

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE.
DEPARTEMENT D'ELECTRONIQUE ET

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNOLOGIE
FILIERE : TELECOMMUNICATIONS
OPTION : SYSTEMES DES
TELECOMMUNICATIONS

Mémoire présenté pour l'obtention
Du diplôme de Master Académique

Présenté par
Cherifi Sarra
Boudaoud Imane

Intitulé :

**Correction des défaillances des réseaux d'antennes
linéaires par l'algorithme de Grey Wolf**

Soutenu devant le jury composé de :

| | | |
|--------------------|---------------------|------------|
| Dr. | Université de Msila | Président |
| Dr. Oudira Houcine | Université de Msila | Rapporteur |
| Pr. Mezache Amar | Université de Msila | Rapporteur |
| Dr. | Université de Msila | Examineur |

Année universitaire : 2019 /2020

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



Remerciements

En préambule à ce mémoire nous remerciant Dieu qui nous aide et nous donne la patience et le courage durant ces longues années d'étude.

En second lieu, nous tenons à remercier notre Encadreur Dr. Oudira Houcine et Pr. Mezache Amar, à leurs précieux conseils et leurs aides durant toute la période du travail.

Nos respects et notre gratitude vont également aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de juger ce travail.

Nous remercions également toute l'équipe de département Electronique Université Mohammed Boudiaf M'sila pour tous les conseils et encouragements dont nous avons bénéficiés tout au long de ce travail.

Enfin, on remercie tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail. Merci à mes camarades de la promotion 2019/2020.



DEDICACES

Je dédie ce travail à tout les gens qui m'entourent un par un, à ceux qui ont souffert pour moi, ces personnes qui m'ont entouré et m'entourent, par leur amour, leur sacrifice, ces gens qui sont la source du bonheur dans ma vie, ces gens qui sont mon refuge dans les moments difficiles, sans eux je ne serais jamais ce que je suis aujourd'hui (mon père, ma mère je vous aime).

Mes frères

Mes sœurs

Mes familles

Mes chars amis (es)

Mes cousins et cousines.

A toutes les personnes à qui je réserve une place dans mon cœur, je leurs dédie ce modeste travail.

SARRA



DEDICACES

Je dédie cet humble travail qui a duré des mois de labeur et de persévérance à : Toute ma famille, source d'espoir et de motivation, pour sa compréhension et son soutien inégalé en particulier:

Mon père « ABDALLAH » qui s'est toujours sacrifié pour nous voir réussir

Ma mère « NAIMA » source d'amour, d'énergie et de confiance

Mes sœurs « AJA, LILA, RAHAF, AMANI » adjuvants de rigueur

M.MEFIDA

Mes amis « IMANE, SIHAM, MAROI, WAFA » au nom de l'amitié qui nous a réunie et les souvenirs inoubliables.

Et Toute la promotion 2019/2020

IMANE

Table des Matières

| | |
|------------------------------|-----|
| REMERCIEMENTS | i |
| DEDICACES | ii |
| TABLE DES MATIERES | vi |
| LISTE DES FIGURES | vii |
| LISTE DES TABLEAUX..... | xi |
| LISTE DES SYMBOLES | xii |
| LISTE DES ABREVIATIONS | xv |

| | |
|------------------------------------|----------|
| Introduction Générale | 2 |
|------------------------------------|----------|

Chapitre I : Généralités sur les antennes

| | |
|--|-----------|
| I.1 Introduction..... | 6 |
| I.2 Historique des antennes..... | 6 |
| I.3 Définition..... | 7 |
| I.4 Caractéristiques des antennes..... | 7 |
| I.4.1 Caractéristiques de rayonnement..... | 8 |
| I.4.1.1 Propagation des ondes..... | 8 |
| I.4.1.2 Diagramme de rayonnement..... | 9 |
| I.4.1.3 Zone de rayonnement d'une antenne | 9 |
| I.4.1.4 Gain et directivité | 11 |
| I.4.1.5 Rendement d'une antenne | 12 |
| I.4.1.6 Lobe principal, lobes secondaires et L'angle d'ouverture..... | 12 |
| I.4.2 Caractéristique électrique | 14 |
| I.4.2.1 Bande d'utilisation | 14 |
| I.4.2.2 Impédance d'entrée et résistance de rayonnement | 14 |
| I.4.2.3 Adaptation d'une antenne | 15 |
| I.5 Polarisation d'une antenne | 16 |
| I.6 Classification de types d'antenne | 17 |

Table des matières

| | |
|---|----|
| I.7 Les réseaux d'antennes | 18 |
| I.8 Conclusion | 19 |
| Chapitre II : Synthèse d'un réseau d'antennes | |
| II.1 Introduction..... | 21 |
| II.2 Les réseaux d'antennes..... | 21 |
| II.2.1 Facteur de réseau | 22 |
| II.2.2 Différentes types de réseau d'antenne..... | 23 |
| II.2.2.1 Réseaux linéaires uniformes..... | 23 |
| II.2.2.2 Réseaux plans | 24 |
| II.2.2.3 Réseaux circulaires..... | 25 |
| II.3 Synthèse d'un réseau d'antennes | 26 |
| II.3.1 Recherche d'une méthode de synthèse..... | 27 |
| II.3.2 Le choix de la méthode de synthèse..... | 27 |
| II.4 La méthode de GWO (L'optimisation du loup gris..... | 27 |
| II.4.1 Définition | 27 |
| II.4.2 Principe de la méthode..... | 28 |
| II.4.3 Opérateurs..... | 30 |
| II.4.4 Les étapes générales de l'algorithme GWO..... | 34 |
| II.5 Optimisation d'un réseau d'antenne linéaire par l'algorithme GWO | 34 |
| II.6 Présentation des résultats de simulation..... | 35 |
| II.6.1 Synthèse en amplitude seulement..... | 35 |
| II.6.2 Synthèse d'Espacement seulement | 37 |
| II.6.3 Synthèse Amplitude et phase | 38 |
| II.6.4 Synthèse espacement et phase | 40 |
| II.6.5 Synthèse de Tous les paramètres | 41 |
| II.7 Conclusion | 43 |

| | |
|--|----|
| Chapitre III : Correction des défaillances des réseaux d'antennes linéaires | |
| III.1 Introduction | 45 |
| III.2 Positionnement du problème | 45 |
| III.3 Processus d'optimisation par la méthode du loups gris (GWO) | 46 |
| III.4 Résultats et discussion | 46 |
| III.4.1 Effets des poids de l'amplitude | 47 |
| III.4.2 Effets de l'excitation de l'amplitude et de la phase | 52 |
| III.4.3 Comparaison avec la littérature | 57 |
| III.5 Conclusion | 60 |
| Conclusion Générale | 62 |
| Bibliographique | 65 |
| Résumé | 69 |

Liste des figures

Chapitre I :

| | |
|--|----|
| Figure I.1 : Rôle d'une antenne..... | 7 |
| Figure I.2 : Hypothèse du champ lointain..... | 8 |
| Figure I.3 : Diagramme de rayonnement..... | 9 |
| Figure I.4 : Les différentes zones de rayonnement..... | 10 |
| Figure I.5 : Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes..... | 13 |
| Figure I.6 : Ouverture mi- puissance..... | 13 |
| Figure I.7 : Les différentes polarisations d'une antenne..... | 17 |
| Figure I.8 : Types d'antennes..... | 18 |

Chapitre II :

| | |
|---|----|
| Figure II.1 : Configuration d'un réseau linéaire uniforme de N sources..... | 24 |
| Figure II.2 : Réseau plan MxN..... | 25 |
| Figure II.3 : Réseau circulaire de N élément..... | 26 |
| Figure II.4 : Hiérarchie du loup gris (la dominance diminue de haut en bas)..... | 28 |
| Figure II.5 : Comportement de chasse des loups gris | 30 |
| Figure II.6 : Représentation 2D et 3D des vecteurs de position et leurs prochains emplacements possibles..... | 32 |
| Figure II.7 : mécanisme de positionnement de l'agent de recherche et de l'effet de ce qui leprésent..... | 33 |
| Figure II.8 : Structure d'un réseau d'antenne linéaire..... | 35 |
| Figure II.9 : Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque l'amplitude est optimisé pour différentes valeurs de n | 36 |
| Figure II.10 : Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque l'espacement est optimisé pour différentes valeurs de n | 37 |
| Figure II.11 : Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque | |

| | |
|--|----|
| l'amplitude et la phase sont optimisés pour différentes valeurs de n..... | 39 |
| Figure II.12 : Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque l'espace-ment et la phase sont optimisés pour différentes valeurs de n..... | 41 |
| Figure II.13 : Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque tous les paramètres sont optimisés pour différentes valeurs de n..... | 42 |
| Chapitre III : | |
| Figure III.1 : Structure d'un réseau d'antennes linéaires..... | 45 |
| Figure III.2 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position d'élément défail-lant à (-6) dans un réseau d'antennes de 15 éléments..... | 48 |
| Figure III.3 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position des éléments défail- lants à (-6, -3) dans un réseau d'antennes de 15 éléments.... | 49 |
| Figure III.4 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position de l'élément défail- lant à (5) dans un réseau d'antennes de 11 éléments..... | 51 |
| Figure III.5 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position des éléments défail- lants (-6, -3) dans un réseau d'antennes à 15 éléments..... | 53 |
| Figure III.6 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position des éléments défail- lants (-8, -5) dans un réseau d'antennes à 19 éléments..... | 54 |
| Figure III.7 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position des éléments défail- lants (5) dans un réseau d'antennes à 11 éléments..... | 56 |
| Figure III.8 : Diagrammes de rayonnement original de Tchebychev, endommagés (w-9 et w - 6) et corrigés..... | 58 |
| Figure III.9 : Comparaison entre les diagrammes de rayonnement original, endommagés (w- 9 et w-6) et corrigés..... | 59 |

Liste des tableaux

Chapitre I :

Tableau I.1 : Quelques notations des paramètres d'antennes.....8

Tableau I.2 : Caractéristiques de chacun des types de polarisations.....17

Chapitre II :

Tableau II.1 : Résultats de comparaison entre SLL et HPWB.....37

Tableau II.2 : Résultats de comparaison entre SLL et HPWB.....38

Tableau II.3 : Résultats de comparaison entre SLL et HPWB39

Tableau II.4 : Résultats de comparaison entre SLL et HPWB.....41

Tableau II.5 : Résultats de comparaison entre SLL et HPWB.....43

Chapitre III :

Tableau III.1 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude47

Tableau III.2 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude49

Tableau III.3 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude dans le cas d'un réseau
d'antenne de 11 éléments.....50

Tableau III.4 : l'effet de la correction par l'amplitude seulement en termes de SLL.....51

Tableau III.5 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude et des excitations des phases
dans le cas d'un réseau d'antenne de 15 éléments.....52

Tableau III.6 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude et des excitations des phases
dans le cas d'un réseau d'antenne de 19 éléments.....54

Tableau III.7 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude et des excitations des phases
dans le cas d'un réseau d'antenne de 11 éléments.....55

Tableau III.8 : Effet de la correction par l'excitation de l'amplitude et de la phase en termes
de SLL.....56

Tableau III.9 : Etude comparative entre les poids d'amplitude d'excitation de Tchebychev,
défectueux et récupéré.....58

Tableau III.10 : Résultats de comparaison des SLL de diagramme original, endommagés et
récupérées.....59

Liste des symboles

Liste des symboles

θ : L'angle d'azimut

σ : L'écart type.

θ_0, φ_0 : sont les angles du faisceau principal

d : est la distance entre les éléments.

$D(\theta, \varphi)$: Directivité de l'antenne

$G(\theta, \varphi)$: Gain directif de l'antenne

G_0 : Gain de l'antenne

n : le nombre d'éléments

N : nombre d'itération

P_E : Puissance émise

P_F : Puissance fournie à l'antenne

P_R : Puissance reçue

r : la distance entre l'antenne et la zone lointain

U : unité d'angle solide

Z_c : impédance caractéristique

Z_e : d'impédance d'entrée

Γ : Le coefficient de réflexion

D : Le diamètre de la surface équivalente de l'antenne.

I_n : Les courants d'excitation des éléments.

R : La résistance ohmique

R_r : La résistance de rayonnement

S : Densité de puissance (watt par mètre carré)

Liste des symboles

r : correspond à la distance entre le point de référence et la frontière entre les champs proche et lointain.

w : L'amplitude

k : Le nombre d'onde

a : le rayon du réseau circulaire

λ : Correspond à la longueur d'onde.

ψ : La phase

ϕ : Déphasage progressif

Liste des abréviations

liste des abréviations

AF : Array Factor (le facteur de groupement)

dB : Décibel

Fc : fonction corrigé

Fd : fonction désiré

Fo : fonction d'origine.

GWO: Grey Wolf Optimization (algorithme d'optimisation du loup gris)

HF: Radio frequency, Haute fréquence.

HPBW: Half Power Beam Width

ROS : Rapport d'Onde Stationnaire

SLL : Side Lobe Level (les lobe secondaire)



INTRODUCTION GENERALE

Introduction Générale

Introduction Générale

Tout au long de l'histoire, l'homme n'a jamais cessé de trouver de nouveaux moyens pour la communication (gestes de la main, signaux de fumée, document écrit, etc.). À travers des époques successives l'être humain a fourni des efforts intellectuels et physiques afin de découvrir des méthodes de communications adéquates. L'effort de l'humanité pendant des siècles a donné des fruits avec l'innovation du télégraphe électrique en 1895 où pour la première fois dans l'histoire des télécommunications on pouvait communiquer presque instantanément entre deux points relativement distants [1].

Ces dernières années, le monde des communications sans fil a connu une énorme explosion technique, notamment avec l'avènement des travaux sur les antennes et les antennes réseau. En raison de la nécessité de communiquer dans tous les domaines de la vie quotidienne, ce dernier enregistre quelques limitations à cause de la saturation du spectre radio ce qui diminue la qualité de service et la capacité du système [2].

De nos jours les antennes sont devenues les éléments de base pour une liaison radioélectrique. Dans certaines applications, il est nécessaire d'utiliser un groupement d'antennes au lieu d'une seule antenne, ce groupement est appelé « réseau d'antennes ». Le réseau d'antennes linéaires est utilisé pour générer un diagramme de rayonnement hautement directif, ce qui est très utile dans de nombreuses applications telles que les systèmes de communication par satellite et radar [3–6].

Dans un réseau d'antennes actives, il est possible d'obtenir, en contrôlant les excitations de courant des éléments individuels du réseau et également en optimisant la géométrie du réseau, un diagramme de rayonnement souhaité avec un niveau de lobe secondaire et une formation de faisceau spécifiés [7].

Dans ce domaine, de nombreux outils déterministes et stochastiques des synthèses ont été développés : Fourier, Dolph-Tchebychev, newton, algorithme génétique etc.... Compte tenu de la diversité des buts recherchés par les utilisateurs, on ne trouvera pas une méthode générale de synthèse applicable pour tous les cas, mais plutôt un nombre important de méthodes propres à chaque type de problème [8].

Mais, la situation devient plus difficile et compliquée lorsqu'un élément tombe en panne dans le réseau d'antennes actives pour des raisons imprévues. L'apparition de défauts dans un ou plusieurs éléments d'un réseau d'antennes modifie le diagramme de rayonnement du réseau, ce qui dégrade les performances de l'ensemble du réseau en termes d'augmentation des

Introduction Générale

niveaux des lobes latéraux (SLL) et de diminution du gain et de la directivité de l'antenne [9,10]. Dans le processus de compensation de la défaillance de l'élément, les excitations des éléments de travail sont ré-optimisées pour former un nouveau motif proche de l'original. Plusieurs techniques basées sur le calcul numérique et logiciel ont été implémentées avec succès pour corriger le diagramme endommagé [11-14], qui produit un motif avec une perte de qualité minimale.

Plusieurs méthodes d'optimisation analytiques et stochastiques ont été développées pour divers problèmes liés à l'industrie. Les méthodes stochastiques sont plus robustes que les algorithmes déterministes [15]. Ces méthodes permettent d'aboutir aux caractéristiques de rayonnement désirées, en contrôlant les paramètres du réseau à savoir les poids d'alimentation et la distance inter-éléments.

Dans ce travail, le problème de la surveillance des réseaux d'antennes linéaires en utilisant la méthode d'optimisation du loup gris (GWO) est considéré. Les poids des amplitude et la distribution de phase des éléments actifs dans un réseau défectueux sont réajustées. Ce dernier peut améliorer les niveaux des lobes secondaires (SLL) et également maintenir la directivité dans la direction préférée. Le point principal de l'utilisation de la technique GWO est sa facilité de mise en œuvre et son calcul de haute performance. Pour évaluer l'efficacité de l'algorithme proposé, différents types de déficiences, comme études de cas, ont été considérés.

La méthode de GWO, dite méthode des loups gris (Grey Wolf optimization), est inspirée du comportement intelligent de la social des loups gris lorsqu'ils attaquent une proie. L'algorithme imite la hiérarchie du leadership et le mécanisme de chasse des loups gris dans la nature [16].

Pour mieux appréhender le contexte de l'étude, nous avons structuré notre mémoire comme suit :

Le premier chapitre : dressera une description générale sur les antennes ainsi que leurs classifications et leurs caractéristiques, et aussi leurs différents domaines d'utilisation.

Le deuxième chapitre : est composé de deux parties, Dans la première partie nous décrivons les différents types de réseau d'antenne rencontrés en pratique et leurs caractéristiques, puis nous donnons un aperçu des différentes méthodes de synthèse des diagrammes de rayonnement en vue d'obtenir certaines caractéristiques intéressantes.

Ensuite, nous présentons des généralités sur l'optimisation, et on particulier, on fait une description détaillée sur l'une des méthodes d'optimisation qui est l'algorithme des loups

Introduction Générale

gris (GWO). Dans la deuxième partie, les résultats de simulation des différents cas d'optimisation sont aussi considérés.

Le chapitre trois : traite le problème de la surveillance des réseaux d'antennes linéaires en utilisant un algorithme appelé optimisation du loup gris (GWO). Lorsqu'un événement étranger (défaut) affecte un réseau d'antennes, le diagramme de rayonnement change et un écart important par rapport au diagramme préféré peut se produire. Un réajustement de l'amplitude et de la distribution de phase des éléments de travail durables dans un réseau défectueux est considéré. Ce dernier peut améliorer les niveaux des lobes latéraux (SLL) et également conserver la directivité

Enfin, on présente une conclusion générale qui résume l'ensemble des tâches réalisées.



CHAPITRE I

GÉNÉRALITÉS SUR LES ANTENNES

I.1 Introduction

Depuis la découverte de l'onde hertzienne, les techniques de l'information et de la communication à distance ont connu une évolution considérable. Dans toutes les applications où l'on utilise la propagation des ondes électromagnétiques (télécommunications, radar, télévision, radiodiffusion...), l'antenne est l'outil indispensable à l'émission et à la réception des ondes. Ce dernier est un dispositif utilisé pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter. Le chapitre I de notre travail est consacré à présenter dans le cas général la description d'une antenne, son principe de fonctionnement. Nous décrirons aussi ces différentes caractéristiques ainsi que les différentes grandeurs associées comme le gain et la directivité. Par la suite, les différentes reconfigurations possibles pour une antenne active seront présentées.

I.2 Historique des antennes

Il serait inutile de chercher à attribuer l'invention de l'antenne à un savant en particulier, mais on doit savoir que l'antenne est le résultat de l'accumulation de plusieurs recherches, auxquelles les scientifiques de plusieurs pays ont participé. On peut dire ici qu'à partir des travaux de Michael Faraday (1831) sur les phénomènes d'induction qu'on a entrevu la possibilité de transmettre à distance et sans fil des signaux électriques. Par la suite, le physicien « James maxwell » théoricien fondateur de l'électromagnétisme, unifie les diverses observations et relations entre le champ magnétique et électrique pour formuler dans les années 1860/1865 les célèbres équations connues aujourd'hui sous le nom « équations de maxwell » qui ont été publiées ensuite en 1873. En 1888 le physicien allemand « Heinrich Rudolf Hertz » a démontré l'existence physique des ondes électromagnétiques en construisant un appareil produisant des ondes radio à une fréquence de 1GHz. En suite les expériences de « marconi » dans les années 1890 ont prouvées qu'il est possible d'établir une liaison entre deux points de la terre par propagation d'ondes radioélectriques en espace libre. Le terme antenne est émergé dans cette époque. Avec la Seconde Guerre mondiale apparut le radar, notamment grâce à la découverte d'un nouveau tube de puissance, le magnétron (1940). Dès lors, la possibilité d'obtenir des antennes très directives, des conditions de propagation favorables, tant dans l'ionosphère que dans la troposphère, font des micro-ondes un support bien adapté à de nombreuses situations [17].

I.3 Définition

Les antennes servent pour communiquer sur de grandes distances, En radioélectricité, Une antenne est un dispositif qui assure la transmission de l'énergie entre une onde se propageant dans l'espace libre et une ligne de transport de puissance [18]

- **L'antenne d'émission** : son rôle est de transformer la puissance électromagnétique guidée, issue d'un générateur en une puissance rayonnée. Dans ce sens c'est un transducteur.
- **L'antenne de réception** : de façon inverse, la puissance rayonnée peut être captée par une antenne de réception. Dans ce sens l'antenne apparaît comme un capteur et un transformateur de puissance rayonnée en puissance électromagnétique guidée.

