

**Université Kasdi** Université Kasdi Merbah Ouargla  
Faculté des Nouvelles Technologies de l'Information et de la Communication  
Département d'Electronique et Des Télécommunications



**Mémoire**  
**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine** : Science et Technologie

**Filière** : Electronique

**Spécialité** : systèmes de télécommunications

**Présenté par** : Hafsi Hadjira

**Thème**

*Etude des algorithmes performants pour la  
synthèse de diagramme de rayonnement  
des réseaux d'antennes*

**Devant le jury composé de:**

<b>Mr. CHEBARA</b> Fouad	<b>M.C.A</b>	Président	<b>UKM Ouargla</b>
<b>Mr. CHENINA</b> Hachemi	<b>M.A.A</b>	Examinateur	<b>UKM Ouargla</b>
<b>Mr. AOUNALLAH</b> Naceur	<b>M.C.A</b>	Encadreur	<b>UKM Ouargla</b>

Année : 2019-2020



قَالَ تَعَالَى: < قَالَ الَّذِي عِنْدَهُ عِلْمٌ مِنَ الْكِتَابِ أَنَا  
أَتَيْكَ بِهِ قَبْلَ أَنْ يَرْتَدَّ إِلَيْكَ طَرْفُكَ فَلَمَّا رَءَاهُ مُسْتَقِرًّا  
عِنْدَهُ قَالَ هَذَا مِنْ فَضْلِ رَبِّي لِيَبْلُوَنِي ءَأَشْكُرُ أَمْ  
أَكْفُرُ وَمَنْ شَكَرَ فَإِنَّمَا يَشْكُرُ لِنَفْسِهِ وَمَنْ كَفَرَ فَإِنَّ  
رَبِّي غَنِيٌّ كَرِيمٌ > {40}

{سُورَةُ النَّمْلِ}



A decorative border of pearls and roses surrounds the text. The top and right sides feature a row of pearls, while the left and bottom sides feature a vertical line of pearls. A large white rose with green leaves is in the top right corner, and a red rose with green leaves is in the bottom left corner.

## Remerciements

*Je remercie en premier lieu Dieu tout puissant de m'avoir accordé la puissance et la volonté pour achever ce travail.*

*Je remercie vivement mon encadreur, Le professeur Naceur Aounallah, d'avoir encadré ce travail avec beaucoup de compétences :*

*Merci pour votre indéfectible disponibilité, votre rigueur scientifique et la confiance que vous m'avez accordée au cours de l'élaboration de ce mémoire.*

*Je le remercie de m'avoir encadré, orienté, aidé et conseillé.*

*Je remercie tous ceux qui m'ont appris une lettre dans ma carrière éducative.*

*Je remercie beaucoup ma famille de m'avoir soutenu dans cette mémoire*

A decorative border of pearls and roses surrounds the text. The border consists of a top row of large pearls, a middle row of smaller pearls, and a bottom row of large pearls. On the left side, there are several roses: a red one at the top, a white one in the middle, and a white one at the bottom. On the right side, there is a large white rose at the bottom.

### *Dédicaces*

*A l'homme de ma vie, mon exemple éternel, mon soutien moral et source de joie et de bonheur, celui qui s'est toujours sacrifié pour me voir réussir, Mon père Que Dieu le protège.*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur ; maman que j'adore.*

*Aux celui que j'aime beaucoup, ma sœur Cherifa et son mari rabie, mes frères Faical et sa femme Amira , Abderaouf, Ishak, mes neveux Abdou, yasser, Djomana.*

*A ma grande mère Hanna.*

*A la personne qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui été toujours à mes côtés, mon fiancé Charaf Eddine.*

*A mes oncles et tantes et toutes la familles Hafsi et Berbia.*

*A toutes mes amies et mes collègues, spécialement Hana.*

## Résumé

Le but de ce travail de recherche est de d'étudier différentes méthodes de synthèses d'antennes. Nous essayons de jeter, d'une manière théorique, un aperçu sur les principales et performantes techniques existantes dans la littérature de ce domaine. Puis, nous passons à l'introduction des méthodes efficaces pour optimiser le diagramme de rayonnement d'un réseau antenne et atteindre des résultats désirés de synthèse. Parmi les méthodes d'optimisation utilisées, on est basé principalement sur l'algorithme génétique et l'algorithme d'essaim de particules (PSO). Des résultats de simulation sous Matlab sont à présenter dans le mémoire.

**Mots clés :** Réseau d'antennes, méthode de Chebyshev, technique de Fourier, optimisation, algorithme génétique, PSO.

## **Abstract**

The aim of this research work is to study different methods of antenna synthesis. We try to throw, in a theoretical way, an overview on the main and successful techniques existing in the literature of that field. Then, we move on to introducing effective methods to optimize the radiation pattern of an antenna array and achieve desired synthetic results. Among the optimization methods used, we are based mainly on the genetic algorithm and the particle swarm algorithm (PSO). Simulation results under Matlab software are to be presented in the thesis.

**Keywords:** Antenna array, Chebyshev method, Fourier technique, optimization, genetic algorithm, PSO

## المخلص

الهدف من هذا البحث هو دراسة طرق مختلفة لتركييب الهوائي. نحاول أن نلقي ، بطريقة نظرية ، نظرة عامة على التقنيات الرئيسية والناجحة الموجودة في أدبيات هذا المجال. بعد ذلك، ننتقل إلى تقديم طرق فعالة لتحسين مخطط إشعاع صفيق الهوائي وتحقيق النتائج التركيبية المرغوبة. من بين طرق التحسين المستخدمة ، نحن نعتمد بشكل أساسي على الخوارزمية الجينية وخوارزمية سرب الجسيمات (PSO). يتم تقديم نتائج المحاكاة في إطار برنامج الماتلاب في الأطروحة.

**الكلمات المفتاحية:** شبكة الهوائي ، طريقة تشيبيشيف ، تقنية فورييه ، التحسين ، الخوارزمية الجينية ، PSO.

## Liste des symboles et abréviations

$\vec{E}$ : Le champ électrique.

$\theta$  : L'angle de site (plan vertical).

$\varphi$  : L'angle d'azimut (plan horizontal).

$P_R$  : Puissance Rayonnée.

$\eta$  : L'efficacité.

$P_A$  : La puissance électrique en entrée.

$K$  : La constante de phase.

$\emptyset$  : La phase.

$d$  : La distance entre l'origine et l'antenne.

$M$  : Nombre de sources.

$N$  : Nombre d'antenne dans le réseau.

$(\Delta)$  : Direction d'antenne.

$C_i$  : L'amplitude de l'alimentation de l'antenne  $i$ .

$\psi$  : La phase de l'alimentation de l'antenne

$i_n$  : Les excitation.

$\lambda$  : Longueur d'onde.

$AF$  : Array Facteur (Facteur de réseau).

$M$  : Nombre de source.

$\beta$  : La constante de phase.

$Z_c$  : L'impédance caractéristique.

$Z_r$  : L'impédance de la charge.

$D(\theta, \varphi)$  : La directivité.

$G(\theta, \varphi)$  : La gain.

$\varepsilon$  : La permittivité.

$\pi$  : L'angle solide.

$\Psi$  : Variable de chebyshev.

AG : Algorithme génétique.

PSO : Particle swarm optimization.

NLS : Niveau des lobes secondaires.

$\vec{x}_i$  : Position de particule  $P_i$ .

$\vec{v}_i$  : vitesse de particule  $P_i$ .

$\vec{x}_{pbest_i}$  : Position de particule  $P_i$  pour la meilleur fitenss.

$\vec{x}_{gbest}$  : Position de particule  $P_i$  ayant la meilleur fitenss dans la population.

$\rho_1, \rho_2$  : valeurs aléatoires positives.

# Liste des Figures

<b>Figure.I.1</b> : différent type d'antenne .....	4
<b>Figure.I.2</b> : représentation de différent polarisation.....	5
<b>Figure.I.3</b> : diagramme de rayonnement .....	6
<b>Figure.I.4</b> : Illustration du diagramme de rayonnement d'une antenne .....	7
<b>Figure.I.5</b> : Géométrie d'un réseau d'antenne .....	8
<b>Figure.I.6</b> : Géométrie d'un réseau linéaire.....	9
<b>Figure.I.7</b> : Géométrie de type de réseau d'antenne .....	10
<b>Figure.I.8</b> : Géométrie de réseau uniforme.....	10
<b>Figure.I.9</b> : Réseau linéaire de N sources.....	11
<b>Figure.I.10</b> : Géométrie de réseau non-uniforme.....	13
<b>Figure II.1</b> : Exemple de gabarit avec largeur de lobe principal fixée.....	16
<b>Figure II.2</b> : Méthode de Dolph-chebyshev .....	17
<b>Figure II.3</b> : Méthode de série de Fourier.....	18
<b>Figure II.4</b> : Méthode de Schelkunoff .....	20
<b>Figure II.5</b> : Organigramme d'un algorithme génétique .....	23
<b>Figure II.6</b> : Les cinq niveaux d'organisation d'un algorithme génétique .....	25
<b>Figure II.7</b> : Volée d'Anser en formation en V .....	26
<b>FigureII.8</b> : Optimisation par essais particulaires (PSO) .....	28
<b>Figure III.1</b> : Exemple d'un diagramme de rayonnement obtenu par la synthèse de Tchebychev...30	
<b>Figure III.2</b> : Exemple d'un diagramme de rayonnement obtenu par la synthèse de Taylor...31	
<b>Figure III.3</b> : Exemple d'un diagramme de rayonnement obtenu par la synthèse de Kaiser...32	
<b>Figure III.4</b> : Diagramme de rayonnement d'un réseau linéaire uniforme à 20 éléments, synthétisé par l'algorithme génétique .....	33

<b>Figure III.5 :</b> Evolution du niveau maximum des lobes secondaires au cours des itérations..	34
<b>Figure III.6 :</b> Pondérations d’amplitudes et de phases obtenues par l’algorithme génétique..	34
<b>Figure III.7 :</b> Diagramme de rayonnement d’un réseau linéaire uniforme à 20 éléments, synthétisé par l’algorithme PSO .....	35
<b>Figure III.8 :</b> Evolution du niveau maximum des lobes secondaires au cours des itérations...	36
<b>Figure III.9 :</b> Pondérations d’amplitudes et de phases obtenues par l’algorithme PSO.....	36
<b>Figure III.10 :</b> Facteur de réseau normalisé pour la synthèse d’un diagramme somme à un niveau de lobes secondaires de -45 dB réalisé pour un réseau linéaire de 20 éléments avec une plage dynamique $A_{max}/A_{min} = 21\text{dB}$ .....	38
<b>Figure III.11 :</b> Le comportement du pic maximal du niveau des lobes secondaires (NLS) pendant le processus itératif .....	39
<b>Figure III.12 :</b> Le cône d’amplitude responsable au facteur du réseau .....	39
<b>Figure III.13 :</b> Le nombre de directions des lobes secondaires ne respectant pas les exigences $NLS=-45\text{dB}$ et le nombre de directions en champ lointain dans la région du lobe principal pendant le processus itératif .....	39
<b>Figure III.14 :</b> Facteur de réseau normalisé pour la synthèse d’un diagramme différence à un niveau de lobes secondaires de -45 dB réalisé pour un réseau linéaire de 20 éléments avec une plage dynamique $A_{max}/A_{min} = 21\text{dB}$ .....	40
<b>Figure III.15 :</b> Le comportement du pic maximal du niveau des lobes secondaires (NLS) pendant le processus itératif .....	40
<b>Figure III.16 :</b> Le cône d’amplitude responsable au facteur du réseau .....	40
<b>Figure III.17:</b> Le nombre de directions des lobes secondaires et le nombre du lobe principal pendant le processus itératif .....	41

## Liste des Tableaux

<b>Tableau II.1 :</b> Tableau de coefficients binomiaux .....	19
<b>Tableau III.1.</b> Paramètres d'optimisation utilisés par l'algorithme génétique.....	32
<b>Tableau III.2.</b> Paramètres d'optimisation utilisés par l'algorithme PSO .....	35

# Sommaire

Résumé	I
Abstract	II
Liste des symboles et abréviations	IV
Liste des Figures	VI
Liste des Tableaux	VIII
Sommaire	IX
Introduction Generale	1

## Chapitre I : Généralité sur les réseaux d'antennes

I.1 Introduction.....	4
I.2 Les antennes.....	4
I.2.1 Définition.....	4
I.2.2 Caractéristiques.....	4
I.2.2.1 Fréquence d'utilisation.....	4
I.2.2.2 Impédance d'antenne.....	4
I.2.2.3 Polarisation.....	5
Polarisation rectiligne ou linéaire .....	5
Polarisation circulaire .....	5
Polarisation elliptique.....	5
I.2.2.4 Diagramme de rayonnement .....	5
I.2.2.5 Directivité.....	6

I.2.2.6 Gain.....	6
I.2.2.7 Rendement.....	7
I.3 Les réseaux d'antennes.....	7
I.3.1 Définition .....	7
I.3.2 Facteur de réseaux d'antennes .....	9
I.3.3 Types de réseaux d'antennes .....	9
I.3.3.1 Réseaux linéaires.....	9
I.3.3.2 Réseaux circulaires .....	9
I.3.3.3 Réseaux planaires.....	9
I.4 Réseau linéaire uniforme et réseau linéaire non-uniforme.....	10
I.4.1 Réseaux uniformes.....	10
I.4.2 Réseaux non-uniformes.....	11
I.5 Domaines d'application.....	13
I.6 Conclusion.....	13

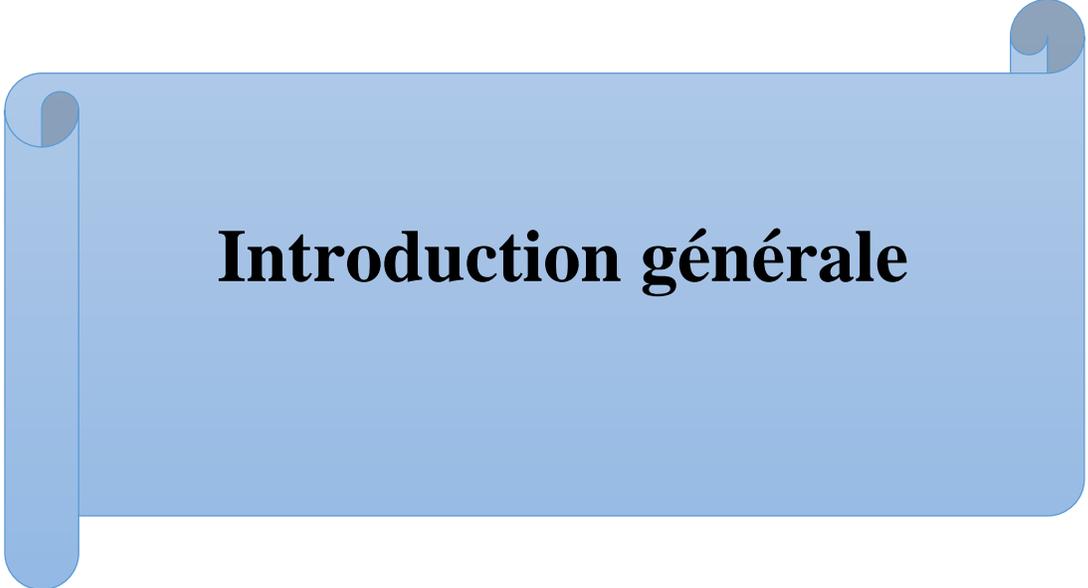
**Chapitre II : Techniques de synthèses**

II.1 Introduction .....	15
II.2 Types de synthèse .....	15
II.2.1 Synthèse en amplitude seulement.....	15
II.2.2 Synthèse en amplitude et phase .....	15
II.2.3 Synthèse en phase.....	15
II.3 Classes de diagramme de rayonnement du réseau.....	15
II.3.1 Contraintes sur tout le diagramme.....	15
II.3.2 Contraintes sur une partie du diagramme .....	16
II.4 Les différentes méthodes de synthèses.....	16
II.4.1 Méthodes classiques de synthèse des réseaux.....	17

II.4.1.1 Méthode de Dolph-chebyshev .....	17
II.4.1.2 Méthode de série de Fourier .....	18
II.4.1.3 Méthode de Binomial .....	19
II.4.1.4 Méthode de Schelkunoff.....	19
II.4.1.5 Méthode de Taylor .....	20
II.4.2 Méthodes avancées de synthèse des réseaux.....	21
II.4.2.1 Méthode de Woodward-Lawson.....	21
II.4.3 Définition de l'optimisation .....	21
II.4.4 Méthodes d'optimisations.....	22
II.4.4.1 Algorithme Génétique (AG).....	22
II.4.4.1.1 Le codage.....	23
II.4.4.1.2 Population initiale .....	23
II.4.4.1.3 Evaluation.....	24
II.4.4.1.4 Sélection.....	24
II.4.4.1.5 Croisement.....	24
II.4.4.1.6 Mutation.....	24
II.4.4.1.7 Critère d'arrêt.....	24
II.4.4.2 L'Optimisation par Essaim de Particules (OEP/PSO).....	25
II.4.4.2.1 Présentation de l'algorithme PSO.....	25
II.4.4.2.2 Définition sur optimisation par essaims de particule.....	26
II.4.4.2.3 Mode de fonctionnement de l'algorithme PSO.....	26
II.4.4.2.4 Composantes de la PSO.....	27
II.4.4.2.5 Formulation de l'algorithme.....	27
II.4.4.2.6 Principe de l'algorithme PSO.....	28
II.5 Conclusion.....	28

## Chapitre III : Résultats de simulation

III.1. Introduction.....	30
III.2 Exemples de simulation avec les algorithmes classiques .....	30
III.2.1 Méthode de Tchebychev.....	30
III.2.2 Méthode de Taylor.....	31
III.2.3 Méthode de Kaiser.....	31
III.3 Exemples de simulation avec les algorithmes d'optimisations.....	32
III.3.1 Exemple de simulation avec l'algorithme génétique.....	32
III.3.2 Exemple de simulation avec l'algorithme d'optimisation par essaim de particules.....	34
III.4 Exemple de simulation d'une synthèse de lobes secondaires à l'aide de la technique de Fourier itérative.....	36
III.5 Conclusion .....	41
Conclusion Générale .....	43
Références bibliographiques.....	46



# **Introduction générale**

# Introduction générale

---

## Introduction générale

Des antennes peuvent être arrangées dans l'espace, selon différentes configurations géométriques, pour obtenir des diagrammes très directifs. Ces configurations d'antennes s'appellent des réseaux. Dans un réseau d'antennes, les champs des différents éléments s'ajoutent de manière constructive dans certaines directions et de manière destructive (annulation) dans d'autres [1].

