

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

**UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA**

**FACULTE DE Technologie**  
**DEPARTEMENT Electronique**  
**N° :**



**FILIÈRE : Electronique**  
**OPTION : Systèmes de télécommunication**

**Mémoire présenté pour l'obtention**  
**Du diplôme de Master Académique**

**Par :**

**ELBAGOR Abdellatif**  
**BOUGUERRA Imadeddine**

**THÈME**

**Correction des défaillances des réseaux d'antennes**  
**linéaires par un nombre réduit d'éléments**

**Soutenu devant le jury composé de :**

<b>Pr. MEZACHE Amar</b>	<b>Université M<sup>ed</sup> Boudiaf –M'sila</b>	<b>Président</b>
<b>Pr. OUDIRA Houcine</b>	<b>Université M<sup>ed</sup> Boudiaf –M'sila</b>	<b>Rapporteur</b>
<b>Dr. ZERDOUMI Zohra</b>	<b>Université M<sup>ed</sup> Boudiaf –M'sila</b>	<b>Examineur</b>

**Année universitaire : 2021 /2022**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

---

---

# Remerciements

---

Tout d'abord, nous remercions Dieu Tout-Puissant de nous aider, de nous donner force, patience et courage dans notre apprentissage.

Deuxièmement, nous tenons à remercier notre superviseur, le Pr.Oudira Houcine, pour ses précieux conseils et son aide tout au long du travail. Nos respects et notre gratitude vont également aux membres du jury qui nous ont fait l'honneur de juger ce travail.

Nous tenons également à remercier toute l'équipe du D'département d'Electronique, Université Mohamed Boudiaf, pour tous les conseils et encouragements que nous avons reçus dans ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier tous ceux qui ont contribué à la réussite de ce travail, ainsi que nos collègues de l'année 2021/2022.

---

---

# Dédicace

---

Au nom d'Allah, la louange de la miséricorde et de la miséricorde va à Allah Tout-Puissant. Je dédie cet humble travail au respect, à la reconnaissance et à la gratitude : merci à mes parents, sans le soutien et les conseils desquels mes réalisations n'auraient pas eu lieu, ils ont été derrière moi à chaque étape de ma vie, et je tiens à exprimer ma plus profonde gratitude à eux, il n'y a pas de mots pour décrire le respect que j'ai pour les bonnes choses qu'ils m'ont faites, apportées et données. A mon frère Sakai et à qui j'aime , à tous mes amis Rabah, Imad, Ahmed, nasreddin ELDAGA, Hichem, Idris, Ayoub, Aziz, Nouri et toutes les âmes proche

**ABDELLATIF**

---

---

# Dédicace

---

Au nom de Dieu, la miséricorde et la louange miséricordieuse vont à Allah Tout-Puissant. Je dédie cet humble travail au respect, à la reconnaissance et à la gratitude : A mes parents, sans leur soutien et leurs conseils, mes réalisations n'auraient pas eu lieu, ils ont été derrière moi à chaque étape de ma vie, je tiens à leur exprimer ma plus profonde gratitude, il n'y a pas de mots pour décrire mon respect car Les bonnes choses qu'ils ou elles font pour moi, apportez et donnez. A tout mes amis Belkacem, Lotfi, Mondir, marwan, yassine Zarrouk , Ayoub, hicham, nasreddin eldoga et tous mes proches.

**IMADEDLINE**

---

---

# Résumé

---

## Résumé :

Le problème du maintien de la directivité du faisceau principal et de la réduction de la SLL dans un réseau d'antennes défectueux est considéré dans ce travail comme un problème d'optimisation et résolu avec succès en utilisant la méthode de loups gris modifiée (MGWO). L'objectif de la méthode proposée était de fournir l'ensemble optimisé des alimentations (amplitudes et phases) des éléments non défectueux dans le réseau pour revenir ou rapprocher le facteur de groupement défectueux au diagramme souhaité. D'une façon générale, les résultats de la simulation numérique ont montré qu'un meilleur diagramme récupéré peut être atteint avec l'algorithme proposé. D'autre part, il faut souligner que la position de l'élément défectueux et le nombre des éléments en arrêt de fonctionnement ont un grand effet sur la correction. Si la position est proche au centre du réseau, la correction devient difficile. Il faut aussi indiquer que le nombre et les positions des éléments utilisés dans la correction sont aussi importants. En effet, il est plus avantageux de commencer avec un nombre réduit d'éléments puis l'augmenter graduellement jusqu'à l'obtention d'un nombre optimal qui permet d'éviter l'utilisation du nombre complet des éléments non défectueux.

**Mots Clés :** réseau d'antennes, optimisation, les loups gris synthèse, Niveau de lobes secondaires.

## Abstract:

The problem of maintaining the directivity of the main beam and SLL suppression in failed antenna array is considered as an optimization problem and solved successfully using MGWO. The task of the proposed method was to find the optimized set of the amplitude and phase excitations of the working elements in array to get the desired pattern. Overall, the numerical simulation results showed that a better recovered pattern can be achieved with the proposed algorithm. On the other hand, it should be pointed out that the positions of the faulty element and the number of elements out of operation have a great effect on the correction. If the position is close to the center of the array, the correction becomes

difficult. It should also be noted that the number and positions of the elements used in the correction are also important. Indeed, it is more advantageous to start with a reduced number of elements and then increase it gradually until an optimal number is obtained which makes it possible to avoid the use of the complete number of working elements.

**Keys words:** antenna array, optimization, gray wolves, synthesis, side lobes level

### ملخص :

تعتبر مشكلة الحفاظ على اتجاهية الحزمة الرئيسية وقمع SLL في صفيق الهوائي الفاشل مشكلة تحسين وتم حلها بنجاح باستخدام MGWO كانت مهمة الطريقة المقترحة هي العثور على المجموعة المثلى من السعة وإثارة الطور لعناصر العمل في المصفوفة للحصول على النمط المطلوب. بشكل عام ، أظهرت نتائج المحاكاة العددية أنه يمكن تحقيق نمط مسترجع أفضل باستخدام الخوارزمية المقترحة. من ناحية أخرى ، يجب الإشارة إلى أن مواضع العناصر المعيب وعدد العناصر الخارجة عن العملية لها تأثير كبير على التصحيح. إذا كان الموضع قريباً من مركز المصفوفة، يصبح التصحيح صعباً. وتجدر الإشارة أيضاً إلى أهمية عدد ومواقع العناصر المستخدمة في التصحيح. في الواقع، من الأفضل البدء بعدد مخفض من العناصر ثم زيادته تدريجياً حتى يتم الحصول على الرقم الأمثل مما يجعل من الممكن تجنب استخدام العدد الكامل لعناصر العمل.

**الكلمات الرئيسية:** صفيق الهوائي، التحسين، الذئب الرمادية، التركيب، مستوى الفصوص الجانبية.

---

# Listes des Tableaux

---

1.1	Quelques notations des paramètres d'antennes . . . . .	6
2.1	Résultats de de l'amplitude par rapport à la position des antennes . . . . .	34
2.2	Résultats de de d'Espacement par rapport à la position des antennes Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs de d'espacement pour les antennes . . . . .	36
2.3	Résultats de de phase par rapport à la position des antenne Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs de d'Espacement pour les antennes . . . . .	37
2.4	Résultats de de d'amplitude et phase par rapport à la position des antennes	38
2.5	Résultats espacement et phase par rapport à la position des antennes . . .	40
2.6	Résultats de Tous les paramètres (Amplitude Phase et Espacement) par rapport à la position des antennes . . . . .	41
3.1	Amplitudes originales et corrigés d'un réseau défectueux en (-5) . . . . .	49
3.2	Amplitudes originales et corrigés d'un réseau défectueux en (-2 et -6) . . .	50
3.3	Niveaux des lobes secondaires de réseau symétrique défectueux et corrigé	53
3.4	Les phases de l'excitation original, défectueux et corrigé d'un réseau . . .	54
3.5	Amplitudes de Chebyshev, défectueux et corrigé d'un réseau à 21 éléments par loi d'amplitude et phase . . . . .	57

---

# Listes des Figures

---

1.1	La forme de l'antenne d'émission . . . . .	5
1.2	La forme de l'antenne de réception [23] . . . . .	6
1.3	Régions du champ électromagnétiques autour d'une antenne . . . . .	7
1.4	Illustration de diagramme de rayonnement en 3D [27] . . . . .	9
1.5	Illustration de diagramme de rayonnement en coordonnées polaires [28]	9
1.6	Exemple de diagramme d'émission en dB, pour une antenne coordonnées cartésiennes [26] . . . . .	10
1.7	Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes	12
1.8	Ouverture mi- puissance [31] . . . . .	13
2.1	Configuration d'un réseau linéaire uniforme de N sources [34] . . . . .	21
2.2	Réseau plan MxN . . . . .	22
2.3	Réseau circulaire de N élément . . . . .	23
2.4	Hiérarchie du loup gris (la dominance diminue de haut en bas) [35] . .	24
2.5	Le comportement de chasse des loups gris :(A) suit la proie et son ap- proche (B-D) de la poursuite de la proie et de l'encerclement et de la harceler à la position constante et à l'attaque [37]. . . . .	26
2.6	Représentation 2D et 3D des vecteurs de position et leurs prochains em- placements possibles [38] . . . . .	28
2.7	mécanisme de positionnement de l'agent de recherche et de l'effet de ce qui le présente [16] . . . . .	29
2.8	Organigramme de l'algorithme d'optimisation du Loup Gris Modifié. . .	31
2.9	Structure d'un réseau d'antenne linéaire . . . . .	32
2.10	Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque L'amplitude est optimisée . . . . .	33
2.11	Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque d'Espacement est optimisé . . . . .	35
2.12	Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque de phase est optimisé. . . . .	37
2.13	Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque d'amplitude et phase est optimisé . . . . .	38

2.14	Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque D'espacement et phase est optimisé . . . . .	39
2.15	Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque de Tous les paramètres (Amplitude Phase et Espacement) est optimisé . . . . .	40
3.1	Réseau d'antennes linéaire . . . . .	44
3.2	Réseau symétrique d'un réseau d'antennes linéaire impair . . . . .	45
3.3	Réseau symétrique d'un réseau d'antennes linéaire pair . . . . .	45
3.4	Réseau d'antennes linéaire défectueux symétrique impair . . . . .	46
3.5	Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position d'élément défaillant à (-5) dans un réseau d'antennes de (17) éléments. . . . .	49
3.6	Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position d'élément défaillant à (-2,-6) dans un réseau d'antennes de(17) éléments. . . . .	51
3.7	Facteurs des groupements défectueux des différentes positions . . . . .	52
3.8	Niveau des lobes secondaires pour les différentes positions . . . . .	52
3.9	Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position d'élément défaillant à (-1) dans un réseau d'antennes de (15) éléments. . . . .	54
3.10	Facteurs de rayonnement, original, défectueux et corrigé (par loi d'amplitude et phase) pour un réseau symétrique à 15 éléments (élément endommagé est d'ordre -6) . . . . .	55
3.11	Facteur de groupement d'un réseau symétrique Original (Chebyshev), défectueux (-6 et -9) et corrigé par loi d'amplitude (un nombre réduit) .	56

---

# Liste des symboles

---

$\Theta$  : L'angle d'azimut

$\sigma$  : L'écart type

$\Theta_0, \varphi_0$  : sont les angles du faisceau principal

$d$  : est la distance entre les éléments

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

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

$G_0$  : Gain de l'antenne

$n$  : le nombre d'éléments

$N$  : nombre d'itération

$P_E$  : Puissance émise

$P_F$  : Puissance fournie à l'antenne

$P_R$  : Puissance reçue

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

$U$  unité d'angle solide

$Z_c$  impédance caractéristique

$Z_e$  d'impédance d'entrée

$\Gamma$  Le coefficient de réflexion

$D$  Le diamètre de la surface équivalente de l'antenne

$R$  La résistance ohmique

$R_r$  La résistance de rayonnement

$s$  Densité de puissance (watt par mètre carré)

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

$\omega$  L'amplitude

$k$  Le nombre d'onde

$a$  le rayon du réseau circulaire

## LISTE DES SYMBOLES

---

$\lambda$  Correspond a la longueur d'onde

$\Psi$  La phase

$\varphi$  Déphasage progressif

---

# Liste des Abréviations

---

**AF** : Array Factor (le facteur de groupement)

**dB** : Décibel

**F<sub>c</sub>** : fonction corrigé

**F<sub>d</sub>** : fonction désiré

**F<sub>0</sub>** : fonction d'origine

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

**MGWO** : Modified Grey Wolf Optimization (Optimisation du Loup Gris Modifiée)

**HPBW** : Half Power Beam Width

**SLL** : Side Lobe Level (les lobe secondaire)

---

# Sommaire

---

Remerciements	i
Dédicace	ii
Résumé	iv
Listes des Tables	vi
Listes des Figures	viii
Liste des symboles	ix
List of Abbreviations	xi
Introduction générale	1
<b>1 Généralités sur les antennes</b>	<b>3</b>
1 Introduction : . . . . .	3
2 Historique des antennes . . . . .	3
3 Définition . . . . .	5
3.1 L'antenne d'émission . . . . .	5
3.2 L'antenne de réception . . . . .	5
4 Caractéristique des antennes . . . . .	6
4.1 Caractéristique de rayonnement . . . . .	7
4.1.1 Propagation des ondes . . . . .	7
4.1.2 Diagramme de rayonnement . . . . .	7
4.1.3 Fonction caractéristique d'un rayonnement . . . . .	7
4.1.4 Paramètres caractéristiques du diagramme de rayonne- ment . . . . .	9
4.1.5 Directivité et gain d'une antenne . . . . .	10
4.1.6 Rendement d'une antenne . . . . .	11
4.1.7 Lobe principal, lobes secondaires et L'angle d'ouverture	12
4.2 Impédance d'entrée, résistance de rayonnement . . . . .	13
4.2.1 Adaptation d'une antenne . . . . .	14

5	Polarisation d'une antenne . . . . .	15
6	Classification de types d'antenne . . . . .	15
6.1	Les différents type d'antenne : . . . . .	16
7	Les réseaux d'antennes . . . . .	17
8	Conclusion . . . . .	18
<b>2</b>	<b>Optimisation d'un réseau d'antenne</b>	<b>19</b>
1	Introduction . . . . .	19
2	Les réseaux d'antennes . . . . .	19
2.1	Facteur de réseau . . . . .	20
2.2	Différentes types de réseau d'antenne . . . . .	20
2.2.1	Réseaux linéaires uniformes . . . . .	20
2.2.2	Réseaux plans . . . . .	22
2.2.3	Réseaux circulaires . . . . .	23
3	Recherche d'une méthode de synthèse . . . . .	23
3.1	Le choix de la méthode de synthèse . . . . .	24
4	La méthode de GWO (L'optimisation du loup gris) Optimisation modifiée du loup gris . . . . .	24
4.1	Principe de la méthode . . . . .	24
4.2	Opérateurs . . . . .	26
4.2.1	Hiérarchie sociale . . . . .	26
4.2.2	Encercler les proies . . . . .	27
4.2.3	Attaquer la proie . . . . .	28
4.2.4	La recherche de la proie (exploration) . . . . .	29
4.3	Les étapes générales de l'algorithme GWO . . . . .	29
4.4	La méthode de GWO modifiée (MGWO) . . . . .	30
5	Procédure d'optimisation d'un réseau d'antenne linéaire . . . . .	32
6	Présentation des résultats de simulation . . . . .	33
6.1	Synthèse en amplitude seulement . . . . .	33
6.2	Synthèse d'Espacement seulement . . . . .	34
6.3	Synthèse en phase seulement . . . . .	35
6.4	Synthèse Amplitude et phase . . . . .	36
6.5	Synthèse espacement et phase . . . . .	37
6.6	Synthèse de Tous les paramètres . . . . .	38
7	Conclusion . . . . .	40
<b>3</b>	<b>Diagnostic et correction des défaillances des réseaux d'antennes linéaires</b>	<b>41</b>
1	Introduction . . . . .	41
2	Facteur de groupement d'un réseau linéaire . . . . .	42
3	Facteur de groupement d'un réseau linéaire défectueux . . . . .	43

3.1	Facteur de groupement d'un réseau linéaire défectueux symétrique impair . . . . .	43
4	Méthodologie de correction de facteur de groupement d'un réseau linéaire	44
5	Processus d'optimisation par la méthode du loups gris modifiée (MGWO)	44
5.1	Correction d'un réseau linéaire symétrique . . . . .	45
5.1.1	Correction par réduction de nombre d'antennes (élément rayonnants) . . . . .	45
5.1.2	Correction d'une façon symétrique par la loi d'excitation seulement . . . . .	45
6	Resultats et discussion . . . . .	46
6.1	Réseau symétrique . . . . .	46
6.2	Correction par loi d'amplitude . . . . .	46
6.3	Correction par lois de phase . . . . .	51
6.4	Correction par lois d'amplitude et phase . . . . .	53
7	Correction par un nombre réduit d'éléments . . . . .	54
8	Conclusion . . . . .	56
	<b>Conclusion générale et Perspectives</b>	<b>58</b>
	<b>Bibliographie</b>	<b>59</b>

---

# Introduction générale

---

Les systèmes de communication modernes utilisent des réseaux d'antennes pour améliorer leurs services, tels que les radars, les stations de base mobiles, les systèmes à entrées multiples et à sorties multiples (MIMO), la télédétection et les systèmes de nouvelle génération (5G et 6G) [1]. Le principe de fonctionnement des réseaux d'antennes est de considérer que tous les éléments rayonnants sont identiques (ou non) et que chaque élément (dans le réseau) possède le même diagramme de rayonnement (cas général). Le rayonnement global du réseau est le résultat de la somme vectoriel des ondes électromagnétiques des sources (des éléments).

Ceci sera aussi valable pour des inters-espacements qui permettent de négliger l'effet mutuel entre les éléments rayonnants [2]. Les éléments du réseau peuvent tomber en panne. Une défaillance élémentaire peut entraîner une corruption du modèle de puissance rayonnée [3]. Ces dommages comprend une réduction du gain de crête, une augmentation du niveau du lobe latéral (SLL), un changement dans la largeur du faisceau, changement des positions nulles et de leur niveau de profondeur [4, 5].

Avec l'énorme progrès dans le calcul numérique, la synthèse et l'optimisation des antennes sont faites de plus en plus avec des algorithmes inspirés de la nature [6,7]. Cela a considérablement amélioré les systèmes de communication sans fil utilisant des antennes intelligentes [2].