Les antennes présentent une propriété connue sous le nom de **réciprocité** c'est-à-dire qu'une antenne peut être utilisée en réception ou en émission avec les mêmes propriétés rayonnantes. En dit que son fonctionnement est réciproque. Du fait de la réciprocité des antennes, il ne sera pratiquement jamais fait de différence entre le rayonnement en émission ou en réception. Les qualités qui seront annoncées pour une antenne le seront pour les deux modes de fonctionnement [19].

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 directions privilégiées.
- Transmettre le plus fidèlement possible une information

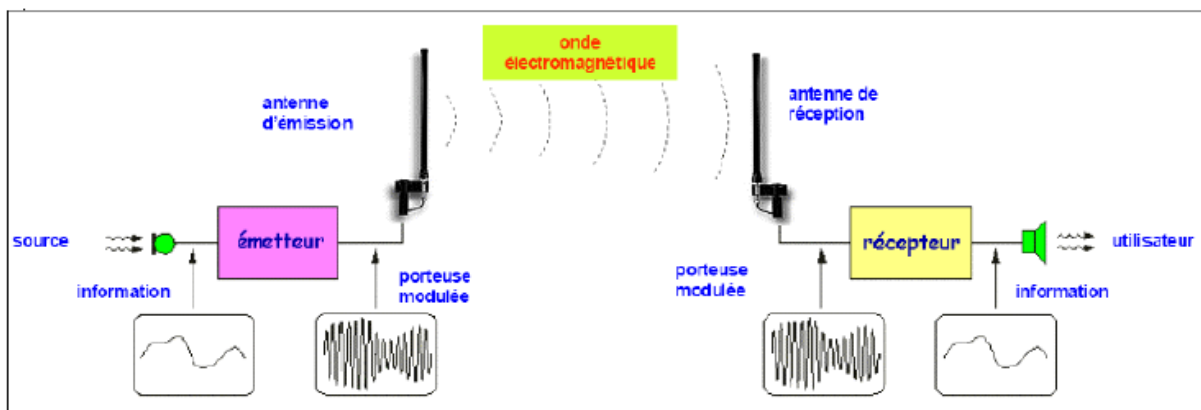


Figure I .1: Rôle d'une antenne

I.4. Caractéristiques des antennes

Un grand nombre de paramètres permettent de classer les antennes tels que la directivité, le diagramme de rayonnement, la bande passante, la polarisation, ...etc.

Alors la performance d'une antenne peut être évaluée à partir de ses paramètres qui sont présentées ci-dessous [17].

Le tableau I.1 illustre quelques paramètres des antennes avec leur notation et unité.

| Paramètres | Notation | Unité |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|
| Puissance fournie à l'antenne | P_F | $[W/m^2]$ |
| Puissance émise | P_E | $[W]$ |
| Puissance reçue | P_R | $[W]$ |
| Directivité de l'antenne | $D(\theta, \varphi)$ | dB |
| Gain directif de l'antenne | $G(\theta, \varphi)$ | dB |
| Gain de l'antenne | G_0 | dB |

Tableau I.1 : Quelques notations des paramètres d'antennes

Une antenne est caractérisée par différents paramètres qu'on peut classer soit en caractéristiques électriques soit en caractéristiques de rayonnement.

I.4.1 Caractéristiques de rayonnement

Nous prendrons comme hypothèse simplificatrice que l'antenne rayonne de manière monochromatique c'est -à- dire qu'elle émet une onde à une seule fréquence f .

I.4.1.1 Propagation des ondes

Quand le point O d'observation se trouve loin de la source avec une propagation en espace libre, le front d'onde initialement sphérique peut être considéré en ce point comme localement plan figure I.2.

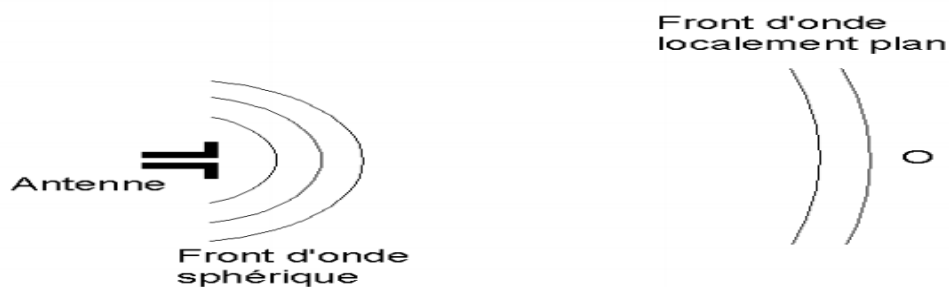


Figure I.2 : Hypothèse du champ lointain

I.4.1.2 Diagramme de rayonnement

Un diagramme de rayonnement est une représentation graphique tridimensionnelle des propriétés de rayonnement du champ lointain d'une antenne en fonction des coordonnées spatiales. Plus précisément il s'agit de la représentation de la puissance rayonnée par unité d'angle solide dont leur intensité U (watt par unité d'angle solide) est donné par: $U = r^2 S$

r est la distance entre l'antenne et la zone lointain

S est densité de puissance (watt par mètre carré)

Les diagrammes de rayonnement peuvent être tracés en coordonnées polaires. Si les antennes présentent un angle d'ouverture très faible (cas des antennes hyperfréquences), on représente le diagramme en coordonnées cartésiennes. Ci-dessous la figure I.3 présente les définitions des principaux paramètres associés à un diagramme de rayonnement [19]

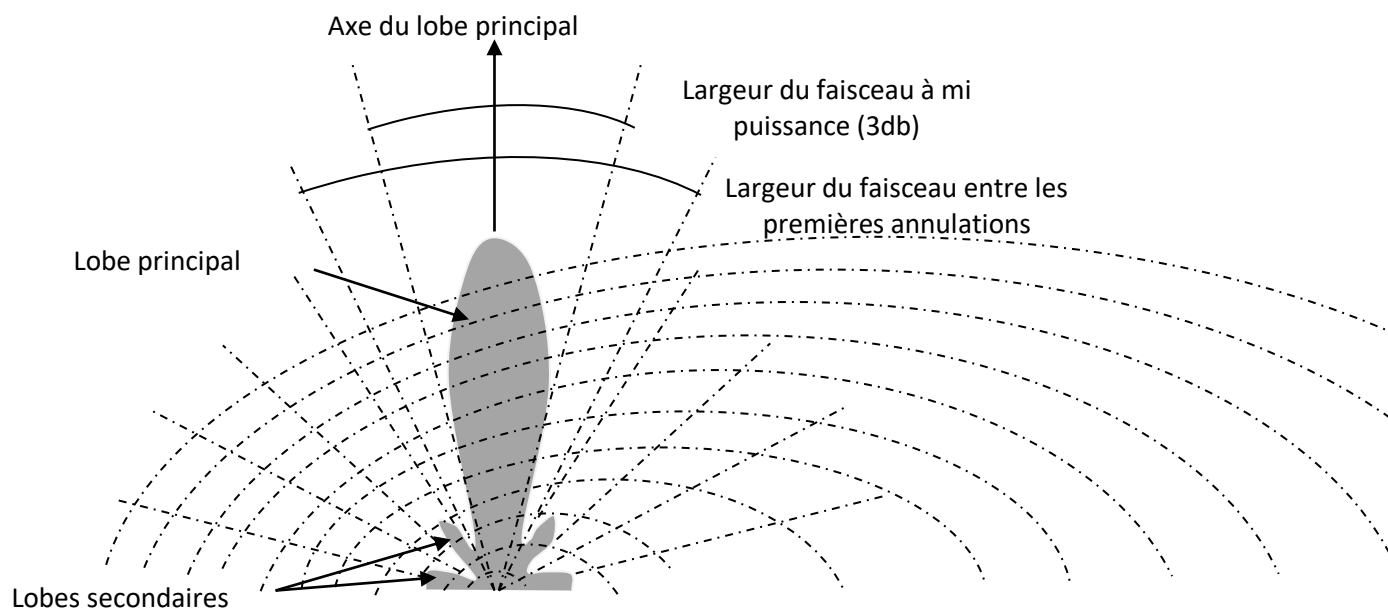


Figure I.3 : Diagramme de rayonnement

I.4.1.3 Zone de rayonnement d'une antenne

On distingue pour chaque type d'antenne trois zones de rayonnement :

- 1) Zone de Rayleigh (ou zone de champ proche)
- 2) Zones de Fresnel
- 3) Zones de Fraunhofer (ou zone de champ lointain)

Comme le montre la figure I.4.

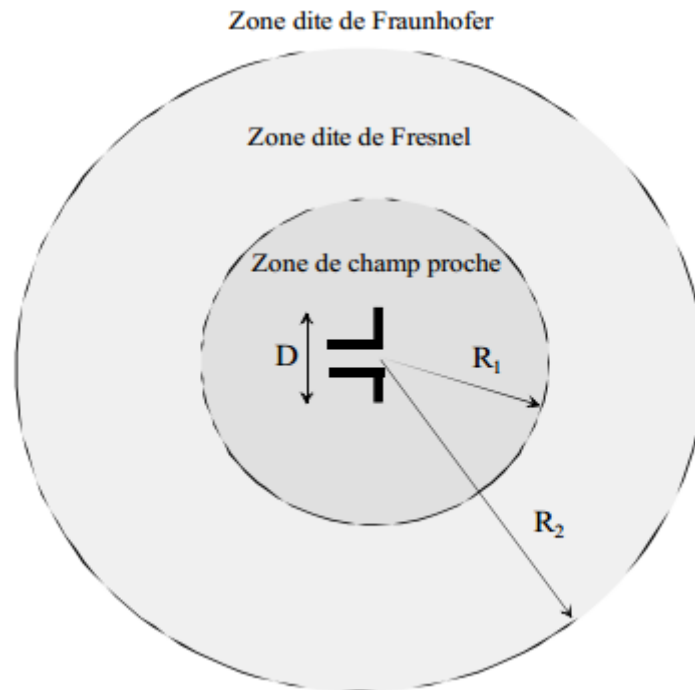


Figure I.4 : Les différentes zones de rayonnement

$$R_1 = \lambda \frac{D^2}{2} \quad (\text{I.1})$$

$$R_2 = 2 \frac{D^2}{\lambda} \quad (\text{I.2})$$

Où :

r : correspond à la distance entre le point de référence et la frontière entre les champs proche et lointain (en mètres).

D : le diamètre de la surface équivalente de l'antenne (en mètres).

λ : Correspond à la longueur d'onde (en mètres).

a) Zone de Rayleigh

Dans cette zone de champ proche (ou zone de Rayleigh), il y a échange d'énergie réactive entre l'antenne et le milieu extérieur.

A courte distance (par rapport à la longueur d'onde), $r < D^2 \lambda / 2$ la densité de puissance est quasi constante.[19]

b) Zone de Fresnel

Dans une seconde zone $D^2 \lambda / 2 < r < 2D^2 / \lambda$ la densité de puissance est fluctuante.

c) Zone de Fraunhofer

Dans la zone du champ lointain (ou de Fraunhofer), à grande distance (par rapport à la longueur d'onde), les champs sont rayonnés sous la forme d'onde (quasiment) plane. Si r est la distance à l'antenne, dans cette zone $r > 2D^2 / \lambda$ la densité de puissance décroît en $1/r$

I .4 .1.4 Gain et directivité

Selon l'application considérée, on peut essayer d'obtenir un rayonnement aussi uniforme que possible dans l'espace environnant, ou un éclairage très localisé d'une partie de cet espace. La notion de directivité est importante et permet d'apprécier la concentration du rayonnement ou l'aptitude à recevoir une onde électro-magnétique dans une direction donnée.

Une antenne isotrope sera définie comme étant une antenne théorique rayonnant de la même façon dans toutes les directions. A partir de $F(\theta, \varphi)$, il est possible de calculer la caractéristique de rayonnement moyen de l'antenne (I.3). [21]

$$\vec{F}_{\text{moy}} = \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi \vec{F}(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\theta d\varphi}{4\pi} \quad (\text{I.3})$$

La directivité est un nombre sans dimension défini par un rapport de puissance entre l'antenne mesurée et une antenne isotrope alimentée avec la même puissance (I.4). De manière courante, cette grandeur est exprimée en dBi (décibels par rapport à l'antenne isotrope).

$$D(\theta, \varphi) = \frac{\vec{F}(\theta, \varphi)}{\vec{F}_{\text{moy}}} = F(\theta, \varphi) \frac{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi \vec{F}(\theta, \varphi) \sin(\theta) d\theta d\varphi}{4\pi} \quad (\text{I.4})$$

Le Gain donc est un paramètre fondamental pour une antenne, puisque c'est lui qui va déterminer : en émission, la densité de puissance à l'extrémité de la liaison et en réception, la sensibilité de l'antenne

Le gain d'une antenne est défini par rapport à la directivité (I.5):

$$G(\theta, \varphi) = \rho D(\theta, \varphi) \quad (\text{I.5})$$

Où ρ est le rendement de l'antenne qui traduit les pertes entre la puissance totale rayonnée et la [21]

Puissance totale réellement fournie à l'antenne. Ce terme prend donc en compte les pertes ohmiques et diélectriques de l'antenne ainsi que les pertes de désadaptation entre le générateur, la ligne et l'antenne.

I.4.1.5 Rendement d'une antenne

Le rendement d'une antenne est défini ainsi :

$$\eta = \frac{G(r,\theta,\varphi)}{D(r,\theta,\varphi)} = \frac{P_r}{P_F} (< 1) \quad (\text{I.6})$$

Le gain en puissance dépend de la fréquence du signal émis. Il est très faible aux basses fréquences mais atteint des valeurs de 75% à 95% pour des fréquences supérieures à 1 MHz On utilise surtout le gain maximal $G = \max[G(\theta, \varphi)]$

Les plus grands gains sont obtenus avec des antennes paraboliques (20 à 60 dB) [22]

Attention :

Une antenne est un élément strictement passif qui n'amplifie pas le signal. Son gain, par définition, représente la concentration de puissance dans une direction privilégiée par rapport à une antenne isotrope sans pertes.

On déduit la densité de puissance maximale d'une antenne par rapport à la puissance fournie P_F .

$$P(r, \theta, \varphi) = G \frac{P_r}{4\pi r^2} (\text{W/m}^2) \quad (\text{I.7})$$

De fait, le gain en puissance d'une antenne est un paramètre plus intéressant que sa directivité : en effet, comme le rendement η est inclus, on peut calculer la densité de puissance en introduisant directement la valeur de la puissance fournie P_F [19]

I.4.1.6 Lobe principal, lobes secondaires et L'angle d'ouverture

L'angle d'ouverture est l'angle qui sépare les deux directions du lobe principal selon lesquelles la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée dans la direction de rayonnement maximal. La figure I.4 présente un exemple de diagramme de rayonnement en coordonnées cartésiennes. L'angle $\Delta\theta$ représente sur ce diagramme l'angle

d'ouverture de l'antenne. Lorsqu'une antenne présente un lobe principal assez fin, la plus grande partie de la puissance rayonnée est à l'intérieur des deux directions à -3 dB.

L'angle d'ouverture nous donne une idée assez précise sur la finesse du lobe et de la qualité du rayonnement.

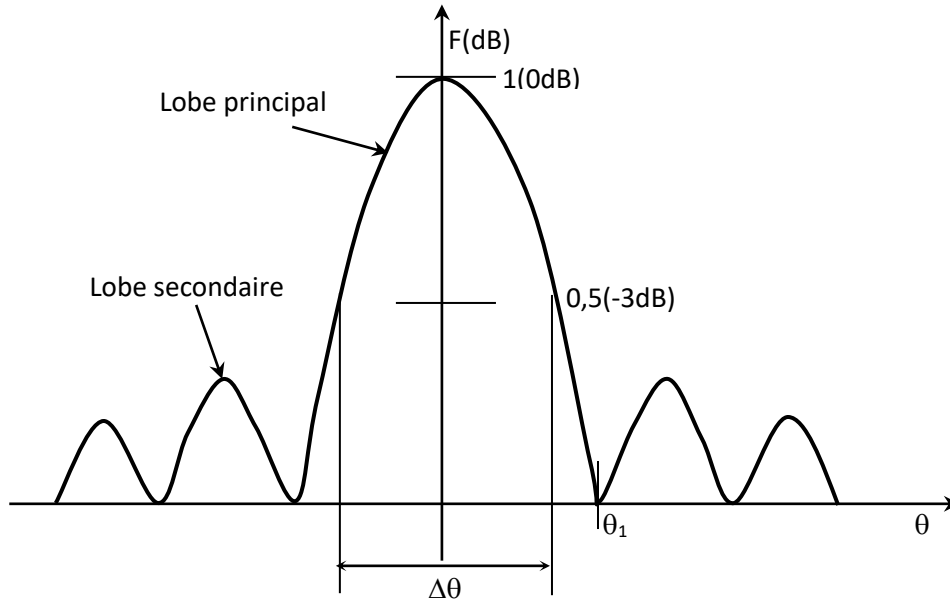


Figure I.5 : Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes

Généralement dans un plan donné, le diagramme de rayonnement d'une antenne directive comprend un lobe principal et des lobes secondaires qui sont indésirables.

La plus grande partie de la puissance rayonnée est contenue dans un cône d'ouverture **HPBW** (**H**alf **P**ower **B**eam **W**ide) défini à mi- puissance, ce qui correspond à une chute de 3 dB par rapport à la puissance maximale ou à un champ max divisé par $\sqrt{2}$ figure I.6 [17].

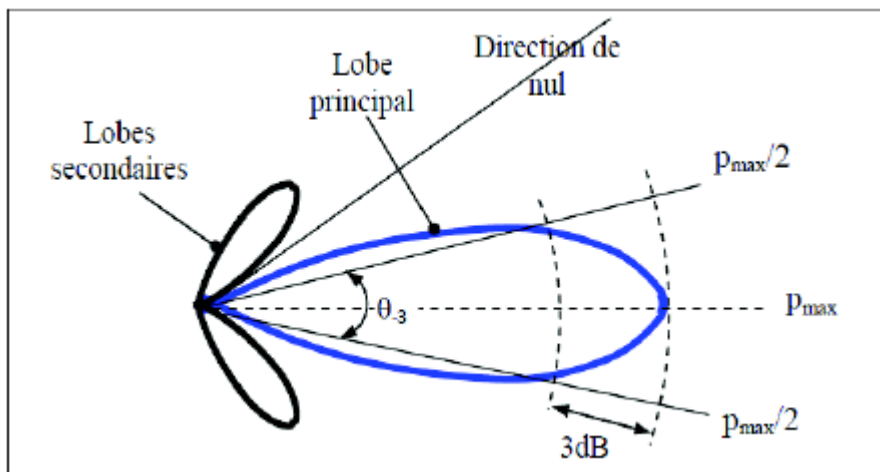


Figure I.6 : Ouverture mi- puissance

➤ **Un lobe principal :**

C'est le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et la direction du maximum de rayonnement.

➤ **Un angle d'ouverture :**

C'est l'angle de direction pour lequel la puissance rayonnée est la moitié de la puissance rayonnée dans la direction la plus favorable. Plus cet angle est étroit plus l'antenne est directive.

➤ **Des lobes secondaires :**

Ils représentent le rayonnement de l'antenne dans les directions indésirables.

I.4.2 Caractéristiques électriques

Les paramètres électriques définissent l'antenne comme élément du circuit dans lequel elle est connectée. Ils permettent d'évaluer la charge apportée par l'antenne au circuit d'excitation et, ainsi, de caractériser l'efficacité du transfert de puissance entre le système radioélectrique et le milieu de propagation. Plusieurs paramètres peuvent servir à cette caractérisation [20]

I.4.2.1 Bande d'utilisation

Du point de vue d'utilisation, une antenne peut toujours être considérée comme un filtre passe bande. La définition de la bande d'utilisation fait intervenir des notions très diverses, elle peut être limitée :

Par le TOS maximal admissible (désadaptation de l'antenne par rapport aux systèmes d'émission et/ou de réception), par exemple $TOS < 2$.

•Par la variation du gain de l'antenne

•Par la déformation du diagramme de rayonnement en fonction de la fréquence. Pour les antennes constituées d'éléments rayonnants résonants (dipôles demi-onde, antenne microstrip) qui ont une bande d'utilisation faible, on définit la largeur de bande en % comme

$B\% = 100 \cdot (F_s - F_i) / F_c$ (typiquement $B\% = 10$ à 20%) où

•**F_c** est la fréquence centrale d'utilisation pour laquelle l'antenne est conçue,

• **F_s** et **F_i** les fréquences limites supérieures et inférieures. [23].

I.4.2.2 Impédance d'entrée et résistance de rayonnement

Remarquons, tout d'abord, que ces propriétés caractérisent uniquement les antennes que l'on peut assimiler à des lignes où il est possible de définir le courant en un point.

a) Impédance d'entrée

L'impédance d'une antenne est définie comme un rapport d'une tension **V_e** lorsqu'elle est siège d'un courant **I_e**, d'où la relation :

$$\mathbf{Z_e} = \frac{\mathbf{V_e}}{\mathbf{I_e}} \quad (\mathbf{I.8})$$

Cette notion est très importante pour l'adaptation des antennes aux feeders qui les alimentent pour éviter toute réflexion.

b) Résistance d'antenne

La résistance d'une antenne est un facteur essentiel à connaître parce qu'il permet d'adapter celle-ci à la résistance d'entrée de l'émetteur et assurer ainsi un transfert maximal d'énergie.