Combiner le rayonnement de plusieurs éléments rayonnants peut conduire à augmenter le rayonnement global, à condition de les combiner judicieusement. C'est ce principe qui est utilisé dans les réseaux d'antennes. Les réseaux d'antennes connaissent un grand essor en télécommunications, car ils permettent de produire des diagrammes de rayonnement complexes et modifiables électriquement [2].

L'avantage principal des réseaux d'antennes par rapport à une antenne simple est leurs capacités de balayage électronique, c'est-à-dire, que le lobe principal peut être orienté vers n'importe quelle direction en changeant la phase du courant d'excitation de chaque élément du réseau (antennes à réseaux déphasés). En outre, en agissant également sur les amplitudes des courants d'excitation, une grande variété de diagrammes de rayonnement et des caractéristiques de niveau des lobes secondaires peuvent être produites [1].

La synthèse du diagramme de rayonnement d'un réseau de sources n'est pas un problème nouveau en électromagnétisme. On peut déjà relever quelques articles traitant du sujet en 1940. Les premières réalisations pratiques ont, quant à elles, vu le jour dans les années cinquante. L'intérêt de l'utilisation de réseaux, plutôt que d'une seule source est que l'élément isolé a un rayonnement figé dans l'espace (sauf si on le fait tourner mécaniquement). En disposant plusieurs sources dans l'espace, et en pondérant chacun des éléments [3].

Pour une synthèse de diagramme de rayonnement de réseaux d'antennes, différentes méthodes analytiques et numériques d'optimisation (Fourier, WoodwardLawson, relaxation, Newton, gradient conjuguée, etc...) ont été développées et appliquées [3].

Les travaux de ce mémoire sont organisés en trois chapitres :

Le premier chapitre constitue une description générale sur les antennes et leurs

## **Introduction générale**

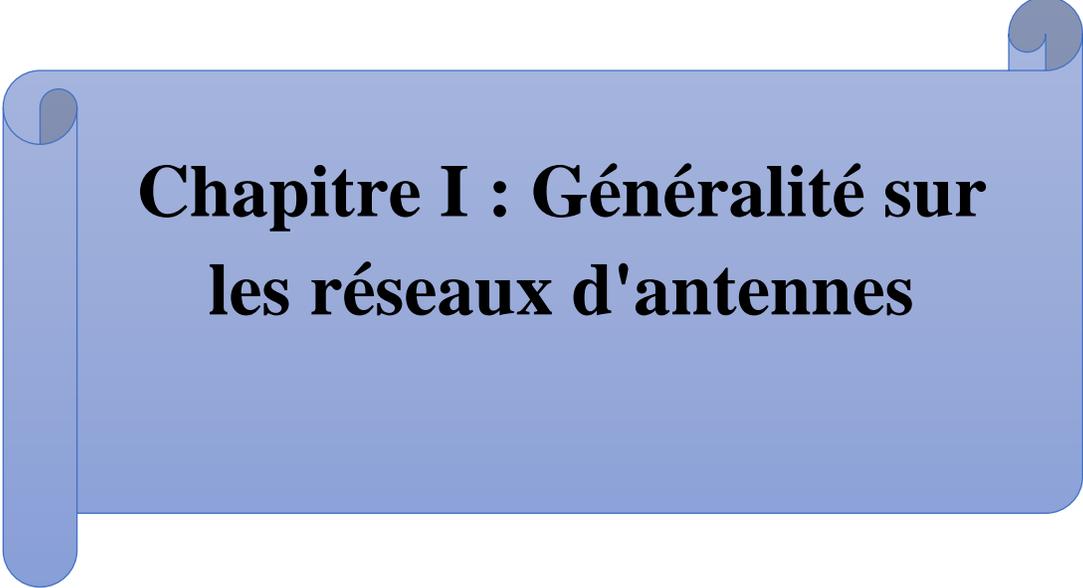
---

caractéristiques, ainsi que les réseaux d'antennes.

Le deuxième chapitre présente des méthodes classiques, des méthodes avancées, et quelques méthodes d'optimisations. Toutes ces techniques sont introduites en vue de voir leur avantage dans la synthèse du diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes.

Le dernier chapitre est consacré à la simulation et la reproduction de certains exemples de synthèse des diagrammes de rayonnement.

Enfin, le manuscrit se termine par une conclusion générale et la liste de références bibliographiques suivies dans la création de ce modeste travail.



**Chapitre I : Généralité sur  
les réseaux d'antennes**

## I.1 Introduction :

Ce chapitre donne en premier lieu la définition de l'antenne, et décrit quelques principales caractéristiques des antennes. En second lieu, une généralisation sur les réseaux d'antennes est introduite tout en montrant les différents types et configuration de ces réseaux.

## I.2 Les antennes

### I.2.1 Définition

Une antenne est un dispositif qui assure la transition entre un guide d'onde et l'espace libre dans lequel ces ondes vont se propager, ou inversement.

Les antennes peuvent servir à émettre ou à recevoir un signal sur différentes fréquences. Certaines antennes sont même capables de fonctionner dans les deux sens, en émission et en réception. Il existe plusieurs modèles d'antenne, chacune avec des spécificités qui lui sont propres. L'élément qui marque le plus leurs différences, c'est leur forme.

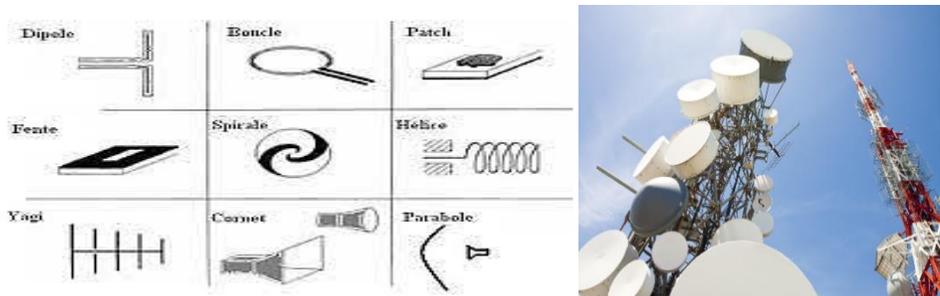


Figure.I.1 : Différent types d'antenne

### I.2.2 Caractéristiques

#### I.2.2.1 Fréquence d'utilisation

Une antenne s'utilise en général avec des signaux autour d'une fréquence donnée pour laquelle l'antenne possède des capacités optimales pour émettre ou recevoir l'énergie électromagnétique correspondante dans l'espace environnant. La fréquence de résonance d'une antenne dépend d'abord de ses dimensions propres, mais aussi des éléments qui lui sont ajoutés. Par rapport à la fréquence de résonance centrale de l'antenne, un affaiblissement de 3 dB détermine les fréquences minimum et maximum d'utilisation ; la différence entre ces deux fréquences correspond à la bande passante [1].

#### I.2.2.2 Impédance d'antenne

L'impédance d'une antenne se définit comme le rapport entre la tension et le courant a

son entrée.

En général, cette impédance est complexe : la partie réelle s'appelle résistance, la partie imaginaire réactance. Donc cette impédance est donnée par :

$$Z = \frac{V}{I} = R_r + jX \quad \text{Équation I.1}$$

### I.2.2.3 Polarisation

La polarisation d'une antenne est en fait la polarisation de l'onde émise par celle-ci. On la définit en s'intéressant à la façon dont se propage le vecteur  $\vec{E}$ .

- **Polarisation rectiligne ou linéaire :**

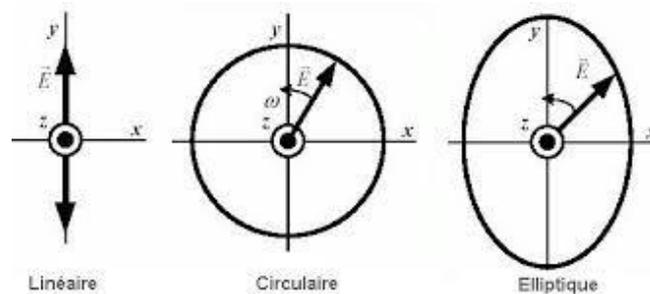
La polarisation de l'onde est dite rectiligne ou linéaire lorsque le champ électrique  $\vec{E}$  se propage en maintenant une direction constante dans le temps.

- **Polarisation circulaire :**

La polarisation de l'onde est dite circulaire lorsque le champ électrique  $\vec{E}$  décrit une hélice à section droite circulaire au cours du temps. Si on projette l'extrémité de  $\vec{E}$  sur un plan orthogonal, on obtient un cercle. Ce cercle peut être décrit en fonction du temps dans un sens ou dans l'autre : on parle alors de polarisation circulaire droite ou gauche.

- **Polarisation elliptique :**

Dans ce cas, l'extrémité du vecteur  $\vec{E}$  décrit une ellipse lorsque de sa projection dans un plan orthogonal à la propagation. Comme pour la polarisation circulaire, on distingue la polarisation elliptique droite et gauche.

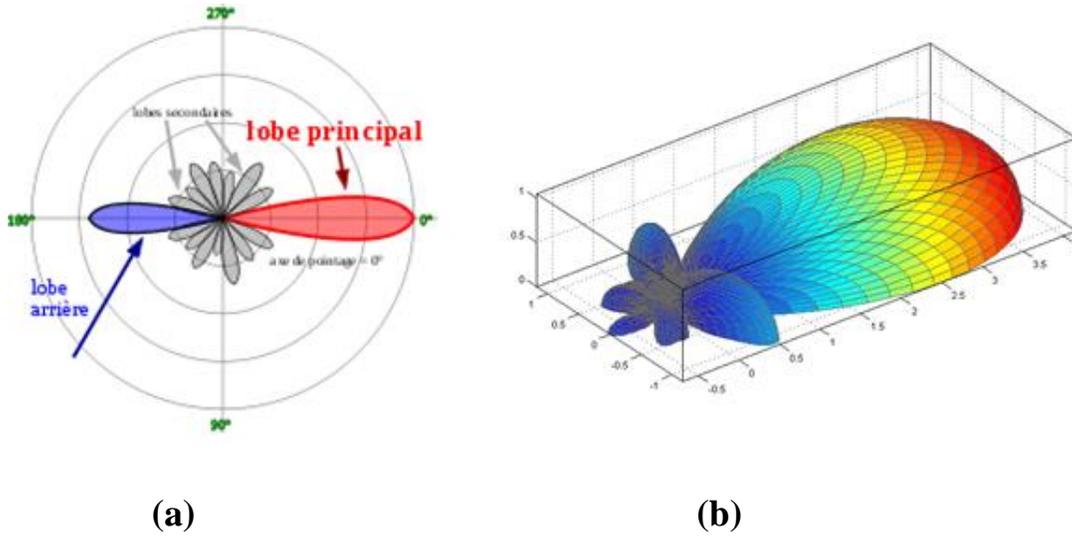


**Figure.I.2 : Représentation de différentes polarisations**

### I.2.2.4 Diagramme de rayonnement

Le diagramme de rayonnement d'une antenne permet de visualiser les lobes d'émission

dans les trois dimensions, dans le plan horizontal ou dans le plan vertical incluant le lobe le plus important. La proximité et la conductibilité du sol ou des masses conductrices environnant l'antenne peuvent avoir une influence importante sur le diagramme de rayonnement. Les mesures sur les antennes sont effectuées en espace libre ou en chambre anéchoïque.



**Figure.I.3 : Diagramme de rayonnement**

**a: diagramme dans le plan yOz b:Diagrammes de rayonnement 3D**

**I.2.2.5 Directivité**

La directivité d’une antenne caractérise la manière dont cette antenne concentre son rayonnement dans certaines directions de l’espace. La directivité d’une antenne dans une direction  $(\theta, \phi)$  est le rapport de la puissance  $P(\theta, \phi)$  à la puissance que rayonnerait la source isotrope par unité d’angle solide [4].

La directivité  $D(\theta, \phi)$  d’une antenne dans une direction  $(\theta, \phi)$  est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée  $P(\theta, \phi)$  et la puissance  $P_R$  que rayonnerait une antenne isotrope. [2]

$$D(\theta, \phi) = \frac{P(\theta, \phi)}{\frac{P_R}{4\pi}} = 4\pi \frac{P(\theta, \phi)}{P_R} \quad \text{Équation I.2}$$

**I.2.2.6 Gain**

Le gain  $G(\theta, \phi)$  d’une antenne dans une direction  $(\theta, \phi)$  est le rapport entre la puissance rayonnée dans une direction donnée  $P(\theta, \phi)$  sur la puissance que rayonnerait la source isotrope par unité d’angle solide [5].

$$G(\theta, \varphi) = 4\pi \frac{P(\theta, \varphi)}{P_A} \quad \text{Équation I.3}$$

### I.2.2.7 Rendement

Dans le cas de dégradation de puissance au niveau de l'antenne, soit du fait des pertes ou de mauvaise utilisation, on peut définir le rendement comme suit [5] :

$$P_R = \eta \cdot P_A \Rightarrow \eta = \frac{P_R}{P_A} \quad \text{Équation I.4}$$

$$\text{donc} \quad G = \eta \cdot D \quad \text{Équation I.5}$$

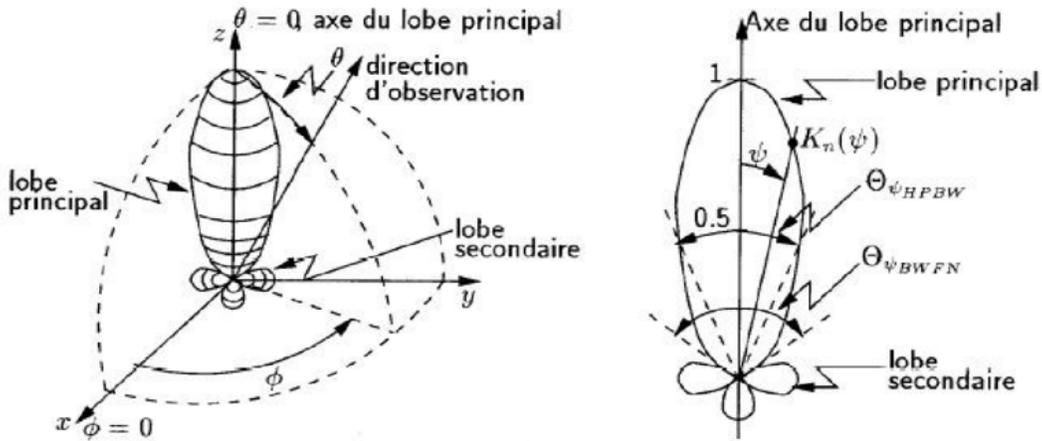


Figure.I.4 Illustration du diagramme de rayonnement d'une antenne

## I.3 Les réseaux d'antennes

### I.3.1 Définition

Un réseau d'antennes est un assemblage d'antennes élémentaires identiques (antennes filaires, cornets, patches ...) avec la même orientation, disposées selon une forme donnée et excitées par un système d'alimentation, afin de créer un rayonnement de forme particulière. Le rayonnement résultant est la superposition des rayonnements provenant de chaque élément, la puissance rayonnée est donc plus grande. Le diagramme de rayonnement d'un réseau d'antenne est plus étroit que celui d'une antenne élémentaire, sa directivité et son gain sont aussi importants, c'est pour ces avantages que les systèmes de télécommunication récents utilisent les réseaux d'antennes comme dispositifs d'émission et de réception. [6]

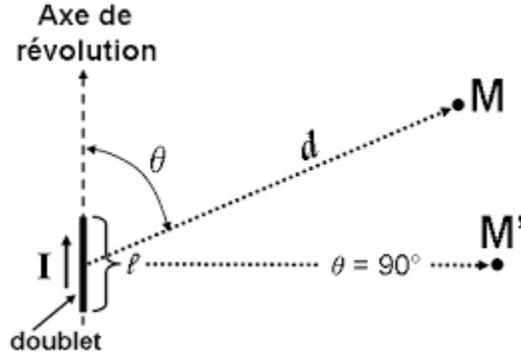


Figure.I.5 : Géométrie d'un réseau d'antenne

Soient deux antennes identiques séparées d'une distance et alimentées en phase (c'est-à-dire, déphasage des courants nul).

