



# République Algérienne Démocratique Et Populaire

*Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique*

Université Abderrahmane Mira – Bejaia  
Faculté de technologie  
Département De Génie Electrique

Mémoire de fin d'études pour l'obtention de :

**DIPLOME MASTER RECHERCHE EN ELECTRONIQUE**

**Spécialité : Télécommunications**

## **THÈME**

*Optimisation des paramètres d'une liaison optique*

**Présenté par :**

**Mr. AMARI Chabane**

**Encadré par :**

**Mr. BERRAH Smail**

**Devant le jury:**

**Mr. Boubekur MENDIL**

**Melle. Naima BOUZERA**

**Année 2012 /2013**

# Remerciements

*Je remercie tout d'abord, Allah qui m'a donné la force et le courage de parvenir à élaborer ce modeste travail.*

*Je m'adresse mes remerciements à Monsieur Boubekour MENDIL président du jury à Mademoiselle Naima BOUZERA examinatrice pour avoir accepté de juger mon travail.*

*Je tiens aussi à remercier mon encadreur : Mr. BERRAH Smail Maître de conférence classe A à l'université de Bejaia et témoigner de toute mes reconnaissances pour son aide consistante, ses conseils judicieux, et pour ses remarques objectives et surtout pour sa gentillesse permanente.*

*Je profite de cette opportunité pour exprimer mon gratitude à tous nos enseignants qui ont contribué par leurs collaborations, disponibilité et sympathie durant toute ma formation.*



# Dédicaces

*Avant tout, je remercie le Dieu, qui m'a aidé à élaborer ce modeste travail.*

*Je dédie ce modeste travail :*

*A toi **MA MÈRE** pour ton courage, tes combats et tes sacrifices afin que je puisse achever mes études, à toi qui a tout souffert, sans me faire souffrir, que tu trouves dans ce mémoire le témoignage de ma reconnaissance et de mon affection pour tous tes sacrifices, l'extrême amour et la bonté que tu m'a offert pour me voir réussir. Que tu en sois remerciée à tout jamais.*

*A toi **MON PÈRE**, l'homme à qui je dois ma réussite, mon bonheur, et tout le respect; Que tu trouves ici l'expression de mon affection et une récompense des sacrifices consentis pour moi.*

*A mes très chères sœurs **NAIMA, SAIDA, SOUADE, DAOUIA** et **KATIA** et surtout à mon cher frère **ELKHIER**,*

*A toutes mes tantes et tous mes oncles et toute ma famille **AMARI**.*

*A tous ceux que j'aime, tous ceux qui m'aiment et tous ceux qui me sont chers.*

*A Tous les étudiants de notre d'épatement, en particulier ma promotion.*

*« **AMARI Chabane** »*

## Table des matières

<b>Table de matières</b>	<b>I</b>
<b>Liste des figures</b>	<b>II</b>
<b>Liste des tableaux</b>	<b>III</b>
Introduction Générale.....	1

### *Chapitre I : Généralités sur une liaison optique*

I-1- Introduction : .....	2
I-2- Les avantages de la fibre optique : .....	2
I-3-Principe d'une liaison optique : .....	2
I-4- Emetteur : .....	3
I-5- Fibre Optique : .....	3
I-5-1- Structure de la fibre optique : .....	3
I-5-2- caractéristique de l'optique : .....	3
I-5-2-1- propagation : .....	3
I-5-2-2- L'indice de réfraction : .....	4
I-5-2-3- Fréquence de coupure : .....	4
I-5-2-4- Loi de Descartes : .....	4
I-5-3- Types de fibres: .....	5
I-5-3-1- Fibre optique Multi mode à saut d'indice : .....	5
I-5-3-2- Fibre optique Multi mode à gradient d'indice : .....	5
I-5-3-3- Fibre optique Monomode: .....	6
I-5-4- Caractéristique des fibres : .....	6
I-5-4-1- Angle d'acceptante : .....	6
I-5-4-2- Ouverture numérique : .....	7
I-5-4-3- Modes de propagation : .....	7
I-5-4-4- Conditions de guidage : .....	7
I-5-4-5- Bande passante : .....	8
I-5-5-Limitation optique : .....	8
I-5-5-1- Atténuation : .....	8
II-5-5-2. Dispersion : .....	9

I-5-5-3- Les effets non linéaires :	11
I-5-6- Applications des fibres optiques :	12
I-6- Le récepteur :	12
I-7- Conclusion :	12

## **Chapitre II : Présentation de l'algorithme génétique**

II-1- Algorithmes d'optimisation	13
II -2- Les Métaheuristiques	13
2-1- Définition	13
2-2- Propriétés des métaheuristiques	13
2-3- Classification des métaheuristiques	14
II-3- Algorithme génétique	16
II-3-1- Historique	16
II-3-2. Buts	16
II-3-3. Applications	16
II-3-4- Terminologie	17
II-3-5- Principes	18
II-4-Codage et population initiale	19
II-4-1 Codage binaire	20
II-4-2- Codage réel	20
II-4-3- Codage en base n	20
.II-5- Opérateurs génétiques	21
II-5-1-L'opérateur de sélection	21
La roulette	22
La sélection par rang	22
La sélection par tournoi	23
L'élitisme	23
II-5-2- Croisement	23
A / croisement binaire	23
B / Croisement réel	24
C / Croisement arithmétique	24
II-5-3- Mutations	24
A/ Mutation binaire	24
B / Mutation réelle	25
C/ Mutation non uniforme	25

II-6-Les Principaux Avantages et Inconvénients des AGs .....	25
II-6-1 Les Avantages.....	25
II-6-2- Inconvénients et difficultés .....	27
II-7-Conclusion .....	27
<b>Chapitre III : Modélisation d’algorithme génétique au problème d’optimisation des paramètres d’une liaison optique</b>	
II-1- Introduction .....	28
III-2- Complexité du problème d’optimisation des paramètres d’une liaison optique .....	28
III-3- Modélisation du Problème d’optimisation des paramètres d’une liaison optique .....	28
III-3-1 Contraintes .....	28
III-3-1-1 Contrainte de longueur d’onde .....	29
III-3-1-2 Contrainte de longueur de la fibre optique .....	29
1.1.1 III-3-1-3 Contrainte de variation de l’indice réfraction.....	29
1.2 III-3-2 Sélections .....	29
➤ <i>Algorithme de sélection proportionnelle</i> .....	29
➤ <i>Elitisme</i> .....	30
1III-3-3 Croisement.....	30
III-3-4 Mutation .....	30
III-3-4 Reproduction.....	30
III-3-5 Fonction Fitness.....	31
III-3-5-1 Dispersion chromatique .....	31
III-3-5-1-1 Dispersion du matériau .....	31
III-3-5-1-2 Dispersion de guide .....	31
III-3-5-2 Dispersion modale .....	32
II-3-5-3 L’atténuation .....	32
III-4- Analyse et interprétation des résultats .....	32
III-4-1 Liste des programmes de l’algorithme.....	32
III-4-2 Optimisation de la dispersion chromatique .....	33
III-4-2-1 évolution de la fonction fitness en fonction des générations.....	33
III-4-2-2 Évaluation de L'allongement temporel de l'impulsion .....	34
III-4-3 Optimisation de la dispersion modale.....	34
III-4-3-1 évolution de la fonction fitness en fonction des générations.....	34
III-4-3-2 Effet de la dispersion modale .....	34
III-4-4 Optimisation de l’atténuation dans la fibre optique.....	36

III-5- Conclusion .....	38
Conclusion générale .....	39
<b>Liste des acronymes</b>	<b>IV</b>
<b>Bibliographie</b>	<b>V</b>

Thank you for trying PDF Suite

# Introduction Générale

Les télécommunications optiques ont connu depuis une dizaine d'années un essor considérable dont une des motivations principales est la course vers le haut débit (applications au multimédia).

Les technologies d'information prennent une part de plus en plus importante dans les activités humaines. Les réseaux de transport de l'information, qu'ils soient interurbains ou internationaux, utilisent aujourd'hui un support quasi-unique : la fibre optique, la seule technique capable de répondre aux besoins en termes de capacité de liaison. Le transport d'information par fibre optique, sur de longues distances, doit s'effectuer de manière à préserver au mieux l'information, en évitant les distorsions linéaires et non linéaires du signal ainsi que l'accumulation du bruit des amplificateurs optiques en ligne.

Une liaison de télécommunication par fibre optique requiert trois fonctions fondamentales qui sont respectivement: la génération du signal (émetteur), la propagation (transmission, amplification et routage des données) et la détection en réception.

Ce mémoire fait l'étude de composant le plus essentielle d'une liaison optique qu'est le support optique. Ce dernier est caractérisé par des paramètres (dispersion chromatique, dispersion modale, l'atténuation...) qui agissent sur Le transport d'information sur des longues distances.

L'objet de ce PFE est de réaliser une étude comportementale d'heuristiques. Il s'agit de montrer comment évolue l'algorithme génétique en fonction des caractéristiques du problème d'optimisation de ces paramètres.

Ce mémoire est organisé en trois chapitres comme suit:

**Le premier chapitre** est consacré pour une description générale des transmissions par fibres optiques et de citer les différentes pertes qui existent dans les liaisons optiques.

**Le deuxième chapitre** est consacré aux algorithmes génétiques. Il est constitué de trois parties principales. La première présente une description détaillée des algorithmes génétiques dans laquelle nous rappelons les définitions relatives à leur fonctionnement.

**Le troisième chapitre** Modélisation et application de l'algorithme génétique au problème d'optimisation des paramètres d'une liaison optique. En fin nous terminerons par une conclusion





# Chapitre I

## Généralités sur une liaison optique

### I-1- Introduction

L'objectif de ce premier chapitre est de donner une description générale des transmissions par fibres optiques et de citer les différentes pertes qui existent dans les liaisons de télécommunication optiques.

### I-2- Les avantages de la fibre optique

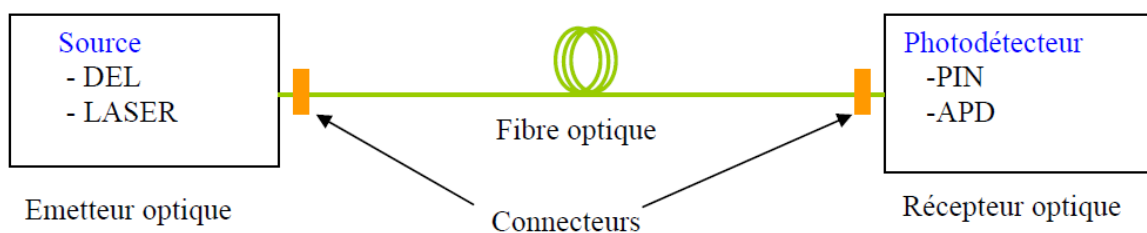
Comparée aux autres supports de transmission, la fibre optique présente de nombreux avantages qui justifient l'introduction de celle-ci dans plusieurs domaines. On peut classer ces avantages en :

- **Performance de transmission:** Très faible atténuation, très grande bande passante, multiplexage possible, d'où des systèmes de transmission de portée et de capacité bien supérieures à celles des câbles coaxiaux.

