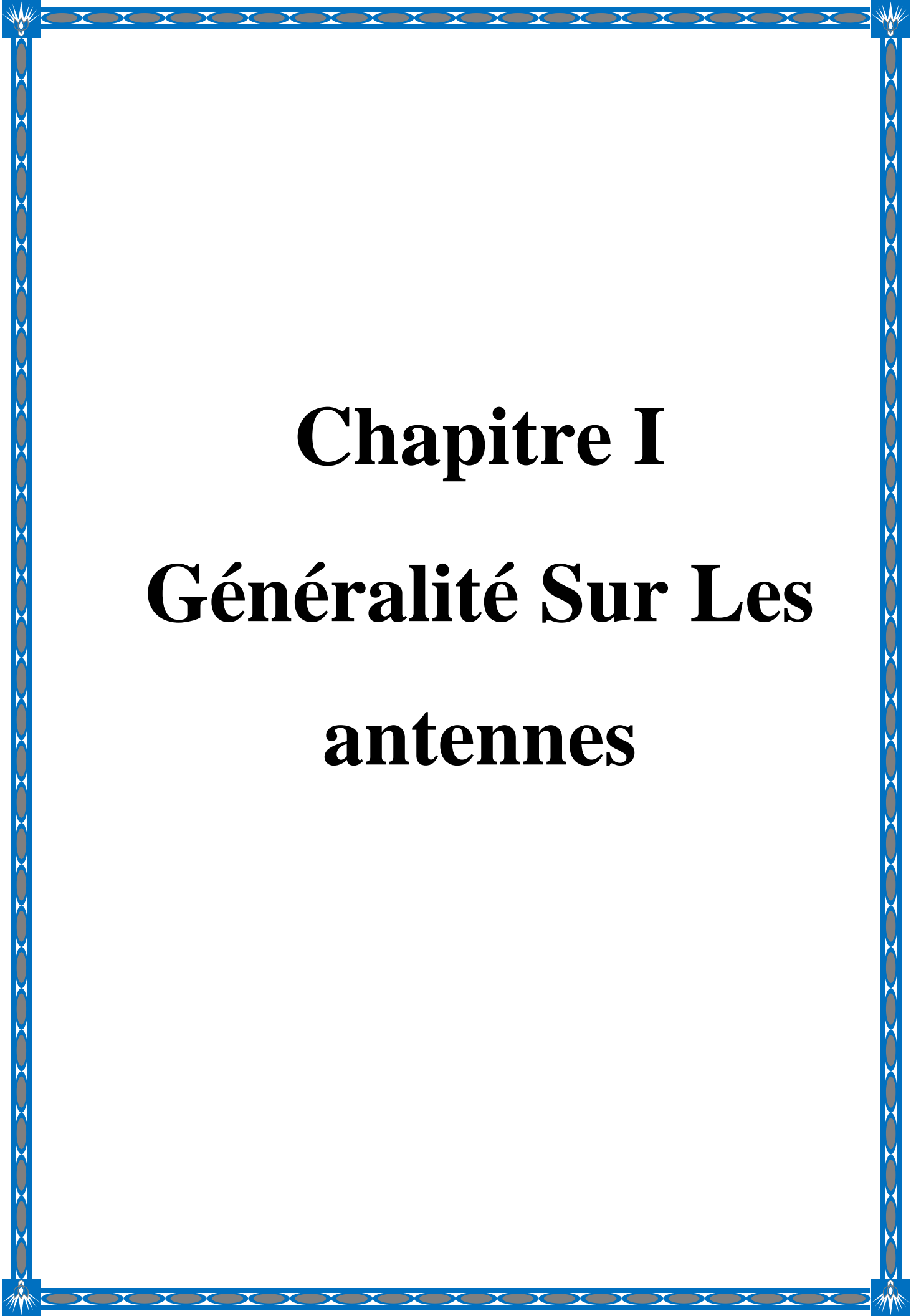
Ce mémoire explore l'utilisation des réseaux de neurones artificiels pour l'étude et la simulation d'une antenne patch rectangulaire. Nous avons discuté des caractéristiques fondamentales des antennes, des principes des réseaux neuronaux et des résultats obtenus à l'aide de notre modèle basé sur l'ARN.

Introduction générale

Cette étude améliore notre compréhension des performances des antennes patch rectangulaires et offre de nouveaux moyens d'optimiser leurs performances. Nous espérons améliorer la conception et les performances des antennes dans le domaine des communications sans fil en utilisant les capacités des réseaux de neurones artificiels.

Enfin, nous abordons les résultats de notre étude, les conséquences de ses résultats et les idées pour des recherches futures. Nous soulignons que les réseaux de neurones artificiels sont un outil potentiel pour optimiser les antennes patch rectangulaires et proposons des perspectives pour l'amélioration de notre modèle.

Mots clés : Antenne Patch Rectangulaire, Substrat Isotrope, Substrat Anisotrope, Réseaux de Neurones Artificiels, MATLAB, Optimisation d'Antenne, Performances d'Antenne, Transmission sans Fil.



Chapitre I

Généralité Sur Les

antennes

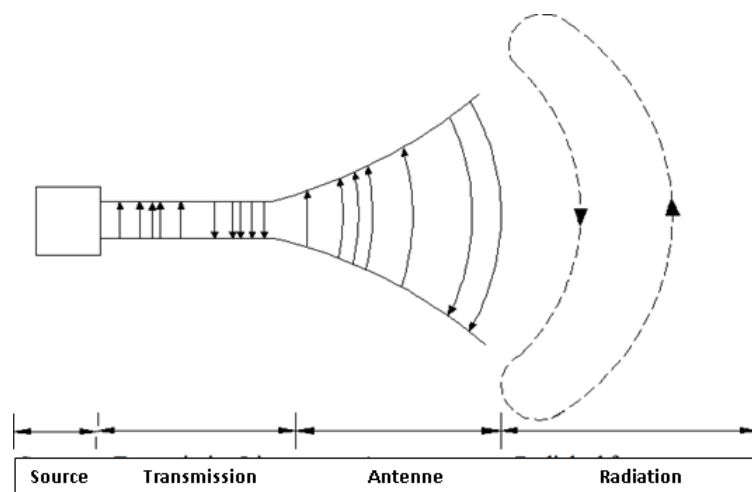
I.1. Introduction

Les premières antennes sont apparues à la fin du XIXe siècle, à une phase où les recherches dans les domaines électromagnétiques et l'électronique ont connu des développements remarquables. Le britannique James Maxwell qui réalise de très importants progrès lors de ses études des ondes électromagnétiques en démontrant que celles-ci voyagent aussi bien dans le vide que dans la matière. La théorie d'électromagnétisme repose principalement sur les quatre équations de MAXWELL établies en 1870.

Dans ce siècle il existe une variété extrêmement large d'antennes, mais toutes peuvent être étudiées et comparées entre elles à travers les mêmes paramètres, on s'intéresse ici aux caractéristiques d'antenne, qui permet de déterminer ces propriétés que ce soit en émission ou en réception [2]. Alors dans ce chapitre nous présentons la définition des antennes et de leurs caractéristiques générales (comme le diagramme de rayonnement, le gain, directivité ... etc), Aussi les différents types d'antennes appliquées dans le domaine de la communication.

I.2. Généralité sur les antennes

L'une des définitions les plus justes d'une antenne est donnée dans la norme IEEE des définitions des termes pour les antennes. D'après cette norme, une antenne est un moyen de rayonnement ou de réception des ondes radio [1]. Plus concrètement, c'est un dispositif qui reçoit des signaux d'une ligne de transmission, les convertit en ondes électromagnétiques et les diffuse dans l'espace libre lorsque l'antenne est en mode d'émission. En mode de réception, elle capte tout simplement les ondes électromagnétiques incidentes et les reconvertit en signaux. La Figure 1 en fait une illustration très simple.

**Figure 1: Rayonnement d'une antenne**

Une antenne est un transducteur entre la ligne de transmission connectée à un générateur et le milieu où l'onde rayonne. Ainsi on peut définir une antenne en émission ou en réception selon son mode de fonctionnement. Une antenne reliée à une ligne de transmission et rayonnant en espace libre peut être considérée comme un dispositif de couplage entre une onde guidée le long de la ligne et une onde rayonnée dans l'espace. Par conséquent, une antenne est un dispositif qui permet de recevoir et d'émettre les ondes radioélectriques. Elle transforme l'énergie guidée en énergie rayonnée et vice versa. Ce dispositif est en général réciproque. Lorsqu'il est utilisé pour transmettre l'énergie électromagnétique d'une source radioélectrique vers le milieu de propagation, on l'appelle antenne d'émission. Par contre, lorsqu'il est utilisé en sens inverse, on l'appelle antenne de réception. L'antenne a plusieurs rôles dont les principaux sont les suivants : Permettre une adaptation correcte entre l'équipement radioélectrique et le milieu de propagation Assurer la transmission ou la réception de l'énergie dans des directions privilégiées transmettre le plus fidèlement possible une information. Par ailleurs, afin de décrire les caractéristiques et les performances des antennes, divers paramètres sont utilisés. Ces paramètres sont classés en deux groupes. Le premier groupe caractérise l'antenne comme un élément de circuit électrique (Z_{in} et S_{11}) et le second groupe s'intéresse à ses propriétés de rayonnement, tel que le diagramme de rayonnement, la directivité et le gain. Enfin, précisons que la notion de puissance rayonnée joue un rôle important dans l'étude des antennes plaquées que nous développerons ultérieurement.[2]

I.3 Caractéristiques des antennes

Les antennes se caractérisent généralement par quelques paramètres importants. Ils permettent de comparer les structures entre elles, mais aussi les simulations et les mesures sur prototypes, Ces paramètres sont classés en deux groupes. Le premier groupe caractérise l'antenne comme un élément de circuit électrique et le second groupe s'intéresse à ses propriétés de rayonnement .[3]

I.4 Paramètres important de l'antenne

Avant d'en arriver à la performance des antennes, il pourrait être intéressant de définir au préalable les différents paramètres d'une antenne. Parmi ces paramètres, les plus courants sont notamment la bande passante fréquentielle, le diagramme de rayonnement, la directivité, le gain et l'impédance d'entrée.

I.4.1 Bande passante fréquentielle

La bande passante fréquentielle (*Frequency bandwidth BW*) désigne, en respectant certaines caractéristiques, la gamme de fréquences dans laquelle la performance de l’antenne est conforme à une norme précise. La bande passante est elle-même représentant la gamme de fréquence (de part et d’autre de la fréquence centrale) où les caractéristiques de l’antenne approchent ceux de la fréquence centrale. Communément dans les communications sans fil, l’antenne doit absolument fournir un coefficient de réflexion plus bas que -10 dB sur sa bande passante de fréquences.

Il existe deux manières d’exprimer la bande passante fréquentielle : la bande passante absolue ABW et la bande passante fractionnelle (FBW). Taylor fut le premier à définir l’ULB (Ultra Large Bande). D’après lui, il s’agit des systèmes qui transmettent et reçoivent des ondes dont la largeur de bande relative B_{frac} (*fractional bandwidth*) est supérieure ou égale à 0,25. La largeur de bande relative B_{frac} se définit comme suit:[4]

$$f_c = \frac{f_L + f_H}{2} \tag{1}$$

$$B_{frac} = \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} = \frac{BW}{f_c} \tag{2}$$

où

f_c : fréquence centrale;

f_H : fréquence supérieure de la bande de fréquences ;

f_L : fréquence inférieure de la bande de fréquences.

Suivant cette définition de Taylor, un signal ULB doit donc occuper une largeur de bande

$BW = f_H - f_L$ supérieure ou égale à 25% par rapport à sa fréquence centrale.

I.4.2 Impédance d’entrée de l’antenne :

L’impédance d’entrée est définie comme l’impédance présentée par une antenne à ses bornes; elle est égale au rapport de la tension V_e au courant I_e présenté à son entrée [7] . Il est donné par :

$$Z_{in} = \frac{V_e}{I_e} = R + jX$$

Avec :

Z_{in} : impédance d'entrée aux bornes a et b

R : résistance de l'antenne aux bornes a et b

X : réactance de l'antenne aux bornes a et b.

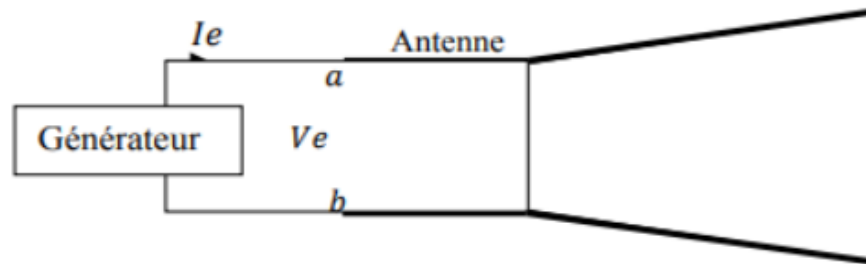


Figure 2: Antenne émettrice

Généralement, pour qu'une antenne ait de bonnes performances, il faut que l'émetteur, la ligne de transmission et l'antenne aient presque la même impédance [5].

Le coefficient de réflexion est un paramètre qui permet d'évaluer la relation entre la quantité réfléchie d'un signal et la quantité incidente. Le coefficient Γ est lié à l'impédance d'entrée de l'antenne et à l'impédance caractéristique de la ligne d'alimentation par la relation suivante:

$$\Gamma = \frac{Z_{in} - Z_c}{Z_{in} + Z_c}$$

Nous pouvons représenter Γ sous la forme d'un paramètre S en dB comme suit :

$$S_{11} = 20 \log(\Gamma)$$

Avec :

Z_c : Impédance caractéristique de la ligne d'alimentation, généralement égale à 50Ω;

En ce qui concerne l'émission et conformément à la théorie des circuits linéaires, l'antenne peut être représentée par un dipôle d'impédance d'entrée complexe

$$Z_e(f) = R_e(f) + jX_e(f).$$

D'une part, la partie réelle de l'impédance d'entrée $Re(f)$ caractérise la puissance dissipée par l'antenne sous forme de rayonnement et de pertes diverses dans sa structure (effet Joule, onde de surface, etc.) et d'autre part, la partie imaginaire $Xe(f)$ d'interprétation plus délicate est liée à la puissance réactive concentrée au voisinage immédiat de l'antenne et au déphasage [5].

1.4.3 Diagramme de rayonnement :

Par définition, il s'agit de la représentation des propriétés de rayonnement suivant les coordonnées spatiales. Habituellement, c'est dans la région de champ lointain où la distribution de la puissance rayonnée est indépendante de la source qui détermine le diagramme de rayonnement. Le modèle présente normalement les valeurs de champ normalisé (puissance) en respectant les valeurs maximales.

La propriété de rayonnements la plus préoccupante est la distribution spatiale à deux ou à trois dimensions (2D ou 3D) de l'énergie rayonnée en fonction de la position de l'observateur le long d'un chemin ou d'une surface de rayon constant. Dans la pratique, le modèle à trois dimensions est parfois nécessaire et peut être construit en une série de modèles à deux dimensions. Pour la plupart des applications pratiques, quelques graphiques du diagramme en fonction de pour certaines valeurs particulières de la fréquence, ainsi que quelques graphiques en fonction de la fréquence pour certaines valeurs particulières de fourniront la plupart des informations utiles nécessaires, où ces derniers sont les deux axes dans un système en coordonnées sphériques.

Le rendement des antennes à polarisation linéaire est habituellement décrit en termes des deux plans E et H. Le plan E est défini comme étant le plan contenant le vecteur champ électrique et la direction du rayonnement maximal tandis que le plan *H* est défini comme étant le plan contenant le vecteur champ magnétique et la direction du rayonnement maximal[12].

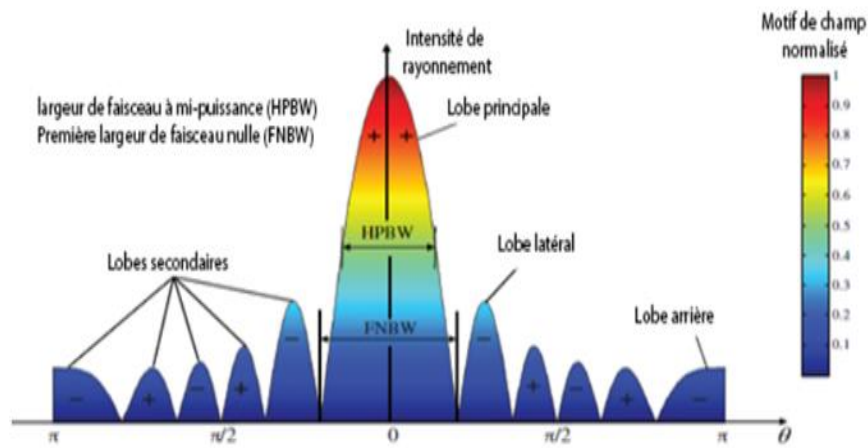


Figure 3: Représentation du diagramme de rayonnement d'une antenne

Il existe trois modèles de rayonnement couramment utilisés pour décrire la propriété du rayonnement d'une antenne:

- **Isotrope**– Une antenne hypothétique sans perte ayant un rayonnement égal dans toutes les directions. Il est valable uniquement pour une antenne idéale et est souvent pris comme référence pour exprimer les propriétés directives des antennes pratiques.
- **Directionnel**– Une antenne qui possède la propriété de rayonnement ou réception des ondes électromagnétiques d'une manière plus efficace dans certaines directions que dans d'autres. Cela est généralement applicable à une antenne où sa directivité maximale est significativement supérieure à celle d'un dipôle demi-onde.
- **Omnidirectionnel**– Une antenne ayant un modèle non-directionnel essentiellement dans un plan donné et un modèle directionnel dans n'importe quel plan orthogonal.[4]

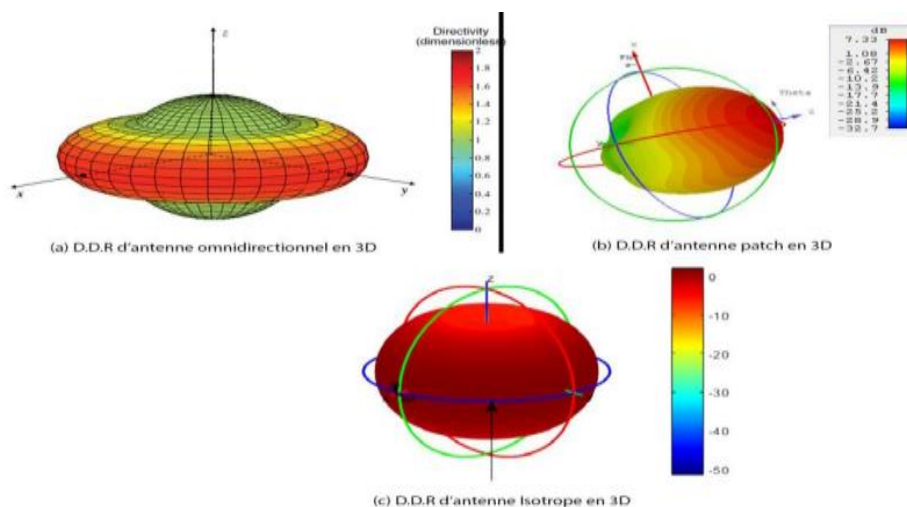


Figure 4: DDR des antennes (a) Omnidirectionnel (b) Directionnel et (c) Isotrope

I.4.4 Polarisation:

La polarisation d'une antenne est la polarisation d'une onde plane générée par cette antenne dans une direction bien déterminée dépend à la direction du champ électrique. La polarisation d'une onde plane correspond à la variation du champ électrique E^{\rightarrow} au cours du temps par rapport à un point d'observation fixe. Il existe trois types de polarisation : rectiligne, circulaire, elliptique (présenter dans la figure suivante).