Ce travail a pour objectif l'étude, la synthèse et la correction des réseaux d'antennes par l'algorithme du loup gris modifié (MGWO). Les poids des amplitudes et la distribution de phase des éléments actifs dans un réseau défectueux sont réajustés. Ce dernier peut améliorer les niveaux des lobes secondaires (SLL) et également maintenir la directivité dans la direction préférée.

Le manuscrit comporte trois chapitres résumés comme suit :

Le premier chapitre est consacré à la description d'une façon générale, de l'essentiel de la théorie des antennes, leurs caractéristiques radioélectriques, les méthodes d'analyse, et les techniques les plus utilisées pour leur alimentation. Les avantages et les inconvénients de ces antennes ainsi que leurs domaines d'utilisation sont aussi évoqués dans ce chapitre.

Le deuxième chapitre donne une description détaillée d'un réseaux, linéaire suivie d'une description de l'algorithmes d'Optimisation du Loups Gris Modifié (Modified Grey Wolf Optimisation : MGWO) avec des exemples d'application de cet algorithme à des réseaux linéaires dans différents cas d'optimisation.

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

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

---

# GÉNÉRALITÉS SUR LES ANTENNES

---

## 1 Introduction :

Les possibilités offertes par la propagation des ondes électromagnétiques dans le milieu naturel sont utilisées à de nombreuses fins : radio, télévision, radar, télécommunications, radio navigation... Dans cette optique, l'antenne est l'outil indispensable à l'émission et à la réception des ondes. Ce dernier est un dispositif utilisé pour rayonner le champ électromagnétique dans l'espace ou pour le capter. Le chapitre 1 de notre travail est consacré à présenter dans le cas général la description d'une antenne, son principe de fonctionnement.

Nous décrirons aussi ces différentes caractéristiques ainsi que les différentes grandeurs associées comme le gain et la directivité. Par la suite, les différentes reconfigurations possibles pour une antenne active seront présentées.

## 2 Historique des antennes

La possibilité d'une transmission sans fil à longue portée de signaux électriques a été entrevu après que Michael Faraday ait démontré le phénomène d'induction en (1831). Ainsi, dans une certaine mesure, la bobine qui sera le cadre peut être considérée comme la première antenne. Cependant, ce n'est pas encore un vrai problème de propagation et il faudra attendre les expériences de Heinrich Hertz (1887) pour confirmer la théorie de James Clerk Maxwell (1873), selon laquelle les champs électriques et magnétiques se propagent comme des ondes comme la lumière. Doubles pics de recombinaison électrique, Hertz a généré et détecté avec succès des ondes décimétriques. Nous avons remarqué l'existence de réflecteurs paraboliques, comme en optique, pour focaliser le rayonnement. En fait, il se situe du côté de l'onde kilométrique, et Guglielmo Marconi a franchi le pas décisif dans la télégraphie sans fil, au début, un simple fil était attaché au cerf-volant. La première liaison transatlantique a eu lieu en (1901). Bientôt, les possibilités offertes par la triode, inventée par Lee De Forest en 1906, rendent possibles les liaisons téléphoniques longue distance. La première liaison Trans pacifique entre les États-Unis et le Japon a eu lieu en 1915, avec un relais à Honolulu. Jusqu'à la fin de la Première Guerre mondiale, les antennes étaient encore entièrement constituées de fils ou de réseaux de fils posés au sol, suspendus aux plus hauts supports

disponibles - la tour Eiffel, etc. - tendus entre les superstructures des navires, déroulés depuis les avions jusqu'en 1920, selon la théorie d'Arnold Sommerfeld, l'idée a persisté que seules les ondes longues pouvaient se connecter au-delà de l'horizon par diffraction de la surface de la Terre. Les radioamateurs, qui sont classés en ondes de dix mètres, ont montré que cette connexion de ces ondes est possible en exploitant leurs réflexions sur l'ionosphère. Pour de telles longueurs d'onde, des dimensions raisonnables de l'antenne permettent une évolution de la structure dont le but fondamental est d'augmenter la directivité et donc d'accueillir des puissances d'émission plus faibles. Parallèlement, des tours de transmission pour la diffusion IF sont en cours de développement, tandis que les récepteurs correspondants sont équipés de châssis simples. Avec l'avènement de la Seconde Guerre mondiale, le radar fait son apparition, notamment grâce à la découverte d'un nouveau tube de puissance, le magnétron (1940). Ainsi, la possibilité d'obtenir des antennes très directives dans l'ionosphère et la troposphère, des conditions de propagation favorables font des micro-ondes un médium très adapté à de nombreuses situations : liaisons pour l'observation directe des faisceaux radio (1945), au-dessus de l'horizon pour la diffusion troposphérique Link (1950), radioastronomie, technologie spatiale (1960). Ce dernier connaît une évolution étonnante. En plus de la rediffusion des signaux de télévision et des communications téléphoniques, des aides à la navigation, des prévisions météorologiques et des recherches de ressources naturelles ont été ajoutées pour adhérer à l'aspect civil. La structure de l'antenne est directement inspirée de l'optique : utilisation systématique de réflecteurs simples ou composés, de lentilles, etc. Les dimensions peuvent varier considérablement en fonction de l'application. Si le réflecteur du radar aéroporté fait une dizaine de centimètres de diamètre, l'interféromètre radio peut atteindre une centaine de mètres, renouant ainsi avec la taille même de l'antenne filaire au début de la T.S.F. Parallèlement aux antennes quasi-optiques se développe des réseaux d'antennes constitués de centaines voire de milliers de petites antennes identiques. La commande individuelle de celles-ci procure une grande souplesse d'utilisation, notamment le balayage électronique qui permet de modifier la direction de rayonnement – ou de réception – d'une antenne immobile. Il convient enfin de signaler le rôle croissant des antennes dites synthétiques. Celles-ci sont constituées par une antenne mobile [8].

### 3 Définition

Les antennes sont utilisées pour les communications longue distance, et en radioélectricité, une antenne est un dispositif qui assure le transfert d'énergie entre les ondes se propageant dans l'espace libre et les lignes de transport d'énergie [9].

#### 3.1 L'antenne d'émission

Antenneémettrice : son rôle est de convertir la puissance électromagnétique guidée du générateur en puissance rayonnée. En ce sens, c'est un transducteur [10].



FIG 1.1 – La forme de l'antenne d'émission

#### 3.2 L'antenne de réception

Au lieu de cela, la puissance rayonnée peut être captée par l'antenne de réception, dans le sens où l'antenne se comporte comme un capteur et un transformateur qui convertit la puissance rayonnée en puissance électromagnétique dirigée.

Les antennes ont une propriété appelée réciprocité, c'est-à-dire que l'antenne peut être utilisée pour recevoir ou transmettre avec les mêmes propriétés de rayonnement. Il n'y aura pratiquement aucune différence dans le rayonnement émis ou reçu par l'antenne.

L'antenne de masse qui sera annoncée sera utilisée dans deux modes de fonctionnement [11]. L'antenne a plusieurs fonctions, principalement :

- Permet une bonne adaptation entre équipement radio et support de propagation.
- Assurez-vous que l'énergie est transmise ou reçue dans la direction préférée.
- Ransmettre les informations le plus précisément possible.



FIG 1.2 – La forme de l'antenne de réception [12]

## 4 Caractéristique des antennes

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

Les performances de l'antenne peuvent alors être évaluée à partir de ses paramètres, qui sont ce qui suit présente [13].

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

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

TABEAU 1.1 – Quelques notations des paramètres d'antennes

## 4.1 Caractéristique de rayonnement

### 4.1.1 Propagation des ondes

Lorsque le point d'observation est éloigné de la source et se propage dans l'espace libre, à quel point le front d'onde sphérique initial peut être considéré comme local figure 1.3 [13].

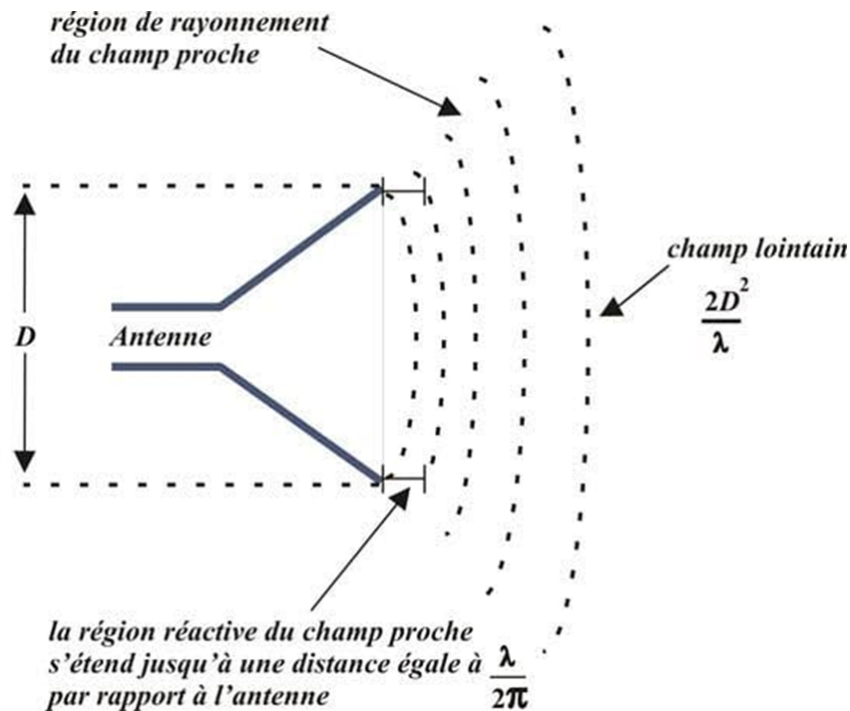


FIG 1.3 – Régions du champ électromagnétique autour d'une antenne

### 4.1.2 Diagramme de rayonnement

C'est un diagramme qui représente les variations de la puissance que rayonne l'antenne par unité d'angle solide dans les différentes directions [14].

### 4.1.3 Fonction caractéristique d'un rayonnement

Considérons une antenne de centre géométrique  $O$  dans le système. Soit  $P(\theta, \varphi)$  la puissance rayonnée par l'antenne par stéradian autour de la direction  $\Delta(\theta, \varphi)$ . Sauf dans le cas de certaines antennes omnidirectionnelles planaires, il existe également une direction spatiale  $\Delta_0(\theta_0, \varphi_0)$  [14]. On définit la fonction caractéristique de rayonnement de l'antenne par :

$$r(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_0(\theta_0, \varphi_0)} \quad (1.1)$$

Des fois elle est notée :

$$K_n(\theta, \varphi) = \frac{K(\theta, \varphi)}{K_{\max}} = F_a^2(\theta, \varphi) \quad (1.2)$$

Sa valeur dépend de la direction  $\Delta$  considérée et varie entre 0 et 1.

D'après les équations (1.1) et (1.2), on aura la fonction caractéristique en champ

Donnée par :

$$\sqrt{r(\theta, \varphi)} = \frac{E(R_0, \theta, \varphi)}{E_{\max}(R_0)} = F_a(\theta, \varphi) \quad (1.3)$$

L'échelle utilisée peut être en linéaire (V/m) ou en logarithmique (dB), on rappelle :

$$10 \log K_n = 20 \log F_a \quad (1.4)$$

Pour les antennes LF et HF utilisées pour les liaisons terrestres, les diagrammes de rayonnement ne sont enregistrés que dans deux plans spécifiques :

- Dans le plan horizontal ( $\theta=90^\circ$ )
- Dans le plan vertical ( $\varphi = \text{cste}$ ), le diagramme d'antenne présente une symétrie intéressante.

Pour les antennes VHF et autres avec des champs E avec des directions de polarisation bien définies, les diagrammes de rayonnement sont enregistrés dans les plans  $\vec{E}$  et  $\vec{H}$ , qui sont définis par la direction du rayonnement maximal et la direction du champ  $\vec{E}$  ou  $\vec{H}$  [15].

**Remarque :**

En pratique, on mesure  $\{P(R, \theta, \varphi)/P_0(R, \theta, \varphi)\}$  par un wattmètre c'est une densité de puissance et  $\{E(R, \theta, \varphi)/E_0(R, \theta, \varphi)\}$  par un champ mètre. Les rapports ne sont égaux  $r(\theta, \varphi)$  et  $\sqrt{r(\theta, \varphi)}$  que si les ondes rayonnées sont sphériques [15].

On montre que les ondes sont sphériques si la plus contraignante des deux conditions suivantes est remplie :

$$R > \frac{2D^2}{\lambda} \text{ et } R > 10D \quad (1.5)$$

Où D est la dimension maximale de  $\lambda$  l'antenne, la longueur d'onde.

La première condition est plus restrictive si  $\frac{2D^2}{\lambda} > 10D$  d'où :  $D > 5$  Elles s'impose . Plutôt pour les antennes et réseaux utilisés aux fréquences  $> 300$  MHz ( $\lambda < 1$ m). Au contraire c'est la deuxième condition qui est la plus restrictive si  $D < 5$ .  $\lambda$ , elle s'impose plutôt pour les antennes et réseaux utilisé seaux fréquences  $f < 300$  MHz ( $\lambda > 1$ m).

#### 4.1.4 Paramètres caractéristiques du diagramme de rayonnement

Les antennes ne rayonnent pas la puissance uniformément dans toutes les directions (À l'exception des antennes omnidirectionnelles sur un plan horizontal). Habituellement, il existe une direction de rayonnement maximale, la majeure partie de la puissance de rayonnement est concentrée dans cette direction et une partie de la puissance restante est répartie autour de cette sous-direction de rayonnement. L'énergie rayonnée depuis cette direction est perdue. Il peut même rompre des liens situés dans d'autres directions. Il faut donc affiner le lobe primaire de rayonnement et réduire au minimum le niveau du lobe secondaire [15].

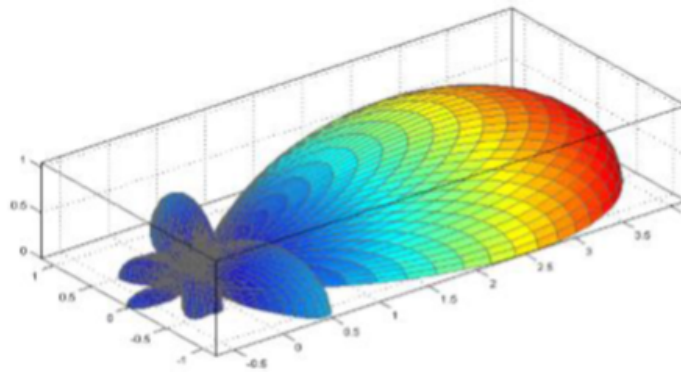


FIG 1.4 – Illustration de diagramme de rayonnement en 3D [16]

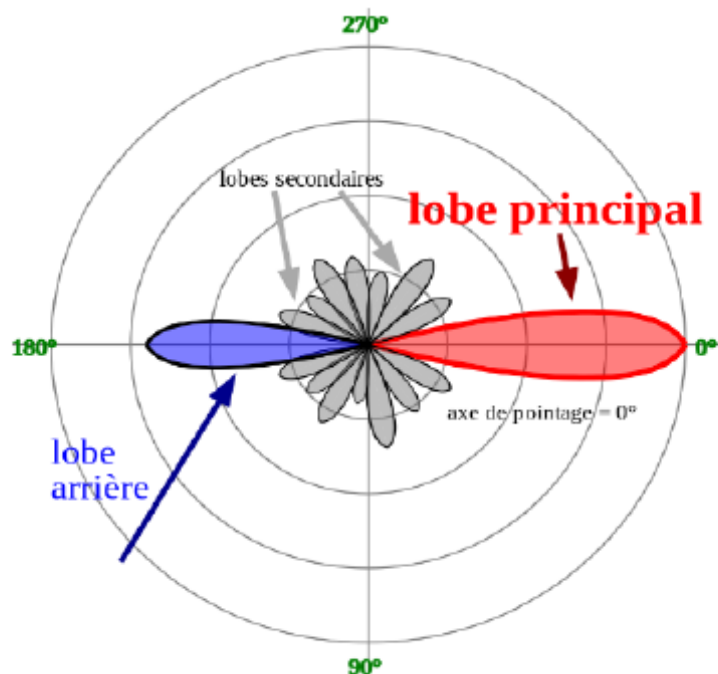


FIG 1.5 – Illustration de diagramme de rayonnement en coordonnées polaires [17]

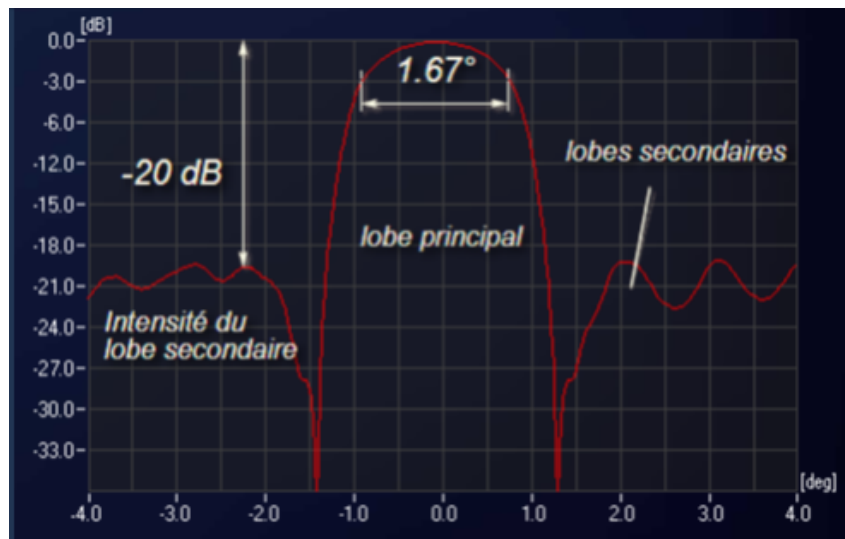


FIG 1.6 – Exemple de diagramme d'émission en dB, pour une antenne coordonnées cartésiennes [15]

Sur le diagramme de rayonnement on distingue :

- Dans le lobe principal : L'angle d'ouverture à 3 dB est l'angle auquel la puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée dans la direction du rayonnement maximum, pour lequel le champ correspondant  $\left(\frac{1}{\sqrt{2}}\right)$  du champ rayonné est dans le sens du maximum. **Remarque :**  $\theta_{\text{HPBW}}$  ou  $\theta_{3 \text{ dB}}$  (largeur de faisceau à mi- puissance). Ceci est une fonctionnalité. Enregistrez l'angle du premier zéro par rapport à la direction du rayonnement maximal :  $\theta_{\text{BWFN}}$  (le premier zéro de la largeur du faisceau).
- Niveau N1 du premier lobe accessoire. Dans les télécommunications, ce niveau doit être inférieur à -20 dB par rapport à la valeur maximale du lobe principal (typiquement, le niveau de référence est de 0 dB).
- Le rapport avant/arrière, en général, doit être inférieur à -20 dB [15].

