

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE  
SCIENTIFIQUE

*Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj*

*Faculté des Sciences et de la technologie*

*Département : Electronique*

# *Mémoire*

*Présenté pour obtenir*

**LE DIPLOME DE MASTER**

**FILIERE : TELECOMMUNICATION**

**Spécialité : Systèmes des télécommunications**

Par

- **AKBACHE Dalal**
- **ALLAOUA Chaima**

*Intitulé*

*Correction des défaillances des réseaux d'antennes linéaires par  
l'algorithme d'optimisation Gray Wolf*

*Soutenu le : 26/06/2024*

*Devant le Jury composé de :*

<i>Nom &amp; Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M. BEHIH Mohammed</i>	<i>MAA</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme. LAKHLEF Nora</i>	<i>MCB</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>Mme. AIB Samia</i>	<i>MAB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

*Année Universitaire 2023/2024*

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



## Remerciements

Avant tout, nous remercions **ALLAH**, de nous avoir accordé la patience et le courage nécessaires durant ces longues années d'études.

Ensuite, nous souhaitons exprimer notre gratitude envers notre encadrante, **Dr. LAKHLEF Nora**, pour ses précieux conseils et son soutien constant tout au long de ce travail.

Nous tenons également à adresser nos respects et notre reconnaissance aux **membres du jury, M.BEHIH Mohammed et Mme. AIB Samia** qui ont accepté de juger ce travail et qui nous ont honorés par leurs présences et leurs remarques constructives.

Enfin, nous remercions tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à la réalisation de ce travail, ainsi que nos camarades de la promotion. 2023/2024 pour leur soutien et leur amitié.





## Dédicaces Dalal

Louange à **Allah**, le Tout-Puissant, pour sa grâce infinie, ses bénédictions constantes sans lesquelles rien de cela n'aurait été possible.

Je dédie ce modeste travail à mes parents, **AKBACHE Said** et **BELHADJ Zouina** pour leur amour inconditionnel, leur soutien indéfectible et leurs prières incessantes lesquels sont ma source de force et de motivation.

A mon frère **Younes** et mes sœurs **Djoughaina, Chaima, Aya, Ritadj** pour leur encouragement, leur soutien constant et leur compréhension et dont la présence et le soutien ont été essentiels à mon succès.

A ma nièce, **Tawba** et mon neveu **Adem** pour leur joie de vivre et leur innocence, qui m'ont rappelé l'importance de persévérer et de garder espoir. Leur présence lumineuse m'a souvent réconfortée.

A mon encadrante **Dr. LAKHLEF Nora**, qui a eu l'amabilité de superviser notre travail, sans pour autant oublier les conseils qu'elle nous a prodigué, et son soutien constant tout au long de ce projet dont le dévouement et la patience ont été une source d'inspiration.

A ma binôme et sœur, **ALLAOUA Chaima**, pour son soutien indéfectible, sa collaboration précieuse et son amitié sincère dont la présence et l'aide ont été indispensables à la réalisation de ce projet.

A mes amies, pour leur amitié sincère, leur compréhension et leur soutien tout au long de cette aventure académique.

**MENDOUD Mebarka, LATRECH Wissam, BEHNAS Sara, DERRADJ Mebarka, AMRI Ahlem, BEHIH Dalila, BELAKHDER Mochira** pour leur amitié précieuse et leur encouragement constant dont le soutien a été une source de grande motivation.

AKBACHE Dalal





## Dédicaces Chaima

Louange à **Allah**, le Tout-Puissant, pour sa grâce infinie et ses bénédictions constantes, sans lesquelles rien de cela n'aurait été possible.

Je dédie ce modeste travail à mon cher **Papa** et ma chère **Maman** en voulais prendre un moment pour leur écrire et les remercier de tout ce qu'ils ont fait pour moi pendant mes études.

Ce jour-ci marque un moment de grande fierté alors que je célèbre la réussite de mes études. Je tiens à exprimer ma profonde gratitude envers mes frères et sœur **Ahlem, Hamza, Mustapha**, dont le soutien indéfectible a été crucial tout au long de mon parcours académique. Mes neveux et nièce adorés, **Mohamed, Meriem et Baraa**, ont été une source constante de motivation et de lumière dans ma vie.

A mon encadrante **Dr. LAKHLEF Nora**, pour son expertise, ses conseils précieux, et son soutien constant tout au long de ce projet dont le dévouement et la patience ont été une source d'inspiration

À **Dalal Akbache, Belakhder Mochira** dont l'amitié sincère et le soutien précieux ont été des piliers essentiels pendant ces années d'études. À mes chères camarades **Asma, Romaiassa, Mouna, Chaima, Imen et Ibtissem**, avec lesquelles, j'ai partagé des moments inoubliables à l'université, et à qui je suis et serai reconnaissante pour leur camaraderie et leur considération.

Enfin, à ma cousine **Aya**, qui a toujours été là pour m'écouter, me conseiller et me soutenir, elle est plus qu'une cousine pour moi ; elle est plutôt une sœur, et une confidente précieuse.

C'est grâce à tous ceux-ci que suis arrivée là où je suis aujourd'hui. Je les aime infiniment et les remercie du fond du cœur pour tout ce qu'ils ont fait pour moi.

ALLAOUA Chaima



## ملخص

تبحث هذه الدراسة في مراقبة صفائف الهوائي الخطية باستخدام تقنية (GWO) Gray Wolf Optimization. يتناول الجزء الأول تركيب وتحسين صفائف الهوائيات الخطية المتناظرة وغير المتناظرة. للاقتراب قدر الإمكان من النموذج المطلوب، فكرنا في تحسين موضع العناصر والطاقة (سعة وصفحة) كل عنصر من عناصر المصفوفة. والثاني، يركز على مراقبة مصفوفة الهوائي الخطية، عندما يؤثر حدث غير طبيعي (التوقف الكامل لعنصر المصفوفة) على مصفوفة الهوائي، يتغير نمط الإشعاع وقد يحدث انحراف كبير عن المخطط الأولي. الهدف هو تحسين مستويات الفصوص الجانبية (SLL) مع الحفاظ على الاتجاهية. وقد أثبتت دراسات الحالة المختلفة فعالية هذه الخوارزمية في حل المشكلات المتعلقة بمصفوفات الهوائيات الخطية، كما أثبتت نتائج المحاكاة.

### الكلمات المفتاحية

صفائف الهوائي الخطية، تحسين، نمط الإشعاع، التصحيح، الفصوص الجانبية (SLL)، GWO.

## Abstract

This study looks at monitoring linear antenna arrays using the Gray Wolf Optimization (GWO) technique. The first part deals with the synthesis and optimization of symmetrical and non-symmetrical linear antenna arrays. To get as close as possible to the desired model, we considered the optimization of the position between the elements, the amplitude and phase of the excitation of each element of the array. The second, focuses on the monitoring of linear antenna array, when an abnormal event (total shutdown of an element of the array) affects an antenna array, the radiation pattern changes and a significant deviation from the initial diagram may occur. The goal is to improve side lobe levels (SLL) while maintaining directivity. Various case studies have demonstrated the effectiveness of this algorithm in solving problems related to linear antenna arrays, as proven by simulation results.

### Key words:

Antenna arrays, array factor, failure correction, radiation pattern, optimization methods, GWO.

## Résumé

Cette étude se penche sur la surveillance des réseaux d'antennes linéaires en utilisant la technique d'optimisation Grey Wolf (GWO). La première partie traite la synthèse et l'optimisation des réseaux d'antennes linéaires symétriques et non symétriques. Pour s'approcher le plus possible du modèle souhaité, nous avons considéré l'optimisation des espacements entre les éléments, l'amplitude et la phase d'excitation de chaque élément du réseau. La deuxième, s'intéresse à la surveillance des réseaux d'antennes linéaires, lorsqu'un événement anormal (arrêt total d'un élément du réseau) affecte un réseau d'antennes, le diagramme de rayonnement change et un écart important par rapport au diagramme initial peut se produire. L'objectif est d'améliorer les niveaux des lobes secondaires (SLL) tout en maintenant la directivité. Diverses études de cas ont démontré l'efficacité de cet algorithme pour résoudre les problèmes liés aux réseaux d'antennes linéaires, comme le prouvent les résultats de simulations.

### Mots clés :

Correction de défaillance, diagramme de rayonnement, facteur de groupement, méthodes d'optimisation, réseaux d'antennes, GWO



# Table des matières

Remerciements.....	ii
Dédicaces Dalal.....	ii
Dédicaces Chaima .....	iii
ملخص.....	iv
Abstract.....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Résumé .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
Table des matières .....	vi
Liste des figures .....	x
Liste des tableaux .....	xi
Liste des abréviations et symboles .....	xii
Introduction générale.....	1
Chapitre I : Synthèse des Réseaux d'Antennes linéaires.....	3
I.1 Introduction .....	3
I.2. Historique .....	3
<b>I.2.1. Débuts de La Communication Sans Fil .....</b>	<b>3</b>
<b>I.2.2. Premiers Développements Théoriques .....</b>	<b>3</b>
<b>I.2.3. Antennes Directionnelles.....</b>	<b>4</b>
<b>I.2.4. Deuxième Guerre Mondiale Et Radar.....</b>	<b>4</b>
<b>I.2.5. Ère Numérique .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2.6. Réseaux A Ouverture et a Phase .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2.7. Réseaux Adaptatifs et MIMO .....</b>	<b>4</b>
<b>I.2.8. Réseau D'antenne Linéaire .....</b>	<b>5</b>
<b>I.2.9. Réseau D'antenne Planaire .....</b>	<b>5</b>
<b>I.2.10. Réseau D'antenne Circulaire .....</b>	<b>5</b>
I.3. Le Réseau d'Antenne Linéaire .....	6
<b>I.3.1 Définition .....</b>	<b>6</b>
I.4. Synthèse d'un Réseau d'Antennes Linéaire .....	7
<b>I.4.1 Synthèse par loi d'Amplitude .....</b>	<b>7</b>
<b>I.4.2 Synthèse par loi de Phase (Réseau A Balayage Electronique).....</b>	<b>8</b>
<b>I.4.3 Synthèse par loi d'Amplitude et de Phase .....</b>	<b>8</b>

<b>I.4.4 Synthèse par loi d'Inter-Espacement (Réseau Non Périodique)</b> .....	<b>8</b>
I.4.4.1 La Synthèse Par Eléments Uniformément Espacés .....	8
I.4.4.2 La Synthèse par Eléments Non Uniformément Espacés .....	9
<b>I.4.5 Synthèse par la Phase et Espacement</b> .....	<b>9</b>
<b>I.4.6 Synthèse par Loi d'Amplitude et l'Espacement</b> .....	<b>9</b>
<b>I.4.7 Synthèse de tous les Paramètres</b> .....	<b>9</b>
I.5. Applications des Réseaux d'Antennes Linéaires .....	9
I.5.1 Dans les Communications Sans Fil .....	9
<b>I.5.2 Dans les Systèmes Radar</b> .....	<b>10</b>
<b>I.5.3 Dans les Systèmes de Surveillance</b> .....	<b>10</b>
I.6 Optimisation des Réseaux d'Antennes .....	10
<b>I.6.1 Définition</b> .....	<b>10</b>
<b>I.6.2. Méthodes D'optimisations</b> .....	<b>11</b>
I.6.2.1 Les Méthodes Analytiques .....	11
<b>I.6.2.2 Les Méthodes Numériques</b> .....	<b>11</b>
I.7. Conclusion.....	11
.....	12
Chapitre II : Archétypes de Réseaux d'Antennes Défectueuses et Algorithme des Loups Gris (GWO) .....	12
II.1. Introduction.....	12
II.2. Analyse des Défaillances dans les Réseaux d'Antenne Linéaire .....	12
<b>II.2.1. Identification des Types de Défaillances</b> .....	<b>12</b>
II.2.1.1. Défaillances de Composants .....	12
II.2.1.2. Défaillances de Connexion .....	12
II.2.1.3. Interférences Électromagnétiques (EMI) .....	13
II.2.1.4. Désalignement des Antennes .....	13
II.2.1.5. Problèmes de Réseau d'Alimentation .....	13
II.2.1.6. Défaillances Environnementales .....	13
<b>II.2.2. Causes Principales des Défaillances</b> .....	<b>13</b>
II.2.2.1. Vieillessement des Composants.....	13
II.2.2.2. Qualité de Fabrication.....	13
II.2.2.3. Conditions Environnementales.....	14
II.2.2.4. Interférences Électromagnétiques.....	14

II.2.2.5. Erreurs d'Installation .....	14
II.2.2.6. Maintenance Inadéquate .....	14
II.2.2.7. Problèmes de Conception.....	14
<b>II.2.3. Impact des Défaillances sur la Performance du Réseau.....</b>	<b>14</b>
II.2.3.1. Perte de Signal.....	14
II.2.3.2. Réduction de la Qualité de Service (QoS) .....	15
II.2.3.3. Interférences et Bruits .....	15
II.2.3.4. Augmentation des Coûts de Maintenance.....	15
II.2.3.5. Dégradation de la Fiabilité .....	15
II.2.3.6. Perturbation des Services .....	15
II.2.3.7. Perte de Données .....	15
II.3. Types des réseaux d'antennes linéaires défectueux .....	16
<b>II.3.1. Réseaux linéaire quelconque défectueux.....</b>	<b>16</b>
<b>II.3.2. Réseaux linéaire symétrique défectueux .....</b>	<b>16</b>
II.3.2.1. Réseaux linéaire symétrique pairs défectueux .....	16
<b>II.3.2.2. Réseaux linéaires symétriques impairs défectueux.....</b>	<b>17</b>
II.4 Optimisation par la méthode d'optimiseur de loup gris (GWO) .....	18
<b>II.4.1. Définition et principe de la méthode .....</b>	<b>18</b>
<b>II.4.2. Stratégie de l'algorithme d'optimisation du loup gris (GWO) .....</b>	<b>20</b>
<b>II.4.3 Les étapes générales de l'algorithme GWO.....</b>	<b>22</b>
II.5. Amélioration des Performances par l'Application de l'Algorithme des Loups Gris (GWO) .....	24
II.6. Conclusion .....	25
Chapitre III : Correction des Défaillances des Réseaux d'Antennes Linéaires.....	26
III.1 Introduction.....	26
III.2 Optimisation d'un réseau d'antenne.....	26
<b>III.2.1 Problème de synthèse .....</b>	<b>27</b>
<b>III.2.2 Présentation des résultats de simulation .....</b>	<b>28</b>
III.2.2.1 synthèse par loi d'amplitude .....	28
III.2.2.2 Synthèse par la Loi d'Inter-Espacement.....	32
III.3. Correction d'un réseau d'antenne linéaire.....	35
<b>III.3.1 Correction d'un réseau quelconque (non symétrique) .....</b>	<b>35</b>
III.3.1.1 Correction d'un réseau quelconque à 10 éléments par loi d'amplitude .....	36

III.3.1.2 Correction d'un réseau quelconque à 10 éléments par la loi de la phase .....	39
<b>III.3.2 Correction d'un réseau symétrique .....</b>	<b>40</b>
III.3.2.1 Correction d'un réseau symétrique par la loi d'amplitude .....	41
III.4. Conclusion .....	43
Conclusion générale .....	46
Bibliographie.....	46