Calculons le champ électrique produit par cette paire d'antennes à une distance  $d$  très grande des antennes. C'est-à-dire que  $r$  est très grand comparée à la longueur d'onde  $\lambda$  et que  $\gg d$ . Comme la distance  $r$  est grande, l'angle  $\theta$  est le même pour les deux antennes et le champ produit par chacune sera aussi le même :  $E_{\theta_1}$  et  $E_{\theta_2}$ . Mais si l'amplitude est la même, la phase ne le sera pas, parce que l'antenne 2 est plus proche du point de mesure que 1. Le champ produit par l'antenne 2 arrivera  $\frac{l}{c}$  secondes plus tôt que le champ produit par l'antenne 1. Autrement dit, le champ produit par l'antenne 2 sera en avance de phase de :

$$\phi = 2\pi \frac{l}{\lambda} = kl = kd \sin \theta \quad \text{Équation I.6}$$

$k = \frac{2\pi}{\lambda}$  est le nombre d'onde.

Comme les deux champs sont parallèles, la somme vectorielle se réduit à additionner les amplitudes, mais en tenant compte du déphasage :

$$E_{\theta} = E_{\theta_1} + E_{\theta_2} = E_{\theta_1} + E_{\theta_1} e^{j\phi} = E_{\theta_1} (1 + e^{j\phi}) = E_{\theta_1} e^{\frac{j\phi}{2}} = E_{\theta_1} \left( e^{\frac{j\phi}{2}} + e^{-\frac{j\phi}{2}} \right) = 2E_{\theta_1} e^{\frac{j\phi}{2}} \cos\left(\frac{\phi}{2}\right) \quad \text{Équation I.7}$$

$$E_{\theta} = 2E_{\theta_1} e^{\frac{j\phi}{2}} \cos\left(\frac{kd}{2} \sin \theta\right) \quad \text{Équation I.8}$$

Comme la phase du champ électrique reçu ne présente aucun intérêt et que seule

l'amplitude est importante, seul le module de ce nombre nous intéresse :

$$E_{\theta} = 2|E_{\theta 1}| \left| \cos\left(\frac{kd}{2} \sin \theta\right) \right| \quad \text{Équation I.9}$$

### I.3.2 Facteur de réseaux d'antennes

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

$$F(\theta) = 2 \cos \left[ \frac{1}{2} (kd \cos \theta + \phi) \right] \quad \text{Équation I.10}$$

### I.3.3 Types de réseaux d'antennes

Il existe plusieurs configurations géométriques des réseaux d'antennes que l'on peut regrouper comme suit : réseau linéaire, réseau circulaire, réseau planaire [6].

#### I.3.3.1 Réseaux linéaires

Un réseau linéaire est un ensemble de  $N$  sources élémentaires (alignement des sources sur une droite) disposées selon un axe donné et excitées par un même système d'alimentation à une entrée et  $N$  sorties. Dans le cas des antennes multifaisceaux, le système d'alimentation à  $M$  entrées et  $N$  sorties, mais il peut être vu, au niveau du rayonnement, comme la superposition linéaire de  $M$  sous-systèmes à une entrée [7].

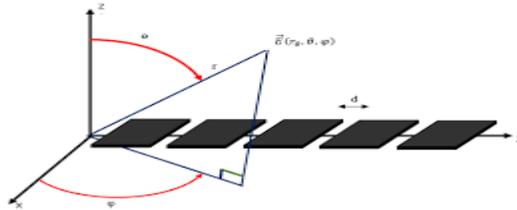


Figure.I.6 : Géométrie d'un réseau linéaire

#### I.3.3.2 Réseaux circulaires

Un réseau circulaire est un réseau où les éléments rayonnants sont répartis sur le périmètre d'un cercle et d'espacements égaux. Le plan où l'analyse de réseau se limite est le plan horizontal, il est caractérisé par les coordonnées polaires  $(\alpha, \varphi)$  [6].

#### I.3.3.3 Réseaux planaires

Un réseau planaire est un arrangement des antennes dans un plan. Le réseau planaire à forme rectangulaire qui est une généralisation du plan du réseau linéaire. Le cas le plus simple à

mettre en équation correspond à la mise en réseau selon un maillage rectangulaire de  $N \times M$  éléments rayonnants. Le pas du réseau rectangulaire ainsi obtenu peut-être différent selon les deux axes principaux du réseau [6].

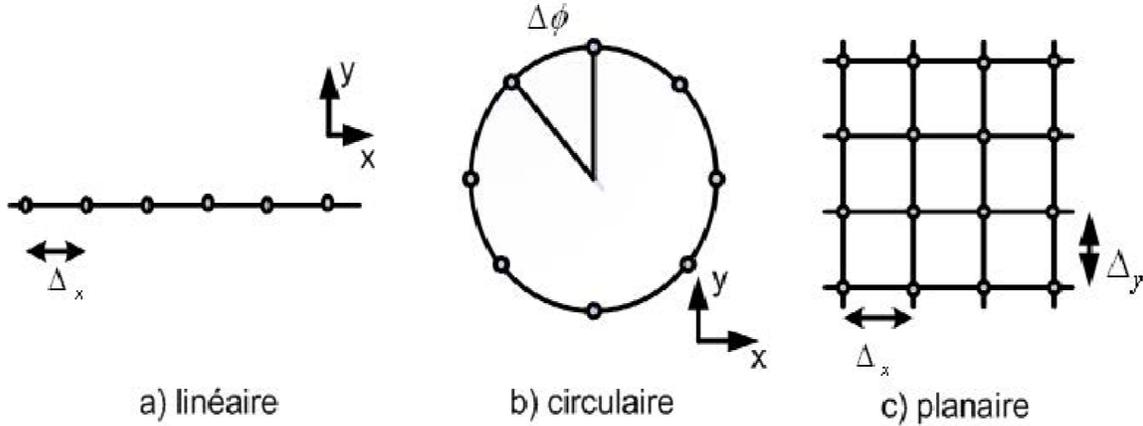


Figure.I.7 Géométries de types de réseau d'antenne

I.4 Réseau linéaire uniforme et réseau linéaire non-uniforme

I.4.1 Réseaux uniformes

Un réseau à alignement linéaire uniforme est un ensemble de N antennes identiques, régulièrement espacées et alimentées par des courants dont les amplitudes sont toutes identiques, et de phase nulle ou linéairement décalée [8].

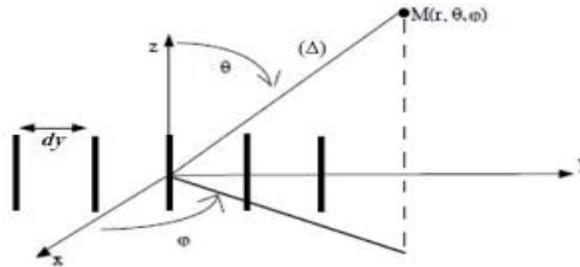


Figure.I.8 : Géométrie de réseau uniforme

Nous considérons dans un premier temps un réseau linéaire uniforme composé de N sources isotropes réparties selon un certain axe et séparées chacune d'une distance d, le pas du réseau. Chaque source élémentaire est supposée avoir son propre système d'excitation. Le réseau n'étant composé que d'un seul étage de sources, on peut simplifier par la formule suivante :

$$E = (\theta, \varphi) = \sum_n A_n F_n(\theta, \varphi) e^{jkr.R_n} \quad \text{Équation I.11}$$

En supposant que toutes les sources ont le même diagramme de rayonnement  $F_n(\theta, \varphi)$ , et en effectuant le produit scalaire  $r, R_n$ , on obtient :

$$E(\theta, \varphi) = F_n(\theta, \varphi) \sum_n A_n e^{jk(n-1)d \sin \theta \cos \varphi} \quad \text{Équation I.12}$$

On peut extraire de la formule (I.12) un terme ne dépendant que des amplitudes complexes  $A_n$  ainsi que de la position des éléments rayonnants. On obtient ainsi le facteur de réseau  $AF(\theta, \varphi)$  d'un réseau linéaire uniforme :

$$AF(\theta, \varphi) = \sum_n A_n e^{jk(n-1)d \sin \theta \cos \varphi} \quad \text{Équation I.13}$$

En faisant l'hypothèse que les sources sont alignées suivant l'axe X, et que les sources sont isotropes, le facteur de réseau ne dépend pas de l'orientation  $\varphi$ . On peut limiter l'étude au plan  $\varphi=0$ . le facteur de réseau se simplifie par la formule (I.14).

$$AF(\theta, \varphi) = \sum_n e^{jk(n-1)d \sin \theta} \quad \text{Équation I.14}$$

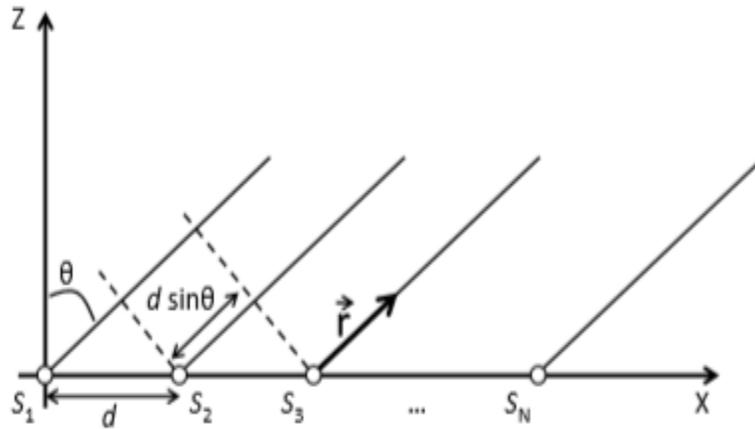


Figure.I.9 : Réseau linéaire de N sources.

### I.4.2 Réseaux non-uniformes

Les réseaux d'antennes périodiques sont des configurations de réseaux d'antennes avec un espacement inter-éléments uniforme. Le réseau périodique représente la discrétisation d'une ligne de sources continues à des positions distribuées, périodiquement, dans l'espace. Ce réseau périodique prélève les ondes incidentes, à des emplacements spécifiques, produisant des

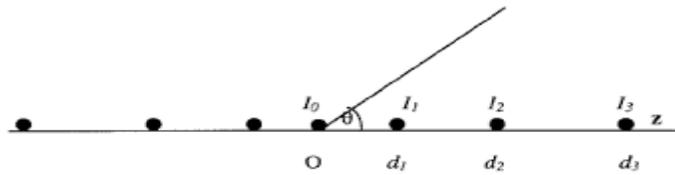
diagrammes de rayonnement régis par le critère d'échantillonnage de Nyquist . A la lumière de ce critère, la périodicité présente des limitations sur l'implémentation des réseaux périodiques. Par exemple, les diagrammes de rayonnement des réseaux périodiques, avec des espacements inter-éléments supérieurs à  $0.5\lambda$ , échantillonnent l'onde incidente avec un taux plus grand que celui du critère de Nyquist ; ce qui se traduit par l'apparition de l'effet de visibilité (aliasing) . Ce problème réduit l'efficacité du lobe principal et le balaye dans la région visible à cause de l'introduction des lobes de périodicité (des lobes principaux à des emplacements angulaires non désirés). On peut toujours éviter ces lobes de périodicité , qui vont rester en dehors de la région visible, grâce à un choix approprié de l'espacement inter éléments ( $d \leq \lambda$ ). Il est à noter que la corrélation entre les éléments du réseau diminue avec l'augmentation de l'espacement. Cependant, l'implémentation des réseaux périodiques n'est pas toujours facile à réaliser à cause de son coût élevé et des contraintes physiques comme le nombre très élevé des éléments du réseau. L'utilisation des réseaux aperiodiques (non-uniformes) peut surmonter ces limitations et augmenter la flexibilité du système [9].

Les réseaux d'antennes à distributions non uniformes sont des réseaux où la grille sur laquelle les éléments sont répartis possède un pas non-uniforme ou bien dans laquelle certains éléments peuvent être absents, chargés particulièrement ou encore être de types différents.

Les alignements dont les éléments peuvent avoir des excitations variables. On utilise des réseaux non-uniformes afin par exemple de réduire le niveau des lobes secondaires du diagramme ou d'imposer des nuls dans certains direction. Différentes méthodes peuvent être utilisées pour obtenir les excitations des éléments du réseau [10].

Dans cette section, on va voir que dans un réseau d'antennes non-uniforme la distribution d'amplitude commande le niveau des lobes secondaires. Pour cela, on considère  $N$  antennes identiques, équidistantes, disposées linéairement, alimentées avec des amplitudes différentes  $a_n$ . La formule (I.18) représente le facteur du réseau associé à ce réseau [8] :

$$AF = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)\beta} \cdot e^{j(n-1)k\Delta r} = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)(\beta+k\Delta r)} = \sum_{n=1}^N a_n e^{j(n-1)S} \quad \text{Équation I.15}$$



**Figure.I.10 : Géométrie de réseau non-uniforme**

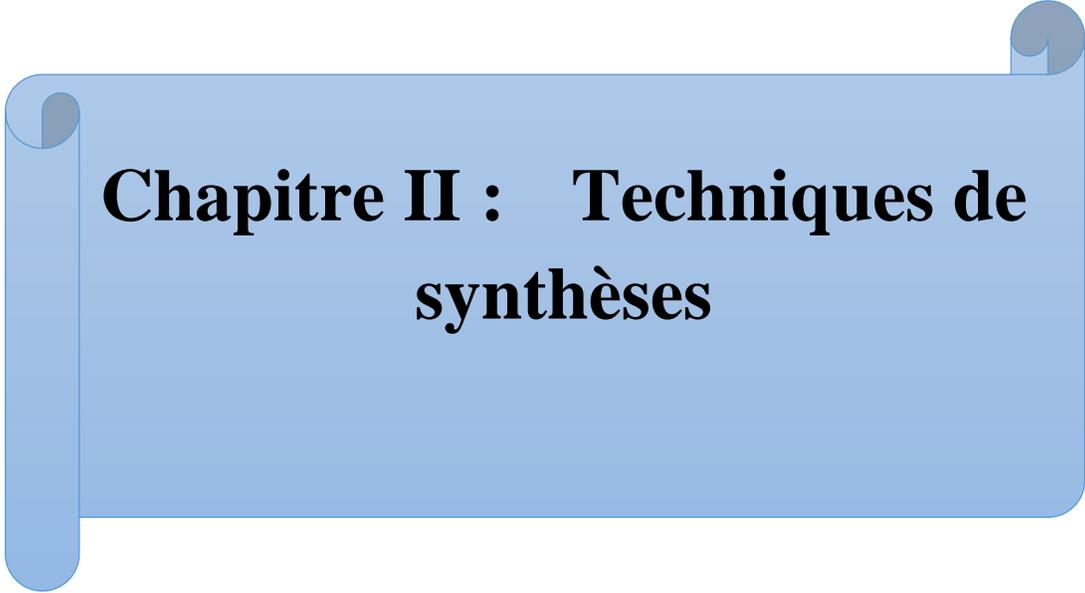
### I.5 Domaines d'applications

Pour que la communication entre deux points distants puisse être effectuée et pour que le récepteur puisse distinguer le signal émis du bruit, les réseaux d'antenne  $s$ , et grâce à leur robustesse par rapport à une antenne élémentaire, sont utilisés dans plusieurs applications :

- \* Télécommunication : -Téléphonie mobile (terminaux portatifs GSM, DCS, PCS, etc.)
- Antennes sur stations de bases.
- \*Satellites :-Télévision directe domestique ou embarquée sur véhicules.
- Réseaux à faisceaux commutés à couverture reconfigurable.
- Systèmes de radiolocalisation par GPS, Galileo, Glonass.
- \* Aéronautique : -Communication, navigation, altimètres, systèmes d'atterrissages.
- Radars de poursuite monopulse ou synchrone [6].