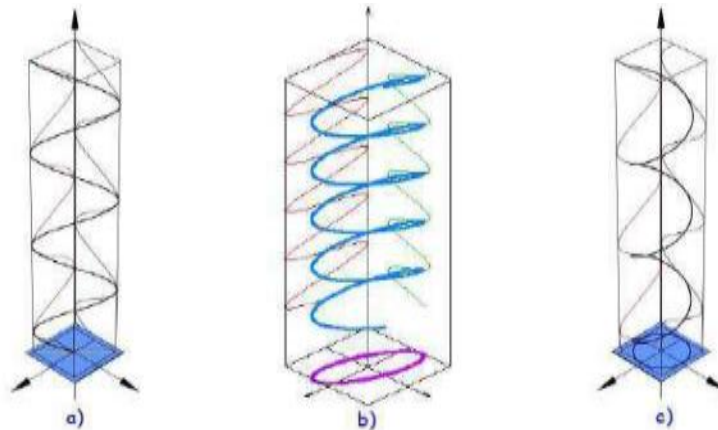


Figure 5: Type des polarisations : a) linéaire, b) elliptique. c) circulaire

Figure.

Si E garde une direction constante dans le temps, on dit que l'on a une polarisation rectiligne. Si la direction varie avec le temps de telle sorte que si, en un point donné, on schématise les positions successives de E, l'extrémité du vecteur représentatif décrit un cercle ou une ellipse. On dit alors que le champ rayonné est polarisation circulaire ou elliptique [6]

I.4.5. le gain:

Le gain (θ, φ) d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée $P(\theta, \varphi)$ sur la puissance que la source isotrope émettrait par unité d'angle solide.

En général, le gain G correspond au gain dans la direction du rayonnement maximal

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_A}$$

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)_0}{P_A}$$

$$G(dB) = 10 \log 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)_0}{P_A}$$

Si l'antenne est omnidirectionnelle et sans perte, son gain est de 1 ou 0 dB. Le gain est habituellement exprimé en dB ou en dBi parce qu'une antenne isotrope est utilisée comme référence. [3].

I.4.6 Directivité :

La directivité d'une antenne caractérise la façon dont cette antenne concentre son rayonnement dans certaines directions dans l'espace. La directivité d'une antenne dans une direction (θ, φ) est le rapport de la puissance $P(\theta, \varphi)$ à la puissance rayonnée par la source isotrope par unité d'angle solide. [3]

$$D(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r}$$

$$P_r = \iint_0^{4\pi} P(\theta, \varphi) d\Omega$$

$$d\Omega = \sin \theta d\theta d\varphi$$

Dans la direction de rayonnement maximal (θ_0, φ_0) la directivité est exprimée :

$$D(\theta_0, \varphi_0) = 4\pi \frac{P(\theta_0, \varphi_0)}{P_r}$$

I.4.7 Rendement :

Le rendement de l'antenne est, par définition, le rapport entre la puissance totale rayonnée par une antenne et la puissance qui lui est fournie.

$$\eta_R = \frac{P_r}{P_a}$$

Avec :

η_R : Rendement.

Pr: Puissance active rayonnée par une antenne.

Pa: Puissance d'alimentation .

I.4.8 Bande Passante

La bande passante fréquentielle (*Frequency bandwith BW*) désigne, en respectant certaines caractéristiques, la gamme de fréquences dans laquelle la performance de l'antenne est conforme à une norme précise. La bande passante elle-même représentant la gamme de fréquence (de part et d'autre de la fréquence centrale) où les caractéristiques de l'antenne approchent celles de la fréquence centrale. Communément dans les communications sans fil, l'antenne doit absolument fournir un coefficient de réflexion plus bas que -10 dB sur sa bande passante de fréquences.

Il existe deux manières d'exprimer la bande passante fréquentielle : la bande passante absolue ABW et la bande passante fractionnelle (FBW). Taylor fut le premier à définir l'ULB (Ultra Large Bande). D'après lui, il s'agit des systèmes qui transmettent et reçoivent des ondes dont la largeur de bande relative B_{frac} (*fractionnal bandwidth*) est supérieure ou égale à 0,25. La largeur de bande relative B_{frac} se définit comme suit: [4]

$$f_C = \frac{f_L + f_H}{2}$$

$$B_{frac} = \frac{f_H - f_L}{f_H + f_L} = \frac{BW}{f_C}$$

où

f_C : fréquence centrale;

f_H : fréquence supérieure de la bande de fréquences ;

f_L : fréquence inférieure de la bande de fréquences.

Suivant cette définition de Taylor, un signal ULB doit donc occuper une largeur de bande $BW = f_H - f_L$ supérieure ou égale à 25% par rapport à sa fréquence centrale.

I.5 Le Modèle de Cavité :

Malgré que le précédent modèle de ligne de transmission soit facile à utiliser, il souffre de nombreux inconvénients; il est seulement utile pour des patches de forme rectangulaire, le facteur q doit être empiriquement déterminé. Ces inconvénients et d'autres

sont éliminés dans le modèle de cavité [7], où le périmètre de l'élément rayonnant (patch) est rapproché comme mûr magnétique pour lequel les champs électriques et magnétiques du mode résonant dominant peut être exprimé comme :

Le champ électrique vertical : $E_x = E_0 \cos (\pi x / L)$

Le champ magnétique transverse : $H_y = H_0 \sin (\pi x / L)$

Les modes résonants d'ordre plus supérieur ont plus de variation dans la direction de (x et/ou y). Ce résultat ignore l'effet des champs marginaux aux bords du patch, ainsi un facteur de correction ad-hoc doit être appliqué à la longueur du patch pour obtenir des fréquences de résonance précises. Une tangente diélectrique efficace de perte est employée pour expliquer la puissance perdue au rayonnement.

I.6 Le Facteur De Qualité :

C'est le rapport entre l'énergie emmagasinée et l'énergie dissipée dans le circuit :

$$Q = \frac{W_{em}}{W_d}$$

Dans notre cas, le facteur total de qualité se définit par :

$$Q_r = \omega \cdot \frac{W_T}{P'_T}$$

avec :

$$W_T = \frac{h \cdot \epsilon}{2} \iint |E_z|^2 ds$$

où P'_T est la puissance atténuée et W_T l'énergie totale emmagasinée. h : Etant l'épaisseur du substrat.

Quand l'antenne opérée est proche des plans des pertes, il résulte des pertes supplémentaires qui sont dues aux courants induits dans la masse. Il est très souhaitable de posséder la résistance totale de puissance rayonnée plus grande que celle de toutes les pertes.

La résistance de radiation de l'antenne est définie comme étant une résistance équivalente qui dissipe une puissance rayonnée totale quand le courant qui passe à travers la résistance d'entrée est égale à celui de l'entrée d'une antenne terminale.[8]

I.6. EXEMPLES

D'abord, nous allons décrire brièvement quelques-unes des principales antennes imprimées, ensuite, nous rappellerons les performances classiques de ces antennes sous leur forme la plus simple ainsi que leur principe de fonctionnement.

I.6.1. Dipôle imprimé

Les dipôles imprimés, sous leur configuration de base, consistent en une paire de fines lignes métalliques identiques et colinéaires, imprimées sur la face supérieure d'un substrat diélectrique. La face inférieure du substrat est en général entièrement métallisée et constitue le plan de masse de l'antenne. Différents procédés sont utilisés pour alimenter cette structure. Les techniques les plus couramment rencontrées utilisent soit une sonde coaxiale, soit une ligne micro ruban double connectée à chacun des deux éléments rayonnants, soit une ligne micro ruban unique couplée électro-magnétiquement au dipôle [9].

Le principe de fonctionnement est analogue à celui du dipôle et résulte d'un phénomène d'onde stationnaire, dans la mesure où la longueur du dipôle est suffisamment grande par rapport à la longueur d'onde. Le mode fondamental du dipôle se caractérise par une répartition de courant sur la ligne de type demi-onde, avec des nœuds d'intensité aux extrémités de la ligne (Figure 6).

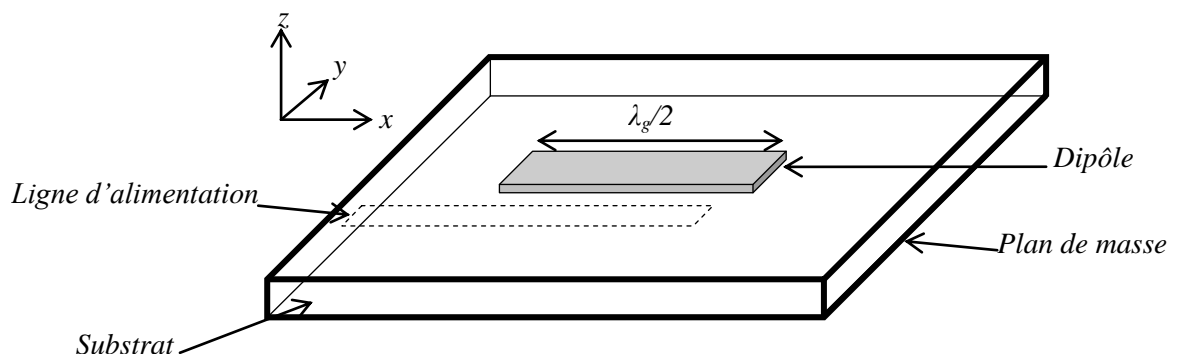


Figure 6: Dipôle imprimé alimenté par ligne couplée

Pour ce type d'antenne, la bande passante est faible. Elle est en effet inférieure à 1% de bande relative. Celle-ci peut cependant être considérablement élargie en augmentant la

hauteur séparant le dipôle du plan de masse ($h \geq \lambda_0/5$), mais cela introduit des phénomènes parasites (ondes de surface, modification du rayonnement, etc.).

Compte tenu de la disposition de l'élément rayonnant, le champ rayonné est à polarisation rectiligne horizontale et le diagramme de rayonnement décrit, dans la direction perpendiculaire à l'axe du dipôle, une forme cardioïdale sur tout le demi-hémisphère supérieur. Les valeurs de directivité maximale obtenues sur la structure la plus simple sont comprises entre 4 et 5 dB [8]. Elles sont obtenues dans la direction perpendiculaire à l'élément rayonnant. Notons que la forme du rayonnement dépend fortement de la hauteur à laquelle est disposé le dipôle au-dessus du plan de masse.

I.6.2. Antenne imprimée sur substrat diélectrique

Dans sa configuration géométrique usuelle, une antenne imprimée est constituée d'une plaque métallique de forme quelconque, appelée élément rayonnant, située sur la face supérieure d'un substrat diélectrique. On considère en général le conducteur comme étant parfait et d'épaisseur négligeable. La face inférieure de la lame diélectrique est métallisée et constitue le plan de masse.

L'alimentation de ce type de structure s'opère de différentes façons : par sonde coaxiale, par ligne micro ruban, par effet de proximité ou encore par fente. Dans son fonctionnement normal d'utilisation, une antenne imprimée sur substrat diélectrique peut être considérée en première approximation comme une cavité résonnante imparfaite, présentant des murs magnétiques verticaux à pertes. Pour certaines fréquences, appelées fréquences de résonance, cette cavité emmagasine de l'énergie électromagnétique selon un ensemble de modes de type $TM_{m,n}$ [9]. Le rayonnement engendré par cette structure s'interprète alors comme des pertes qui s'opèrent au niveau des murs magnétiques. La forme et l'orientation des lignes de champs en bordure de l'élément rayonnant caractérisent les directions privilégiées du champ rayonné.

Généralement, le mode de fonctionnement de l'antenne est le fondamentale, celui-ci se caractérise par une répartition de champ électrique sous l'élément rayonnant dont une dimension au moins est égale à une demi-longueur d'onde (7).

Le rayonnement est à polarisation rectiligne horizontale parallèle au côté qui correspond à la résonance, de forme cardioïdale. On obtient 6 à 8 dB de directivité avec ce

type d'antenne, et la largeur de la bande passante est très faible et exprimée en pourcentage par rapport à la fréquence centrale.

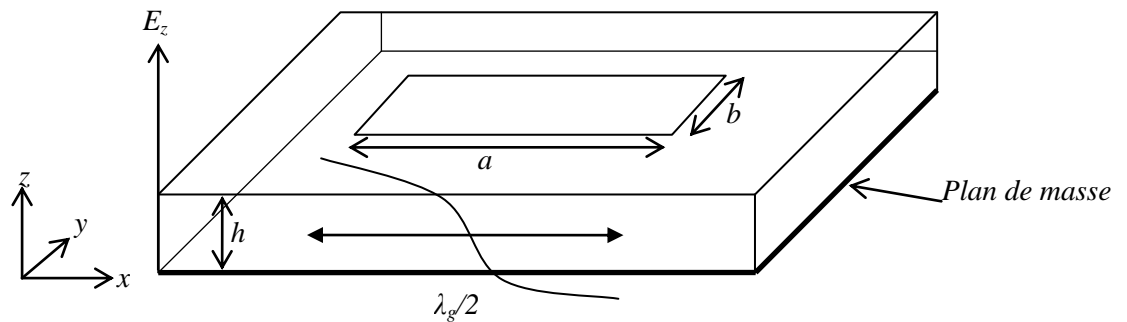


Figure 7: Antenne imprimé sur son mode fondamental TM10

L'épaisseur de la couche diélectrique (h) (Figure I.4), les caractéristiques du substrat diélectrique (permittivité ϵ_r , pertes diélectriques, etc.), les dimensions du conducteur métallique supérieur (longueur et largeur du rectangle, rayon du disque, etc.) sont les grandeurs qui caractérisent l'antenne imprimée (figure 8).

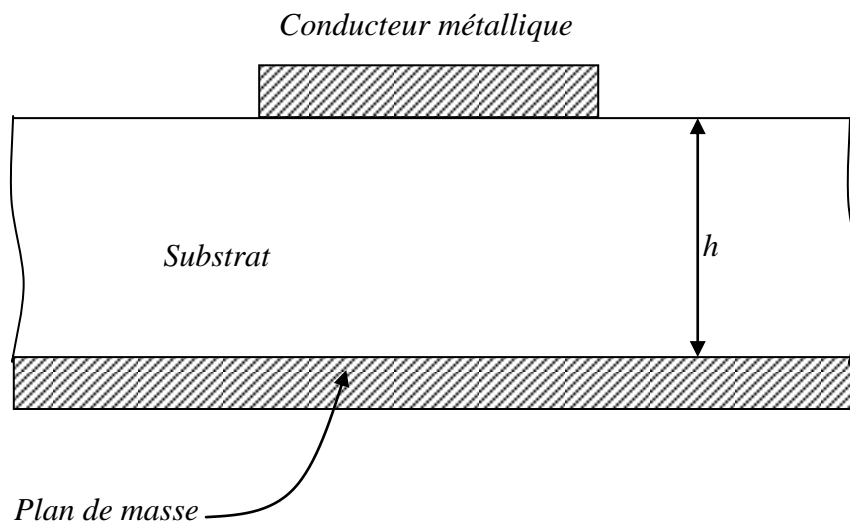


Figure 8: Constitution d'une antenne imprimée

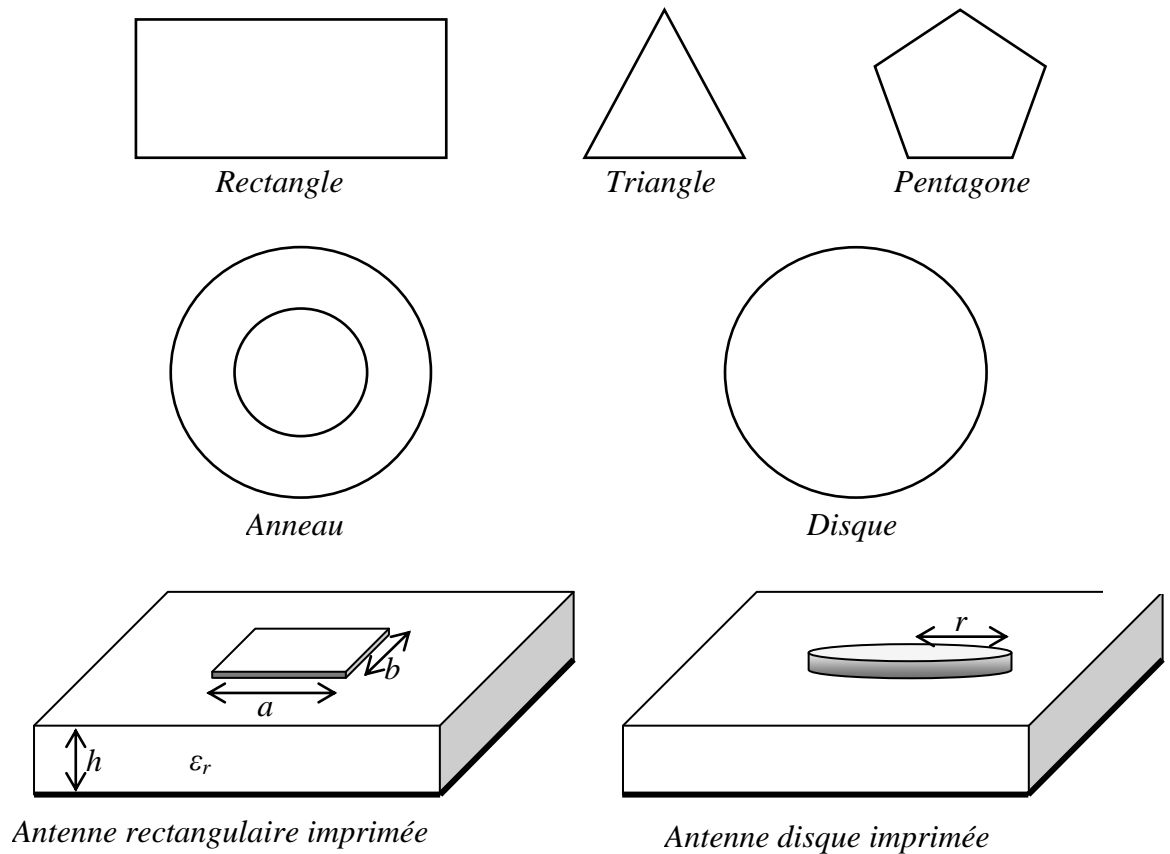


Figure 9: Diverses géométries du conducteur métallique

I.7 Avantages et inconvénients des antennes imprimées

Leurs principaux avantages relativement aux antennes classiques (cornet, dipôle filaire...) sont :

- ✓ Faible poids,
- ✓ possibilité de réalisation en grande série et faible coût,
- ✓ faible épaisseur et encombrement,
- ✓ faculté de se conformer à des surfaces courbées (ailes et carlingues d'avion, missiles...).

Ces antennes possèdent également des inconvénients, inhérents à leur fonctionnement propre :

- ✓ faible bande passante (1 à 5%),
- ✓ faible puissance admissible,

- ✓ forte influence de la qualité du substrat diélectrique sur les performances.
- ✓ l'alimentation et les ondes de surface créent un rayonnement parasite.

Ces caractéristiques peuvent être changées par un bon choix des paramètres physiques de l'antenne imprimée (conductivité, constante diélectrique relative, ...etc.)

I.8 Application des antennes:

Au tout début, l'antenne micro-ruban a été appliquée en télémétrie et de communication pour les missiles. On utilise des petits réseaux dans les radars d'altitude faible. On utilise des techniques spéciales d'alimentation afin de minimiser les pertes, au regard des conditions d'efficacité prescrites pour ces antennes. Aussi, on souligne la présence des antennes plaques dans les liens entre les satellites ou les bateaux, ainsi que dans les systèmes GPS (Global Positioning System).[4]

I.9 ANALYSE DE L'ALIMENTATION D'UN PATCH

Un point important dans l'étude et la réalisation d'antennes imprimées est leur alimentation. Pour cela, plusieurs techniques ont été considérées dans ce but. En théorie, des circuits et des éléments rayonnants peuvent être combinés sur un même substrat.

Par exemple, la présence de lignes d'alimentation sur le même niveau que les éléments rayonnants connectés directement (figure 9) peut produire un rayonnement additionnel, qui peut affecter le diagramme de l'antenne. Il est possible d'éviter cet effet en "enterrant" l'alimentation, que l'on dispose à un niveau inférieur, alimentation par couplage (figure 10) [2]. Mais ceci complique la réalisation des antennes, suite à la présence de deux couches diélectriques. On peut aller plus loin, en superposant une antenne microruban et un circuit triplaque isolés par les plans de masse [2]. L'alimentation se fait dans ce cas à travers une ouverture.