- **Immunité électromagnétique :** Insensibilité aux parasites, aux orages, aux courants telluriques
- **Isolation galvanique :** Pas de problème de terre dans le raccordement entre deux Bâtiments, pas de danger en milieu explosif ...
- **Confidentialité :** piratage très difficile.
- **Légereté :** Une fibre pèse quelques grammes /km, un câble peut peser de 20 à 100kg/km (selon nombre de fibres et protections) contre plus de 200kg/km pour un coaxial.

### I-3-Principe d'une liaison optique

Une liaison par fibre optique est composée essentiellement d'un émetteur qui peut être une LED ou diode laser, et du support de transmission qu'est la fibre optique, et d'un récepteur qu'est en générale une photodiode.



**Figure I.1:**Schéma simplifié d'une liaison optique

#### I-4- Emetteur

Son rôle est de convertir le signal d'entrée en signal optique et de l'injecter dans la fibre optique. Il est généralement constitué d'un laser à semi-conducteur. Ou d'une diode d'électroluminescente.

#### I-5- Fibre Optique

##### I-5-1- Structure de la fibre optique

La fibre optique est un guide d'onde cylindrique, composée des éléments de base suivants :

##### > Le cœur

C'est la région centrale de la fibre qui permet le guidage des ondes lumineuses, d'indice de réfraction  $n_1$ .

##### > La gaine

Représente une couche entourant le cœur de la fibre avec un indice de réfraction légèrement inférieur à celui du cœur ce qui permet par conséquent, la réflexion totale et perpétuelle des modes a l'interface cœur-gaine.

##### > Le revêtement

Le revêtement qui assure la protection,

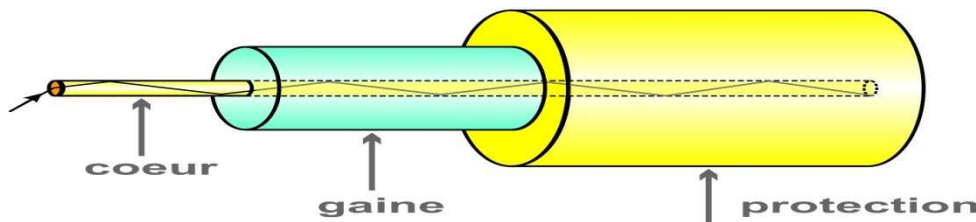


Figure I-2 : Structure d'une fibre optique.

#### I-5-2- caractéristique de l'optique

##### I-5-2-1- propagation

La lumière est une onde électromagnétique que l'on définit habituellement par sa longueur d'onde dans le vide.

$$\lambda = C.T = \frac{C}{F} \quad (I-1) \quad C = \text{Célérité dans le vide} = 3.10^8 \text{ m/s}$$

La lumière Infrarouge est utilisé dans les fibres optiques (0,85 $\mu\text{m}$ ; 1,3 $\mu\text{m}$  et 1,5 $\mu\text{m}$  principalement).

### I-5-2-2- L'indice de réfraction

L'indice optique ou indice de réfraction peut être vu comme la "résistance" du milieu à la pénétration de la lumière. Dans un milieu de faible indice optique la vitesse de propagation de la lumière est plus grande que dans un milieu d'indice optique élevé. L'indice optique est une quantité sans dimension, c'est à dire sans unité, dans un milieu  $n$  est l'indice de réfraction, la vitesse de propagation lumière est  $v = \frac{c}{n}$ , l'indice de réfraction du vide est égale à 1, c'est la valeur la plus faible possible, l'indice de réfraction de la silice est de 1.5, l'indice optique d'un semi-conducteur est de l'ordre de 3.5. [1]

### I-5-2-3- Fréquence de coupure

Lorsque la lumière pénètre dans une fibre, il faut que la fréquence de celle-ci soit supérieure à une fréquence de coupure déterminée par le diamètre de la fibre. En pratique, le diamètre de la fibre ne doit pas être inférieur à la longueur d'onde à transmettre. [2]

$$FC = \frac{0.23 \cdot 10^9}{a\sqrt{\varepsilon_2 - \varepsilon_1}} \quad (\text{I-2})$$

$\varepsilon_1$  : Permittivité du cœur

$\varepsilon_2$  : Permittivité de la gaine

### I-5-2-4- Loi de Descartes

Quand un rayon lumineux passe d'un milieu à un autre il y a réflexion (figure I-3) tel que :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (\text{I-3})$$

Si  $n_2 < n_1$  on a  $\theta_2 > \theta_1$ , il existe alors un angle  $\theta_1$  limite au-delà duquel on passe de la Réfraction à la réflexion totale.

$$\theta_{2\max} = 90^\circ \text{ d'où } \theta_{1\text{limite}} = \text{Arc sin} \frac{n_2}{n_1} \quad (\text{I-4})$$

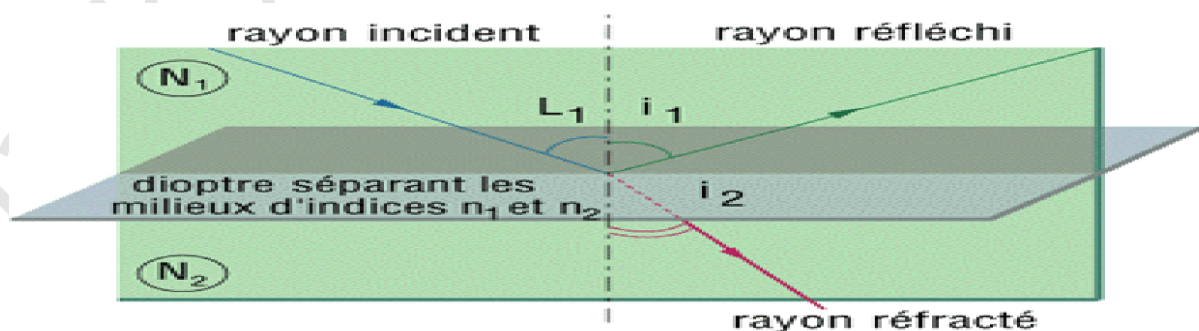


Figure I-3 : réflexion dans un milieu.

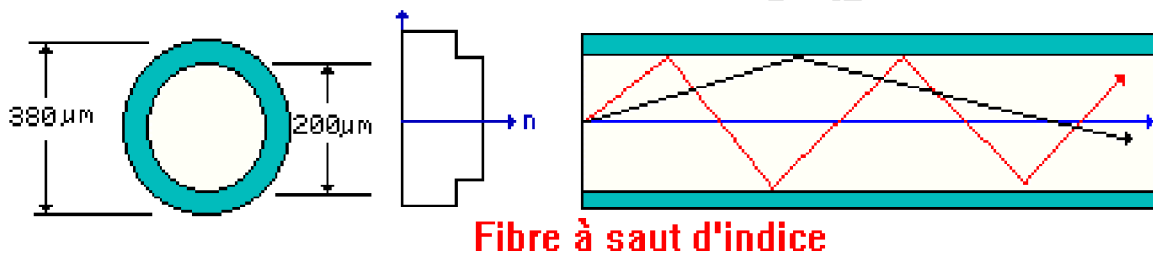
### I-5-3- Types de fibres

Pour la transmission de données, seule la silice est utilisée. La silice est dopée par du germanium ( $\text{GeO}_2$ ) ou du phosphore ( $\text{P}_2\text{O}_5$ ) qui augmentent l'indice du cœur ou bien du fluor ou du bore ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ) pour réduire l'indice de la gaine. On obtient ainsi des fibres ayant une très faible atténuation (5..10dB/km à  $0.85\mu\text{m}$  et 1.3dB/km à  $1.3\mu\text{m}$ ) et une ouverture numérique réduite.

D'autres matériaux à l'étude (Béryllium fluoré par exemple) permettraient une Atténuation de 0.005dB/km et autoriseraient des liaisons >2000 km sans répéteur.[5]

Le verre est utilisé pour construire des conducteurs de lumière regroupant plusieurs centaines de fibres et le PMMA pour construire des fibres épaisses et économiques (1.3mm).

#### I-5-3-1- Fibre optique Multi mode à saut d'indice

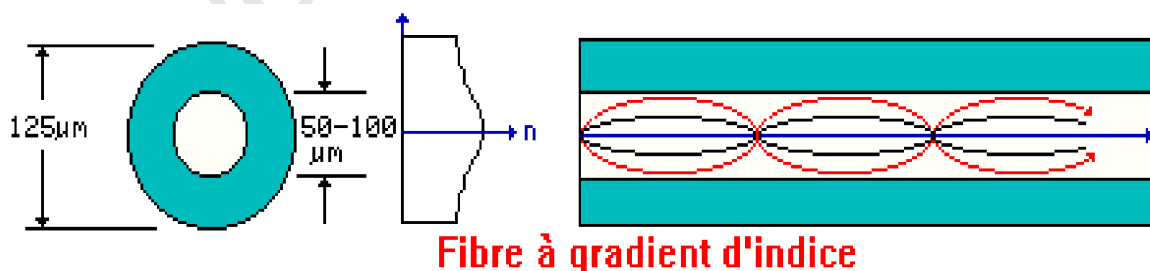


Diamètre du cœur  $100\mu\text{m}$  à  $200\mu\text{m}$  le plus souvent, gaine  $150\mu\text{m}$  à  $225\mu\text{m}$

Ouverture numérique supérieur à  $12^\circ$

Bande passante limitée:  $<200 \text{ Mhz} \cdot \text{km}$  . Atténuation faible : 3dB/km à  $0.85\mu\text{m}$ . [3], [4]

#### I-5-3-2- Fibre optique Multi mode à gradient d'indice



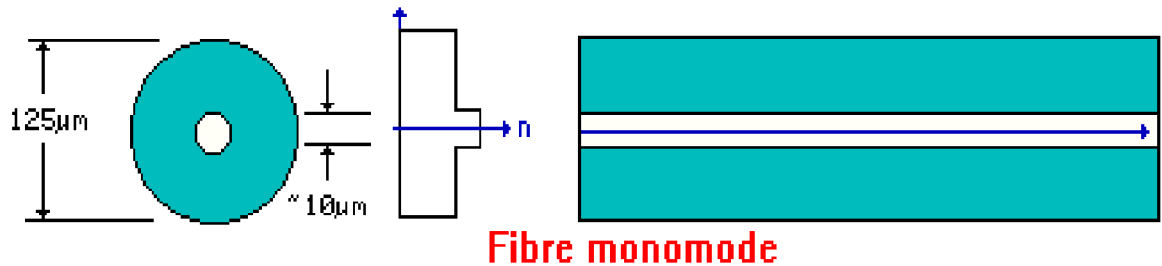
Dans ce type de fibre l'indice de réfraction  $n$  n'est pas constant mais décroît graduellement du centre de la section du cœur jusqu'à la limite de la surface de séparation entre le cœur et la gaine.