## Liste des figures

Fig.I. 1. Réseau d'antenne linéaire à N éléments. [13].....	7
<b>Fig.II. 1.</b> Réseau d'antennes linéaire quelconque défectueux.....	16
<b>Fig.II. 2.</b> Réseau d'antennes linéaire défectueux symétrique pair [11]. .....	17
<b>Fig.II. 3.</b> Réseau d'antennes linéaire défectueux symétrique pair [27]. .....	17
<b>Fig.II. 4.</b> Hiérarchie sociale d'une meute de loups gris .....	18
<b>Fig.II. 5.</b> Comportement de chasse des loups gris : (A) Chasser, approcher et traquer une proie. (B- C-D) Poursuivre, harceler et encercler. (E) Situation à l'arrêt et attaque [31] .....	19
<b>Fig.II. 6.</b> Mécanisme de mise à jour de la position des agents de recherche et des effets de A sur celui-ci (Encerclement de leurs proies) .....	20
<b>Fig.II. 7.</b> Mise à jour des positions des loups [32] .....	22
<b>Fig.II. 8.</b> Organigramme de l'algorithme de GWO [33]. .....	23
<b>Fig.III. 1.</b> Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque l'amplitude est optimisée pour n=10.....	29
<b>Fig.III. 2.</b> Facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation (optimisation par loi l'amplitude) pour n=16 .....	29
<b>Fig.III. 3.</b> Facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation (optimisation par loi l'amplitude) pour n=20 .....	32
<b>Fig.III. 4.</b> Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque l'espacement est optimisé pour n=10, n=16 et n=20 .....	33
<b>Fig.III. 5.</b> Réseau d'antennes linéaire quelconque défectueux .....	36
<b>Fig.III. 6.</b> Facteurs des groupements original, défectueux et corrigée d'un réseau quelconque à 10 éléments (loi d'amplitude).....	37
<b>Fig.III. 7.</b> Facteurs des groupements original, défectueux et corrigée d'un réseau quelconque à 10 éléments (loi de phase) .....	39
<b>Fig.III. 8.</b> Facteurs des groupements original, défectueux et corrigée d'un réseau symétrique à 20 éléments.....	42

## Liste des tableaux

<b>Tableau III. 1.</b> SLL et HPBW, optimisation par loi d'amplitude pour différentes valeurs de n .....	28
Tableau III. 2. Pondérations des amplitudes .....	30
Tableau III. 3. SLL et HPBW, optimisation par loi d'espacement pour différentes valeurs de n .....	33
<b>Tableau III. 4.</b> Les inter-espacements de 10, 16 et 20 éléments respectivement.....	34
<b>Tableau III. 5.</b> Niveaux des lobes secondaires des réseaux : original, défectueux et corrigé à 10 éléments (loi d'amplitude).....	37
<b>Tableau III. 6.</b> Pondérations des amplitudes : originales et corrigées et défectueux d'un réseau quelconque à 10 éléments .....	38
<b>Tableau III. 7.</b> Niveaux des lobes secondaires des réseaux : original, défectueux et corrigé (loi de phase).....	40
<b>Tableau III. 8.</b> Les phases d'excitation : originales et corrigées et défectueux d'un réseau quelconque (par réduction).....	40
<b>Tableau III. 9.</b> Niveaux des lobes secondaires des réseaux : original, défectueux et corrigé d'un réseau symétriques à 20 éléments .....	42
<b>Tableau III. 10.</b> Pondérations des amplitudes : originales et corrigées et défectueux d'un réseau symétrique .....	42

## Liste des abréviations et symboles

**AF** : Array Factor (Facteur de réseau)

**EMI** : Electromagnetic Interference (Interférences Électromagnétiques)

**Fd** : une mesure de l'intensité ou de la distribution du diagramme de rayonnement

**FPGA** : Field-Programmable Gate Array (Circuit Intégré Programmable sur le Terrain)

**GWO** : Grey Wolf Optimizer (Algorithme de l'optimiseur de loups gris)

**HPBW** : Half Power Beam Width (Largeur du Faisceau à Mi-Puissance)

**MIMO** : Multiple Input Multiple Output (Entrées Multiples, Sorties Multiples)

**QoS** : Qualité de Service

**RF**: Radio Frequency (Fréquence Radio)

**SLL** : Side Lobe Level (Niveau des Lobes Secondaires)

**$\theta$**  : Angle d'observation

**$\lambda$**  : Longueur d'onde

**$\varphi$**  : Angle d'élévation

**N** : Nombre d'éléments dans le réseau

**k** : Nombre d'onde

**d** : Distance inter-éléments

**$\beta_i$**  : Phase d'alimentation de l'élément d'ordre

**j** : Unité imaginaire dans le contexte des mathématiques ou de l'électronique

**$X_i$**  : Position ou coordonnée spécifique

**$A_i, C_i$**  : Coefficients ou paramètres calculés

**$I_i$**  : Intensité ou amplitude

## *Introduction générale*



# Introduction générale

L'invention du télégraphe électrique en 1837 a révolutionné les communications, marquant le début des télécommunications modernes et propulsant l'évolution des antennes et réseaux d'antennes linéaires pour les applications telles que les satellites et les radars.

Les pannes dans les réseaux d'antennes peuvent perturber les diagrammes de rayonnement et affecter les performances. Pour y remédier, l'algorithme du loup gris (GWO), inspiré par le comportement des loups gris, ajuste les poids d'amplitude et la distribution de phase des éléments actifs. Cela améliore les niveaux de lobes secondaires tout en préservant la directivité souhaitée des antennes.

Ce travail examine de manière approfondie les réseaux d'antennes linéaires à travers trois chapitres distincts : Le Chapitre I se concentre sur la synthèse et l'optimisation de ces réseaux, en explorant différentes configurations et stratégies visant à améliorer leur performance, notamment la directivité des faisceaux émis.

Dans le Chapitre II, on examine des défaillances des réseaux d'antennes linéaires, incluant les problèmes de composants, connexions, interférences électromagnétiques, désalignement, alimentation et facteurs environnementaux. Ce chapitre analyse les causes et impacts de ces défaillances et introduit l'algorithme GWO pour les corriger, en expliquant ses principes et étapes pratiques.

Enfin, le Chapitre III introduit une méthode de correction basée sur l'algorithme GWO pour les réseaux d'antennes linéaires. Il explore deux approches : l'utilisation combinée des lois d'amplitude et de phase pour les réseaux généraux, puis l'application exclusive de la loi d'amplitude pour les réseaux symétriques. Ce chapitre démontre comment l'optimisation par GWO peut efficacement résoudre les problèmes identifiés et améliorer la robustesse des systèmes d'antennes linéaires.

En définitif, une conclusion générale résume les tâches réalisées et les résultats obtenus, ouvrant des perspectives pour des recherches futures dans le domaine de télécommunications.

# *Chapitre I*



## *Synthèse des Réseaux d'Antennes Linéaires*

# Chapitre I : Synthèse des Réseaux d'Antennes linéaires

## I.1 Introduction

L'utilisation d'un réseau d'antennes représente une avancée majeure par rapport à l'utilisation d'une seule source, offrant une flexibilité remarquable dans la distribution spatiale de la puissance rayonnée. Contrairement à une source individuelle dont le rayonnement reste statique dans l'espace, l'adoption de plusieurs sources au sein d'un réseau permet de manipuler les déphasages entre les signaux émis par chaque antenne, grâce à une pondération adaptée. En ajustant ces pondérations, il devient possible de diriger le maximum du rayonnement vers un angle spécifique, sans nécessiter de mécanisme de rotation physique du réseau [1]. Les antennes réseaux peuvent avoir différentes topologies : réseaux linéaires, réseaux planaires et réseaux circulaires.

Cette section se concentre sur la synthèse des réseaux d'antennes, en mettant en avant les réseaux d'antennes linéaires. Dans la première partie, nous explorerons en détail ces réseaux, tandis que la seconde partie sera dédiée à l'optimisation des réseaux d'antennes linéaires.

## I.2. Historique

### I.2.1. Débuts de La Communication Sans Fil

Les premières formes de communication sans fil utilisaient des antennes élémentaires simples, telles que des dipôles ou des fentes, pour émettre et recevoir des signaux électromagnétiques. Ces antennes étaient largement utilisées dans les premiers systèmes de télégraphie sans fil à la fin du 19<sup>ème</sup> siècle, notamment par Guglielmo Marconi [2].

### I.2.2. Premiers Développements Théoriques

Au début du 20<sup>ème</sup> siècle, des théoriciens comme Heinrich Hertz et James Clerk Maxwell ont lancé les bases de la théorie électromagnétique, permettant une compréhension plus approfondie du comportement des antennes. Les premiers modèles mathématiques pour décrire les antennes développées, ouvrant la voie à des conceptions plus avancées [2] [3].

### **I.2.3. Antennes Directionnelles**

Dans les années 1920 et 1930, des antennes directionnelles ont été développées pour améliorer la portée et la fiabilité des communications sans fil. Ces antennes étaient capables de concentrer l'énergie dans une direction spécifique, ce qui les rendait idéales pour les communications à longue distance [4].

### **I.2.4. Deuxième Guerre Mondiale Et Radar**

Pendant la Seconde Guerre mondiale, les réseaux d'antennes ont connu des avancées significatives grâce au développement du radar. Les réseaux d'antennes ont été utilisés pour émettre et recevoir des signaux radar, permettant la détection précoce des avions ennemis et des autres menaces. Les antennes à réseau et les réseaux d'antennes adaptatives ont été développés pour améliorer la résolution et la précision du radar [5].

### **I.2.5. Ère Numérique**

Avec l'avènement de l'ère numérique dans les années 1960 et 1970, les ordinateurs sont devenus des outils essentiels pour la conception et l'optimisation des réseaux d'antennes. Les méthodes de modélisation numérique ont permis de simuler et d'analyser le comportement des réseaux d'antennes de manière plus précise, ouvrant la voie à des conceptions plus complexes et sophistiquées [6].

### **I.2.6. Réseaux A Ouverture et a Phase**

Dans les années 1980 et 1990, les réseaux à ouverture et à phase sont devenus de plus en plus courants. Ces réseaux exploitent les différences de phase entre les éléments du réseau pour contrôler la direction du faisceau émis. Les réseaux à ouverture offrent une flexibilité accrue en termes de diagramme de rayonnement, tandis que les réseaux à phase permettent un contrôle précis de la direction du faisceau [7].

### **I.2.7. Réseaux Adaptatifs et MIMO**

Au cours des dernières décennies, les réseaux adaptatifs et MIMO (Multiple Input Multiple Output et en français : Entrées Multiples, Sorties Multiples) sont devenus des domaines de recherche et de développement majeurs. Les réseaux adaptatifs utilisent des algorithmes de traitement du signal pour ajuster dynamiquement les caractéristiques du réseau

en fonction des conditions de propagation et des besoins de communication. Les réseaux MIMO exploitent la diversité spatiale en utilisant plusieurs antennes d'émission et de réception pour améliorer les performances des systèmes de communication sans fil [7].

Cette évolution montre comment les réseaux d'antennes sont passés des simples antennes élémentaires aux systèmes sophistiqués et adaptatifs qui sont au cœur des technologies de communication et de surveillance modernes.

#### **I.2.8. Réseau D'antenne Linéaire**

Les réseaux d'antennes linéaires remontent aux premiers développements de la communication sans fil, où des antennes élémentaires telles que des dipôles étaient disposées linéairement pour émettre ou recevoir des signaux. Ces configurations simples ont été largement utilisées dans les premiers systèmes de télégraphie sans fil à la fin du 19<sup>ième</sup> siècle. Au fil du temps, les réseaux d'antennes linéaires ont été utilisés dans une variété d'applications, notamment pour les communications point à point et les radars directionnels [8].

#### **I.2.9. Réseau D'antenne Planaire**

Les réseaux d'antennes planaires sont apparus plus tard, avec le développement des technologies de micro-ondes et des substrats diélectriques dans les années 1950 et 1960. Ces réseaux sont constitués d'éléments rayonnants disposés sur un substrat plat, ce qui permet une intégration facile dans les circuits imprimés et les dispositifs micro-ondes. Les premiers réseaux d'antennes planaires étaient souvent utilisés dans les antennes patch et les réseaux d'antennes à ouverture, offrant une solution compacte pour une variété d'applications, y compris les communications sans fil et les systèmes de radar [9].

#### **I.2.10. Réseau D'antenne Circulaire**

Les réseaux d'antennes circulaires sont une évolution plus récente, exploitant les propriétés de symétrie circulaire pour produire des diagrammes de rayonnement omnidirectionnels ou directionnels. Ces réseaux sont couramment utilisés dans les applications nécessitant une couverture à 360 degrés, comme les antennes de télécommunications pour les réseaux cellulaires ou les systèmes de détection radar pour la surveillance aérienne [6]. Les réseaux d'antennes circulaires ont également trouvé des applications dans les antennes de balayage électronique, où la rotation du réseau permet de diriger le faisceau du radar dans

différentes directions sans nécessiter de mouvement mécanique de l'antenne [9].

En résumé, les réseaux d'antennes linéaires ont une longue histoire, remontant aux premiers jours de la communication sans fil, tandis que les réseaux d'antennes planaires et circulaires ont émergé plus tard avec les progrès des technologies de micro-ondes et ont trouvé une large gamme d'applications dans les communications sans fil, le radar et d'autres domaines de la technologie des antennes.

### I.3. Le Réseau d'Antenne Linéaire

#### I.3.1 Définition

Un réseau linéaire (Fig.I.1) est un réseau où les sources rayonnantes sont alignées le long d'une ligne droite et espacées d'une distance constante (ou non) d'appelée "le pas" ou la distance inter-éléments. Dans ce cas, les propriétés de la mise en réseau apparaissent dans le plan contenant les sources rayonnantes et la normale aux sources élémentaires, soit pour le plan  $\varphi=0$  dans le repère choisi ; l'étude se limite généralement à ce plan et l'expression du facteur de réseau peut être donnée comme suit [10] :

$$AF = \sum_{i=1}^n I_i e^{j(kx_i \sin\theta + \beta_i)} \quad (I.1)$$

Avec:

- $n$  est le nombre d'éléments dans le réseau.
- $I_i$  est l'amplitude.
- $\beta_i$  est la phase de courant de l'élément d'ordre  $i$ .
- $k$  ( $2\pi/\lambda$ ) est le nombre d'onde.
- $\theta$  est l'angle d'arrivée.

Ce type de réseau est plus utilisé dans le domaine des réseaux mobiles et des autres systèmes de télécommunications [11] en raison de sa simplicité, de sorte que la distance inter-éléments (espacement entre les sources rayonnantes) affecte sur le nombre de lobes principaux (l'apparition des lobes de périodicité pour une distance supérieure que longueur d'onde) [12]. Le nombre de lobes secondaires augmente avec le nombre d'antennes.

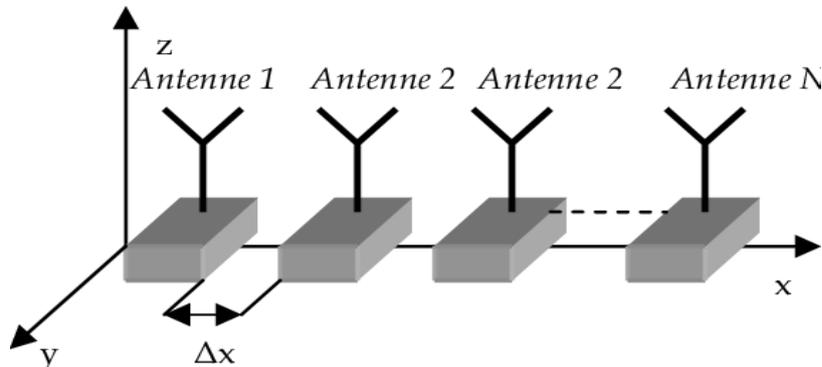


Fig.I. 1. Réseau d'antenne linéaire à N éléments. [13]

#### I.4. Synthèse d'un Réseau d'Antennes Linéaire

La synthèse d'un réseau d'antennes est un problème complexe qui implique la détermination des paramètres géométriques ou électriques du réseau afin de produire un diagramme de rayonnement désiré. Cette problématique a été largement étudiée depuis les travaux pionniers de Schelkunoff en 1943, et plusieurs méthodes analytiques ont été développées pour obtenir des solutions exactes.