### I.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une généralité sur les antennes et nous avons décrit l'importance des caractéristiques de ces antennes, et ensuite nous avons présenté aussi la définition et les différents types de réseau antennaire ainsi que les sous-types de réseau linéaire (uniforme et non-uniforme).

A blue scroll graphic with rounded corners and a vertical strip on the left side, resembling a rolled-up document. The text is centered on the scroll.

## **Chapitre II : Techniques de synthèses**

## II.1. Introduction

La synthèse d'un réseau d'antennes consiste à trouver les bons coefficients de pondération en amplitude et/ou en phase qui permettent d'approcher au mieux le besoin. Pour cela, l'alimentation d'un réseau d'antennes s'effectue à travers un réseau d'alimentation qui assure la répartition d'énergie sur différentes antennes élémentaires. Dans ce chapitre, nous allons décrire plusieurs techniques pour la synthèse du diagramme de rayonnement des antennes, parmi lesquelles on présente des méthodes classiques (Chebyshev, Binomial, Taylor...), des méthodes avancées (Woodward-Lawson) et des méthodes d'optimisations.

## II.2. Types de synthèse :

### II.2.1 Synthèse en amplitude seulement :

Ce type de synthèse permet de réaliser des lobes directifs symétriques avec la possibilité de jouer sur le niveau des lobes secondaires. Les techniques analytiques (Fourier, Chebyshev, ...) [11].

### II.2.2 Synthèse en amplitude et phase :

Ce type de synthèse permet de réaliser des lobes directifs avec des niveaux de lobes secondaires "fortement contrôlable". Cette technique est efficace pour les applications en réseau adaptatif, mais sa mise en pratique, nécessite un outil de synthèse en amplitude et en phase [11].

### II.2.3 Synthèse en phase :

Ce type permet de réaliser des lobes directifs avec un niveau des lobes secondaires "moyennement contrôlable". Avec cette technique, on peut contrôler le niveau reçu dans la direction du rayonnement utile et interférent. Sa mise en pratique nécessite des "déphaseurs" contrôlés par un outil de synthèse de phase. Ce type de synthèse est un bon compromis qui permet de réaliser le formage du lobe directif avec un temps de calcul et un coût relativement faible [11].

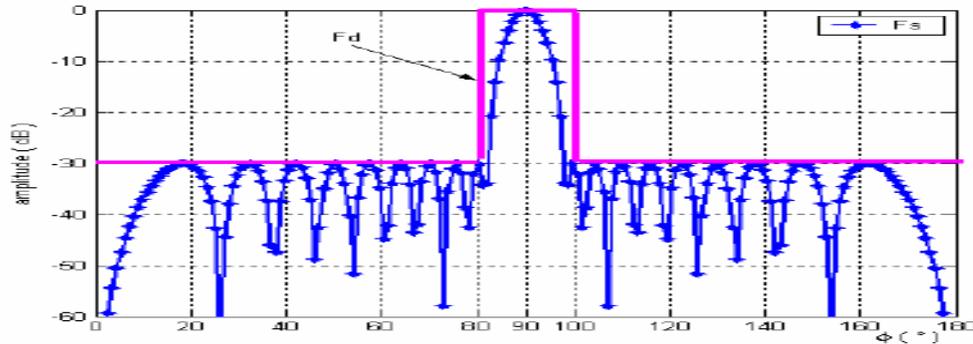
## II.3 Classes de diagramme de rayonnement du réseau :

En ce qui concerne le diagramme de rayonnement du réseau, les contraintes peuvent être classées de manière générale en deux classes :

### II.3.1 Contraintes sur tout le diagramme

Dans le diagramme plusieurs contraintes doivent être respectées en même temps, comme le

niveau de lobes secondaires, la largeur du lobe secondaire, le niveau d'oscillation du lobe principal [1].



**Figure II.1 : Exemple de gabarit avec largeur de lobe principal fixée**

### II.3.2 Contraintes sur une partie du diagramme

Elimination d'un signal parasite : on veut annuler, sur une petite bande angulaire, l'émission ou la réception d'un signal. On relâchera si besoin les contraintes sur la largeur du lobe principal pour que le gabarit soit satisfait en donnant la priorité à la zone où on veut l'annulation [1].

Lobes secondaires de bas niveau : on veut souvent que le niveau des lobes secondaires soit le plus bas possible. On mettra donc le paramètre  $p_{\max}$  à une valeur basse, quitte à relâcher les autres valeurs traduisant les contraintes pour que la contrainte  $p_{\max}$  soit satisfaite.

Largeur de lobe principal : on rappelle que la largeur du lobe principal est définie par la valeur des paramètres pour laquelle la fonction puissance  $P(\theta, \varphi)$  est à  $-3dB$  en dessous de sa valeur maximale. Dans le cas où on veut fixer cette valeur, on choisira les paramètres du gabarit pour satisfaire cette contrainte [1].

### II.4 Les différentes méthodes de synthèses

Dans la conception d'un réseau d'antennes, il est nécessaire d'obtenir la largeur la plus étroite du faisceau principal avec des niveaux de lobes secondaires inférieurs. Il a été constaté que l'augmentation de la capacité de courant du centre vers les bords du filet augmente le niveau des lobes secondaires, mais avec une augmentation de la largeur du faisceau principal. Dans la plupart des applications, il est souhaitable d'avoir un faisceau principal étroit ainsi que des lobes secondaires bas.

## II.4.1 Méthodes classiques de synthèse des réseaux

### II.4.1.1 Méthode de Dolph-chebyshev

La méthode Chebyshev, traitée comme une méthode classique de synthèse d'antennes réseau, génère le lobe principal le plus étroit avec un niveau de lobes secondaires défini. En bref, le procédé obtient des poids pour un réseau linéaire large uniformément espacé et aide à obtenir la largeur de faisceau nulle-nulle minimale possible. L'idée principale de cette méthode est de faire correspondre les coefficients de réseau inconnus avec les coefficients polynomiaux de Chebyshev connus [12].

Le processus de synthèse de Dolph-chebyshev commence en spécifiant le niveau relatif  $R$  de lobes secondaires par rapport au niveau du lobe principal et permet ensuite de trouver les courants d'excitation d'un réseau de  $P$  antennes ayant une largeur de lobe minimale [10].

Le facteur de réseau exprimé comme un polynôme de chebyshev:

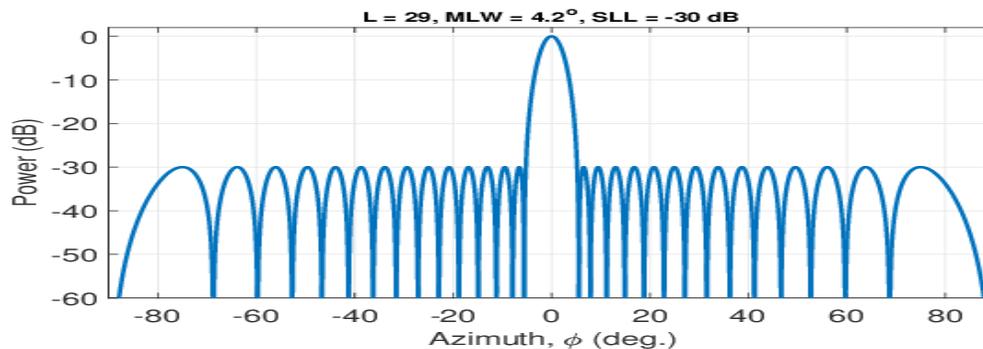
$$f(\Psi) = T_{p-1} \left[ X_0 \cos \frac{\Psi}{2} \right] \quad \text{Équation II.1}$$

Ou la variable  $\Psi = \frac{2\pi}{\lambda} d \cos \omega$ . La valeur pic  $R$  se produit pour  $\Psi = 0$  :

$$f(\Psi) = 0 = R = T_0(X_0) = \cosh[(P - 1)\text{Arccosh}(X_0)] \quad \text{Équation II.2}$$

Résolvant cette équation, on obtient :

$$X_0 = \cosh \left[ \frac{\text{Arccosh} R}{P-1} \right] \quad \text{Équation II.3}$$



**Figure II.2 : Méthode de Dolph-chebyshev**

**II.4.1.2 Méthode de série de Fourier :**

Le diagramme de n'importe quel réseau peut s'exprimer comme le produit de deux fonctions :

$$F(\theta, \phi) = g(\theta, \phi) f(\theta, \phi)$$

Où  $g$  est le diagramme de l'élément du réseau et  $f$  le facteur de réseau.

Le facteur de réseau est déterminé par l'espacement  $d$  entre les éléments et les excitations  $\{i_n\}$ .

Pour un nombre impair d'éléments [10]  $P = 2N + 1$ , on a :

$$f(\omega) = K \sum_{n=-N}^N i_n e^{j2\pi n(d/\lambda)\omega} \tag{Équation II.4}$$

Cette expression est similaire à une série de Fourier. On peut donc la représenter par :

$$f_d(\omega) = K \sum_{n=-\infty}^{\infty} b_n e^{j2\pi n(d/\lambda)\omega} \tag{Équation II.5}$$

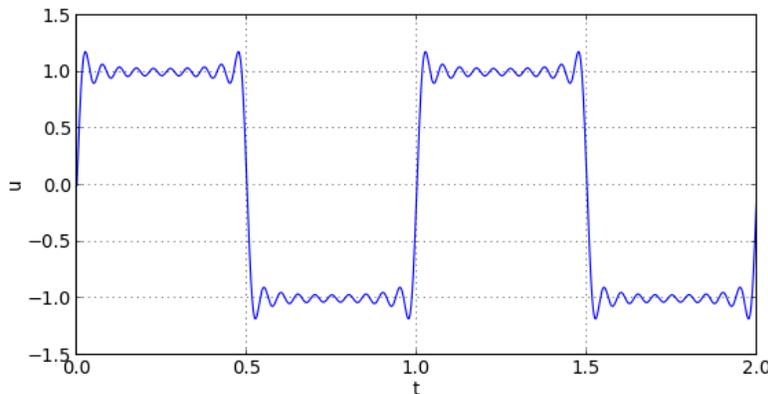
Avec :  $-\lambda/2d < \omega < \lambda/2d$

Pour coefficients :

$$b_n = \frac{d}{\lambda} \int_{-\lambda/2d}^{\lambda/2d} f_d(\omega) e^{-j2\pi n(d/\lambda)\omega} d\omega \tag{Équation II.6}$$

$d$  est la distance entre les antennes et  $\omega = \cos\theta$  ( $\theta$ , la direction). Une méthode pratique de synthèse consiste à tronquer la somme de façon à avoir :

$$i_n = b_n \quad 1 \leq |n| \leq N$$



**Figure II.3 : Méthode de série de Fourier**

**II.4.1.3 Méthode de Binomial :**

Dans le cas d'un réseau binomial avec  $N$  éléments, on peut montrer que le facteur de réseau avec des coefficients d'excitation non-uniformes peut s'exprimer comme :

$$F(\theta, \varphi) = (1 + e^{j\Psi})^{N-1} = 1 + (N - 1)e^{j\Psi} + \frac{(N-1)(N-2)}{2!} e^{j2\Psi} + \dots \quad \text{Équation II.7}$$

On observe que les courants du réseau prennent la forme d'une série binomiale et c'est pourquoi ce réseau est connu sous le nom de réseau binomial. Le tableau suivant montre les coefficients d'excitation pour différentes valeurs de  $N$  [13].

1	N = 1
1 1	N = 2
1 2 1	N = 3
1 3 3 1	N = 4
1 4 6 4 1	N = 5
1 5 10 10 5 1	N = 6
1 6 15 20 15 6 1	N = 7
1 7 21 35 35 21 7 1	N = 8
1 8 28 56 70 56 28 8 1	N = 9
1 9 36 84 126 126 84 36 9 1	N = 10

**Tableau II.1 : Tableau de coefficients binomiaux**

**\*Avantage**

Le réseau binomial possède des lobes secondaires très bas qu'on peut annuler lorsque la distance est de  $\lambda/2$ .

**\*Inconvénients**

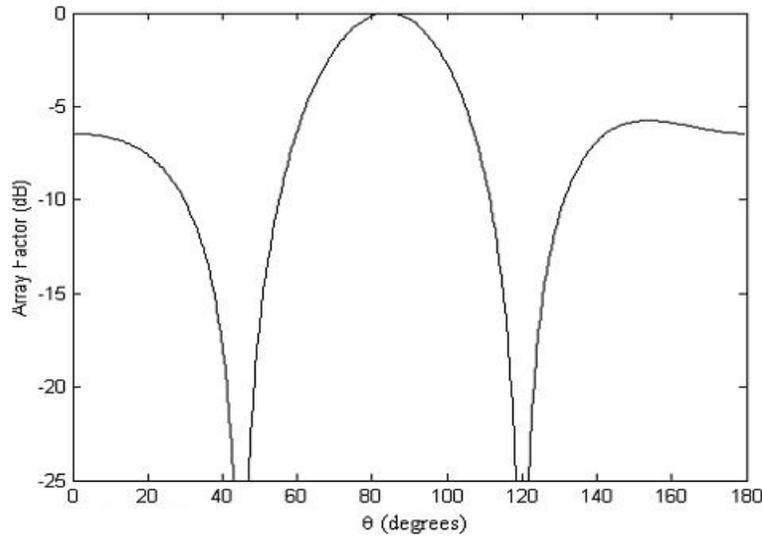
- Ils ont une ouverture grande comparativement au réseau uniforme
- Il y a de grandes variations entre les coefficients d'excitation [13].

**II.4.1.4 Méthode de Schelkunoff**

Cette méthode est utile lorsque des valeurs nulles sont souhaitées dans le facteur de réseau. Le nombre d'éléments et leur excitation d'amplitude sont déterminés. Comme plus d'éléments sont utilisés, un meilleur contrôle de la forme du facteur de tableau est obtenu.

$$AF = a_n(Z - Z_1)(Z - Z_2) \dots (Z - Z_{N-1}) \quad \text{Équation II.8}$$

$$Z = x + jy = e^{j\psi} = e^{j(kd\cos\theta + \beta)} \quad \text{Équation II.9}$$



**Figure II.4 : Méthode de Schelkunoff**

**II.4.1.5 Méthode de Taylor :**

Cette méthode est utile pour générer des facteurs d'espace latéraux dont les lobes mineurs se désintègrent toujours lorsqu'ils sont éloignés du lobe principal. Le niveau des lobes est contrôlé par un paramètre qui est le seul qui puisse être modifié. Cette méthode donne comme résultat l'excitation d'une source de ligne à partir de la spécification du niveau de lobes souhaité et de la longueur de la source de ligne elle-même [14].