Une puissance électrique fournie à une antenne sera d'une part perdue en échauffement résultant de la résistance ohmique de l'antenne et, d'autre part, traduite en rayonnement électromagnétique. Nous pourrions donc considérer la résistance totale de l'antenne comme étant composée de deux résistances en série : la résistance ohmique **R** et la résistance de rayonnement **R_r**. Une antenne sera d'autre plus efficace que le rapport **R_r**. **R** sera grand.

R_r étant défini comme le rapport entre la puissance totale rayonnée par l'antenne et le carré de la valeur efficace du courant à son entrée.

$$\mathbf{R_r} = \frac{\mathbf{P_r}}{\mathbf{I^2}} \quad (\mathbf{I.9})$$

R étant défini comme le rapport entre la puissance dissipée par effet de joule et le carré de la valeur efficace du courant à son entrée.

$$\mathbf{R_\Omega} = \frac{\mathbf{P_\Omega}}{\mathbf{I^2}} \quad (\mathbf{I.10})$$

I.4.2.3 Adaptation d'une antenne

Généralement une antenne d'impédance d'entrée Z_e est conçue toujours avec un circuit d'alimentation (ligne d'alimentation) qui a une impédance caractéristique Z_c . Le coefficient de réflexion de l'antenne est donné alors par la relation suivante :

$$\Gamma = \frac{Z_e - Z_c}{Z_e + Z_c} \quad (\text{I.11})$$

Ce coefficient de réflexion nous donne des informations sur la qualité de rayonnement, si $Z_e = Z_c$ on dit que l'antenne est adaptée à sa ligne d'alimentation c'est-à-dire il n'y a pas de perte de puissance.

Pour l'émission : la puissance fournie par l'émetteur est la même que celle délivrée à l'antenne.

Pour la réception : la puissance captée par l'antenne est égale à la puissance fournie au récepteur.

L'adaptation d'une antenne peut-être aussi caractérisée par le Rapport d'Onde Stationnaire (ROS). Dont l'expression est :

$$\text{ROS} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (\text{I.12})$$

I.5 Polarisation d'une antenne

La polarisation d'une antenne dans une direction donnée est définie comme « la polarisation de l'onde transmise (rayonnée) par l'antenne, c'est-à-dire de la direction du champ électrique émis par l'onde. Quand la direction n'est pas énoncée, la polarisation est prise pour être la polarisation dans la direction du gain maximum. » Dans la pratique, la polarisation de l'énergie rayonnée varie avec la direction de l'antenne, de sorte que les différentes parties du diagramme puissent avoir différentes polarisations [23].

Les antennes peuvent émettre des ondes à polarisation Figure I.7

- Linéaire : le champ électrique conserve une direction constante. Dans ce cas on a deux types de polarisations : la polarisation verticale et horizontale.
- Circulaire : l'extrémité du champ électrique décrit un cercle de sa propagation
- Elliptique : l'extrémité du champ électrique décrit une ellipse lors de sa propagation.

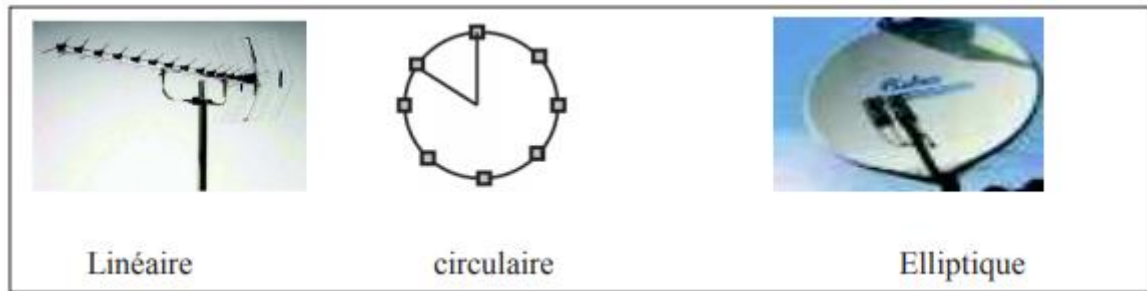


Figure I.7 : Les différentes polarisations d'une antenne

Dans le tableau I.2, nous présentons les caractéristiques de trois types de polarisation

| Polarisation Horizontale | Polarisation Verticale | Polarisation Circulaire |
|--|---|---|
| <p>Peu de bruit électrique</p> <ul style="list-style-type: none"> • Meilleure sensibilité aux signaux faibles • Angle de rayonnement généralement plus élevé par rapport au sol, favorisant ainsi de bons contacts locaux • Grands espaces requis pour le déploiement | <ul style="list-style-type: none"> •Bruit électrique plus présent dans les bandes HF •Optimisation de l'espace occupé par l'antenne •Nécessite généralement un bon plan de terre (Grounds, masse) •Plus enclin à causer de l'interférence dans les bandes HF • Angle de rayonnement plus Bas | <ul style="list-style-type: none"> •Génère deux polarisations en phase pour éviter les pertes en traversant l'ionosphère et pour compenser la rotation des satellites. • Rarement utilisée pour des contacts au sol |

Tableau I.2 Caractéristiques de chacun des types de polarisations

I.6 Classification de types d'antenne

Il y'a beaucoup des antennes qui diffèrent les uns des autres selon la forme et le principe de fonctionnement ainsi que les matériaux composant l'antenne, dans cette unité on va présenter les antennes les plus connues et très utilisées figure I.8.

Elles peuvent être classifiées de différentes manières.

❖ **Formes ou géométries**

Antennes filaires : dipôle, boucle, spirale

Antennes d'ouverture : cornet, fente

Antennes imprimées : patch, dipôle imprimé, spirale

❖ **Gain**

Gain élevé : plat

Gain moyen : cornet

Gain faible : dipôle, boucle, fente, patch

❖ **Formes de faisceau**

Omnidirectionnel : dipôle

Faisceau de crayon : plat

Faisceau de fan : rangée

❖ **Largeur de bande**

Large bande : hélix

Bande étroite : patch

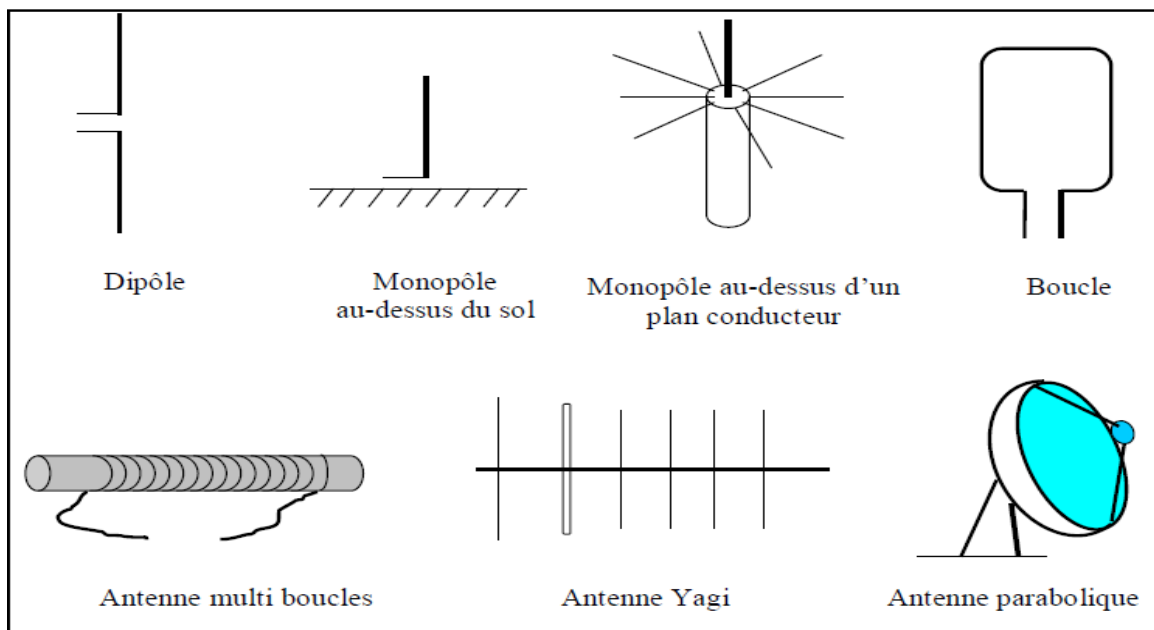


Figure I.8 : Types d'antennes

I.7 Les réseaux d'antennes

Un réseau d'antennes est par définition l'association régulière d'antennes identiques pour créer un rayonnement de forme particulière. La puissance rayonnée est donc plus grande puisqu'on multiplie le nombre d'éléments rayonnants. Le rayonnement résulte de l'addition

en phase des champs provenant de chaque élément. Les combinaisons possibles sont donc nombreuses et entraînent une grande souplesse dans la conception de réseaux.

Les applications des réseaux d'antennes sont nombreuses et utilisent tout type d'éléments : cornets, antennes filaires, antennes plaquées, etc.

Le réseau occupant un espace plus important que l'antenne élémentaire, son diagramme de rayonnement est plus étroit puisque sa directivité augmente avec sa surface [19] On parvient facilement à augmenter le gain de l'antenne élémentaire de 10 à 15 dB. Le réseau est donc globalement plus puissant et plus directif que l'antenne élémentaire.

Un autre avantage du réseau d'antennes tient au fait que le choix d'un déphasage régulier entre les éléments fixe une orientation du faisceau, dans l'espace dans certaines limites d'angles. L'organisation spatiale des antennes d'une part, et le mode d'alimentation de chacune des antennes d'autre part, confèrent au réseau des propriétés de rayonnement bien définies. Ces propriétés sont modifiables dans certains cas, grâce essentiellement à la possibilité d'agir sur la phase et l'amplitude de l'alimentation de chaque antenne. On obtient alors un réseau d'antennes reconfigurable.

Lors de la conception de réseau, le couplage entre les antennes élémentaires est un point délicat car ce couplage modifie légèrement les caractéristiques de rayonnement et d'adaptation. En particulier la bande passante du réseau est un peu plus large que celle de l'antenne élémentaire du fait des couplages.

La difficulté de modélisation d'un réseau est due à sa taille, qui peut être importante lorsque le nombre d'éléments est grand.

Comme nous allons le voir plus loin dans différentes applications, le réseau permet de reconstituer une loi d'illumination sur l'ouverture et d'orienter le faisceau dans une direction particulière. Idéalement une conception de réseau commence par la synthèse, suivie d'une modélisation du facteur de réseau. Une simulation globale est ensuite nécessaire [19].

I.8 Conclusion

Dans ce chapitre on a présenté un bref aperçu sur les antennes qui sont généralement à la base de propagation des ondes électromagnétiques dans l'air. Nous avons ainsi détaillé les caractéristiques importantes et les classifications de type d'antenne, qui vont nous aider à comprendre et à développer la synthèse de réseau d'antennes linéaire qui sera l'objet du chapitre suivant.



CHAPITRE II

SYNTHÈSE D'UN RÉSEAU D'ANTENNES LINÉAIRE

II.1 Introduction

Les réseaux d'antennes sont actuellement utilisés dans de nombreuses applications radars, radio mobile ou spatial. Pour utiliser les avantages des antennes, on les regroupe pour avoir des caractéristiques répondants aux exigences de l'utilisation. Cette solution simple et efficace présentée donne naissance à ce qu'on appelle réseau d'antennes. La conception d'un réseau d'antennes dite aussi la synthèse des réseaux d'antennes imprimées.

Le problème de synthèse des réseaux d'antennes consiste à jouer sur les poids des alimentations (amplitudes et de phases) et de la répartition spatiale des éléments rayonnants afin de s'approcher au mieux de contraintes de rayonnement fixées (exemple : diagramme de rayonnement directif abaissement des lobes secondaires,) selon le type d'utilisation.

Ce chapitre est consacré à la synthèse des réseaux d'antennes linéaire, en utilisant une technique récente d'optimisation, appelée méthode du loup gris.

Dans la première partie de ce chapitre, nous nous donnons une description de réseau d'antennes, ces types ainsi que une description détaillée de la méthode proposée

Dans la deuxième partie, nous nous intéressons à la synthèse d'un réseau d'antennes linéaire à diagramme de rayonnement de forme cosécante, en agissant sur les poids d'alimentation (amplitude et phase) et l'inter-espacement de ce réseau.

II.2 Les réseaux d'antennes

Des antennes peuvent être arrangées dans l'espace, selon différentes configurations géométriques, pour obtenir des diagrammes très directifs. Ces configurations d'antennes s'appellent des réseaux. Dans un réseau d'antennes, les champs des différents éléments s'ajoutent de manière constructive dans certaines directions et de manière destructive (annulation) dans d'autres. A des fins d'analyse, on supposera par la suite des réseaux constitués d'éléments identiques, bien qu'il soit possible de créer un réseau avec des éléments ayant des diagrammes différents [22].

L'avantage principal des réseaux d'antennes par rapport à une antenne simple est leurs capacités de balayage électronique, c'est-à-dire, que le lobe principal peut être orienté vers n'importe quelle direction en changeant la phase du courant d'excitation de chaque élément du réseau (antennes à réseaux déphasés). En outre, en agissant également sur les amplitudes des courants d'excitation, une grande variété de diagrammes de rayonnement et des caractéristiques de niveau des lobes secondaires peuvent être produites. Les antennes

Chapitre II : Synthèse d'un réseau d'antennes linéaire

adaptatives (également appelées "antennes intelligentes" dans des applications de communication mobiles) passent encore à un stade supérieur par rapport aux réseaux déphasés en dirigeant leur lobe principal (avec un gain accru) dans une direction désirée (par exemple, un utilisateur mobile dans un système de communication cellulaire) et annulant le faisceau dans les directions de l'interférence ou des brouilleurs [23].

Il y a cinq paramètres principaux qui affectent les performances globales d'un réseau d'antennes :

- la géométrie du réseau (par exemple, linéaire, circulaire, ou planaire des éléments rayonnants),
- distances de séparation entre les éléments adjacents,
- amplitudes des courants d'excitation de chaque élément,
- phase de chaque élément rayonnant,
- diagramme de rayonnement de chaque élément.

II.2.1 Facteur de réseau

Le facteur de réseau est un outil qui nous sert à caractériser le retard successif pour chaque antenne par rapport à la l'origine. Chaque réseau peut être caractérisé par ce qu'on appelle facteur de réseau. Voir la formule (II.1)

$$F(\theta) = 2 \cos \left(\frac{1}{2} (Kd \cos \theta + \phi) \right) \quad (\text{II. 1})$$

Le facteur de réseau est une fonction des paramètres suivants :

- l'arrangement géométrique des éléments rayonnants du réseau
- les courants d'excitation des éléments
- le nombre d'éléments
- la distance de la séparation d des éléments adjacents
- fréquences (ou longueur d'onde) d'opération D'une façon générale, le diagramme de rayonnement d'un réseau est donné par le diagramme de rayonnement de l'élément simple multiplié par le facteur de réseau.[17]

II.2.2 Différentes types de réseau d'antenne

Suivant leur topologie, il existe plusieurs types de réseaux d'antennes tels que le réseau linéaire, planaire, et circulaire. Chaque type de réseau est caractérisé par ses paramètres électriques (type d'alimentation, amplitude et/ou phase) et ses paramètres géométriques (la distance inter éléments et le rayon dans le cas d'un réseau circulaire). Une combinaison optimale de ces paramètres permet d'obtenir un diagramme de rayonnement optimisé

II.2.2.1 Réseaux linéaires uniformes

On appelle un réseau linéaire toute antenne placée suivant une ligne et uniforme quand les éléments sont identiques et alimentée avec un courant de même amplitude avec un déphasage progressif ϕ . [22]

Considérons maintenant un réseau de N éléments de sources isotropes représentés sur la figure II.1. La distance de séparation entre les éléments adjacents est d. Dans ce cas-ci le facteur de réseau peut être exprimé comme la somme des contributions de chaque élément :

$$F(\psi) = 1 + e^{j\psi} + e^{j\psi} + e^{j\psi} \dots + e^{-j(N-1)\psi} \quad (\text{II.2})$$

Où

$$\Psi = Kd \cos \theta + \phi$$

C'est une série géométrique qui peut s'écrire de façon compacte par :

$$\mathbf{F} = \frac{\sin(N\psi/2)}{\sin(\psi/2)} \quad (\text{II.3})$$

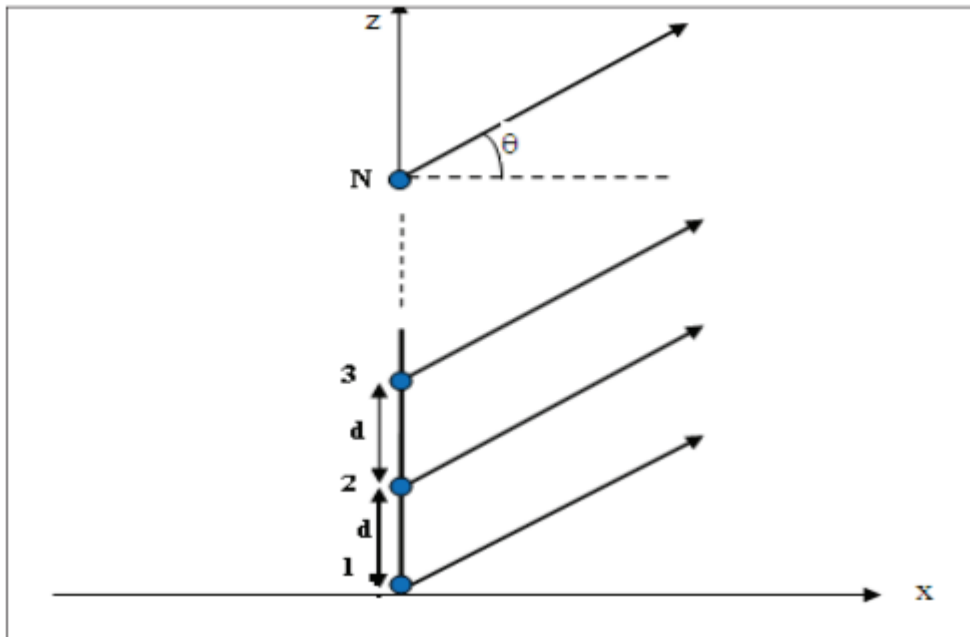


Figure II.1 : Configuration d'un réseau linéaire uniforme de N sources

L'examen de cette équation permet de faire ressortir les points suivants concernant le facteur de réseau d'un réseau linéaire uniforme :

- ✓ Le maximum principal (lobe principal) se produit quand $kd \cos \theta_{max} + \psi = 0$

Où

$$\theta_{max} = \text{Arc cos}(-\lambda \psi / 2\pi d)$$

- Les nuls se produisent quand $\sin(N\psi / 2) = 0$, c'est-à-dire, $N\psi / 2 = \pm n\pi$ pour $n = 1, 2, 3 \dots$

II.2.2.2 Réseaux plans

A la différence des réseaux linéaires qui peuvent seulement balayer dans un plan (θ ou φ), les réseaux plans peuvent balayer dans les deux plans (θ et φ).

Les réseaux plans offrent un gain plus élevé et des lobes secondaires plus bas aux dépens d'un nombre d'éléments plus grand. Les principes de conception des réseaux plans sont semblables à ceux présentés pour les réseaux linéaires. Puisque les éléments sont placés dans deux dimensions figure II.2, le facteur de réseau d'un réseau plan peut être exprimé comme le produit des facteurs de réseau de deux réseaux linéaires : l'un situé le long de l'axe des abscisses et l'autre le long de l'axe des ordonnées [23]:

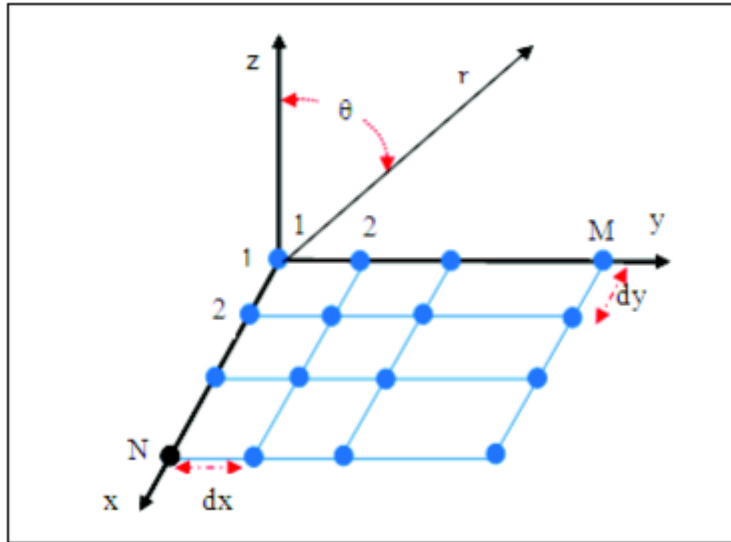


Figure II.2: Réseau plan MxN

Le facteur de directivité du réseau est donné par :

$$F = \left(\frac{\sin(N\psi_x / 2)}{N \sin(\psi_x/2)} \right) \left(\frac{\sin(N\psi_y / 2)}{M \sin(\psi_y/2)} \right) \quad (\text{II.4})$$

Où

$$\Psi_x = \frac{2\pi}{\lambda} d_x \cos \theta \cos \varphi + \phi_x$$

$$\Psi_y = \frac{2\pi}{\lambda} d_y \sin \theta \sin \varphi + \phi_y$$

II.2.2.3 Réseaux circulaires

Dans une configuration de réseau circulaire, les éléments sont placés sur un cercle, comme représenté sur la figure II.3.