Pendant, pour les réseaux non uniformes ou à deux dimensions, tels que les réseaux planaires et circulaires utilisés dans de nombreuses applications modernes telles que les radars, la synthèse du diagramme de rayonnement désiré devient difficile et les calculs deviennent complexes [14].

Dans ces cas, les méthodes analytiques traditionnelles peuvent devenir inefficaces, et de nombreux chercheurs se tournent vers le développement de méthodes numériques plus performantes. Généralement, le problème rencontré dans la synthèse d'un réseau d'antennes réside dans la détermination des paramètres physiques, tels que les lois d'alimentation et/ou la répartition spatiale des éléments rayonnants, qui permettent d'atteindre les caractéristiques souhaitées du diagramme de rayonnement [6].

Plusieurs approches de synthèse des réseaux d'antennes peuvent être envisagées, notamment :

##### I.4.1 Synthèse par loi d'Amplitude

Les amplitudes d'alimentation des éléments du réseau d'antennes sont déterminées par la

synthèse par loi d'amplitude pour contrôler le diagramme de rayonnement émis. Grâce à cette approche, il est possible de changer la structure du diagramme en ajustant les amplitudes des signaux liés aux antennes. Le diagramme de rayonnement peut être optimisé en utilisant des lois d'amplitude spécifiques afin de répondre à des spécifications précises, tout en réduisant au minimum les lobes secondaires et en améliorant la directivité du réseau. Il est crucial d'utiliser cette méthode de synthèse par loi d'amplitude afin de créer des réseaux d'antennes efficaces et adaptés à des applications particulières dans le domaine des télécommunications et du radar [15].

#### **I.4.2 Synthèse par loi de Phase (Réseau A Balayage Electronique)**

Les phases d'alimentation des éléments du réseau d'antennes sont déterminées par la synthèse par loi de phase pour contrôler le diagramme de rayonnement émis. La direction et la forme du faisceau émis peuvent être modifiées en modifiant les phases des signaux d'alimentation des antennes. Cette approche offre la possibilité d'améliorer la direction du réseau, de diminuer les lobes secondaires et d'ajuster le diagramme de rayonnement en fonction des exigences particulières de l'application [15].

#### **I.4.3 Synthèse par loi d'Amplitude et de Phase**

La synthèse d'un réseau d'antennes par loi d'amplitude et de phase simultanément consiste à concevoir un réseau d'antennes avec des éléments rayonnants disposés de manière à contrôler à la fois l'amplitude et la phase du champ électromagnétique émis ou reçu. Cette approche permet de façonner le diagramme de rayonnement de manière précise, offrant un contrôle plus fin sur la direction, la forme et l'intensité du faisceau [15].

#### **I.4.4 Synthèse par loi d'Inter-Espacement (Réseau Non Périodique)**

On trouve la synthèse par éléments uniformément espacés et la synthèse par éléments non uniformément espacés.

##### **I.4.4.1 La Synthèse Par Eléments Uniformément Espacés**

Les réseaux d'antennes à éléments uniformément espacés sont un type de réseau d'antennes linéaire où les éléments rayonnants sont disposés de manière régulière, à intervalles constants le long d'une ligne droite. Cette configuration simple et symétrique présente de nombreux avantages en termes de conception et de performances [16].

#### **I.4.4.2 La Synthèse par Éléments Non Uniformément Espacés**

Les réseaux d'antennes à éléments non uniformément espacés présentent une configuration d'éléments rayonnants disposés de manière irrégulière. Cette disposition non uniforme permet d'obtenir des diagrammes de rayonnement avec des caractéristiques spécifiques, telles qu'un lobe principal plus étroit, des niveaux de lobes secondaires réduits ou encore une capacité de scanning angulaire élargie [7].

#### **I.4.5 Synthèse par la Phase et Espacement**

La synthèse d'un réseau d'antennes linéaire par la phase et l'espacement simultanément est une méthode avancée qui permet de contrôler à la fois la phase des signaux d'alimentation et les espacements entre les éléments du réseau pour obtenir un diagramme de rayonnement précis et optimisé.

#### **I.4.6 Synthèse par Loi d'Amplitude et l'Espacement**

Cette méthode complexe nécessite une conception minutieuse pour ajuster à la fois l'intensité des signaux émis par chaque antenne et les espacements entre les éléments du réseau, offrant ainsi un contrôle fin sur la directivité et les caractéristiques de rayonnement du système d'antennes.

#### **I.4.7 Synthèse de tous les Paramètres**

Cette méthode nécessite une conception minutieuse pour ajuster à la fois l'amplitude des signaux émis par chaque antenne, les distances entre les éléments du réseau et les phases des signaux d'alimentation

### **I.5. Applications des Réseaux d'Antennes Linéaires**

Les réseaux d'antennes linéaires sont utilisés dans diverses applications, telles que les communications sans fil, les systèmes radar et les systèmes de surveillance.

#### **I.5.1 Dans les Communications Sans Fil**

On utilise les réseaux d'antennes linéaires afin d'améliorer la qualité du service, d'accroître la capacité et de diminuer la consommation d'énergie. Les réseaux d'antennes linéaires peuvent être employés dans diverses utilisations, comme la réduction de la taille du

système afin de le transporter sur des plateformes mobiles et abordables. Il est également possible d'utiliser des réseaux d'antennes linéaires dans des applications comme la caractérisation sans fil des antennes réseaux passives pour un test accéléré en RF [14].

### **I.5.2 Dans les Systèmes Radar**

Les réseaux d'antennes linéaires sont utilisés pour améliorer la résolution et la précision de la détection des cibles. Les réseaux d'antennes linéaires peuvent être reconfigurables, ce qui permet de les adapter aux changements de l'environnement radio. Les réseaux d'antennes linéaires reconfigurables peuvent être utilisés dans des applications telles que la miniaturisation du système pour l'embarquer sur des plateformes mobiles et de faible coût [7].

### **I.5.3 Dans les Systèmes de Surveillance**

Les réseaux d'antennes linéaires sont utilisés pour améliorer la couverture et la détection des objets surveillés. Les réseaux d'antennes linéaires peuvent être utilisés dans des applications telles que la surveillance de zones étendues, la détection de cibles multiples et la suppression de brouillage.

## **I.6 Optimisation des Réseaux d'Antennes**

### **I.6.1 Définition**

L'optimisation est une branche des mathématiques, cherchant à analyser et à résoudre les problèmes qui consistent à déterminer le meilleur élément d'un ensemble, au sens d'un critère quantitatif donné. Ce mot vient du latin optimum qui signifie « meilleur » [17].

On la retrouve dans les domaines des mathématiques appliquées (indispensables pour l'industrie et l'ingénierie), de l'analyse numérique, de la statistique pour la recherche de stratégies dans le cadre de la théorie des jeux, ou encore dans l'optimisation qui joue un rôle crucial dans la recherche opérationnelle.

De nos jours, l'optimisation est mise en place pour tous les systèmes qui peuvent être décrits par un modèle mathématique. Les résultats et les prédictions sont influencés par la pertinence du modèle, l'efficacité de l'algorithme et les ressources nécessaires pour le traitement numérique [17].

## **I.6.2. Méthodes D'optimisations**

Les méthodes d'optimisation d'un réseau d'antennes linéaires peuvent être classées en deux catégories principales : les méthodes analytiques et les méthodes numériques.

### **I.6.2.1 Les Méthodes Analytiques**

Sont basées sur des modèles mathématiques qui permettent de déterminer les coefficients d'alimentation des éléments du réseau pour obtenir un diagramme de rayonnement optimal. Ces méthodes sont généralement rapides et précises, mais elles peuvent être limitées dans leur capacité à prendre en compte les effets de couplage et d'interférences dans des environnements complexes [6].

### **I.6.2.2 Les Méthodes Numériques**

Telles que les algorithmes génétiques ou les méthodes de recuit simulé, sont des approches itératives qui permettent d'ajuster finement les paramètres d'alimentation des éléments pour maximiser le gain du lobe principal tout en minimisant les lobes secondaires. Ces méthodes peuvent être plus flexibles et plus adaptées aux environnements complexes, mais elles peuvent être plus gourmandes en ressources informatiques et plus lentes que les méthodes analytiques [18].

## **I.7. Conclusion**

En conclusion, les réseaux d'antennes linéaires offrent une grande flexibilité et de nombreuses possibilités d'application dans divers domaines des communications sans fil et des systèmes de détection. Grâce à leur capacité à contrôler la forme du faisceau, leur capacité à s'adapter à différents environnements et à optimiser les performances, ces réseaux sont devenus un élément essentiel dans de nombreux systèmes modernes.

Ces réseaux d'antennes linéaires trouvent des applications dans des domaines tels que les communications sans fil, les systèmes radar, la surveillance et le contrôle aérien. Leur utilisation permet d'améliorer la qualité de service, la couverture, la précision de localisation et la résolution angulaire, tout en offrant une grande flexibilité et capacité d'adaptation.

## *Chapitre II*



### *Chapitre II : Archétypes de Réseaux d'Antennes Défectueuses et Algorithme des Loups Gris (GWO)*

## **Chapitre II : Archétypes de Réseaux d'Antennes Défectueuses et Algorithme des Loups Gris (GWO)**

### **II.1. Introduction**

Ce chapitre explore les défaillances des réseaux d'antennes linéaires, incluant les problèmes de composants, de connexions, d'interférences électromagnétiques, de désalignement, d'alimentation, et les facteurs environnementaux. Il analyse les causes principales de ces défaillances et leur impact sur la performance du réseau, comme la perte de signal et l'augmentation des coûts de maintenance. Le chapitre présente différentes configurations de réseaux d'antennes défectueux et leurs équations associées. Il introduit l'algorithme du loup gris (GWO) comme une méthode d'optimisation efficace pour corriger ces défaillances, en détaillant ses principes théoriques et ses étapes pratiques.

### **II.2. Analyse des Défaillances dans les Réseaux d'Antenne Linéaire**

#### **II.2.1. Identification des Types de Défaillances**

Pour comprendre les types de défaillances dans les réseaux d'antennes linéaires, il est important de catégoriser les problèmes potentiels qui peuvent survenir. Voici les types les plus courants.

##### **II.2.1.1. Défaillances de Composants**

Cela inclut les défaillances des éléments d'antenne individuels, des amplificateurs, des câbles, et autres composants électroniques. Par exemple, les éléments d'antenne peuvent se casser ou s'user avec le temps, affectant la capacité du réseau à transmettre et recevoir des signaux correctement [6].

##### **II.2.1.2. Défaillances de Connexion**

Les problèmes de connectivité tels que les connexions lâches, les soudures défectueuses ou les interruptions dans les câbles coaxiaux peuvent causer des interruptions dans la transmission des signaux [19].

### **II.2.1.3. Interférences Électromagnétiques (EMI)**

Les interférences provenant d'autres dispositifs électroniques peuvent perturber le fonctionnement des antennes. Cela inclut les appareils ménagers, les dispositifs médicaux, ou d'autres réseaux de communication qui peuvent émettre sur des fréquences similaires [20].

### **II.2.1.4. Désalignement des Antennes**

Les antennes qui ne sont pas correctement alignées peuvent entraîner une réception et une transmission inefficaces. Cela peut se produire à cause de l'installation incorrecte ou des mouvements mécaniques dus au vent ou à d'autres forces extérieures [20].

### **II.2.1.5. Problèmes de Réseau d'Alimentation**

Les défaillances dans le réseau de distribution du signal, y compris les répartiteurs et les réseaux de distribution, peuvent causer une perte de signal ou une diminution de la qualité du signal [20].

### **II.2.1.6. Défaillances Environnementales**

Les facteurs externes tels que les intempéries (pluie, neige, vent fort), la corrosion due à l'humidité, et les dommages physiques peuvent affecter la performance des antennes [20].

## **II.2.2. Causes Principales des Défaillances**

Les causes des défaillances identifiées ci-dessus peuvent être variées et souvent interdépendantes. Voici les principales causes :

### **II.2.2.1. Vieillessement des Composants**

L'usure et le vieillissement naturel des composants électroniques peuvent entraîner des pannes. Les matériaux peuvent se dégrader, conduisant à des pertes de signal ou à des courts-circuit [21].

### **II.2.2.2. Qualité de Fabrication**

Les défauts de fabrication, les matériaux de mauvaise qualité ou les tolérances insuffisantes peuvent provoquer des défaillances. Une soudure de mauvaise qualité peut se rompre sous des conditions de stress [21].

### **II.2.2.3. Conditions Environnementales**

L'exposition à des conditions météorologiques extrêmes, à l'humidité et à la pollution peut endommager les composants d'antenne. La corrosion peut affaiblir les connexions électriques et mécaniques [21].

### **II.2.2.4. Interférences Électromagnétiques**

Les sources externes d'interférences électromagnétiques (EMI) peuvent perturber le signal des antennes, surtout dans les environnements urbains denses où le bruit électromagnétique est omniprésent [22].

### **II.2.2.5. Erreurs d'Installation**

Une installation incorrecte, y compris le mauvais alignement des antennes, peut réduire l'efficacité et la fiabilité du réseau. Des erreurs lors de la mise en place peuvent entraîner des problèmes de connectivité à long terme [21].

### **II.2.2.6. Maintenance Inadéquate**

Le manque de maintenance régulière et de vérifications peut conduire à des défaillances non détectées qui s'aggravent avec le temps. Une vérification régulière des composants et des connexions peut prévenir de nombreuses pannes [23].

### **II.2.2.7. Problèmes de Conception**

Des erreurs dans la conception initiale du réseau d'antenne peuvent entraîner des inefficacités et des points de défaillance potentiels. Par exemple, un réseau mal conçu peut-être plus susceptible aux interférences et aux défaillances de composants [23].

## **II.2.3. Impact des Défaillances sur la Performance du Réseau**

Les défaillances des réseaux d'antenne linéaire peuvent avoir des impacts significatifs sur la performance globale du réseau. Voici les principaux impacts :

### **II.2.3.1. Perte de Signal**

La défaillance d'un élément d'antenne peut entraîner une perte de signal, ce qui réduit la couverture et la qualité de la transmission. Une antenne défectueuse peut causer des zones

mortes où le signal est absent [6].

### **II.2.3.2. Réduction de la Qualité de Service (QoS)**

Les défaillances peuvent entraîner des interruptions de service, des latences élevées et une qualité de signal dégradée, affectant l'expérience utilisateur. Les utilisateurs peuvent rencontrer des interruptions de connexion et une baisse de la vitesse de transmission [24].

### **II.2.3.3. Interférences et Bruits**

Les défaillances peuvent créer des interférences et des bruits supplémentaires dans le réseau, perturbant les communications. Cela peut se traduire par des pertes de données et des erreurs de communication [25].

### **II.2.3.4. Augmentation des Coûts de Maintenance**

Les défaillances fréquentes nécessitent des interventions de maintenance plus fréquentes et coûteuses. Le remplacement des composants défectueux et la réparation des connexions peuvent entraîner des dépenses importantes [24].

### **II.2.3.5. Dégradation de la Fiabilité**

Un réseau d'antenne avec des défaillances fréquentes est moins fiable, ce qui peut être critique pour des applications nécessitant une communication continue et fiable, comme les services d'urgence ou les communications militaires [24].