Dans une conception idéale, les lobes mineurs sont maintenus à un niveau égal et spécifique. Puisque les lobes mineurs sont d'ondulation égale et s'étendent jusqu'à l'infini, cela implique une puissance infinie. Plus réaliste, cependant, la technique introduite par Taylor conduit à un modèle dont les premiers quelques lobes mineurs (les plus proches du lobe principal) sont maintenus à un niveau égal et spécifié ; les lobes restants se désintègrent de façon monotone. Pratiquement, même le niveau des lobes mineurs les plus proches présente une légère décroissance monotone. Cette désintégration est fonction de l'espace u sur lequel ces lobes mineurs doivent être maintenus à un niveau égal. À mesure que cet espace augmente, le taux de décroissance des lobes mineurs les plus proches diminue [15].

$$A(Z) = \prod_{n=1}^{N-1} (Z - Z_n) \quad \text{Équation II.10}$$

$$AF(\theta) = \frac{\cosh[\sqrt{(\pi A)^2 - S^2}]}{\cosh(\pi A)} \quad \text{Équation II.11}$$

$$S = \pi \frac{1}{\lambda} \cos \theta \quad \text{Équation II.12}$$

Dont la valeur maximale se produit lorsque  $u = 0$ . La constante  $A$  est liée au niveau maximal souhaité des lobes latéraux  $R_0$  par :

$$\cosh(\pi A) = R_0 \quad (\text{voltage ratio})$$

## II.4.2 Méthodes avancées de synthèse des réseaux

### II.4.2.1 Méthode de Woodward-Lawson :

Cette technique permet d'avoir un diagramme qui coïncide avec les spécifications à un nombre limité de points. Il s'agit donc d'une méthode de mise en forme du faisceau basée sur l'échantillonnage de la mise au point automatique souhaitée. Pour chaque échantillonnage, un ensemble de signaux d'amplitude uniforme et d'excitation de phase progressive est calculé. Une telle excitation produit un motif de type  $\text{sinc}(x)$  avec le lobe principal juste dans la direction de l'échantillonnage. Des lobes mineurs et des nuls sont également produits, mais les points d'échantillonnage sont choisis de telle sorte que la contribution dans la direction échantillonnée provient d'un seul ensemble d'excitation. L'excitation du réseau est obtenue en ajoutant tous les signaux d'excitation partielle [14].

$$AF = \sum_{-M}^M b_m \frac{\sin\left[\frac{N}{2}kd(\cos\theta - \cos\theta_m)\right]}{N \sin\frac{kd}{2}(\cos\theta - \cos\theta_m)} \quad \text{Équation II.13}$$

### II.4.3 Définition de l'optimisation

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

Elle est utilisée dans les mathématiques appliquées (fondamentales pour l'industrie et l'ingénierie), en analyse numérique, en statistique pour la recherche de stratégies dans le cadre de la théorie des jeux, ou l'optimisation joue un rôle important en recherche opérationnelle.

Aujourd'hui, tous les systèmes susceptibles d'être décrits par un modèle mathématique sont optimisés. La qualité des résultats et des prédictions dépend de la pertinence du modèle, de l'efficacité de l'algorithme et des moyens pour le traitement numérique [16].

### II.4.4 Méthodes d'optimisations

Il existe diverses stratégies et méthodes proposées dans lesquelles en diminuant l'amplitude du courant d'alimentation des éléments, les niveaux des lobes secondaires sont réduits. L'une des méthodes de suppression des lobes secondaires et de contrôle du faisceau consiste à utiliser des techniques d'optimisation. Pour les applications de réseaux d'antennes, les techniques d'optimisation populaires sont l'algorithme génétique, l'optimisation de l'essaim de particules. Une équation différentielle avec un algorithme de recherche de suivi arrière est appliquée pour réduire le niveau des lobes secondaires du réseau circulaire concentrique. Le placement nul et la minimisation du niveau du lobe secondaire pendant le balayage d'une antenne réseau linéaire en utilisant la procédure de synthèse optimale de Pareto sont décrits [17].

#### II.4.4.1 Algorithme Génétique (AG)

Les algorithmes génétiques sont une famille de modèles de calcul inspirés de l'évolution. L'AG peut être utilisé pour trouver des solutions approximatives aux problèmes de recherche grâce à l'application des principes de la biologie évolutive. L'AG utilise des techniques d'inspiration biologique, telles que l'hérédité génétique, la sélection naturelle, la mutation. La méthode est utilisée pour résoudre à la fois les problèmes d'optimisation contraints et non contraints basés sur la sélection naturelle, le processus qui conduit l'évolution biologique. L'algorithme modifie à plusieurs reprises une population de solutions individuelles. À chaque étape, un individu est sélectionné au hasard dans la population actuelle pour former les parents et les utilise pour produire les enfants (progéniture) pour la prochaine génération. Au fil des générations successives, la population "évolue" vers une solution optimale. Les GAs peuvent être utilisés lorsque la fonction de fitness est discontinue, non différentiable, stochastique ou très non linéaire [18].

Amélioration des caractéristiques d'antenne telles que la directivité, l'entrée l'impédance, la bande passante, le niveau des lobes secondaires, le niveau de profondeur nul et la taille ont toujours été le but des chercheurs en antennes. C'est important pour l'antenne les chercheurs disposeront des outils les plus récents pour concevoir efficacement des antennes spécifications données. Les techniques d'optimisation sont utilisées pour synthétiser une antenne à partir de caractéristiques de rayonnement données ou simplement améliorer les conceptions d'antennes [19].

Un algorithme génétique à la structure suivante:

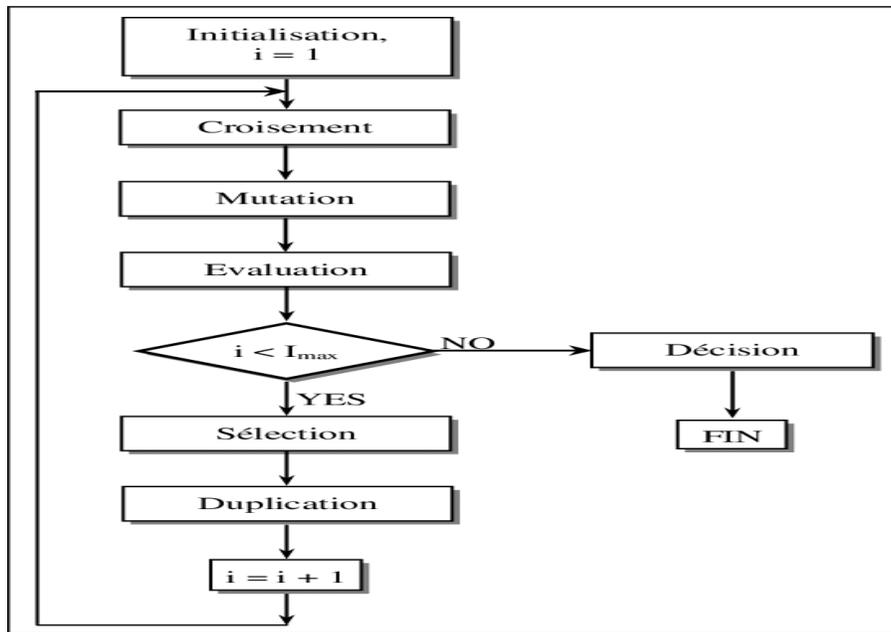


Figure II.5 : Organigramme d'un algorithme génétique

#### II.4.4.1.1 Le codage

La première étape est de définir et de coder convenablement le problème. A Chaque paramètre d'une solution nous faisons correspondre un gène, nous appelons un chromosome un ensemble de gènes. Chaque dispositif est représenté par un individu doté d'un génotype constitué d'un ou plusieurs chromosomes. Nous appelons population, un ensemble de  $N$  individus que nous allons faire évoluer [20].

#### II.4.4.1.2 Population initiale

Le choix de la population initiale d'individus conditionne fortement la rapidité de l'algorithme. Si la position de l'optimum dans l'espace d'état est totalement inconnue, il est naturel de générer aléatoirement des individus en faisant des tirages uniformes dans chacun des domaines associés aux composantes de l'espace d'état en veillant à ce que les individus produits respectent les contraintes du problème. Si par contre, des informations à priori sur le problème sont disponibles, il paraît bien évidemment naturel de générer les individus dans un sous-domaine particulier afin d'accélérer la convergence. Dans l'hypothèse où la gestion des contraintes ne peut se faire directement, les contraintes sont généralement incluses dans le critère à optimiser sous forme de pénalités. Il est clair qu'il vaut mieux, lorsque c'est possible, ne générer que des éléments de population respectant les contraintes [20].

### II.4.4.1.3 Evaluation

L'évaluation de chaque individu est réalisée par une fonction d'évaluation dite fonction fitness. Cette fonction représente le seul lien entre le problème physique et l'AG.

### II.4.4.1.4 Sélection

Cette opération est peut-être la plus importante puisqu'elle permet aux individus d'une population de survivre, de se reproduire ou de mourir. En règle générale, la probabilité de survie d'un individu sera directement reliée à son efficacité relative au sein de la population [20].

### II.4.4.1.5 Croisement

L'opération de croisement permet la création de nouveaux individus selon un processus fort simple. Il permet donc l'échange d'information entre les chromosomes (individus) [20].

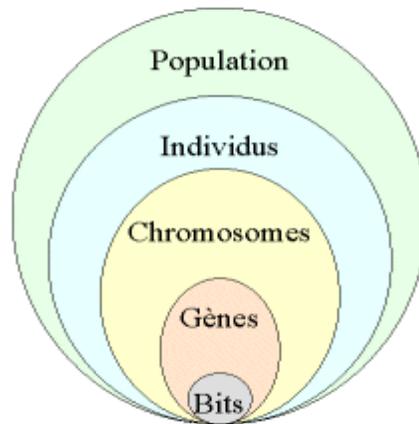
### II.4.4.1.6 Mutation

Nous définissons la mutation comme étant l'inversion d'un bit (ou de plusieurs bits) dans un chromosome, cela revient à modifier aléatoirement la valeur d'un paramètre du dispositif. Les mutations jouent le rôle de bruit et empêchent l'évolution de se figer. Elles permettent d'assurer une recherche aussi bien globale que locale, selon le poids et le nombre des bits mutés. De plus elles garantissent mathématiquement que l'optimum global peut être atteint [20].

### II.4.4.1.7 Critère d'arrêt

On répète les opérations génétiques tant qu'un nombre de générations déterminé n'est pas atteint, ou tant que l'algorithme ne converge pas vers un individu optimal. Dans notre cas, nous avons choisi comme critère d'arrêt le nombre maximal de générations. L'application de l'AG à l'optimisation des réseaux d'antennes aura aussi pour avantage l'action simultanée de plusieurs paramètres réalisant différentes fonctions propres au réseau d'antennes. Cependant, cette approche peut présenter un inconvénient majeur représenté par le temps de calcul machine. En effet, celui-ci s'avère assez élevé par rapport aux méthodes déterministes d'optimisation. Ce temps dépend de la taille de la matrice de la population à explorer car il faut un nombre élevé d'individus dans la matrice pour une recherche de la meilleure solution.

Chaque gène représente une partie élémentaire du problème, il peut être assimilé à une variable et peut prendre des valeurs différentes appelées allèles. La position du gène dans le chromosome se nomme locus. Nous aboutissons à une structure présentant cinq niveaux d'organisation (voir figure II.6) [21].



**Figure II.6 : Les cinq niveaux d'organisation d'un algorithme génétique**

L'algorithme génétique est résumé dans les étapes suivantes:

1. Créez une population initiale en générant aléatoirement une population initiale dans la plage de contraintes variables.
2. Évaluez et enregistrez la forme physique de chaque individu dans la population actuelle en fonction de la fonction objectif.
3. Définissez la probabilité de sélection pour chaque individu afin qu'elle soit proportionnelle à sa forme physique.
4. Génère la population suivante en sélectionnant de manière probabiliste les individus de la population actuelle précédente pour produire une progéniture via des opérateurs génétiques.
5. Arrêtez l'analyse une fois le nombre maximal de générations atteint ou répétez l'étape 2 jusqu'à ce qu'une solution satisfaisante soit obtenue [18].

#### II.4.4.2 L'Optimisation par Essaim de Particules (OEP/PSO)

##### II.4.4.2.1 Présentation de l'algorithme PSO

L'Optimisation par Essaim de Particules (OEP), connu sous le nom anglophone de Particle Swarm Optimization (PSO), est un algorithme inscrit dans la famille des algorithmes évolutionnaires. Il a été proposé par Russel Eberhart (ingénieur en électricité) et James Kennedy (socio psychologue) en 1995. Cette méthode trouve sa source dans les observations faites lors des simulations informatiques de vols groupés d'oiseaux et de bancs de poissons de Reynold, Heppner & Grenander. Autrement-dit, elle s'inspire fortement de l'observation des relations grégaires d'oiseaux migrateurs, qui pour parcourir de « longues distances » (migration, quête de nourriture, parades aériennes, etc.), doivent optimiser leurs déplacements en termes d'énergie

dépensée, de temps, (etc.), comme par exemple la formation en forme de V [22] présentée dans la Figure II.7.



**Figure II.7 : Volée d'Anser en formation en V**

#### **II.4.4.2.2 Définition sur optimisation par essais de particule**

Optimisation Par Essaims de Particule (OEP): Est une technique évolutionnaire qui utilise “une population” de solutions candidate pour développer une solution optimale au problème d’optimisation. Le degré d’optimalité est mesuré par une fonction fitness définie par l’utilisateur. Il s’agit d’une méthode fondée sur la notion de coopérations des agents, appelés ici “particules”.

Cet algorithme prévoit à l'origine pour simuler graphiquement la chorégraphie scieuse et imprévisible des gens d'oiseau. Chaque individu dans l'essaim est représenté par un vecteur dans l'espace de recherche multidimensionnel. Ce vecteur a également un vecteur assigné qui détermine le prochain mouvement de la particule et s'appelle le vecteur de vitesse [23].

#### **II.4.4.2.3 Mode de fonctionnement de l’algorithme PSO**

La population dans l’algorithme PSO est nommée essaim, chaque individu du groupe est dit particule. Le déplacement de toute particule (comme indiqué ci-dessus) est régi par des règles et conditions bien spécifiques, influencé par le mouvement des autres particules du voisinage.

Dans un tel contexte ce déplacement à une signification et doit parallèlement répondre à une logique, fondement même du PSO. Il consiste à chercher un optimum dans un voisinage donné, ce déplacement est influé par les trois composantes suivantes [22] :

- Une composante d’inertie : la particule s’efforce de suivre instinctivement son cap de déplacement.
- Une composante cognitive : la particule fait tout pour se diriger vers la meilleure position rencontrée jusqu’à présent.

- Une composante sociale : la particule s'inspire également de l'expérience, du parcours des autres particules, pour se diriger vers la meilleure position rencontrée par ses voisins.

#### II.4.4.2.4 Composantes de la PSO

Pour être en mesure d'utiliser le PSO, il est indispensable de définir un espace de recherche (composé de particules) et une fonction "objectif" à optimiser. La méthode de l'algorithme consiste alors à déplacer ces particules de telle sorte qu'elles trouvent l'optimum, elles doivent disposer :

- De données relatives à leurs positions, connaître leurs coordonnées avec comme condition qu'elles soient comprises dans l'espace de définition.
- De la meilleure position qu'elles ont rencontrées.
- De la meilleure position rencontrée par leur voisinage et le résultat de leur fonction «objectif».
- De leur vitesse qui leur permet de se déplacer et de changer de position au fil des itérations.
- D'un voisinage, c'est le sous-ensemble de particules qui interagit directement avec la particule (surtout celle possédant la meilleure position). D'après Maurice Clerc et Patrick Siarry, l'évolution d'une particule n'est finalement qu'une fusion de trois types de comportements :
  - Egoïste (se déplacer suivant sa vitesse actuelle).
  - Conservateur (revenir en arrière en prenant en compte sa meilleure performance).
  - Panurgien (suivre aveuglement le meilleur de tous en considérant sa performance).

Finalement on remarque un compromis psycho-social entre d'une part la confiance en soi et d'autre part l'influence des relations sociales [22].