#### 4.1.5 Directivité et gain d'une antenne

Soit une antenne qui rayonne  $P(\theta, \varphi)$  dans la direction  $(\theta, \varphi)$ , soit  $P_a$  la puissance d'alimentation de cette antenne et  $P_r$  la puissance totale qu'elle rayonne. Nous avons :

$$P_r = \eta P \quad (1.6)$$

Où :  $\eta$  représente le rendement de l'antenne.

#### Définition

La directivité est le rapport de la puissance  $P(\theta, \varphi)$  à la puissance que rayonnerait la Source isotrope par unité d'angle solide, à condition que les puissances totales rayonnées

soient les mêmes.

$$D(\theta, \varphi) = \frac{P(\theta, \varphi)}{P_r / 4\pi} \quad (1.7)$$

$$P_r = \int \int_0^{4\pi} P(\theta, \varphi) d\Omega \quad (1.8)$$

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

Dans la direction de rayonnement maximal  $(\theta_0, \varphi_0)$

$$D(\theta_0, \varphi_0) = 4\pi \frac{P(\theta_0, \varphi_0)}{P_r} \quad (1.9)$$

Le gain de l'antenne dans une direction  $(\theta_0, \varphi_0)$  est le rapport de la puissance  $P(\theta, \varphi)$  à la puissance que rayonnerait la source isotrope par unité d'angle solide, à condition que les puissances d'alimentation soient les mêmes

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_a} \quad (1.10)$$

L'appellation gain d'une antenne, sans préciser la direction considérée est réservée au gain dans la direction de rayonnement maximal  $(\theta_0, \varphi_0)$ , il est noté  $G$ .

$$G = 4\pi \frac{P_0(\theta_0, \varphi_0)}{P_a}$$

$$G(dB) = 10 \log \left[ 4\pi \frac{P_0(\theta_0, \varphi_0)}{P_a} \right]$$

La relation entre gain et directivité est :

$$G = \eta D$$

Le rendement est aussi appelé efficacité de rayonnement notée  $\eta$ .

#### 4.1.6 Rendement d'une antenne

Le rendement d'une antenne est défini ainsi :

$$\eta = \frac{G(\mathbf{r}, \theta, \varphi)}{D(\mathbf{r}, \theta, \varphi)} = \frac{P_r}{P_F} (< 1) \quad (1.11)$$

Le gain en puissance dépend de la fréquence du signal émis. Il est très faible aux basses fréquences mais atteint des valeurs de 75% à 95% pour des fréquences supérieures à 1 MHz. On utilise surtout le gain maximal

$$G = \max[G(\theta, \varphi)] \quad (1.12)$$

Les plus grands gains sont obtenus avec des antennes paraboliques (20 à 60 dB) [18].

#### 4.1.7 Lobe principal, lobes secondaires et L'angle d'ouverture

Lobe principal, lobes secondaires et L'angle d'ouverture : L'angle d'ouverture est l'angle entre les deux directions du lobe principal La puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée direction du rayonnement maximal. La Figure I.7 montre un exemple de diagramme Rayonnement en coordonnées cartésiennes. L'angle  $\Delta\theta$  représente l'angle sur ce graphique L'angle d'ouverture est l'angle entre les deux directions du lobe principal La puissance rayonnée est égale à la moitié de la puissance rayonnée direction du rayonnement maximal. La Figure I.7 montre un exemple de diagramme Rayonnement en coordonnées cartésiennes. L'angle  $\Delta\theta$  représente l'angle sur ce graphique [19].

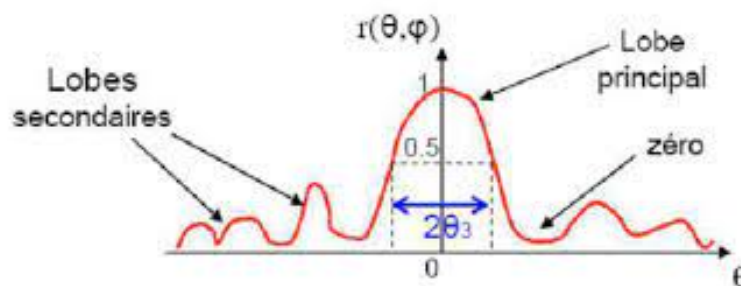


FIG 1.7 – Diagramme de rayonnement bidimensionnel en coordonnées cartésiennes

Généralement dans un plan donné, le diagramme de rayonnement d'une antenne directive comprend un lobe principal et des lobe secondaires qui sont indésirables. La plus grande partie de la puissance rayonnée est contenue dans un cône d'ouverture **HPBW** (Half Power Beam Wide) défini à mi- puissance, ce qui correspond à une chute de 3 dB par rapport à la puissance maximale ou à un champ max divisé par  $\sqrt{2}$  figure I.8 [13].

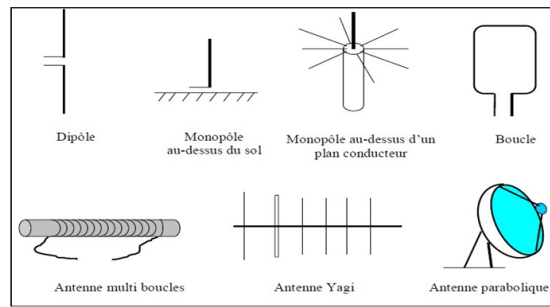


FIG 1.8 – Ouverture mi- puissance [20]

- **Un lobe principal :**

C'est le lobe de rayonnement contenant le maximum d'énergie et de direction Rayonnement maximal.

- **Un angle d'ouverture :**

C'est l'angle d'orientation de la moitié de la puissance rayonnée La puissance est rayonnée dans la direction la plus favorable. Plus l'angle est étroit, plus Les antennes sont directionnelles.

- **Des lobes secondaires :**

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

## 4.2 Impédance d'entrée, résistance de rayonnement

Ces propriétés caractérisent uniquement les antennes que l'on peut assimiler à des lignes.

C'est le cas général des éléments rayonnants linéaires.

### a. Impédance d'entrée

Soit une antenne définie par ses deux bornes A et B.

Soient  $V_e$  et  $I_e$  : la tension aux bornes de l'antenne et le courant qui circule dans l'antenne respectivement où :

$$V_e = V_e e^{j\phi} \quad (1.13)$$

Et :

$$I_e = I_e e^{j\phi} \quad (1.14)$$

L'impédance d'entrée de l'antenne est :

$$Z_a = \frac{V_e}{I_e} = R_a + jX_a \quad (1.15)$$

## b. Résistance de rayonnement

Elle est donnée par :

$$R_r = \frac{2P_r}{I_{\max}^2}$$

$R_{ri} = R_r$  lors que le courant entre les bornes de l'antenne est maximum (c'est le cas des dipôles  $\lambda/2$  ).

### 4.2.1 Adaptation d'une antenne

Rappelons que le coefficient de réflexion est donné en fonction de l'impédance d'entrée L'impédance caractéristique de l'antenne et l'impédance caractéristique de la ligne sont données par :

$$\Gamma = \frac{Z_a - Z_0}{Z_a + Z_0}$$

$$P_u = P_a(1 - \Gamma^2)$$

- En émission :  $P_u$  est la puissance délivrée à l'antenne,  $P_a$  est la puissance fournie par l'antenne lanceur.
- En réception :  $P_u$  est la puissance fournie au récepteur,  $P_a$  est la puissance captée par le récepteur antenne

Dans les conditions de désadaptation, une partie ( $\Gamma, 2P_a$ ) est :

- Renvoyée vers le générateur dans le cas de l'émission
- Ré-rayonnée par l'antenne dans le cas de la réception

Il s'agit d'une puissance per due. L'impédance d'adaptation est  $Z_a = Z_0$ .

## 5 Polarisation d'une antenne

La polarisation d'une antenne dans une direction donnée est définie comme "La polarisation de l'onde émise (rayonnée) par l'antenne, c'est-à-dire la direction du champ vagues d'électricité. Lorsqu'aucune direction n'est indiquée, la polarisation est supposée être est l'écart dans la direction du gain maximum. » En pratique, la polarisation L'énergie rayonnée varie avec l'orientation de l'antenne, donc différentes parties de l'antenne Les graphes peuvent avoir différentes polarisations [21]. Les antennes peuvent émettre des ondes polarisées.

- **Linéaire** : Le champ électrique garde une direction constante. Dans ce cas, nous avons Deux modes de polarisation : polarisation verticale et polarisation horizontale.
- **Cercle** : Les extrémités du champ électrique décrivent un cercle de propagation
- **Ellipse** : Les extrémités du champ électrique décrivent l'ellipse lors de sa propagation.

## 6 Classification de types d'antenne

Les antennes peuvent être utilisées pour transmettre ou recevoir des signaux sur différentes fréquences. Certaines antennes sont même capables de fonctionner à la fois dans les directions d'émission et de réception. Il existe plusieurs modèles d'antennes, chacune avec ses propres caractéristiques. L'élément qui marque le mieux leur différence est leur forme.

- **Forme sou géométries**
  - Antennes filaires : dipôle, boucle, spirale
  - Antennes imprimées : patch, dipôle imprimé, spirale
- **Gain**
  - Gain élevé : plat
  - Gain moyen : cornet
  - Gain faible : dipôle, boucle, fente, patch
- **Formes de faisceau**
  - Omnidirectionnel : dipôle
  - Faisceau de crayon : plat
  - Faisceau de fan : rangée

- **Formes de faisceau**

Omnidirectionnel : dipôle

Faisceau de crayon : plat

Faisceau de fan : rangée

- **Largeur de bande**

Large bande : hélix

Bande étroite : patch

### 6.1 Les différents types d'antenne :

- **L'antenne filaire**

Les antennes filaires : comprennent des modèles comme les antennes dipôles, monopoles, boucles résonnantes, Yagi, hélices et plus encore. Cette grande famille compte les antennes relativement simples.

- **L'antenne à fentes**

L'antenne à fentes : est le modèle de prédilection pour la conception d'antennes de systèmes de sécurité comme celles des radars micro-ondes utilisés pour la surveillance maritime et aéroportuaire.

- **L'antenne planaire**

L'antenne planaire : est encore appelée antenne à patch. C'est le modèle le plus utilisé pour la conception des systèmes GSM, GPS, Wifi et WiMax.

- **L'antenne à cornet**

L'antenne à cornet : est une antenne un peu spéciale à cause de son apparence en cône plus ou moins cylindrique. Elle a généralement la forme d'un gros entonnoir ou d'une pyramide inclinée à base ouverte.

- **L'antenne parabolique**

C'est le modèle que la plupart des particuliers abonnés aux chaînes télé connaissent. L'antenne parabolique : a la forme d'une cuvette avec au centre de sa face concave une antenne rudimentaire.

## 7 Les réseaux d'antennes

Par définition, un réseau d'antennes est une association régulière d'antennes identiques pour produire un rayonnement de forme spécifique. Le nombre d'éléments rayonnants étant multiplié, la puissance rayonnée est plus importante. Le rayonnement provient de l'addition des champs de chaque élément. Par conséquent, les combinaisons possibles sont nombreuses et se traduisent par une grande flexibilité dans la conception du réseau. Les réseaux d'antennes ont de nombreuses applications et utilisent tous types d'éléments : cornets, antennes filaires, antennes patch, etc. Ce réseau occupe un espace plus important qu'une antenne unitaire et a un diagramme de rayonnement plus étroit car sa directivité augmente avec sa surface [11]. Le gain de l'antenne élémentaire peut facilement être augmenté de 10 à 15 dB. De ce fait, le réseau est globalement plus puissant et plus directif que les antennes basiques. Un autre avantage des réseaux d'antennes est que des déphasages réguliers entre les éléments sélectionnés fixent la direction du faisceau dans l'espace dans une plage d'angles. D'une part, l'organisation spatiale des antennes et, d'autre part, le mode d'alimentation de chaque antenne confèrent au réseau des caractéristiques de rayonnement bien définies. Ces propriétés peuvent être modifiées dans certains cas, principalement grâce à la possibilité d'agir sur la phase et l'amplitude de chaque alimentation d'antenne, résultant en un réseau d'antennes reconfigurable. Le couplage entre antennes fondamentales est un point délicat lors de la conception du réseau, car ce couplage modifie légèrement les caractéristiques de rayonnement et d'adaptation. En particulier, du fait du couplage, la bande passante du réseau est légèrement plus large que celle de l'antenne de base. La difficulté de la modélisation d'un réseau est sa taille, qui peut être importante lorsque le nombre d'éléments est important. Comme nous le verrons plus loin dans différentes applications, les réseaux permettent de reconstruire les lois d'éclairement sur l'ouverture et d'orienter le faisceau dans une direction précise. Idéalement, la conception du réseau commence par une synthèse, suivie d'une modélisation des facteurs de réseau. Ensuite, une maquette globale doit être faite [11].

## **8 Conclusion**

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

---

# OPTIMISATION D'UN RESEAU D'ANTENNE

---

## 1 Introduction

Le monde a vu de grands progrès dans le domaine des télécommunications, en particulier dans le domaine des antennes, de sorte que la transmission de preuves sans fil à longue distance se fait par le biais d'antennes et est donc devenue la base de la transmission radio et dans le processus de transfert de données. Pour utiliser les avantages des antennes, on les regroupe pour avoir des caractéristiques répondants aux exigences de l'utilisation. Cette solution simple et efficace présentée donne naissance à ce qu'on appelle réseau d'antennes. Le problème de synthèse des réseaux d'antennes consiste à jouer sur les poids des alimentations (amplitudes et de phases) et de la répartition spatiale des éléments rayonnants afin de s'approcher au mieux de contraintes de rayonnement fixées (exemple : diagramme de rayonnement directif abaissement des lobes secondaires,) selon le type d'utilisation. Ce chapitre est consacré à la synthèse des réseaux d'antennes linéaire, en utilisant une technique récente d'optimisation, appelée méthode du loup gris. Dans la première partie de ce chapitre, nous nous donnons une description de réseau d'antennes, ces types ainsi que une description détaillée de la méthode proposée. Dans la deuxième partie, nous nous intéressons à la synthèse d'un réseau d'antennes linéaire en agissant sur les poids d'alimentation (amplitude et phase) et l'inter-espacement de ce réseau.

## 2 Les réseaux d'antennes

Les antennes peuvent être disposées dans l'espace selon différentes configurations géométriques pour obtenir des diagrammes très directionnels. Ces configurations d'antennes sont appelées réseaux. Dans un réseau d'antennes, les champs de différents éléments s'ajoutent de manière constructive dans certaines directions et s'annulent (s'annulent) dans d'autres. Aux fins d'analyse, nous supposons que les réseaux suivants sont constitués des mêmes éléments, bien qu'il soit possible de créer des réseaux avec des éléments de graphes différents [18].

## 2.1 Facteur de réseau

Le facteur de réseau est un outil que nous utilisons pour caractériser le retard continu de chaque antenne par rapport à l'origine. Chaque réseau peut être caractérisé par des facteurs dits de réseau. Voir formule (II1)

$$F(\theta) = 2 \cos \left( \frac{1}{2} (Kd \cos \theta + \phi) \right) \quad (2.1)$$

Le facteur réseau est fonction des paramètres suivants :

- Disposition géométrique des unités de rayons du réseau
- Courant d'excitation de l'élément
- nombre d'éléments
- la distance de séparation  $d$  des éléments adjacents
- Fréquence de fonctionnement (ou longueur d'onde) D'une manière générale, le diagramme de rayonnement d'un réseau est donné par le diagramme de rayonnement des éléments individuels multiplié par le facteur de réseau [13].

## 2.2 Différentes types de réseau d'antenne

Selon leur topologie, il existe plusieurs types de réseaux d'antennes tels que linéaire, planaire et circulaire. Chaque type de réseau est caractérisé par ses paramètres électriques (type de puissance, amplitude et/ou phase) et géométriques (distance et rayon entre éléments dans le cas des réseaux circulaires). La combinaison optimale de ces paramètres se traduit par un diagramme de rayonnement optimisé.

### 2.2.1 Réseaux linéaires uniformes

On appelle réseau linéaire toute antenne placée le long d'une ligne et uniforme lorsque les éléments sont identiques et alimentés par des courants de même amplitude avec un déphasage progressif  $\phi$  [18].

Considérons maintenant un réseau constitué de  $N$  éléments source isotropes, comme illustré à la Figure II.1. La distance de séparation entre éléments adjacents est  $d$ . Dans ce cas, le facteur de réseau peut être exprimé comme la somme des contributions de chaque élément :

$$F(\Psi) = 1 + e^{j\Psi} + e^{j2\Psi} + e^{j3\Psi} \dots + e^{-j(N-1)\Psi} \quad (2.2)$$

Où :

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

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

$$\mathbf{F} = \frac{\sin(N\Psi/2)}{\sin(\Psi/2)} \quad (2.3)$$

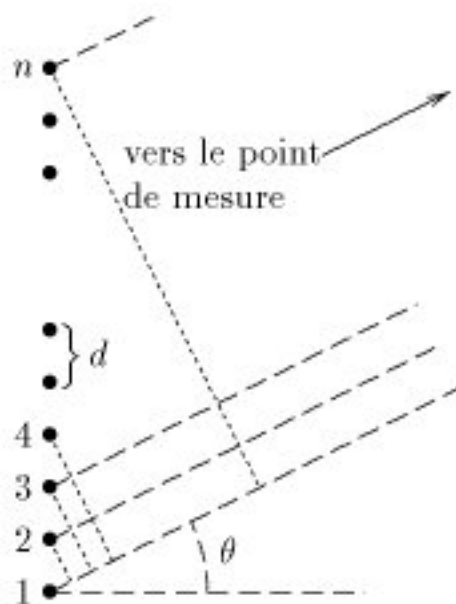


FIG 2.1 – Configuration d'un réseau linéaire uniforme de N sources [22]

L'examen de cette équation donne ce qui suit concernant le facteur de réseau d'un réseau linéaire uniforme :

Le maximum principal (lobe principal) apparaît dans

$$kd \cos \theta_{\max} + \psi = 0 \quad (2.4)$$

Où :

$$\theta_{\max} = \text{Arc cos}(-\lambda\psi/2\pi d) \quad (2.5)$$

- Le mannequin apparaît lorsque  $\sin(N\psi/2) = 0$  , soit  $N\psi/2 = \pm n\pi$  = 1,2,3...