### **II.2.3.6. Perturbation des Services**

Les défaillances peuvent perturber les services critiques tels que les communications d'urgence, la télévision et la radiodiffusion, et les services Internet. Cela peut avoir des conséquences graves, notamment en cas de besoin d'une communication fiable en situation d'urgence [24].

### **II.2.3.7. Perte de Données**

Dans les réseaux de communication, les défaillances peuvent entraîner une perte de données importante, ce qui peut être particulièrement problématique pour les applications nécessitant une transmission de données sécurisée et fiable. Les données perdues peuvent être critiques pour les opérations commerciales ou les transactions financières [26].

## II.3. Types des réseaux d'antennes linéaires défectueux

### II.3.1. Réseaux linéaire quelconque défectueux

Le schéma du réseau linéaire défectueux de n éléments est présenté dans la figure II.1. Le facteur de groupement associé est fourni par [27] :

$$AF = \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq p}}^n I_i e^{j(kx_i \sin\theta + \beta_i)}, \text{ et } p \in \{j, u, r, l \dots\} \quad (\text{II.1})$$

Avec :

i : Indice de la sommation, allant de 1 à n,  $I_i$  : Amplitude, j : Unité imaginaire. k: Nombre d'onde,  $x_i$  : Position spatiale de l'élément i,  $\theta$  : Angle d'arrivée, et  $\beta_i$ : Phase associée à l'élément i.

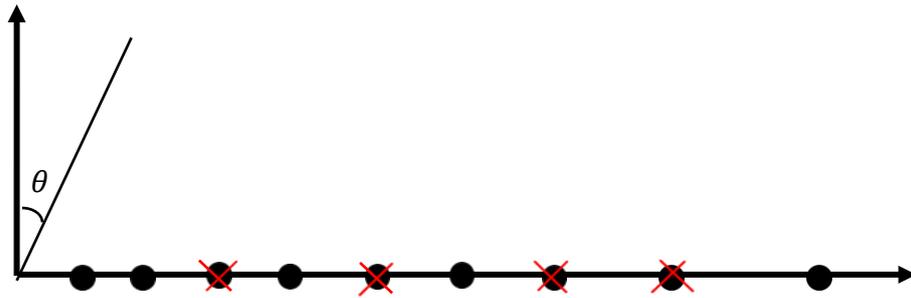


Fig.II. 1. Réseau d'antennes linéaire quelconque défectueux

### II.3.2. Réseaux linéaire symétrique défectueux

#### II.3.2.1. Réseaux linéaires symétrique pairs défectueux

Dans le cas d'un réseau linéaire pair symétrique, composé de 2n éléments, et touché par des défaillances, le facteur de regroupement approprié peut être évalué à l'aide de l'équation suivante [27] :

$$AF = 2 \sum_{\substack{i=-n \\ i \neq p}}^n I_i \cos(kx_i \sin\theta - \beta_i), \text{ et } p \in \{0, j, u, r, l \dots\} \quad (\text{II.2})$$

Avec :

$i$  : Indice de la sommation, allant de  $-n$  à  $n$ ,  $I_i$  : Amplitude,  $j$  : Unité imaginaire,  $k$ : Nombre d'onde,  $x_i$  : Position spatiale de l'élément  $i$ ,  $\theta$  : Angle par rapport à l'axe de référence et  $\beta_i$  : Phase associée à l'élément  $i$ .

Dans cette configuration, aucune antenne n'est positionnée à l'origine.

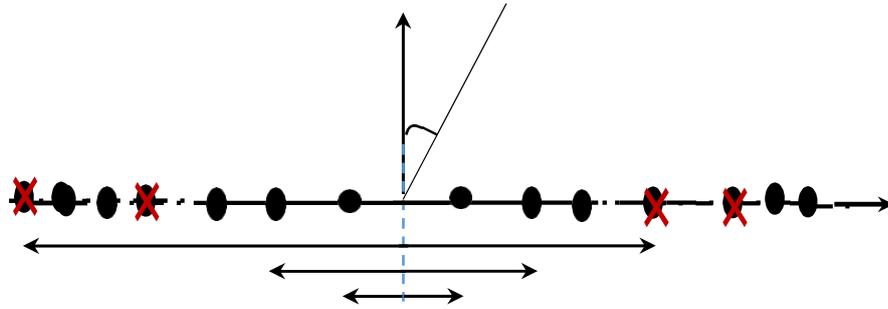


Fig.II. 2. Réseau d'antennes linéaire défectueux symétrique pair [11].

### II.3.2.2. Réseaux linéaires symétriques impairs défectueux

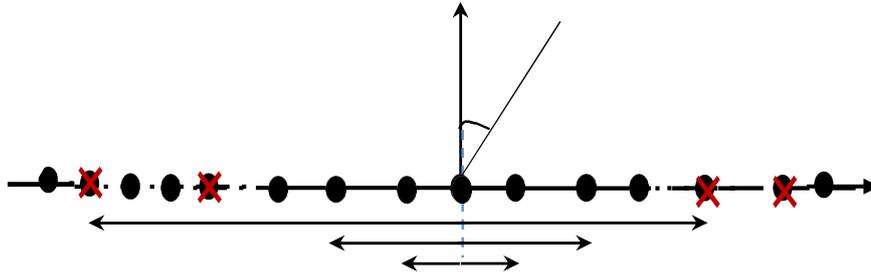


Fig.II. 3. Réseau d'antennes linéaire défectueux symétrique impair [27].

Pour un réseau linéaire défectueux impair symétrique de  $2n + 1$  éléments, comme illustré dans la figure II.3, le facteur de groupement correspondant est calculé selon l'équation suivante [27] :

$$AF = I_0 e^{j(\beta_0)} + 2 \sum_{\substack{i=-n \\ i \neq p}}^n I_i (k x_i \sin \theta + \beta_i), \text{ et } p \in \{0, j, u, r, l\} \quad (\text{II.3})$$

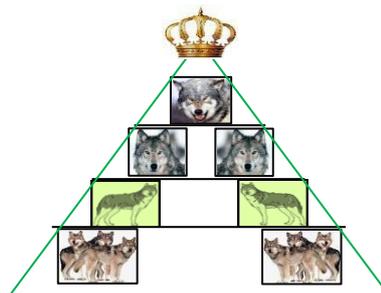
Dans cette équation, les indices  $j, u, r, l \dots$  désignent l'ordre des antennes défectueuses, qui peuvent être soit positifs soit négatifs, en fonction de leur position par rapport à l'origine (négatif à gauche et positif à droite).

## II.4 Optimisation par la méthode d'optimiseur de loup gris (GWO)

### II.4.1. Définition et principe de la méthode

Grey Wolf Optimizer (GWO) est l'un des algorithmes d'optimisation biologiquement inspirés proposés par Mirjalili et al en 2014. L'algorithme GWO imite la nature de chasse de la famille des loups gris. Les loups gris préfèrent généralement être dans un groupe. La taille de la meute de loups gris varie de 5 à 12. Ils ont une hiérarchie sociale dominante stricte à 4 niveaux. Les loups gris sont classés hiérarchiquement en alpha ( $\alpha$ ), bêta ( $\beta$ ), delta ( $\delta$ ) et oméga ( $\omega$ ) dans le peloton. La meute travaille pour la chasse, la recherche d'une proie, l'encerclement et l'attaque d'une proie. Les chefs sont des mâles et des femelles, appelés alphas. Le leader alpha décide de l'action du peloton. L'ensemble du pack reconnaît l'alpha en gardant la queue basse. Seulement alphas mate dans le pack. Alpha domine en tant que bon administrateur. Ce n'est peut-être pas le membre le plus fort du peloton [28].

Le deuxième niveau est représenté par la version bêta. Ce sont des loups subalternes qui aident l'alpha dans la prise de décision ou d'autres activités liées à la meute. Le loup bêta peut être un male ou une femelle et est le meilleur successeur en cas d'arrêt d'un des loups alpha. Il joue le rôle de conseiller pour l'alpha et la discipline de meute. Les omégas sont au troisième niveau du haut. Ils doivent se soumettre à tous les autres loups dominants ce sont les derniers loups autorisés à manger [29].



**Fig.II. 4.** Hiérarchie sociale d'une meute de loups gris

Bien qu'Omega soit le moins bien classé, l'ensemble du groupe est confronté à des batailles internes et à des problèmes sans eux. Ils aident à satisfaire l'ensemble du groupe et à maintenir la structure de domination. Si un loup n'est pas un alpha, un bêta ou un oméga, il est appelé subordonné (ou delta dans certaines références). Les loups du delta doivent se soumettre

aux alphas et aux bêtas, mais ils dominent les oméga [30].

Le comportement social des loups gris peut être représenté par :

- ✓ Traquer, poursuivre et approcher la proie.
- ✓ Poursuivre, encercler et harceler la proie jusqu'à ce qu'elle cesse de bouger



**Fig.II. 5.** Comportement de chasse des loups gris : (A) Chasser, approcher et traquer une proie. (B- C-D) Poursuivre, harceler et encercler. (E) Situation à l'arrêt et attaque [31]

L'algorithme de GWO présente de nombreux avantages, que l'on peut résumer comme suit :

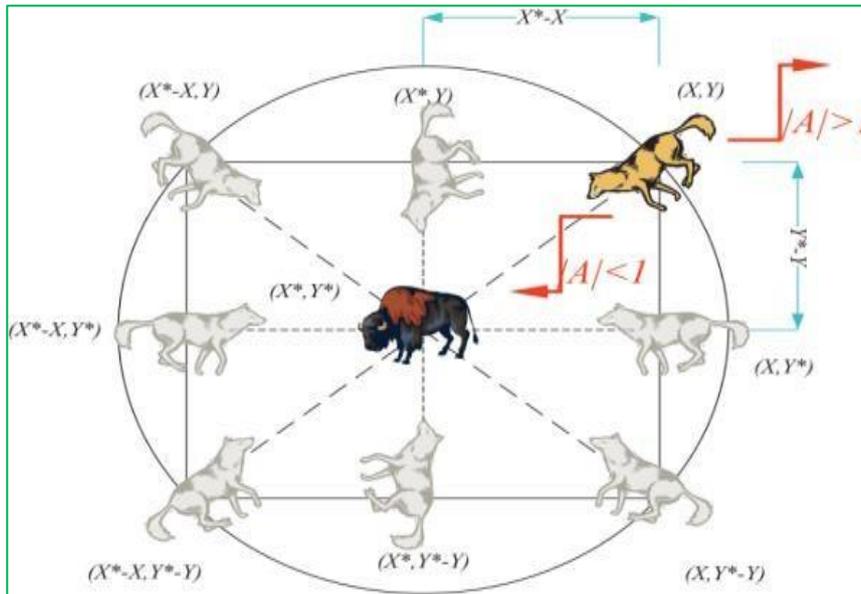
- ✓ C'est un algorithme dérivé libre
- ✓ Il a des paramètres plus bas à ajuster
- ✓ Ses opérateurs sont inférieurs à ceux d'autres algorithmes évolutifs
- ✓ Il peut conserver des informations sur l'espace de recherche avec des itérations et enregistre la meilleure solution obtenue
- ✓ Il est simple et facile à mettre en œuvre [31].
- ✓ Attaque vers la proie.

Récemment, l'algorithme GWO a été appliqué avec succès à plusieurs fonctions de test et ses résultats étaient prometteurs comparés à ceux d'autres techniques d'optimisation [5].

### II.4.2. Stratégie de l'algorithme d'optimisation du loup gris (GWO)

Le modèle mathématique du mécanisme de chasse du loup gris comprend :

- ✓ Suivre, chasser et approcher la proie.
- ✓ Poursuivre, encercler et harceler la proie jusqu'à ce qu'elle cesse de bouger.
- ✓ Attaquer la proie.



**Fig.II. 6.** Mécanisme de mise à jour de la position des agents de recherche et des effets de A sur celui-ci (Encerclement de leurs proies)

Nous avons vu précédemment que les loups gris encerclent leurs proies lors de la chasse. Pour représenter mathématiquement le comportement de l'encerclement, les équations suivantes sont suggérées :

$$D = C \cdot X_p - X(t) \quad (II.4)$$

$$X(t + 1) = |X_p(t) - A \cdot D| \quad (II.5)$$

$X_p$  : le vecteur position de la proie

$X(t)$  : la position actuelle du loup gris

$A, C$  : sont des vecteurs de coefficients calculés comme suit :

$$A = 2a \cdot r_1 - a \quad (II.6)$$

$$C = 2a \cdot r_2 \quad (II.7)$$

- ✓ Chasse

Les loups gris sont capables de localiser les proies et de les entourer de cercles. En général, la chasse est dirigée par l'alpha. Le bêta et le delta pourraient aussi prendre part à la chasse de temps en temps.

Toutefois, dans une étude abstraite de l'espace, nous ne savons pas où se trouve l'optimum (proie). Pour simuler de manière mathématique le comportement de chasse des loups gris, nous supposons que l'alpha (meilleure solution candidate) bêta et delta connaissent mieux l'emplacement potentiel des proies

Ainsi, les trois premières solutions les plus performantes obtenues jusqu'à présent sont enregistrées et les autres agents de recherche (y compris les omégas) doivent mettre à jour leurs positions en fonction de la position du meilleur agent de recherche. On propose les formules suivantes à ce sujet [32].

$$X(t + 1) = \frac{X_1 + X_2 + X_3}{3} \quad (\text{II.8})$$

$X_1, X_2$  et  $X_3$  Sont calculés à l'aide des équations suivantes [33] :

$$X_1 = |X_\alpha - A_1 D_\alpha| ; D_\alpha = C_1 X_\alpha - X(t) \quad (\text{II.9})$$

$$X_2 = |X_\beta - A_2 D_\beta| ; D_\beta = C_2 X_\beta - X(t) \quad (\text{II.10})$$

$$X_3 = |X_\delta - A_3 D_\delta| ; D_\delta = C_3 X_\delta - X(t) \quad (\text{II.11})$$

La figure II.7 illustre comment un agent de recherche actualise sa position en fonction des variables alpha, bêta et delta dans un espace de recherche en deux dimensions.

Il est possible de constater que la position finale se situerait dans un lieu aléatoire à l'intérieur d'un cercle défini par les positions alpha, bêta et delta dans l'espace. Autrement dit, alpha, bêta et delta calculent la position de la proie, tandis que les autres loups, au hasard, actualisent leurs positions autour de la proie.

- Attaquer leur proie

Les loups gris terminent la chasse en attaquant la proie lorsqu'elle s'arrête de bouger. Afin de modéliser mathématiquement l'approche de la proie, nous réduisons la valeur de  $a$ .

La plage de fluctuation de  $A$  est également réduite de  $a$  autrement dit  $A$  est une valeur aléatoire dans l'intervalle  $[-a, a]$  où  $a$  est diminué de 2 à 0 au cours des itérations. Lorsque des valeurs aléatoires de  $A$  sont dans  $[-1, 1]$ , la prochaine position du chercheur peut être n'importe

où entre sa position actuelle et la position de la proie. En utilisant les opérateurs actuellement fournis, l'algorithme GWO permet à ses agents de solution

Locale de ces opérateurs. Il est vrai que le mécanisme d'encerclement proposé montre l'exploration dans une certaine mesure, mais GWO a besoin de plus d'opérateurs pour mettre l'accent sur l'exploration.