Le facteur de réseau dans ce cas est donné par [22] :

$$F(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N I_n e^{jka(\sin \theta \cos(\varphi - \varphi_n) - \sin \theta_0 \cos(\varphi - \varphi_n))} \quad (\text{II.5})$$

Où : θ_0 et φ_0 sont les angles du faisceau principal, a est le rayon du réseau circulaire et I_n les courants d'excitation des éléments.

La figure II.3 représente un réseau circulaire de 12 éléments avec un espacement de $(\lambda/2)$.

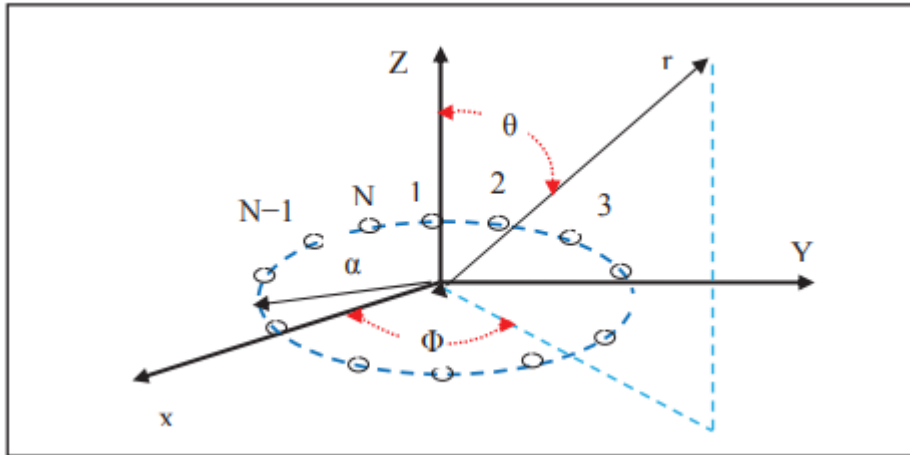


Figure II.3 : Réseau circulaire de N élément

II.3 Synthèse d'un réseau d'antennes

La synthèse du diagramme d'un réseau d'antennes n'est pas un problème nouveau. Généralement, elle consiste à déterminer les paramètres géométriques, ou électriques du réseau afin de produire un diagramme désiré par le concepteur. Ce dernier peut être défini analytiquement ou à partir d'un gabarit [24].

Depuis le travail qui a été réalisé par Schelkunoff, en 1943 [25], ces réseaux ont été largement étudiés et plusieurs méthodes analytiques ont servi à donner des solutions exactes [25-26]. Mais pour les réseaux non uniformes ou à deux dimensions (planaire et circulaire), qui sont indispensables dans plusieurs applications de nos jours (radars), l'obtention du diagramme désiré n'est pas aisée et le calcul devient très lourd.

Dans ce cas, les méthodes analytiques deviennent inutilisables. Actuellement, beaucoup de chercheurs concentrent leurs efforts sur le développement de méthodes numériques de plus en plus performantes [28-29].

D'une manière générale, le problème rencontré dans la synthèse d'un réseau d'antennes est la détermination des paramètres physiques (les lois d'alimentation et/ou de répartition spatiale des éléments rayonnants) permettant d'atteindre les caractéristiques d'un diagramme de rayonnement désiré FD. On peut envisager plusieurs types de synthèse des réseaux d'antennes : la synthèse par loi d'amplitude, la synthèse par loi de phase (réseau à balayage électronique), la synthèse par loi d'amplitude et de phase, la synthèse par loi de distance inter-éléments (réseau non périodique)...

II.3.1 Recherche d'une méthode de synthèse

Il existe un grand nombre de méthodes permettant de synthétiser différents types de diagrammes sous certaines contraintes, comme par exemple la forme du lobe principal, le niveau des lobes secondaires, des nuls en certains endroits du diagramme...

La résolution des problèmes d'optimisation dans notre cas (ici, optimisation d'un diagramme à faisceau directif avec un niveau des lobes secondaires SLL très bas par ajustement de l'amplitude, la phase et l'inter espacement d'un réseau d'antennes linéaire) n'est pas aisée à cause de la non-linéarité du problème.

II.3.2 Le choix de la méthode de synthèse

Soumise à plusieurs contraintes, la synthèse des réseaux d'antennes est un problème d'optimisation non linéaire. Une vue historique sur ce problème, montre que plusieurs méthodes numériques ont été appliquées, pour obtenir les solutions envisagées. On ne trouvera pas une méthode générale d'optimisation, applicable à tous les cas, mais un nombre important de méthodes, propres à chaque type de problème. La méthode d'optimisation récente des loups gris [16]. Cette méthode présente beaucoup d'avantages tels que : la simplicité de mise en œuvre, la facilité de rechanger ses paramètres, la particularité de ne requérir que peu d'informations sur la fonction d'évaluation.

II.4 La méthode de GWO (L'optimisation du loup gris)

II.4.1 Définition

L'optimisation du loup gris (**Grey Wolf Optimisation GWO**) est une technique intelligente de l'essaim développée par **Mirjalili et al**, 2014, qui imite la hiérarchie de leadership des loups qui sont bien connus pour leur chasse de groupe.

Cet algorithme imite le leadership social comportement de chasse des loups gris dans la nature. Dans cet algorithme la population est divisée en quatre groupes : alpha (α), bêta (β), delta (δ) et oméga (ω). Les trois premiers plus forts loups sont considérés comme α , β et δ qui guident les autres loups (ω) vers des zones prometteuses de l'espace de recherche.

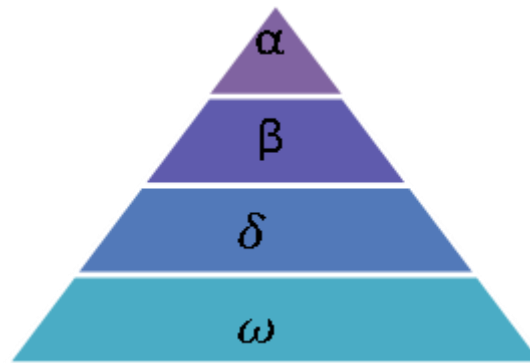


Figure II.4 : Hiérarchie du loup gris (la dominance diminue de haut en bas)

II.4.2 Principe de la méthode

Les loups gris sont considérés comme des prédateurs, ce qui signifie qu'ils sont au sommet de la chaîne alimentaire. Les loups gris préfèrent généralement vivre dans un groupe. La taille du groupe est de 5-12 en moyenne. D'un intérêt particulier est qu'ils ont une hiérarchie sociale dominante très stricte [16]

- Le premier niveau appelé alpha (α). Les loups alpha sont les leaders de la meute et ils sont un mâle et femelle. Ils sont principalement responsables de prendre des décisions sur la chasse, le lieu de sommeil, le temps de se réveiller, et ainsi de suite. Les décisions de l'alpha sont dictées au groupe. Cependant, une sorte de comportement démocratique a également été observé, dans lequel un alpha suit les autres loups dans le groupe. Dans les rassemblements, l'ensemble du pack reconnaît l'alpha par tenant leurs queues vers le bas. Le loup alpha est aussi appelé le loup dominant puisque ses ordres devraient être suivis par le pack. Les loups alpha sont seulement autorisés à s'accoupler dans le pack. Fait intéressant, l'alpha n'est pas nécessairement le membre le plus fort de la meute mais le meilleur en termes de gestion du pack. Cela montre que l'organisation et la discipline d'un pack est beaucoup plus important que sa force.
- Le deuxième niveau s'appelle bêta (β). Les bêtas sont des loups subordonnés qui aident l'alpha dans la prise de décision ou d'autres activités de pack. Le loup bêta peut être mâle ou femelle, et il / elle est probablement le meilleur candidat pour être l'alpha en cas l'un des loups alpha décède ou devient très vieux. Le loup bêta devrait respecter l'alpha, mais commande l'autre niveau inférieur des loups aussi. Il joue le rôle de conseiller de l'alpha et de la discipline pour le pack. La version bêta renforce les commandes de l'alpha tout au long du pack et donne des commentaires à l'alpha.

- Le troisième niveau s'appelle Delta (δ). Le loup n'est pas un alpha, bêta ou oméga, ils sont s'appelés subordonnés (ou delta dans certaines références). Les loups Delta doivent soumettre aux alphas et aux bêtas, mais ils dominent l'oméga (le niveau le plus bas). Scouts, sentinelles, les anciens, les chasseurs et les gardiens appartiennent à cette catégorie. Scouts sont responsables de regarder les limites du territoire et avertir le pack en cas de danger. Les sentinelles protègent et garantissent la sécurité du pack. Les anciens sont les loups expérimentés qui sont utilisés pour être alpha ou bêta. Les chasseurs aident les alphas et les bêtas quand ils chassent la proie et fournissent de la nourriture pour le pack.
- Le quatrième niveau (le plus bas) s'appelle oméga (ω). L'oméga joue le rôle de bouc émissaire. Les loups oméga doivent toujours se soumettre à tous les autres loups dominants. Ce sont les derniers loups autorisés à manger. Il peut sembler que l'oméga n'est pas un individu important dans le pack, mais il a été observé que l'ensemble du pack rencontre des problèmes en cas de perte de l'oméga. Cela est dû au dégageant de la violence et de la frustration de tous les loups par l'oméga. Cela aide à satisfaire l'ensemble du pack et à maintenir la structure de dominance.

En plus de la hiérarchie sociale des loups, la chasse de groupe est aussi l'un des comportements sociaux intéressants des loups gris [30]. Les principales phases de la chasse au loup gris sont les suivantes :

- 1) Suivre, chasser et approcher la proie.
- 2) Poursuivre, encercler et harceler la proie jusqu'à ce qu'elle arrête de bouger.
- 3) Attaque vers la proie.

Ces deux comportements sociaux de la meute de loups gris (hiérarchie sociale et chasse technique) sont modélisés dans l'algorithme GWO voir figure II. 5.



Figure II.5 : Comportement de chasse des loups gris : (A) suivre, chasser et approcher la proie (B-D) poursuivre, encercler et harceler la proie. (E) situation stationnaire et attaque [30]

II.4.3 Opérateurs

Dans cette section, la modélisation mathématique de la hiérarchie sociale des loups gris et leur technique de chasse (poursuite, encerclement et attaque de proies) dans l'algorithme GOW sont détaillées.

❖ Hiérarchie sociale

Afin de modéliser mathématiquement la hiérarchie sociale des loups lors de la conception de GWO, nous considérons la solution la plus apte comme l'alpha (α). Par conséquent, les deuxièmes et troisièmes meilleures solutions sont respectivement considérées comme beta (β) et delta (δ). Le reste des solutions candidates sont supposés être des omégas (ω). Dans l'algorithme GWO, la chasse (optimisation) est guidée par α , β et δ , et les (ω) les suivent.

❖ Encercler les proies :

La méthode d'optimisation GOW modélise le comportement des loups, et assimile la recherche du minimum d'une fonction cout à la stratégie de chasse d'une meute de loups. La traque de la proie correspond à l'exploration ou recherche globale, l'attaque à l'exploitation ou recherche locale comme mentionné ci-dessus, les loups gris entourent les proies pendant la chasse.

Chapitre II : Synthèse d'un réseau d'antennes linéaire

Afin de modéliser mathématiquement le comportement d'encerclement les équations sont proposées [16]

$$\vec{D} = |\vec{C} \cdot \vec{X}_p - \vec{X}(t)| \quad (\text{II.6})$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (\text{II.7})$$

Où t indique l'itération en cours, \vec{A} et \vec{C} sont des vecteurs de coefficients, \vec{X}_p est le vecteur de position de la proie, \vec{X} est le vecteur de position d'un loup gris.

Les vecteurs, \vec{A} et \vec{C} sont calculés comme suit:

$$\vec{A} = 2\vec{a} * \vec{r}_1 \quad (\text{II.8})$$

$$\vec{C} = 2 * \vec{r}_2 * \vec{X}_p \quad (\text{II.9})$$

\vec{a} est diminué linéairement de 2 à 0, et \vec{r}_1, \vec{r}_2 sont des vecteurs aléatoires dans [0.1].

Pour avoir les effets des équations (II.6) et (II.7), un vecteur de position bidimensionnel et certains des voisins possibles sont illustrés sur la figure II.6(a).

Comme on peut le voir sur cette figure, un loup gris dans la position de (X, Y) peut mettre à jour sa position en fonction de la position de la proie (X^*, Y^*) . Différents endroits autour du meilleur agent peuvent être atteints par rapport la position actuelle en ajustant la valeur des vecteurs \vec{A} et \vec{C} . Par exemple, $(X^* - X, Y^*)$ peut être atteint en réglant, $\vec{A} = (1, 0)$ et $\vec{C} = (1, 1)$. Les positions possibles mise à jour d'un loup gris dans l'espace 3D sont représentées sur la figure II.6(b). Notez que les vecteur aléatoires \vec{r}_1 et \vec{r}_2 permettent aux loups d'atteindre n'importe quelle position entre les points illustrés sur la figure II.6. Ainsi, un loup gris peut mettre à jour sa position dans l'espace autour de la proie en utilisant des équations aléatoires (II.6) et (II.7).

Les trois premières meilleures solutions sont sauvegardées et l'autre agent est obligé de mettre à jour ses positions n fonction de position des meilleurs agents de recherche, comme indiqué dans les équations suivantes :

$$\begin{cases} \vec{D}_a = |\vec{C}_1 \cdot \vec{X}_a - \vec{X}| \\ \vec{D}_\beta = |\vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X}| \\ \vec{D}_\delta = |\vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X}| \end{cases} \quad (\text{II.10})$$

$$\begin{cases} \vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot \vec{D}_\alpha \\ \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot \vec{D}_\beta \\ \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot \vec{D}_\delta \end{cases} \quad (\text{II. 11})$$

$$\vec{X}(t+1) = \frac{\vec{x}_1 + \vec{x}_2 + \vec{x}_3}{3} \quad (\text{II. 12})$$

Où :

- $\vec{X}_\alpha(t)$ Représente la position de l'alpha.
- $\vec{X}_\beta(t)$ Indique la position de la bêta.
- $\vec{X}_\delta(t)$ Est la position de delta.
- C_1, C_2, C_3 Sont des vecteurs aléatoires et X indique la position de la solution actuelle.

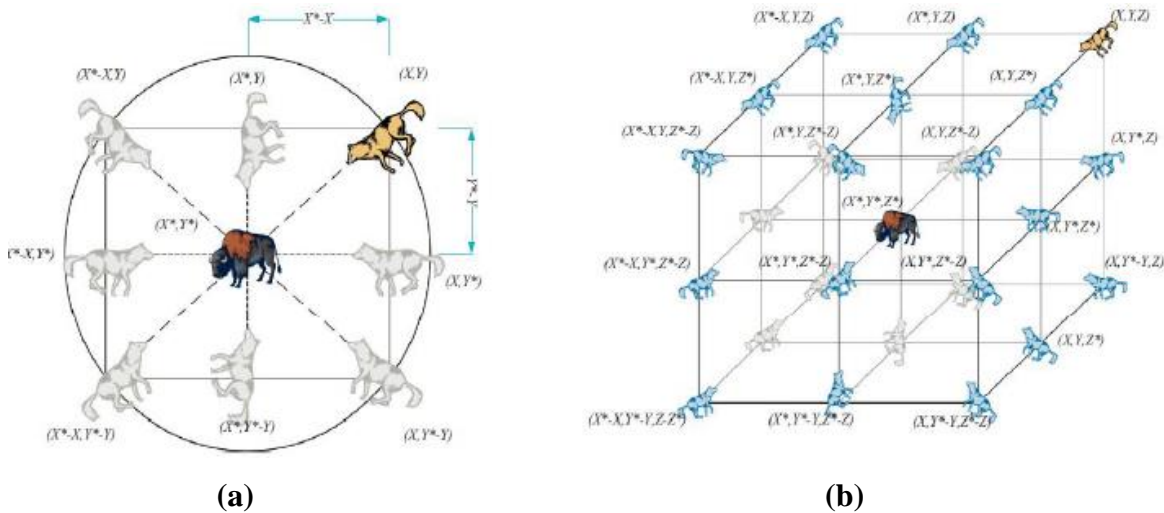


Figure II.6 : Représentation 2D et 3D des vecteurs de position et leurs prochains emplacements possibles [29]

❖ Attaquer la proie

Comme mentionné ci-dessus, les loups gris finissent le processus de chasse en attaquant la proie quand elle arrête de bouger. Afin de modéliser le processus d'attaque, le paramètre \vec{a} dans [16], décroît régulièrement de 2 à 0 entre $t=1$ et $t=T$: $\vec{a} = 2 \left(1 - \frac{t}{T}\right)$. L'opération de chasse est généralement guidée par l'alpha. La beta et le delta pourraient participer à la chasse de temps en temps. Dans le modèle

mathématique du comportement de chasse des loups gris, nous avons supposé que l'alpha, la beta et le delta avaient une meilleure connaissance de l'emplacement potentiel des proies.

Durant la chasse, la phase 'exploration court jusqu'à ce que la condition $|\vec{A}| \geq 1$ soit respectée : les loups sont forcés à s'éloigner les uns des autres. ensuite commence la phase d'exploitation, dès que d'autres termes $|\vec{A}| < 1$ les loups sont forcés d'attaquer la proie. Par conséquent, un paramètre clé pour équilibrer les phases d'exploration et d'exploitation est le paramètre a . la recherche globale s'arrête à $a=1$. commence alors la recherche locale, jusqu'à $a=0$.

❖ La recherche de la proie (exploration)

Les loups gris recherchent souvent la proie selon les positions de α , β , δ . ils divergent les uns des autres pour explorer la position de la proie et convergent ensuite pour attaquer la proie. Afin de modéliser mathématiquement la divergence des loups gris, \vec{A} peut être utilisé. \vec{A} Est un vecteur aléatoire qui est supérieure à 1 ou inférieure à -1 pour forcer l'agent de recherche à diverger de la proie, ce qui accentue la recherche globale dans GOW. La figure II.7 montre que lorsque $|\vec{A}| < 1$, le loup gris est forcé de s'éloigner de la proie (optimum local) pour rechercher de meilleures solutions dans l'espace de décision.

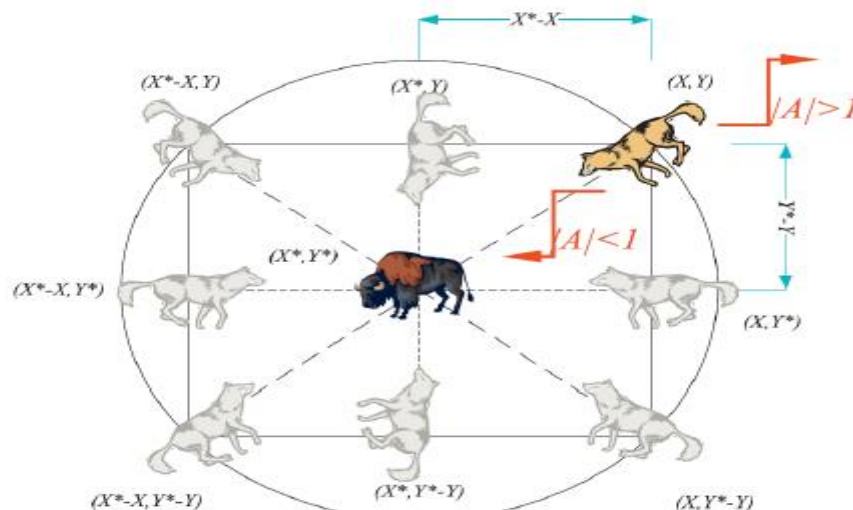


Figure II.7 : mécanisme de positionnement de l'agent de recherche et de l'effet de ce qui le présente [16]

II.4.4 Les étapes générales de l'algorithme GWO

Les étapes générales de l'algorithme GWO sont les suivantes :

- Initialiser une population de loups au hasard sur la base des limites supérieure et inférieure des variables.
- Calculer la valeur de la fonction objective correspondante pour chaque Loup.
- Choisir les trois premiers meilleurs loups et sauvegarde-les sous α , β et δ .
- Actualiser la position du reste de la population (loups) en utilisant les équations précédente.
- Mise à jour des paramètres a , A et C .
- Passez à la 2^{ème} étape si le critère final n'est pas satisfait.
- Renvoie la position de α comme optimum optimal approximé.