### 2.2.2 Réseaux plans

Contrairement à un réseau linéaire ( $\theta$  ou  $\varphi$ ) qui ne peut balayer que sur un pantalon, un réseau plat peut balayer deux pantalons ( $\theta$  ou  $\varphi$ ). Les réseaux planaires offrent un gain plus élevé et des lobes latéraux inférieurs au détriment d'un plus grand nombre d'éléments. Les principes de conception des réseaux plats sont similaires à ceux des réseaux linéaires. Puisque les éléments sont placés dans la Figure II.2 bidimensionnelle, le facteur de réseau d'un réseau plan peut être exprimé comme le produit des facteurs de réseau de deux réseaux linéaires : un sur l'axe des x et un sur l'axe des y [21].

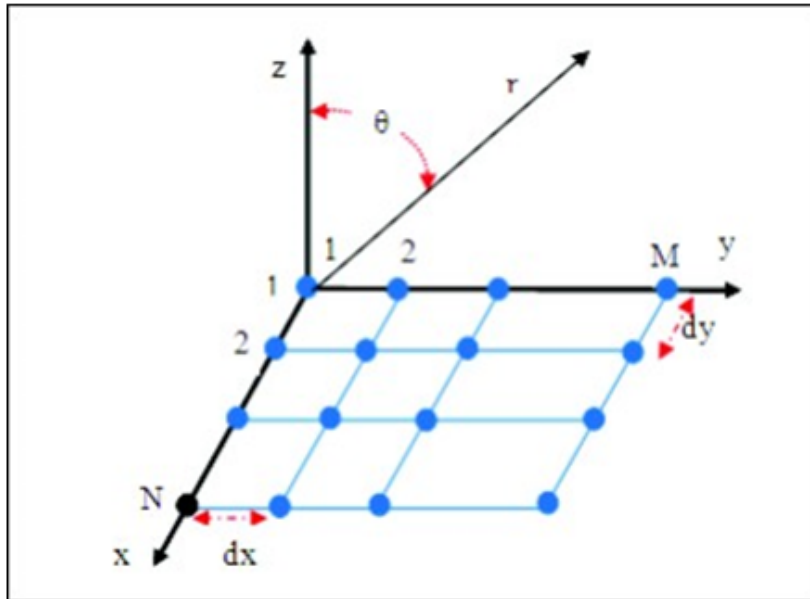


FIG 2.2 – Réseau plan  $M \times N$

Le facteur de directivité du réseau est donné par :

$$F = \left( \frac{\sin(N\Psi_x/2)}{N \sin(\Psi_x/2)} \right) \left( \frac{\sin(N\Psi_y/2)}{M \sin(\Psi_y/2)} \right) \quad (2.6)$$

Où :

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

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

### 2.2.3 Réseaux circulaires

Dans une configuration de réseau circulaire, les éléments sont placés sur un cercle, comme le montre la Figure II.3. Le facteur de réseau dans ce cas est donné par [18] :

$$\mathbf{F}(\theta, \phi) = \sum_{n=1}^N I_n e^{jka(\sin \theta \cos(\varphi - \varphi_n) - \sin \theta_0 \cos(\varphi - \varphi_n))} \quad (2.7)$$

Où :  $\theta_0$  et  $\varphi_0$  sont les angles du faisceau principal,  $\alpha$  est le rayon du réseau circulaire et  $I_n$  est le courant d'excitation de l'élément. La Figure II.3 représente un réseau circulaire de 12 éléments avec un espacement de  $(\lambda/2)$ .

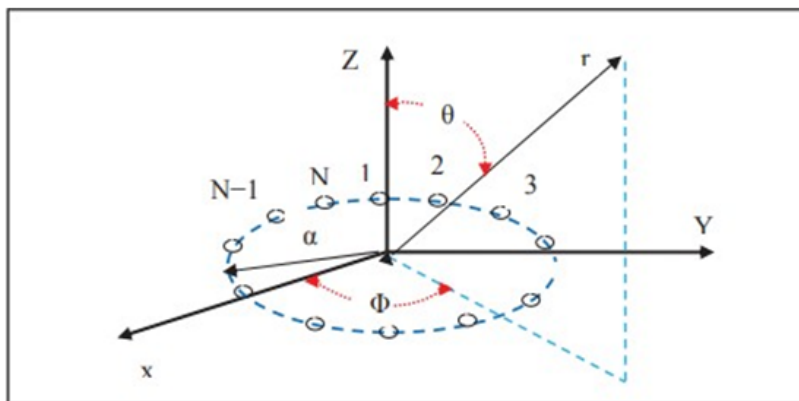


FIG 2.3 – Réseau circulaire de  $N$  élément

## 3 Recherche d'une méthode de synthèse

Il existe de nombreuses façons de synthétiser différents types de Diagrammes sous certaines contraintes, comme la forme du lobe principal, Des niveaux de lobes secondaires, des mannequins quelque part dans l'image... La solution du problème d'optimisation dans notre Ce n'est pas facile en raison de la non-linéarité du problème. II.3.2 Le choix de la méthode de synthèse.

### 3.1 Le choix de la méthode de synthèse

La combinaison de réseaux d'antennes est un problème dû à plusieurs contraintes d'optimisation non linéaire. Les perspectives historiques sur la question suggèrent que plusieurs Des méthodes numériques ont été appliquées pour obtenir les solutions envisagées. On ne ne trouverez pas une méthode d'optimisation générale qui fonctionne dans tous les cas, mais un certain nombre Des tonnes de méthodes, spécifiques à chaque type de problème. Optimisation Le loup gris le plus récent [23]. Cette approche présente de nombreux avantages, tels que : simplicité de mise en œuvre, facilité de changement de paramètres, Peu d'informations sur l'évaluation des fonctions sont nécessaires.

## 4 La méthode de GWO (L'optimisation du loup gris) Optimisation modifiée du loup gris

**Définition :**

L'optimisation du loup gris GWO est une technique d'essaim intelligente développée par **Mirjalili et al**, En 2014 qui imite la hiérarchie de leadership des loups connus pour leur chasse aux essaims, L'algorithme imite le comportement de chasse socialement dirigé des loups gris dans la nature. Dans cet algorithme, la population est divisée en quatre groupes :  $\alpha$  ( $\alpha$ ),  $\beta$  ( $\beta$ ),  $\Delta$  ( $\delta$ ) et oméga ( $\omega$ ). Les trois premiers loups les plus forts sont considérés comme  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\delta$ , qui guident les autres loups ( $\omega$ ) vers des régions prometteuses dans l'espace de recherche.

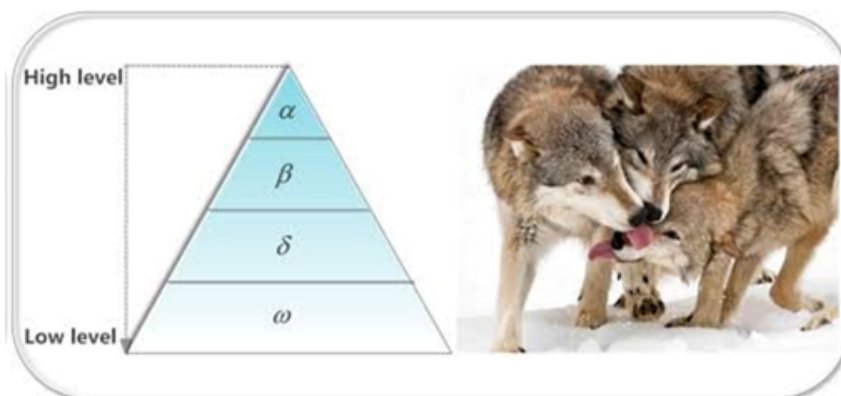


FIG 2.4 – Hiérarchie du loup gris (la dominance diminue de haut en bas) [24]

### 4.1 Principe de la méthode

Les loups gris sont considérés comme des prédateurs, ce qui signifie qu'ils sont au sommet de la chaîne alimentaire. Les loups gris préfèrent généralement vivre en bande. Le nombre moyen est de 5 à 12 personnes. Ce qui est particulièrement intéressant, c'est qu'ils ont une hiérarchie sociale dominante très stricte [23].

- Le premier niveau est appelé alphas( $\alpha$ ). Les loups alpha sont les chefs de la meute, ils sont masculins et féminins. Ils sont principalement chargés de prendre des décisions à propos de la chasse, où dormir, quand se réveiller, etc. Les décisions d'Alpha sont prises par l'équipe. Cependant, certains comportements La démocratie est également observée là où un alpha suit les autres loups grouper. Dans la fête, l'ensemble du forfait reconnaît l'alpha de chaque locataire Leurs queues descendent. Le loup alpha est également connu sous le nom de loup dominant parce qu'il Les commandes doivent être suivies par colis. Le loup alpha ne permet qu'accouplement. Fait intéressant, Alpha n'est pas nécessairement membre Le package le plus puissant, mais le meilleur en matière de gestion des packages. Afficher L'organisation et la discipline d'une meute sont plus importantes que sa force.

- Le deuxième niveau est appelé bêta (beta). Les bêtas sont des loups subordonnés, ils Aider alpha dans la prise de décision ou d'autres activités d'emballage. Les loups bêta peuvent Homme ou femme, il/elle est probablement la meilleure personne pour être un Alpha Juste au cas où l'un des loups alpha mourrait ou deviendrait très vieux. Les loups bêta doivent être respectés Alpha, mais commande également d'autres loups de rang inférieur, son rôle Pack de Conseillers Alpha et Disciplinaire. Version bêta améliorée Commandes d'alpha tout au long du package et fournissent des commentaires à alpha.

- Le troisième niveau est Delta ( $\Delta$ ). Les loups ne sont pas alpha, bêta ou oméga, ils sont appelés subordonnés (ou delta dans certaines références). Le loup du delta doit Obéissez aux alphas et aux bêtas, mais ils dominent l'oméga (niveau le plus bas). Les éclaireurs, les sentinelles, les anciens, les chasseurs et les gardiens appartiennent ici Catégorie. Les scouts surveillent les frontières des territoires et avertissent Emballez juste au cas où. Des sentinelles protègent et sécurisent le sac à dos. Les aînés sont des loup chevronnés qui étaient alpha ou bêta. Cette Les chasseurs aident Alpha et Beta à chasser des proies et à fournir de la nourriture pour les colis.

- Le quatrième niveau (inférieur) est appelé oméga( $\omega$ ). Omega joue le rôle de la chèvre Messenger. Les loups Oméga doivent obéir à tous les autres loups à tout moment premier. Ce sont les derniers loups autorisés à manger. Semble oméga Pas un individu important dans le groupe, mais a été observé tout au long pack a des problèmes avec les omégas manquants. Cela est dû au dédouanement La violence et la frustration d'Omega avec tous les loups. Ça aide à satisfaire L'ensemble du package et garder la structure dominante. Outre la classe sociale des loups, la chasse en groupe en fait également partie Comportement social amusant des loups gris.

En plus de la hiérarchie sociale des loups, la chasse de groupe est aussi l'un des comportements sociaux intéressants des loups gris [25]. Les principales phases de la chasse au loup gris sont les suivantes :

- 1) Suivre, chasser et approcher la proie.
- 2) Poursuivre, encercler et harceler la proie jusqu'à ce qu'elle arrête de bouger.
- 3) Attaque vers la proie. Ces deux comportements sociaux de la meute de loups gris (hiérarchie sociale et chasse technique) sont modélisés dans l'algorithme GWO voir figure II.

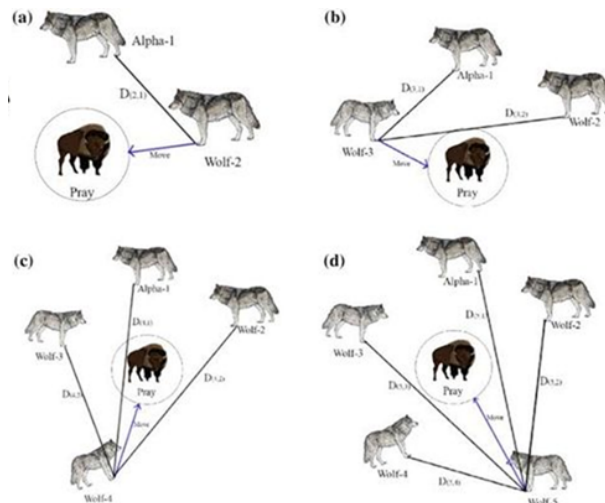


FIG 2.5 – Le comportement de chasse des loups gris : (A) suit la proie et son approche (B-D) de la poursuite de la proie et de l'encercler et de la harceler à la position constante et à l'attaque [26].

## 4.2 Opérateurs

Dans cette section, le modèle mathématique de la hiérarchie sociale du loup gris et leurs techniques de chasse dans l'algorithme (poursuite, encercler et attaque de proies) GOW est très détaillé.

### 4.2.1 Hiérarchie sociale

Pour modéliser mathématiquement la classe sociale des loups lors de la conception des GWO, nous considérons la solution la plus appropriée comme alpha ( $\alpha$ ). Par conséquent, les deuxièmes et troisièmes meilleures solutions sont considérées comme bêta ( $\beta$ ) et delta ( $\delta$ ), respectivement. Les solutions candidates restantes sont supposées être oméga(x). Dans l'algorithme GWO, la recherche (optimisation) est guidée par  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\delta$ , et ( $\omega$ ) les suit.

### 4.2.2 Encercler les proies

La Méthode d'optimisation GWO pour modéliser le comportement des loups et assimiler les loups Trouvez la fonction de coût minimum pour la stratégie de chasse à la meute de loups. Cette Le suivi des proies correspond à l'exploration ou à la recherche globale, et l'attaque correspond à l'exploitation Ou la recherche locale mentionnée ci-dessus, Grey Wolf in chasse. Pour simuler mathématiquement le comportement de l'enfermement, l'équation est Recommandation [23].

$$\vec{D} = \left| \vec{C} \cdot \vec{X}_p - \vec{X}(t) \right| \quad (2.8)$$

$$\vec{X}(t+1) = \vec{X}_p(t) - \vec{A} \cdot \vec{D} \quad (2.9)$$

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

$$\mathbf{A} = 2a^*r_1 \quad (2.10)$$

$$\mathbf{C} = 2^*r_2, \bar{X}_p \quad (2.11)$$

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

Pour avoir l'effet des équations (II.6) et (II.7), le vecteur position Deux dimensions et quelques voisins possibles sont présentés dans la Figure II.6 (a). Comme on peut le voir sur la figure, le loup gris à la position  $(X, Y)$  peut être placé dans Sa position est basée sur la position de la proie  $(X^*, Y^*)$ . Différents endroits autour en ajustant Vecteur  $\vec{A}$  Aussi  $\vec{C}$  Par exemple,  $(X^* - XY^*)$  peut être défini en définissant  $\vec{A} = (1,0)$  et  $\vec{C} = (1,1)$ . Cette Les positions mises à jour possibles du loup gris dans l'espace 3D sont illustrées à la figure 1. II.6 (b). Notez que le vecteur aléatoire  $\vec{r}_1$  et  $\vec{r}_2$  Laissez le loup aller n'importe où entre les points indiqués sur la Figure II.6. Par conséquent, Grey Wolf peut mettre à jour Déterminer son emplacement dans l'espace autour de la proie à l'aide des équations stochastiques (II.6) et (II.7).

$$\begin{cases} \vec{D}_a = \left| \vec{C}_1 \cdot \vec{X}_a - \vec{X} \right| \\ \vec{D}_\beta = \left| \vec{C}_2 \cdot \vec{X}_\beta - \vec{X} \right| \\ \vec{D}_\delta = \left| \vec{C}_3 \cdot \vec{X}_\delta - \vec{X} \right| \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\begin{cases} \vec{X}_1 = \vec{X}_\alpha - \vec{A}_1 \cdot \vec{D}_\alpha \\ \vec{X}_2 = \vec{X}_\beta - \vec{A}_2 \cdot \vec{D}_\beta \\ \vec{X}_3 = \vec{X}_\delta - \vec{A}_3 \cdot \vec{D}_\delta \end{cases} \quad (2.13)$$

$$\mathbf{X}(t+1) = \frac{\vec{x}_1 + \vec{x}_2 + \vec{x}_3}{3} \quad (2.14)$$

Où :

- $X(\alpha t)$  Représente la position de l'alpha.
- $X\beta(t)$  Indique le L'apposition de la bêta.
- $X\delta(t)$  Est la position de delta.
- C1, C2, C3 Sont des vecteurs aléatoires et X indique la position de la solution actuelle.

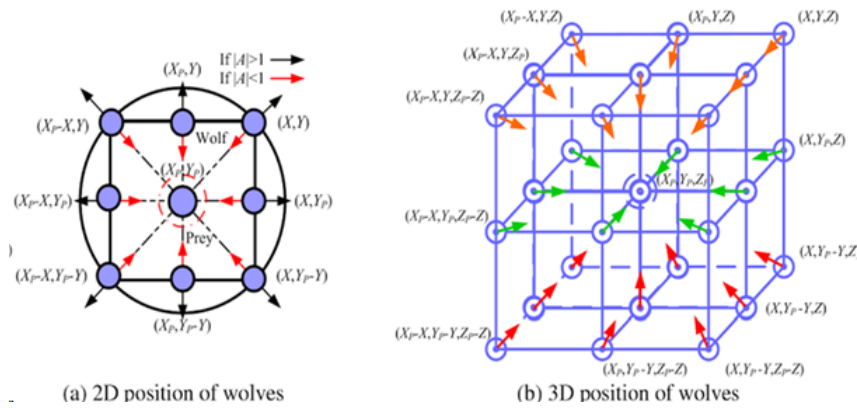


FIG 2.6 – Représentation 2D et 3D des vecteurs de position et leurs prochains emplacements possibles [27]

### 4.2.3 Attaquer la proie

Comme mentionné ci-dessus, les loups gris complètent le processus de chasse en attaquant quand la proie Elle a cessé de bouger. Pour modéliser le processus d'attaque, environnement  $\vec{a}$  [23], décroissant régulièrement de 2 à 0 entre  $t=1$  et  $t=T$  :

$\vec{a} = 2(1 - t/T)$ . Fonctionnement de chasse est généralement piloté par alpha. Bêta et delta peut être impliqué dans la chasse de temps en temps. Dans le modèle mathématique du comportement de chasse au loup gris, nous supposons alpha, beta et delta ont une meilleure connaissance de l'emplacement potentiel de proie.