On peut encore séparer l'antenne du circuit en l'alimentant avec une ligne coaxiale (figure 11). En effet, une sonde coaxiale est reliée à l'élément rayonnant à travers le plan de masse. Dans ce cas, on distingue dans la modélisation d'une alimentation coaxiale deux types de générateur, le générateur de courant ou le générateur de tension. Dans le cas d'un générateur de tension placé à la base du coaxial, l'impédance calculée est celle de l'antenne en série avec la partie de la sonde située au-dessus du générateur. Par contre, dans le calcul

utilisant un générateur de courant, la tension utilisée est celle qui existe entre les deux extrémités de la sonde, et l'impédance est directement celle de l'antenne seule [2]

$$Z_e(\omega) = \frac{1}{\frac{TF(I(t))}{TF(V(t))} - \frac{1}{R}}$$

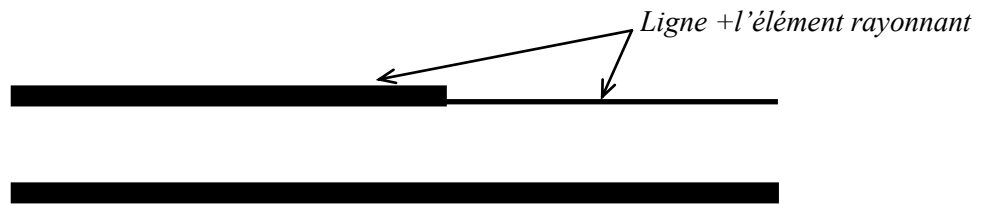
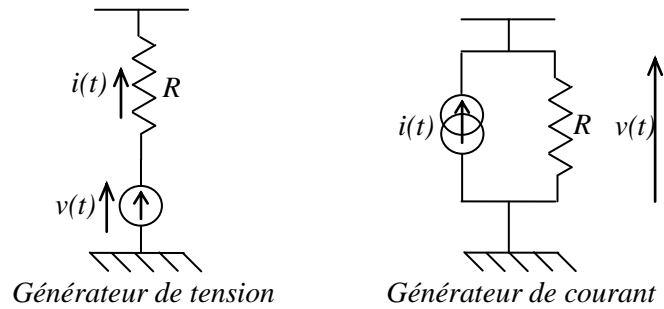


Figure 10: Ligne d'alimentation au même niveau

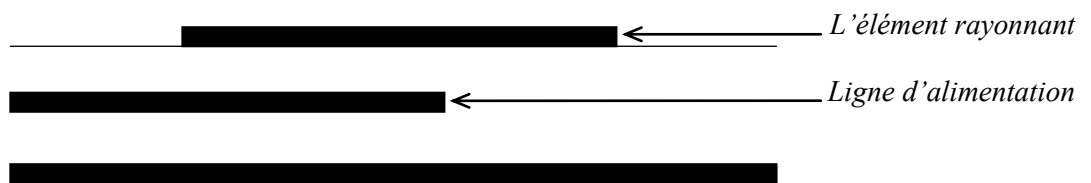


Figure 11: Ligne d'alimentation « enterrée »

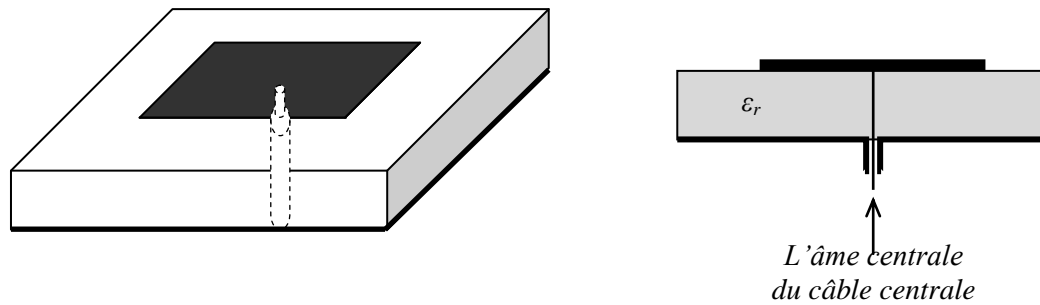


Figure 12: Alimentation coaxiale d'une antenne patch sur un substrat diélectrique

I.9.1 Influence de l'épaisseur du substrat h sur la bande passante

Le choix du substrat repose sur différents paramètres. Il y a entre autres, la permittivité, la perméabilité, l'épaisseur du substrat, les pertes, la stabilité dans le temps, la stabilité en température ainsi que la bonne tenue face aux contraintes technologiques.

Pour garantir d'une part, une bonne efficacité de rayonnement et d'autre part, une bande passante importante, l'épaisseur du substrat doit être la plus élevée possible. Mais cela risque de générer des ondes de surface [2].

La notion de bande passante diffère selon les paramètres considérés, gain, polarisation, adaptation. Dans notre cas, la bande passante est définie comme la différence des fréquences pour les quelles $S_{11} < -10 \text{ dB}$. Pour cela, il faut d'abord étudier les paramètres S_{ij} et ensuite, tracer la courbe de la bande passante en fonction de h pour $\epsilon_r = 2,2$ (Figure I.11). L'antenne simulée possède les caractéristiques suivantes :

L'antenne patch, de longueur $L=10\text{mm}$, de largeur $W=15\text{mm}$, de ligne d'alimentation $L=10\text{mm}$, la hauteur du substrat h est de 1.58mm , $\epsilon_r = 2,2$.

La bande de fréquence d'analyse est $0-20 \text{ GHz}$. La ligne d'alimentation est au centre. La structure est simulée en FDTD avec le pas spatio-temporel $dx = 0,469\text{mm}$, $dy = 0,4\text{mm}$, $dz = 0,395\text{mm}$. La largeur de la ligne est $0,937 \text{ mm}$. L'antenne est simulée avec $32dx \times 25dy$. On excite par une gaussienne, $F_{\text{max}} = 20\text{GHz}$. on a comparé les résultats de la simulation avec le simulateur Momentum les résultats de simulation sont données dans la (figures 12).

La (figure 13) montre le comportement de la bande passante relative, définie pour un ROS inférieur à 2 ($S_{11} < -9,54 \text{ dB}$). La bande passante est plus large quand h augmente, mais les valeurs de h sont limitées et on ne peut pas prendre n'importe quelle valeur. D'autre part, un h très grand favorise l'excitation d'onde de surface. L'une des solutions alors est de réduire

ϵ_r pour augmenter la bande passante. Ceci nous conduit à dire que plus h augmente, plus La puissance de l'onde guidée dans le substrat est importante, les ondes sont confinées et les performances de rayonnement de l'antenne diminuent.[2]

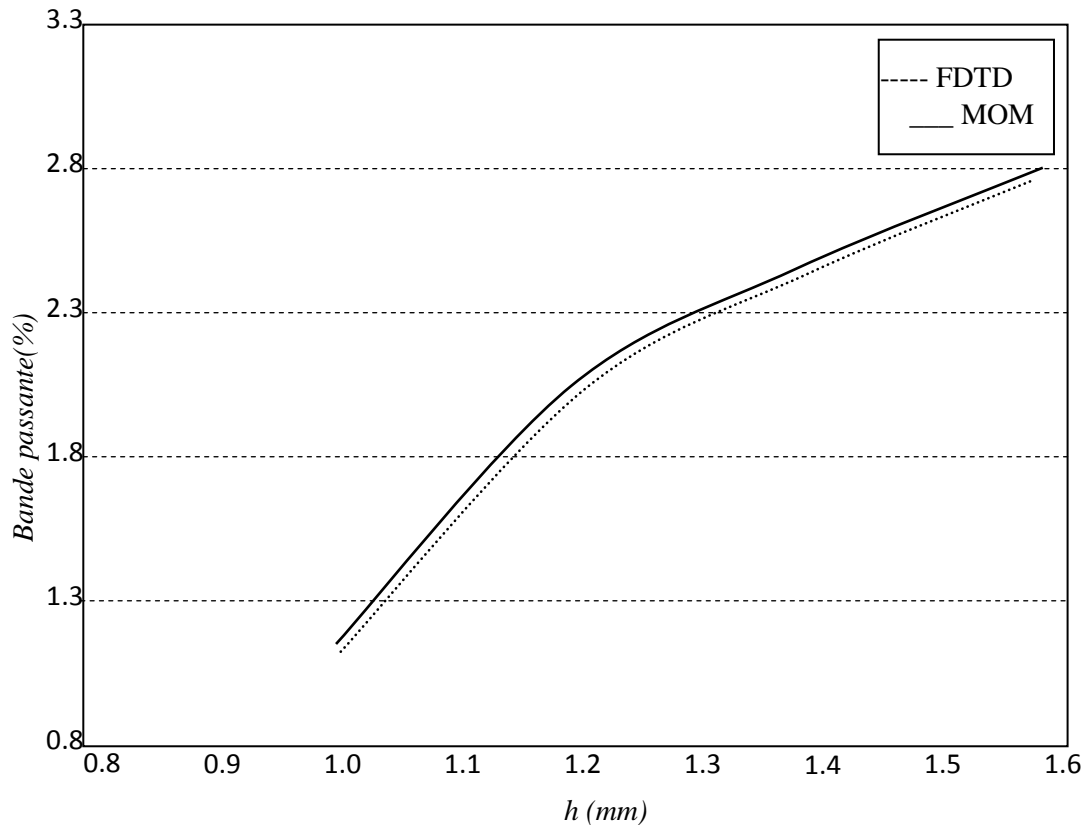


Figure 13: Variation de la bande passante en fonction de la hauteur du substrat

I.9.2. Influence de l'épaisseur du substrat sur la fréquence de résonance

Dans le tableau I.1. Ci-dessous, nous présentons la variation de la fréquence de résonance en fonction de l'épaisseur du substrat du patch. Pour différentes valeurs de (h), on a comparé les valeurs obtenues de la fréquence de résonance calculées par la FDTD aux valeurs théoriques et expérimentales obtenues par d'autres auteurs.

Nous remarquons dans le tableau 1 que les valeurs calculées de James donnée par l'article [2] et les valeurs trouvées par la méthode de la cavité sont inférieures aux valeurs mesurées, tandis que les valeurs calculées de Hammerstad et les valeurs calculées par la méthode FDTD sont supérieures aux valeurs mesurées, à l'exception de la première valeur. Les résultats sont acceptables du fait que les mesures sont aussi entachées d'erreurs. Nous avons calculé le pourcentage d'erreur par rapport aux mesures, la valeur maximale est de 5.21%.[2]

Tableau 1: La fréquence de résonance d'une structure à faible et à forte épaisseur avec $\epsilon_r = 2,33$

W (cm)	L (cm)	H (cm)	Mesure (GHz)	JAMES (GHz)	HAMMERSTAD (GHz)	Cavité (GHz)	FDTD (GHz)	%5(erreur)
1.70	1.10	0.1524	7.87	7.46	7.84	7.75	7.46	5.21
1.70	1.10	0.3175	6.80	6.47	7.01	6.74	7.10	4.41
1.70	1.10	0.9525	4.73	4.32	5.27	4.58	4.86	2.74

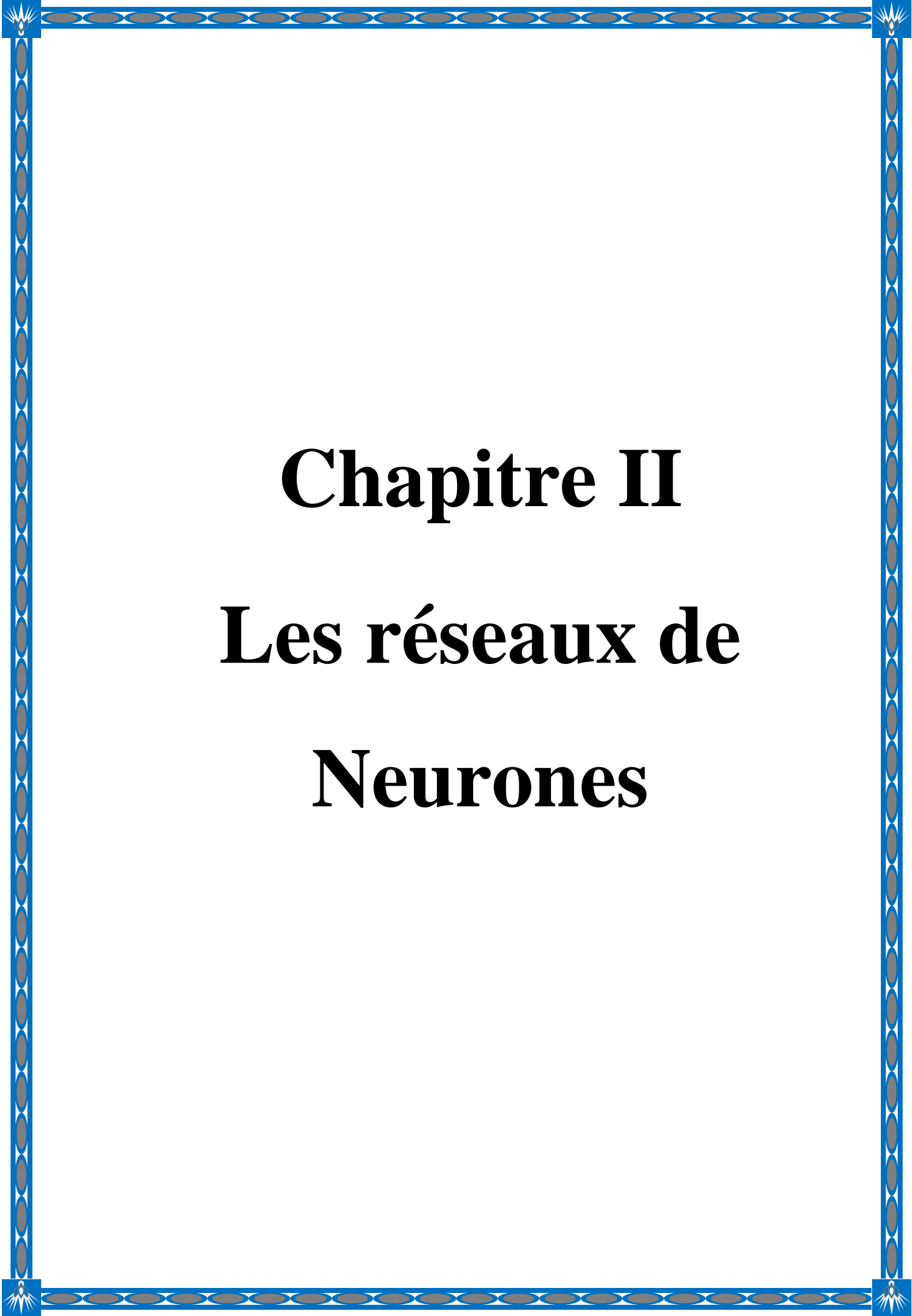
Conclusion

Ce chapitre a permis de faire un survol des antennes. Depuis l'avènement de l'antenne sphérique développée en 1941, plusieurs antennes ont vu le jour sous diverses formes. Les formes à double polarisation linéaire ont été conçues sur la base des formes de polarisation simple avec une géométrie de profil bas.

Pour décrire la performance d'une antenne, les définitions des différents paramètres sont nécessaires. Dans la pratique, il existe plusieurs paramètres d'antenne couramment utilisés, y compris la bande de fréquences, le diagramme de rayonnement, la directivité, le gain, l'impédance d'entrée et ainsi de suite. Tel que discuté dans la section précédente.

References chapitre I:

- [1] Constantine A. Balanis, “**Antenna Theory Analysis and Design**”, 2005, John Wiley & Sons, INC.
- [2] Hassad, Mourad. **Modélisation d'une antenne patch réalisée sur un substrat a tenseurs de permittivité et de perméabilité diagonaux**. Diss. Université de Batna 2, 2009.
- [3] Lakhdar, M. E. R. R. O. U. C. H. E. **Étude comparative des structures d'antennes à base de structures périodiques pour les applications multifréquences**. Diss. Faculté des Sciences et Technologies, 2021
- [4] Adil Kamil ,**Conception D'une Antenne Patch Ultra-Large Bande (3.1 Ghz-10.6 Ghz)**, Institut National De La Recherche Scientifique, Mémoire présenté pour l'obtention du grade du Maitre ès sciences, 2011.
- [5] Farah, Bassma. Effet de l'insertion des fentes dans l'élément rayonnant sur les caractéristiques des antennes planaires. Diss. 2021.
- [6] BENMEZIANE, Mohamed, Salah Eddine SALEMI, and BAKHTI MIMENE. "Etude et Simulation des paramètres d'une antenne patch rectangulaires 2.45 GHz, sous l'effet de la température." (2021).
- [7] Y. T. Lo, D. D. Harrison, D. Solomon, G. A. Deschamps, and F. R. Ore, “*Study Of Microstrip Antennas, Microstrip Phased Arrays, And Microstrip Feed Networks* ”, Rome Air Development Center, Tech. Rep. TR-77-406, Oct. 21, 1977.[17]
- [8] *ADDACI RAFIK, Evaluation De La Fréquence De Résonance Complexe Et De La Bande Passante D'une Antenne Microbande Rectangulaire Par La Méthode Neurospectrale, Université de Constantine ,Diplôme De Magister En Electronique.*
- [9] G. G. Sanford, “Conformal Microstrip Phased Array For Aircraft Tests With Ats-6”, in Proc. Nat. Electronics Conf., vol. 29, Oct. [10]
- [10] I. J. Bahl and P. Bhartia, “Microstrip Antennas”, Dedham, MA: Artech House, 1980.[20]



Chapitre II

Les réseaux de

Neurones

II.1 Introduction:

Un neurone élémentaire est limité dans ses applications. En effet, un neurone réalise une simple fonction non linéaire, paramétrée, de ses variables d'entrée. L'intérêt des neurones réside dans la propriété qui résulte de leur association dans une structure, par une certaine logique d'interconnexion, cette structure est appelée : le réseau de neurone ou bien par l'abréviation ANN (Artificiel Neural Network). Le comportement collectif ainsi obtenu permet de réaliser des fonctions d'ordre supérieur par rapport à la fonction élémentaire réalisée par un neurone [16]. Dans un tel réseau, les entrées d'un neurone sont, soient les entrées du réseau globale, soient les sorties d'autre neurones. Les valeurs des poids du réseau sont, en général, déterminées par une opération dite : l'apprentissage.

Suivant la logique d'interconnexion choisie, les réseaux de neurones se distinguent en deux grandes familles : les réseaux non bouclés (statique) et les réseaux bouclés (dynamique), [17].

II.2 Historique:

D'une façon générale, on situe le début des réseaux de neurones artificiels en 1943 avec les travaux de Mc Culloch et Pitts, qui montrent qu'un réseau de neurones discret, sans contrainte de topologie, peut représenter n'importe quelle fonction booléenne au même titre qu'un ordinateur.

En 1958, Rosenblatt propose le premier algorithme d'apprentissage, qui permet d'ajuster les paramètres d'un neurone.

En 1969, Minsky et Papert publient le livre «*Perceptrons*» dans lequel ils utilisent une solide argumentation mathématique pour démontrer les limitations des réseaux de neurones à une seule couche. Ce livre aura une influence telle que la plupart des chercheurs quitteront le champ de recherche sur les réseaux de neurones.

En 1982, Hopfield propose des réseaux de neurones associatifs et l'intérêt pour les réseaux de neurones renaît chez les scientifiques.

En 1986, Rumelhart, Hinton et Williams publient l'algorithme de « *rétropropagation de l'erreur* » qui permet d'optimiser les paramètres d'un réseau de neurones à plusieurs couches.