Mirjalili et al. A montré que l'algorithme GWO est capable de fournissent des résultats très compétitifs par rapport à d'autres méta-heuristiques bien connues. D'une part, l'exploration de cet algorithme est très élevée et nécessite d'éviter les optima locaux.

De plus, l'équilibre entre exploration et exploitation est très simple et efficace pour résoudre des problèmes difficiles selon les résultats dans des problèmes réels. [31]

II.5 Optimisation d'un réseau d'antenne linéaire par l'algorithme GWO :

Nous considérons un réseau linéaire de n éléments identiques le long de l'axe y comme le montre la figure II.8. Le facteur de tableau correspondant (AF) est donné par l'équation suivante : [32]

$$\mathbf{AF} = \sum_{i=1}^n \mathbf{a}_i \mathbf{e}^{-j(ky_i \sin\theta - \psi_i)} \quad (\text{II.13})$$

où a_i , ψ_i et y_i sont l'amplitude du poids, la phase de l'excitation et la position du $i^{\text{ème}}$ élément dans le réseau respectivement. k est le nombre d'onde donné par $(2\pi / \lambda)$ et θ est l'angle d'élévation.

$$\mathbf{y}_i = \sum_{p=1}^i \mathbf{d}_p \quad (\text{II.14})$$

où d_i est la distance entre les éléments d'ordre $(i-1)$ et (i) .

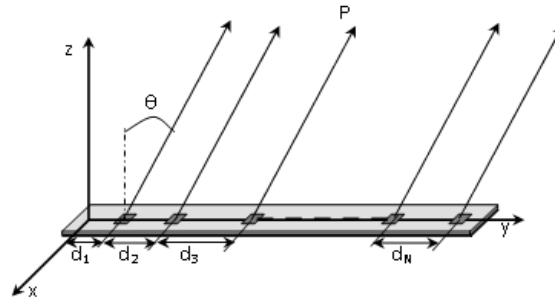


Figure II.8 : Structure d'un réseau d'antenne linéaire

Le diagramme de rayonnement désiré choisi dans ce travail est une fonction gaussienne qui est donnée par:

$$F\theta = n \cdot \exp\left(\frac{-\theta^2}{T^2}\right) \quad (\text{II.15})$$

Où θ est l'angle d'élévation et T est l'écart type. n est le nombre d'éléments rayonnants, il peut être considéré comme le gain maximum théorique.

Dans cette procédure d'optimisation, une conception est faite pour minimiser le niveau du lobe secondaire du diagramme de rayonnement ainsi que en augmentant la directivité du lobe principal. Pour atteindre cet objectif, nous avons considéré l'optimisation de trois vecteurs: $A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$, $\psi = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n]$ et $Y = [y_1, y_2, \dots, y_n]$ qui sont respectivement les poids d'amplitude, l'excitation des phases et la position des antennes à l'aide de l'algorithme d'optimisation de loups gris (GWO)

II.6 Présentation des résultats de simulation

Afin d'évaluer la performance de notre méthode proposée (GWO) et d'étudier les effets des paramètres optimisés sur le diagramme de rayonnement pour la synthèse d'un réseau linéaire, plusieurs exemples ont été choisis et présentés.

II.6.1 Synthèse en amplitude seulement

On a supposé dans cette partie l'optimisation d'un paramètre tout en gardant constants les autres, ce qui conduit à un degré de liberté. Dans le premier cas on a pris l'amplitude comme un paramètre à recherché

Chapitre II : Synthèse d'un réseau d'antennes linéaire

Les figures suivantes représentent des courbes dans les cas de nombre d'antenne (8, 14, 21) après 1500 d'itération.

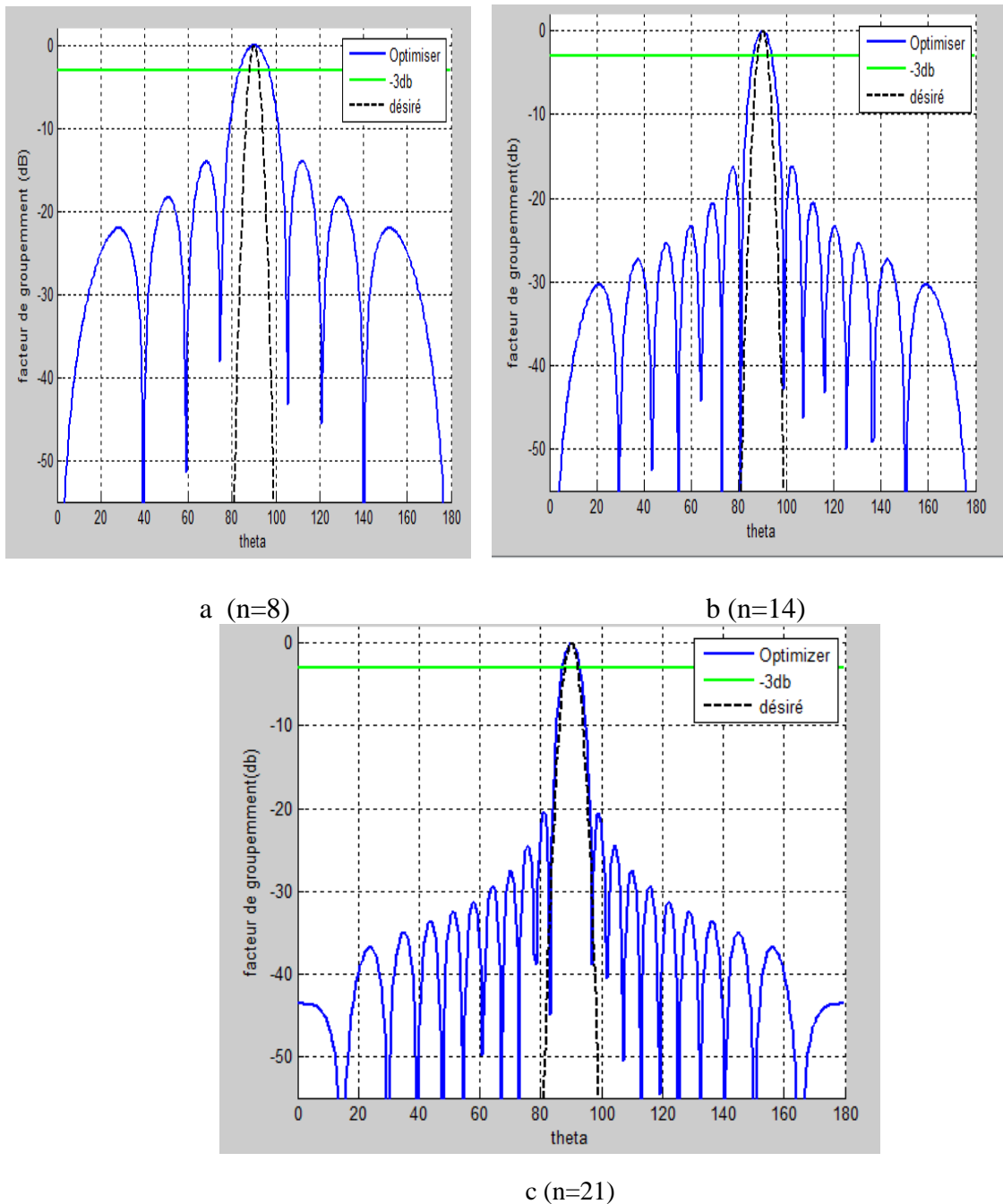


Figure II.9 : Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque l'amplitude est optimisée pour différentes valeurs de n

Le tableau ci-dessous représente les résultats obtenus en termes de valeurs de SLL et HPBW pour les trois cas précédents

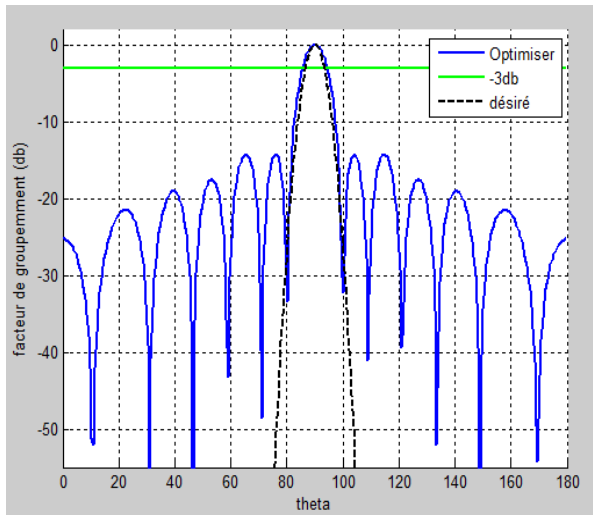
| Nombre des antennes | 8 | 14 | 21 |
|---------------------|-------|-------|------|
| SLL | 14 | 16.58 | 20 |
| HPWB | 13.68 | 8.29 | 6.07 |

Tableau II.1: Résultats de comparaison entre SLL et HPWB

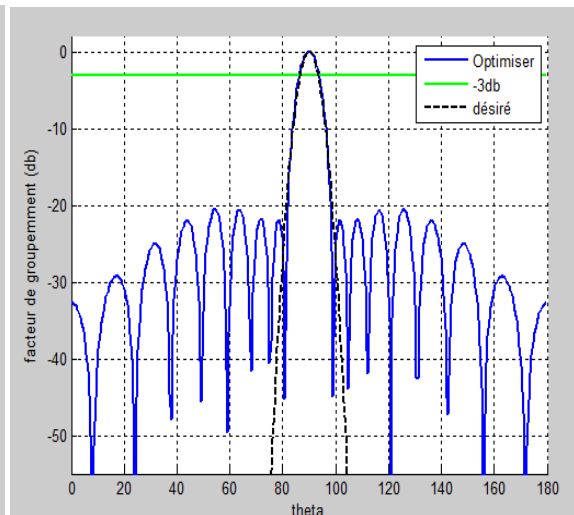
D'après les résultats du tableau II.1 l'augmentation de n augmente la directivité (l'ouverture du lobe principal) et le nombre de lobes secondaires, donc le réseau d'antennes est plus directif s'il contient plus d'éléments, mais cela augmente en revanche le nombre de lobes secondaires, ce qui nous oblige à chercher un compromis ou à manipuler d'autres paramètres.

II.6.2 Synthèse d'Espacement seulement

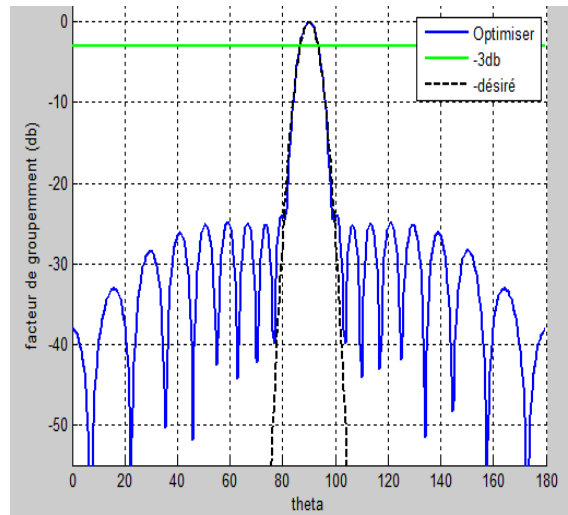
Dans ce cas on a pris l'inter-espacement entre les antennes comme un paramètre à recherché Les figures suivent représente des courbes dans les cas de nombre d'antenne (8, 14, 21) après 1500 d'itération.



a (n=8)



b (n=14)



c (n=21)

Figure II.10 : Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque l'espacement est optimisé pour différentes valeurs de n

Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs de SLL et HPBW pour les trois cas précédents

| Nombre d'antenne | 8 | 14 | 21 |
|------------------|-----|-------|-----|
| SLL | 17 | 20.50 | 24 |
| HPWB | 8.7 | 7.1 | 6.7 |

Tableau II.2: Résultats de comparaison entre SLL et HPWB

En général, on ne doit pas avoir un dédoublement du lobe principal dans la zone balayée. le nombre de lobes principaux dans l'espace réel dépend de la distance d entre les sources :

- Si ($d \leq \lambda.2$), il y a un seul lobe principal. Si n augmente le diagramme de rayonnement s'approche au diagramme désiré.

II.6.3 Synthèse Amplitude et phase

On change les nombre d'antenne (8, 14 et 21) dans le cas de amplitude et phase, pour représente la variation du facteur de groupement en fonction the theta. Les figures suivent représente des courbes dans les cas de nombre d'antenne (8, 14, 21) après 1500 d'itération.

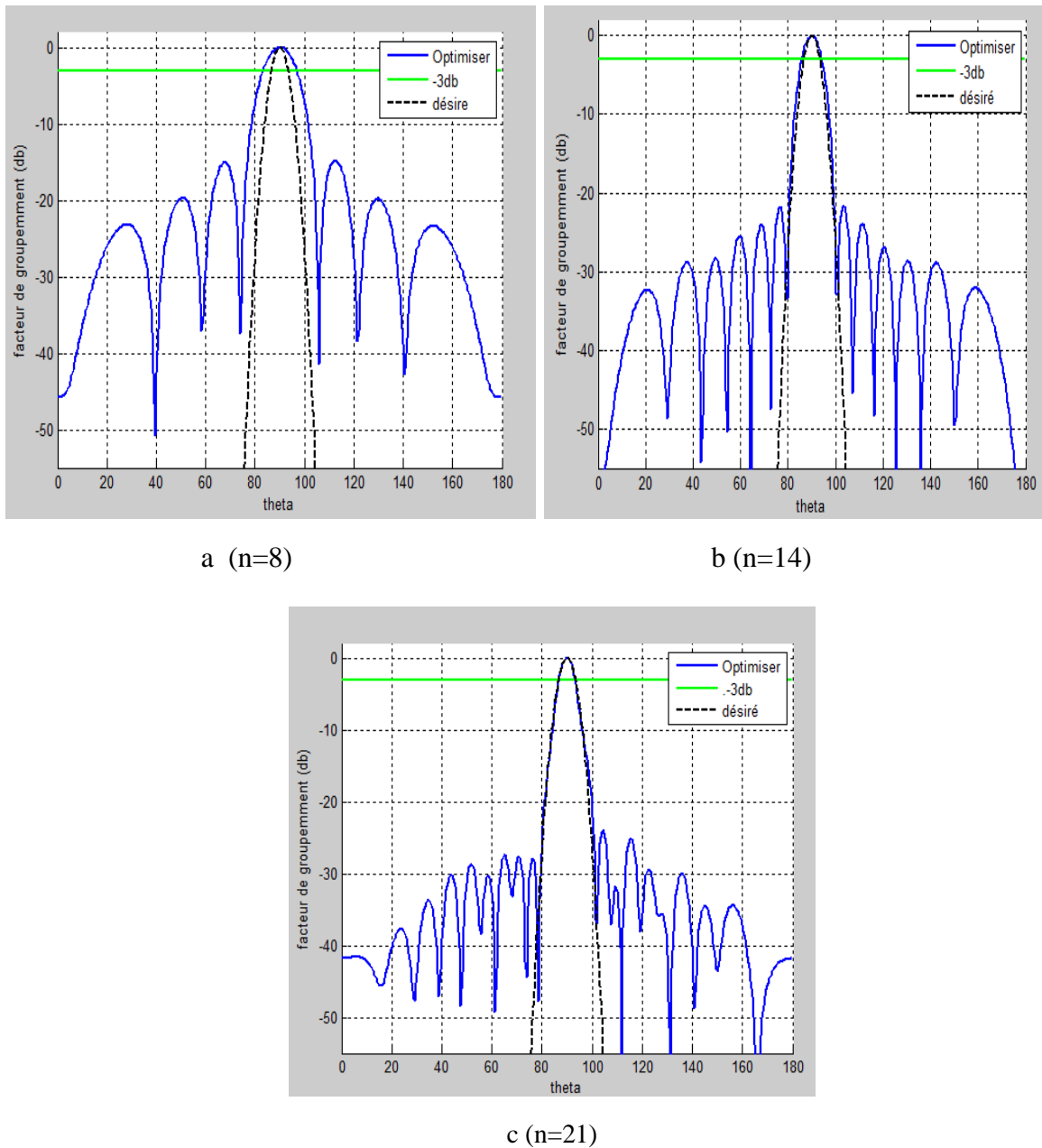


Figure II.11 : Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque l'amplitude et la phase sont optimisés pour différentes valeurs de n

Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs de SLL et HPBW pour les trois cas précédents

| Nombre des antennes | 8 | 14 | 21 |
|---------------------|---------|------|------|
| SLL | 15 | 21 | 24 |
| HPWB | 13.9265 | 7.65 | 6.63 |

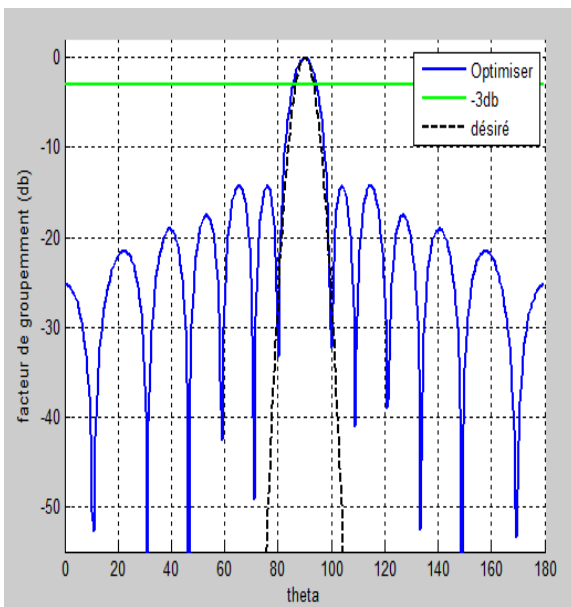
Tableau II.3: Résultats de comparaison entre SLL et HPWB

Une phase variable permet d'orienter le lobe de côté large ($\theta_{\max} = \pm 90$) à feu de bout ($\theta_{\max} = +180$). A partir d'un réseau donné, on peut donc faire varier, dynamiquement ou non, l'orientation privilégiée du gain en jouant sur les alimentations des divers éléments :

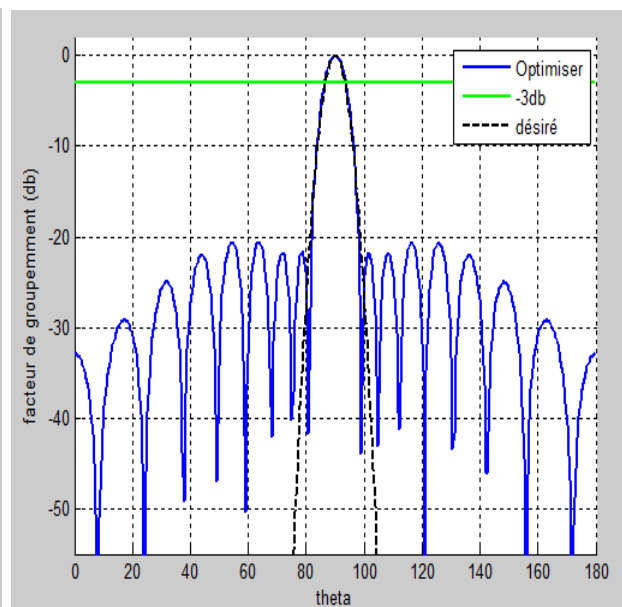
C'est le principe des antennes à balayage électronique

II.6.4 Synthèse espacement et phase

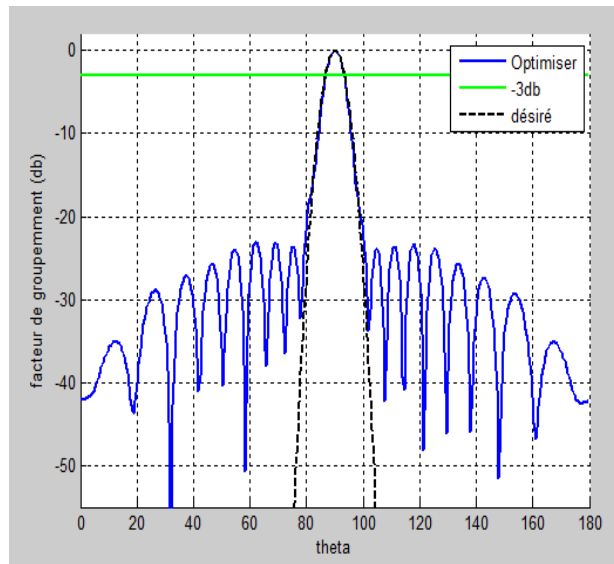
On change les nombre d'antenne (8, 14 et 21) dans le cas de l'espacement et la phase, pour représente la variation du facteur de groupement en fonction the theta. Les figures suivent représente des courbes dans les cas de nombre d'antenne (8, 14, 21) après 1500 d'itération.



a (n=8)



b (n=14)



c (n=21)

Figure II.12 : Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque l'espacement et la phase sont optimisés pour différentes valeurs de n

Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs de SLL et HPBW pour les trois cas précédents

| Nombre des antennes | 8 | 14 | 21 |
|---------------------|-------|------|------|
| SLL | 14 | 20 | 23 |
| HPWB | 10.12 | 8.97 | 6.63 |

Tableau II.4: Résultats de comparaison entre SLL et HPWB

D'après les résultats de comparaison entre les SLL et HPBW obtenus, on remarque que le cas de 21 antennes donnée le meilleure résultat.