#### II.4.4.2.5 Formulation de l'algorithme

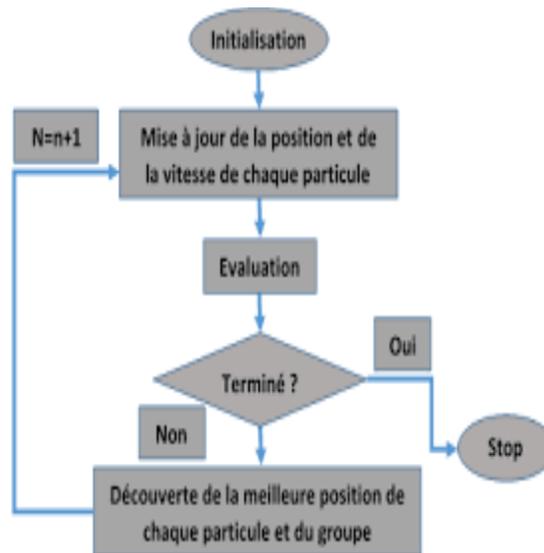
Chaque particule représente une solution potentielle dans l'espace de recherche. La nouvelle position d'une particule est déterminée en fonction de sa propre valeur et celle de ses voisines. Soit  $\vec{x}_i(t)$  la position de la particule  $P_i$  au temps  $t$ , sa position est modifiée en ajoutant une vitesse  $\vec{v}_i(t)$  à sa position courante [24] :

$$\vec{v}_i(t) = \vec{v}_i(t-1) + \rho_1(\vec{x}_{pbesti} - \vec{x}_i) + \rho_2(\vec{x}_{gbest} - \vec{x}_i) \quad \text{Équation II.14}$$

$$\vec{x}_i(t) = \vec{x}_i(t-1) + \vec{v}_i(t) \quad \text{Équation II.15}$$

### II.4.4.2.6 Principe de l'algorithme PSO

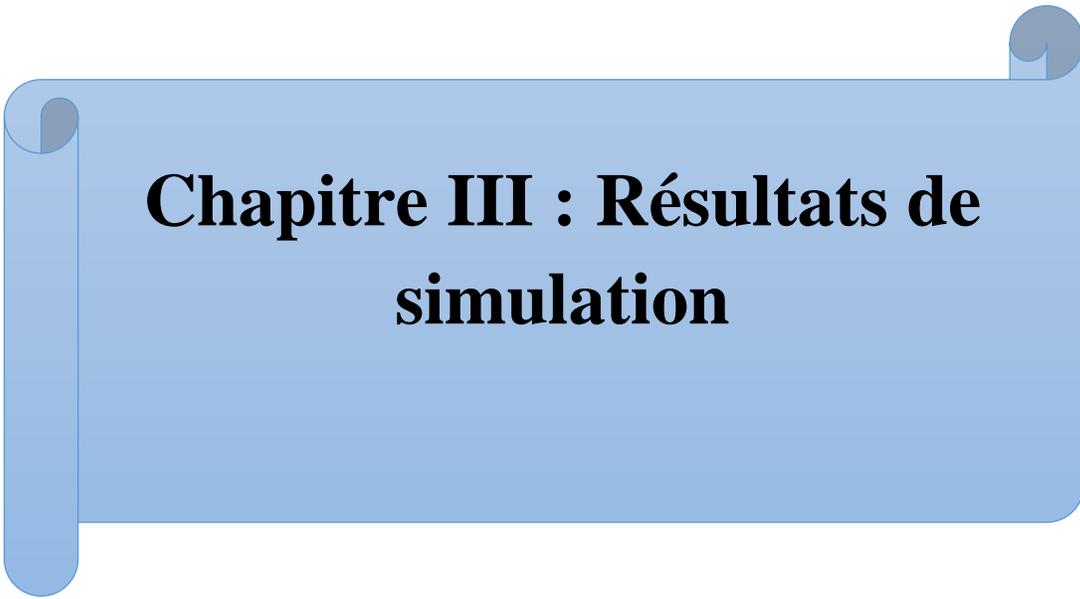
- \*Elle est dynamique induite par des interactions locales.
- \*Observation de comportements globaux « émergents ».
- \*Une population d'agents (ici particules).
- \*Coopération plutôt que Compétition.
- \*Efficace sur un espace de recherche continu.
- \*Dynamiques définis sur un espace temps discret.



FigureII.8: Optimisation par essais particulaires (PSO)

## II.8 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté une étude sur la synthèse du diagramme de rayonnement des antennes et nous avons expliqué avec assez de détail les différences méthodes de synthèse. De plus, des méthodes d'optimisation telles que l'algorithme génétique et l'algorithme PSO ont pris une place importante par son emploi dans l'amélioration de la synthèse des diagrammes des réseaux antennaires.

A blue scroll graphic with a light blue gradient and rounded corners. The scroll is unrolled in the center, with the top and bottom edges curling upwards and downwards respectively. The text is centered on the unrolled portion.

## **Chapitre III : Résultats de simulation**

### III.1. Introduction :

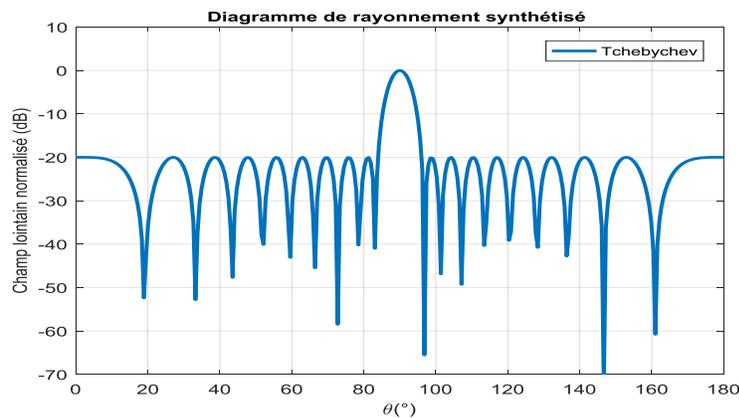
Ce dernier chapitre est consacré à la simulation et la reproduction de certains exemples de synthèse des diagrammes de rayonnement. Chaque exemple est lié à une méthode de synthèse particulière qui doit être soit classique ou d'optimisation. Généralement, On considère dans ce chapitre le cas d'un réseau d'antennes linéaire dont le nombre d'éléments rayonnants est fixé et on veut synthétiser un diagramme dont le lobe central est dirigé par le travers avec un gain unité et le niveau des lobes secondaires le plus bas possible.

### III.2 Exemples de simulation avec les algorithmes classiques

#### III.2.1 Méthode de Tchebychev

Dans cet exemple, on considère un réseau d'antennes uniforme et linéaire de 20 antennes espacées de  $\lambda/2$ .

La figure III.1 montre un exemple d'un diagramme de rayonnement obtenu par la synthèse de Tchebychev, la distribution de Tchebychev nous permet de minimiser les niveaux des lobes secondaires. Elle est considérée parmi les méthodes les plus utilisées dans l'optimisation du diagramme de rayonnement.



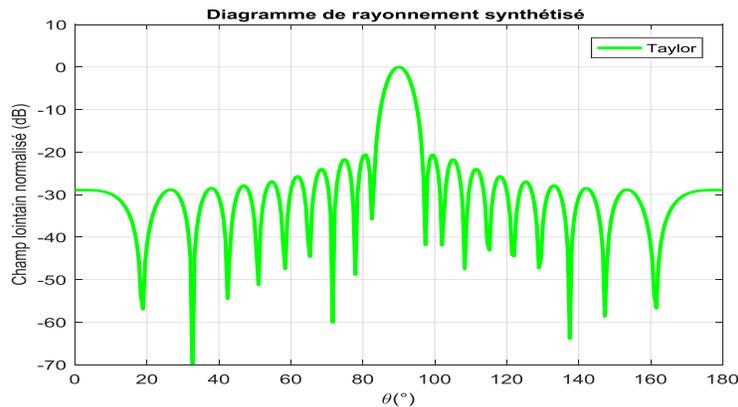
**Figure III.1 : Exemple d'un diagramme de rayonnement obtenu par la synthèse de Tchebychev**

- On remarque que les lobes secondaires ont tous le même niveau. Cette méthode conserve toujours le même niveau des lobes secondaire quel que soit le nombre de sources antennaires.

- On remarque que en utilisant la méthode de Tchebychev, on obtient un maximum de gain pour un niveau de lobe secondaire imposé.
- On observe également que le niveau du lobe principal est étroit par rapport à celui créé par l'emploi d'autres algorithmes.

### III.2.2 Méthode de Taylor

Dans cet exemple, on fait une simulation pour synthétiser, à l'aide de la technique de Taylor, un réseau d'antennes uniforme et linéaire de 20 éléments espacées de  $\lambda/2$ .



**Figure III.2 : Exemple d'un diagramme de rayonnement obtenu par la synthèse de Taylor**

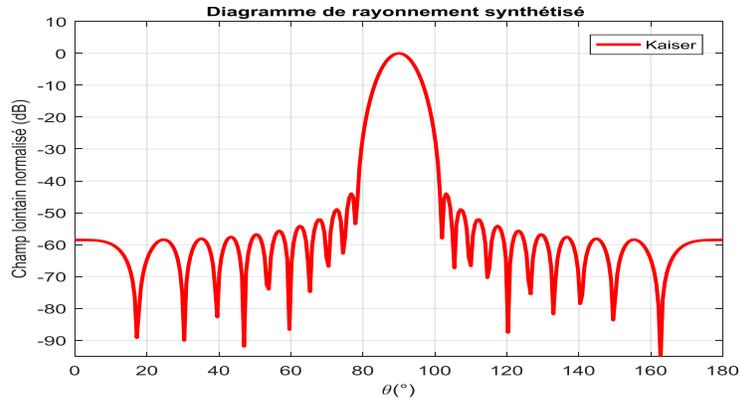
A partir de la figure III.2, On peut en déduire deux remarques importantes :

- Un lobe principal étroit ayant un niveau élevé.
- Niveaux des lobes secondaires sont inférieurs à  $-20\text{ dB}$ , et ce niveau varie d'un lobe secondaire à l'autre.

### III.2.3 Méthode de Kaiser

On considère pour cette simulation un réseau avec les mêmes caractéristiques que celles suivies par les méthodes classiques précédemment simulées.

La figure III.3 montre de son tour un exemple d'un diagramme de rayonnement obtenu par la synthèse de Kaiser.



**Figure III.3 : Exemple d'un diagramme de rayonnement obtenu par la synthèse de Kaiser**

Cette figure nous conduit à noter les remarques suivantes :

- Le lobe principal est large et son niveau est dominant.
- Le niveau des lobes secondaires diminue progressivement en s'éloignant de lobe principal.
- Les niveaux des lobes secondaires sont inférieurs à  $-55 \text{ dB}$ .
- Les lobes secondaires dans la synthèse de Kaiser sont meilleurs que les autres synthèses (Chebychev et Taylor).

### III.3 Exemples de simulation avec les algorithmes d'optimisations

#### III.3.1 Exemple de simulation avec l'algorithme génétique :

Dans cet exemple de simulation nous utilisons l'algorithme génétique (AG) dont le but d'optimiser les amplitudes des courants alimentant un réseau d'antennes linéaire. C'est-à-dire nous faisons la synthèse du diagramme de rayonnement du réseau en basant sur l'algorithme génétique.

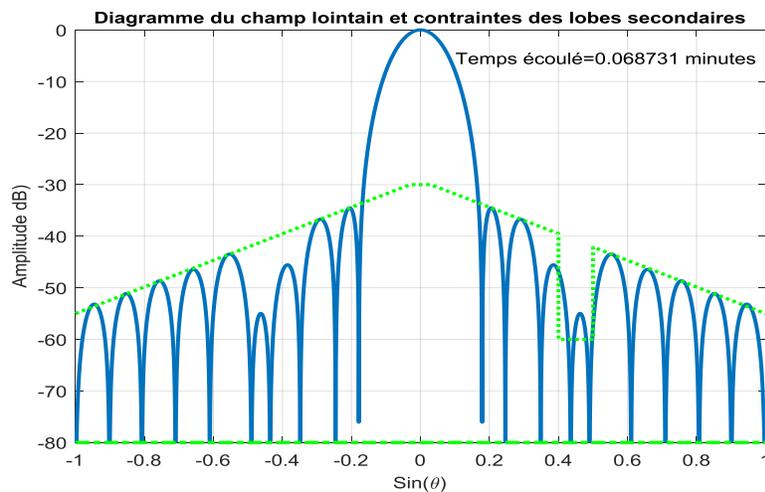
Nous considérons toujours un réseau linéaire uniforme contenant 20 antennes espacées de  $\lambda/2$ . Le mécanisme de base de l'AG dépend du choix de plusieurs paramètres clés tels que des opérateurs de croisement, des opérateurs de mutation, la probabilité de croisement, la probabilité de mutation, le mécanisme de sélection et la taille de la population...

**Tableau III.1. Paramètres d'optimisation utilisés par l'algorithme génétique**

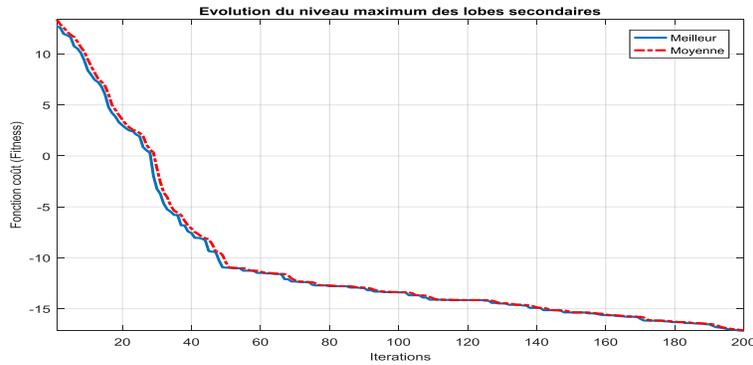
Paramètres	Valeurs
Nombre d'itérations	200
Nombre de populations	50

Nombre de mariages	25
Éligible du tournoi	10
Concurrents du tournoi	5
Nombre de croisements	2
Probabilité de mutation	0.04
Plage de mutation max	0.2
Décomposition de la plage de mutation	1.5
Nombre d'ordre	2 x Nombre d'éléments
Nombre de mutations	Probabilité de mutation x Nombre d'ordre

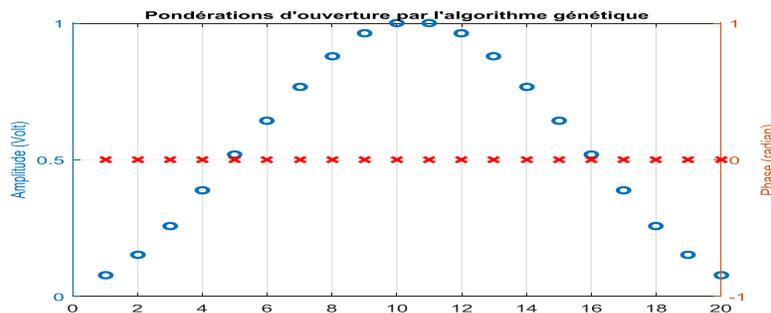
La figure III.4 montre le diagramme de rayonnement d'un réseau linéaire uniforme à 20 éléments, la figure III.5 représente l'évolution du niveau maximum des lobes secondaires au cours des itérations, et la figure III.6 montre les pondérations d'amplitudes et de phases déterminées par l'algorithme génétique.



**Figure III.4 : Diagramme de rayonnement d'un réseau linéaire uniforme à 20 éléments, synthétisé par l'algorithme génétique**



**Figure III.5 : Evolution du niveau maximum des lobes secondaires au cours des itérations**



**Figure III.6 : Pondérations d'amplitudes et de phases obtenues par l'algorithme génétique**

La fonction objective fait intervenir les pondérations ainsi que les distances entre les sources. On recherche des solutions satisfaisant la contrainte sur le niveau des lobes secondaires. Les distances sont contraintes à rester entre deux valeurs minimale et maximale, ce qui évite les problèmes de chevauchement de sources.

Le comportement de l'AG, durant le processus d'optimisation, est fortement décrit par le choix des probabilités de croisement et de mutation. Durant les premières itérations, nous avons utilisé des probabilités de croisement et de mutation assez élevées, ce qui permet d'explorer efficacement l'espace des solutions. Par la suite, puis nous avons choisi des valeurs plus faibles, ce qui tend à stabiliser la population aux alentours des bonnes solutions [20].

Nous avons obtenu le lobe principal est large, et des niveaux de lobe secondaires inférieurs à  $-35 \text{ dB}$ , elle a atteint à  $-55 \text{ dB}$  pour des réseaux de 20 antennes.

Le niveau maximum des lobes secondaires est moyen après 200 itérations.

### III.3.2 Exemple de simulation avec l'algorithme d'optimisation par essaim de particules:

Pour optimiser le diagramme de rayonnement avec l'algorithme PSO (*PSO/OEP*: Particle

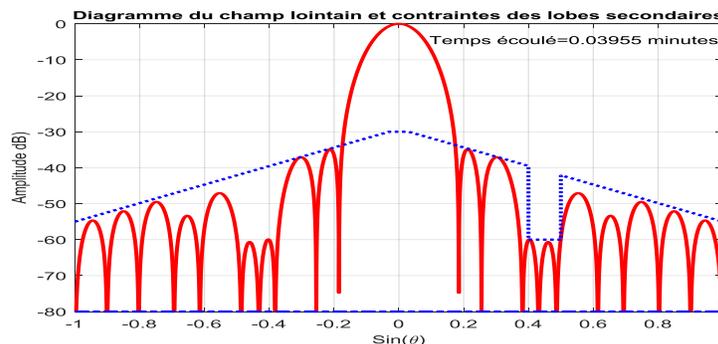
Swarm Optimization /Optimisation par Essaim de Particules), on considère comme précédemment un réseau linéaire uniforme comprend 20 éléments. L'algorithme itératif PSO calcule des pondérations d'amplitude et de phase pour un nombre d'itération égale à 200, les valeurs des autres paramètres sont indiquées sur le tableau III.2 ci-dessous.