À partir de ce moment, la recherche sur les réseaux de neurones connaît un essor

fulgurant. Aujourd'hui, on retrouve les réseaux de neurones solidement implantés dans diverses industries : dans les milieux financiers, en pharmaceutique, dans le domaine bancaire, en aéronautique, ...etc. [8]

II.2.1 Les réseaux de neurones bouclés(Dynamiques)

C'est l'architecture la plus générale pour un réseau de neurone, dont le graphe des connexions est cyclique : dans ce type de réseaux l'orsque on se déplace en suivant le sens des connexions, il est possible de trouver au moins un chemin qui revient à son point de départ. On peut distinguer deux types de réseaux :

II.2.2 Réseaux à connexion récurrents

La connexion récurrente ramène l'information en arrière par rapport au sens de la propagation défini dans un réseau multicouche. Ces connexion sont le plus souvent locales (figure 14)

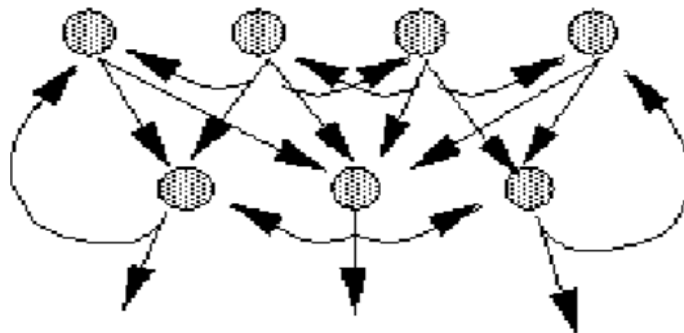


Figure 14: Connexion récurrents

II.2.3 Réseau à connexion complet

C'est la structures d'interconnexion la plus générale. Chaque neurone est connecté à tout les neurones et avec lui-même (15)

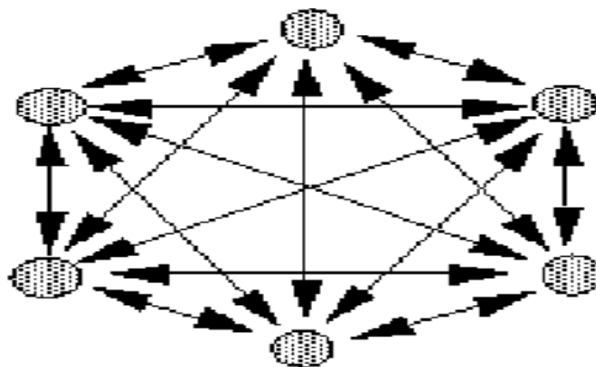


Figure 15: Connexion complet

II.2.4 Les réseaux de neurones non bouclés (statistique)

Un réseau de neurones non bouclé réalise une ou plusieurs fonctions algébriques de ses entrées par composition des fonctions réalisées par chacun de ces neurones. Ce réseau est représenté graphiquement par un ensemble de neurones connectés entre eux. Dans un tel réseau le flux de l'information circule des entrées vers les sorties sans "retour en arrière" : si on se déplace dans le réseau, à partir d'un neurone quelconque, en suivant les connexions, on ne peut pas revenir au neurone de départ [16]-[18]. Les neurones qui effectuent le dernier calcul de la composition de fonction sont les neurones de sortie, ceux qui effectuent des calculs intermédiaires sont les neurones cachés.

II.2.5 Réseau monocouche

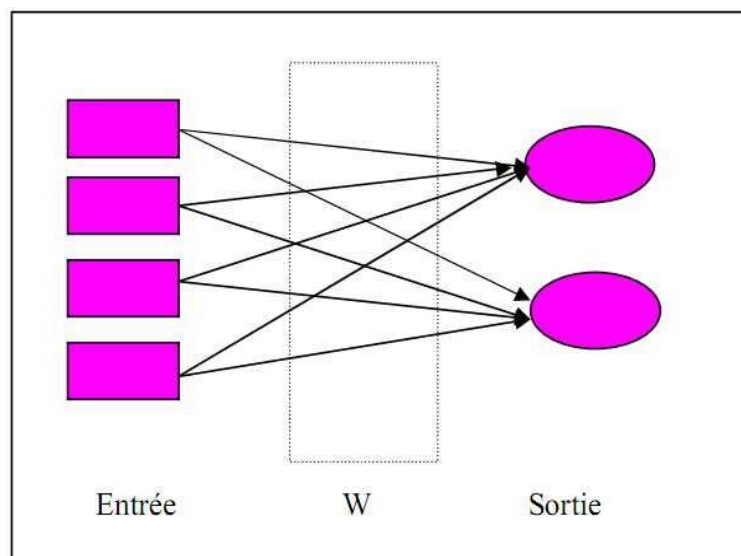


Figure 16: Réseaux monocouche

La structure d'un réseau monocouche est telle que des neurones organisés en entrée soient entièrement connectés à d'autres neurones organisés en sortie par une couche modifiable de poids. (Figure 16)

II.2.6 Réseaux multicouche

Les neurones sont arrangés par couche. Il n'y a pas de connexion entre neurones d'une même couche, et les connexions ne se font qu'avec les neurones de couches avales. Habituellement, chaque neurone d'une couche est connecté à tout les neurones de la couche suivante et celle-ci seulement. Ceci nous permet d'introduire la notion de sens de parcours de l'information (de l'activation) au sein d'un réseau et donc définir les concepts de neurone d'entrée, neurone de sortie. Par extension, on appelle couche d'entrée l'ensemble des

neurones d'entrée, couche de sortie l'ensemble des neurones de sortie. Les couches intermédiaires n'ayant aucun contact avec l'extérieur sont appelées couches cachées. (Figure-17).

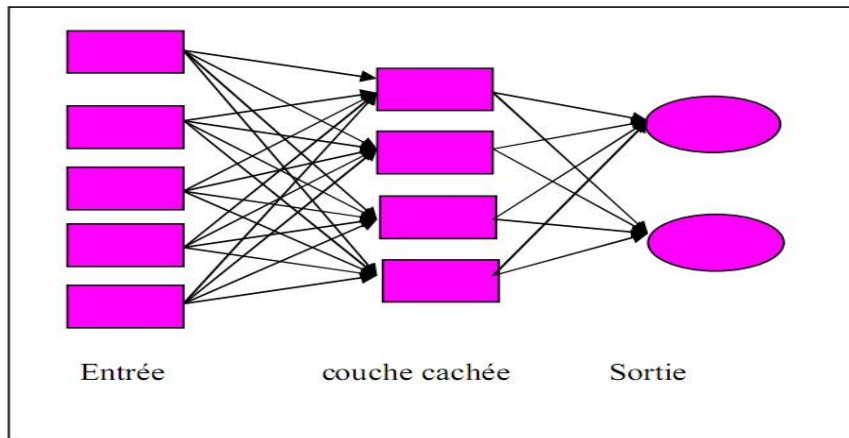


Figure 17: Réseaux multicouche

II.2.7 Réseaux à connexion local

Il s'agit d'une structure multicouche, mais qui à l'image de la rétine conserve une certaine topologie. Chaque neurone entretient des relations avec un nombre réduit et localisé de neurones de la couche avale. Les connexions sont donc moins nombreuses que dans le cas d'un réseau multicouche classique.

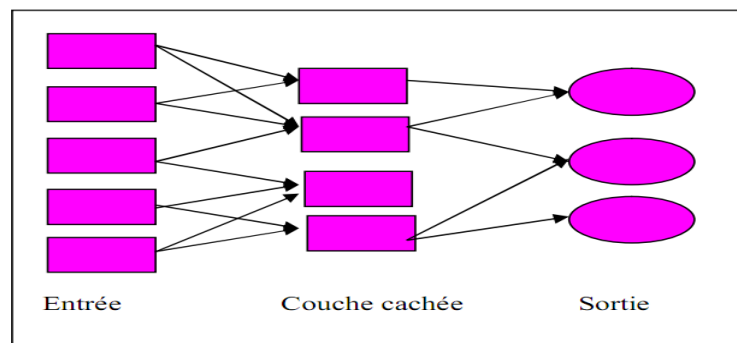


Figure 18: Réseaux à connexion local

II.3 L'apprentissage des réseaux de neurones

L'apprentissage est vraisemblablement la propriété la plus intéressante des réseaux neuronaux. Il est une phase du développement d'un réseau de neurones durant laquelle le comportement des réseaux est modifié jusqu'à l'obtention du comportement désiré. Dans le cas des réseaux de neurones artificiels, on ajoute souvent à la description du modèle, l'algorithme d'apprentissage. Dans la majorité des algorithmes actuels, les variables modifiées, pendant l'apprentissage, sont les poids des connexions, afin d'obtenir des valeurs

optimal appropriées à ces poids. A la fin de cette opération, on converge vers un fonctionnement de réseau, le plus possible adapté au problème qu'on désire résoudre, tout en fournissant des exemples d'apprentissage. Ces derniers doivent être suffisamment représentatifs, autrement dit : il faudra qu'ils couvrent aussi complètement que possible le domaine de fonctionnement désiré pour le réseau. Au niveau des algorithmes d'apprentissage, il a été défini deux grandes classes selon que l'apprentissage est dit supervisé ou non supervisé. Cette distinction repose sur la forme des exemples d'apprentissage.

II.3.1 Apprentissage supervisée

Pour ce type de réseaux on présente aux réseaux des entrées et au même temps les sorties que l'on désirerait pour cette entrée. Le réseau doit être alors se reconfigurer. C'est à dire calculer ses poids afin que la sortie qu'il donne corresponde bien à la sortie désirée.

II.3.2 Apprentissage non supervisée

L'apprentissage est qualifié de non supervisé lorsque seules les valeurs d'entrée sont disponibles. Dans ce cas, les exemples présentés à l'entrée provoquent une auto adaptation du réseau afin de produire des valeurs de sortie qui soient proches en réponse à des valeurs d'entrée similaires (de même nature).[19]

II.4 Fonction d'activation

Cette fonction permet de définir l'état interne du neurone en fonction de sont entré totale, citons à titre d'exemple quelques fonctions souvent utilisées

II.4.1 Fonction binaire à seuil

On peut trouver dans ce type de fonction :

La fonction de Heaviside définie par $h(x) = \begin{cases} 1 & \text{si } x \geq 0 \\ 0 & \text{sinon} \end{cases}$

La fonction de signe définie par $h(x) = \begin{cases} +1 & \text{si } x \geq 0 \\ -1 & \text{sinon} \end{cases}$

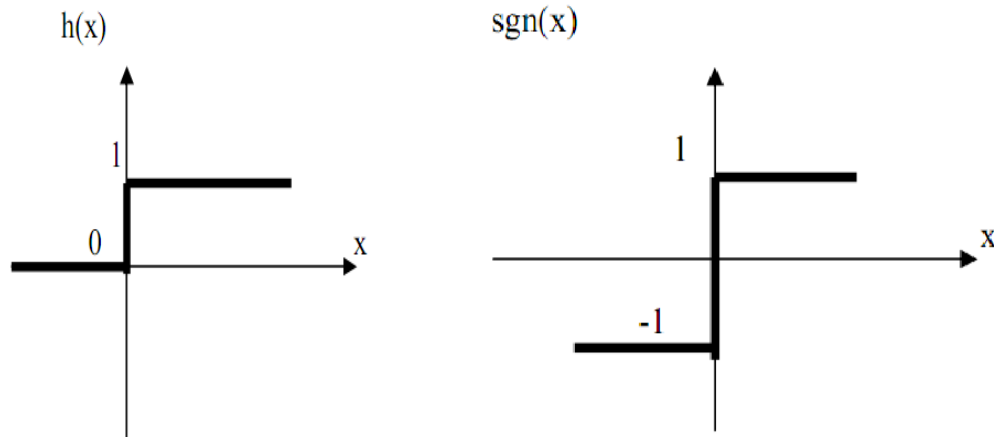


Figure 19: Fonction de Heaviside et désigne

Le seuil introduit un non linéarité dans le comportement du neurone, cependant il limite la gamme des réponses possibles à deux valeurs.

II.4.2 Fonction linéaire

C'est l'une des fonctions d'activations les plus simples, sa fonction est définie par : $F(x) = x$

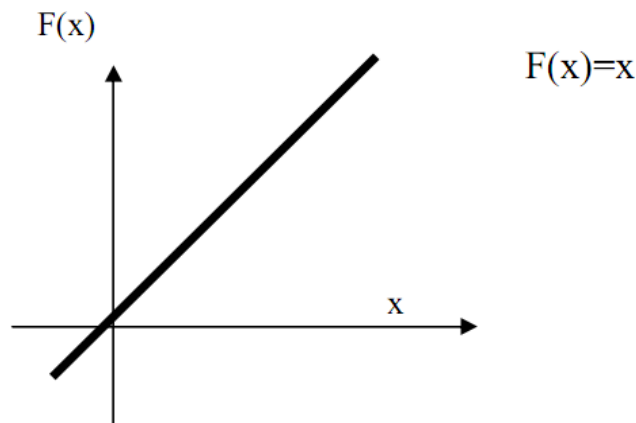


Figure 20: Fonction linéaire

II.4.3 Fonction a seuil ou à multi seuil

On peut la définir comme suit :

$$\begin{aligned}
 & x \in [U, V] \\
 f(x) = & \begin{cases} V & \text{si } x \leq V \\ U & \text{si } x \leq U \end{cases}
 \end{aligned}$$

Cette fonction représente un compromis entre la fonction linéaire et la fonction seuil : entre ces deux barres de saturation, elle confère au neurone une gamme de réponse possible.

En modulant la pente de la linéarité, on affecte la plage de réponse du neurone.

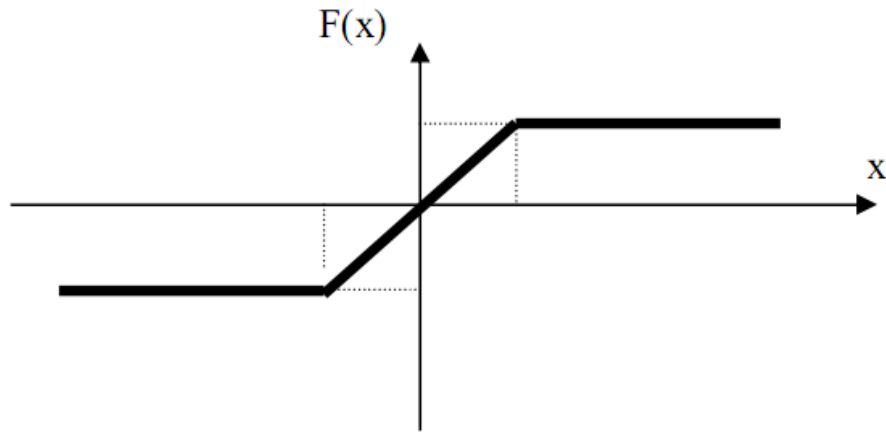


Figure 21: Fonction a seuil

II.4.4 Fonction sigmoïde

Elle est l'équivalent continu de la fonction linéaire. Etant continu, elle est dérivable, d'autant plus que sa dérivée est simple à calculer (figure) elle est définie par :

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

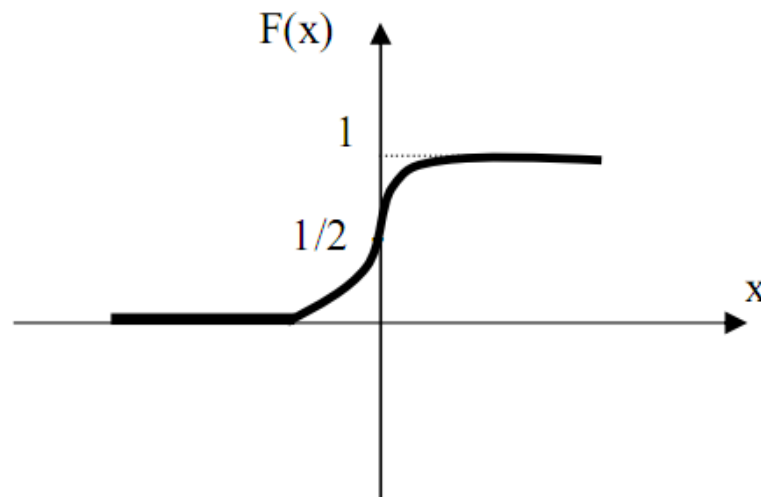


Figure 22: Fonction sigmoïde

II.5 Modélisation par les réseaux de neurones artificiels (RNA)

L'utilisation des RNA comme outil de modélisation pour les circuits hyperfréquences nécessite en général la génération de larges matrices pour l'apprentissage et le test. En effet, les relations entre les caractéristiques de ces circuits et leurs paramètres physiques et électriques sont dans la majorité des cas hautement non linéaires ce qui nécessite de larges matrices. En outre, la génération des données par des mesures électromagnétiques est très coûteuse, la modélisation numérique quant à elle est complexe et nécessite un espace

II.5.1 Pourquoi Les Réseaux De Neurones Artificiels:

Plusieurs avancées ont été faites pour développer les systèmes intelligents, certaines inspirées par les réseaux de neurones biologiques. Ainsi des chercheurs de beaucoup de disciplines scientifiques conçoivent les réseaux de neurones artificiels (ANN) pour résoudre une variété de problèmes tels que : l'identification de modèle, la prévision (prédiction), l'optimisation, la mémoire associative et le contrôle [Figure 23].

Des approches conventionnelles ont été proposées pour résoudre ces problèmes. Bien qu'elles puissent être appliquées avec succès pour certaines applications, aucune d'elles n'est assez flexible pour être exécutée avec réussite en dehors de son application. Les réseaux de neurones artificiels fournissent des solutions de rechange passionnantes, beaucoup d'applications pourraient tirer bénéfice en les employant

Les calculateurs numériques modernes surpassent les humains dans le domaine du calcul numérique et la manipulation relative de symboles. Cependant, les humains peuvent facilement résoudre des problèmes perceptuels complexes (identifier un homme dans une foule d'un seul aperçu de son visage) à une telle vitesse et ampleur que l'ordinateur le plus rapide du monde ne peut le faire.

Pourquoi y a-t-il une différence si remarquable dans leur exécution? L'architecture neuronale biologique de système est complètement différente de l'architecture de Von Neumann. Cette différence affecte de manière significative le type de fonctions que chaque modèle informatique peut mieux exécuter.

Les efforts nombreux effectués pour développer des programmes "intelligents" basés sur l'architecture centralisée de Von Neumann n'ont pas eu comme conséquence des programmes intelligents d'usage universel. Inspirés par les réseaux de neurones biologiques, les réseaux de neurones artificiels se composent d'un nombre extrêmement important de

processeurs simples avec beaucoup d'interconnexions, de même que les modèles correspondants essayent d'employer quelques principes organisationnels employés chez l'humain.

Une étude complète des réseaux de neurones artificiels exige la connaissance de la neurophysiologie, de la physique, de la théorie de commande, de l'informatique, de l'intelligence artificielle, des statistiques, des mathématiques.

Les nouveaux développements dans ces disciplines nourrissent continuellement le champ des réseaux de neurones. D' autre part, les réseaux de neurones fournissent également une impulsion à ces disciplines sous forme de nouveaux outils et de représentations. Cette symbiose est nécessaire pour la vitalité de la recherche de réseaux neuronaux [12].