II.6.5 Synthèse de Tous les paramètres

Dans le cas de la variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque tous les paramètres sont optimisés pour différentes valeurs de n. Les figures suivantes représentent des courbes dans les cas de nombre d'antenne (8, 14, 21) après 1500 d'itération.

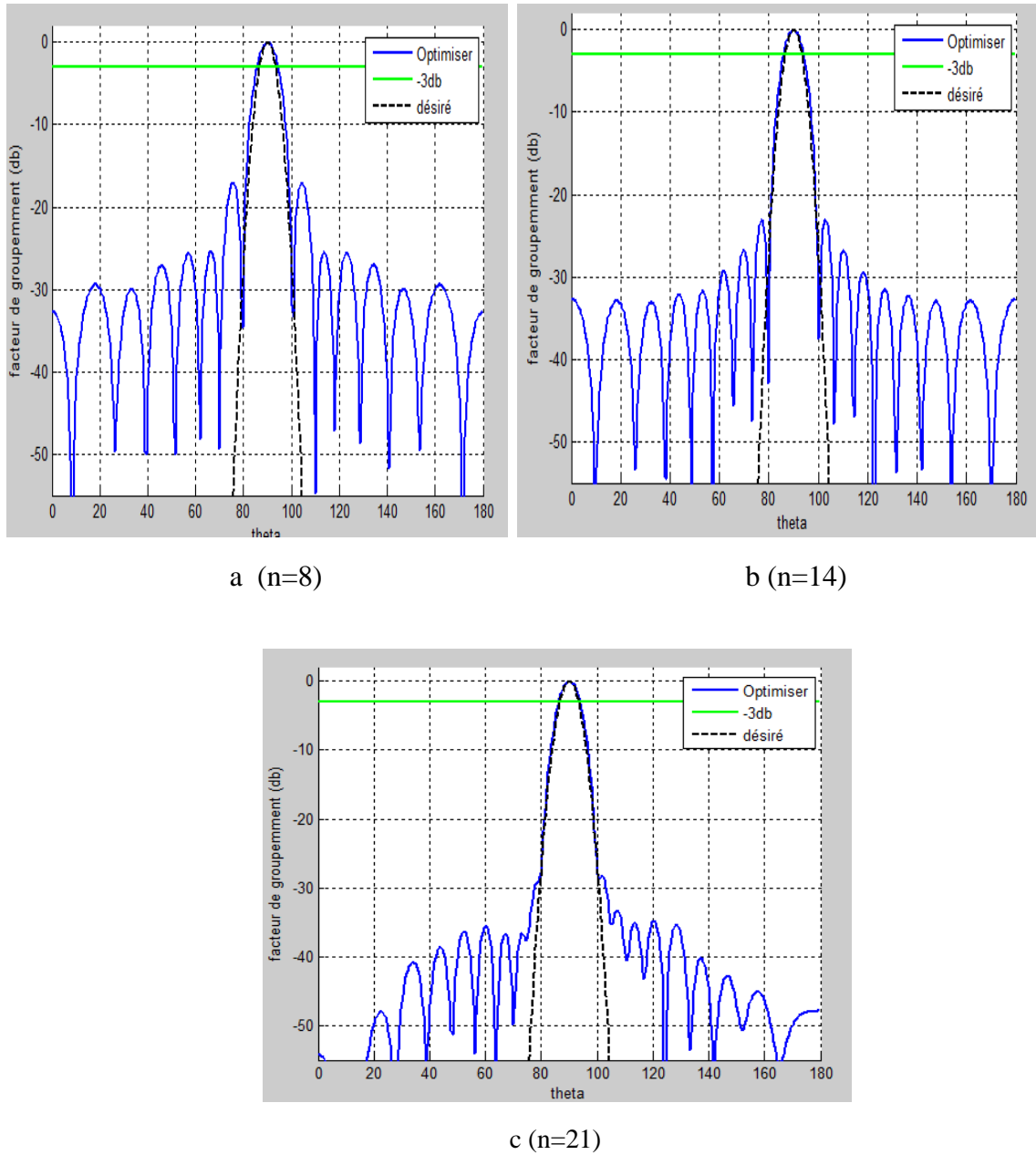


Figure II.13 : Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque tous les paramètres sont optimisés pour différentes valeurs de n

Le tableau ci-dessous représente les résultats obtenus et donne les valeurs de SLL et HPBW :

| Nombre des antennes | 08 | 14 | 21 |
|---------------------|------|------|------|
| SLL | 18 | 24 | 29 |
| HPWB | 9.01 | 7.45 | 6.01 |

Tableau II.5: Résultats de comparaison entre SLL et HPWB

Dans ce dernier cas, nous avons considéré l'optimisation de l'espacement de l'inter-élément, des poids d'amplitude et d'excitation de phase ensemble. Dans ce cas, tous les paramètres inconnus sont estimés et les facteurs de groupement correspondants sont illustrés par la figure II.13 qui est normalisée par rapport à la valeur maximale du lobe principal. A partir de cette figure, pour $n = 8, 14$ et 21 éléments respectivement, lorsque tous les paramètres sont optimisés, le HPBW s'améliore et le SLL diminue avec l'augmentation du nombre d'éléments. On peut également remarquer que ce cas offre de meilleures performances par rapport aux cas où deux paramètres et / ou un paramètre sont contrôlés.

Les valeurs numériques des SLL et HPBW correspondantes sont regroupées dans le tableau II.5 qui valide cette remarque.

II.7 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté le contexte général de notre étude, à savoir la synthèse du diagramme de rayonnement des antennes. Nous avons ainsi passé en revue les différents types de réseau. Puis nous avons donné un aperçu général sur l'optimisation et une description détaillée sur l'algorithme des loups gris passant par sa définition, ces étapes, son algorithme en arrivant à des exemples de simulation d'un réseau d'antennes linéaire en utilisant cette dernière. Le chapitre suivant sera réservé au problème de correction de défaillance dans le réseau.



CHAPITRE III

CORRECTION DES DÉFAILLANCES DES RÉSEAUX
D'ANTENNES LINÉAIRES

III.1 Introduction

Ce chapitre traite le problème de la défaillance des réseaux d'antennes linéaires en utilisant une méthode récente appelée algorithme d'optimisation du loup gris (GWO). Lorsqu'un événement étrange (défaut) affecte un réseau d'antennes, le diagramme de rayonnement change et un écart important par rapport au diagramme préféré peut se produire. Dans ce travail, un réajustement de l'amplitude et de la distribution de phase des éléments actifs dans un réseau défectueux est considéré. Ce dernier peut améliorer les niveaux des lobes latéraux (SLL) et également conserver la directivité. Pour montrer l'efficacité de notre algorithme, une comparaison la littérature est considérée.

III.2 Positionnement du problème

Considérons un réseau d'antenne linéaire de $2n + 1$ éléments. En supposant que les éléments sont dans des configurations symétriquement excités autour du centre du réseau, placés le long de l'axe des x comme le montre la figure III. 1. Le facteur de réseau (AF) est exprimé mathématiquement comme suit : [33]

$$AF = w_0 + 2 \sum_{i=1}^n w_1 \cos(Kid \cos \theta + \psi_i) \quad (\text{III.1})$$

Où w et ψ sont l'amplitude et la phase d'excitation du $i^{\text{ème}}$ élément du réseau. k est le nombre d'onde et est donné par $(2\pi / \lambda)$, θ est l'angle d'azimut et d est la distance entre les éléments d'ordre $(i-1)$ et (i) .

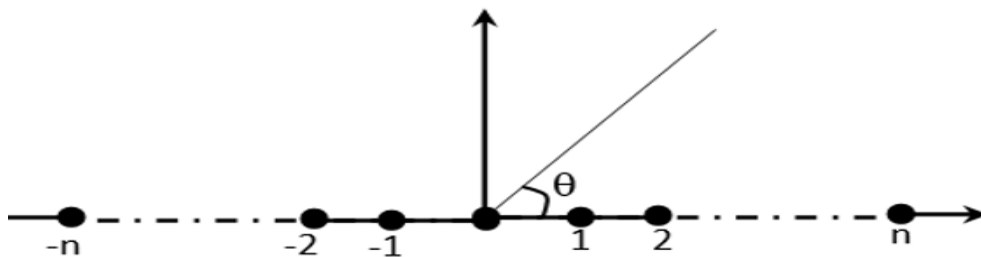


Figure III. 1 : Structure d'un réseau d'antennes linéaires

Dans notre étude, les caractéristiques du réseau sont contrôlées par la variation de l'amplitude et la phase de chaque élément du réseau, pendant la synthèse.

Pour éviter l'apparition de plusieurs lobes du réseau d'une part si un grand espacement des éléments est considéré [34] et les effets du couplage mutuel d'autre part si les éléments rayonnants sont placés trop près les uns des autres, les conditions suivantes doivent être satisfaites pour l'optimisation de la position de l'antenne : $0,25\lambda < |d_i| < 2\lambda$

Pour générer le diagramme désiré, une conception est faite pour minimiser le niveau des lobes secondaires du diagramme de rayonnement sans perturber la directivité du faisceau principal. Pour atteindre cet objectif, nous avons considéré l'optimisation de deux vecteurs $w = [w_1, w_2, \dots, w_n]$ et $\psi = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n]$ qui sont respectivement l'excitation des amplitudes et l'excitation des phases en utilisant respectivement l'algorithme de GWO.

Dans la suite de notre travail, nous présentons un exemple d'optimisation d'un réseau d'antennes en utilisant la méthode GWO. Les résultats de nos programmes sont développés en utilisant le logiciel Matlab 2013.

III.3 Processus d'optimisation par la méthode du loup gris (GWO)

Dans cette partie on va présenter comment utiliser la méthode du loup gris (GWO). Pour résoudre le problème d'optimisation ci-dessus donné par (III.1), nous proposons une approche flexible utilisant la méthode GWO dans différentes situations. Chaque agent de recherche (position) est un vecteur des paramètres de synthèse optimale des diagrammes. Dans le processus de compensation de la défaillance de l'élément, les excitations des éléments de travail sont ré-optimisées pour former un nouveau diagramme proche de l'original. En ce sens, le diagramme de rayonnement corrigé $F_c(\theta)$ doit être aussi proche que possible du diagramme d'origine $F_o(\theta)$. ou la fonction objective à minimiser par l'algorithme GWO est donnée comme suit.

$$\text{Fitness function} = \sum_{\theta} (F_c(\theta) - F_o(\theta))^2 \quad (\text{III.2})$$

III.4 Résultats et discussion

On considère un réseau d'antennes linéaires composé de n antennes positionnées symétriquement par rapport à l'origine. Si l'antenne à la position numéro p tombe en panne et est devenue endommagée, le facteur de groupement de cette configuration peut être donné par l'expression suivante comme suit :

$$AF = \sum_{\substack{i=-n \\ i \neq p}}^n w_i \exp(j(kid \cos \theta + \psi_i)) \quad (\text{III.3})$$

Le diagramme original dans ce cas est obtenu grâce à l'optimisation de l'amplitude seulement ou de l'excitation de l'amplitude et de la phase ensemble de tous les antennes, tout en maintenant un espacement uniforme égal à $0,5 \lambda$, ce qui implique de maintenir le gain du faisceau principal dans une direction particulière tout en supprimant simultanément le niveau

du lobe secondaire. Le diagramme désiré choisi dans ce cas est une fonction gaussienne qui est donnée par :

$$F_d = n \cdot \exp \frac{-\theta^2}{\sigma} \quad (\text{III.4})$$

Où : n est le nombre d'éléments rayonnants, il peut être considéré comme le maximum théorique du gain, θ est l'angle de position, σ est l'écart type.

III.4.1. Effets des poids de l'amplitude

Dans le premier cas on va poser que :

- les nombre des antennes (éléments) $n=15$
- le nombre d'itération $N=1000$
- L'antenne endommagée est en position (-6) dans le réseau
- L'inter espacement uniforme $d=0,5 \lambda$

Quand l'antenne en position (-6) tombe en panne, dans notre simulation ceci est réalisé en réglant l'excitation d'amplitude de l'élément défaillant à zéro dans les excitations d'amplitude du diagramme d'origine. Dans ce cas, on a supposé que la phase d'excitation de tous les éléments est nulle ce qui conduit à un degré de liberté qui est l'excitation de l'amplitude.

Le tableau ci-dessous représente les résultats comparatifs des poids originaux, défectueux et corrigés ainsi que les valeurs de SLL correspondantes :

| Position des antennes | Original | Défectueux | Corrige |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| -7 | 0.100 | 0.100 | 0.1001 |
| -6 | 0.1960 | 0.0000 | 0.0000 |
| -5 | 0.2920 | 0.2920 | 0.1398 |
| -4 | 0.4102 | 0.4102 | 0.2999 |
| -3 | 0.5148 | 0.5148 | 0.3935 |
| -2 | 0.6078 | 0.6078 | 0.5425 |
| -1 | 0.6635 | 0.6635 | 0.6576 |
| 0 | 0.6870 | 0.6870 | 0.7666 |
| 1 | 0.6635 | 0.6635 | 0.8044 |
| 2 | 0.6078 | 0.6078 | 0.8024 |
| 3 | 0.5148 | 0.5148 | 0.7257 |
| 4 | 0.4102 | 0.4102 | 0.6111 |
| 5 | 0.2920 | 0.2920 | 0.4455 |
| 6 | 0.1960 | 0.1960 | 0.2992 |
| 7 | 0.1000 | 0.1000 | 0.1345 |
| SLL (dB) | -30.4251 | -26,1430 | -29.5963 |

Tableau III.1 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude.

La figure suivante représente les courbes des diagrammes de rayonnements correspondants.

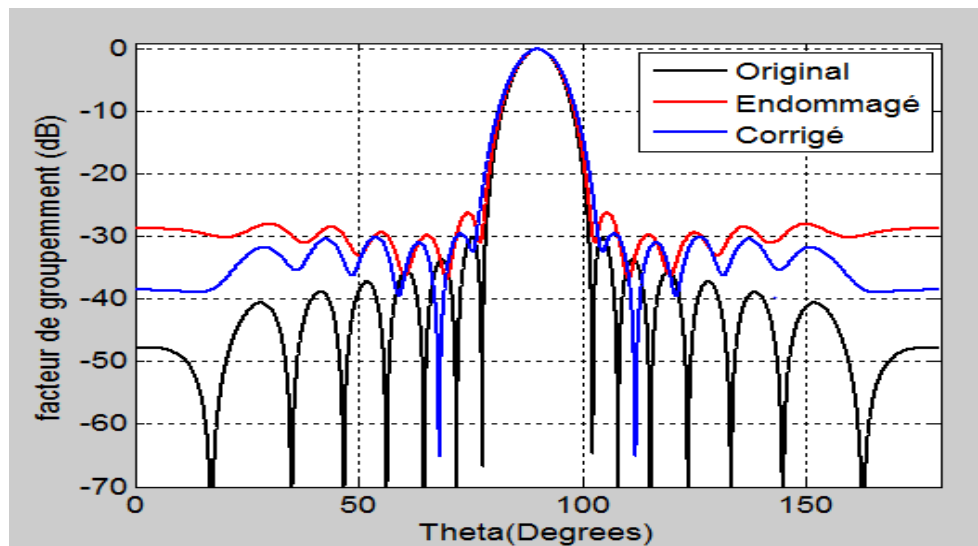


Figure III.2 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position d'élément défaillant à (-6) dans un réseau d'antennes de 15 éléments.

Il est clairement remarqué sur la figure III.2 qu'en raison de la défaillance de l'antenne, le diagramme de rayonnement est dégradé en matière de niveau des lobes secondaire (SLL = -26,1430). Par conséquent, le GWO est utilisé pour trouver l'excitation (les poids) optimale des amplitudes des éléments actifs, dans le sens de former un nouveau diagramme qui est proche de l'original. Les valeurs des poids d'amplitude du réseau original, défectueux et récupéré sont données dans le tableau III.1. Après avoir appliqué la méthode de loups gris, le SLL a été réduite à -29,5963 dB. C'est-à-dire que la méthode proposée a permis d'obtenir une réduction de -3,42 dB SLL.

Une deuxième étude dans ce cas est faite quand les antennes en position (-6,-3) dans le réseau d'antenne sont supposés défectueux. Dans notre simulation ceci est réalisé en réglant l'excitation d'amplitudes des éléments défaillants à zéro dans les excitations d'amplitude du diagramme original. Les mêmes propositions que celles du cas précédent sont considérés. Le tableau ci-dessous représente les résultats comparatifs des poids originaux, défectueux et corrigés ainsi que les valeurs de SLL correspondantes :

| Position des antennes | Original | Défectueux | Corrige |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| -7 | 0.100 | 0.100 | 0.1000 |
| -6 | 0.1960 | 0.0000 | 0.0000 |
| -5 | 0.2920 | 0.2920 | 0.1992 |
| -4 | 0.4102 | 0.4102 | 0.2970 |
| -3 | 0.5148 | 0.0000 | 0.0000 |
| -2 | 0.6078 | 0.6078 | 0.3325 |
| -1 | 0.6635 | 0.6635 | 0.4484 |
| 0 | 0.6870 | 0.6870 | 0.4689 |
| 1 | 0.6635 | 0.6635 | 0.5033 |
| 2 | 0.6078 | 0.6078 | 0.5101 |
| 3 | 0.5148 | 0.5148 | 0.4986 |
| 4 | 0.4102 | 0.4102 | 0.4744 |
| 5 | 0.2920 | 0.2920 | 0.4182 |
| 6 | 0.1960 | 0.1960 | 0.4182 |
| 7 | 0.1000 | 0.1000 | 0.3804 |
| SLL(dB) | -20.9629 | -15.6751 | -19.0579 |

Tableau III.2 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude.

La figure suivante représente les courbes des diagrammes de rayonnements correspondants.

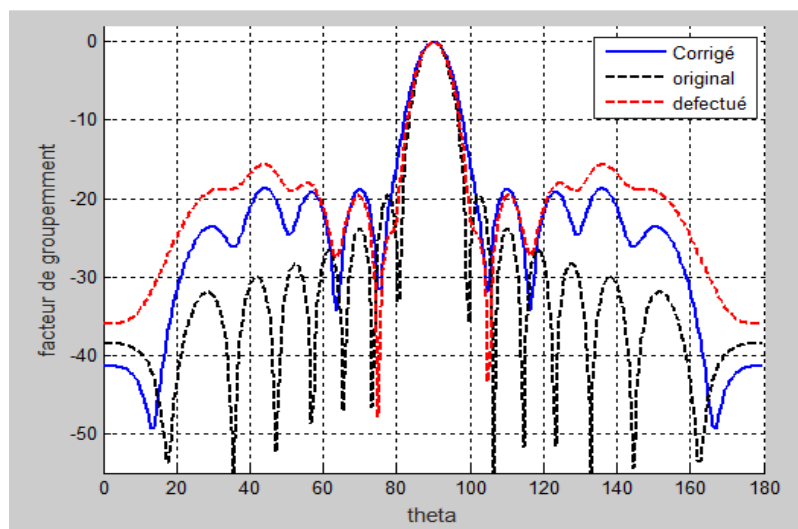


Figure III.3 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position des éléments défaillants à (-6, -3) dans un réseau d'antennes de 15 éléments.

En raison de la défaillance des antennes, le diagramme de rayonnement est perturbé en matière de niveau des lobes secondaire (SLL = -15,6751). Par conséquent, le GWO est utilisé pour trouver les poids optimaux d'amplitude des autres antennes fonctionnels, dans le sens de former un nouveau diagramme qui est proche de l'original. Les valeurs des poids d'amplitude du réseau original, défectueux et corrigés sont données dans le tableau III.3. Après avoir appliqué la méthode de GWO, le SLL a été réduite à -19,0579 dB avec une amélioration de -3,3828 dB.

Le dernier cas est fait avec un nombre d'antennes égales à 11 et avec l'antenne de la position (5) est considéré comme une antenne défectueux. Dans ces propositions, la même remarque que les cas précédents est observée, la défaillance d'une antenne dégrade le diagramme de rayonnement en terme the SLL. L'application du GWO améliore le niveau de SLL avec un gain de 1 ,66dB figure III.4. Le tableau ci-dessous confirme cette remarque

| Position des antennes | Original | Défectueux | Corrige |
|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| -5 | 0.3331 | 0.3331 | 0.3042 |
| -4 | 0.4732 | 0.4732 | 0.4167 |
| -3 | 0.4943 | 0.4943 | 0.4470 |
| -2 | 0.5642 | 0.5642 | 0.4930 |
| -1 | 0.5718 | 0.5718 | 0.5085 |
| 0 | 0.5999 | 0.5999 | 0.5083 |
| 1 | 0.5721 | 0.5721 | 0.4931 |
| 2 | 0.5645 | 0.5645 | 0.4471 |
| 3 | 0.4931 | 0.4931 | 0.4167 |
| 4 | 0.4731 | 0.4731 | 0.3043 |
| 5 | 0.3332 | 0.0000 | 0.0000 |
| SLL (dB) | -17.5833 | -15.2500 | -16.9167 |

Tableau III.3 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude dans le cas d'un réseau d'antenne de 11 éléments.

La figure suivante représente les courbes des diagrammes de rayonnements correspondants.