Pendant la chasse, la phase d'exploration se poursuit jusqu'à la condition  $|\vec{A}| \geq 1$  Respecté : Les loups sont obligés de rester éloignés les uns des autres. Puis commencer la phase de développement, une fois Autres termes  $|\vec{A}| < 1$  loup est Obligé d'attaquer une proie. Par conséquent, le paramètre clé pour l'équilibrage de la phase L'exploration et l'exploitation sont le paramètre a. La recherche globale s'arrête à  $a = 1$ . Ensuite, lancez la recherche locale jusqu'à  $a = 0$

#### 4.2.4 La recherche de la proie (exploration)

Les loups gris recherchent souvent des proies en fonction de l'emplacement de l'alpha, du bêta et du delta. Ils ne sont pas d'accord Explorez-vous les uns les autres pour localiser leurs proies, puis convergez pour attaquer proie. Pour modéliser mathématiquement la divergence du loup gris,  $\vec{A}$  Peut être utilisé.  $\vec{A}$  est une coercition vectorielle aléatoire supérieure à 1 ou inférieure à -1 Les agents de recherche s'éloignent de leurs proies, ce qui souligne la recherche à l'échelle mondiale haute. La figure II.7 montre que lorsque  $|\vec{A}| < 1.1$  il loup gris forcé Recherche loin des proies (optimums locaux) le meilleur des solutions dans espace de décision.

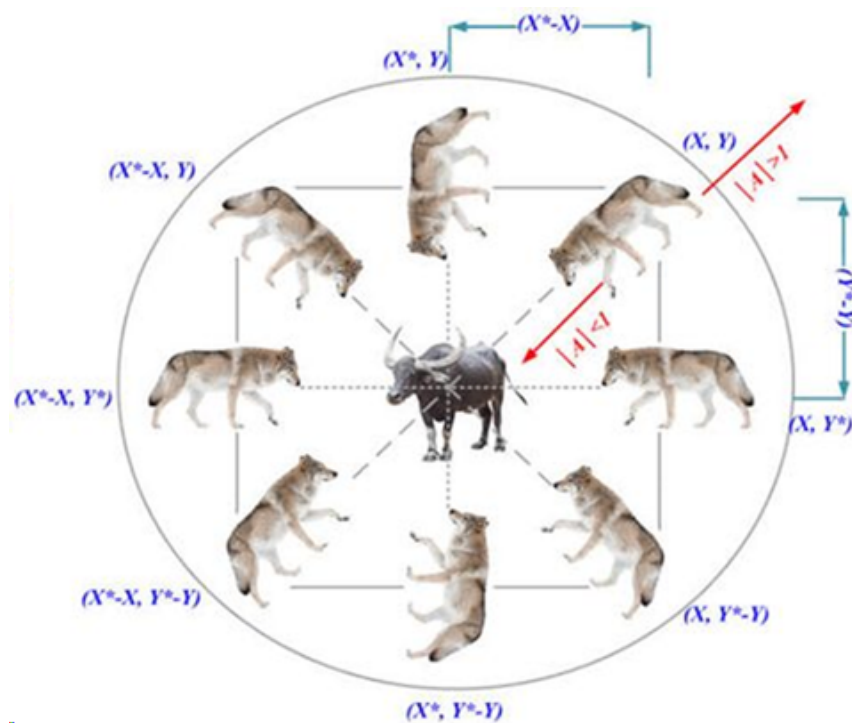


FIG 2.7 – mécanisme de positionnement de l'agent de recherche et de l'effet de ce qui le présente [23]

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

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

- Initialiser une population de loups au hasard sur la base des limites supérieure et inférieure des variables.
- Calculer la valeur de la fonction objective correspondante pour chaque Loup.
- Choisir les trois premiers meilleurs loups et sauvegarde-les sous  $\alpha$ ,  $\beta$  et  $\delta$ .
- Actualiser la position du reste de la population (loups) en utilisant les équations précédentes.
- Mise à jour des paramètres  $a$ ,  $A$  et  $C$ .

- Passez à la 2<sup>ème</sup> étape si le critère final n'est pas satisfait.
- Renvoie la position de  $\alpha$  comme optimum optimal approximé.

**Mirjalili** , A montré que l'algorithme GWO est capable de fournissent des résultats très compétitifs par rapport à d'autres méta-heuristiques bien connues. D'une part, l'exploration de cet algorithme est très élevée et nécessite d'éviter les optima locaux. De plus, l'équilibre entre exploration et exploitation est très simple et efficace pour résoudre des problèmes difficiles selon les résultats dans des problèmes réels [28].

#### 4.4 La méthode de GWO modifiée (MGWO)

Dans cette section, une technique d'optimisation pour l'estimation des paramètres est présentée. Pour atteindre cet objectif, on propose une nouvelle technique d'optimisation notée "Optimisation du Loup Gris Modifiée" (Modified Grey Wolf Optimization : MGWO). Dans un premier temps, le GWO, qui est introduit en 2014 par Mirjalili [29], est présenté dans la section précédent. Les détails de cet algorithme se trouvent dans [29, 30]. Pour résoudre le problème d'optimisation ci-dessus donné par (2.15), nous considérons un schéma flexible utilisant la méthode MGWO avec un léger changement dans la phase de sélection.

Nous considérons un schéma flexible utilisant la méthode MGWO avec un léger changement dans la phase de sélection. Chaque agent de recherche (position) est un vecteur des paramètres de synthèse du diagramme optimal (facteur de groupement). Dans ce chapitre travail, la méthode proposée est utilisée pour trouver des paramètres optimaux tels que : les poids des amplitudes et les phases d'excitation, et les inter-espacements entre les éléments tout en maintenant le facteur de réseau directionnel dans une direction particulière tout en réduisant simultanément le niveau des lobes secondaires. En ce sens, le diagramme de rayonnement synthétisé  $F_s(\theta)$  doit être aussi proche que possible d'un diagramme souhaité  $F_d(\theta)$ . La fonction d'erreur à optimiser par l'algorithme MGWO est donnée par :

$$\text{Fonction erreur} = \sum_{\theta} (F_s(\theta) - F_d(\theta))^2 \quad (2.15)$$

L'organigramme décrivant le fonctionnement de l'algorithme modifié est présenté par la Figure II.8 :

L'algorithme commence par introduire la taille de la population et le nombre maximum d'itérations. Cette étape est suivie par la phase de génération des positions initiales d'une façon aléatoire, puis l'évaluation de ces positions en estimant la valeur de la fonction d'erreur pour chaque position individuelle. Ensuite, les solutions initiales sont classées pour déterminer les membres alpha, bêta et delta. En conséquence, le reste des

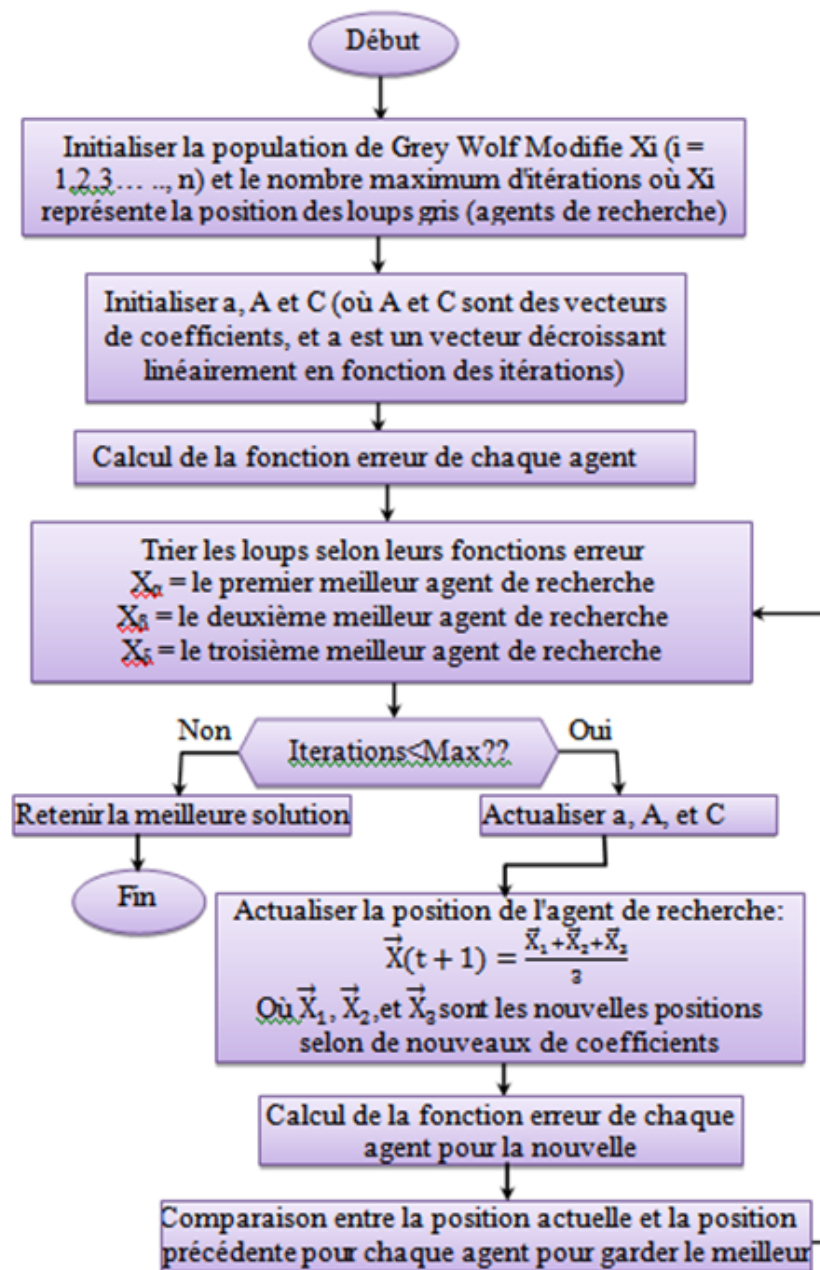


FIG 2.8 – Organigramme de l'algorithme d'optimisation du Loup Gris Modifié.

solutions (Oméga) vont subir des ajustements selon les solutions alpha, bêta et delta. Un nouveau concept de mise à jour de position est incorporé dans MGWO qui offre une meilleure capacité d'exploration et d'exploitation d'une part et un processus de convergence rapide d'autre part. Les solutions sont ensuite reclassées afin de tirer les nouvelles solutions alpha, bêta et delta pour gérer l'itération suivante et ainsi de suite. Une nouvelle stratégie s'inspire des algorithmes génétiques (gardent les meilleures solutions) [31] consiste qu'après l'actualisation des positions des loups (les nouvelles solutions), les loups qui approchent de la proie gardent les nouvelles positions. Par contre les loups qui s'éloignent de la proie dans l'état actuelle reviennent à leurs positions initiales [32]. Cette stratégie est différente de la stratégie du MGWO qui s'intéresse seulement aux trois meilleures solutions. A la fin de cette phase, seules les meilleures positions de l'itération

précédente et l'itération actuelle seront prises en considération pour déterminer les nouveaux membres alpha, bêta et delta. La procédure de mise à jour des positions des agents de recherche est ensuite répétée en fonction de leurs positions jusqu'à ce que le nombre maximum d'itérations soit atteint [31, 29, 30]. Le MGWO avec la modification qu'on a ajoutée permet de trouver des résultats optimaux sans fixer les paramètres comme les méthodes classiques.

## 5 Procédure d'optimisation d'un réseau d'antenne linéaire

Nous considérons un réseau linéaire de  $n$  éléments identiques le long de l'axe  $y$  comme La Figure II.8 s'affiche. Le facteur de matrice correspondant (AF) est donné par l'équation Suivant [33] :

$$\mathbf{AF} = \sum_{i=1}^n \mathbf{a}_i e^{-j((k y_i \sin \theta - \psi_i))} \quad (2.16)$$

Où  $a_i$ ,  $i$  et  $y_i$  sont les grandeurs des poids, la phase de l'excitation et la position du  $i^{\text{ème}}$  élément respectivement dans le réseau.  $k$  est le nombre d'onde donné par  $(2\pi/\lambda)$  et  $\theta$  est l'angle altitude.

$$y = \sum_{p=1}^i d_p \quad (2.17)$$

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

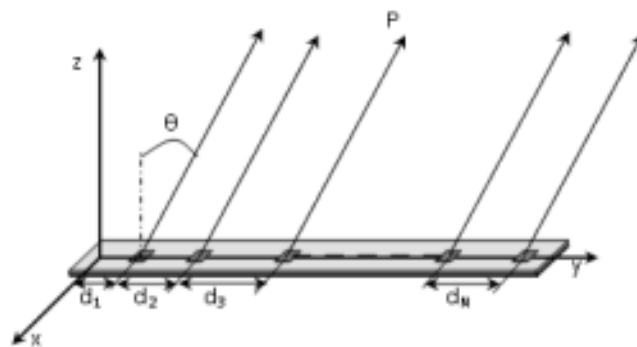


FIG 2.9 – Structure d'un réseau d'antenne linéaire

ment désiré choisi dans ce travail est une fonction gaussienne qui est donnée par :

$$F_d = n \cdot \exp\left(-\frac{\theta^2}{\tau^2}\right) \quad (2.18)$$

Au cours de ce processus d'optimisation, les conceptions sont faites pour minimiser Lobes secondaires du diagramme de rayonnement et directivité des lobes ajoutés Considérable. Pour atteindre cet objectif, nous considérons l'optimisation de trois vecteurs :  $A = [a_1, a_2, \dots, a_n]$ ,  $\psi = [\psi_1, \psi_2, \dots, \psi_n]$  et  $y = [y_1, y_2, \dots, y_n]$  sont Pondérations d'amplitude, excitation de phase et positions d'antenne à l'aide d'algorithmes Optimisation du loup gris (MGWO)

## 6 Présentation des résultats de simulation

Pour évaluer les performances de notre méthode proposée (MGWO) et étudier Influence des paramètres d'optimisation sur la synthèse du diagramme de rayonnement d'un réseau linéaire, plusieurs exemples ont été choisis et illustrés.

### 6.1 Synthèse en amplitude seulement

La figure suivante représente une courbe d'amplitude dans le cas du nombre d'antennes 17 après 2000 d'itération.

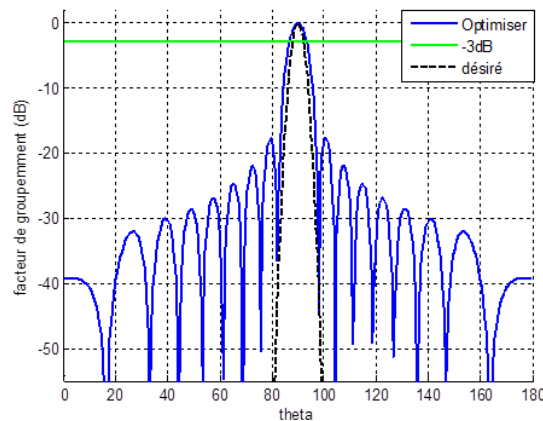


FIG 2.10 – Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque L'amplitude est optimisée

Le tableau suivant présente résultats de de l'amplitude par rapport à la position des antennes :

la position des antennes	Valeur de l'amplitude
1	0.3964
2	0.5553
3	0.5887
4	0.6837
5	0.7201
6	0.7872
7	0.8111
8	0.8490
9	0.8427
10	0.8467
11	0.8110
12	0.7863
13	0.7198
14	0.6800
15	0.5888
16	0.5540
17	0.3969

TABLEAU 2.1 – Résultats de de l'amplitude par rapport à la position des antennes

Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs de l'amplitude pour les antennes

## 6.2 Synthèse d'Espacement seulement

La figure suivante représente une courbe d'amplitude dans le cas du nombre d'antennes 13 après 2000 d'itération.

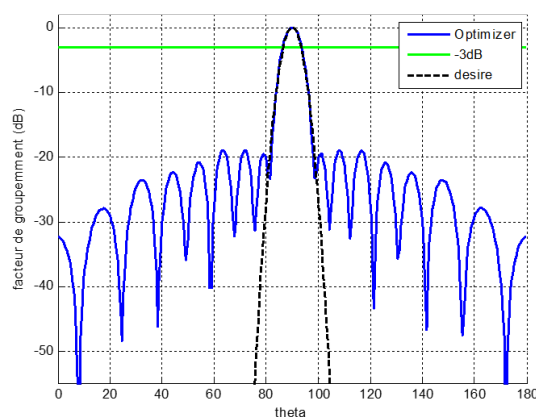


FIG 2.11 – Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque d'Espacement est optimisé

Le tableau suivant présente résultats de de d'Espacement par rapport à la position des antennes :

la position des antennes	Valeur de d'Espacement
1	0
2	0.7291
3	0.6885
4	0.4714
5	0.5143
6	0.3948
7	0.4994
8	0.4055
9	0.5282
10	0.4910
11	0.6959
12	0.8387
13	0.7445

TABLEAU 2.2 – Résultats de de d'Espacement par rapport à la position des antennes Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs de d'espacement pour les antennes

Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs d'Espacement pour les antennes

### 6.3 Synthèse en phase seulement

La figure suivante représente une courbe de phase dans le cas du nombre d'antennes 15 après 2000 d'itération.

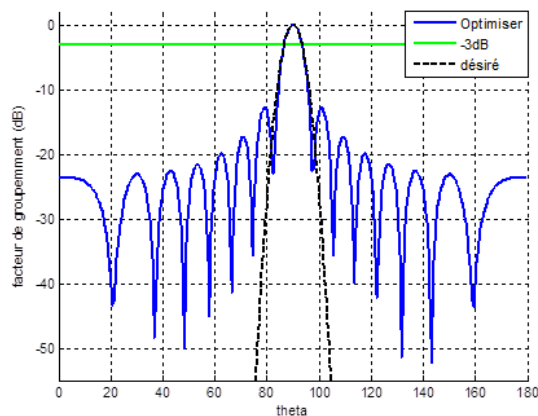


FIG 2.12 – Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque de phase est optimisé.

Le tableau suivant présente résultats de phase par rapport à la position des antennes :

la position des antennes	Valeur de phase
1	2.0494
2	2.1295
3	2.2037
4	2.2327
5	2.2963
6	2.3033
7	2.3485
8	2.3287
9	2.3484
10	2.3036
11	2.2966
12	2.2334
13	2.2028
14	2.1296
15	2.0522

TABLEAU 2.3 – Résultats de de phase par rapport à la position des antenne Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs de d'Espacement pour les antennes

## 6.4 Synthèse Amplitude et phase

La figure suivante représente nombre d'antennes 19 dans le cas de l'amplitude et la phase, à partir de la représentation la plus représentative de la variation du facteur d'assemblage en fonction des deux dans le cas de l'antenne numéro 19 après 2000 d'itération.