**Tableau III.2. Paramètres d'optimisation utilisés par l'algorithme PSO**

Paramètres	Valeurs
Nombre d'itérations	200
Nombre de population	50
Coefficients/pourcentage d'accélération	Phi1=2, Phi2=2
Coefficient/pourcentage d'inertie	W=0.4
Vitesse maximale	VRMSmax=0.3
Nombre d'ordre	2xNombre d'éléments

La figure III.7 représenté le diagramme de rayonnement d'un réseau linéaire uniforme de 20 éléments, synthétisé par l'algorithme PSO. L'application de l'algorithme PSO a permis, après 200 itérations, la synthèse de diagramme de rayonnement désirée avec un niveau de lobes secondaires de  $-35dB$ .

La figure III.8 montre que l'évolution du niveau maximum des lobes secondaires au cours des itérations, et la Figure III.9, illustre les pondérations d'amplitudes et de phases obtenues par l'algorithme PSO.



**Figure III.7 : Diagramme de rayonnement d'un réseau linéaire uniforme à 20 éléments, synthétisé par l'algorithme PSO**

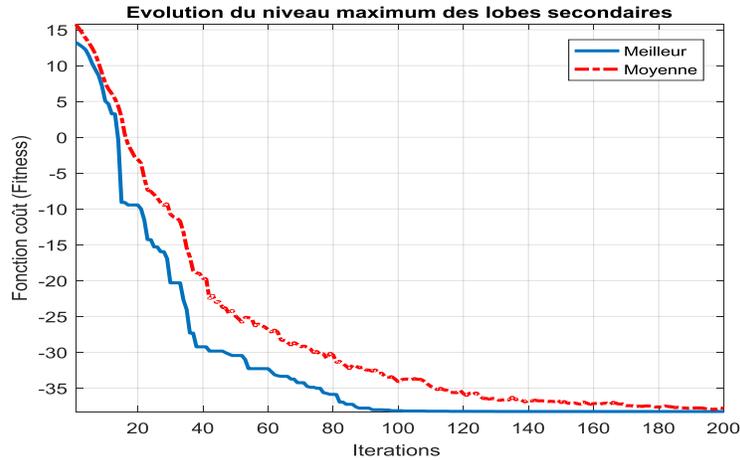


Figure III.8 : Evolution du niveau maximum des lobes secondaires au cours des itérations

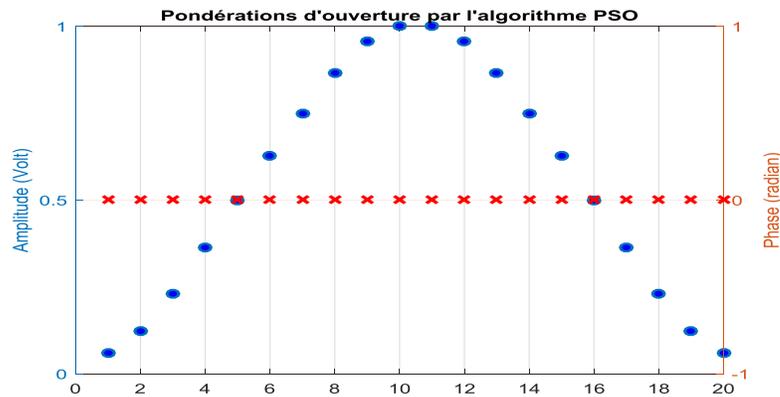


Figure III.9 : Pondérations d'amplitudes et de phases obtenues par l'algorithme PSO

Cette synthèse permet de réaliser des lobes directifs avec des niveaux de lobes secondaires fortement contrôlables [24].

L'approche de synthèse par loi d'amplitude et de phase donne de bons résultats avec des niveaux de lobes secondaires très bas, elle a atteint à  $-60$  dB pour des réseaux de 20 antennes. Le niveau de lobe principal est large, et le niveau maximum des lobes secondaires est meilleur après 200 itérations.

### III.4 Exemple de simulation d'une synthèse de lobes secondaires à l'aide de la technique de Fourier itérative

Dans cette section, on va reproduire les résultats de simulation obtenu par [25] et qui a employé la technique itérative de Fourier pour la synthèse des lobes secondaires pour les réseaux linéaires avec un espacement uniforme des éléments. Notre objectif ici est de montrer l'efficacité de cette technique même si on fait des modifications sur les paramètres pour l'adapter aux

caractéristiques du réseau d'antennes utilisé dans nos exemples. Pour avoir une ample information sur le principe de cette méthode, on oriente le lecteur de lire l'article [25].

Cette méthode utilise la propriété que pour un réseau linéaire avec un espacement uniforme des éléments, une relation de transformée de Fourier inverse existe entre le facteur de réseau et les excitations des 'éléments. Cette propriété est utilisée de manière itérative pour dériver les excitations des éléments de réseau à partir du facteur de réseau prescrit.

Fourier directe effectuée sur le facteur de réseau donne les excitations des éléments.

L'approche sous-jacente repose sur l'utilisation répétée des deux types de transformées de Fourier. À chaque itération, le facteur de réseau nouvellement calculé est adapté au lobe latéral exigé, et le résultat est ensuite utilisé pour dériver un nouvel ensemble de coefficients d'excitation. Seuls les coefficients d'excitation appartenant au réseau sont utilisés pour calculer un nouveau facteur de réseau.

Pour notre exemple de simulation, on adapte la méthode de Fourier itérative à un réseau d'antennes linéaire comprend 20 éléments régulièrement espacés de demi-longueur d'onde, et on fixe le nombre d'itérations à 150.

Pour un réseau de tel type, un diagramme somme et un diagramme différence ont été synthétisés à l'aide de la synthèse du niveau des lobes secondaires, les deux diagrammes présentant un niveau maximal de lobe secondaire de  $-45 \text{ dB}$  avec une plage dynamique  $A_{\text{max}}/A_{\text{min}}$  de  $21 \text{ dB}$ . Figure III.10 montre les résultats de la synthèse pour le diagramme de somme, et la figure III.14 montre les résultats pour le diagramme de différence.

La figure III.10 représente le diagramme de somme des lobes secondaires bas avec un niveau de crête maximal de lobes secondaires (NLS) de  $-42,77 \text{ dB}$ . Les niveaux maximaux des lobes secondaires ne sont pas uniformes, mais ils diminuent pour les lobes secondaires éloignés.

Le résultat de la figure III.10 est obtenu pour un nombre d'itérations de 150, comme le montre la figure III.11. La même figure montre comment le pic maximal NLS a diminué au cours du processus d'itération.

La figure III.12 illustre la conicité totale qui est responsable au graphe de Figure III.10. Sur cette figure, on peut voir que les excitations des éléments obéissent à l'exigence d'une plage dynamique de  $21 \text{ dB}$ .

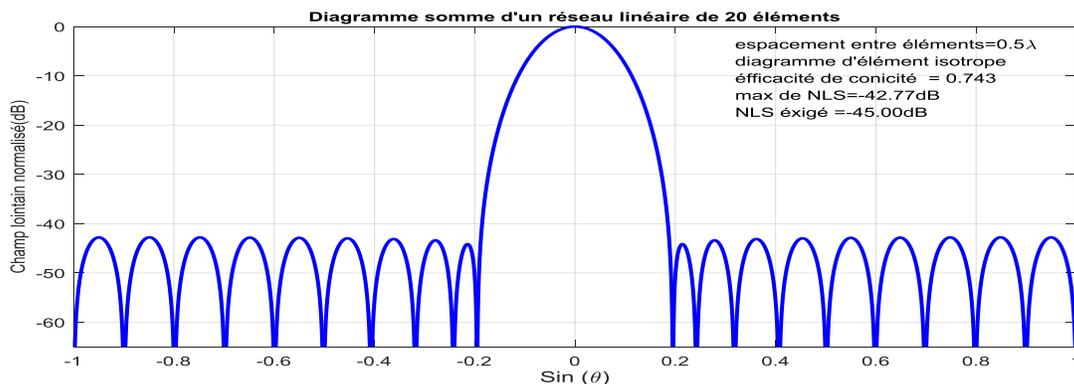
La figure III.13 illustre comment le nombre de directions de champ lointain de la région du lobe secondaire dépassant de l'exigence NLS de  $-45 \text{ dB}$  diminue avec l'augmentation du

nombre d'itérations. Cette figure montre également l'élargissement du lobe principal, dû à la baisse du pic maximum maximal NLS au fur et à mesure de la synthèse.

Le nombre de directions de champ lointain contenues dans la région du lobe principal, figure III.13, est une mesure directe de sa largeur. Comme on peut le voir sur la figure III.14, la NLS de crête maximale du diagramme différence est également de  $-45,11 \text{ dB}$ . 113 itérations sont nécessaires pour obtenir ce résultat. Les informations sur la diminution du maximum pic NLS en fonction de nombre d'itérations est montré dans la figure III.15.

La figure III.14 fournit également des informations numériques sur l'efficacité du cône et la sensibilité relative de l'angle. La sensibilité angulaire relative quantifie la pente de différence et a une valeur maximale de un pour la conicité linéaire impaire, qui présente la pente de différence la plus forte mais souffre du niveau de lobe secondaire le plus élevé [25].

La figure III.16 illustre la conicité totale responsable au graphe de Figure III.14. Sur cette figure, on peut voir que les excitations des éléments obéissent à l'exigence de plage dynamique de  $21 \text{ dB}$ . La figure III.17 illustre comment le nombre de directions de champ lointain de la région du lobe secondaire dépassant de l'exigence NLS de  $-45 \text{ dB}$  diminue avec l'augmentation du nombre d'itérations. Cette figure montre également l'élargissement du lobe principal, dû à la baisse du pic maximal NLS lors de la synthèse progressée.



**Figure III.10 : Facteur de réseau normalisé pour la synthèse d'un diagramme somme à un niveau de lobes secondaires de  $-45 \text{ dB}$  réalisé pour un réseau linéaire de 20 éléments avec une plage dynamique  $A_{\text{max}}/A_{\text{min}} = 21 \text{ dB}$**

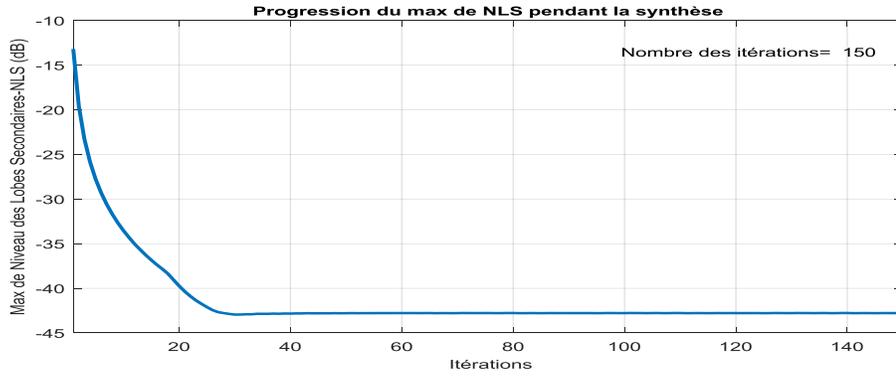


Figure III.11 : Le comportement du pic maximal du niveau des lobes secondaires (NLS) pendant le processus itératif

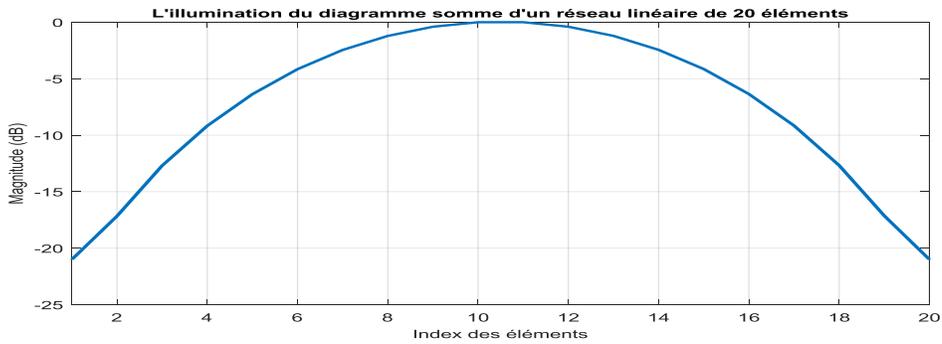


Figure III.12 : Le cône d'amplitude responsable au facteur du réseau

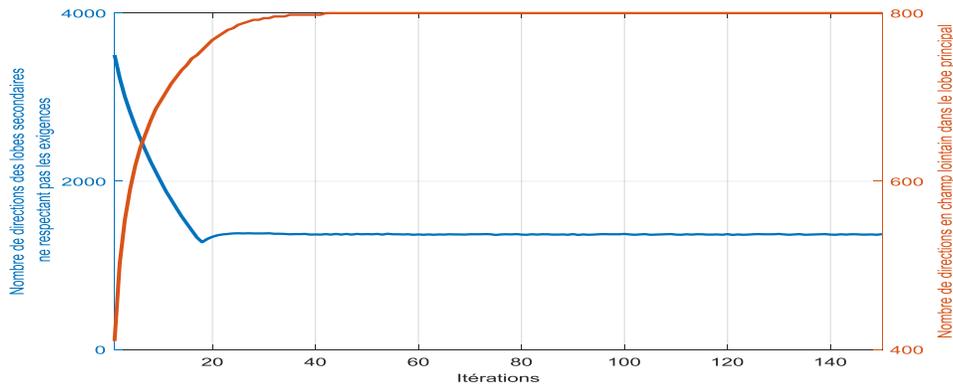


Figure III.13 : Le nombre de directions des lobes secondaires ne respectant pas les exigences NLS=-45dB et le nombre de directions en champ lointain dans la région du lobe principal pendant le processus itératif

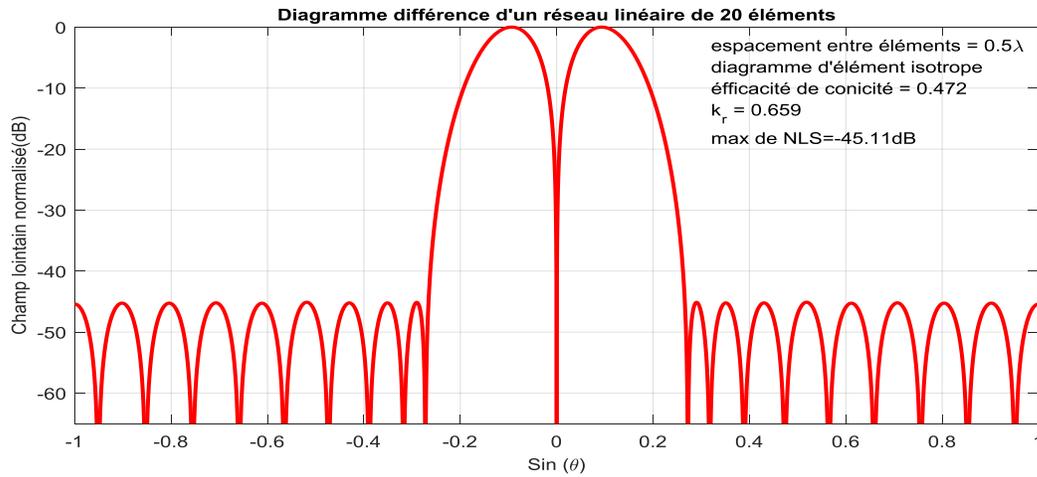


Figure III.14 : Facteur de réseau normalisé pour la synthèse d'un diagramme différence à un niveau de lobes secondaires de -45 dB réalisé pour un réseau linéaire de 20 éléments avec une plage dynamique  $A_{max}/A_{min} = 21\text{dB}$