L'avantage essentiel de ce type de fibre est de minimiser la dispersion du temps de propagation entre les rayons. La fibre la plus courante, utilisée en télécommunications à

moyenne distance a pour ouverture numérique 0,2 et pour diamètres cœur/gaine 50/125  $\mu\text{m}$ . Il existe aussi les fibres 62,5/125 utilisées en micro-informatique et 85/125 utilisées en vidéocommunication

- Bande passante : plusieurs GHz km.
- Atténuation : 3dB/km à 0.85 $\mu\text{m}$  et 1.5dB/km à 1.3 $\mu\text{m}$ . [3],[4]

### I-5-3-3- Fibre optique Monomode



Il n'y a qu'un seul mode de propagation car les dimensions du cœur sont du même ordre que la longueur d'onde du signal et l'ouverture numérique très faible.

- Diamètre du cœur 5 à 10 $\mu\text{m}$ , gaine 125 $\mu\text{m}$ .
- Bande passante très élevée : de l'ordre du THz km.
- Atténuation très faible : 0.5dB/km à 1.3 $\mu\text{m}$  et 0.2dB/km à 1.5 $\mu\text{m}$ .

Utilisée essentiellement par les opérateurs de télécommunication. Actuellement des liaisons de 100 à 300km sans répéteurs sont possibles. La tendance est de réduire encore le cœur (vers 2 $\mu\text{m}$ ), de travailler dans la bande des 1,5 $\mu\text{m}$  avec plusieurs longueurs d'ondes (256 pour le SWDM). La silice est dopée à l'ytterbium.[3], [4]

Le paramètre V permet de définir si une fibre est monomodale ou multimode :

$$V = 2. \pi. a. \lambda \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \quad (\text{I-5})$$

Avec  $\lambda$ : longueur d'onde,

a: rayon du cœur de la fibre et  $n_1$  et  $n_2$  indices du cœur et de la gaine.

Si  $V < 2.41$  la fibre est monomodale.

### I-5-4- Caractéristique des fibres

#### I-5-4-1- Angle d'acceptante

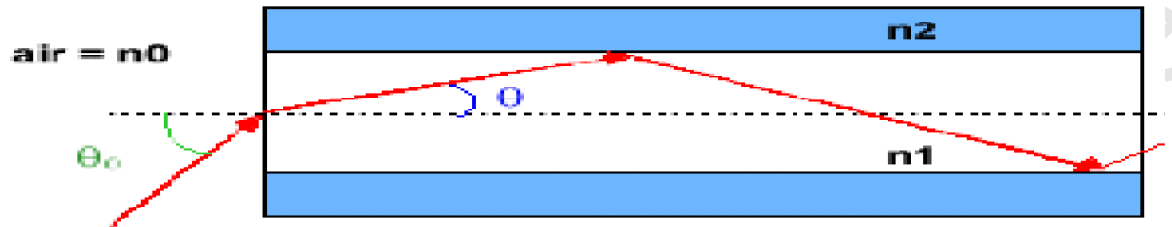
Sur la face d'entrée de fibre on a la relation suivante (figure I-3):

Si  $n_1 > n_2$  on a angle critique :

$$\theta_{cc} = \arcsin \left( \frac{1}{n_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \right) \quad (\text{I-6})$$

### I-5-4-2- Ouverture numérique

A l'extrémité d'une fibre ( $n_0$ ), un rayon est réfracté dans le cœur ( $n_1$ ) puis indéfiniment réfléchi sur la gaine ( $n_2$ ). On a  $n_0 < n_2 < n_1$



**Figure I-4** : L'ouverture numérique

Donc on définit l'ouverture numérique (ON) d'une fibre, l'angle maximum  $\theta_0$  du rayon incident, on considère  $n_0=1$  (air), donc  $ON = \sin\theta_0 = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$   
 $n_1, n_2$  l'indice de réfraction de cœur et de la gaine.

### I-5-4-3- Modes de propagation

Un mode est l'angle du rayon lumineux par rapport à l'axe de propagation de la fibre. Le nombre de modes est le nombre d'angles admissibles. [3]

$$\text{Nombre du mode gradient d'indice : } M_{(g)}^{(SI)} = \frac{(V^{(SI)})^2}{2} \cdot \frac{\alpha}{\alpha+2} \quad (\text{I-7})$$

$$\text{Nombre du mode saut d'indice : } M_{(g)}^{(SI)} = \frac{(V^{(SI)})^2}{2} \quad (\text{I-8})$$

### I-5-4-4- Conditions de guidage

Pour qu'un rayon soit guidé, il faut que celui-ci soit réfléchi à l'interface cœur/gaine de la fibre ce qui impose une condition sur l'angle d'incidence du rayon sur la face d'entrée de la fibre. Si l'angle d'incidence est inférieur à l'angle critique, le rayon est guidé dans la fibre par contre si l'angle est supérieur à l'angle critique, le rayon n'est pas guidé.

Le guidage du mode varie avec la longueur d'onde :

Aux grandes longueurs d'ondes le mode est guidé.

Aux courtes longueurs d'onde, le mode est guidé mais des modes d'ordre supérieur sont guidés.

La longueur d'onde de coupure  $\lambda_c$  est celle au dessus de laquelle la fibre devient monomode. [4]

$$\text{Donc : } \lambda_c = \frac{2\pi \cdot a \cdot ON}{2.404} \quad (\text{I-9}) \quad a: \text{diamètre de cœur}$$



### I-5-4-5- Bande passante

On définit souvent la bande passante comme étant la quantité de données que l'on peut transmettre sur un support pendant un intervalle de temps, on l'exprime en bits par seconde (b/s). Mais la bande passante désigne aussi la largeur de l'intervalle de fréquences utilisables sur un support, elle s'exprime alors en Hertz (Hz).

La bande passante (à -3dB) est égale à la fréquence de coupure haute et dépend de la dispersion totale. La dispersion étant proportionnelle à la longueur de la fibre, la bande passante diminuera donc avec cette longueur [4].

$$BP = \frac{1}{2 \cdot \sigma_{tot}} \quad (I-10)$$

$$\sigma_{tot}^2 = \sigma_c^2 + \sigma_m^2 \quad (I-11)$$

Avec  $\sigma_c$ ,  $\sigma_m$  : dispersion chromatique, et modale .

$\sigma_{tot}$  : Dispersion total.

### I-5-5-Limitation optique

#### I-5-5-1- Atténuation

L'atténuation correspond à une diminution de la puissance du signal transmis, elle s'exprime très souvent en décibels dB (qui vient de Bell, inventeur du téléphone) correspondant à 10 fois le logarithme en base 10 du rapport de la puissance en entrée sur la puissance en sortie d'une ligne de transmission. On définit un coefficient d'atténuation  $\alpha$  pour une ligne de transmission de longueur L qui s'exprime en dB/Km tel que :

$$\alpha(dB) = 10 \cdot \log \frac{P_e}{P_s} \quad (I-13)$$

En générale, l'atténuation des fibres par la relation suivante :

$$\alpha \left( \frac{dB}{Km} \right) = \frac{\alpha_{tot}(dB)}{L(Km)} \quad (I-14)$$

Dans le cas ou la fibre présente un certain nombre d'épissures il faut tenir compte de Leur atténuation pour calculer l'atténuation totale :

$$\alpha_{TOT}(dB) = \alpha \left( \frac{dB}{Km} \right) \cdot L(Km) + \alpha_{ep}(dB) \quad (I-15)$$

$P_s$ : puissance de sortie exprimée en dB.

$P_e$ : puissance d'entrée exprimée en dB.

L: la longueur exprimée en Km.

Au cours de la propagation dans la fibre, la puissance décroît selon la loi

$$P(z) = P_{in} \cdot \exp(-\alpha z) \quad (I-16)$$

$P_{in}$  : puissance d'entrée

Dans une fibre optique réelle on constate que toute l'énergie lumineuse entrante n'est pas récupérée en sortie. Il y a des phénomènes de dispersion à causes de cette perte (ou atténuation) qui dans une fibre de télécommunication, pour une longueur d'onde optimale de 1550nm, atteint environ 0.17dB/km contre 2.5dB/km à 850nm et 0.3db/km pour 1300nm.[14]

L'atténuation dans les fibres optiques résulte de plusieurs mécanismes.

❖ **Pertes intrinsèques** : dépendent de la nature physico chimique de la fibre optique.

- Pertes par absorption moléculaire : elles sont causées par l'absorption des rayons optiques par la silice et les impuretés contenus dans celle-ci.

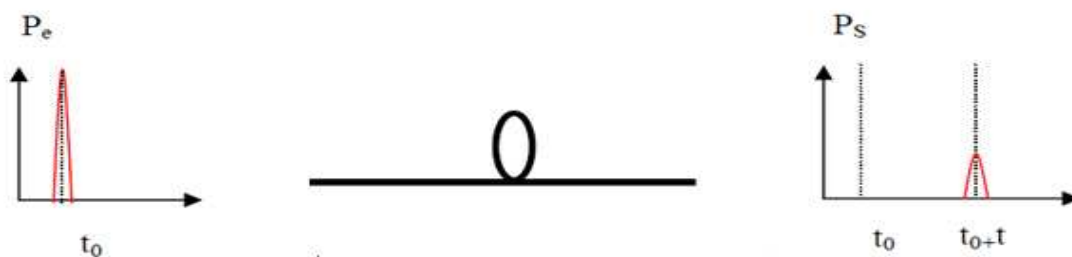
- Les irrégularités involontaires de structure provoquent des pertes par Diffusion (diffusion Rayleigh).

❖ **Pertes extrinsèques** : dépendent du couplage fibre-fibre ou fibre-composants.

- Les pertes dues aux conditions d'utilisation des fibres. Toute courbure trop serrée crée des pertes par rayonnement.

- Les microcourbures sont des courbures très faibles, mais répétées et pratiquement incontrôlables, dues au conditionnement des fibres dans les câbles.

- Les fibres sont toujours utilisées par tronçons de longueur finie, raccordés entre eux. Chaque jonction peut provoquer une perte de raccordement.