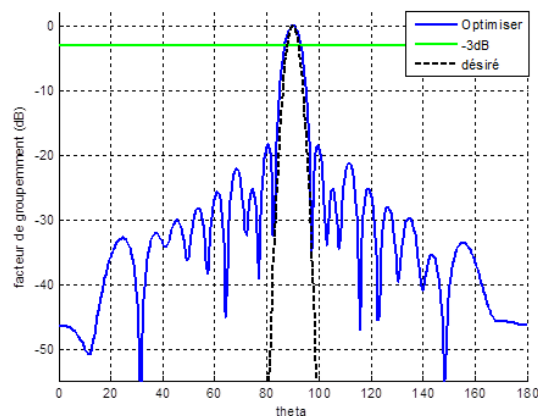


FIG 2.13 – Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque d'amplitude et phase est optimisé

le tableau suivant présente résultats de de d'amplitude et phase par rapport à la position des antennes :

la position des antennes	Valeur de l'amplitude	Valeur de la phase
1	0.2838	1.8702
2	0.4338	1.8189
3	0.5033	1.7820
4	0.6151	1.7826
5	0.6620	1.7757
6	0.7354	1.7708
7	0.7746	1.7647
8	0.8244	1.7678
9	0.8369	1.7665
10	0.8521	1.7640
11	0.8363	1.7681
12	0.8101	1.7689
13	0.7671	1.7772
14	0.7260	1.7709
15	0.6544	1.7656
16	0.6044	1.7880
17	0.5017	1.7724
18	0.4803	1.7686
19	0.3657	1.7791

TABLEAU 2.4 – Résultats de de d'amplitude et phase par rapport à la position des antennes

Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs d'amplitude et phase pour les antennes

## 6.5 Synthèse espacement et phase

La figure suivante représente Nombre d'antennes 11 dans le cas d'espacement et phase, à partir de la représentation la plus représentative de la variation du facteur d'assemblage en fonction des deux dans le cas de l'antenne numéro 11 après 2000 d'itération.

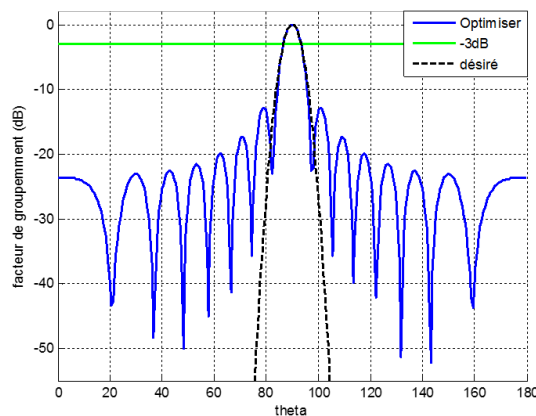


FIG 2.14 – Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque D'espacement et phase est optimisé

Le tableau suivant présente Résultats espacement et phase par rapport à la position des antennes :

la position des antennes	Valeur de D'espacement	Valeur de phase
1	0	2.4674
2	0.7040	2.4883
3	0.7476	2.5254
4	0.6042	2.5556
5	0.5300	2.5514
6	0.5163	2.5673
7	0.5206	2.5523
8	0.5303	2.5549
9	0.6161	2.5235
10	0.7601	2.4882
11	0.7091	2.4670

TABLEAU 2.5 – Résultats espacement et phase par rapport à la position des antennes

Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs espacement et phase pour les antennes

## 6.6 Synthèse de Tous les paramètres

La figure suivante représente Nombre d'antennes 21 dans le cas de la capacité et de Tous les paramètres (Amplitude Phase et Espacement), à partir de la représentation la plus représentative de la variation du facteur d'assemblage en fonction des deux dans le cas de l'antenne numéro 21 après 2000 d'itération.

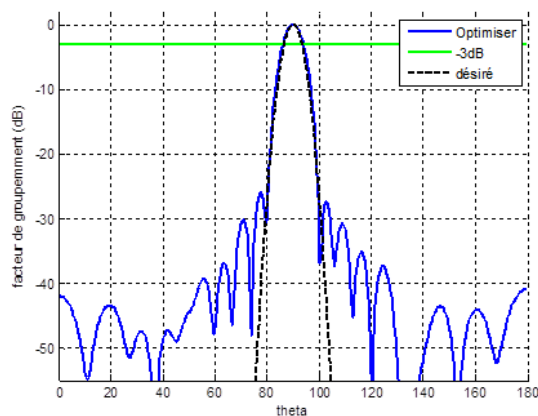


FIG 2.15 – Variation du facteur de groupement en fonction de l'angle d'élévation lorsque de Tous les paramètres (Amplitude Phase et Espacement) est optimisé

Le tableau suivant présente résultats de tous les paramètres (Amplitude Phase et Espacement) par rapport à la position des antennes

la position des antennes	Valeur de phase	Valeur de l'amplitude	Valeur de d'Espacement
1	1.6326	0.1725	0
2	2.4514	0.3624	0.4857
3	2.3949	0.8038	0.6375
4	2.3577	0.9858	0.5928
5	2.4026	0.9986	0.4829
6	2.3644	0.9906	0.4190
7	2.3540	0.9941	0.3366
8	2.4002	0.9817	0.3242
9	2.2889	0.9941	0.3117
10	2.4015	0.9964	0.2932
11	2.3451	0.9884	0.2845
12	2.3193	0.9964	0.3131
13	2.3885	0.9934	0.2832
14	2.3286	0.9904	0.2870
15	2.3722	0.9966	0.3601
16	2.3451	0.9979	0.3108
17	2.3707	0.9067	0.4016
18	2.3798	0.9445	0.3756
19	2.4018	0.7127	0.4515
20	2.3974	0.5602	0.4586
21	2.5331	0.2544	0.5836

TABLEAU 2.6 – Résultats de Tous les paramètres (Amplitude Phase et Espacement) par rapport à la position des antennes

Le tableau ci-dessus représente les résultats obtenus en termes de valeurs Tous les paramètres (Amplitude Phase et Espacement) pour les antennes

## 7 Conclusion

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

---

# DIAGNOSTIC ET CORRECTION DES DÉFAILLANCES DES RÉSEAUX D'ANTENNES LINÉAIRES

---

## 1 Introduction

Dans de nombreuses applications telles que les systèmes de communication par satellite et radar, des diagrammes de rayonnement hautement directifs sont nécessaires, généralement générés par l'utilisation d'un ensemble d'antennes regroupées ensemble, appelé réseau d'antennes [34–35]. Comme on a présenté dans le chapitre précédent que la qualité d'un diagramme de rayonnement dépend des amplitudes et des phases des excitations et des inter-espacements entre les éléments du réseau d'antennes. Mais la situation devient plus compliquée si un ou plusieurs éléments du réseau d'antennes sont endommagés. Ces défaillances affectent le diagramme de rayonnement, ce qui dégrade les caractéristiques de l'ensemble du réseau en termes d'augmentation des niveaux de lobes latéraux (Side lobe level : SLL), et de diminution du gain et de la directivité (Half power beamwidth : HPBW) de l'antenne [36,35]. Dans le processus de compensation de défaillance des éléments endommagés, les poids des excitations des éléments fonctionnels restants sont réajustés pour reformer le diagramme aussi similaire que possible à l'original. Dans ce travail, le traitement de problème de la correction d'un réseau linéaire défectueux par l'algorithme de Loup Gris Modifié (MGWO) est considéré. Le réajustement des amplitudes et les phases des excitations des éléments fonctionnels (non défectueux), peut améliorer les niveaux de lobes latéraux (SLL) et également maintenir la directivité. Le problème de l'effet de position de l'élément défaillant est également évoqué. Pour évaluer l'efficacité de la méthode proposée, différents scénarios, sous forme d'études de cas, ont été réalisés. Les résultats de simulation ont clairement montré l'utilité de l'algorithme proposé pour corriger la défaillance des réseaux d'antennes linéaires. Les résultats obtenus sont prometteurs en termes de performances et d'efficacité. Le reste du chapitre est présenté comme suit : en commençant par un rappel sur les types des réseaux linéaires et défectueux ainsi que leurs facteurs de groupement. En suite, la section suivante présente le processus de formulation et la méthodologie de correction du problème. Avant de clôturer le chapitre,

on a présenté les résultats de la simulation et les discussions associées.

## 2 Facteur de groupement d'un réseau linéaire

On considère un réseau linéaire constitué de  $n$  éléments placées rectilignement sur l'axe ( $x$ ) comme illustré dans la figure III.1, son facteur de groupement est donnée par :

$$AF = \sum_{i=0}^n I_i e^{j(kx_i \sin \theta + \beta_i)} \quad (3.1)$$

Avec :

$n$  : nombre des éléments,  $I_i$  amplitude et  $\beta_i$  est la phase de courant de l'élément d'ordre  $i$ ,  $k$  ( $2\pi/\lambda$ ), est le nombre d'onde et  $\theta$  l'angle d'arrivé.

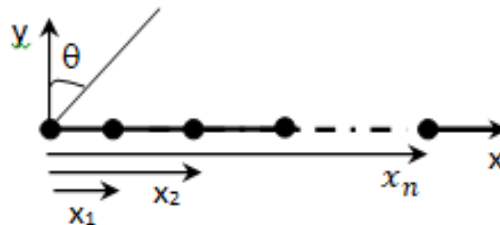


FIG 3.1 – Réseau d'antennes linéaire

Pour le réseau linéaire (figure III.1), on peut distinguer deux types, un réseau impair (nombre des éléments est impair) et un réseau pair (nombre des éléments est pair). La façon d'alimenter et de positionner les éléments d'un réseau linéaire peut jouer un rôle sur la formule de facteur de groupement d'un réseau linéaire. C'est-à-dire, si les éléments sont placés symétriquement par rapport à l'antenne du milieu (réseau impair, Fig. III.2) et par rapport à l'origine (réseau pair, Fig. III.3) et en plus tous les éléments symétriques (deux à deux) sont alimentés par la même excitation, dans ce cas la, le réseau est dite symétrique.

Le facteur de groupement d'un réseau impair (Fig. III.2) symétrique linéaire est donné par :

$$AF = I_0 + 2 \sum_{i=1}^n \cos(kx_i \sin \theta + \beta_i) \quad (3.2)$$

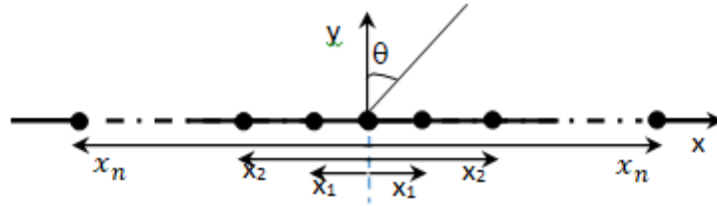


FIG 3.2 – Réseau symétrique d'un réseau d'antennes linéaire impair

Le facteur de groupement d'un réseau pair symétrique linéaire (Fig.III.3) est donnée par :

$$AF = 2 \sum_{i=1}^n \cos(kx_i \sin \theta + \beta_i) \quad (3.3)$$

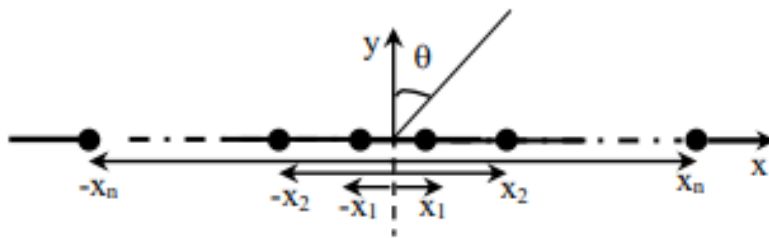


FIG 3.3 – Réseau symétrique d'un réseau d'antennes linéaire pair

### 3 Facteur de groupement d'un réseau linéaire défectueux

Comme nous avons vu dans la section précédente, on a trois types de réseau linéaire d'antennes. On suppose que certains éléments d'un réseau linéaire dont l'ordre : j, u, r, l, ... sont complètement hors service (comme s'ils n'existent pas). Les facteurs de groupement correspondants sont présentés dans ce qui suit.

#### 3.1 Facteur de groupement d'un réseau linéaire défectueux symétrique impair

Le réseau linéaire défectueux impair symétrique de  $2n+1$  éléments comme montre la figure III.4, le facteur de groupement correspondant est donné par :

$$AF = \sum_{\substack{i=-n \\ i \neq p}}^n I_i e^{j(kx_i \sin \theta - \beta_i)}, \text{ et } p \in \{j, u, r, l, \dots\} \quad (3.4)$$

Avec  $j, u, r, l \dots$  l'ordre des antennes défectueuses qui peuvent être positifs ou négatifs selon la position de l'antenne correspondante (à gauche de l'origine l'ordre est négatif et par contre à droite l'ordre est positif).

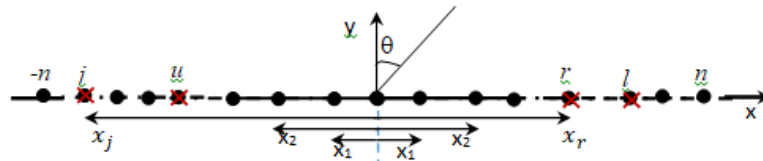


FIG 3.4 – Réseau d'antennes linéaire défectueux symétrique impair

Quand les éléments défectueux sont symétriques deux à deux d'un réseau symétrique impair le facteur de groupement correspondant est donnée par :

$$AF = 2 \sum_{\substack{i=0 \\ i \neq p}}^n I_i \cos(kx_i \sin \theta - \beta_i), \text{ et } p \in \{j, u, r, l, \dots\} \quad (3.5)$$

## 4 Méthodologie de correction de facteur de groupement d'un réseau linéaire

Pour remédier le problème de défaillance causé par certains éléments défectueux dans un réseau linéaire, on doit prendre en considération les positions des éléments défectueux. Donc, on distingue deux cas, un où les éléments défectueux sont symétriques c'est-à-dire chaque élément défectueux son symétrie est aussi défectueux et le cas contraire.

## 5 Processus d'optimisation par la méthode du loup gris modifiée (MGWO)

Dans cette partie on va présentée comment utiliser le méthode proposée pour résoudre le problème d'optimisation ci-dessus donné par (III.5), nous proposons une approche flexible utilisant la méthode MGWO dans différentes situations. Chaque agent de recherche (position) est un vecteur des paramètres de synthèse optimale des diagramme. Dans le processus de compensation de la défaillance de l'élément, les excitations des éléments sains sont ré-optimisées pour former un nouveau diagramme proche de l'original. En ce sens, le diagramme de rayonnement corrigé  $F_c(\theta)$  doit être aussi proche que possible du diagramme d'origine  $F_o(\theta)$  ou la fonction objective à minimiser par

l'algorithme est donnée comme suit :

$$\text{Fitness function} = \sum_{\theta} (F_c(\theta) - F_o(\theta))^2 \quad (3.6)$$

Pour éviter l'apparition de plusieurs lobes du réseau d'une part si un grand espacement des éléments est considéré [37] et les effets du couplage mutuel d'autre part si les éléments rayonnants sont placés trop près les uns des autres, les conditions suivantes doivent être satisfaites pour l'optimisation de la position de l'antenne :

$$0,25\lambda < |d_i| < 2\lambda \quad (3.7)$$

## 5.1 Correction d'un réseau linéaire symétrique

Pour corriger un réseau symétrique défectueux, on doit prendre en considération les positions des éléments défectueux. Donc on distingue deux cas, un cas où les éléments défectueux sont symétriques c'est-à-dire chaque élément défectueux son symétrie est aussi défectueux et le cas contraire. Ces possibilités donnent plusieurs configurations de correction qui seront discutées dans ce qui suit.

### 5.1.1 Correction par réduction de nombre d'antennes (élément rayonnants)

Dans ce cas on procède de réduire le nombre des éléments c'est-à-dire de prendre en compte que les éléments non défectueux. Ce qui permet d'avoir un nouveau réseau avec le nombre des éléments non défectueux. Ce principe était utilisé dans la littérature. Il est utilisé bien sûr dans le cas où les éléments ne sont pas fixes c'est-à-dire qu'on peut déplacer les éléments constituant le réseau de leurs positions. Donc le principe est de déplacer les éléments des extrémités pour remplacer les éléments défectueux. Après avoir réduit le nombre des éléments on procède à un type d'optimisation qui était utilisé dans la conception initiale. Et ceci est applicable pour les deux types de réseaux, non symétrique et symétrique.

### 5.1.2 Correction d'une façon symétrique par la loi d'excitation seulement

Dans ce cas les éléments ne sont pas fixes, donc la possibilité de changer les positions des éléments est possible. Dans notre cas où les éléments sont fixes donc la possibilité de changer les positions des éléments n'est pas possible, il nous reste que de jouer sur les excitations (amplitude et/ou phase). Selon les positions des éléments défectueux, on distingue deux cas : un élément est défectueux et son symétrique est aussi défectueux et le cas contraire.

## 6 Resultats et discussion

### 6.1 Réseau symétrique

On considère un réseau linéaire composé de 15 éléments placés symétriquement par rapport à l'origine et alimenté adéquatement. Dans ce cas, les pondérations des amplitudes sont optimisées par le MGWO. Si l'élément de la position (p) dans le réseau tombe en panne, le facteur de groupement pour ce réseau d'antennes peut être donné par l'expression suivante :

$$AF = \sum_{\substack{i=-n \\ i \neq p}}^n w_i \exp(j(kid \cos \theta + \Psi_i)) \quad (3.8)$$

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

$$Fd = n. \exp \frac{-\theta^2}{\sigma} \quad (3.9)$$

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

### 6.2 Correction par loi d'amplitude

Lorsque l'élément en position (-5) est supposé endommagé dans le réseau d'antennes. Le diagramme de groupement du réseau défectueux est réalisé en mettant le poids d'amplitude de l'élément endommagé à zéro. Dans ce cas, on a supposé que les phases des excitations de tous les éléments sont nulles ce qui conduit à un degré de liberté qui est l'excitation de l'amplitude.

Pour le réseau symétrique à 17 élément (élément endommagé est d'ordre -5), les pondérations de correction, sont données dans le tableau III.1. Le MGWO est utilisé pour trouver les poids d'amplitude optimaux des éléments fonctionnels, dans le sens de former un nouveau diagramme de rayonnement le plus proche que possible de l'original. Les facteurs de groupement originaux, défectueux, et corrigé ont illustrés dans la figure III.5.