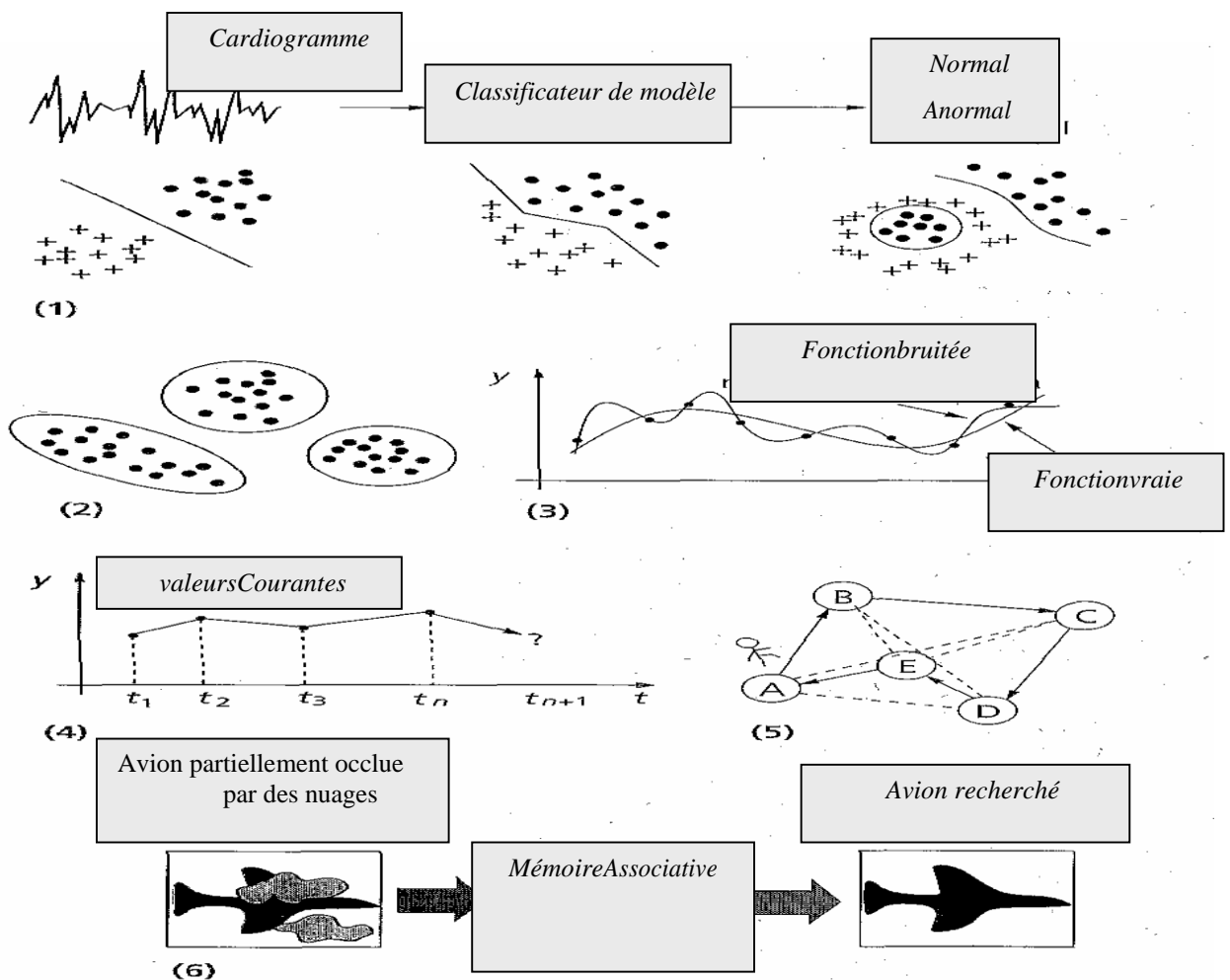


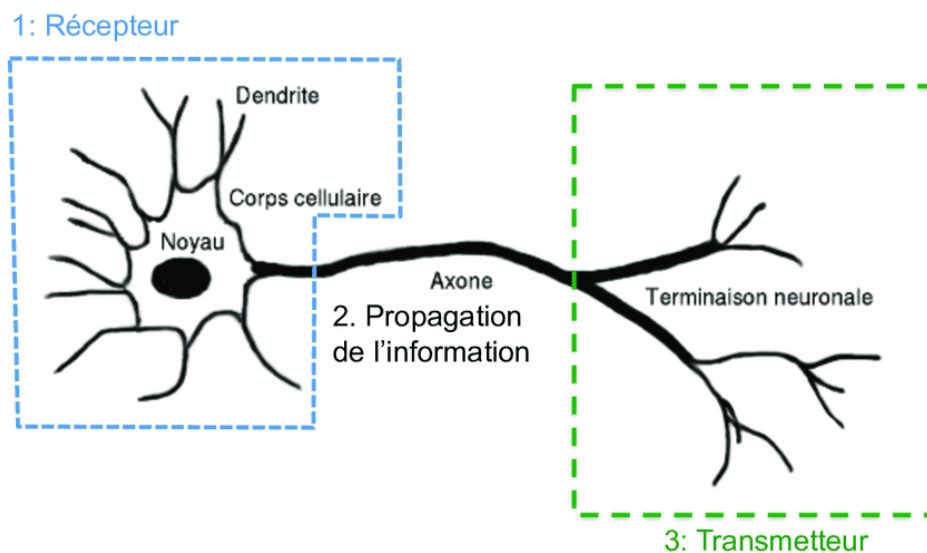
Figure 23: FIG (II-1) : Les tâches que le réseau de neurones peut accomplir: (1) classification de modèle. (2) Regrouper /catégorisation. (3) approximation de fonction. (4) prévision/ prédiction. (5) optimisation. (6) récupération par le contenu.

II.6 Neurone Biologique : Structure et Rôle

Le **système nerveux** est **composé de milliards de cellules** : c'est un **réseau de neurones biologiques**. En effet, **les neurones ne sont pas indépendants** les uns des autres, ils établissent entre eux des **liaisons** et **forment des réseaux plus ou moins complexes**.

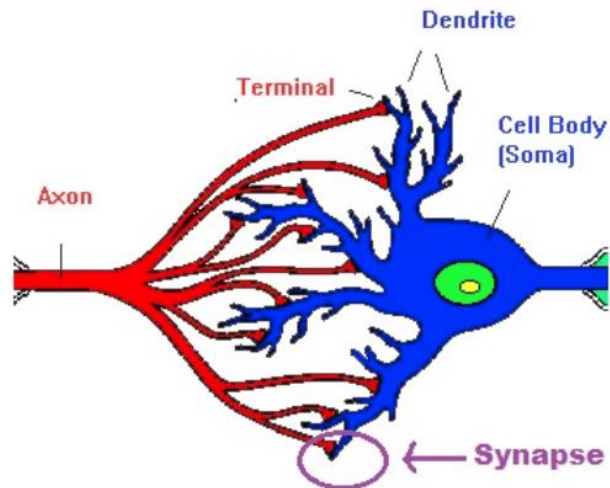
Le neurone biologique est composé de trois parties principales :

- Le **corps cellulaire** composé du **centre de contrôle traitant les informations** reçues par les dendrites.
- Les **dendrites** sont les principaux **fils conducteurs** par lesquels **transitent l'information** venue de l'extérieur.
- L'**axone** est fil conducteur qui **conduit le signal de sortie du corps cellulaire vers d'autres neurones**. [13]



Source : Research Gate

Quant aux **synapses**, elles font **effet de liaison et de pondération entre neurones** et permettent donc aux neurones de communiquer entre eux.



Source : Studdy

Les **neurones biologiques** disposent d'un **centre de contrôle** (appelé cellule somatique) faisant la **somme des informations recueillies par les dendrites**. Ensuite, le centre de contrôle **retourne un potentiel d'action** en suivant les règles suivantes:

- Si la somme en entrée ne dépasse pas le **seuil d'excitation** : pas de message nerveux via l'axone.
- Si la somme en entrée dépasse le seuil d'excitation: un **message nerveux** est émis via l'axone (c'est l'idée, mais en réalité un peu plus compliqué)

Les réseaux de neurones fonctionnent en répartissant les valeurs des variables dans des automates (les neurones). Ces unités sont chargées de combiner entre elles leurs informations pour déterminer la valeur du paramètre de discrimination. C'est de la connexion de ces unités entre elles qu'émerge la capacité de discrimination du RNA. Chaque neurone reçoit des informations numériques en provenance de neurones voisins ; à chacune de ces valeurs est associé un poids représentatif de la force de la connexion. Chaque neurone effectue localement un calcul dont le résultat est transmis ensuite aux neurones avals.

La famille de réseau majoritairement employé est le perceptron multi-couches (PMC). À lui seul ce type de réseau recouvre plus de 95 % des applications scientifiques et industrielles. Il comporte quelques dizaines à quelques centaines de neurones dans les cas usuels, voir plusieurs milliers pour les applications graphiques.

Le PMC est un modèle de réseau à propagation par couche (figure 24). Les neurones y sont organisés en couches successives : une couche d'entrée, une couche de sortie et entre les deux une ou plusieurs couches intermédiaires, appelées aussi couches cachées. Il n'existe pas de connexion entre les neurones d'une même couche, en revanche tout neurone d'une couche est connecté à tous les neurones de la couche suivante.

La « couche » d'entrée n'est pas une réelle couche de neurones car elle se contente de coder les variables d'observation. La couche de sortie code la variable de discrimination. Les valeurs d'activité des neurones sont propagées dans le réseau, de l'entrée vers la sortie, sans retour arrière. La présence d'une couche cachée permet de modéliser des relations non linéaires entre les entrées et la sortie.

En théorie une seule couche cachée suffit, mais le fait de disposer d'une seconde couche cachée permet de modéliser plus facilement une fonction de discrimination non continue. En pratique, la plupart des problèmes sont résolus avec un ou deux niveaux, trois au maximum.[14]

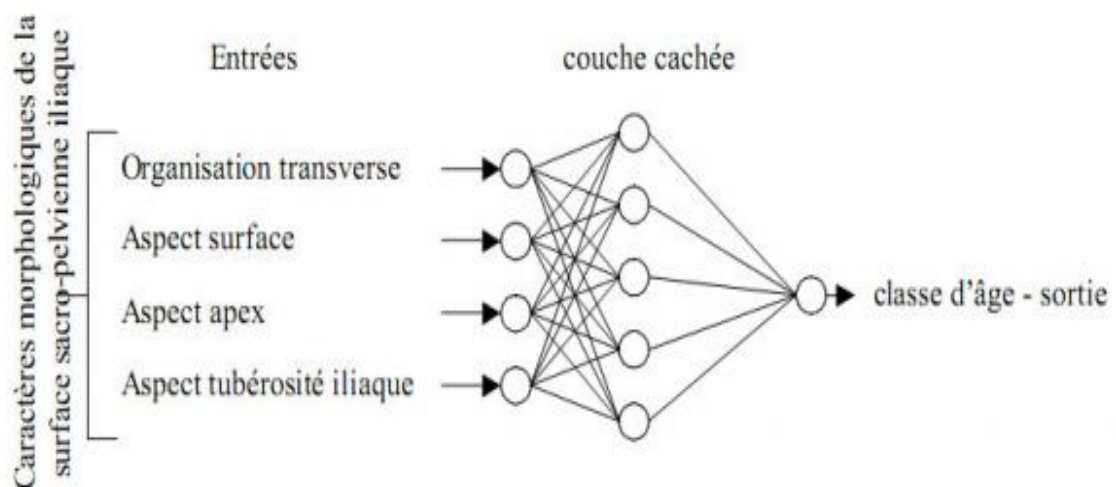


Figure 24: Schéma d'un perceptron multi-couches illustrant l'estimation de l'âge au décès à partir de l'observation de critères osseux de la surface sacro-pelvienne iliaque.

L'objectif général d'un RNA est de trouver la configuration des poids de connexion entre neurones pour qu'il associe à chaque configuration d'entrée, une réponse adéquate. L'utilisation d'un RNA se fait en deux temps. Tout d'abord une phase d'apprentissage qui est chargée d'établir des valeurs pour chacune des connexions du réseau, puis une phase d'utilisation proprement dite, où l'on présente au réseau une entrée et où il nous indique en retour « sa » sortie calculée.

Dans le cas du PMC, on utilise un apprentissage supervisé. Les valeurs des poids de connexion sont créées tout d'abord au hasard et le système cherche par itérations successives à obtenir une modélisation des données. À chaque étape, une entrée est présentée au réseau, il propage ces valeurs vers les neurones de sortie.

Cette sortie calculée est comparée avec la réponse attendue et le système modifie les poids en conséquence. Cette altération des connexions est obtenue par l'algorithme de rétropropagation du gradient d'erreur. Ce calcul est chargé de rétropropager dans le réseau les erreurs constatées sur les sorties. En théorie, on ne peut jamais être sûr que cet algorithme finisse par déterminer un ensemble de poids convenable pour tous les couples d'entrées-sorties. En pratique, on ne construit pas un seul RNA, mais plusieurs modèles en jouant sur les paramètres de cet algorithme, et en cherchant à obtenir un modèle qui colle au mieux aux données.

Dans le cas où son apprentissage est non supervisé, le réseau doit trouver par lui-même les régularités sous-jacentes des données.

II.7 Quelques applications

À l'heure actuelle, peu de travaux appliquent les PMC dans le domaine de l'Anthropologie. Cependant, il existe quelques études à l'interface de cette discipline dans lesquelles on rencontre des problématiques analogues.

Le premier groupe d'exemples concerne l'utilisation des PMC en taxinomie. Culverhouse et ses collaborateurs (1994) ont tenté de distinguer plusieurs espèces de protozoaires en élaborant un PMC. Le réseau réalisé a donné de meilleurs résultats que les techniques courantes de catégorisation des organismes marins. Marcondes et Borges (2000) ont élaboré un PMC pour différencier les mâles de plusieurs espèces de diptères. Ils ont effectué un test sur un échantillon indépendant de 58 spécimens. Seulement 2 spécimens ont été mal discriminés. Ces exemples de classification s'apparentent dans leur problématique aux travaux effectués en paléanthropologie pour différencier des groupes ou taxons fossiles, ainsi que des populations archéologiques ou actuelles, par des particularités de forme et de format.

Le deuxième groupe d'exemple est l'estimation de l'âge au décès des adultes à partir du squelette. Cette estimation est un problème épineux tant en anthropologie qu'en médecine légale. En effet, les indicateurs osseux ou dentaires évoluent avec l'âge selon une multitude de facteurs qui interagissent de façon complexe. La relation entre l'âge chronologique et les indicateurs n'est donc pas linéaire. C'est la raison pour laquelle l'estimation de l'âge au décès

est actuellement un véritable échec. De plus, la plupart des techniques de prédiction utilisées ne tiennent pas compte de cette variabilité et sont donc des sources d'erreurs supplémentaires. Amariti et ses collègues (2000) ont tenté d'améliorer l'estimation de l'âge au décès à partir de la formation de la dentine secondaire en élaborant un PMC. L'erreur moyenne est de l'ordre de 8 ans avec le PMC, alors qu'elle est de 11 ans avec une régression linéaire.

L'estimation de l'âge au décès des adultes avec le PMC a également été faite à partir d'indicateurs osseux (Schmitt, 2001) en tenant compte de la variabilité de la sénescence et en évitant les écueils méthodologiques systématiques. Ce travail a privilégié la fiabilité de l'estimation au détriment de la précision par l'attribution des spécimens à une classe d'âge. L'étude prospective sur le potentiel du PMC, a donné des résultats intéressants. Il permet de distinguer les individus appartenant aux classes d'âge extrêmes, soit la classe 20-29 et les plus de 60 ans. L'identification de ces classes d'âge est primordiale dans les études paléobiologiques. En effet, les méthodes classiques d'estimation de l'âge sous-estiment systématiquement l'effectif des individus de plus de 60 ans et conduisent à des interprétations erronées sur la mortalité des populations du passé. De nombreuses publications affirment que peu ou aucun individu n'atteignait l'âge de 60 ans dans ces populations. La reconnaissance des individus âgés est donc un apport majeur aux études paléobiologiques, qu'il s'agisse de l'analyse du recrutement funéraire ou de l'épidémiologie.

Un domaine de recherche très courant en anthropologie du vivant est la détermination de l'âge biologique des sujets au cours de la croissance à partir de radiographies du poignet. La méthode la plus commune consiste à comparer, sur radiographie, le stade de maturation de la totalité des os du poignet de l'individu étudié avec des radiographies de référence qui englobent la totalité des phases de maturation. Le PMC a été utilisé comme alternative à cette méthode (Gross *et al.*, 1995). Les résultats sont aussi performants que ceux obtenus par la méthode classique, mais ne sont pas meilleurs. Cependant, les variables d'entrée du PMC sont des mesures alors que la méthode classique se base sur la comparaison de radiographies.

Une méthode souvent utilisée pour la classification en anthropologie est l'analyse discriminante. Il est évident que dans les applications où cette technique apporte des résultats satisfaisants (détermination du sexe à partir du bassin), il n'est pas utile de recourir au PMC. Néanmoins, il existe des situations où les taux de classement ne sont pas très élevés, notamment en ce qui concerne la discrimination entre sexe à partir de dimensions prises sur les os longs. Pour illustrer l'utilisation du PMC comme alternative aux fonctions discriminantes, nous pouvons citer l'étude sur la classification de l'origine géographique de

certaines variétés de pommes de terre (Anderson *et al.*, 1999). La comparaison entre les résultats obtenus avec une analyse discriminante et le PMC montre que ce dernier est plus performant. Cet exemple est loin des problématiques anthropologiques, cependant il est intéressant puisqu'il s'agit d'un problème de classification classique.

II.8 Les réseaux de neurones artificiels en pratique

Tout comme pour les traitements statistiques, les données doivent avoir été recueillies sur des cas représentatifs de la population étudiée et la problématique doit être posée en termes clairs.

En ce qui concerne la classification ou la prédiction de valeurs, l'apprentissage des PMC se fait de façon supervisée, la variable de classement ou la variable à prédire doivent être connus. Dans le cas de l'estimation de l'âge au décès à partir du squelette, les collections à observer sont celles pour lesquelles on possède cette information. Il existe cependant d'autres problématiques, telles que la catégorisation à laquelle correspond d'autres types de RNA.

En effet, l'alternative à l'architecture en couches du PMC est un réseau où les flux d'information ne suivent pas une direction privilégiée. Ce type de réseau est appelé réseau bouclé, dont un cas particulier est celui des réseaux totalement connectés. Dans ce cas, on ne cherche plus à connaître des valeurs de « sortie » du réseau, mais à stabiliser globalement les activités individuelles de chacun des neurones. Les réseaux de Hopfield ou encore les cartes auto-organisatrices de Kohonen (Kohonen, 1990) en sont des illustrations. Les réseaux de Kohonen, ont permis, par exemple, la reconnaissance des variables significatives dans les séquences génomiques des grandes banques de données internationales.

L'élaboration d'un RNA, quelle que soit son architecture, requiert une certaine expérience. C'est la raison pour laquelle la collaboration avec des spécialistes est la démarche la plus souhaitable, que ce soit pour superviser l'utilisation de logiciels simples, tels que SPSS, MATLAB, STATISTICA qui proposent des modules de RNA, ou pour l'élaboration de RNA à partir de logiciels plus sophistiqués. L'application des réseaux de neurones artificiels étant en plein essor dans tous les domaines de la recherche, cette interdisciplinarité est facilement envisageable. Les réseaux de neurones artificiels constituent donc un outil de traitement des données qui, au même titre que les statistiques traditionnelles, peut s'appliquer dans le domaine de l'anthropologie biologique, les relations complexes entre variables ne manquant pas dans ce domaine. Ils ne constituent pas le remède miracle, mais ils sont une alternative possible aux approches statistiques courantes qui ne sont pas toujours adaptées à nos problématiques.

Références

- [1] Constantine A. Balanis, "Antenna Theory Analysis and Design", 2005, John Wiley & Sons, INC.
- [2] Hassad, Mourad. Modélisation d'une antenne patch réalisée sur un substrat à tenseurs de permittivité et de perméabilité diagonaux. Diss. Université de Batna 2, 2009.
- [3] Lakhdar, M. E. R. R. O. U. C. H. E. Étude comparative des structures d'antennes à base de structures périodiques pour les applications multifréquences. Diss. Faculté des Sciences et Technologies, 2021
- [4] Adil Kamil , Conception D'une Antenne Patch Ultra-Large Bande (3.1 Ghz-10.6 Ghz), Institut National De La Recherche Scientifique, Mémoire présenté pour l'obtention du grade du Maitre ès sciences, 2011.
- [5] Farah, Bassma. Effet de l'insertion des fentes dans l'élément rayonnant sur les caractéristiques des antennes planaires. Diss. 2021.
- [6] BENMEZIANE, Mohamed, Salah Eddine SALEMI, and BAKHTI MIMENE. "Etude et Simulation des paramètres d'une antenne patch rectangulaires 2.45 GHz, sous l'effet de la température." (2021).
- [7] Y. T. Lo, D. D. Harrison, D. Solomon, G. A. Deschamps, and F. R. Ore, "Study Of Microstrip Antennas, Microstrip Phased Arrays, And Microstrip Feed Networks ", Rome Air Development Center, Tech. Rep. TR-77-406, Oct. 21, 1977. [17]
- [8] ADDACI RAFIK, Evaluation De La Fréquence De Résonance Complexe Et De La Bande Passante D'une Antenne Microbande Rectangulaire Par La Méthode Neurospectrale, Université de Constantine , Diplôme De Magister En Electronique.
- [9] G. G. Sanford, "Conformal Microstrip Phased Array For Aircraft Tests With Ats-6", in Proc. Nat. Electronics Conf., vol. 29, Oct. [10]
- [10] I. J. Bahl and P. Bhartia, "Microstrip Antennas", Dedham, MA: Artech House, 1980. [20].
- [11] Abdi (H.) 1994, Les réseaux de neurones, Presses universitaires de Grenoble, Grenoble.