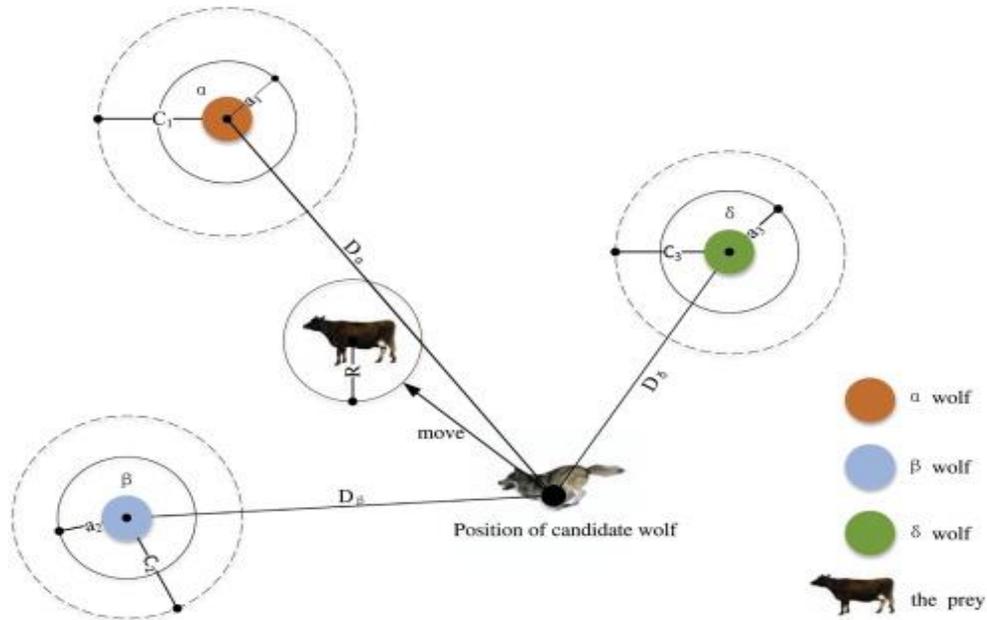


Fig.II. 7. Mise à jour des positions des loups [32]

### II.4.3 Les étapes générales de l'algorithme GWO

L'algorithme GWO donné par la fig.II.8 se déroule selon les étapes suivantes [33]:

Initialisation aléatoire des positions des loups  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$  dans l'espace de recherche limité par les valeurs minimales et maximales. On attribue à la position initiale de chaque.

Le calcul de la fonction objective (fitness) consiste à choisir l'indice de performance le plus approprié pour avoir une erreur minimale qui correspond à fitness. Alpha\_score, Beta\_score et Delta\_score sont comparés à fitness comme suit :

Si  $\text{Alpha\_score} < \text{fitness}$ , on actualise Alpha\_score qui sera égale à fitness et on définit la nouvelle position (Alpha\_position) du loup  $\alpha$  qui correspond à Alpha\_score récent

Si  $\text{Alpha\_score} > \text{fitness}$  et  $\text{Beta\_score} < \text{fitness}$ , on actualise  $\text{Beta\_score}$  qui sera égale à  $\text{fitness}$  et on définit la nouvelle position (Beta position) du loup  $\beta$  qui correspond à  $\text{Beta\_score}$  récent.

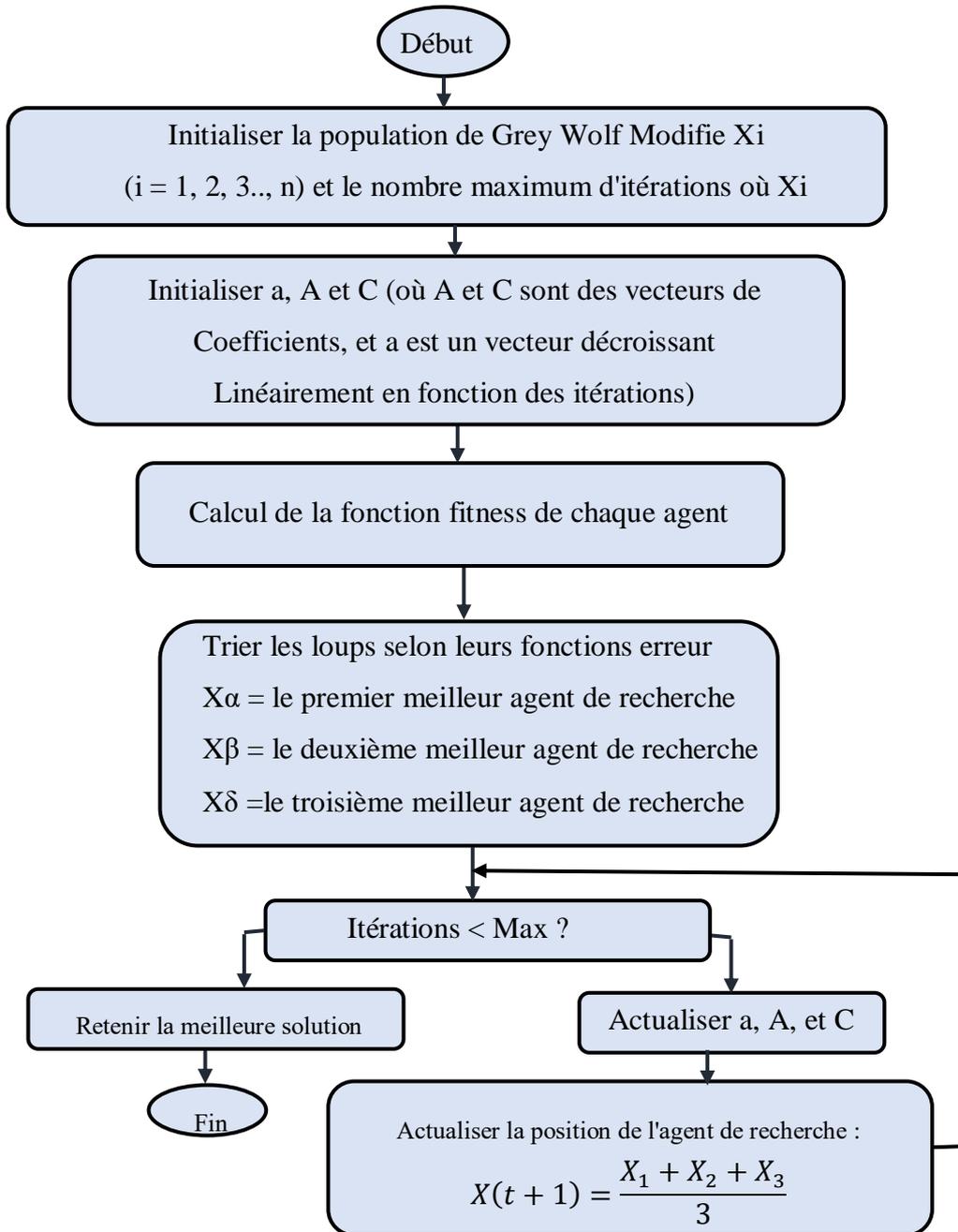


Fig.II. 8. Organigramme de l'algorithme de GWO [33].

Si  $\text{Alpha\_score} > \text{fitness}$  et  $\text{Beta\_score} > \text{fitness}$  et  $\text{Delta} < \text{fitness}$ , on actualise  $\text{Delta\_score}$  qui sera égale à  $\text{fitness}$  et on définit la nouvelle position ( $\text{Delta\_position}$ ) du loup  $\delta$  qui correspond à  $\text{Delta\_score}$  récent.

La mise à jour des positions des loups est représentée par la fig. II.7. Cette mise à jour se fait à chaque itération selon les Eq. (II.6–II.7). Les paramètres  $A$ ,  $C$  et  $a$  sont mis à jour selon ces équations ce qui permet de rétrécir l'espace de recherche et réduire la distance qui sépare les loups de la proie.

Le calcul de  $\text{fitness}$  et la mise à jour des positions des loups se fait à chaque itération jusqu'à atteindre  $\text{Max\_itération}$  qui est le critère d'arrêt de la GWO.

## II.5. Amélioration des Performances par l'Application de l'Algorithme des Loups Gris (GWO)

Dans cette analyse, nous explorons en profondeur l'application de la méthode des loups gris (GWO) pour résoudre un problème d'optimisation particulier. Cette approche consiste à développer une stratégie adaptable, exploitant les principes de la GWO dans une variété de contextes. Chaque "chercheur" dans notre cadre représente un ensemble de paramètres optimaux pour construire des diagrammes, qui sont des représentations visuelles des données pertinentes pour notre problème.

Lorsque nous rencontrons des erreurs ou des lacunes dans ces diagrammes, nous intervenons pour les corriger. Pour ce faire, nous ajustons les divers facteurs qui influent sur la construction du diagramme afin de créer une nouvelle version qui se rapproche le plus possible de l'original. Cette étape de correction vise à garantir que le nouveau diagramme de rayonnement corrigé ( $F_c(\theta)$ ) reproduise fidèlement les caractéristiques essentielles du diagramme défectueux ( $F_o(\theta)$ ).

Notre objectif ultime est de minimiser la divergence entre ces deux diagrammes de rayonnement (corrigé ( $F_c(\theta)$ ) et défectueux ( $F_o(\theta)$ )), ce qui permettrait d'obtenir une solution optimale. À cette fin, nous utilisons une formule mathématique qui quantifie la différence entre les deux diagrammes. Cette formule, appelée fonction objectif, est conçue pour évaluer la distance entre les performances du diagramme corrigé et celles du diagramme original dans différentes orientations.

En résumant, la méthode des loups gris offre une approche systématique et robuste pour traiter les défis complexes liés à l'optimisation des diagrammes dans notre domaine d'étude. En utilisant cette approche, nous visons à atteindre une solution optimale qui répond aux exigences spécifiques de notre problème tout en garantissant une efficacité et une précision maximales.

## **II.6. Conclusion**

Ce chapitre a examiné les défaillances des réseaux d'antennes linéaires et a introduit l'algorithme du loup gris (GWO) comme une solution pour les corriger. Les types de défaillances courantes incluent les problèmes de composants, de connexions, les interférences électromagnétiques, les désalignements, les problèmes d'alimentation et les facteurs environnementaux. Ces défaillances ont des causes diverses, telles que le vieillissement des composants, la qualité de fabrication, les conditions environnementales et les erreurs d'installation.

Les impacts des défaillances sur la performance du réseau sont significatifs, incluant la perte de signal, la réduction de la qualité de service, les interférences, l'augmentation des coûts de maintenance et la dégradation de la fiabilité.

L'algorithme Grey Wolf (GWO) est idéal pour optimiser les réseaux d'antennes en raison de sa simplicité et de son efficacité. Il nécessite peu de paramètres à régler, ce qui facilite sa mise en œuvre. Il converge rapidement vers des solutions optimales, crucial pour les applications en temps réel, et est adaptable à des contraintes spécifiques de conception, ce qui le rend particulièrement utile pour les problèmes complexes d'optimisation des antennes.



*Chapitre III*



*Chapitre III : Correction des Défaillances des Réseaux  
d'Antennes Linéaires*

# **Chapitre III : Correction des Défaillances des Réseaux d'Antennes Linéaires**

## **III.1 Introduction**

Les réseaux d'antennes linéaires jouent un rôle crucial dans divers systèmes de communication, notamment les télécommunications et les radars. Cependant, ces réseaux peuvent être sujets à des défaillances qui entraînent des pertes de signal et des distorsions, affectant gravement la qualité des communications et la performance globale des systèmes. Pour pallier ces problèmes, plusieurs méthodes de correction ont été développées, tels que l'ajustement des amplitudes et des phases des signaux des alimentations des antennes. Ces techniques permettent de rééquilibrer le réseau et de minimiser l'impact des défaillances, assurant ainsi une transmission plus fiable et précise.

La correction d'un réseau d'antennes défectueux, c'est une optimisation avec certaines conditions supplémentaires. Les conditions sont causées par les pannes dans le réseau.

Dans ce chapitre, nous présentons deux parties. La première concerne l'optimisation des réseaux d'antennes linéaires par l'application de la loi d'amplitude et l'espacement pour avoir des facteurs de rayonnement directifs avec un niveau des lobes secondaires très réduit. La seconde partie explore la correction des réseaux d'antennes linéaires, traitant à la fois des réseaux quelconques et symétriques. Pour les réseaux d'antennes linéaires quelconques, nous appliquons la loi d'amplitude et de phase. En revanche, pour les réseaux d'antennes linéaires symétriques, nous nous concentrons exclusivement sur l'ajustement des amplitudes. Nos résultats démontrent que ces stratégies améliorent notablement la robustesse et la fiabilité des réseaux d'antennes. Elles offrent ainsi des solutions efficaces pour maintenir la qualité des communications même en présence de défaillances.

## **III.2 Optimisation d'un réseau d'antenne**

Les réseaux d'antennes offrent une flexibilité et une capacité de contrôle sans précédent dans la formation de diagrammes de rayonnement, grâce à des paramètres tels que la géométrie du réseau, l'espacement entre les éléments, et l'ajustement de l'amplitude et de la phase d'excitation [34].

Cette étude explore l'optimisation de la synthèse d'un réseau d'antennes linéaire en utilisant l'algorithme d'Optimisation de Loup Gris (GWO) pour déterminer les poids d'amplitude, les phases des excitations et les positions des éléments qui permettent d'obtenir un patron de rayonnement idéal. Les résultats de simulation montrent l'efficacité de cette approche pour améliorer la directivité et la suppression des lobes latéraux, ainsi que la résolution angulaire du faisceau principal.

### III.2.1 Problème de synthèse

Dans le cadre de la conception d'un réseau d'antennes linéaire, la synthèse implique l'optimisation des poids d'alimentation, des phases d'excitation et des positions des éléments prédéfinis. L'objectif principal de cette optimisation est d'obtenir le diagramme de rayonnement souhaité. Cette procédure est fondamentale pour maximiser la directivité du faisceau principal tout en minimisant les lobes secondaires (objectif de ce travail), ce qui améliore la performance globale du système de communication [15].

Pour représenter ces diagrammes de rayonnement, il existe deux principales configurations :

- **Conformation dans un Plan** : Cette configuration, comme les plans E et H principaux, discrétise la direction  $\theta$  tandis que la direction  $\varphi$  reste fixe.
- **Conformation dans l'Ensemble de l'Espace ( $\theta, \varphi$ )** : Contrairement à la configuration dans un plan, cette approche définit le couple  $(\theta, \varphi)$  de manière intégrale.

Le facteur de groupement (AF) est calculé selon l'équation suivante, où chaque élément contribue avec son amplitude de poids et sa phase d'excitation [6]:

$$AF = \sum_{i=1}^n a_i e^{j(kx_i \sin\theta - \beta_i)} \quad (\text{III.1})$$

Où  $a_i$ ,  $\beta_i$  et  $x_i$  sont poids l'amplitude du, la phase de l'excitation et la position du  $i$ ème élément dans le réseau respectivement.  $k$  est le nombre d'onde donné par  $(2\pi / \lambda)$  et  $\theta$  est l'angle d'élévation [35].

$$x_i = \sum_{p=1}^i d_p \quad (\text{III.2})$$

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

L'objectif ultime de cette méthodologie d'optimisation est de produire un diagramme de rayonnement qui suit une distribution gaussienne idéale donné par :

$$Fd = n \cdot \exp\left(\frac{-\theta^2}{T^2}\right) \quad (\text{III.3})$$

Où  $\theta$  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. D'une façon générale, le problème de la synthèse consiste donc à rechercher les trois vecteurs :  $A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ ,  $\psi = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_n]$  et  $D = [d_1, d_2, \dots, d_n]$  [27], 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).