**Figure I-5** : Phénomène d'atténuation

### II-5-5-2. Dispersion

La dispersion d'un signal optique se manifeste par une distorsion du signal et cause un élargissement des impulsions au cours de leur propagation dans la fibre optique. Il existe deux types de dispersion :

➤ **Dispersion chromatique** (ou intramodale)

La dispersion chromatique est la combinaison de deux types de dispersion : la dispersion du matériau et la dispersion du guide d'onde.

La dispersion du matériau est causée par la dépendance de l'indice de réfraction de la longueur d'onde.

En effet la dispersion du matériau est très petite par rapport à la longueur d'onde d'environ 1300nm, cette dispersion existe dans toute les fibres optique qu'elle soit monomode ou multimode.

La dispersion du guide d'onde est particulièrement importante pour les fibres monomodes. Elle est causée par le fait que la répartition de la lumière du mode fondamental sur le cœur et la gaine dépend de la longueur d'onde.

La dispersion totale est la somme des dispersions due au matériau et la dispersion du guide d'onde.

➤ **Dispersion modale** (ou intermodale)

Dans une fibre optique multimode se propagent plusieurs modes, chacun suivant une trajectoire différente.

L'énergie lumineuse transmise dans la fibre se répartie entre les différents modes qui se propage dans le cœur.

L'ensemble des retards entre les différents rayons composant le signal lumineux détermine en réception une distorsion du signal électrique obtenu par le convertisseur optique-électrique ; cette distorsion est la Dispersion Modale.

➤ **Effets de la dispersion modale et chromatique**

Les effets de la dispersion modale et chromatique sur la propagation de l'impulsion optique le long de la fibre, illustrée par les deux figures suivantes :

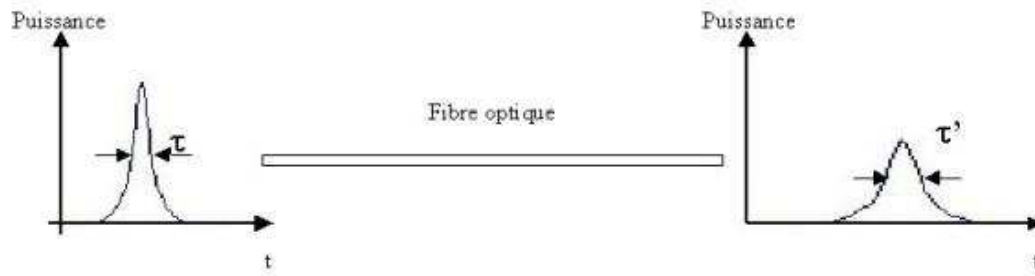


Figure I-6: Évolution de l'impulsion pendant sa propagation dans la fibre optique.

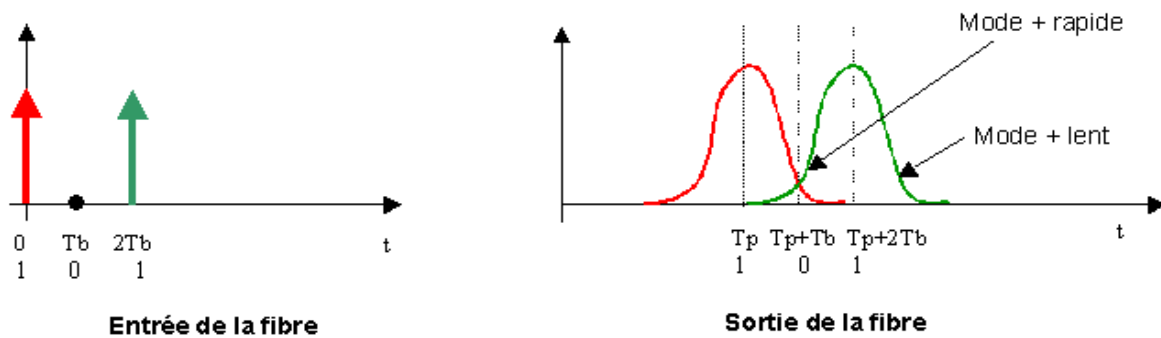


Figure I-7 : le phénomène de dispersion intermodale .

a) l'impulsion en réception est la somme des impulsions composantes qui se propagent en temps différents (parcours différents)

b) propagation avec des vitesses différentes, des différentes composantes du signal de longueurs d'ondes diverses.

### I-5-5-3- Les effets non linéaires

Les effets NL sont observables pour des puissances de l'onde dans la fibre relativement faibles. Ceci à cause des très petites dimensions des fibres (cœur) et des pertes très faibles. Les effets NL se voient surtout dans les fibres monomodes, et se traduit par : Une atténuation du signal en fonction de l'augmentation de P transmise Une création de nouvelles longueurs d'onde à partir du signal Bien souvent la fibre devient impropre à la transmission.

#### ❖ Effet Raman

- Elle entraîne une diminution (atténuation) de l'onde pompe.
- La puissance critique à partir de laquelle apparaît le phénomène vaut : [4].

$$P_r = \frac{16A}{G_{R,L}} \quad (\text{I-17})$$

A : section de guidage (section de cœur.)

$G_R$  : gain Raman  $\simeq 10\text{-}13\text{m/W}$  dans la silice.

L : longueur d'interaction.

#### ❖ l'Effet Kerr

L'effet Kerr est du à la variation de l'indice de réfraction de la silice en fonction de, l'intensité optique. L'effet Kerr traduit la dépendance de l'indice de réfraction n de la silice en fonction de l'intensité du champ.

### I-5-6- Applications des fibres optiques

- ✚ Transmissions numériques à haut débit : données informatiques, téléphonie, télécopie, Télévision, etc....
- ✚ Réseaux nationaux et internationaux de télécommunications.
- ✚ Réseaux locaux en environnement bruité.
- ✚ Applications vidéo.

### I-6- Le récepteur

Il permet de convertir la puissance optique reçue en puissance électrique. Ainsi, le signal d'entrée est restitué au niveau de la sortie. Généralement, la détection de la lumière se fait avec une photodiode. Ce détecteur est associé à un amplificateur pour former le récepteur.

### I-7- Conclusion

Dans ce chapitre nous avons évoqué les caractéristiques d'une liaison optique, et ses différentes structures et applications, et un rappel sur le différent type de source, des fibres optiques et de photodétecteur, ainsi que les principales performances d'une liaison optique.

# Chapitre II

Présentation de l'Algorithme génétique

Thank you for trying PDF Suite

## II-1- Algorithmes d'optimisation

Il existe diverses familles d'algorithmes d'optimisation qui se distinguent par leur efficacité à converger vers un optimum, et par leur vitesse de convergence [16].

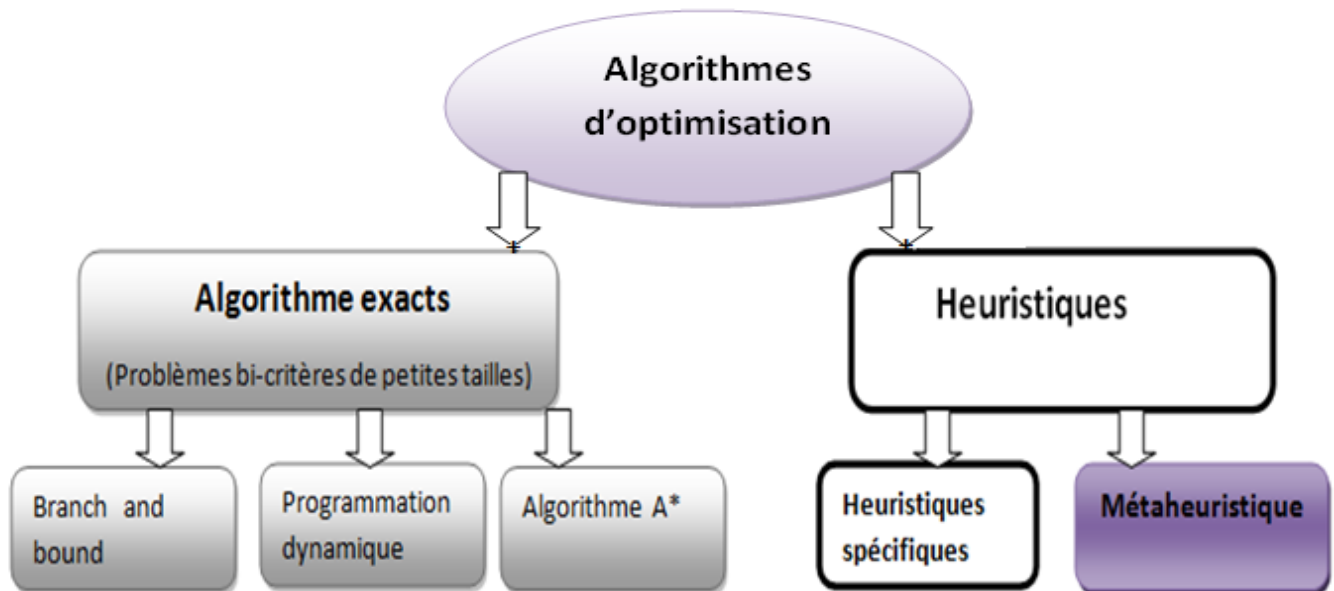


Figure II .1. Categorie des Algorithmes d'optimisation [16].

## II -2- Les Métaheuristiques

### II-2-1 Définition

Le mot métaheuristique est dérivé de la composition de deux mots grecs :

- 'heuristique' qui vient du verbe 'heuriskein' et qui signifie 'trouver'.
- 'meta' qui est un suffixe signifiant 'au-delà', à un plus haut niveau.

Les **métaheuristiques** sont des classes d'algorithmes d'optimisations qui tentent d'obtenir une valeur approchée de l'optimum global dans le cas de problèmes d'optimisation difficile.

En 2006, le réseau Metaheuristics ([metaheuristics.org](http://metaheuristics.org)) définit les métaheuristiques comme « un ensemble de concepts utilisés pour définir des méthodes heuristiques, pouvant être appliqués à une grande variété de problèmes. On peut voir la métaheuristique comme une « boîte à outils » algorithmique, utilisable pour résoudre différents problèmes d'optimisation, et ne nécessitant que peu de modifications pour qu'elle puisse s'adapter à un problème particulier ».

La **métaheuristique**, se place à un niveau plus général encore, et intervient dans toutes les situations où l'ingénieur ne connaît pas d'heuristique efficace pour résoudre un problème donné, ou lorsqu'il estime qu'il ne dispose pas du temps nécessaire pour la déterminer.

### II-2-2 Propriétés des métaheuristicues

Les propriétés fondamentales des métaheuristicues sont les suivantes.