[12] Amariti (M.-L.), Restori (M.), De Ferrari (F.), Paganelli (C.), Faglia (R.), LEGNANI (G.) 2000, A histological procedure to determine dental age, Journal of Forensic Odontostomatology 18 : 1-5.

[13] F. Rosenblatt (1958), The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain (<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.335.3398&rep=rep1&type=pdf>)

[14] Anderson (K. A.), Mangnuson (B. A.), Tschirgi (M. L.), Smith (B.) 1999, Determining the geographic origin of potatoes with trace metal analysing using statistical and neural network classifiers, Journal of Agricultural and Food Chemistry 47 : 1568-1575.

[15] Les réseaux de neurones artificiels

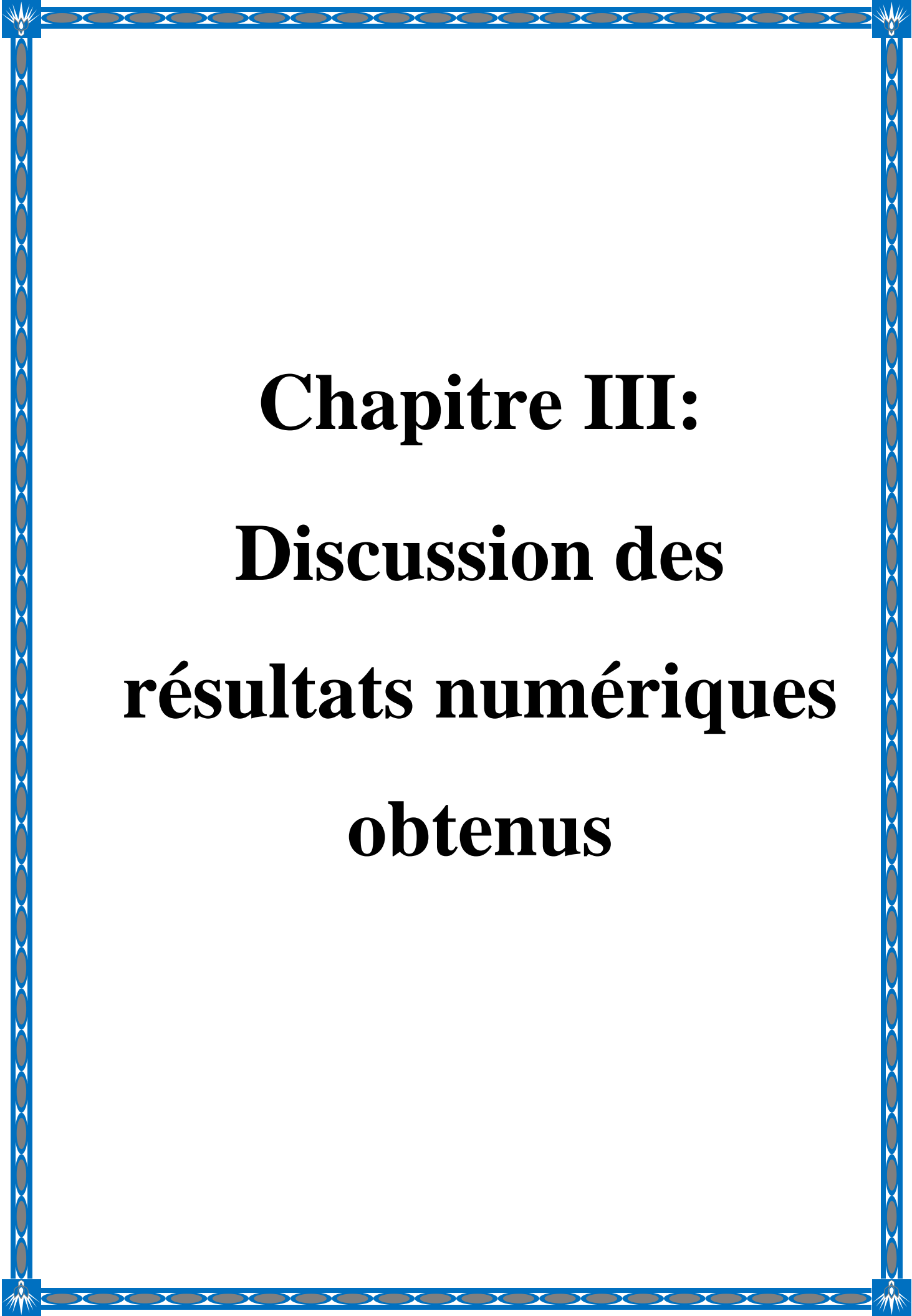
<https://journals.openedition.org/bmsap/4463?lang=en#tocfrom1n2>

[16]- D.E. Rumelhart "Learning Representation By Back-Propagation Errors", The MIT Press, VOL.1, Cambridge. 1986.

[17]- Anil K. Jain, Jianchang Mao, K.M. Mohiuddin, Artificial Neural Networks: A Tutorial. IEEE March 1996.

[18]- M. Minsky and S. Papert, Perceptrons: An Introduction To Computational Geometry, MIT Press, Cambridge, Mass., 1969.

[19] BOUHOUS Adil, Utilisation de la méthode de la phase stationnaire et des réseaux de neurones artificiels pour la modélisation d'un résonateur micro-ruban à structure ouverte, MAGISTER EN ELECTRONIQUE, UNIVERSITE DE BATNA, 2011/2012.



Chapitre III:

Discussion des

résultats numériques

obtenus

III.1. INTRODUCTION

Il y a eu un énorme développement dans le domaine des antennes patch au cours des deux dernières décennies [1, 2]. C'est le résultat d'une recherche écrasante et cette technologie a été rapidement absorbée par la consommation. Quelques travaux de recherche antérieurs effectués dans ce domaine sont discutés dans ce domaine. Les réseaux de neuronal artificiel (ANN) sont conçus pour l'analyse par une procédure de modélisation des antennes microruban rectangulaires l'épaisseur du substrat dans antenne est inversement proportionnelle à la fréquence de résonance de l'antenne, c'est-à-dire qu'une antenne fonctionnant à une fréquence plus élevée est de taille plus petite que celle d'une antenne fonctionnant à une fréquence plus basse. Ainsi, pour diminuer les dimensions d'antenne nécessaires pour faire fonctionner l'antenne à plus basse fréquence, la longueur électrique du patch doit être agrandie à plus basse fréquence. Cette technique a été utilisée avec succès pour minimiser les dimensions de l'antenne. Une technique d'amélioration de la longueur électrique consiste à serpenter le trajet du courant de surface du patch. Un de ces travaux de recherche a été effectué par Dey et Mittra [3].(Zhang QJ 2000)

Dans ce chapitre nous appliquons la méthode des réseaux de neurones artificiels (neurospectraux) utilisée pour analyser les antennes microruban. Avant de connaître l'influence des paramètres physiques sur la fréquence de résonance, nous devons d'abord valider notre formulation théorique. Ensuite, nous examinerons l'effet des paramètres physiques ; la permittivité (ϵ_x, ϵ_y) et l'épaisseur (a/b) du diélectrique

Enfin, nous traçons une série de graphiques en fonction des paramètres géométriques et bphysiques ci-dessus pour les résultats obtenus avec notre méthode (Neuro_Spectral).

Résultats numériques:

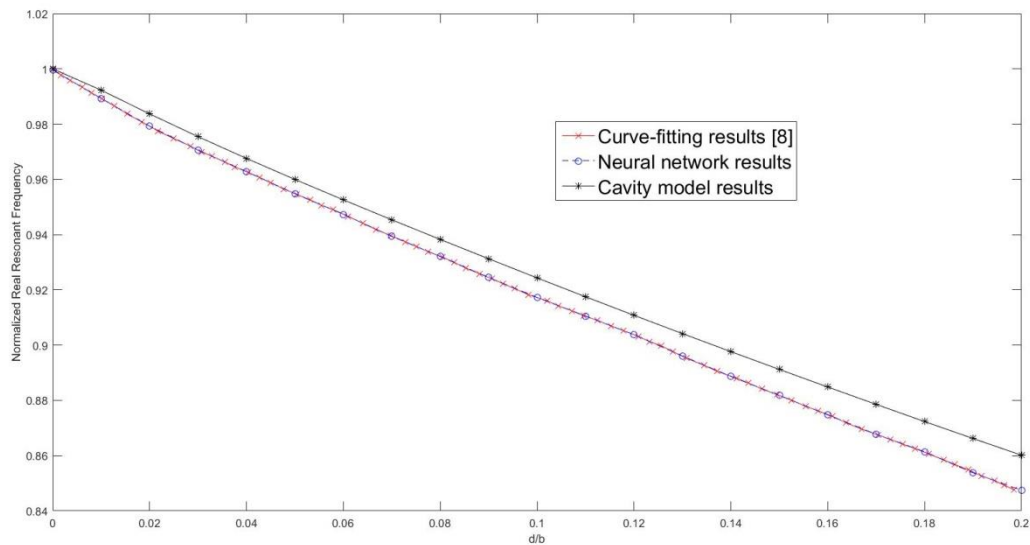


Figure 25: fréquence de résonance réelle normalise d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $\epsilon_x=2,35$ $\epsilon_z=2,35$, $a=15\text{mm}$ $b=10\text{mm}$

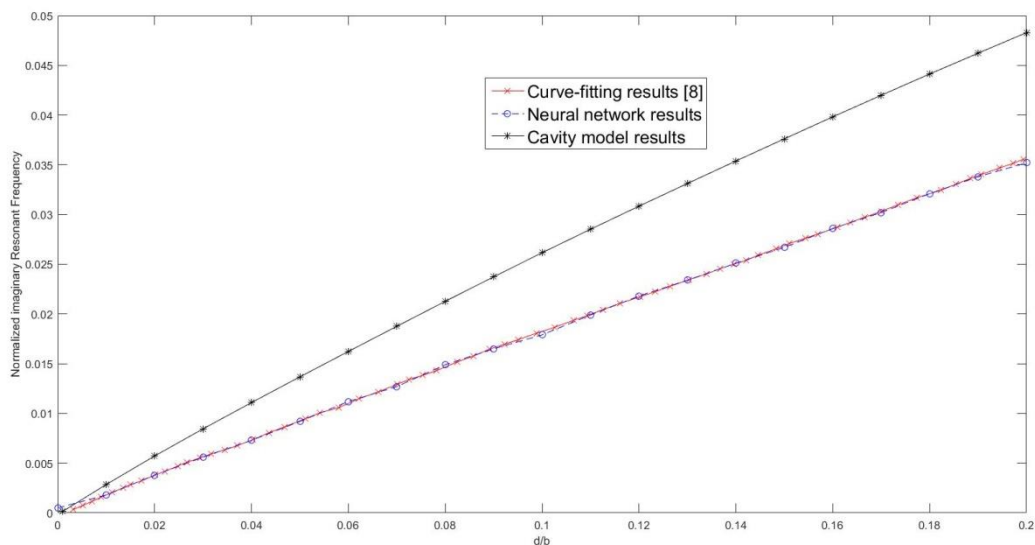


Figure 26: fréquence de résonance imaginaire normalise d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $\epsilon_x = 2,35$ $\epsilon_z = 2,35$, $a=15\text{mm}$ $b=10\text{mm}$

Figure 25 et 26 cas isotrope :

La variation de la partie réelle et imaginaire de la fréquence de résonance d'une antenne microbande rectangulaire imprimée sur un substrat isotrope et fonction de l'épaisseur du substrat est montrée dans la figure (02a) et figure (02b) respectivement

Dans la figure Nous constatons que la variation de l'épaisseur du substrat provoque une grande augmentation dans la figure (25) et diminue de fréquence de résonance dans la figure (26), nous manquons aussi que nous résultats RNA sont proche au résultat de la méthode de la cavité et la méthode de fitage (curve fitting)

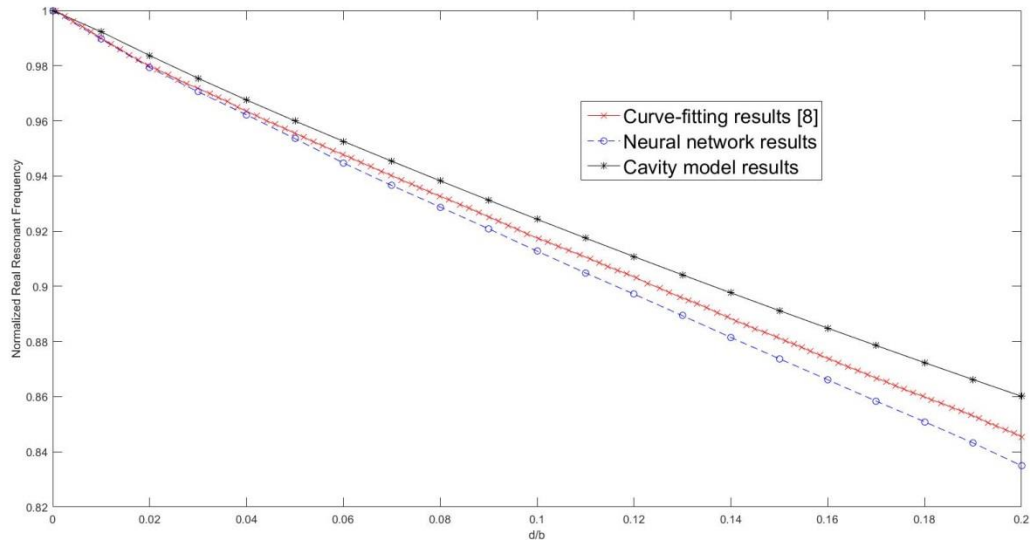


Figure 27: fréquence de résonance réelle normalise dune antenne patch rectangulaire en fonction d/b , pour $\epsilon_x=2,35$ $\epsilon_z=2,35$ $a=15\text{mm}$ $b=10\text{mm}$

Figure 27 cas isotrope :

La variation de la fréquence de résonance réelle normalise dune microbande rectangulaire imprime sur un substrat isotrope et fonction de l'épaisseur du substrat est montrée dans la figure (28)

Nous constatons que la variation de l'épaisseur du substrat et diminue de fréquence de résonance, nous manquons aussi que nous résultats RNA sont proche au résultat de la méthode de la cavité et la méthode de fitage (curve fitting)

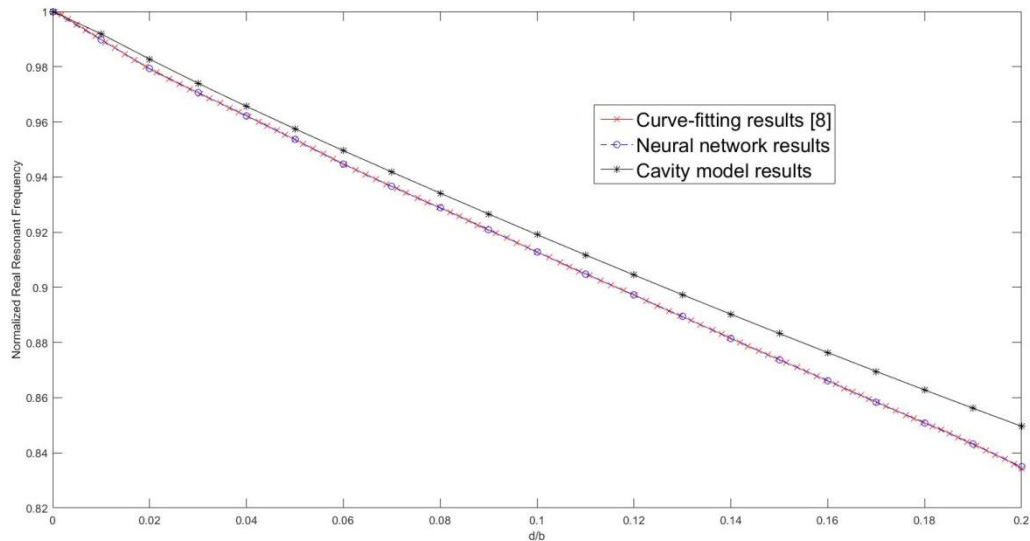


Figure 28: fréquence de résonance réelle normalise dune antenne patch rectangulaire en fonction de d/b , pour $\epsilon_x=2,82$ $\epsilon_z=2,35$ a=15mm b=10mm

Figure 28 cas anisotrope :

La variation de la fréquence de résonance réelle dune microbande rectangulaire imprime sur un substrat isotrope et fonction de l'épaisseur du substrat

Nous constatons que la variation de l'épaisseur de substrat et diminue de fréquence de résonance, nous constatons aussi que nos résultats RNA sont proche au résultat de la méthode de la cavité et la méthode de fitage (curve fitting)

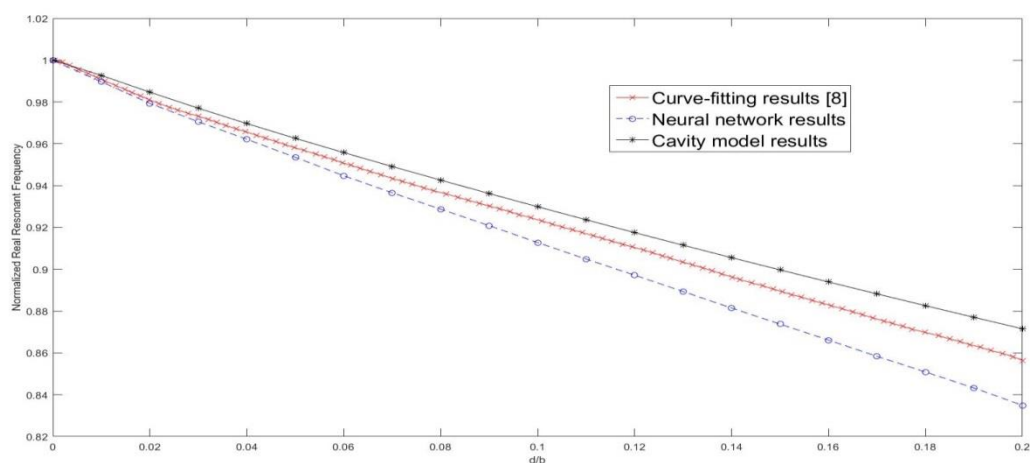


Figure 29: fréquence de résonance réelle normalise dune antenne patch rectangulaire en fonction de d/b , pour $\epsilon_x=1,88$ $\epsilon_z=2,35$ a=15mm b=10mm

Figure 29 cas isotrope :

La variation de la fréquence de résonance d'une microbande rectangulaire imprimée sur un substrat isotrope est fonction de l'épaisseur du substrat.