### CHAPITRE 3. DIAGNOSTIC ET CORRECTION DES DÉFAILLANCES DES RÉSEAUX D'ANTENNES LINÉAIRES

Après l'application de la méthode, le SLL a été réduite à -17.9265dB. C'est-à-dire, le facteur corrigé est très proche au facteur original avec une différence de 0.1073 dB en terme de SSL et de 4.4011 dB par apport au défectueux. Mais ce qui concerne l'angle d'ouverture, on remarque un décalage très petit entre les facteurs endommagé et corrigé.

Position des antennes	Original	Défectueux	Corrige
-8	0.3964	0.3964	0.3042
-7	0.5553	0.5553	0.5297
-6	0.5887	0.5887	0.4029
-5	0.6837	<b>0</b>	<b>0</b>
-4	0.7201	0.7201	0.5433
-3	0.7872	0.7872	0.7790
-2	0.8111	0.8111	0.7472
-1	0.8490	0.8490	0.8428
0	0.8427	0.8427	0.8225
1	0.8467	0.8467	0.8683
2	0.8110	0.8110	0.8283
3	0.7863	0.7863	0.8371
4	0.7198	0.7198	0.7650
5	0.6800	0.6800	0.7509
6	0.5888	0.5888	0.6453
7	0.5540	0.5540	0.6340
8	0.3969	0.3969	0.4487
<b>SLL</b>	17.8192	13.5254	17.9265
<b>HPWB</b>	6.6352	6.1247	6.8053

TABLEAU 3.1 – Amplitudes originales et corrigés d'un réseau défectueux en (-5)

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

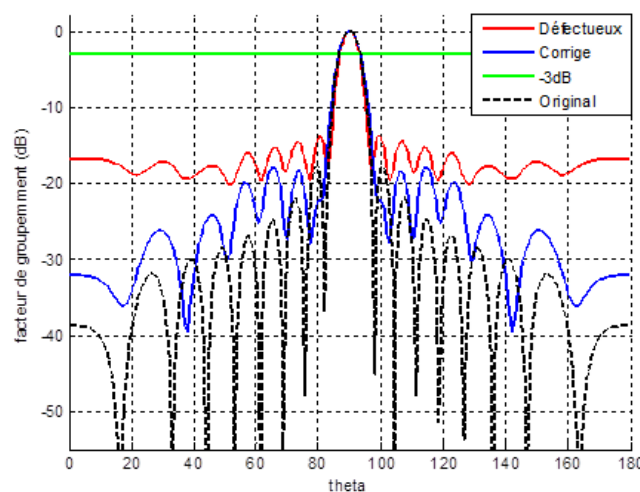


FIG 3.5 – Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position d'élément défectueux à (-5) dans un réseau d'antennes de (17) éléments.

### CHAPITRE 3. DIAGNOSTIC ET CORRECTION DES DÉFAILLANCES DES RÉSEAUX D'ANTENNES LINÉAIRES

De la Figure III.5 il est clairement remarqué qu'en raison de l'élément défectueux, le diagramme de rayonnement perturbe en termes de lobes latéraux Niveau (SLL = 13.5254). Par conséquent, le MGWO est utilisé pour trouver le poids d'amplitude optimaux des éléments restants en travail, dans le sens de former un nouveau motif qui est proche comme possible à l'original.

Dans une autre étude, lorsqu'on prend l'élément défectueux en position -2, et -6 dans le réseau d'antennes. Les mêmes considérations que le cas précédent sont prises en compte. Le diagramme original dans ce cas est obtenu grâce à l'optimisation par loi d'amplitude sous le simulateur MATLAB. Les pondérations correspondantes sont données dans le Tableau III.2. Toutes les phases sont prises nulles, et les interespacements sont égaux (réseau équidistant) et vaut  $0,5 \lambda$ .

Position des antennes	Original	Défectueux	Corrige
-8	0.3964	0.3964	0.3768
-7	0.5553	0.5553	0.3295
-6	0.5887	0	0
-5	0.6837	0.6837	0.4378
-4	0.7201	0.7201	0.7057
-3	0.7872	0.7872	0.5326
-2	0.8111	0	0
-1	0.8490	0.8490	0.6454
0	0.8427	0.8427	0.8815
1	0.8467	0.8467	0.8145
2	0.8110	0.8110	0.8696
3	0.7863	0.7863	0.8249
4	0.7198	0.7198	0.8189
5	0.6800	0.6800	0.7666
6	0.5888	0.5888	0.7104
7	0.5540	0.5540	0.6636
8	0.3969	0.3969	0.5169
<b>SLL</b>	17.8192	12.452	14.3842
<b>HPWB</b>	6.6352	6.1247	6.8053

TABLEAU 3.2 – Amplitudes originales et corrigés d'un réseau défectueux en (-2 et -6)

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

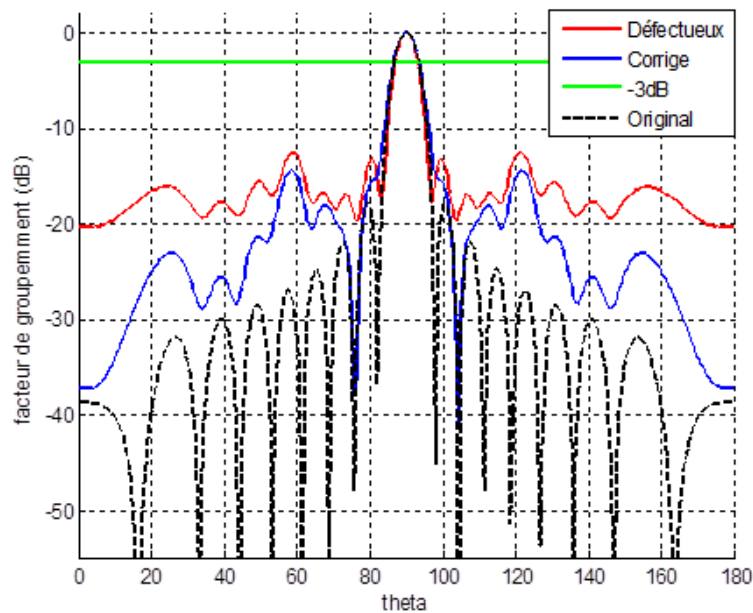


FIG 3.6 – Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position d'élément défaillant à (-2,-6) dans un réseau d'antennes de(17) éléments.

De la Figure III.6 il est clairement remarqué qu'en raison de l'élément défaillance, le diagramme de rayonnement est perturbé en matière de niveau des lobes secondaire (SLL = 12.452 dB). Par conséquent, le MGWO est utilisé pour trouver les poids optimaux d'amplitude des autres antennes fonctionnels, dans le sens de former un nouveau diagramme qui est proche de l'original. Les valeurs des poids d'amplitude du réseau original, défectueux et corrigés sont données dans le tableau III.2. Après avoir appliqué la méthode de MGWO, le SLL a été réduite à (14.3842 dB) avec une amélioration (-1.2392 dB).

A partir des figures précédentes, on peut remarquer que l'algorithme utilisé peut traiter le problème de la correction de défaillance avec efficacité et que le niveau des lobes latéraux est influencé par la position de l'élément défaillant.

Pour bien voir l'effet de la position sur le niveau des lobes latéraux, on a étudié tous les cas possible d'un réseau linéaire de 15 éléments. Les niveaux des lobes secondaires sont donnés dans le tableau III. 3 et sont illustrés dans les figures III.7 et III.8.

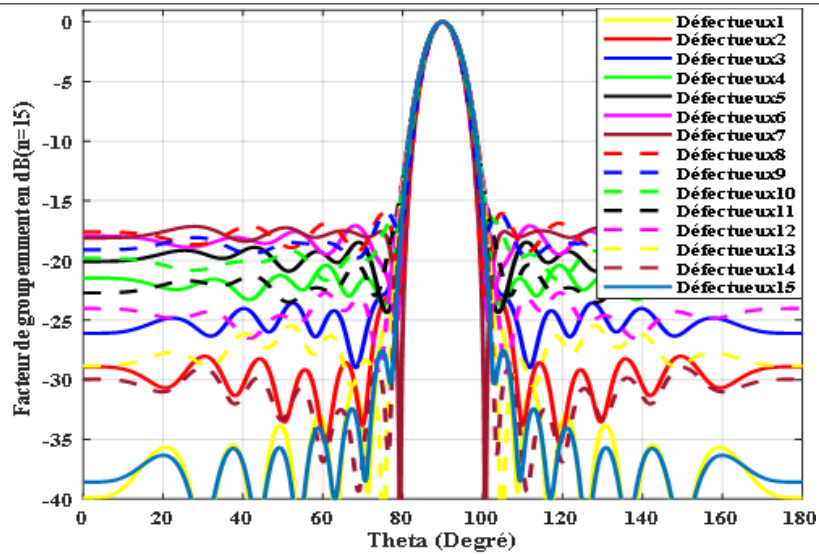


FIG 3.7 – Facteurs des groupements défectueux des différentes positions

On remarque dans cette figure que le déplacement de la position de l'élément défectueux vers le centre de réseau influe négativement sur le niveau du lobe secondaire tandis que son influence sur la directivité est presque négligeable.

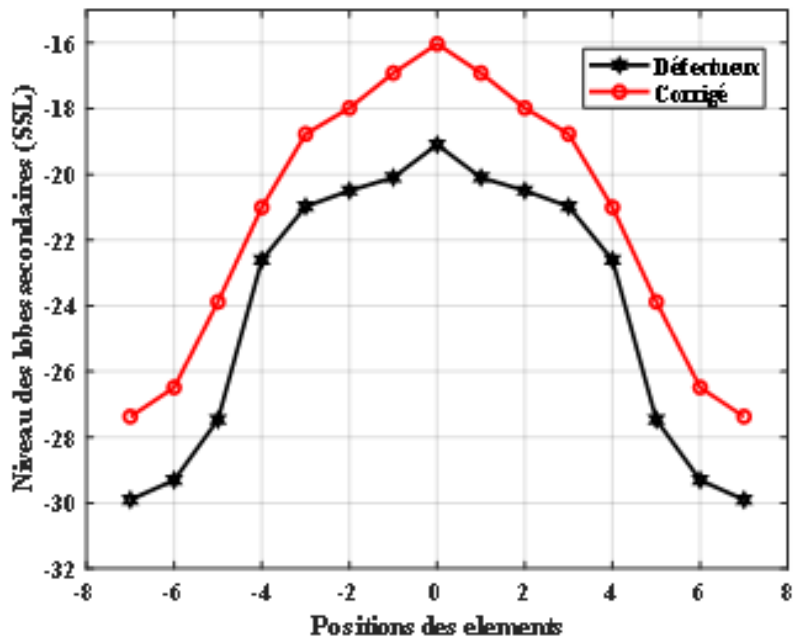


FIG 3.8 – Niveau des lobes secondaires pour les différentes positions

La figure III.7, III.8 et le tableau III.3 montrent que la déformation du diagramme de rayonnement augmente lorsque l'élément endommagé est proche du milieu de l'antenne, la déformation maximale est dans ce cas là où l'élément défectueux est de rang 0.

Ordre d'élément	SSL Défectueux	SSL Corrigé
-7	27.3716	29.9016
-6	26.4848	29.3047
-5	23.8801	27.4660
-4	21.0089	22.6054
-3	18.773	20.9786
-2	17.9809	20.4961
-1	16.9194	20.0984
0	16.0331	19.0984
1	16.9194	20.0984
2	17.9809	20.4961
3	18.7730	20.9786
4	21.0089	22.6054
5	23.8801	27.4660
6	26.4848	29.3047
7	27.3716	29.9016

TABLEAU 3.3 – Niveaux des lobes secondaires de réseau symétrique défectueux et corrigé

### 6.3 Correction par lois de phase

Dans le premier cas on va poser que :

- Les nombre des antennes (éléments)  $n=15$
- Le nombre d'itération  $N=2000$
- L'antenne endommagée est en position (-1) dans le réseau
- L'inter espacement uniforme  $d= 0,5 \lambda$

On considère les mêmes propositions que le premier cas où l'élément en position (-1) est supposé endommagé dans le réseau d'antennes. Le diagramme de réseau est réalisé en mettant la pondération de l'amplitude et la phase de l'excitation de l'élément endommagé à zéro. Dans ce cas, il a été supposé que les poids de l'amplitude de tous les éléments est fixe, ce qui conduit à un degré de liberté qui est la phase de l'excitation.

### CHAPITRE 3. DIAGNOSTIC ET CORRECTION DES DÉFAILLANCES DES RÉSEAUX D'ANTENNES LINÉAIRES

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

Position des antennes	Original	Défectueux	Corrige
-7	2.1295	2.1295	2.7486
-6	2.2037	2.2037	2.7417
-5	2.2327	2.2327	2.7340
-4	2.2963	2.2963	2.7107
-3	2.3033	2.3033	2.7203
-2	2.3485	2.3485	2.7186
-1	2.3287	0	0
0	2.3484	2.3484	2.7321
1	2.3036	2.3036	2.7180
2	2.2966	2.2966	2.7161
3	2.2334	2.2334	2.7175
4	2.2028	2.2028	2.7067
5	2.1296	2.1296	2.7191
6	2.0522	2.0522	2.6982
7	2.1295	2.1295	2.7155
SLL	13.3107	8.3729	11.8079
HPWB	6.8053	6.1247	7.1455

TABLEAU 3.4 – Les phases de l'excitation original, défectueux et corrigé d'un réseau

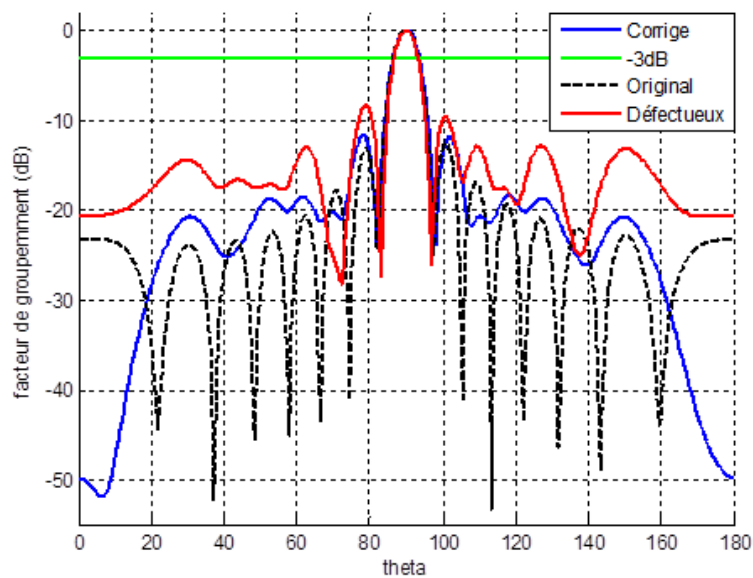


FIG 3.9 – Diagramme de rayonnement original, endommagé et compensé avec la position d'élément défaillant à (-1) dans un réseau d'antennes de (15) éléments.

A partir du tableau III.4 et de la figure III.9, on remarque que la phase d'excitation a aussi un effet important pour corriger le problème de défaillance du réseau.

## 6.4 Correction par lois d'amplitude et phase

Dans cette section on a terminé par la correction par loi d'amplitude et phase. Le processus d'optimisation est utilisé, dans les mêmes conditions, pour trouver les poids optimaux des excitations (amplitudes et phases) des éléments non défectueux, pour compenser la défaillance causé par les éléments endommagés dans le réseau. Dans ce cas, l'inter-espacement est maintenu fixe et égal toujours à  $0.5 \lambda$ .

Dans ce cas, on suppose que :

- Les nombre des antennes  $n=15$
- Les positions des antennes endommagées sont (-6) respectivement
- Le nombre d'itération égale : 2000

La figure III.10 illustre le facteur de groupement initial d'un réseau linéaire à 15 éléments avec un SLL de -30,4251 dB. Lorsque la position de l'élément (-6) du réseau est endommagée, le niveau du lobe latéral augmente jusqu'à la valeur de -26,1430 dB. Le MGWO a été appliqué pour corriger le diagramme défaillant selon la fonction objectif exprimée par l'équation (III.6). Les résultats obtenus (SLL = -28,2150dB) montrent l'efficacité de l'algorithme proposé pour résoudre le problème de défaillance du réseau.

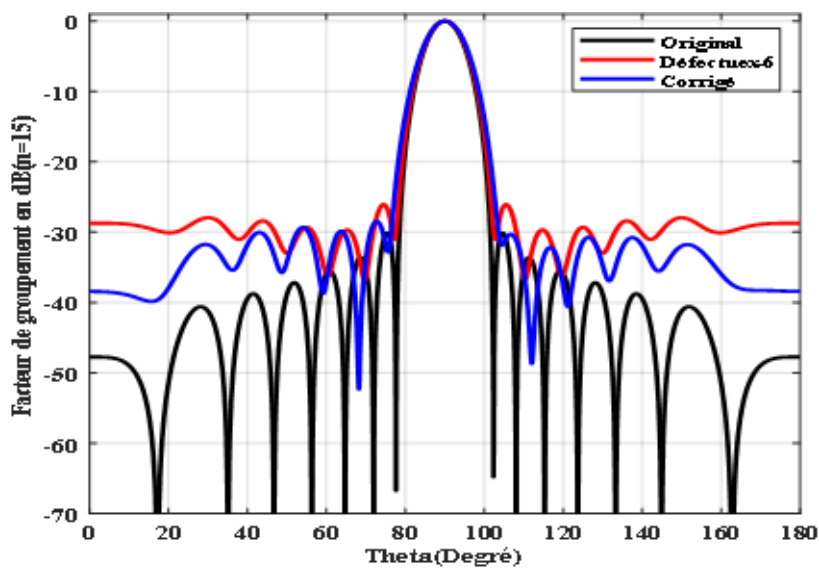


FIG 3.10 – Facteurs de rayonnement, original, défectueux et corrigé (par loi d'amplitude et phase) pour un réseau symétrique à 15 éléments (élément endommagé est d'ordre -6)

## 7 Correction par un nombre réduit d'éléments

Une autre étude a été prise en considération dans ce chapitre est la correction de facteur de groupement endommagé en utilisant un nombre réduit d'éléments pour revenir ou rapprocher que possible au facteur original de Chebyshev. L'algorithme proposé est utilisé dans le processus d'optimisation dans ce cas pour corriger le facteur défaillié avec l'utilisation d'un nombre minimum d'éléments. Dans ce scénario, on a supposé que les deux éléments (-6 et -9) sont endommagés dans un réseau de 21 éléments. Le facteur de groupement de ce réseau utilisant un nombre minimum d'éléments peut être donné par l'expression suivante :

$$AF = \sum_{\substack{i=-n \\ i \neq p}}^n w_i \exp(j(kid \cos \theta + \Psi_i)) + \sum_{\substack{i=-n \\ i \neq q}}^n w_{iche} \exp(j(kid \cos \theta + \Psi_i)) \quad (3.10)$$

Avec  $p$  est la position ou l'ordre de l'élément endommagé ou l'élément non utilisé dans la correction.  $q$  est la position ou l'ordre de l'élément utilisé dans le processus de correction de facteur de groupement.  $w_{iche}$  est la pondération de diagramme de Chebyshev. Les 10 éléments utilisés pour la correction sont (-10, -8, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 10), les amplitudes optimisées ou trouvés sont données dans le tableau III.5. Les facteurs de groupement considérés sont illustrés dans la figure III.11. D'après cette figure, il est clair que l'on obtient quasiment le même diagramme dans les deux cas. Ces résultats sont confirmés dans le tableau III.5 par les valeurs rapportées des deux cas. Aussi, on peut remarquer à partir de ce tableau que, les résultats obtenus par le nombre minimum d'éléments dans le cas de l'optimisation des poids d'amplitude seulement sont compétitifs à ceux obtenus par [38] et ceux dans le cas de la reconfiguration faite par lois d'amplitude et phase en utilisant le nombre complet d'éléments.