### III.2.2 Présentation des résultats de simulation

Les amplitudes, les phases et les inter-espacements sont les trois paramètres clés d'un réseau d'antennes. Les sept cas d'optimisation potentiels sont énumérés comme suit :

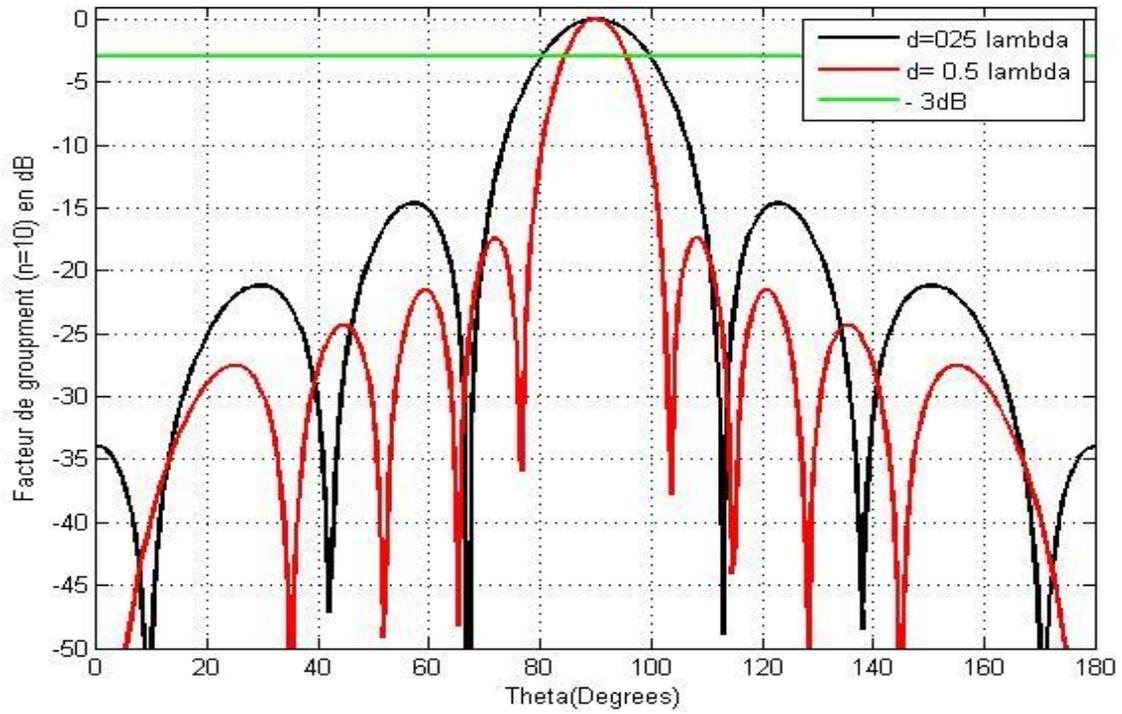
#### III.2.2.1 synthèse par loi d'amplitude

Dans ce cas le seul paramètre à optimiser est l'amplitude, l'inter-espacement est pris constant et les phases des alimentations sont prises nulles. Les figures suivantes illustrent les diagrammes de rayonnement pour des configurations d'antennes avec différents nombres d'éléments (10, 16, 20) après 1000 itérations. Le tableau III.1 donne les valeurs de SLL (Side Lobe Level) et HPBW (Half Power Beam Width) pour différentes valeurs de  $n$ .

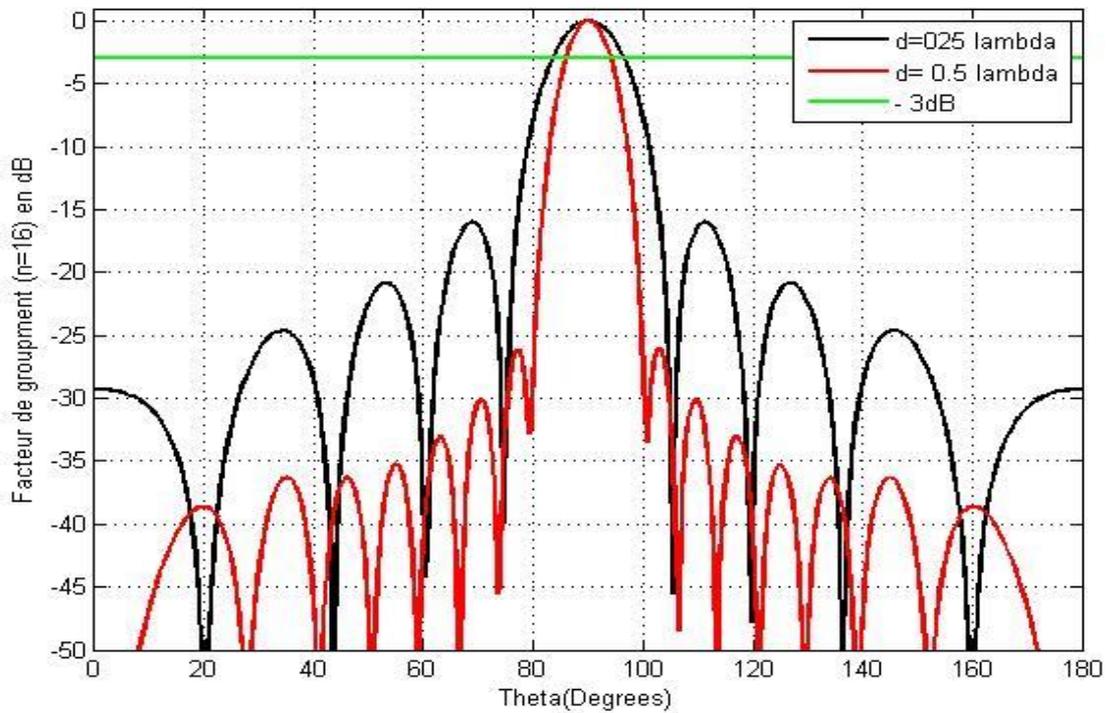
Le facteur de groupement optimisé d'un réseau à 10 éléments par la loi d'amplitude (pour de cas :  $d = \lambda/2$  et  $d = \lambda/4$ ) est illustré dans la figure III.1.

**Tableau III. 1.** SLL et HPBW, optimisation par loi d'amplitude pour différentes valeurs de  $n$

Nombre d'éléments		N=10	N=16	N=20
SLL	Pour $d=0.5$	-17.4	-26	-32.9
	Pour $d=0.25$	-14.5	-15.9	-17.4
HPWB	Pour $d=0.5$	11.1	7.4	6.6
	Pour $d=0.25$	19.4	13.2	10.3



**Fig.III. 1.** Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque l'amplitude est optimisée pour n=10



**Fig.III. 2.** Facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation (optimisation par loi l'amplitude) pour n=16

Tableau III. 2. Pondérations des amplitudes

		Pondération					
		Pour n=10		Pour n=16		Pour n=20	
D N	d= $\lambda/8$	d= $\lambda/4$	d= $\lambda/8$	d= $\lambda/4$	d= $\lambda/8$	d= $\lambda/4$	
01	0.3671	0.2426	0.4428	0.1494	0.4569	0.1084	
02	0.1010	0.3454	0.1014	0.2332	0.1429	0.1520	
03	0.1405	0.3901	0.3154	0.3222	0.2348	0.1729	
04	0.4741	0.4400	0.5178	0.4218	0.6121	0.2537	
05	0.1126	0.4589	0.1310	0.5133	0.2329	0.3245	
06	0.1080	0.4596	0.4217	0.6054	0.2034	0.4005	
07	0.4712	0.4375	0.4426	0.6688	0.7481	0.4814	
08	0.1427	0.3864	0.3087	0.7150	0.2674	0.5728	
09	0.1007	0.3453	0.3144	0.7249	0.3540	0.6750	
10	0.3716	0.2410	0.4615	0.7037	0.5103	0.7561	
11			0.3848	0.6509	0.5626	0.8283	
12			0.1762	0.5676	0.2811	0.8621	
13			0.4853	0.4734	0.3641	0.8635	
14			0.3319	0.3611	0.6599	0.8126	
15			0.1006	0.2497	0.2619	0.7367	
16			0.4458	0.1400	0.2115	0.6386	
17					0.6068	0.5116	
18					0.2601	0.3657	
19					0.1103	0.2719	
20					0.4764	0.1744	

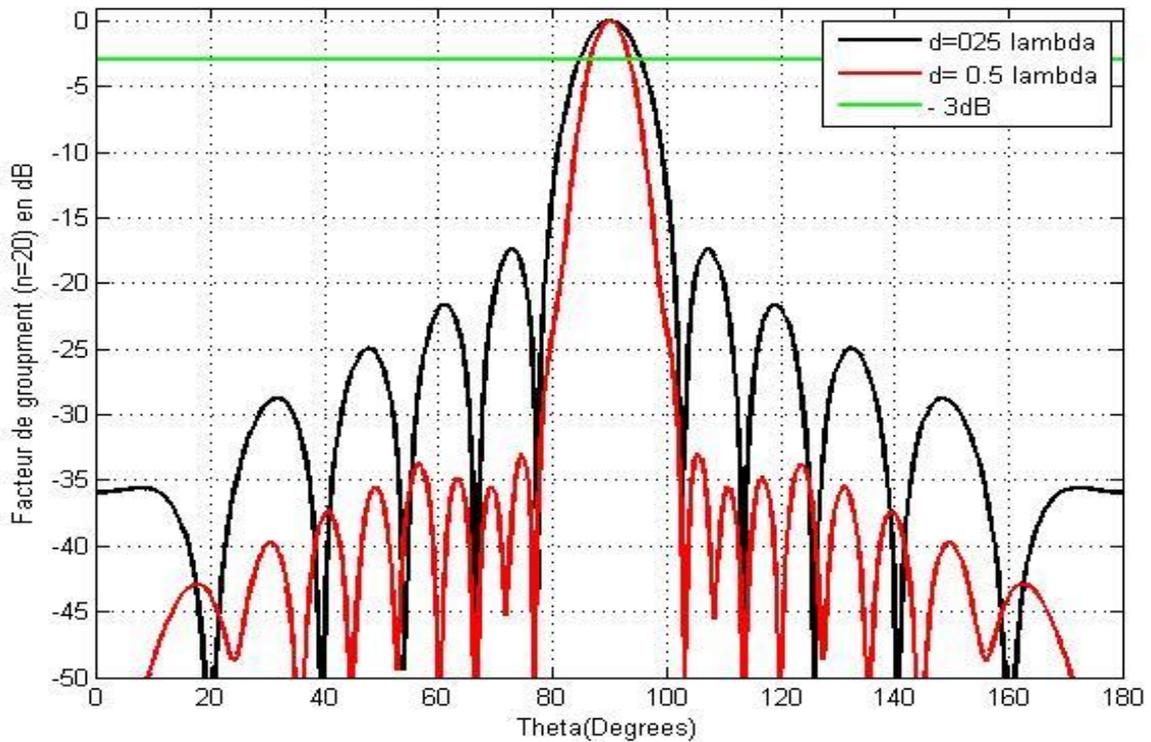
Le facteur de groupement optimisé d'un réseau à 16 éléments par la loi d'amplitude (pour de cas :  $d = \lambda/2$  et  $d = \lambda/4$ ) est illustré dans la figure III.2.

Le facteur de groupement optimisé d'un réseau à 20 éléments par la loi d'amplitude (pour deux cas :  $d = \lambda/2$  et  $d = \lambda/4$ ) est illustré dans la figure III.3.

Les pondérations des amplitudes trouvées par l'algorithme GWO pour les réseaux : 10, 16 et 20 éléments (pour deux cas :  $d = \lambda/2$  et  $d = \lambda/4$ ) sont données dans le tableau III.2.

D'après les figures III.1, III.2, III.3, et le tableau III.1, on remarque :

- L'augmentation de nombre d'éléments provoque l'augmentation de la déférence entre le niveau du lobe principal et le niveau des lobes secondaires. La déférence entre le niveau de lobe principal et le niveau des lobes secondaires est 17.4, 26 et 32.9 pour les antennes à 10, 16 et 20 éléments respectivement, pour inter-espacement de  $d=\lambda/2$ ). La déférence entre le niveau de lobe principal et le niveau des lobes secondaires est 14.5, 15.9 et 17.4 pour les antennes à 10, 16 et 20 éléments respectivement, pour inter-espacement de  $d=\lambda/4$ ).
- Plus le nombre d'éléments est grand, plus que la largeur à mi- puissance (PHBW) est plus petite, c'est-à-dire que le diagramme est plus directif. L'angle d'ouverture est 11.1, 7.4 et 6.6 pour les antennes à 10, 16 et 20 éléments respectivement, pour inter-espacement de  $d=\lambda/2$ ).
- L'angle d'ouverture est 19.4, 13.2 et 10.3 pour les antennes à 10, 16 et 20 éléments respectivement, pour inter-espacement de  $d=\lambda/4$ ).
- On remarque aussi que pour l'inter-espacement  $d= \lambda/2$ , le facteur de groupement est plus directif et la déférence entre le niveau du lobe principal et le niveau des lobes secondaires est grand en comparant avec ceux de facteur de groupement dans le cas où l'inter-espacement est  $d= \lambda/4$



**Fig.III. 3.** Facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation (optimisation par loi l'amplitude) pour  $n=20$

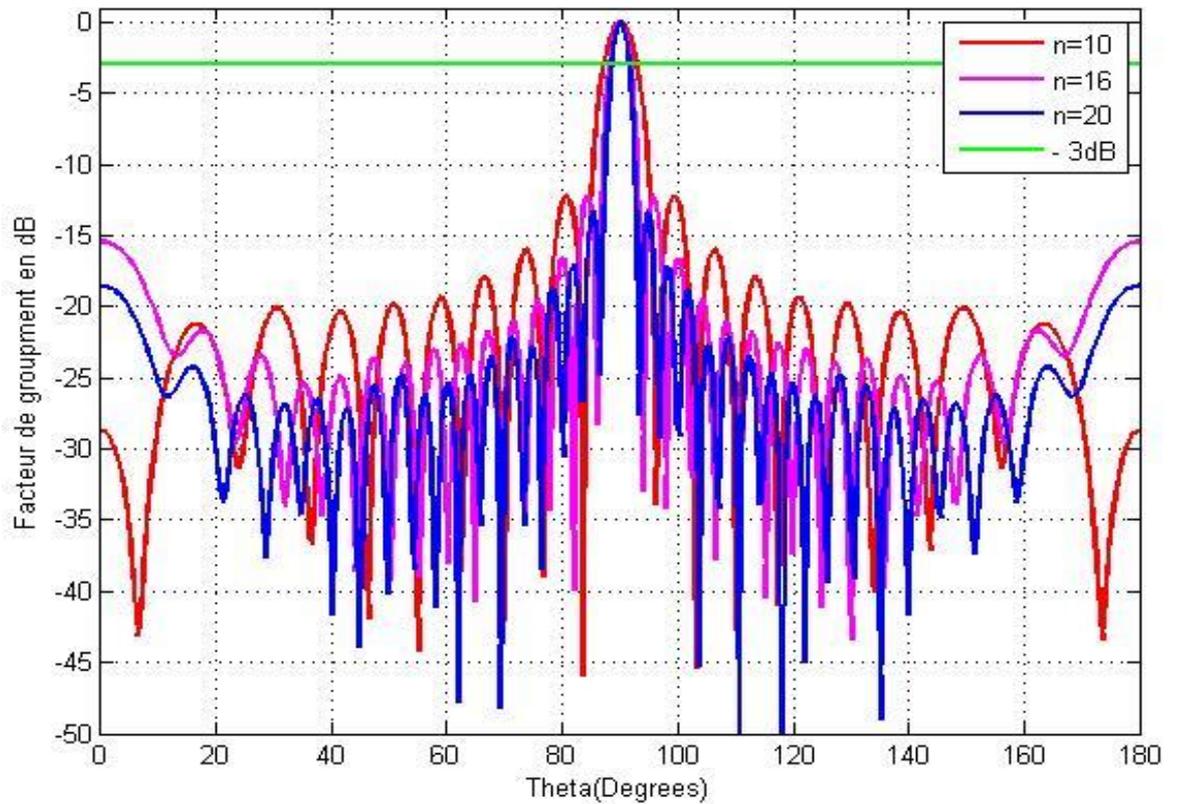
### III.2.2.2 Synthèse par la Loi d'Inter-Espacement

Dans ce cas, les mêmes réseaux précédents sont optimisés par la loi d'inter-espacement. Donc, le seul paramètre à optimiser est l'inter-espacement, les amplitudes sont prises uniformes, c'est les pondérations valent 1. Et les phases des alimentations sont prises nulles.