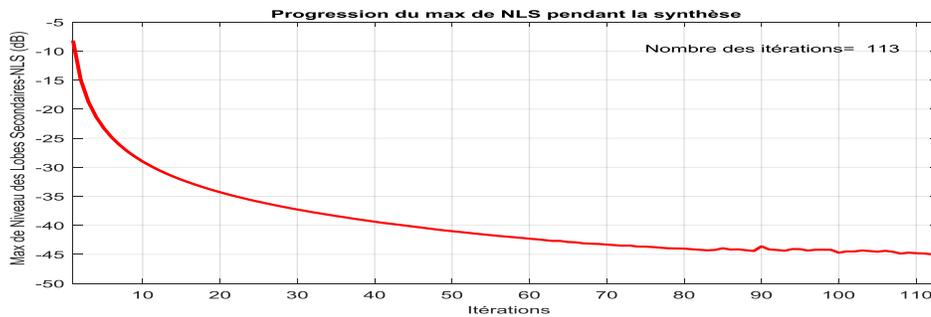


Figure III.15 : Le comportement du pic maximal du niveau des lobes secondaires (NLS) pendant le processus itératif

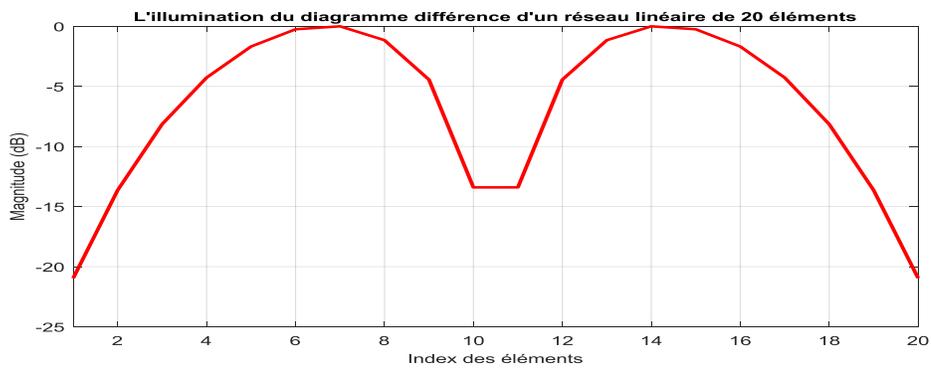
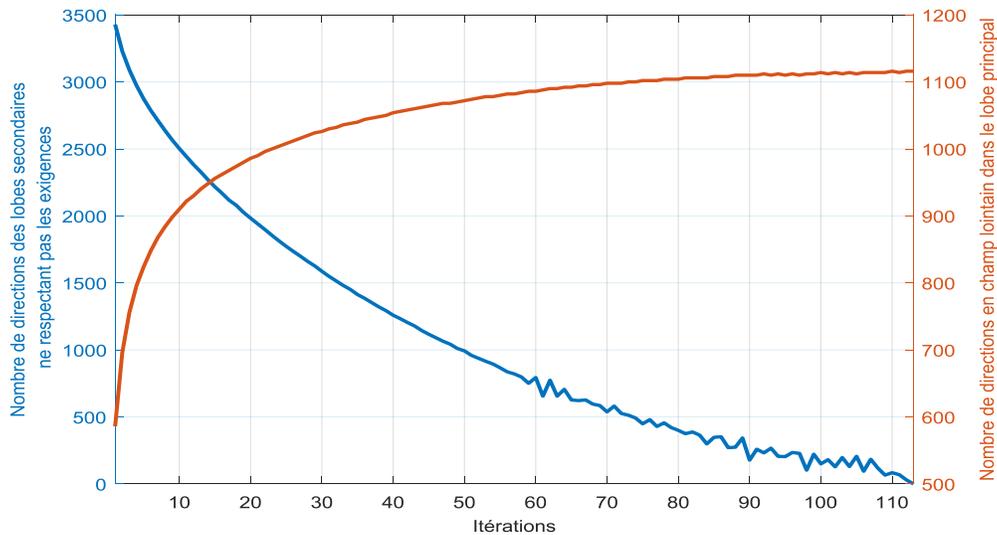


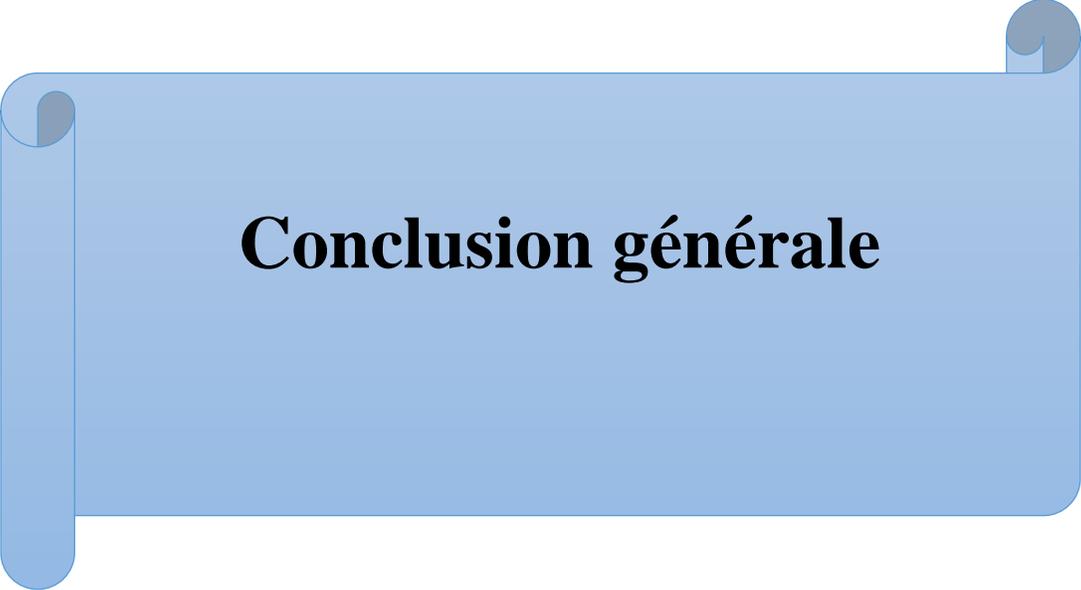
Figure III.16 : Le cône d'amplitude responsable au facteur du réseau



**Figure III.17: Le nombre de directions des lobes secondaires ne respectant pas les exigences NLS=-45dB et le nombre de directions en champ lointain dans la région du lobe principal pendant le processus itératif**

### III.5 Conclusion

Dans ce dernier chapitre, nous avons montré plusieurs exemples de simulation que nous avons effectuée indépendamment en utilisant des algorithmes classiques de synthèse, une méthode itérative de Fourier, et des algorithmes d'optimisation. Nous avons vu aussi à travers les différents exemples de simulations que les algorithmes d'optimisation tels que GA ou PSO peuvent résoudre plusieurs problèmes comme la satisfaction des contraintes d'un gabarit ou l'ajustement des niveaux des lobes secondaires.



## **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

### Conclusion générale

Dans un réseau linéaire, la synthèse consiste en une recherche de la pondération complexe d'alimentation. L'influence de l'alimentation des antennes du groupement engendre des variations dans la forme du diagramme de rayonnement (le nombre et le niveau des lobes secondaires). En général une distribution adéquate des amplitudes des courants d'alimentation des sources peut mener à une optimisation du diagramme de rayonnement: le niveau de lobe principal étroit et niveaux des lobes secondaires réduits. Un compromis est cependant nécessaire à faire entre la directivité et le niveau des lobes secondaires.

Dans ce mémoire, nous avons présenté une étude sur les principaux algorithmes performants pour la synthèse de diagramme de rayonnement des réseaux d'antennes et une optimisation d'un diagramme de rayonnement d'un réseau d'antenne pour réduire le niveau des lobes secondaires en respectant un gabarit désiré par les algorithmes classiques. Ces algorithmes ne sont pas nouveaux car ils existent depuis de nombreuses décennies, de sorte que les informations et les explications sur telles méthodes sont disponibles en plusieurs références bibliographiques. Cependant, certains entre eux sont très complexes et difficiles à mettre en œuvre dans la pratique pour résoudre des problèmes d'optimisation.

Nous avons montré à travers les différentes simulations que nous avons effectuées dans le dernier chapitre la supériorité des algorithmes d'optimisation tel que AG et PSO et la méthode itérative de Fourier par rapport aux méthodes conventionnelles.

Donc, l'emploi de l'optimisation dans la synthèse des réseaux antennaires nous a permis de résoudre beaucoup de problèmes comme la satisfaction des contraintes de rayonnement fixées ou d'un gabarit. Ceci nous laisse aussi la possibilité de choisir et fixer certains paramètres tels que le nombre des éléments dans le réseau et l'espacement entre eux et les amplitudes des courants d'alimentation de ces derniers.

De bons résultats sont obtenus et le niveau de lobes secondaires (NLS) est devenu plus faibles dans l'application des algorithmes d'optimisation en comparant avec l'utilisation des algorithmes classiques, mais on ne peut pas se passer et abandonner ce dernier.

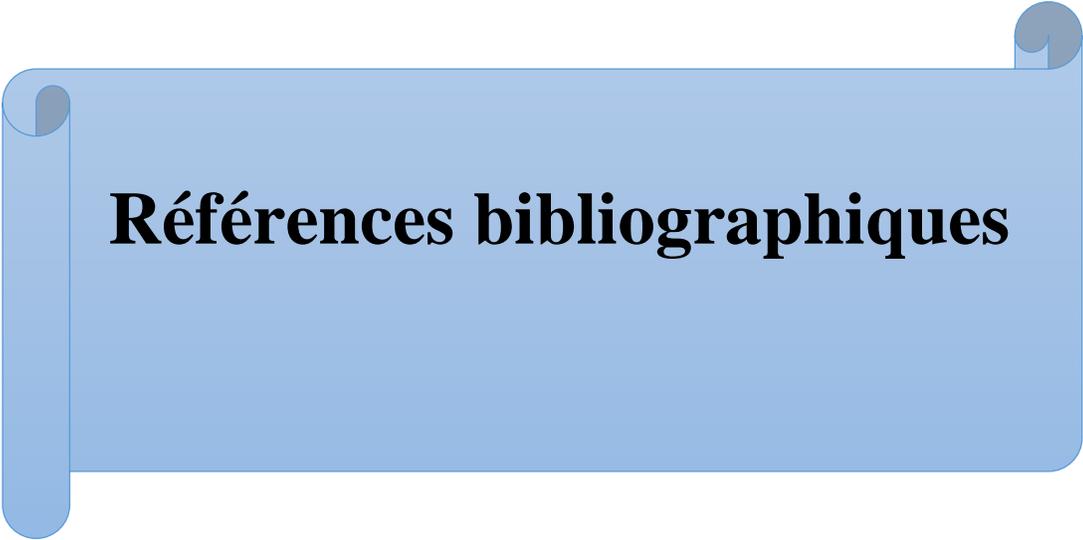
Finalement, nous pouvons dire que diverses perspectives sur ce domaine de recherche restent ouvertes devant les futurs étudiants pour la préparation de leurs travaux de fin de cycles.

Donc, il est possible par exemple d'appliquer les méthodes étudiées dans ce mémoire à la synthèse d'autres géométries d'antennes, ou de travailler à plus améliorer l'efficacité des

## **Conclusion générale**

---

algorithmes par la proposition des versions très améliorées répondant à la fois à la simplicité et la rapidité de calcul.



**Références bibliographiques**

## Références bibliographiques

---

### Références bibliographiques

- [1] KENAOUI keltoum « Optimisation d'un réseau d'antennes (ILS) par l'algorithme d'abeilles », mémoire de master, Université de Boumerdes, 2016.
- [2] Alexandre Boyer, « Cours d'antennes - Réseau et Télécom », Université de Toulouse, France, 2011.
- [3] GHAYOULA Ridha, GHARSALLAH Ali, FADLALLAH Najib, RAMMAL Mohamed, « Synthèse de diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes linéaires par la méthode Dolph-Tchebycheff », conférence internationale de SETIT, Tunisie, Mars 2007.
- [4] Zaoui Bachir, « Modélisation d'une antenne micro ruban compacte », mémoire de master, Université El oued, 2015.
- [5] ATTI Bakouche, MEKAOUCHI Magdoula, « L'effet des caractéristiques de l'antenne patch sur sa directivité », mémoire de master, Université de Béjaia, 2014.
- [6] GUELLIL Nasser « Etude et conception d'un réseau d'antennes beamforming à base de la matrice de Butler en utilisant ADS Momentum », mémoire de magister, Université de Setif 1. 2018.
- [7] Nelson Jorge Gonçalves Fonseca « Étude de Systèmes Micro-ondes d'Alimentation d'Antennes Réseaux pour Applications Multifaisceaux », Thèse de doctorat, Université de Toulouse, France, 2010.
- [8] N. AOUNALLAH, « cours d'antennes », destiné au 1<sup>er</sup> année master en télécommunication, Université de Ouargla, 2018.
- [9] M. EL Hadi KENANE, « Contribution a l'optimisation d'un réseau d'antenne intelligentes au systeme UMTS », Thèse de doctorat, Université de Ferhat Abbas – Sétif -1-,2017.
- [10] Rahni Lyes, « optimisation d'un réseau d'antennes par l'algorithme génétique », mémoire de master, Université Blida, 2009.
- [11] Najib FADLALLAH, « Contribution à l'optimisation de la synthèse du lobe de rayonnement pour une antenne intelligente. Application à la conception de réseaux à déphasage », thèse de doctorat, Université de limoges, France, 2005.
- [12] Chapter 3, « Optimization Methods for Linear Array Synthesis », [https://sg.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/25115/16/16\\_chapter3.pdf](https://sg.inflibnet.ac.in/bitstream/10603/25115/16/16_chapter3.pdf)
- [13] Benzaid fouad, Bensikhaled abdelhak, « optimisation par Essaim de particules (OEP) du diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes », mémoire de master, Université de Blida,

## Références bibliographiques

---

2010.

[14] Ramos, J., M. Martinez, and M. Ruiz, «Software for synthesis of radiation patterns by linear antenna arrays», *Proc. of the World Scientific and Engineering Academy and Society Conference WSEAS 2002*, Mexico.2002.

[15] Constantine A. Balanis, « Antenna Theory: Analysis Design , Chapter7- Antenna Synthesis and Continuous Sources», John Wiley & Sons, , Third Edition, New York , USA, 2005.

[16] Ouaznadji khadidja, « Optimisation du diagramme de rayonnement d'un réseau d'antennes par la méthode des algorithmes d'abeilles (BA) », mémoire de master, Université de Blida, 2011.

[17] Pampa Nandi, Jibendu Sekhar Roy, « Side Lobe Level Reduction of Phased Array Using Tchebyscheff Distribution and Particle Swarm Optimization », Pampa Nandi et al. / *International Journal of Engineering and Technology (IJET)*,2017.

[18] S.A. Babale, D.D. Dajab, K. Ahmad, «Synthesis of a linear antenna array for maximum side-lobe level reduction», *International Journal of Computer Applications*, vol. 85, no. 6, pp. 24-27, 2014.

[19] Zhang Z., Li T., Yuan F., Yin L. «Synthesis of Linear Antenna Array Using Genetic Algorithm to Control Side Lobe Level». In: Wong W.E., Zhu T. (eds) *Computer Engineering and Networking. Lecture Notes in Electrical Engineering*, vol 277. Springer, 2014.

[20] KADRI Boufeldja, « Modélisation et Synthèse de réseaux périodiques et non périodiques d'antennes micro rubans par l'application d'un Algorithme Génétique-Flou », Thèse de Doctorat, Université de Tlemcen, 2011.

[21] BARKAT OUARDA, « Etude et Synthèse des Caractéristiques de Réseaux d'antennes Imprimées Supraconductrices dans la Bande Millimétrique », Thèse de Doctorat, Université de Constantine, 2009.

[22] BESTAOUI Abdallah Anes, « Gestion de spectre dans un réseau de radio cognitive en utilisant l'algorithme d'optimisation par essaim de particules », mémoire de master, Université de Tlemcen, 2015.

[23] Meddah Mimoun, Hadjadj Azzedine, « Optimisation de la Qualité de Service (QoS) dans un réseau GSM en utilisant l'algorithme d'optimisation par essaims de particules (PSO) », mémoire de master, Université de Saida, 2018.

## Références bibliographiques

---

[24] Hichem CHAKER, « conception et optimisation de réseaux d'antennes imprimées à faisceaux multiples applications des réseaux de neurones », Thèse de doctorat, Université de Tlemcen, 2012.

[25] W. P. M. N. Keizer, «Low-sidelobe pattern synthesis using iterative fourier techniques coded in MATLAB», *IEEE Antennas and Propagation Magazine*, vol. 51, no. 2, pp. 137–150, 2009.