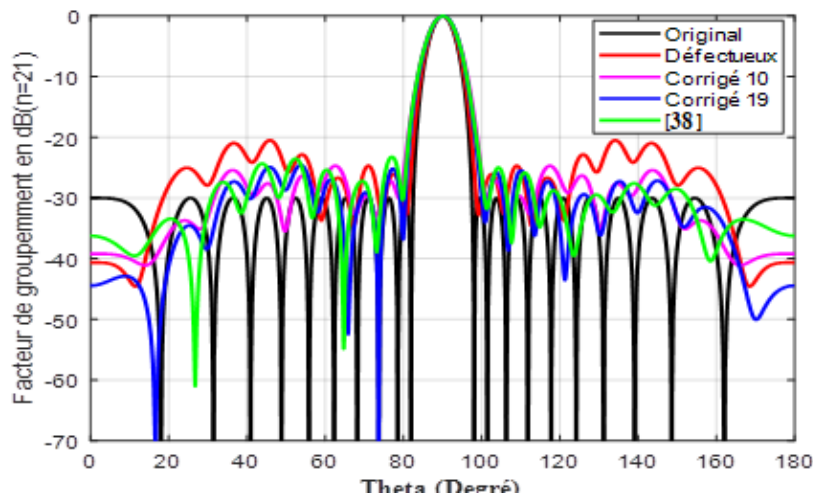


FIG 3.11 – Facteur de groupement d'un réseau symétrique Original (Chebyshev), défectueux (-6 et -9) et corrigé par loi d'amplitude (un nombre réduit)

Position of Sensor	Recovered weights (9 sensors)	Recovered weights (19sensors)	Recovered weights [38]
-10	<b>0.1002</b>	-0.0416 + 0.0909i	0.0798+0.0014i
-9	0.0000	0.0000 + 0.0000i	0.0000+ 0.0000i
-8	<b>0.1771</b>	-0.1158 + 0.0349i	0.1160-0.0005i
-7	<b>0.2183</b>	-0.1153 + 0.0579i	0.3809 -0.0003i
-6	0.0000	0.0000 + 0.0000i	0.0000+ 0.0000i
-5	<b>0.3509</b>	-0.1910 + 0.0768i	0.5845+0.0003i
-4	<b>0.4798</b>	-0.2758 + 0.1053i	0.7214 - 0.0007i
-3	<b>0.5516</b>	-0.3221 + 0.1305i	0.8643 + 0.0007i
-2	<b>0.6059</b>	-0.3862 + 0.1532i	0.9775 - 0.0008i
-1	<b>0.7239</b>	-0.4407 + 0.1765i	0.9765 + 0.0006i
0	1.0000	-0.4903 + 0.1938i	0.9498 + 0.0000i
1	0.9864	-0.5210 + 0.2098i	0.9765 - 0.0006i
2	0.9465	-0.5412 + 0.2155i	0.9775 + 0.0008i
3	0.8829	-0.5409 + 0.2173i	0.8643 - 0.0007i
4	0.7995	-0.5192 + 0.2059i	0.6545 - 0.0004i
5	0.7014	-0.4884 + 0.1938i	0.6545 - 0.0004i
6	0.5946	-0.4266 + 0.1694i	0.6545 - 0.0004i
7	0.4849	-0.3637 + 0.1472i	0.5845 - 0.0003i
8	0.3780	-0.2822+0.1121i	0.3809 + 0.0003i
9	0.2789	-0.2265+0.0925i	0.1160 + 0.0005i
10	<b>0.2124</b>	-0.1482+0.0592i	0.0798-0.0014i
SLL(dB)	<b>-25.0019</b>	<b>-25.0659</b>	<b>-25.0659</b>

TABLEAU 3.5 – Amplitudes de Chebyshev, défectueux et corrigé d'un réseau à 21 éléments par loi d'amplitude et phase

## **8 Conclusion**

Le problème du maintien de la directivité du faisceau principal et de la réduction de la SLL dans un réseau d'antennes défectueux est considéré dans ce chapitre comme un problème d'optimisation et résolu avec succès en utilisant la méthode MGWO. L'objectif de la méthode proposée était de fournir l'ensemble optimisé des alimentations (amplitudes et phases) des éléments non défectueux dans le réseau pour revenir ou rapprocher le facteur de groupement défectueux au diagramme souhaité. Dans ce processus de compensation, la SLL a été réduite et le lob principal a été conservé sa directivité. Les résultats de la simulation numérique ont montré qu'un meilleur diagramme récupéré peut être atteint avec l'algorithme MGWO proposé. La méthodologie développée peut être utile pour augmenter la durée de vie des réseaux, en particulier pour les réseaux où l'accès humain direct est difficile.

---

# Conclusion générale

---

Dans ce travail, nous avons étudié le problème de correction de la défiance d'un réseau d'antennes linéaire. Cette correction permet d'optimiser un diagramme de rayonnement avec quelques caractéristiques privilégiées telles que la conservation de la directivité du lobe principal et l'amélioration du niveau des lobes secondaires. Ce problème de correction nécessite une méthode d'optimisation robuste pouvant éviter la convergence prématurée, vers des optimaux locaux, de la fonction de coût. La méthode de conception proposée est basée sur la méthode des loups gris modifiée MGWO (Modifie Grey Wolf optimisation). Au cours de ce travail, nous avons modifié l'algorithme GWO pour devenir MGWO (Algorithme loup gris modifié) puis nous l'avion appliqué à la synthèse puis à la correction des réseaux d'antennes linéaire. Cette méthode appartient à la famille des méthodes stochastiques qui sont plus robustes que les algorithmes déterministes et présente beaucoup d'avantages tels que : la simplicité de mise en œuvre, la particularité de ne requérir que peu d'informations sur la fonction d'évaluation. La procédure de travail s'est déroulée comme suite : D'abord, nous avons fait varier les poids d'alimentation (amplitude et phase) et l'inter-espacement d'un réseau d'antennes linéaire, de manière à obtenir un diagramme de rayonnement avec des faisceaux de forme gaussienne et un niveau des lobes secondaires (SLL) plus réduits. Ensuite, nous avons appliqué cette méthode au problème de correction de la défiance qui se produit lorsqu'un événement extérieur affecte le réseau d'antenne linéaire. Dans ce dernier, un réajustement des poids d'amplitude et de la distribution de phase des éléments en cours de travail dans un réseau défectueux est considéré. Ce dernier peut améliorer les niveaux des lobes latéraux (SLL) et également conserver la directivité. La technique MGWO permettez-nous de corriger le diagramme de défaillance avec le nombre minimum d'éléments, tout en conservant les résultats obtenus en utilisant tous les éléments La méthodologie développée peut être utile pour augmenter la durée de vie des réseaux, en particulier pour les réseaux où l'accès humain direct est difficile.

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

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

## CONCLUSION GENERAL

---

- Introduire l'aspect pratique avec la réalisation d'un réseau d'antennes linéaire.
- Le travail sur un autre sujet attrayant dans le réseau d'antennes défailant pour optimiser l'excitation de poids et les géométries des antennes constituées des antennes non identiques
- L'effet de bruit blanc est disponible dans tous les systèmes pratiques. À l'avenir, cela pourrait être un domaine de recherche. De plus, nous développerons les algorithmes qui montreront leur robustesse face à différents types de bruits

---

# Bibliographie

---

- [1] Mynbaev.D. K, Scheiner. L. L. Essentials of modern communications. John Wiley, Sons. (2020).
- [2] Bendahmane. M.F, Bendimerad .F.T , Boukli-Hacène. N "Analyse d'Antennes Imprimées en Réseaux Périodiques Monocouches Avec Modélisation du Couplage", Conférence Internationale sur les Systèmes de Télécommunication, d'Electronique Médicale et d'Automatique, CISTEMA'2003,2003.
- [3] Mishra .R, "An Overview of Microstrip Antenna", International Journal of Technology Innovations and Research (IJTIR), vol. 21, no. 2, pp. 39–55,2016
- [4] K. Guney and M. Onay, "Amplitude-only pattern nulling of linear antenna arrays with the use of bees algorithm," Progress In Electromagnetics Research, vol. 70, pp. 21–36, 2007.
- [5] Kenane .E. H "Contribution a l'optimisation d'un réseau d'antennes intelligentes au système UMTS." Thème de doctorat en sciences Université Ferhat Abbas – Sétif -1,2018.
- [6] El Zooghby A. H, Christodoulou. C. G, Georgiopoulos.M, "Neural Network-Based Adaptive Beamforming for One- and Two-Dimensional Antenna Arrays", IEEE transactions on antennas and propagation, vol. 46, no. 12, pp. 1891–1893,1998
- [7] Merad .L, Bendimerad .F.T, Meriah .S.M, "Microstrip antennas array Design Using Genetic algorithms and Simulated Annealing", Traitement du signal, vol. 21, no. 3,pp.249, 2004.
- [8] <https://www.universalis.fr/encyclopedie/antennes-technologie/>, Jean- charles BOLOMEY, « ANTENNES, technologie », Encyclo pædia Universalis [en ligne], consulté le 19 mars 2022.
- [9] Dominique Garnier, "Antenne et propagation radio" (GEL 202/ GEL7019), 2016.
- [10] <https://fr.depositphotos.com/stock-photos/antenne-de-r%C3%A9ception.html> Consulté le 17 mai 2022
- [11] Odile Picon et coll « LES ANTENNES Théorie, conception et application » L'usine Nouvelle Dunod, Paris, 2009.
- [12] <https://www.crushpixel.com/ar/stock-photo/reception-antenna-on-bright-summer-462069.html>. Consulté le 18 mai 2022
- [13] Boyer .A ,Coursd'antennes"Réseauet Télécom",Toulouse, 2011.
- [14] <https://www.canada.ca/fr/sante-canada/services/sante-environnement> Boyer.A,Coursd'antennes"RéseauetTélécam",Toulouse,éditionOctobre2011milieu-travail/rapports-publications/radiation/code-securite-6-lignes-directrices-sante-canada-exposition-radiofrequences-sante-environnement-milieu-travail-sante-canada/guide-technique.html, Consulté le 19 mai 2022.

- [15] [https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.exocold.com/antennes/cours-d%27antennes-canaux-de-transmissions/%3Faction%3Ddlattach%3Battach%3D13945&ved=2ahUKEwj\\_4Tr0tX2AhXNx4UKHcHgCFE4FBAWegQIERAB&usg=AOvVaw1JysCInViI2dn5aeNycuGV](https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=https://www.exocold.com/antennes/cours-d%27antennes-canaux-de-transmissions/%3Faction%3Ddlattach%3Battach%3D13945&ved=2ahUKEwj_4Tr0tX2AhXNx4UKHcHgCFE4FBAWegQIERAB&usg=AOvVaw1JysCInViI2dn5aeNycuGV), consulté le 25 mai 2022
- [16] <https://fr.m.wikipedia.org/wiki/Fichier:Sidelobes.fr.svg>, Consulté le 21 mai 2022.
- [17] <http://radio-bip.qc.ca/NEC2/nec2.html>, Consulté le 21 mai 2022.
- [18] Nora .N, “Etude et simulation de diagramme de rayonnement de l’antenne intelligente ”, thèse de doctorat, université de Blida, 2007.
- [19] [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdspace.univ-ouargla.dz%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F19235%2F1%2FBENISLAMANE%2520%2520BETTAYEB%2520.pdf&psig=AOvVaw0autSWrDhLVCQAzZSSEP\\_G&ust=1653225668268000&source=images&cd=vfe&ved=0CAkQjRxqFwoTCPjU3dnX8PcCFQAAAAAdAAAAABAJ](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Fdspace.univ-ouargla.dz%2Fjspui%2Fbitstream%2F123456789%2F19235%2F1%2FBENISLAMANE%2520%2520BETTAYEB%2520.pdf&psig=AOvVaw0autSWrDhLVCQAzZSSEP_G&ust=1653225668268000&source=images&cd=vfe&ved=0CAkQjRxqFwoTCPjU3dnX8PcCFQAAAAAdAAAAABAJ). Consulté le 21 mai 2022.
- [20] [https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww8.umoncton.ca%2Fumcmcmormier\\_gabriel%2FHyperfrequencesB%2FGELE5222\\_Chapitre8.pdf&psig=AOvVaw3MeXAb2NhejA99MXN5HtNI&ust=1653228417015000&source=images&cd=vfe&ved=0CAkQjRxqFwoTCJjz\\_JLi8PcCFQAAAAAdAAAAABAc](https://www.google.com/url?sa=i&url=http%3A%2F%2Fwww8.umoncton.ca%2Fumcmcmormier_gabriel%2FHyperfrequencesB%2FGELE5222_Chapitre8.pdf&psig=AOvVaw3MeXAb2NhejA99MXN5HtNI&ust=1653228417015000&source=images&cd=vfe&ved=0CAkQjRxqFwoTCJjz_JLi8PcCFQAAAAAdAAAAABAc). Consulté le 21 mai 2022.
- [21] Samati .W “optimisation d’un réseau d’antenne ” thèse d’ingénieur, université de Blida, 2010.
- [22] [https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffr.wikipedia.org%2Fwiki%2FR%25C3%25A9seau\\_d%2527antennes&psig=AOvVaw3om80jNx\\_-YFn3FM1L7N\\_P&ust=1651886429397000&source=images&cd=vfe&ved=0CAkQjRxqFwoTCPihndPayfcCFQAAAAAdAAAAABAq](https://www.google.com/url?sa=i&url=https%3A%2F%2Ffr.wikipedia.org%2Fwiki%2FR%25C3%25A9seau_d%2527antennes&psig=AOvVaw3om80jNx_-YFn3FM1L7N_P&ust=1651886429397000&source=images&cd=vfe&ved=0CAkQjRxqFwoTCPihndPayfcCFQAAAAAdAAAAABAq). Consulté le 22 mai 2022.
- [23] Yeo. B, Lu, Y. Array failure correction with a genetic algorithm. *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 47, no. 5, pp. 823–828, (1999).
- [24] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095219761730088X> Consulté le 22 mai 2022.
- [25] Mirjalili.S, Saremi.S, Mirjalili.S.M, Colho. L.S. Multi-objective Grey Wolf optimizer: A novel algorithm for multi-criterion optimization. *Expert Systems With Applications* vol.47, pp. 160-119. 2016.
- [26] <https://link.springer.com/article/10.1007/s00366-019-00837-7>. Consulté la 23 mai 2022.
- [27] <https://www.semanticscholar.org/paper/An-efficient-modified-grey-wolf-optimizer-with-L%3A9vy-HeidariPahlavani/5cb47945eaff3ddfa1ab17021acce2b43f510174>. Consulté la 23 mai 2022.
- [28] M. KIHAL, “Développement de Modèles CEM pour Le Diagnostic et La Caractérisation des Perturbations dans Les Systèmes de Puissance ” Rapport scientifique université de Jijel” ,2019.

- [29] Mirjalili.S, Mirjalili S. M, Andrew Lewis, "Grey Wolf Optimizer", *Advances in Engineering Software*, vol. 69, pp. 46-61, 2014.
- [30] Oudira. H, Gouri .A, Mezache .A, "Optimization of Distributed CFAR Detection using Grey Wolf Algorithm", *Procedia Computer Science*, vol. 158, pp. 74-83, 2019.
- [31] Lakhlef .N, Oudira .H, Dumond .C, "Optimal Pattern Synthesis of Linear Antenna Arrays Using Modified Grey Wolf Optimization Algorithm", *Instrumentation Mesure Métrologie*, vol. 19, no. 4, pp. 255-261, 2020.
- [32] Lakhlef .N, Oudira .H, Dumond. C, "Failure Correction of linear Antenna Array using Grey Wolf Optimization", *IEEE OMCS*, pp.384–388, Agadir, Morocco, 2020.
- [33] Balanis.C.A. *Antenna Theory: Analysis and Design*. (2rd ed.). Singapore, John Wiley , Sons (2003) .
- [34] Lakhlef .N, Oudira .H, Dumond .C "Optimal Pattern Synthesis of Linear Antenna Arrays Using Modified Grey Wolf Optimization Algorithm", *Instrumentation Mesure Métrologie*, vol. 19, no. 4, pp. 255-261, 2020.
- [35] Harroua .F , Nounou.M. N, "Monitoring linear antenna arrays using an exponentially weighted moving average-based fault detection scheme", *Syst. Sci. Control Eng. Open Access Journal*, vol. 2, no. 1, pp.433–443, 2014.
- [36] Vakula.D, Sarma.N, "Fault diagnosis of planar antenna arrays using neural networks", *Progress. Electromagnetics Research. M*, vol. 6, pp. 35–46, 2009.
- [37] Guney .K, Basbug.S , "Interference suppression of linear antenna arrays by amplitude-only control using a bacterial foraging algorithm", *Progress In Electromagnetics Research*, vol. 79, pp. 475–497, 2008.
- [38] Yeo.B.K, Lu.Y.L, "Array Failure Correction With A Genetic Algorithm", *IEEE Trans Antennas Propagation*, vol. 47, no. 5, pp.823-828, 1999.