- Les métaheuristicues sont des stratégies qui permettent de guider la recherche d'une solution optimale.
- Les techniques qui constituent des algorithmes de type métaheuristique vont de la simple procédure de recherche locale à des processus d'apprentissage complexes.
- Les métaheuristicues sont en général non-déterministes et ne donnent aucune garantie d'optimalité.
- Les métaheuristicues peuvent contenir des mécanismes qui permettent d'éviter d'être bloqué dans des régions de l'espace de recherche.
- Les concepts de base des métaheuristicues peuvent être décrits de manière abstraite, sans faire appel à un problème spécifique.
- Les métaheuristicues peuvent faire appel à des heuristiques qui tiennent compte de la spécificité du problème traité, mais ces heuristiques sont contrôlées par une stratégie de niveau supérieur.
- Les métaheuristicues peuvent faire usage de l'expérience accumulée durant la recherche de l'optimum, pour mieux guider la suite du processus de recherche.

### II -2-3 Classification des métaheuristicues

La façon de classer les métaheuristicues est de distinguer celles qui travaillent avec une population de solutions de celles qui ne manipulent qu'une seule solution. Les méthodes qui tentent itérativement d'améliorer une solution sont appelées méthodes de **recherche locale ou méthodes de trajectoire**. Les méthodes qui travaillent avec une population de solutions sont appelées **méthodes évolutionnaires**.

On peut cependant distinguer :

- ❖ les approches « **trajectoire** »

Ces algorithmes partent d'une solution initiale (obtenue de façon exacte, ou par tirage aléatoire) et s'en éloignent progressivement, pour réaliser une trajectoire dans l'espace des solutions en tentant de se diriger vers des solutions optimales.

Dans cette catégorie, se range :



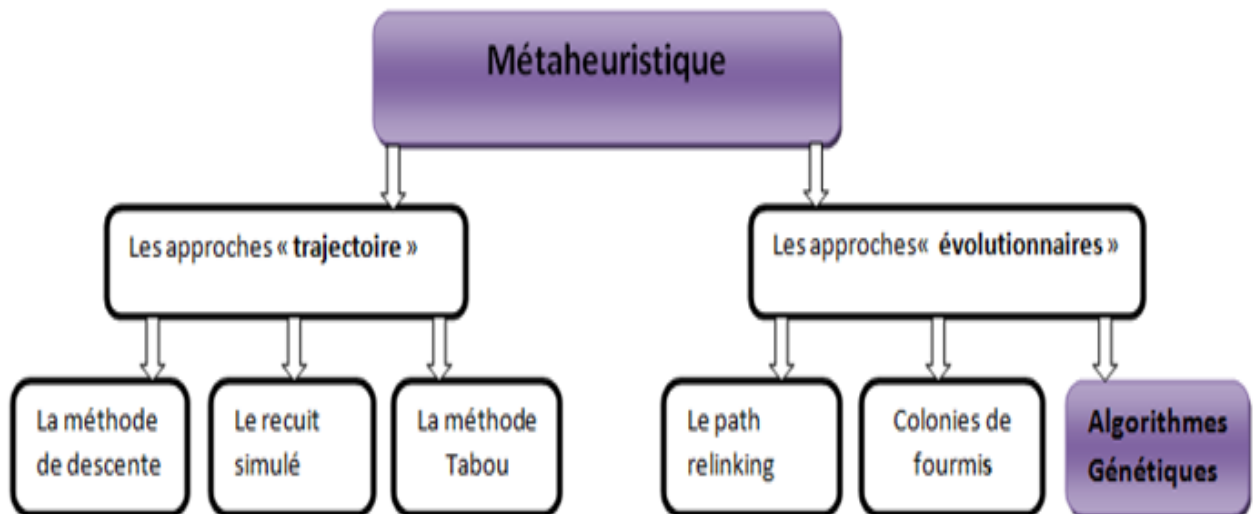
- la méthode de descente.
- le recuit simulé.
- la méthode Tabou.
- la recherche par voisinage variable.

Le terme de *recherche locale* est de plus en plus utilisé pour qualifier ces méthodes.

❖ les approches « **population** » (ou **évolutionnaires**)

Elles consistent à travailler avec un ensemble de solutions simultanément, que l'on fait évoluer graduellement. L'utilisation de plusieurs solutions simultanément, permet naturellement d'améliorer l'exploration de l'espace des configurations. Dans cette seconde catégorie, on recense les algorithmes génétiques [16].

- Les algorithmes par colonies de fourmi.
- L'optimisation par essaim particulaire.
- Les algorithmes à estimation de distribution.
- Le path relinking (ou chemin de liaison).



**Figure II .2** : Classification des métaheuristiques [16].

L'exemple le plus connu de méthode qui travaille avec **une population** de solutions est : **L'algorithme génétique**.

## II-3- Algorithme génétique

### II-3-1- Historique

Au 19<sup>ème</sup> siècle, Charles Darwin a observé les phénomènes naturels et il a fait les constatations suivantes :

- l'évolution n'agit pas directement sur les êtres vivants ; elle opère en réalité sur les chromosomes contenus dans leur ADN.
- l'évolution a deux composantes : la sélection et la reproduction.
- la sélection garantit une reproduction plus fréquente des chromosomes les plus forts.
- la reproduction est la phase durant laquelle s'effectue l'évolution.

Dans les années 60s, John H. Holland a expliqué comment ajouter de l'intelligence dans un programme informatique avec les croisements (échangeant le matériel génétique) et la mutation (source de la diversité génétique).

- Il formalisa ensuite les principes fondamentaux des algorithmes génétiques :
- la capacité de représentations élémentaires, comme les chaînes de bits, à coder des structures complexes.
- le pouvoir de transformations élémentaires à améliorer de telles structures.

Et récemment, David E. Goldberg ajouta à la théorie des algorithmes génétiques les idées suivantes :

- un individu est lié à un environnement par son code d'ADN.
- une solution est liée à un problème par son indice de qualité.

### II-3-2. Buts

Les AG ont deux objectifs principaux :

- Expliciter les théories sur les adaptations des systèmes naturels.
- Résoudre des problèmes dont les AGs sont particulièrement adaptées. Les AGs présentent à la fois robustesse et adaptation. C'est à dire qu'ils ont la capacité d'évoluer (fitness) dans le but d'une recherche satisfaisante. Mais ils sont aussi capables d'être attirés par des solutions.

### II-3-3. Applications

Les applications des AGs sont multiples :

- optimisation de fonctions numériques difficiles (discontinues...)

- traitement d'image (alignement de photos satellites, reconnaissance de suspects...)
- optimisation d'emplois du temps, optimisation de design, contrôle de systèmes industriels [Beasley, 1993a]
- apprentissage des réseaux de neurones [Renders, 1995], etc.
- Les AGs peuvent être utilisés pour contrôler un système évoluant dans le temps (chaîne de production, centrale nucléaire...) car la population peut s'adapter à des conditions changeantes. Ils peuvent aussi servir à déterminer la configuration d'énergie minimale d'une molécule.
- Les AGs sont également utilisés pour optimiser des réseaux (câbles, fibres optiques, mais aussi eau, gaz...),
- des antennes [Reineix, 1997]... Ils peuvent être utilisés pour trouver les paramètres d'un modèle petit-signal à partir des mesures expérimentales [Menozzi, 1997]

#### II-3-4- Terminologie

Les mécanismes de l'évolution des espèces ayant inspiré les Algorithmes Génétiques sont nombreux, complexes, et souvent difficiles à mettre en évidence.

- Individu ou Chromosome : c'est la représentation par une chaîne de bits d'un point de l'espace de recherche.
- Population : est l'ensemble des individus (solutions candidates). A chaque instant  $t$ , la population est appelée « génération ».
- Gène : est l'ensemble des propriétés caractérisant un individu de la population.
- Génotype : est la représentation interne de l'individu, il est constitué de l'ensemble des gènes
- Phénotype : est une visualisation externe de l'individu, il indique son aptitude à subsister dans son environnement donc à se reproduire.
- Allèle : est l'ensemble des valeurs que peut prendre un gène. Généralement, l'ensemble des allèles est fixe et constant au cours de l'évolution.
- Fonction d'Adaptation ou Fitness : est une valeur estimée à partir de la solution (individu). Elle permet de déterminer la capacité d'adaptation de l'individu  $i$  dans la génération  $t$ . [10]

Les liens entre les terminologies naturelles et artificielles sont résumés dans le tableau suivant :

Naturelle	Artificielle
Chromosome	Chaîne
Gène	Caractère
Allèle	Valeur de caractère
Locus	Position dans la chaîne
Génotype	Structure
Phénotype	Structure codée
Epistasia	Non linéaire

**Tab II .1** : liens entre les terminologies naturelles et artificielles.

### II-3-5- Principes

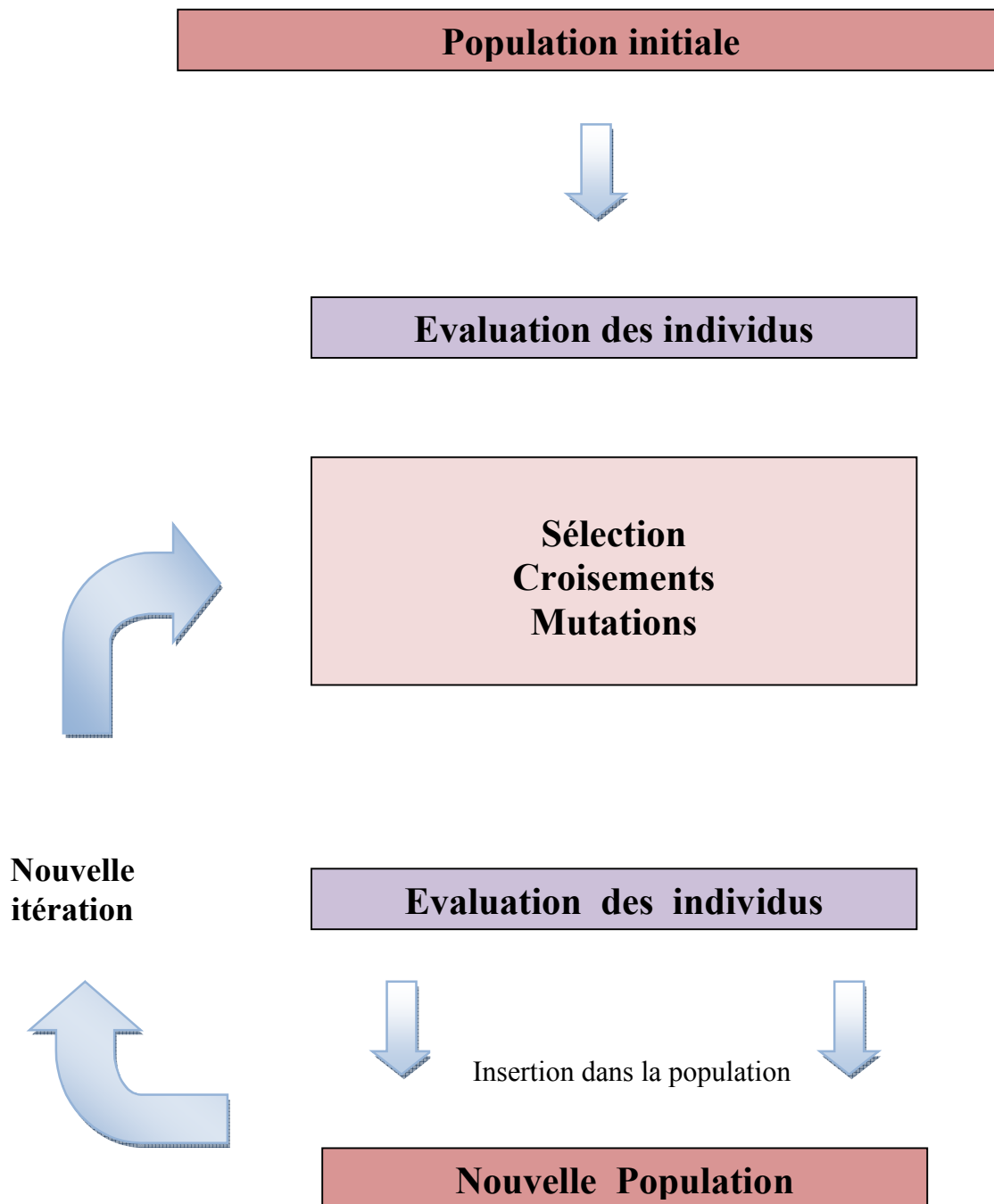
Pour utiliser les techniques génétiques il faut faire deux opérations :