La figure III.4 présente la variation du facteur de groupement pour des réseaux d'antennes optimisés à 10, 16 et 20 éléments.

Le tableau III.3 présente les performances de deux paramètres niveau de Lobe Secondaire (SLL) et largeur à mi- puissance du Faisceau (HPBW) pour différents réseaux d'antennes ayant 10, 16 et 20 éléments.

Le tableau III.4, donne les inter-espacements obtenus par l'optimisation des antennes réseau de 10, 16 et 20 éléments respectivement par optimisation de la loi des inter-espacements en utilisant l'algorithme de GOW.



**Fig.III. 4.** Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élevation lorsque l'espacement est optimisé pour n=10, n=16 et n=20

Tableau III. 3. SLL et HPBW, optimisation par loi d'espacement pour différentes valeurs de n

Nombre d'éléments	N=10	N=16	N=20
SLL	-12,3	-12,3	-13,3
HPWB	2,9	3,7	5,8

D'après la fig III.4 et le tableau III.3, on constate que :

- L'augmentation de nombre d'éléments provoque une légère augmentation de la déférence entre le niveau du lobe principal et le niveau des lobes secondaires. La déférence entre le niveau de lobe principal et le niveau des lobes secondaires est -12,3, -12,3 et -13,3 respectivement pour les réseaux n=10, n=16 et n=20.
- pour les antennes à 10, 16 et 20 éléments respectivement,

Plus le nombre d'éléments est grand, plus que la largeur à mi- puissance (PHBW) est plus petite, c'est-à-dire que le diagramme est plus directif. L'angle d'ouverture est 2,9, 3.7 et 5.8 pour les antennes à 10, 16 et 20 éléments respectivement

**Tableau III. 4.** Les inter-espacements de 10, 16 et 20 éléments respectivement

n	n=10	n=16	n=20
01	0	0	0,4086
02	0.4890	0.4848	0.7980
03	0.7588	0.7608	0.7954
04	0.8346	0.8436	0.8127
05	0.8668	0.8805	0.8457
06	0.8785	0.8920	0.8537
07	0.8812	0.9032	0.8484
08	0.8716	0.9031	0.7942
09	0.8590	0.8960	0.7158
10	0.7357	0.8848	0.7788
11		0.8511	0.8637
12		0.7390	0.9027
13		0.5920	0.9211
14		0.5646	0.9395
15		0.4938	0.9203
16		0.5159	0.9520
17			0.8991
18			0.9300
19			0.9018
20			0.7844

### III.3. Correction d'un réseau d'antenne linéaire

Il est nécessaire de prendre en compte les positions des éléments défectueux dans un réseau linéaire pour résoudre le problème de défaillance causé par certains éléments défectueux. Il existe donc deux situations distinctes, l'une où les éléments défectueux sont symétriques c'est-à-dire que chaque élément défectueux présente également une symétrie défectueuse, et une autre où cela est où ce n'est pas le cas.

#### III.3.1 Correction d'un réseau quelconque (non symétrique)

La correction du facteur de groupement d'un réseau linéaire défectueux quelconque implique une optimisation minutieuse des paramètres du réseau, en tenant compte de la possibilité de déplacer les éléments et en ajustant les amplitudes et les phases pour minimiser l'écart entre le facteur de groupement actuel et le facteur désiré.

La correction d'un réseau défectueux (correction de facteur de groupement) consiste à minimiser la fonction d'erreur suivante :

$$\text{Fitness} = \sum_{j=1}^M (AF(\theta_j) - f_d(\theta_j))^2 \quad (\text{III.4})$$

Où :

$\theta_j$  : est l'angle discrétisé,

$M$  : est le nombre de points de discrétisation,

L'angle  $\theta_j$  est discrétisé en  $M$  points selon la formule :

$$\theta_j = j \cdot \frac{\theta_{max} - \theta_{min}}{\Delta\theta} \quad (\text{III.5})$$

Où :

$j=1, 2, \dots, M$ . Ici,  $\Delta\theta$  est le pas de discrétisation, c'est-à-dire l'intervalle entre deux valeurs successives de  $\theta_j$ .

$AF(\theta_j)$  : est calculé à partir de l'équation III.1, qui décrit le facteur de groupement en fonction des paramètres actuels du réseau, incluant les amplitudes, les phases, et les positions des éléments.

$Fd(\theta_j)$  est le facteur de groupement que l'on souhaite obtenir, souvent représenté par une fonction gaussienne ou une autre distribution cible, comme donné par l'équation III.3.

Il est possible de corriger le facteur de groupement en réduisant le nombre d'éléments, c'est-à-dire en tenant compte uniquement des éléments non défectueux. Cela offre l'opportunité d'avoir un réseau neuf avec un nombre d'éléments non défectueux. Ainsi, la résolution du problème consiste à réduire la fonction fitness (équation III.4) en utilisant ce facteur de groupement :

$$AF = \sum_{i=1}^N I_i e^{j(kx_i \sin\theta - \Psi_i)} \quad (\text{III.6})$$

Où :

Le nombre d'antennes non défectueuses est représenté par N (N = nombre d'antennes total - nombre d'antennes défectueuses).

Ainsi, on réduit la fonction d'erreur (équation III.4) en utilisant les pondérations des amplitudes, des phases et/ou des inter-espacements (fonction de la situation).

### III.3.1.1 Correction d'un réseau quelconque à 10 éléments par loi d'amplitude

On considère un réseau d'antennes linéaires quelconque composé de n antennes, placées le long de l'axe des x comme le montre la figure III. 5.

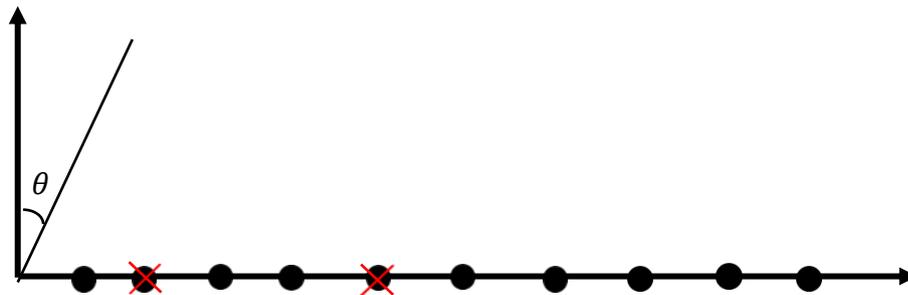


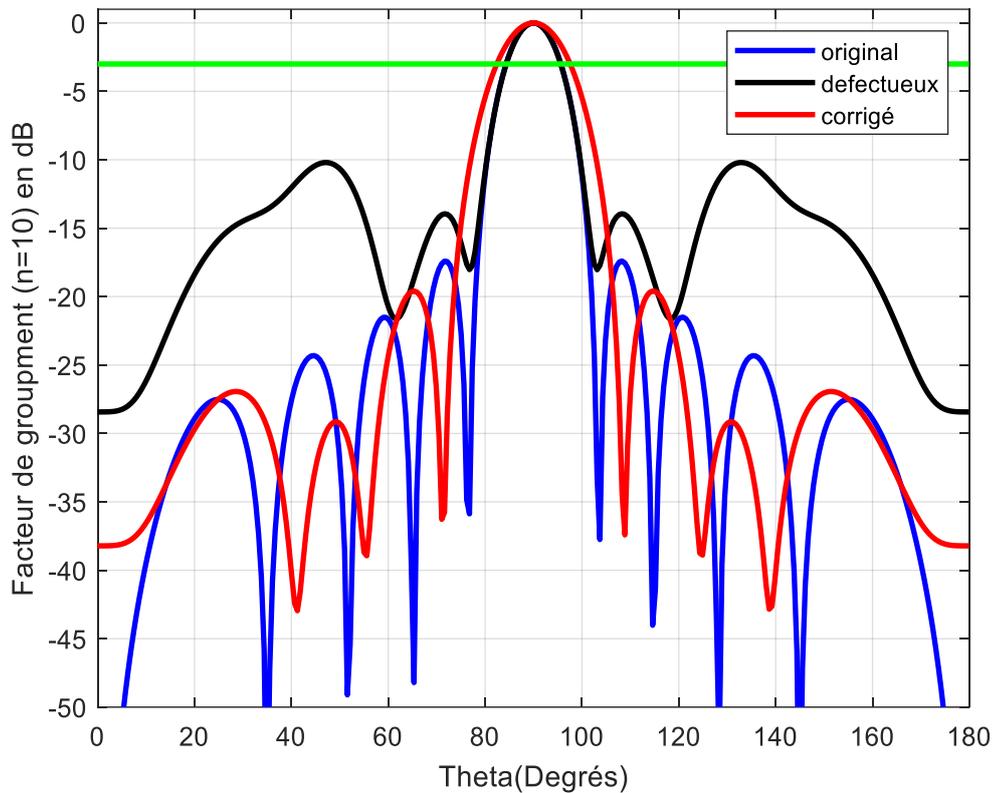
Fig.III. 5. Réseau d'antennes linéaire quelconque défectueux

Les paramètres de programme :

- Les nombre des antennes (éléments)  $n=10$
- Le nombre d'itération  $N=1000$
- L'antenne endommagée est en position 2 et 5 (j, u) dans le réseau.
- L'inter espacement uniforme  $d= 0,5$

On se pose Lors de la panne de l'antenne en position (2 et 5) dans notre simulation, nous effectuons cela en ajustant l'excitation d'amplitude de l'élément défaillant à zéro dans les excitations d'amplitude du diagramme initial. Dans cette situation, il a été supposé que la phase d'excitation de tous les éléments est nulle, ce qui entraîne un degré de liberté appelé l'excitation de l'ampleur.

Le diagramme correspondant est illustré dans la figure III. 6.



**Fig.III. 6.** Facteurs des groupements original, défectueux et corrigée d'un réseau quelconque à 10 éléments (loi d'amplitude)

**Tableau III. 5.** Niveaux des lobes secondaires des réseaux : original, défectueux et corrigé à 10 éléments (loi d'amplitude)

Facteur de groupement	Original	Défectueux	Corrigé
SLL	-17.4	-10	-19
HPWB	11.1	11.1	14.9

Le tableau III.5 présente les performances de deux paramètres niveau de Lobe Secondaire (SLL) et largeur à mi- puissance du Faisceau (HPBW).

Conformément à la figure III.6 ainsi qu'aux tableaux III.5, il est démontré que :

➤ **Facteur de groupement défectueux**

La panne des antennes en positions 2 et 5 entraîne une dégradation des performances, avec :

SLL passe de -17.4 dB à -10 dB.

HPWB garde la même valeur 11.1 degrés.

➤ **Facteur de groupement Corrigé**

**Amélioration après Correction** : Après correction, le SLL atteint -19 dB, mais HPWB passe de 11.1 degrés à 14.9. On constate diminution de la directivité.

On ce qui concerne les amplitudes sont plus petites que les originales, ce qui entraîne une réduction de l'énergie.

**Tableau III. 6.** Pondérations des amplitudes : originales et corrigées et défectueux d'un réseau quelconque à 10 éléments

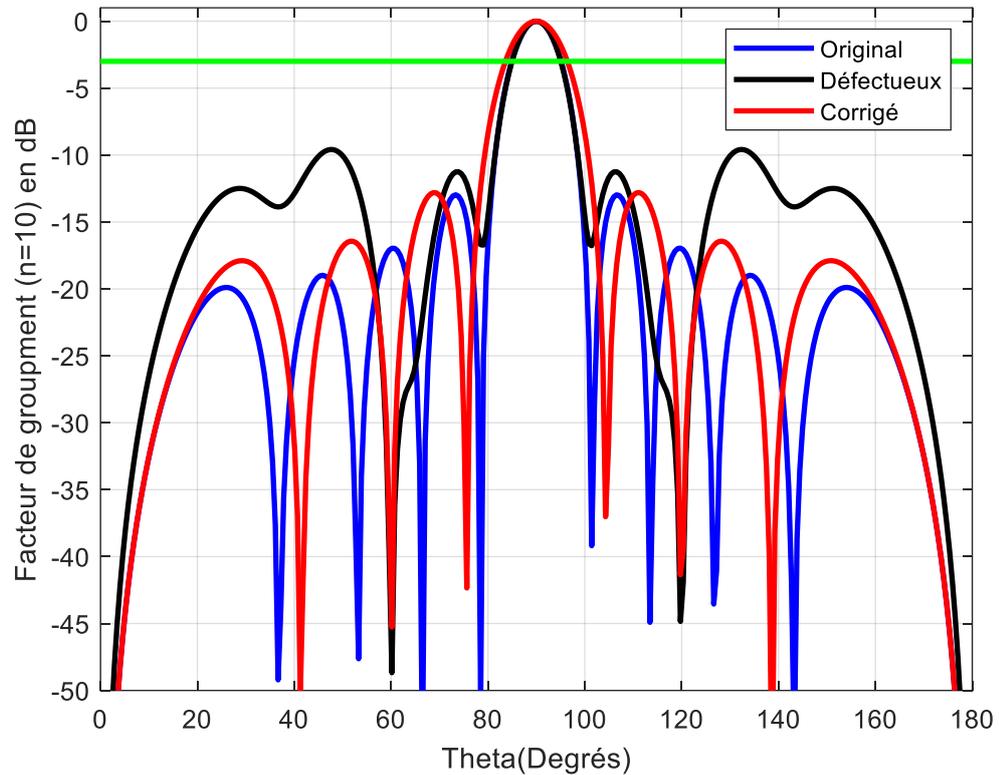
Position des antennes	Original	Défectueux	Corrigé
01	0.2426	0.2426	0.343
02	0.3454	0	0.6567
03	0.3901	0.3901	0.9172
04	0.4400	0.4400	0.9994
05	0.4589	0	0.9993
06	0.4596	0.4596	0.9746
07	0.4375	0.4375	0.7478
08	0.3864	0.3864	0.4518
09	0.3453	0.3453	Pas d'élément
10	0.2410	0.2410	Pas d'élément

### III.3.1.2 Correction d'un réseau quelconque à 10 éléments par la loi de la phase

On considère le même réseau du cas précédent avec les paramètres suivants :

- Nombre d'antennes (éléments): 10
- Nombre d'itérations: 1000
- Antennes défectueuses: Positions 2 et 5
- Espacement uniforme :  $d=0,5$ .

Le tableau III.8 présente les phases des excitations pour les antennes dans un réseau d'antennes de 10 éléments, dans trois états : original, défectueux et corrigé.



**Fig.III. 7.** Facteurs des groupements original, défectueux et corrigée d'un réseau quelconque à 10 éléments (loi de phase)

Le diagramme correspondant est illustré dans la figure III. 7

Le tableau III.7 présente les performances de deux paramètres niveau de Lobe Secondaire (SLL) et largeur à mi- puissance du Faisceau (HPBW).