Nous constatons que la variation de l'épaisseur du substrat et diminue de fréquence de résonance, nous constatons aussi que nos résultats RNA sont proches du résultat de la méthode de la cavité et la méthode de fitage (curve fitting)

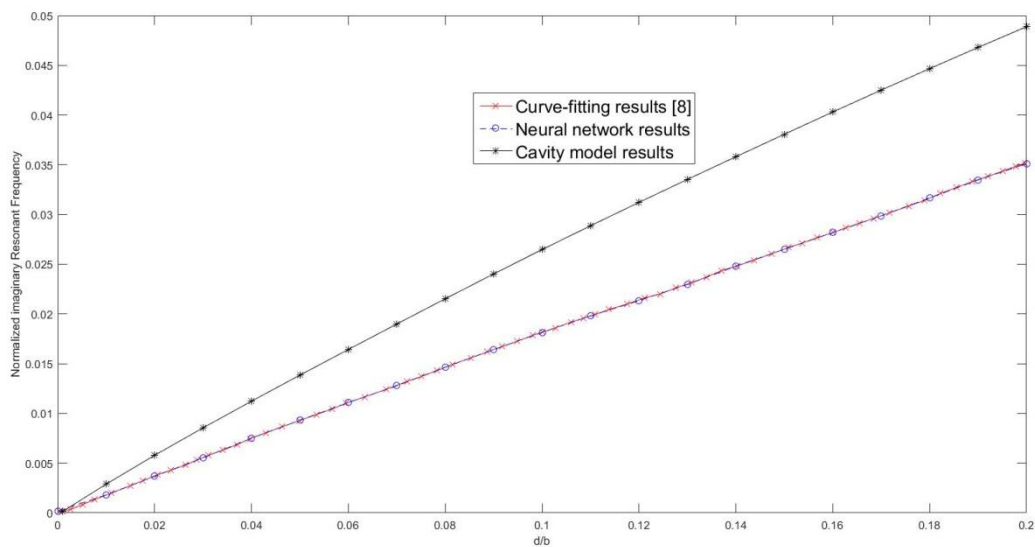


Figure 30: fréquence de résonance imaginaire normalisée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $\epsilon_x = 2,35$ $\epsilon_z = 2,35$ a= 15mm b=10mm

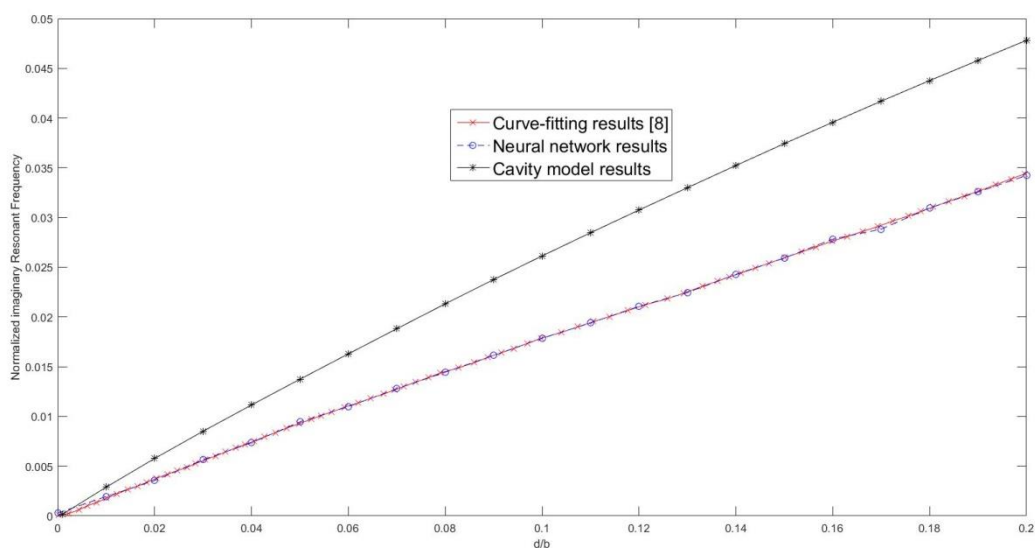


Figure 31: fréquence de résonance imaginaire normalisée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b, pour a=15mm b=10mm $\epsilon_x=2,82$ $\epsilon_z=2,82$

Figure 31 cas isotrope :

La variation de la fréquence de résonance d'une microbande rectangulaire imprimée sur un substrat isotrope est fonction de l'épaisseur du substrat.

Nous constatons que la variation de l'épaisseur du substrat provoque une grande augmentation. Nous constatons aussi que nos résultats RNA sont proches du résultat de la méthode de la fitage (curve fitting) et convergent avec la méthode de cavité

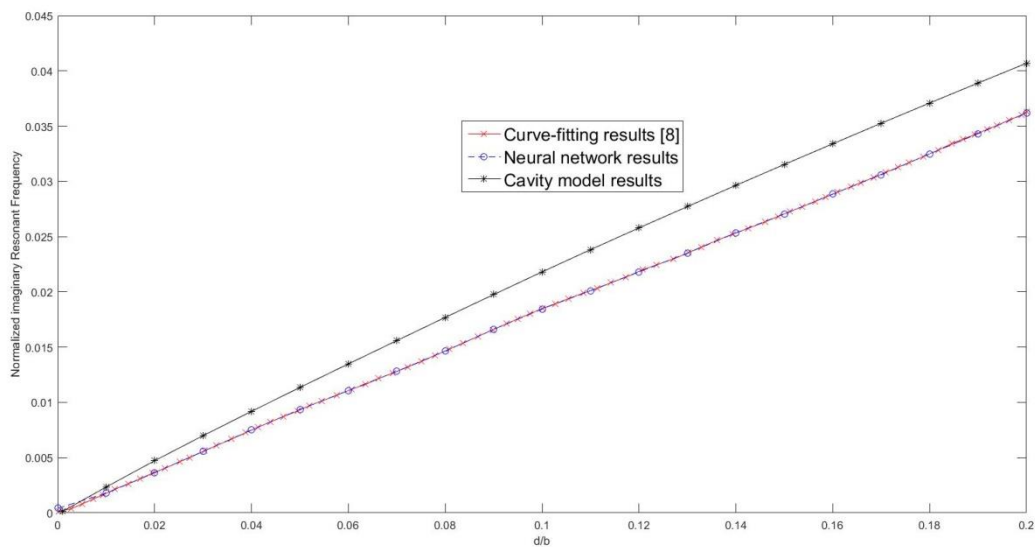


Figure 32: fréquence de résonance imaginaire normalisée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour, a=15mm b=10mm $\epsilon_x=1,88$ $\epsilon_z=2,35$

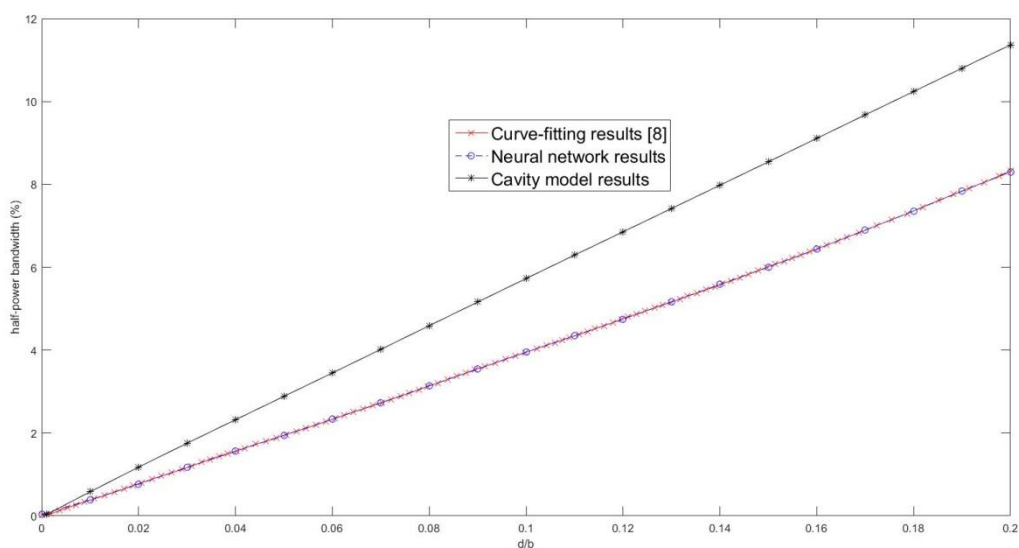


Figure 33: la bande passante % d'une patch rectangulaire en fonction de d/b pour a=15mm b=10mm $\epsilon_x=2,35$ $\epsilon_z=2,35$

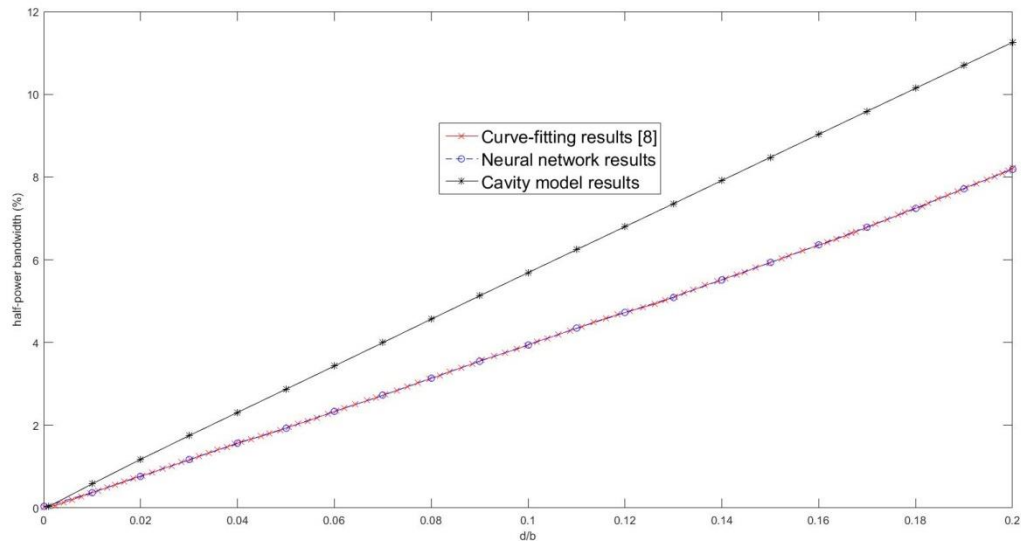


Figure 34: la bande passante (%) d’une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $a=15\text{mm}$ $b=10\text{mm}$ $\epsilon_x=2,82$ $\epsilon_z=2,35$

Figure 34 cas anisotrope :

La variation de la bande passante d'une microbande rectangulaire imprimée sur un substrat isotrope et fonction de l'épaisseur du substrat.

Nous constatons que la variation de l'épaisseur du substrat provoque une grande augmentation, nous constatons aussi que nos résultats RNA sont proches du résultat de la méthode de la cavité et la méthode de fitage (curve fitting)

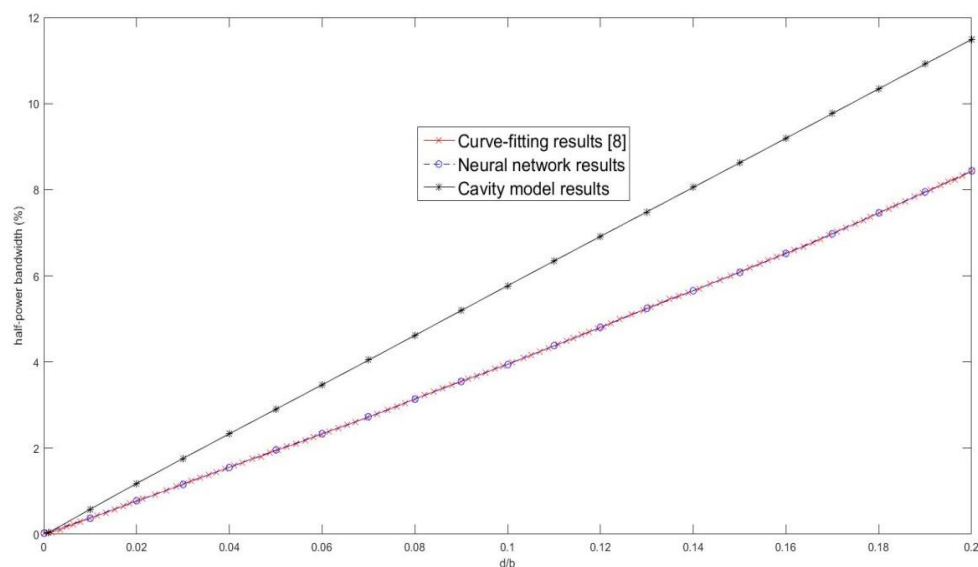


Figure 35: la bande passante (%) d’une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $a=15\text{mm}$ $b=10\text{mm}$ $\epsilon_x=1,88$ $\epsilon_z=2,35$

Figure 04 cas anisotrope :

La variation de la bande passante d'une microbande rectangulaire imprimée sur un substrat isotrope et fonction de l'épaisseur du substrat.

Nous constatons que la variation de l'épaisseur du substrat provoque une grande augmentation, nous constatons aussi que nos résultats RNA sont proches du résultat de la méthode de la cavité et la méthode de fitage (curve fitting)

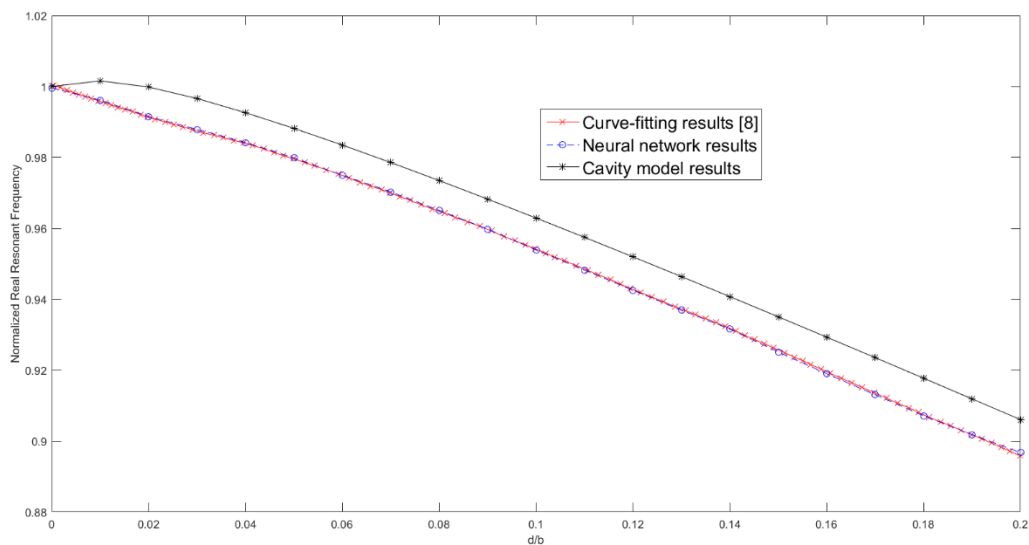


Figure 36: fréquence de résonance réelle normalisée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour ; a=15mm b=10mm εx=7 εz=7

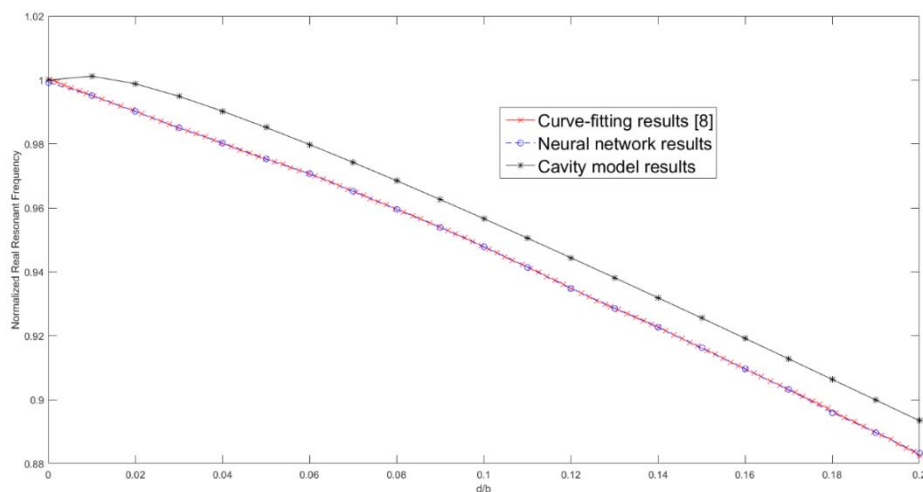


Figure 37: fréquence de résonance réelle normalisée d'une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour ; a=15mm b=10mm εx=8,4 εz=7

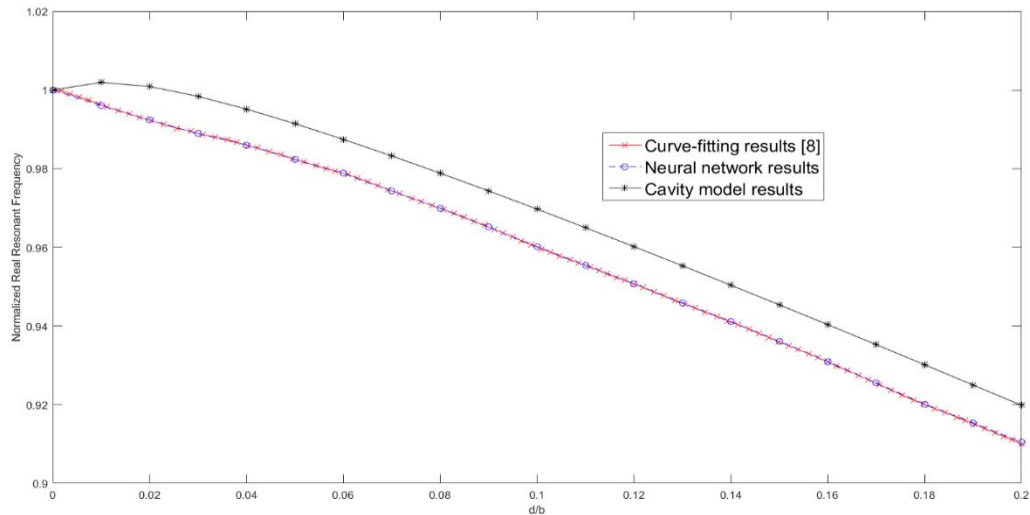


Figure 38: fréquence de résonance réelle normalise d’une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour, a=15mm b= 10mm $\epsilon_x=5,6$ $\epsilon_z=7$

Figure 38 cas anisotrope :

La variation de la fréquence de résonance réelle dune microbande rectangulaire imprime sur un substrat anisotrope et fonction de l’épaisseur du substra.

Nous constatons que la variation de l’épaisseur du substrat et diminue de fréquence de résonance, nous constatons aussi que nos résultats RNA sont égaux au résultat de la méthode (curve fitting) et correspondent avec la méthode de (cavity)

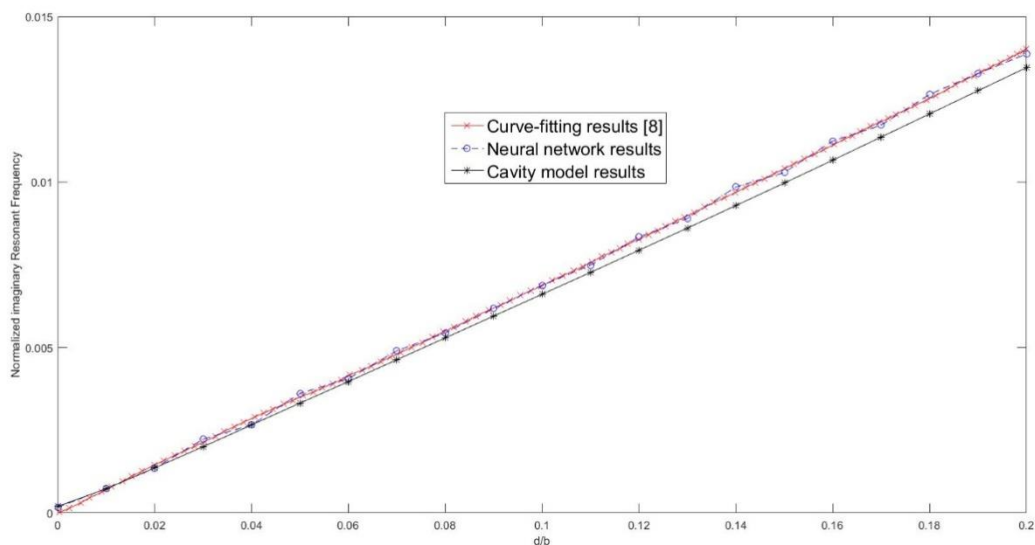


Figure 39: fréquence de résonance imaginaire normalise d’une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour , a=15mm , b=10mm $\epsilon_x=7$, $\epsilon_z=7$

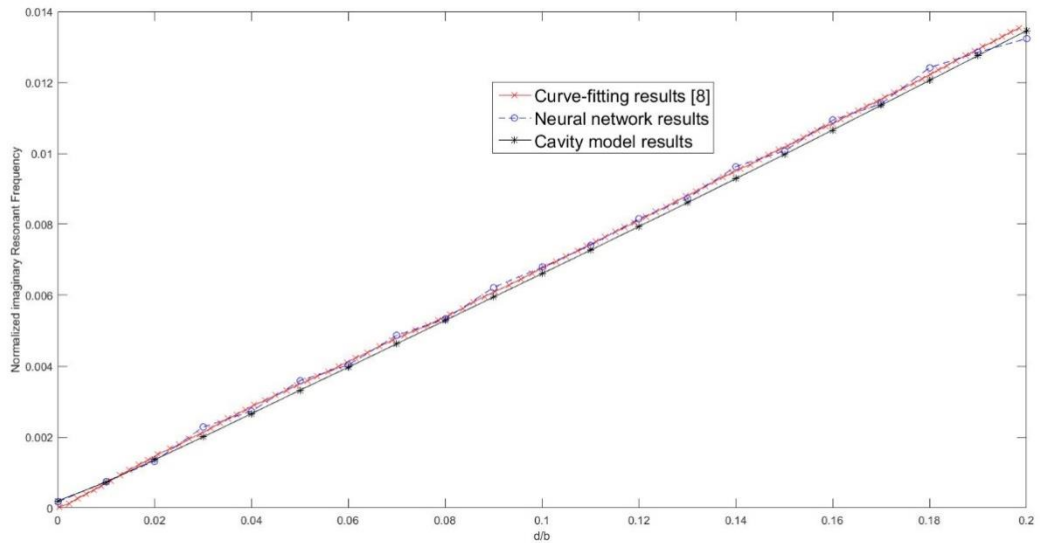


Figure 40: fréquence de résonance imaginaire normalisée d’une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour $a=15\text{mm}$ $b=10\text{mm}$, $\epsilon_x=8,4$ $\epsilon_z=7$

Figure 40 cas isotrope :

La variation de la fréquence de résonance imaginaire d’une microbande rectangulaire imprimée sur un substrat isotrope et fonction de l’épaisseur du substrat.