- 1- Une fonction de codage de données en entrée sous forme d'une séquence de bits.
- 2- Trouver une fonction  $U(x)$  pour pouvoir calculer l'adaptation d'une séquence de bits  $x$ .

Après avoir trouvé ces deux fonctions on peut appliquer l'AG :

- 1- Générer aléatoirement quelques séquences de bits pour composer la soupe initiale.
- 2- Mesurer l'adaptation de chacune des séquences présentes.
- 3- Reproduction des séquences en fonction de son adaptation.
- 4- Faire l'opération de croisement aléatoirement de quelques paires de séquences.
- 5- Faire l'opération de mutation d'un bit choisi aléatoirement dans une ou plusieurs séquences.
- 6- Retour à l'étape 2 (mesurer l'adaptation à nouveau). [10]

L'organigramme suivant et l'algorithme de base résumant le processus de l'AG



**Figure II. 3** : organigramme d'un Algorithme Evolutionnaire

#### II-4-Codage et population initiale

Premièrement, il faut représenter les différents états possibles de la variable dont on cherche la valeur optimale sous forme utilisable pour un AG: c'est le codage. Cela permet d'établir une connexion entre la valeur de la variable et les individus de la population, de manière à imiter la transcription génotype-phénotype qui existe dans le monde vivant.

Il existe principalement trois types de codage : le codage binaire, le codage réel et le codage en base n [12].

#### II-4-1 Codage binaire

Ce codage a été le premier type à être utilisé dans le domaine des AG. Il présente plusieurs avantages : alphabet minimum  $\{0,1\}$ , facilité de mise en point d'opérateurs génétiques et existence de fondements théoriques (théorie sur les schémas). Néanmoins ce type de codage présente quelques inconvénients :

-- Les performances de l'algorithme sont dégradées devant les problèmes d'optimisation de grande dimension à haute précision numérique. Pour de tels problèmes, les AG basés sur les chaînes binaires ont de faibles performances comme le montre Michalewicz (Michalewicz, 1992).

-- La distance de Hamming entre deux nombres voisins (nombre de bits différents) peut être assez grande dans le codage binaire : l'entier 7 correspond à la chaîne 0111 et la chaîne 1000 correspond à l'entier 8. Or la distance de hamming entre ces deux chaînes est de 4, ce qui crée bien souvent une convergence, et non pas l'obtention de la valeur optimal [19].

#### II-4-2- Codage réel

Il a le mérite d'être simple. Chaque chromosome est en fait un vecteur dont les composantes sont les paramètres du processus d'optimisation. Par exemple, si on recherche l'optimum d'une fonction de n variables  $f(x_1, x_2, \dots, x_{n-1}, x_n)$ , on peut utiliser tout simplement un chromosome ch contenant les n variables: Avec ce type de codage, la pro

$$ch: \begin{array}{|c|c|c|c|c|} \hline x_1 & x_2 & \dots & x_{n-1} & x_n \\ \hline \end{array}$$

cedure d'évaluation des chromosomes est plus rapide vu l'absence de l'étape de transcoding (du binaire vers le réel). Les résultats donnés par Michalewicz (Michalewicz, 1992) montrent que la représentation réelle aboutit souvent à une meilleure précision et un gain important en termes de temps d'exécution [17].

#### II-4-3- Codage en base n

Dans ce type de codage, les gènes constituant un chromosome sont des chiffres exprimés dans une base de numération n, ce qui permet de représenter n valeurs discrètes.

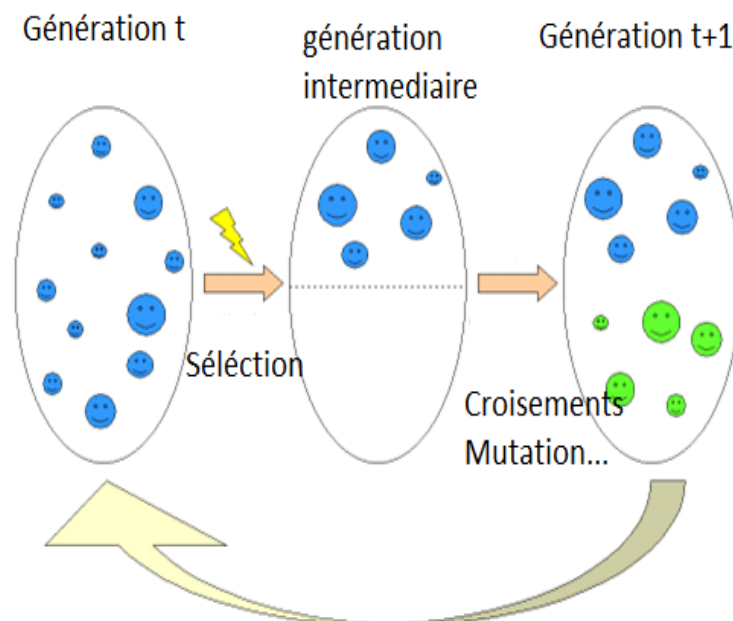
L'AG démarre avec une population composée de N individus dans le codage retenu. Le choix des individus conditionne fortement la rapidité de l'algorithme. Si la position de

l'optimum dans l'espace de recherche est totalement inconnue, il est intéressant que la population soit répartie sur tout l'espace de recherche. Si par contre des informations à priori sur le problème sont disponibles, il paraît évident de générer les individus dans un espace particulier afin d'accélérer la convergence. Disposant d'une population initiale souvent non homogène, la diversité de la population doit être entretenue aux cours des générations afin d'explorer le plus largement possible l'espace de recherche. C'est le rôle des opérateurs de croisement et de mutation [17].

### .II-5- Opérateurs génétiques

Les algorithmes génétiques sont basés sur trois types d'opérateurs génétiques :

1. La sélection et appariement des individus.
2. Le croisement (crossover).
3. La mutation.



**Figure II.4** : Représentation schématique du fonctionnement de l'AG.

### II-5-1-L'opérateur de sélection

Cet opérateur est chargé de définir qui seront les individus de P qui vont être dupliqués dans la nouvelle population P et vont servir de parents (application de l'opérateur de croisement et mutation).

Cet opérateur est peut-être le plus important puisqu'il 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.

Nous allons détailler ici quelques méthodes de sélections souvent utilisées : la roulette, la sélection par rang, la sélection par tournoi et l'élitisme.

#### ➤ La roulette

La sélection des individus par le système de roulette s'inspire des roues de loterie. A chacun des individus de la population est associé un secteur d'une roue. L'angle du secteur étant proportionnel à la qualité de l'individu qu'il représente. Vous tournez la roue et vous obtenez un individu. Les tirages des individus sont ainsi pondérés par leur qualité. Et presque logiquement, les meilleurs individus ont plus de chance d'être croisés et de participer à l'amélioration de notre population.

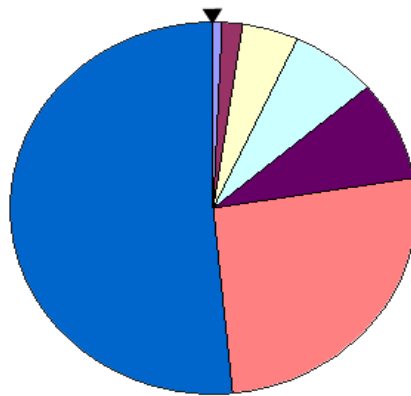


Figure II.5. Schéma d'une roulette [12].

#### ➤ La sélection par rang

La sélection par rang est une variante du système de roulette. Il s'agit également d'implémenter une roulette, mais cette fois-ci les secteurs de la roue ne sont plus proportionnels à la qualité des individus, mais à leur rang dans la population triée en fonction de la qualité des individus.



### ➤ La sélection par tournoi

Choisir aléatoirement deux individus et on compare leur fonction d'adaptation (combattre) et on accepte la plus adapté pour accéder à la génération intermédiaire, et on répète cette opération jusqu'à remplir la génération intermédiaire (N/2 composants). Les individus qui gagnent à chaque fois peuvent être copié plusieurs fois ce qui favorisera la pérennité de leurs gènes.

### ➤ L'élitisme

Les individus sont triés selon leur fonction d'adaptation, seul la moitié supérieure de la population correspondant aux meilleurs composants est sélectionnée, nous avons constatés que la pression de sélection est trop forte, il est important de maintenir une diversité de gènes pour les utiliser dans la population suivante et avoir des populations nouvelles quand on les combine.

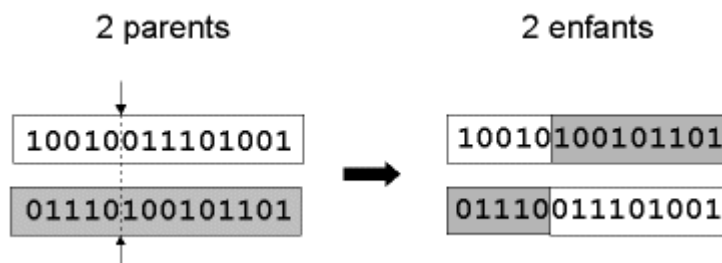
## II-5-2- Croisement

Le phénomène de croisement est une propriété naturelle de l'ADN, et c'est analogiquement qu'on fait les opérations de croisement dans les AG.