**Tableau III. 7.** Niveaux des lobes secondaires des réseaux : original, défectueux et corrigé (loi de phase)

Facteur de groupement	Original	Défectueux	Corrigé
SLL	-13	-9.3	-12.7
HPWB	10.3	10.3	13.2

**Tableau III. 8.** Les phases d'excitation : originales et corrigées et défectueux d'un réseau quelconque (par réduction)

Position des antennes	Original	Défectueux	Corrige
01	2.5256	2.5256	2.2249
02	2.5247	0	2.2247
03	2.5260	2.5260	2.2250
04	2.5270	2.5270	2.2254
05	2.5253	0	2.2243
06	2.5262	2.5262	2.2248
07	2.5248	2.5248	2.2244
08	2.5244	2.5244	2.2233
09	2.5243	2.5243	Pas d'élément
10	2.5240	2.5240	Pas d'élément

En examinant la figure III.4 ainsi que le tableau III.3, nous notons que :

- Le niveau de lobe secondaire de facteur corrigée présenté une amélioration significative SLL (-12.7), par rapport à ce deux facteur défectueux SLL (-9.3).
- On constate une augmentation significative de la HPWB après correction, passant de 10.3 à 13.2 degrés. Cela signifie que l'antenne corrigée présente un faisceau plus large.

### III.3.2 Correction d'un réseau symétrique

Un réseau d'antennes symétrique est un ensemble d'antennes élémentaires disposées de manière symétrique autour d'un point central. Chaque deux élément symétrique possédant la même excitation.

La correction d'un réseau d'antennes linéaire symétrique par l'algorithme de Gray Wolf consiste à optimiser les paramètres de l'antenne en utilisant le comportement de chasse des loups gris. Les loups gris sont connus pour leur hiérarchie sociale et leur comportement de chasse coopératif.

Pour un réseau linéaire composé de 20 éléments placés symétriquement par rapport à l'origine et alimentés adéquatement, Si l'élément tombe en panne, le facteur de groupement pour ce réseau d'antennes peut être exprimé par l'équation suivante :

$$AF = 2 * \sum_{i=-n}^N w_i \cos((ky_i \cos\theta + \Psi_i)) \quad (\text{III.7})$$

Où :

$w_i$  Est la pondération de l'amplitude pour l'élément  $i$ ,

$k$  est le nombre d'onde, donné par  $k=2\pi/\lambda$

$d$  est la distance entre les éléments du réseau,

$\theta$  : est l'angle de radiation,

$\psi_i$  : est la phase de l'élément  $i$ ,

$n$  : est le nombre d'éléments de chaque côté de l'origine

### III.3.2.1 Correction d'un réseau symétrique par la loi d'amplitude

Dans cette situation, on va poser que :

- Les nombre des antennes (éléments)  $2*n=20$
- Le nombre d'itération  $N=1000$
- L'antenne endommagée est en position (-2, -5, 2 et 5) dans le réseau
- L'inter espacement uniforme  $d= 0,5 \lambda$

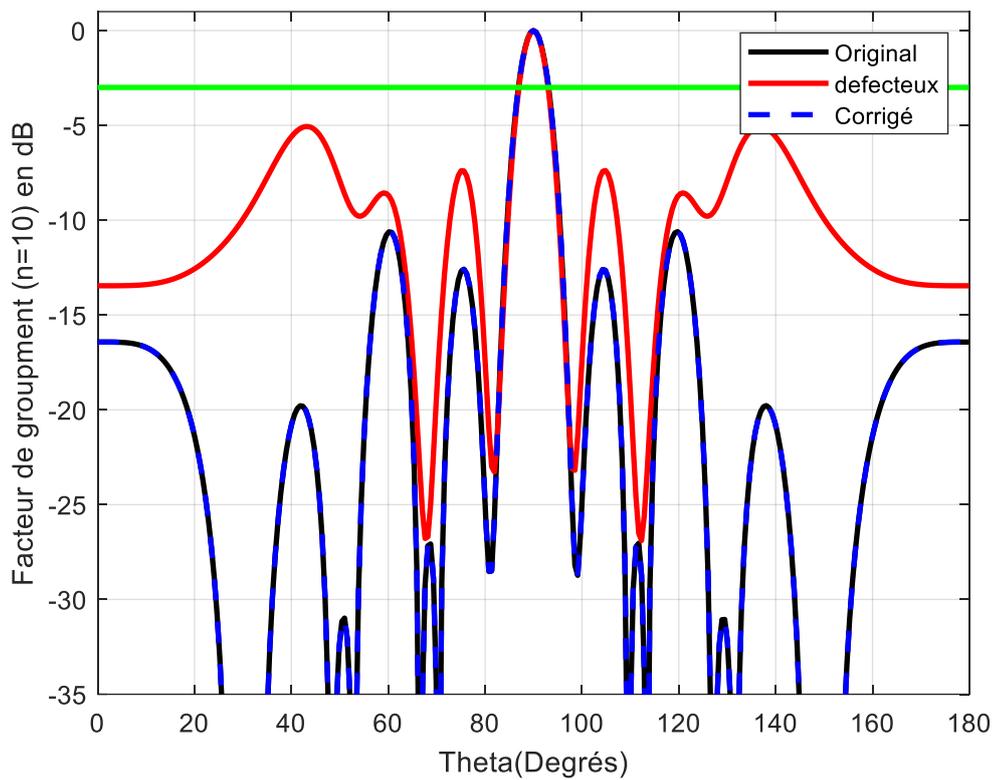
Le diagramme correspondant est illustré dans la figure III. 8.

Le tableau III.9 présente les performances de deux paramètres niveau de Lobe Secondaire (SLL) et largeur à mi- puissance du Faisceau (HPBW).

À partir de la figure III.8 et du tableau III.9, on observe que :

L'angle d'ouverture est la même pour les trois facteurs originale et corrigé et défectueux. Par contre, ce qui concerne le niveau des lobes secondaires pour le facteur

défectueux est important. Mais les facteurs, original et défectueux ont le même niveau. Donc la correction a mené le même facteur original.



**Fig.III. 8.** Facteurs des groupements original, défectueux et corrigée d'un réseau symétrique à 20 éléments

**Tableau III. 9.** Niveaux des lobes secondaires des réseaux : original, défectueux et corrigé d'un réseau symétriques à 20 éléments

Facteur de groupement	Original	Défectueux	Corrigé
SLL(dB)	-11	-5	-11
HPWB (degrés)	6.02	6.02	6.02

**Tableau III. 10.** Pondérations des amplitudes : originales et corrigées et défectueux d'un réseau symétrique

Position des antennes	Original	Défectueux	Corrige
01(-1)	0.9606	0.9606	0.5988
02(-2)	0.9697	0	0
03(-3)	0.6185	0.6185	0.1026
04(-4)	0.6060	0.6060	0.3007
05(-5)	0.8310	0	0
06(-6)	0.4240	0.4240	0.1141
07(-7)	0.2607	0.2607	0.1035
08(-8)	0.3803	0.3803	0.1567
09(-9)	0.9206	0.9206	0.2464
10(-10)	0.2696a	0.2696	0.1115

### III.4. Conclusion

La correction des défaillances dans les réseaux d'antennes linéaires est un domaine essentiel pour assurer la fiabilité et la performance des systèmes de communication et de radar. À travers notre étude, nous avons exploré deux approches distinctes pour atténuer les effets néfastes des défaillances sur ces réseaux.

La première approche repose sur l'ajustement simultané des amplitudes et des phases des signaux émis par les antennes, grâce à l'application de lois spécifiques. Cette méthode s'avère particulièrement efficace pour les réseaux d'antennes linéaires quelconques, permettant une correction précise des erreurs et une optimisation globale des performances du système.

D'autre part, la deuxième approche se concentre sur les réseaux d'antennes linéaires symétriques, en utilisant principalement la loi d'amplitude pour corriger les défaillances. Bien que moins complexe que la première méthode, elle offre néanmoins des gains significatifs en termes de résilience et de stabilité du réseau, particulièrement adaptée aux configurations symétriques où les variations d'amplitude sont prédominantes.

Nos résultats indiquent que ces stratégies de correction des défaillances sont efficaces pour améliorer la robustesse des réseaux d'antennes, assurant ainsi une transmission plus fiable

et précise des signaux. En intégrant ces techniques dans les systèmes de communication et de radar, il est possible de minimiser l'impact des défaillances, assurant ainsi une qualité de service optimale même dans des conditions adverses.

## *Conclusion générale*



## Conclusion générale

Ce projet de fin d'études a souligné l'importance des réseaux d'antennes linéaires dans les systèmes de communication modernes et la nécessité de méthodes robustes pour corriger les défaillances. Nous avons exploré l'algorithme d'optimisation de Loup Gris (GWO) pour cette tâche. Inspiré par le comportement des loups gris, le GWO ajuste les poids d'amplitude et la distribution de phase des éléments actifs pour restaurer les performances des réseaux défectueux. Les simulations montrent que le GWO compense efficacement les défaillances tout en maintenant la directivité et en réduisant les lobes secondaires, surpassant les méthodes traditionnelles en termes de simplicité et de performance.

Pour l'avenir, il serait pertinent d'explorer plusieurs pistes : utiliser le GWO pour minimiser le nombre d'éléments actifs nécessaires, implémenter le GWO sur des plateformes électroniques comme les circuits FPGA, appliquer le GWO à diverses configurations de réseaux d'antennes, et combiner le GWO avec d'autres algorithmes d'optimisation pour améliorer encore ses performances.

En conclusion, ce projet a démontré le potentiel du GWO pour corriger les défaillances des réseaux d'antennes linéaires, ouvrant la voie à de nombreuses améliorations et applications futures dans le domaine des télécommunications.

## Bibliographie

- [1] O. Barkat, Etude Et Synthèse Des Caractéristiques De Réseaux D'antennes Imprimées Supraconductrices Dans La Bande Millimétrique Thèse De Doctorat, Université De Constantine, 2009.
- [2] « Entreprise/Fr/Types-De Réseau-Sans-Fil/Thread » [En Ligne]. Available : [Http://Forum.Huawei.Com](http://Forum.Huawei.Com). 6/06/24
- [3] «Les-Antennes-Page-103.Htm,» [En Ligne]. Available: [Https://Www.Cairn-Science.Info](https://www.cairn-science.info).
- [4] J. D. Kraus, Antennas, Mcgraw-Hill Education, 1950. 6/06/24
- [5] A. Mith, The Evolution Of Radar Technology During World War Ii, Phd Dissertation, Stanford University, 2003.
- [6] C. Balanis, «Antenna Theory: Analysis And Design » 2016.
- [7] G. Carrie, Techniques D'antennes Adaptatives Pour Récepteurs De Radionavigation Par Satellite Résistants Aux Interférences, 12 Feb 2009.
- [8] E. Miller, "The History And Development Of Antenna Arrays, Phd Dissertation, Mit, 1978.
- [9] J.L.Allen, A Theoretical Limitation On The Formation Of Lossless Multiple Beams In Linear Arrays Ieee Trasaction On Antennas And Propagation, Juillet 1961.
- [10] J. Smith, The Development And Application Of Linear Antenna Arrays, Master's Thesis, University Of Illinois, 1975.
- [11] L.C.Godara, Smart Antennas, Jan 2004.
- [12] M. W. ., S. A.Basit, Cognitive Frequency Offset Calculation For Frequency Diverse Array Radar, International Bhurban Conferance On Applied Science And Technology, 2015.
- [13] R. Ghayoula, Synthèse De Diagramme De Rayonnement D'un Réseau D'antennes Linéaires Par La Méthode Dolph-Tchebycheff.
- [14] B. M. Boudiba Wissam, «Etude D'un Réseau D'antennes Linéaire Uniform Pour Les Sattelite De Communication,» 2008.
- [15] B. B. S. A. D. L. M. Fouzi Harrou, Synthèses Et Optimisation Des Réseaux D'antennes Imprimées Linéaires Par La Méthode De Minimax, Laboratoire De Modélisation Et Sûreté Des Systèmes (Lm2s).

- [16] B. A. Dehemchi Marwa, «Etude Et Analyse De Méthodes De Beamforming Pour Des Systèmes Multi-Utilisateurs Pour La 5g,» Guelma, Juillet 2019.
- [17] H. Hadjira, «Etude Des Algorithmes Performants Pour La Synthèse De Diagramme De Rayonnement Des Réseaux D'antennes,» 2019-2020.
- [18] A. E. Dor, «Perfectionnement Des Algorithmes D'optimisation Par Essaim Particulaire . Applications En Segmentation D'images Et En Electronique,» 2012.
- [19] D. Pozar, «Microwave Engineering,» 2011.
- [20] C. Paul, «Introduction To Electromagnetic Compatibility,» 2006.
- [21] L. Chen, «Microwave Electronics : Measurement And Materials Characterization,» 2004.
- [22] K. Kaiser, «Electromagnetic Compatibility Handbook,» 2004.
- [23] J. Kraus, «Antenna For All Application,» 2002.
- [24] G. Walker, «Service Distruption In Critical Communication Networks,» Critical Infrastructure Protection., 2019.
- [25] A. Zander.J, Radio Ressource Management For Wireless Networks. 2013.
- [26] E. Clark, Data Loss In Wireless Communication Network, Ieee Transactions On Information Forensics And Security, 2021.
- [27] L. Nora, Etude Et Optimisation Des Réseaux D'antennes Imprimées , Thèse Doctorat, 2021.
- [28] H. B. M. T. M. Maamri, The Use Of Grey Wolf Optimizer (Gwo) For Solving The Economic Dispatch Problems Based On Renewable Energy In Algeria A Case Study Of "Naama Site" ", Przegląd Elektrotechniczny, Issn 0033-2097, 2019.
- [29] P. K. S. B. D. Guha, Load Frequency Control Of Large Scale Power System Using Quasi-Optpositional Grey Wolf Optimization Algorithm.
- [30] S. S. S. G. E. E. N. Jayakumar, Grey Wolf Optimization For Combined Heat And Power Dispatch With Cogeneration Systems, 2015.
- [31] S. M. A. L. S.A. Mirjalili, Grey Wolf Optimizer, 2013.
- [32] A. M. N. Z. B. S. A.B. Sultana, Grey Wolf Optimizer Based Placement And Sizing Of Multiple Distributed Generation In The Distribution System, 2016.
- [33] T. R. B. A. P. S. T. Jayabarathi, Economic Dispatch Using Hybrid Grey Wolf Optimizer, 2016.
- [34] P. S. & A. Kothari, Optimal Pattern Synthesis Of Linear Antenna Array Using Grey Wolf Optimization Algorithm", International Journal Of Antennas And Propagation, 2016.

- [35] C. S. B. Imane, « Correction Des Défaillances Des Réseaux D'antennes Linéaires Par L'algorithme De Grey Wolf,» Université Mohamed Boudiaf - M'sila, 2019/2020.
- [36] S. C. A. Sahoo, Multi-Objective Grey Wolf Optimizer For Improved Cervix Lesion Classification, 2017.
- [37] J. E. Smith, The Development And Application Of Linear Antenna Arrays, Master's Thesis, University Of Illinois, 1975.
- [38] N.Guellil, Etude Et Conception D'un Réseau D'antennes Beamforming A Base De La Matrice De Butler En Utilisant Ads Momentum, Thèse Magister. Université Ferhat.
- [39] G. H. Hang And T. I. Dayharsh, "Land-Mobile Radio Communication Channel, Ieee Trans. On Electromagnetic.