Nous constatons que la variation de l’épaisseur du substrat provoque une grande augmentation de la fréquence de résonance, nous constatons aussi que nos résultats RNA sont identiques aux résultats de la méthode de la cavité et la méthode de fitage (curve fitting)

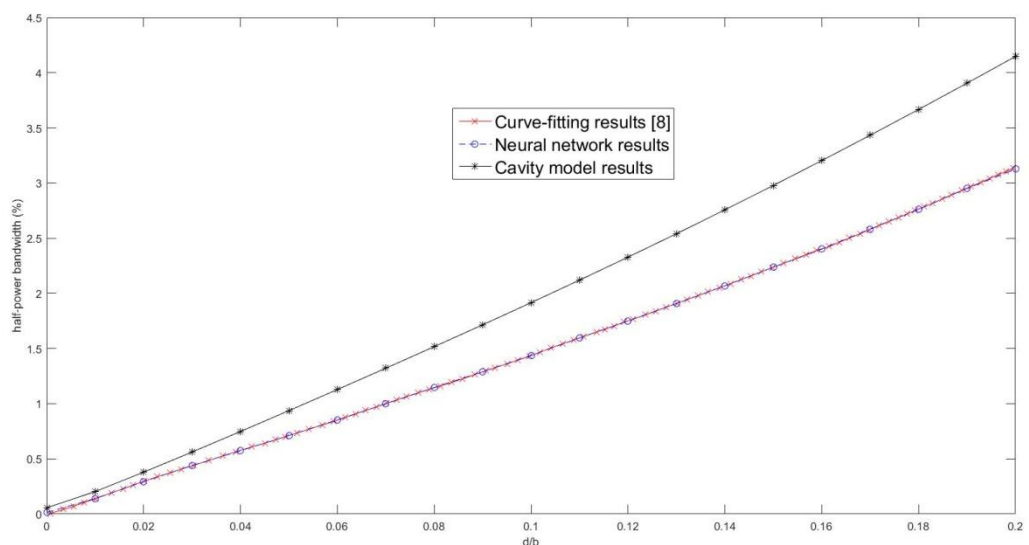


Figure 41: la bande passante(%)d’une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour, $a=15\text{mm}$ $b=10\text{mm}$ $\epsilon_x=7$ $\epsilon_z=7$

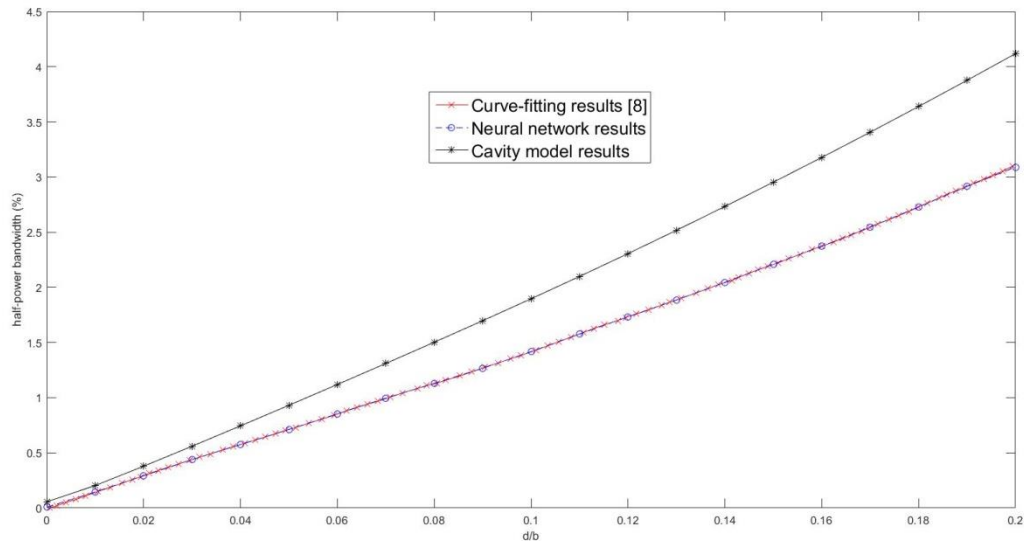


Figure 42: la bande passante(%) d’une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour a=15mm b=10mm $\epsilon_x=8,4$ $\epsilon_z=7$

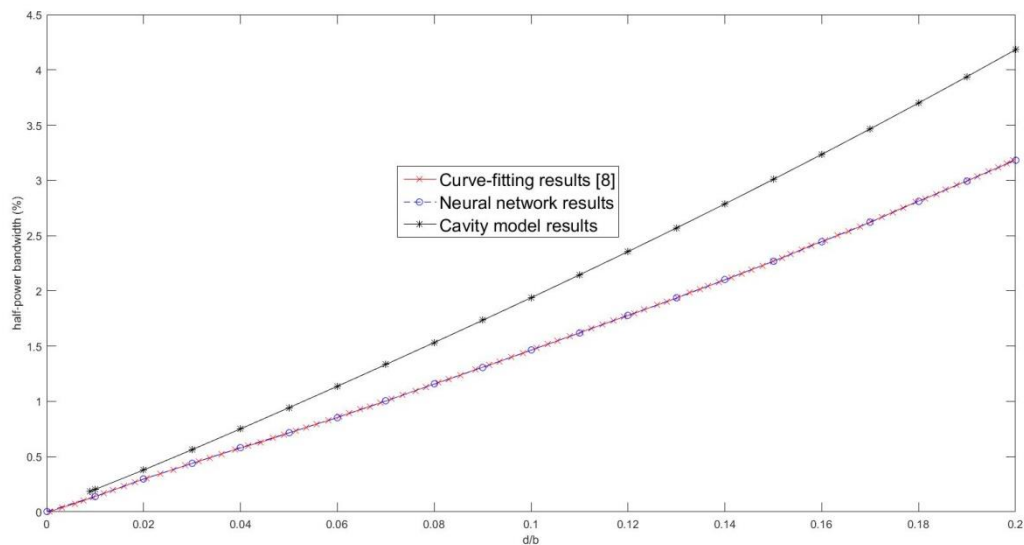


Figure 43: la bande passante (%) d’une antenne patch rectangulaire en fonction de d/b pour a=15mm b=10mm $\epsilon_x=5,6$ $\epsilon_z=7$

Figure 43, cas anisotrope :

La variation de la bande passante d'une microbande rectangulaire imprimée sur un substrat anisotrope et fonction de l'épaisseur du substrat.

Nous constatons que la variation de l'épaisseur du substrat provoque une grande augmentation, nous constatons aussi que nos résultats RNA sont identiques au résultat de la méthode de (curve fitting) et sont convergents avec la méthode de cavité

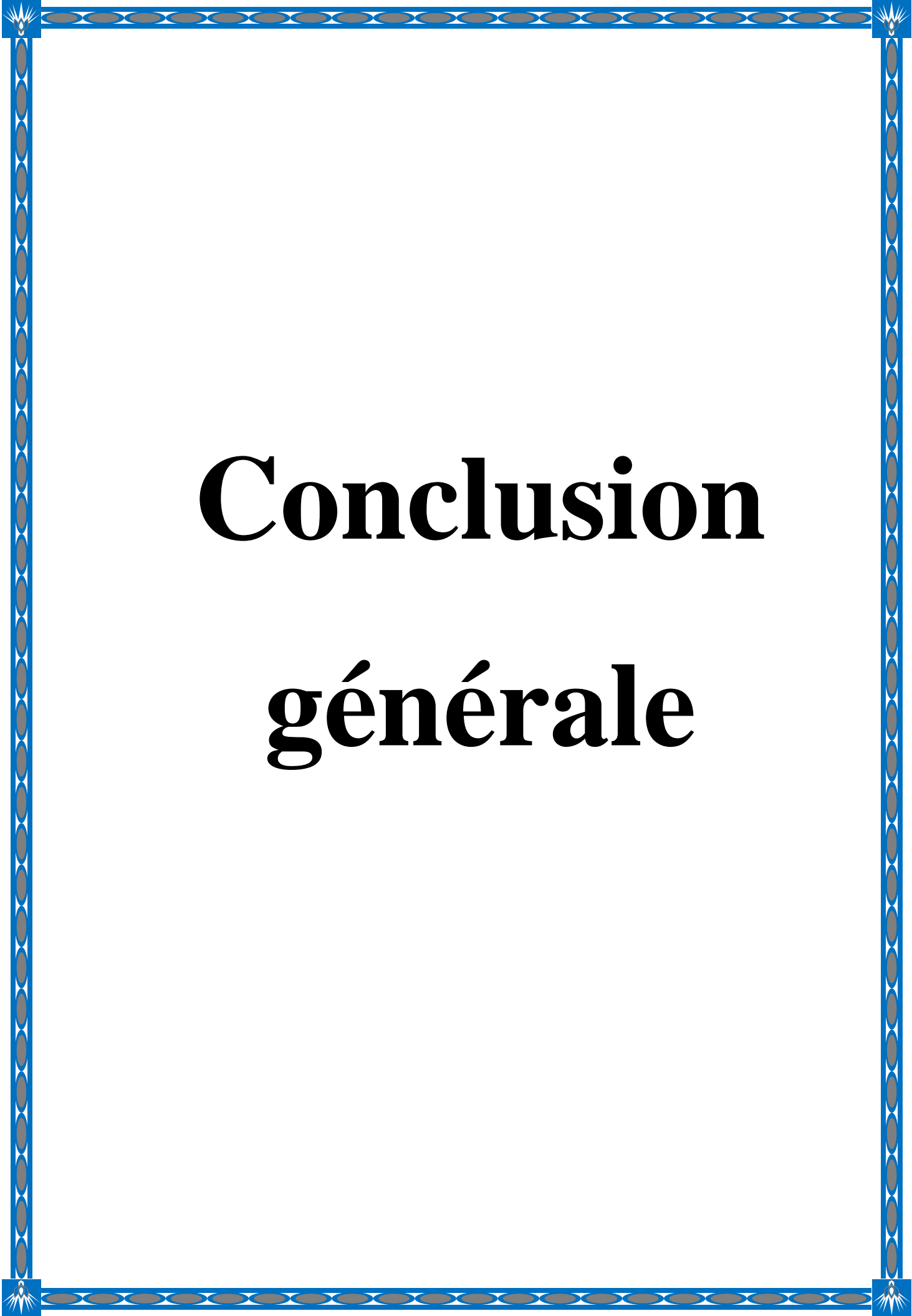
III. Conclusion :

Dans ce travail, l'antenne patch micro ruban rectangulaire est conçue en utilisant la technique de modélisation du réseau de neurones artificiels. La synthèse renvoie à l'avant et l'analyse à l'arrière du problème. Par conséquent, les dimensions géométriques telles que la longueur et la largeur de l'antenne sont déterminées plus précisément en moins de temps par rapport au logiciel de simulation, tout en fournissant en même temps la fréquence de résonance, l'épaisseur et la constante diélectrique sur le côté entrée du modèle ANN. Dans le problème d'analyse de l'antenne patch, la fréquence de résonance ou les fréquences limites supérieure et inférieure de l'antenne patch sont obtenues du côté sortie du modèle ANN, tandis que du côté entrée, les dimensions du patch (W , L) et d'autres paramètres sont fournis par ANN. Modélisez avec une grande précision en moins de temps.

Chapitre III: Discussion des résultats numériques obtenus

Références de chapitre:

- 1.Zhang QJ, Gupta KC. Neural Networks for RF and Micro-wave Design. USA: Artech House Publishers; 2000.
- 2.Wood C. Improved bandwidth of micro-strip antennas using parasitic elements. IEEE Proceedings on Microwaves, Optics and Antennas. 1980;127(4):231–234.
- 3.Dey S, Mitra R. Compact microstrip patch antenna. Micro-wave and Optical Technology Letters. 1996;13(1):12–14.



Conclusion

générale

Conclusion générale

Conclusion générale:

À la fin de ce mémoire nous avons utilisé MATLAB pour étudier et simuler une antenne patch rectangulaire imprime sur un substrat isotrope ou anisotrope. Notre objectif principal était de développer un modèle basé sur les RNA capable de prédire les performances de l'antenne pour diverses configurations de substrat.

Le premier chapitre met l'accent sur les antennes patch rectangulaires et explore les bases des antennes et leurs applications, leurs avantages et leurs inconvénients. Ensuite, nous avons examiné les paramètres clés qui déterminent les performances d'une antenne, ainsi que les techniques conventionnelles utilisées pour sa conception et son optimisation.

Le deuxième chapitre traite les réseaux de neurones artificiels et sont utilisation dans le domaine des antennes. Nous avons décrit les concepts de base et l'architectures de réseaux de neurones et les algorithmes d'apprentissage courants. De plus, nous avons discuté des techniques d'évaluation des performances des modèles de RNA.

Les résultats de notre étude et de nos simulations sont présentés dans le troisième chapitre. Nous avons décrit la méthode utilisée pour créer l'ensemble de données d'entraînement et de test, ainsi que les caractéristiques considérées pour simule l'antenne patch rectangulaire. Nous avons examiné les performances de l'antenne pour diverses configurations de substrat et comparé nos résultats à ceux obtenus à l'aide de techniques conventionnelles dans des articles internationales.

Nos résultats ont montré que l'utilisation de réseaux de neurones artificiels pour prédire les performances des antennes patch rectangulaires est efficace. Notre modèle basé sur les RNA a démontré une précision satisfaisante et a permis d'obtenir des résultats similaires, voire meilleurs, que les méthodes traditionnelles.

En conclusion, ce mémoire a amélioré notre compréhension des performances des antennes patch rectangulaires et l'utilisation des réseaux de neurones artificiels dans ce domaine. Les résultats obtenus suggèrent que les RNA peuvent être des outils utiles pour la conception et l'amélioration des performances des antennes dans le domaine des communications sans fil et ouvrent la voie à de nouvelles possibilités d'optimisation des antennes.

Cependant, nous devons noter certaines limites de notre étude. Bien que notre modèle a donné des résultats acceptables, il est crucial de continuer à explorer et à améliorer les

Conclusion générale

approches basées sur les RNA afin d'optimiser davantage les antennes patch rectangulaires. Pour une évaluation plus complète des performances des antennes, d'autres facteurs tels que les contraintes de fabrication et les conditions environnementales réelles doivent également être pris en compte.

Enfin, ce mémoire nous a fourni une base solide pour de futures recherches visant à améliorer les performances des antennes patch rectangulaires et à explorer davantage le potentiel des réseaux de neurones artificiels dans ce domaine. Nous espérons que ces recherches aideront les progrès futurs des technologies de communication sans fil et offrent de nouvelles opportunités pour une connectivité plus efficace et plus avancée.

Résumé

Résumé:

Dans ce travail à l'aide de réseaux de neurones nous avons étudié et simulé des antennes patch rectangulaires. L'accent est mis sur l'utilisation de réseaux de neurones pour optimiser la conception des antennes, prédire leurs performances, simuler leurs propriétés électromagnétiques et reconstruire leur géométrie à partir de données partielles.

Le mémoire explore l'utilisation des réseaux de neurones pour prédire les performances de l'antenne avant sa fabrication. En formant un réseau neuronal sur un ensemble de données qui comprend la géométrie de l'antenne et les performances correspondantes, le réseau peut prédire les performances d'une nouvelle antenne en fonction de sa conception.

The thesis examines the application of artificial neural networks to study and simulate rectangular patch antennas. Emphasis is placed on the use of neural networks to optimize the design of antennas, predict their performance, simulate their electromagnetic properties and reconstruct their geometry from partial data.

The first part of the thesis deals with the optimization of the design of the rectangular patch antenna. Using neural networks, a model is created that learns to automatically generate the best design configurations, taking into account desired performance such as directionality, gain, and bandwidth.

ملخص:

في هذا العمل ، باستخدام الشبكات العصبية ، درسنا ومحاكاة هوائيات التصحيح المستطيلة. ينصب التركيز على استخدام الشبكات العصبية لتحسين تصميم الهوائيات ، والتنبؤ بأدائها ، ومحاكاة خصائصها الكهرومغناطيسية وإعادة بناء هندستها من البيانات الجزئية.

تستكشف الأطروحة استخدام الشبكات العصبية للتنبؤ بأداء الهوائي قبل تصنيعه. من خلال تشكيل شبكة عصبية على مجموعة بيانات تتضمن هندسة الهوائي والأداء المقابل ، يمكن للشبكة التنبؤ بأداء هوائي جديد بناء على تصميمه.

تبحث الأطروحة في تطبيق الشبكات العصبية الاصطناعية لدراسة ومحاكاة هوائيات التصحيح المستطيلة. يتم التركيز على استخدام الشبكات العصبية لتحسين تصميم الهوائيات ، والتنبؤ بأدائها ، ومحاكاة خصائصها الكهرومغناطيسية وإعادة بناء هندستها من البيانات الجزئية.

يتناول الجزء الأول من الأطروحة تحسين تصميم هوائي التصحيح المستطيل. باستخدام الشبكات العصبية ، يتم إنشاء نموذج يتعلم إنشاء أفضل تكوينات التصميم تلقائياً ، مع مراعاة الأداء المطلوب مثل الاتجاه والكسب وعرض النطاق الترددي.

Résumé

Abstract:

In this work, using neural networks, we studied and simulated rectangular patch antennas. The emphasis is on the use of neural networks to optimize the design of antennas, predict their performance, simulate their electromagnetic properties and reconstruct their geometry from partial data.

The thesis explores the use of neural networks to predict the performance of the antenna before its manufacture. By forming a neural network on a dataset that includes the geometry of the antenna and the corresponding performance, the network can predict the performance of a new antenna based on its design.

The thesis examines the application of artificial neural networks to study and simulate rectangular patch antennas. Emphasis is placed on the use of neural networks to optimize the design of antennas, predict their performance, simulate their electromagnetic properties and reconstruct their geometry from partial data.

The first part of the thesis deals with the optimization of the design of the rectangular patch antenna. Using neural networks, a model is created that learns to automatically generate the best design configurations, taking into account desired performance such as directionality, gain, and bandwidth.