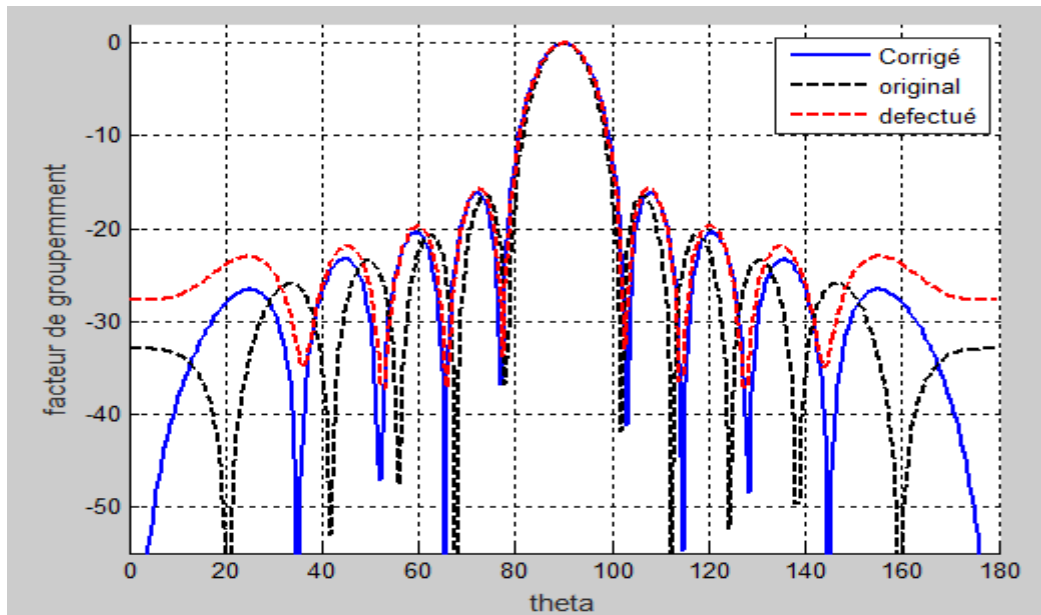


Figure III.4 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position de l'élément défaillant à (5) dans un réseau d'antennes de 11 éléments.

Le tableau ci-dessous résume les valeurs de SLL dans tous les cas étudiés :

| Nombre des antennes et la position des antennes défectueuses | SLL original | SLL défectueux | SLL corrigé |
|--|--------------|----------------|-------------|
| 1ere cas : n=15 (-6) | -30,4251 | -26,1430 | -29,5963 |
| 2ème cas : n=15 (-6, -3) | -20,9629 | - 15,6751 | -19,079 |
| 3ème cas : n= 11 (5) | -17,5833 | -15,2500 | -16,9167 |

Tableau III.4 : l'effet de la correction par l'amplitude seulement en termes de SLL.

III.4.2 Effets de l'excitation de l'amplitude et de la phase

Dans cette étude, le processus d'optimisation est utilisé, dans les mêmes conditions, pour trouver les poids optimaux des amplitudes et les excitations des phases des antennes en cours de fonctionnement, pour compenser la défaillance de l'élément en question dans le réseau d'antennes. Dans ce cas, seul l'inter-espacement est maintenu fixe et égal à $0,5 \lambda$. Le diagramme de réseau endommagé est réalisé en réglant l'excitation d'amplitude et de la phase des éléments défaillant à zéro dans les excitations d'amplitude et des phases diagramme original

Dans le premier cas, on suppose que :

- les nombre des antennes $n=15$
- Les positions des antennes endommagés sont (-6 et -3) respectivement
- Le nombre d'itération égale : 1500

Le tableau ci-dessous représente les résultats comparatifs des excitations d'amplitude et de phase originaux, défectueux et corrigés ainsi que les valeurs de SLL correspondantes :

| Position des antennes | Original | | Défectueux | | Corrigé | |
|-----------------------|-----------------|--------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| | Amplitude | Phase | Amplitude | Phase | Amplitude | Phase |
| -7 | 0.4208 | 2.2879 | 0.4208 | 2.2879 | 0.2726 | 0.5132 |
| -6 | 0.4500 | 2.0570 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| -5 | 0.4173 | 2.0664 | 0.4173 | 2.0664 | 0.3949 | 2.8190 |
| -4 | 0.5750 | 2.3015 | 0.5750 | 2.3015 | 0.3634 | 2.8048 |
| -3 | 0.7294 | 2.1339 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| -2 | 0.6848 | 2.1958 | 0.6848 | 2.1958 | 0.7653 | 2.7270 |
| -1 | 0.4954 | 2.2470 | 0.4954 | 2.2470 | 0.94045 | 2.7124 |
| 0 | 0.7194 | 2.2325 | 0.7194 | 2.2325 | 0.9367 | 2.6878 |
| 1 | 0.7163 | 2.2886 | 0.7163 | 2.2886 | 0.9736 | 2.7130 |
| 2 | 0.7875 | 2.2391 | 0.7875 | 2.2391 | 0.9725 | 2.6644 |
| 3 | 0.6918 | 2.2349 | 0.6918 | 2.2349 | 0.9202 | 2.6681 |
| 4 | 0.7771 | 2.2593 | 0.7771 | 2.2593 | 0.9596 | 2.6692 |
| 5 | 0.6186 | 2.3117 | 0.6186 | 2.3117 | 0.9125 | 2.6712 |
| 6 | 0.41888 | 2.3689 | 0.41888 | 2.3689 | 0.8775 | 2.6904 |
| 7 | 0.5736 | 2.2266 | 0.5736 | 2.2266 | 0.5922 | 2.6660 |
| SLL (dB) | -16,8291 | | -13.1380 | | -15,6559 | |

Tableau III.5 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude et des excitations des phases dans le cas d'un réseau d'antenne de 15 éléments.

La figure suivante représente les courbes des diagrammes de rayonnements correspondants.

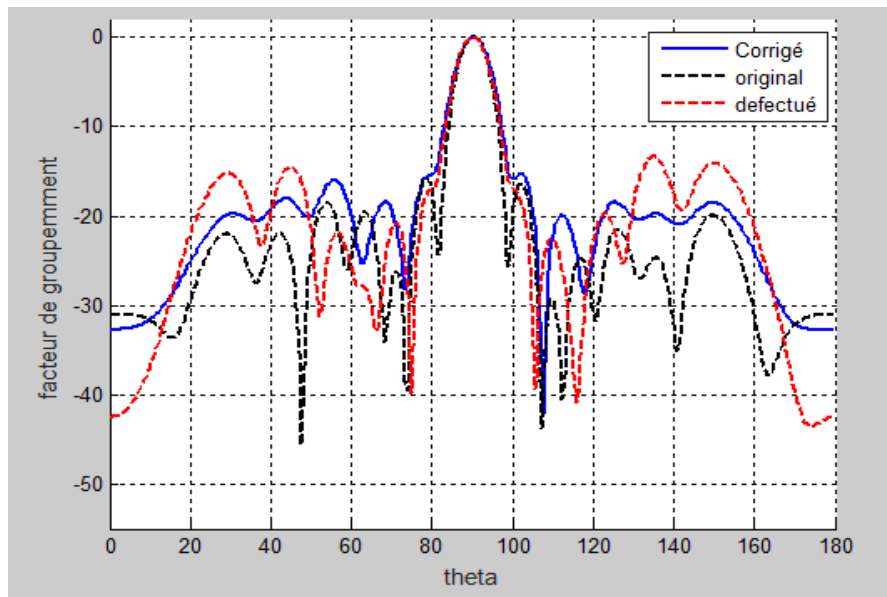


Figure III.5 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position des éléments défaillants (-6, -3) dans un réseau d'antennes à 15 éléments.

Dans le tableau III.5, nous avons donné les valeurs des poids d'amplitude et des excitations des phases pour un diagramme de rayonnement original du réseau de 15 éléments avec faisceau principal et un SLL de -16,8291 dB. Lorsque les éléments en position (-6 et -3) du réseau devient défectueux, le niveau des lobes secondaire augmente jusqu'à la valeur de (SLL= -13.1380 dB). Le GWO a été exécuté pour corriger le modèle défaillant selon la fonction objective décrite précédemment. Les résultats obtenus (SLL = -15,6559 dB) montrent l'efficacité de l'algorithme proposé pour résoudre le problème de défaillance du réseau d'antenne linéaire.

Une deuxième étude dans ce cas est faite quand les antennes en position (-8,-5) dans le réseau d'antenne sont supposés défectueux dans un réseau d'antennes de 19 éléments. Dans notre simulation ceci est réalisé en réglant l'excitation d'amplitudes et des phases des éléments défaillants à zéro dans les excitations du diagramme original. L'inter-espacement est toujours fixé à $0,5 \lambda$

Le tableau ci-dessous représente les résultats comparatifs des excitations d'amplitude et de phase originaux, défectueux et corrigés ainsi que les valeurs de SLL correspondantes :

| Position des antennes | Original | | Défectueux | | Corrigé | |
|-----------------------|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|---------------|
| | Amplitude | Phase | Amplitude | Phase | Amplitude | Phase |
| -9 | 0.3697 | 1.8958 | 0.3697 | 1.8958 | 0.1005 | 2.0043 |
| -8 | 0.4870 | 1.8679 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| -7 | 0.4213 | 1.7691 | 0.4213 | 1.7691 | 0.1924 | 1.5802 |
| -6 | 0.5559 | 1.8193 | 0.5559 | 1.8193 | 0.1900 | 1.6359 |
| -5 | 0.6453 | 1.8708 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| -4 | 0.7024 | 1.8680 | 0.7024 | 1.8680 | 0.2431 | 1.7312 |
| -3 | 0.7775 | 1.8568 | 0.7775 | 1.8568 | 0.3722 | 1.7134 |
| -2 | 0.8135 | 1.8527 | 0.8135 | 1.8527 | 0.3739 | 1.7085 |
| -1 | 0.8622 | 1.8609 | 0.8622 | 1.8609 | 0.3793 | 1.7172 |
| 0 | 0.8553 | 1.8621 | 0.8553 | 1.8621 | 0.4015 | 1.7088 |
| 1 | 0.8424 | 1.8469 | 0.8424 | 1.8469 | 0.4290 | 1.6970 |
| 2 | 0.8416 | 1.8498 | 0.8416 | 1.8498 | 0.4352 | 1.7058 |
| 3 | 0.7946 | 1.8579 | 0.7946 | 1.8579 | 0.4275 | 1.7222 |
| 4 | 0.7551 | 1.8639 | 0.7551 | 1.8639 | 0.4299 | 1.7206 |
| 5 | 0.6843 | 1.8661 | 0.6843 | 1.8661 | 0.4160 | 1.7061 |
| 6 | 0.6055 | 1.8493 | 0.6055 | 1.8493 | 0.4023 | 1.6815 |
| 7 | 0.5236 | 1.8230 | 0.5236 | 1.8230 | 0.3644 | 1.6944 |
| 8 | 0.4846 | 1.8244 | 0.4846 | 1.8244 | 0.3186 | 1.7120 |
| 9 | 0.2942 | 1.8645 | 0.2942 | 1.8645 | 0.1957 | 1.7245 |
| SLL (dB) | -21,0875 | | -18,4504 | | -19,5540 | |

Tableau III.6 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude et des excitations des phases dans le cas d'un réseau d'antenne de 19 éléments.

La figure suivante représente les courbes des deuxième cas après 3000 d'itération.

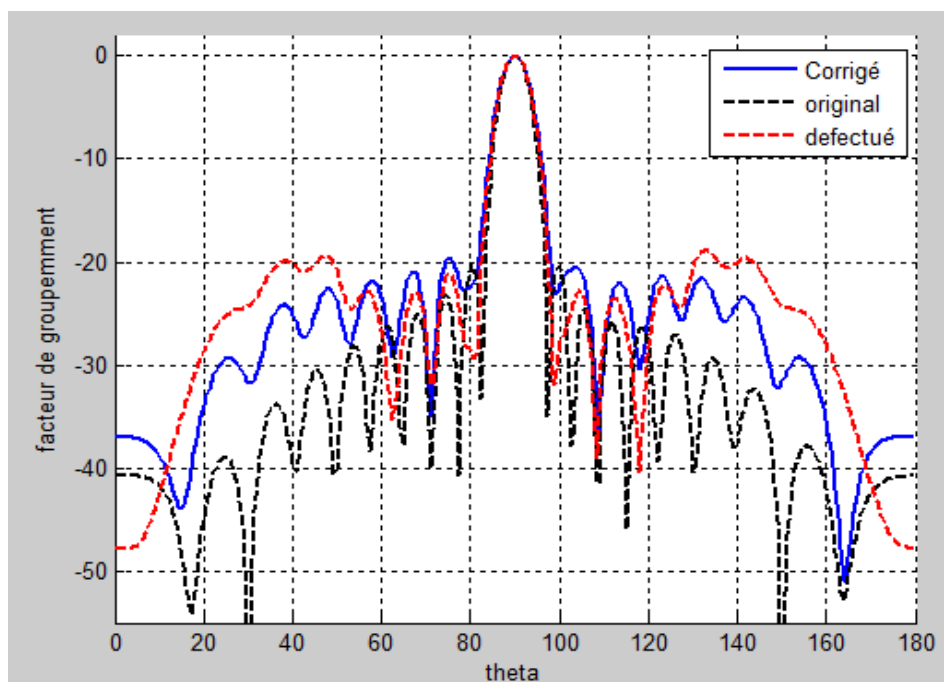


Figure III.6 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position des éléments défaillants (-8, -5) dans un réseau d'antennes à 19 éléments.

Dans le tableau III.6, nous avons donné les valeurs des poids d'amplitude et des excitations des phases pour un diagramme de rayonnement original du réseau de 19 éléments avec faisceau principal et un SLL de (-21,0875 dB). Lorsque les éléments en position (-8 et -5) du réseau devient défectueux, le niveau des lobes secondaire augmente jusqu'à la valeur de (SLL= -18,5504 dB). Le GWO a été exécuté pour corriger le modèle défaillant selon la fonction objective décrite précédemment. Les résultats obtenus (SLL = -19,5540 dB) montrent l'efficacité de l'algorithme proposé pour résoudre le problème de défaillance du réseau d'antenne linéaire.

Le dernier cas est fait avec un nombre d'antennes égales à 11 et avec l'antenne de la position (5) est considéré comme une antenne défectueux. Dans ces propositions, la même remarque que les cas précédents est observée, la défaillance d'une antenne dégrade le diagramme de rayonnement en terme the SLL. L'application du GWO améliore le niveau de SLL avec un gain de 2 ,66dB figure III.7. Le tableau ci-dessous confirme cette remarque

Le tableau ci-dessous représente les analyses comparatives des poids initiaux et récupérés. Et donnée les valeurs de SLL :

| Position des antennes | Original | | d'effectué | | Corrige | |
|-----------------------|-----------|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | Amplitude | Phase | Amplitude | Phase | Amplitude | Phase |
| -5 | 0.3495 | 2.8721 | 0.3495 | 2.8721 | 0.4680 | 3.2913 |
| -4 | 0.6111 | 2.9023 | 0.6111 | 2.9023 | 0.6500 | 3.2829 |
| -3 | 0.6586 | 2.8822 | 0.6586 | 2.8822 | 0.6886 | 3.2895 |
| -2 | 0.65886 | 2.8892 | 0.65886 | 2.8892 | 0.7292 | 3.2894 |
| -1 | 0.6998 | 2.8990 | 0.6998 | 2.8990 | 0.7456 | 3.2876 |
| 0 | 0.7595 | 2.8823 | 0.7595 | 2.8823 | 0.7530 | 3.2873 |
| 1 | 0.8311 | 2.8976 | 0.8311 | 2.8976 | 0.7338 | 3.2761 |
| 2 | 0.7851 | 2.8999 | 0.7851 | 2.8999 | 0.6765 | 3.2852 |
| 3 | 0.7720 | 2.8792 | 0.7720 | 2.8792 | 0.5953 | 3.2935 |
| 4 | 0.6198 | 2.8629 | 0.6198 | 2.8629 | 0.4071 | 3.2947 |
| 5 | 0.4291 | 2.8436 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 |
| SLL (dB) | -18,8875 | | -15,0549 | | -17.6899 | |

Tableau III.7 : Résultats comparatifs des poids de l'amplitude et des excitations des phases dans le cas d'un réseau d'antenne de 11 éléments.

La figure suivante représente les courbes de facteurs de groupement en fonction the theta après 3000 d'itération.

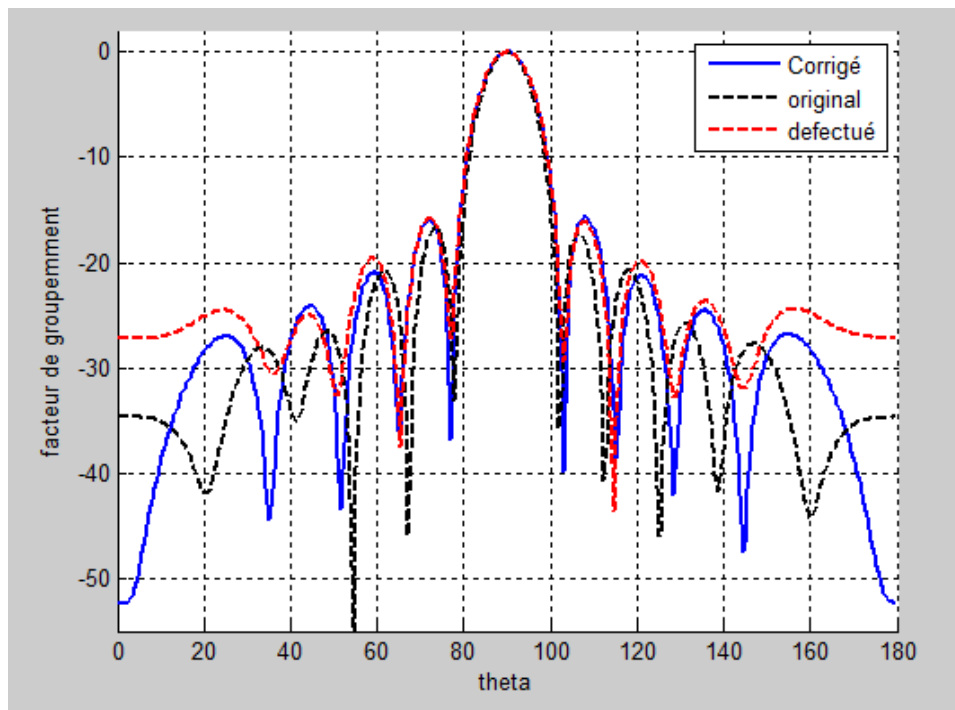


Figure III.7 : Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position des éléments défaillants (5) dans un réseau d'antennes à 11 éléments.

En raison de la défaillance des antennes, le diagramme de rayonnement est perturbé en matière de niveau des lobes secondaire (SLL = -15,0549). Par conséquent, le GWO est utilisé pour trouver les poids optimaux d'amplitude des autres antennes fonctionnels, dans le sens de former un nouveau diagramme qui est proche de l'original. Les valeurs des poids d'amplitude du réseau original, défectueux et corrigés sont données dans le tableau III.7. Après avoir appliqué la méthode de GWO, le SLL a été réduite à -17,6899 dB avec une amélioration de -2,635 dB.

Le tableau ci-dessous résume les valeurs de SLL dans tous les cas étudiés :

| Nombre des antennes et position d'effectué | SLL original | SLL d'effectué | SLL corrige |
|--|--------------|----------------|-------------|
| 1ere cas : n=15 (-6, -3) | -16,8291 | -13,1380 | -15,6559 |
| 2éme cas : n=19 (-8, -5) | -21,0875 | -18,5504 - | -19,5540 |
| 3éme cas : n= 11 (5) | -18,8875 | -15,0549 | -17,6899 |

Tableau III.8 : Effet de la correction par l'excitation de l'amplitude et de la phase en termes de SLL.

À partir des résultats trouvés dans la partie de la correction, on peut remarquer que l'excitation des poids d'amplitude a plus d'influence dans la résolution du problème de défaillance du réseau d'antenne linéaire que l'excitation d'amplitude et de phase ensemble.

III.4.3 Comparaison avec la littérature

Dans cette partie nous avons comparé les résultats obtenus avec ceux de la référence [35-37]. Pour la recherche d'une comparaison objective, nous étudions les mêmes cas qui sont présentés dans la référence citée.

Cas 1 :

Les poids d'amplitude ont été optimisés en maintenant l'excitation de la phase et l'inter-espacement fixes. Dans ce cas, un réseau linéaire classique de Dolph-Tchebychev de 21 éléments avec un inter-espacement uniforme égale $\lambda / 2$ est utilisé comme un diagramme original [35]. Nous supposons que les antennes en position (-6) et (-9) sont endommagés la méthode de GWO est utilisé pour minimiser le SLL en recalculant et en ajustant les poids des amplitudes des éléments restant actifs figure.III.8. Le niveau du lobes secondaires du diagramme de test sont pris à -30 dB. Le tableau III.9 montre les poids d'excitation pour le modèle de Tchebychev, défectueux et corrigé.