### A / croisement binaire

#### A-1 / " croisement en un point "

On choisit au hasard un point de croisement, pour chaque couple (fig. II-6). Notons que le croisement s'effectue directement au niveau binaire, et non pas au niveau des gènes. Un chromosome peut donc être coupé au milieu d'un gène.



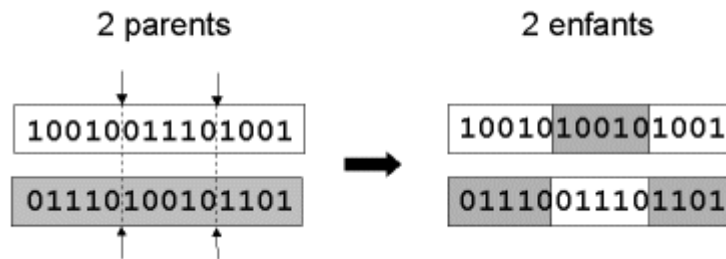
**Figure II .6:** représentation schématique du croisement en 1 point. [13].

Les chromosomes sont bien sûr généralement beaucoup plus longs.

#### A-2 / " croisement en deux points "

On choisit au hasard deux points de croisement (Fig. II-7). Par la suite, nous avons utilisé cet opérateur car il est généralement considéré comme plus efficace que le précédent

[Beasley, 1993b]. Néanmoins nous n'avons pas constaté de différences notables dans la convergence de l'algorithme.



**Figure II.7 :** représentation schématique du croisement en 2 points. [13]

Notons que d'autres formes de croisement existent, du croisement en  $k$  points jusqu'au cas limite du croisement uniforme.

### B / Croisement réel

Le croisement réel ne se différencie du croisement binaire que par la nature des éléments qu'il altère : ce ne sont plus des bits qui sont échangés à droite du point de croisement, mais des variables réelles.

### C / Croisement arithmétique

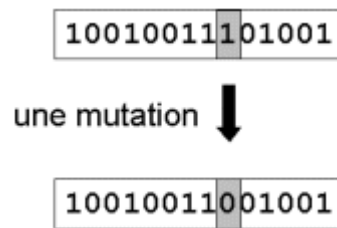
Le croisement arithmétique est propre à la représentation réelle. Il s'applique à une paire de chromosomes et se résume à une moyenne pondérée des variables des deux parents. Soient  $[a_i, b_i, c_i]$  et  $[a_j, b_j, c_j]$  deux parents, et  $p$  un poids appartenant à l'intervalle  $[0,1]$ , alors les enfants sont  $[p a_i + (1-p) a_j, p b_i + (1-p) b_j, p c_i + (1-p) c_j] \dots$

Si nous considérons que  $p$  est un pourcentage, et que  $i$  et  $j$  sont nos deux parents, alors l'enfant  $i$  est constitué à  $p\%$  du parent  $i$  et à  $(100-p)\%$  du parent  $j$ , et réciproquement pour l'enfant  $j$ .

## II-5-3- Mutations

### A/ Mutation binaire

Nous définissons une mutation comme étant l'inversion d'un bit dans un chromosome (Fig. II-8). Cela revient à modifier aléatoirement la valeur d'un paramètre du dispositif. Les mutations jouent le rôle de bruit et empêchent l'évolution de sa 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.



**Figure II.8:** représentation schématique d'une mutation binaire dans un chromosome [13].

### B / Mutation réelle

La mutation réelle ne se différencie pas de la mutation binaire que par la nature de l'élément qu'elle altère : ce n'est plus un bit qui est inversé, mais une variable réelle qui est de nouveau tirée au hasard sur son intervalle de définition.

### C/ Mutation non uniforme

La mutation non uniforme possède la particularité de retirer les éléments qu'elle altère dans un intervalle de définition de plus en plus petit. Plus nous avançons dans les générations, moins la mutation n'écarte les éléments de la zone de convergence. Cette mutation adaptative offre un bon équilibre entre l'exploration du domaine de recherche et un affinement des individus.

Le coefficient d'atténuation de l'intervalle est un paramètre de cet opérateur.

## II-6-Les Principaux Avantages et Inconvénients des AGs

### II-6-1 Les Avantages

Dans la classe des problèmes d'optimisation où l'espace de recherche  $E$  est de taille beaucoup trop grand, pour envisager une exploration exhaustive et où on ne connaît pas d'algorithmes convergeant de façon certaine, on est amené à :

- Essayer d'améliorer des solutions proposées pour trouver l'extremum local le plus proche, ce qu'on appelle *exploitation*.
- Rechercher, ailleurs dans l'espace des solutions, si on ne peut pas trouver un autre extremum, qui soit meilleur, ce qu'on appelle *exploration*.

Les algorithmes génétiques permettent une bonne exploration grâce aux mécanismes de mutation et de recombinaison, qui sont complémentaires. L'exploitation est assurée par les mécanismes de la sélection et de la recombinaison. On constate expérimentalement que plus on fait tourner l'algorithme longtemps, meilleurs sont les résultats.

### ❖ Codage des paramètres

Les méthodes classiques manipulent d'une façon directe les fonctions à optimiser et leurs paramètres. Cependant, les algorithmes génétiques n'utilisent pas directement les arguments du problème, mais emploient une représentation ou un codage et tiennent compte des similarités entre les points performants pour accélérer le processus d'exploration et d'exploitation de l'espace de recherche.

### ❖ Exploration d'une population

Le point fort des algorithmes génétiques est qu'ils se prêtent très bien à la parallélisations. Ils explorent à la fois une population de solutions candidates et non pas unique (les AGs ne mettent pas tous leurs œufs dans le même panier). Cette caractéristique est propre aux AGs. Elle est connue sous le nom du parallélisme implicite. On peut alors distinguer deux niveaux d'opérations :

- **Niveau explicite** : L'AG cherche une solution en utilisant une population de chaîne.
- **Niveau implicite** : L'AG effectue un échantillonnage de l'espace de recherche. En considérant qu'un schème est une partition de l'espace de recherche et qu'à chaque position de ce schème correspond un hyperplan de cet espace, cet échantillonnage est, par l'effet de la sélection et de la recombinaison des individus, biaisé au fil du temps et s'éloigne des mauvais hyperplans pour se concentrer sur ceux qui correspondent aux bonnes solutions du problème.

### ❖ Utilisation d'un bagage minimal

Les Algorithmes génétiques n'ont besoin que de la valeur d'adaptation des résultats excellents en les comparant avec les méthodes classiques qui nécessitent trop de connaissance sur l'environnement du problème (continuité...). En cas d'absence de ces connaissances, ou sont difficiles à atteindre, ces méthodes restent bloquées. Pour cette raison, les algorithmes génétiques peuvent être appliqués à un nombre illimité de problèmes.

### ❖ Emploi de mécanismes stochastiques

Contrairement aux méthodes traditionnelles qui utilisent des règles déterministes, les algorithmes génétiques emploient des opérateurs stochastiques (probabilistes). Ils utilisent le hasard comme moyen pour diriger l'exploration dans l'espace de recherche.

### II-6-2- Inconvénients et difficultés

Une limitation importante réside dans la difficulté à modéliser le problème sous forme de chromosome. Il faut aussi trouver les bonnes valeurs des paramètres du modèle.

Un inconvénient très gênant est l'absence de maîtrise de la distance de la solution trouvée à l'optimum. On ne dispose pas de preuve de convergence, ce qui est peu satisfaisant.

Les algorithmes génétiques sont très coûteux en temps de calcul. En effet, il faut faire un arbitrage sur le nombre d'individus dans la population initiale : un nombre trop grand augmente le temps de calcul (le temps d'évaluation de la fitness pour chaque individu) ; un autre trop petit fait perdre du temps à explorer l'espace avant de trouver une solution.

Il existe éventuellement d'autres difficultés comme le choix du codage. Il faut qu'il rende la manipulation des paramètres indépendante de l'environnement du problème à résoudre en utilisant peu de connaissance sur la fonction d'adaptation.

Une autre difficulté, qui est un problème classique des algorithmes génétiques, c'est le problème de la convergence prématurée. Il est causé par des individus ayant de très bonnes performances qui prennent le contrôle de la population, ce qui ne permet pas d'explorer de nouveaux points. Par conséquent, la population convergera vers un optimum local. Dans ce cas, la solution est d'employer l'opérateur de mutation qui permettra la découverte de nouvelles solutions.

La situation contraire est aussi un problème, il s'agit de la convergence lente. Celle-ci est rencontrée si la différence entre l'adaptation moyenne et l'adaptation des meilleurs individus est petite. Les solutions sélectionnées ne sont pas suffisamment performantes pour permettre la convergence vers l'optimum.

### II-7-Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons décrit le fonctionnement et les différents opérateurs d'un algorithme génétique standard, Nous avons vu que ces algorithmes présentent des inconvénients lorsqu'on s'intéresse à l'optimisation de la topologie d'un système plutôt qu'à l'optimisation seule de ces paramètres.

# Chapitre III

Modélisation de l'algorithme génétique  
au problème d'optimisation des  
Paramètres d'une liaison optique

### III-1- Introduction

Dans ce chapitre, nous allons s'intéresser à l'application et l'interprétation des résultats d'une heuristique parmi les mieux réputées par son efficacité à notre problème d'optimisation des paramètres d'une liaison optique.

Avant de nous lancer dans l'application de l'algorithme de résolution adopté, il est important de dresser un portrait de la complexité algorithmique du problème.

### III-2- Complexité du problème d'optimisation des paramètres d'une liaison optique

Les deux phénomènes qui caractérisent une liaison optique sont l'atténuation et la dispersion, L'atténuation correspond à une diminution de la puissance du signal transmis, et la dispersion dans les télécommunications optiques, qui correspondent à un élargissement temporel des impulsions au cours de la propagation. Cela vient du fait que les impulsions optiques ne sont pas strictement monochromatiques et les différentes composantes spectrales ne se propagent pas à la même vitesse.

La difficulté du problème résulte du fait qu'une solution acceptable doit satisfaire des contraintes multiples, les contraintes les plus sévères sont : la largeur spectrale de la source (diode laser ou diode LED) au premier lieu, la longueur de la liaison, les longueurs d'ondes qui peuvent se propager dans la liaison (la fenêtre de fonctionnement) enfin la variation de l'indice de réfraction.