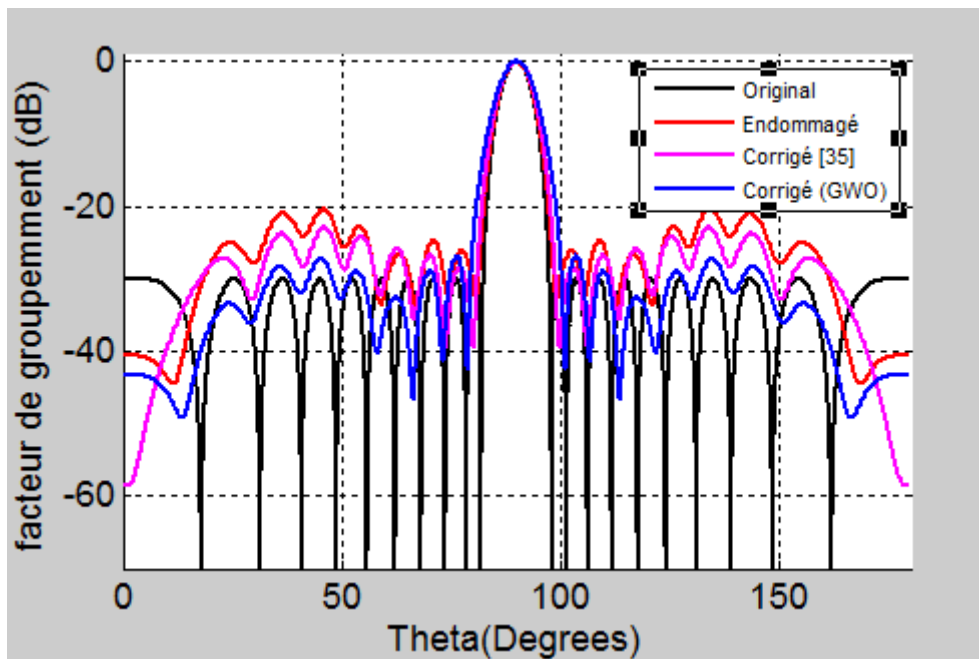


Figure III.08 : Diagrammes de rayonnement original de Tchebychev, endommagés (w-9 et w-6) et corrigés.

| Original de Tchebychev N=21 | Endommagé | Corrige avec de (GWO) | Corrige avec Tchebychev [35] |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------------|
| 0.3337 | 0.3337 | 0.1001 | 0.1315 |
| 0.2789 | 0 | 0 | 0 |
| 0.3780 | 0.3780 | 0.1006 | 0.2908 |
| 0.4849 | 0.4849 | 0.1048 | 0.4026 |
| 0.5946 | 0 | 0 | 0 |
| 0.7014 | 0.7014 | 0.1843 | 0.5226 |
| 0.7995 | 0.7995 | 0.2684 | 0.6438 |
| 0.8829 | 0.8829 | 0.3383 | 0.7581 |
| 0.9465 | 0.9465 | 0.4226 | 0.8575 |
| 0.9864 | 0.9864 | 0.5098 | 0.9345 |
| 1.0000 | 1.0000 | 0.5817 | 0.9833 |
| 0.9864 | 0.9864 | 0.6346 | 1.0000 |
| 0.9465 | 0.9465 | 0.6669 | 0.9833 |
| 0.8829 | 0.8829 | 0.6755 | 0.9345 |
| 0.7995 | 0.7995 | 0.6478 | 0.8575 |
| 0.7014 | 0.7014 | 0.5960 | 0.7581 |
| 0.5946 | 0.5946 | 0.5120 | 0.6438 |
| 0.4849 | 0.4849 | 0.4316 | 0.5226 |
| 0.3780 | 0.3780 | 0.3185 | 0.4026 |
| 0.2789 | 0.2789 | 0.2316 | 0.2908 |
| 0.3337 | 0.3337 | 0.1387 | 0.3152 |
| SLL= -30db | SLL= -20.3529dB | SLL= -27.1411db | SLL= -23.0528 dB |

Tableau III.9 : Etude comparative entre les poids d'amplitude d'excitation de Tchebychev, défectueux et récupéré

Cas 2 :

Dans ce cas les poids d'amplitude et les excitations de la phase ont été optimisés en maintenant un inter-espacement fixe. Les mêmes conditions que le premier cas sont prises en considération. La figure III.9 montre le facteur de groupement de Tchebychev, défectueux et corrigé par la référence [36] et référence [37] et la méthode proposée respectivement. On voit clairement que les résultats obtenus par la méthode proposée dépassent ceux obtenus par [36-37] en matière de réduction du niveau de SLL. Le tableau III.10 confirme cette remarque en rapportant les valeurs des SLL considérées.

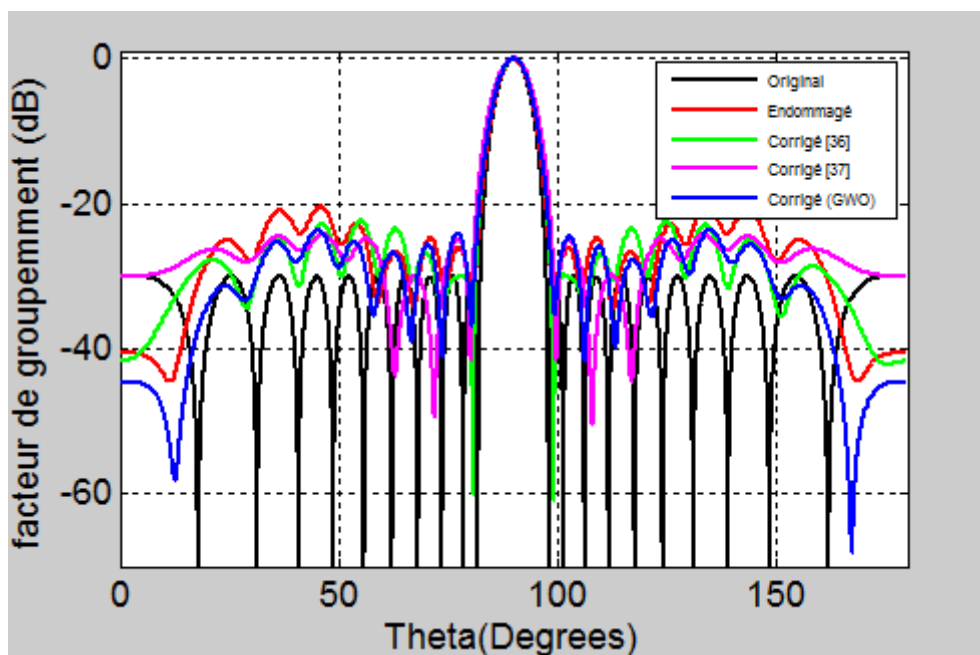


Figure III.9 : Comparaison entre les diagrammes de rayonnement original, endommagés (w-9 et w-6) et corrigés.

| Facteur de groupement | Niveau du lobe secondaire SLL (dB) |
|-----------------------|------------------------------------|
| Original | -30 |
| Endommagé | -20.3529 |
| Corrigé (GWO) | -25.0659 |
| Corrigé [36] | -22.4104 |
| Corrigé [37] | -25.0659 |

Tableau III.10 : résultats de comparaison des SLL de diagramme original, endommagés et récupérées.

III.6 Conclusion

Le problème du maintien de la directivité du faisceau principal et de la réduction du SLL dans un réseau d'antennes défectueux est considéré dans ce chapitre comme un problème d'optimisation et résolu avec succès à l'aide de l'application de la méthode de GWO. L'objectif de la méthode proposée était de trouver l'ensemble des poids d'amplitude et d'excitation de phase des éléments actifs dans le réseau pour obtenir le modèle désiré. Dans ce processus de compensation, le niveau du SLL a été amélioré et le lobe principal a conservé sa directivité. Les résultats de la simulation numérique ont montré qu'une meilleure correction du diagramme de rayonnement peut être obtenue avec l'application de l'algorithme GWO.



CONCLUSION GENERALE

Conclusion Générale

Dans ce travail, nous avons étudié le problème de conception d'un réseau d'antennes linéaire. Cette conception permet d'optimiser un diagramme de rayonnement avec quelques caractéristiques privilégiées telles que la directivité du lobe principal et la réduction du niveau des lobes secondaires. Ce problème de conception nécessite une méthode d'optimisation robuste pouvant éviter la convergence prématurée, vers des optimaux locaux, de la fonction de coût. La méthode de conception proposée est basée sur la méthode des loups gris GWO (Grey Wolf optimisation).

Au cours de ce travail, nous avons appliqué la méthode proposée dénommée GWO à la synthèse puis à la correction des réseaux d'antennes linéaire. Cette méthode appartient à la famille des méthodes stochastiques qui sont plus robustes que les algorithmes déterministes et présente beaucoup d'avantages tels que : la simplicité de mise en œuvre, la particularité de ne requérir que peu d'informations sur la fonction d'évaluation

La méthodologie de la conception, entreprise dans ce travail (en utilisant GWO), s'est déroulée en deux grandes étapes :

- D'abord, nous avons fait varier les poids d'alimentation (amplitude et phase) et l'inter-espacement d'un réseau d'antennes linéaire, de manière à obtenir un diagramme de rayonnement avec des faisceaux de forme gaussienne et un niveau des lobes secondaires (SLL) plus réduits.
- Ensuite, nous avons appliqué cette méthode au problème de correction de la défiance qui se produit lorsqu'un événement extérieur affecte le réseau d'antenne linéaire. Dans ce dernier, un réajustement des poids d'amplitude et de la distribution de phase des éléments en cours de travail dans un réseau défectueux est considéré. Ce dernier peut améliorer les niveaux des lobes latéraux (SLL) et également conserver la directivité. Pour valider la technique proposée et évaluer ses performances, nous avons comparé nos résultats à ceux obtenus par d'autres méthodes de la littérature.

Les résultats de la simulation ont clairement montré l'efficacité de l'algorithme proposé pour surveiller la correction de défaillance des réseaux d'antennes linéaires.

A l'issue de ce travail, de nombreuses perspectives peuvent être envisagées, telles que :

- ✓ La possibilité d'utiliser la technique de GWO pour corriger le diagramme de défaillance avec le nombre minimum d'éléments.

Conclusion Générale

- ✓ L'implémentation de la technique GWO sur une plateforme électronique dédiée à la mise en œuvre des antennes intelligentes (circuit FPGA).



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bibliographie

- [1] N.Guellil “Etude et conception d’un réseau d’antennes beamforming à base de la matrice de Butler en utilisant ADS Momentum ” Thèse magister. Université FERHAT ABBAS –SETIF 1-
- [2] G. H. Hang and T. I. Dayharsh, “Land-Mobile Radio Communication Channel Occupancy, Waiting Time and Spectrum Saturation”, IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, vol. 19, no. 3, pp. 281 – 284, 1977.
- [3] A. Basit, I. M. Qureshi, W. Khan, I. Ulhaq, and S. U. Khan, “Hybridization of Cognitive Radar and Phased Array Radar Having Low Probability of Intercept Transmit Beam forming”. International Journal of Antennas and Propagation, vol. 2014, Article ID 129172, 11 pages, 2014.
- [4] A. Basit, I. M. Qureshi, W. Khan, and S. U. Khan, “Cognitive Frequency Offset Calculation for Frequency Diverse Array Radar”. Proceedings of 2015 12th International Bhurban Conference on Applied Sciences and Technology, IEEE IBCAST2015, pp. 641–645, 2015.
- [5] B. Shoaib, I. M. Qureshi, S. U. Khan, I. Shafqat, U. I. Haq, “Adaptive step-size modified fractional least mean square algorithm for chaotic time series prediction”. Chinese Physics B, vol. 23, no. 5, 2014.
- [6] S. Caorsi, M. Donelli, F. De Natale, A. Lommi, A. Massa, “Planar antenna array control with genetic algorithms and adaptive array theory,” IEEE Trans. Antenna Propagat, vol. 52, no. 11, pp. 2919–2924, 2004.
- [7] C. A. Balanis, “Antenna Theory and Design”, John Wiley and Sons, Inc., 2005.
- [8] L. Rahini, “Optimisation d’un réseau d’antennes par l’algorithme génétique”, Thèse d’ingénieur, université de Blida, édition 2009.
- [9] D. Vakula, N. Sarma, “Fault diagnosis of planar antenna arrays using neural networks”, Prog. Electromagnetics Res. M 6, pp. 35–46, 2009.
- [10] F. Harrou, M. “Nounou, Monitoring linear antenna arrays using an exponentially weighted moving average-based fault detection scheme”, Syst. Sci. Control Eng. Open Access Journal, vol. 2, no. 1, pp. 433–443, 2014.
- [11] F. Harrou, and Y. Sun “Statistical monitoring of linear antenna arrays” Engineering Science and Technology, an International Journal, Vol. 19, pp. 1781–1787, 2016
- [12] J. A. Rodriguez, F. Ares, E. Moreno and G. Franceschetti, “Genetic algorithm procedure for linear array failure correction,” Electronics Letters, vol. 36, no. 3, Feb. 2000.

Bibliographie

- [13] K. Guney and S. Basbug, "Interference suppression of linear antenna arrays by amplitude-only control using a bacterial foraging algorithm," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 79, 475–497, 2008.
- [14] K. Guney and M. Onay, "Amplitude-only pattern nulling of linear antenna arrays with the use of bees algorithm," *Progress In Electromagnetics Research*, Vol. 70, pp. 21–36, 2007.
- [15] E. H. Kenane "Contribution a l'optimisation d'un réseau d'antennes intelligentes au système UMTS." Thème de doctorat en sciences Université Ferhat Abbas – Sétif -1-
- [16] S. Mirjalili, S.M. Mirjalili, and A. Lewis, A, "Grey Wolf Optimizer," *Advances in Engineering Software*. Vol. 69, pp. 46-61, 2014.
- [17] A. Boyer, Cours d'antennes "Réseau et Télécom", Toulouse, édition Octobre 2011.
- [18] Dominique Garnier, "Antenne et propagation radio" (GEL 202/ GEL7019), hiver 2016.
- [19] Odile Picon et coll « LES ANTENNES Théorie, conception et application » L'usine Nouvelle Dunod, Paris, 2009
- [20] A. A. Benmostef, Q. Nekbil, « Etude des antennes intelligente », institut de Télécommunication Oran, édition juin 2004.
- [21] M. Meguelati, Cours d'antennes, 4eme années ingénieur, édition 2001
- [22] N. Nora, "Etude et simulation de diagramme de rayonnement de l'antenne intelligente ", thèse de doctorat, université de Blida, édition 2007.
- [23] W. Samati "optimisation d'un réseau d'antenne " thèse d'ingénieur, université de Blida, édition 2010.
- [24] R. G. Ayestarán, M. F. Campillo and F. Las-Heras, "Multiple Support Vector Regression for Antenna Array Characterization and Synthesis", *IEEE Trans. Antennas Propag*, vol. 55, no. 9, pp. 2495-2501, Sept. 2007.
- [25] S.J. Orfanidis, "Electromagnetic Waves and Antennas", <http://www.ece.rutgers.edu/~orfanidi/Book>, Date de visite Juin, 2016.
- [26] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, "Antenna Theory and Design", New York: Wiley, 1981.
- [27] F. R. Fulginei and A. Salvini, "Hysteresis Model Identification by the Flock-of-Starlings Optimization", *Int. J. Appl. Electromagn. Mech.*, vol. 30, no. 3-4, pp. 321-331, 2009.
- [28] B. Basu and G.K. Mahanti, "Fire Fly and Artificial Bees Colony Algorithm for Synthesis of Scanned and Broadside Linear Array Antenna", *Progress In*

Bibliographie

- Electromagnetics Research, Part B, vol. 32, pp.169–190, 2011. Bibliographie 141 141. 2011
- [29] Storn, R, Price, K. Differential evolution- a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces, *Journal of Global Optimization*, 11, 341-359. 1996
- [30] Mirjalili, S, Saremi, S, Mirjalili, S, M, Colho, L, S . Multi-objective Grey Wolf optimizer: A novel algorithm for multi-criterion optimization. *Expert Systems With Applications* 47 :160-119. 2016
- [31] M. KIHAL, “Développement de Modèles CEM pour Le Diagnostic et La Caractérisation des Perturbations dans Les Systèmes de Puissance ”, Rapport scientifique université de Jijel, 2018/2019.
- [32] Balanis, C.A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. (2 ed edition). Singapore, John Wiley & Sons (2003)
- [33] F. Zhang, W. Jia, M. Yao. “Linear a periodic array synthesis using differential evolution algorithm”. *IEEE Antenn Wirel Propag Lett*; Vol. 12:pp.797–800, 2013.
- [34] Kildal, P.S., Vosoogh, A., Maci, S. Fundamental Directivity Limitations of Dense Array Antennas: A Numerical Study Using Hannan’s Embedded Element Efficiency, *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, 15 : 766 – 769.(2015).
- [35] S. U. Khan, I. M. Qureshi, Z. Fawad, and A. Naveed “Null Placement And Sidelobe Suppression In Failed Array Using Symmetrical Element Failure Technique and Hybrid Heuristic Computation”, *Progress In Electromagnetics Research B*, Vol. 52, pp.165–184, 2013
- [36] Yeo BK, Lu YL, Array Failure Correction With A Genetic Algorithm. *IEEE Trans Antennas Propag*, vol. 47, no. 5, pp.823-828, 1999.
- [37] S. U. Khan, M. K. A. Rahim, A. Liaqat, “Correction Of Array Failure Using Grey Wolf Optimizer Hybridized With An Interior Point Algorithm”, *Front Inform Technol Electron Eng*, Vol.19, no. 9, pp.1191-1202, 2018

Résumé :

Ce mémoire est consacrée au problème de la surveillance des réseaux d'antennes linéaires en utilisant une récente technique d'optimisation appelée algorithme d'optimisation du loup gris (GWO). Dans la première partie du mémoire, nous nous intéressons à la synthèse d'un réseau d'antennes à diagramme de rayonnement de forme gaussienne, en agissant sur les poids d'alimentation (amplitude et phase) et l'inter-espacement de ce réseau. Dans une seconde partie, nous procédons au problème de correction de la défiance qui se produit lorsqu'un événement extérieur affecte le réseau. Dans ce dernier, un réajustement des poids d'amplitude et de la distribution de phase des éléments en cours de travail dans un réseau défectueux est considéré. Ce dernier peut améliorer les niveaux des lobes latéraux (SLL) et également conserver la directivité. Le point principal de l'utilisation de la technique GWO est sa facilité de mise en œuvre et sa puissance de calcul compétitive. Pour évaluer la force de ce nouveau algorithme, différents types de défiances ont été réalisés en tant qu'études de cas. Les résultats de la simulation ont montré l'efficacité de l'algorithme proposé pour corriger la correction de défaillance des réseaux d'antennes linéaires.

MOTS-CLES : réseau d'antennes, optimisation, les loups gris, synthèse, Niveau de lobes secondaires

Abstract:

This dissertation is devoted to the problem of monitoring linear antenna arrays using a recent optimization technique called the Gray Wolf Optimization Algorithm (GWO). In the first part of the thesis, we are interested in the synthesis of an antenna array with a Gaussian-shaped radiation pattern, by acting on the feed weights (amplitude and phase) and the inter-spacing of this antenna array. In a second part, we proceed to the problem of correcting the faults that occurs when an external event affects the array. In the latter part, a readjustment of the amplitude weights and the phase distribution of the lasting working elements in a faulty array is considered. The latter can improve side lobe levels (SLL) and also maintain directivity. The main point of using the GWO technique is its ease of implementation and competitive computing power. To assess the strength of this new scheme, different types of failures as case studies were performed. Simulation results evidently have shown the efficiency of the proposed algorithm to correct the failure correction of linear antenna arrays.

KEYWORDS: antenna array, optimization, gray wolves, synthesis, side lobes level

ملخص:

هذه الرسالة مكرسة لمشكلة مراقبة شبكة الهوائي الخطي باستخدام تقنية تحسين حديثة تسمى خوارزمية تحسين الذئب الرمادي (GWO). في الجزء الأول من الأطروحة، نحن مهتمون بتركيب مصفوفة هوائي بنمط إشعاع Gaussian، من خلال العمل على أوزان التغذية (الاتساع والطور) والتباعد البيني لهذه المصفوفة. في الجزء الثاني، ننتقل إلى مشكلة تصحيح عدم الثقة الذي يحدث عندما يؤثر حدث خارجي على الشبكة. في الأخير، يتم النظر في إعادة تعديل أوزان السعة وتوزيع الطور للعناصر التي تعمل في مصفوفة معيبة. يمكن لهذا الأخير تحسين مستويات الفص الجانبي (SLL) والحفاظ أيضاً على الاتجاهية. تتمثل النقطة الرئيسية لاستخدام تقنية GWO في سهولة تنفيذها وقوة الحوسبة التنافسية. لتقييم قوة هذه الخوارزمية الجديدة، تم إجراء أنواع مختلفة من التحدي كدراسات حالة. أظهرت نتائج المحاكاة كفاءة الخوارزمية المقترحة في تصحيح فشل مصفوفات الهوائي الخطي.

الكلمات الرئيسية: صفيف الهوائي، التحسين، الذئب الرمادي، التركيب، مستوى الفصوص الجانبية