### III-3- Modélisation du Problème d'optimisation des paramètres d'une liaison optique

Le problème d'optimisation des paramètres d'une liaison optique se présente selon plusieurs versions (model) de fibres optiques. Pour notre cas, on a opté pour une fibre optique à gradient d'indice qui fonctionne à des longueurs d'ondes de 0.85 à 1.3  $\mu\text{m}$  avec un diamètre du cœur 62.5/125  $\mu\text{m}$ . Pour connaître les performances de telle fibre optique, il faut trouver les paramètres qui caractérisent cette liaison. Pour cela, on a essayé d'optimiser les trois paramètres les plus importants. La dispersion chromatique, la dispersion modale et l'atténuation.

#### III-3-1 Contraintes

Il existe essentiellement trois types de contraintes : la longueur d'onde, la longueur de la fibre et la variation de l'indice de réfraction.

### III-3-1-1 Contrainte de longueur d'onde

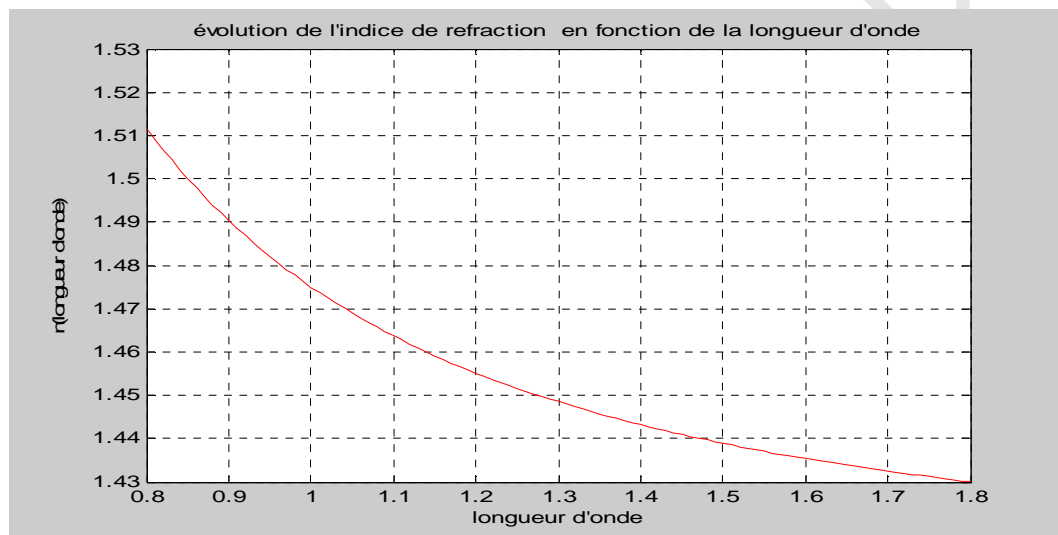
La longueur d'onde qui vari de 850 nm à 1300 nm est représentée par un entier  $\lambda_i$

### III-3-1-2 Contrainte de longueur de la fibre optique

La longueur de fibre optique qui vari de 0 à 100 km est représentée par un entier  $L_i$

### III-3-1-3 Contrainte de variation de l'indice réfraction

La variation de longueur d'onde, entraine la variation de l'indice de réfraction pour la fibre qu'on a choisie. La variation de l'indice est illustrée par la figure (III-1)



**Figure III-1** : la variation de l'indice réfraction en fonction de la longueur d'onde.

On remarque que l'indice de cœur, décroît d'une manière parabolique de 1.51 à 1.43 en fonction de longueur d'onde

### III-3-2 Sélections

On a opté pour deux stratégies

- **Algorithme de sélection proportionnelle** : appelé aussi roulette. Pour chaque individu, la probabilité d'être sélectionné est proportionnelle à son adaptation au problème (valeur de la fonction objective). Un bon individu a une forte chance pour passer à la génération suivante. Un mauvais individu a une faible chance pour passer à la génération suivante.



Si le meilleur individu n'a pas été sélectionné pour passer à la génération suivante, on a recours à une stratégie d'élitisme.

- **Elitisme** : une stratégie élitiste consiste à conserver dans la population, d'une génération à l'autre, au moins l'individu ayant la meilleure performance.

### III-3-3 Croisement

Le type de croisement qu'on a utilisé: c'est un Croisement binaire en deux points.

### III-3-4 Mutation

Le type de mutation qu'on a utilisé est une mutation binaire en un point. C'est-à-dire, prendre un individu de la population aléatoirement et de choisir un bit aléatoirement et le complémenter.

### III-3-5 Reproduction

Les individus de la population courante et les individus issus du croisement et/ou de la mutation, vont être élus pour passer à la génération suivante.

De ce fait, on a opté pour les paramètres suivants :

#### ❖ Taille de la population

la taille de la population est fixé à 120 pour l'ensemble de nos expériences.

#### ❖ la population initiale

Elle est générée de façon aléatoire, c'est-à-dire pour chaque gène d'un individu, une valeur aléatoire est prise parmi toutes les valeurs de domaine de variation.

#### ❖ le taux de recouvrement

Il définit le pourcentage des individus sélectionnés, qui recevront une opération de croisement, la production de deux petits. Selon nos expériences, il est fixé à 100%.

#### ❖ Le taux de mutation

Il définit le pourcentage de personnes qui recevront une opération de mutation, soit une valeur (gènes) sera modifiée. Il est fixé aussi à 5%.

#### ❖ Injection de nouveaux individus

On injecte aléatoirement de nouveaux individus en cas de blocage (maximum locale), et après un certains nombre d'itérations (dans les deux premier expériences 200 itérations dans la troisième expérience 20 itérations.

### III-3-6 Fonction Fitness

#### III-3-6-1 Dispersion chromatique

La dispersion chromatique, apparaît comme la somme de la dispersion du matériau ( $D_{matr}$ ) et de la dispersion du guide ( $D_{guide}$ ). (La dispersion liée à la géométrie du guide).

Elle s'exprime alors selon : [3]

$$D_{\text{chromatique}} = D_{\text{matr}} + D_{\text{guide}} \quad (\text{III-1})$$

##### III-3-6-1-1 Dispersion du matériau

La dépendance de l'indice de réfraction de la silice pure, qui constitue le matériau de base des fibres optiques utilisées dans les systèmes de télécommunication, en fonction de la longueur d'onde. Or la dispersion du matériau est définie par la relation : [3].

$$D_{\text{mat}} = -\frac{\lambda}{c} \frac{d^2 n}{d\lambda^2} \quad (\text{III-2})$$

Avec :

$\lambda$  : Longueur d'onde

$n$  : indice de cœur

$c$  : vitesse de la lumière

##### III-3-6-1-2 Dispersion de guide

Le paramètre de dispersion du guide est défini par la relation : [20].

$$D_g = -\frac{n_1}{c} \frac{A}{\lambda} V \frac{d^2(Vb)}{dV^2} \quad (\text{III-3})$$

$$\text{Avec } V \frac{d^2(Vb)}{dV^2} \approx 0.08 + 0.5439(2.834 - V)^2 \quad (\text{III-4})$$

$V$  : La fréquence spatiale normalisée

$A$  : Différence relative d'indice.

### III-3-6-2 Dispersion modale

A l'entrée de la fibre optique, on envoie une impulsion lumineuse infiniment étroite. (Dirac) Cette impulsion excite tous les modes de propagation de la fibre. A la sortie de la fibre, on constate que l'impulsion s'est élargie dans le domaine temporel, pour une fibre à gradient d'indice qui est définie par la relation : [4].

$$D_{\text{modale}} = \frac{A}{8} \frac{L \cdot ON^2}{2 \cdot c \cdot n_1} \quad (\text{III-4})$$

L : longueur de la fibre optique

ON : ouverture numérique

### III-3-6-3 L'atténuation

Si on injecte une puissance lumineuse  $P_0$  alors sa décroissance linéique est donnée par la relation suivante : [3].

$$P(x) = P_0 \cdot \exp(-k \cdot x) \quad (\text{III-5})$$

K : coefficient d'atténuation

L'atténuation correspond à une diminution de la puissance du signal transmis qui est défini par la relation : [3].

$$\alpha(\text{dB}) = 10 \cdot \log \frac{P_e}{P_s} \quad (\text{III-6})$$

## III-4- Analyse et interprétation des résultats

### III-4-1 Liste des programmes de l'algorithme

L'environnement de développement est le Matlab 7.9.

On a adapté les programmes que nous avons développés à la méthode de l'optimisation des paramètres d'une liaison optique. La liste des programmes qu'on a développés est présentée dans le Tableau III-1

Programmes	Fonctions
Pop_in	Génération de la population initiale

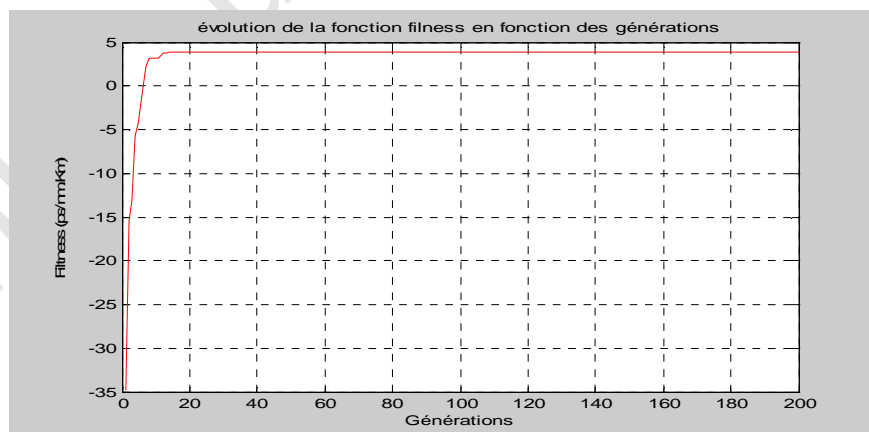
decodeur	Convertisseur binaire /réel
Filtress	la fonction de fitness
maxim	trouver le meilleur individu
probaselec	calcule des probabilités de sélection
rouecasi	La sélection
croisement	le chois de croisement et le croisement
mutation	la mutation
Pro_p	le programme principal

**Tab III-1** : Liste des programmes de l'algorithme

### III-4-2 Optimisation de la dispersion chromatique

#### III-4-2-1 évolution de la fonction fitness en fonction des générations

On a opté pour une fibre optique à gradient d'indice qui fonctionne à des longueurs d'ondes de 0.85 à 1.3  $\mu\text{m}$ , avec un diamètre du cœur 62.5/125  $\mu\text{m}$ . On a étudié la variation de la dispersion chromatique en fonction des générations (figure III-2)

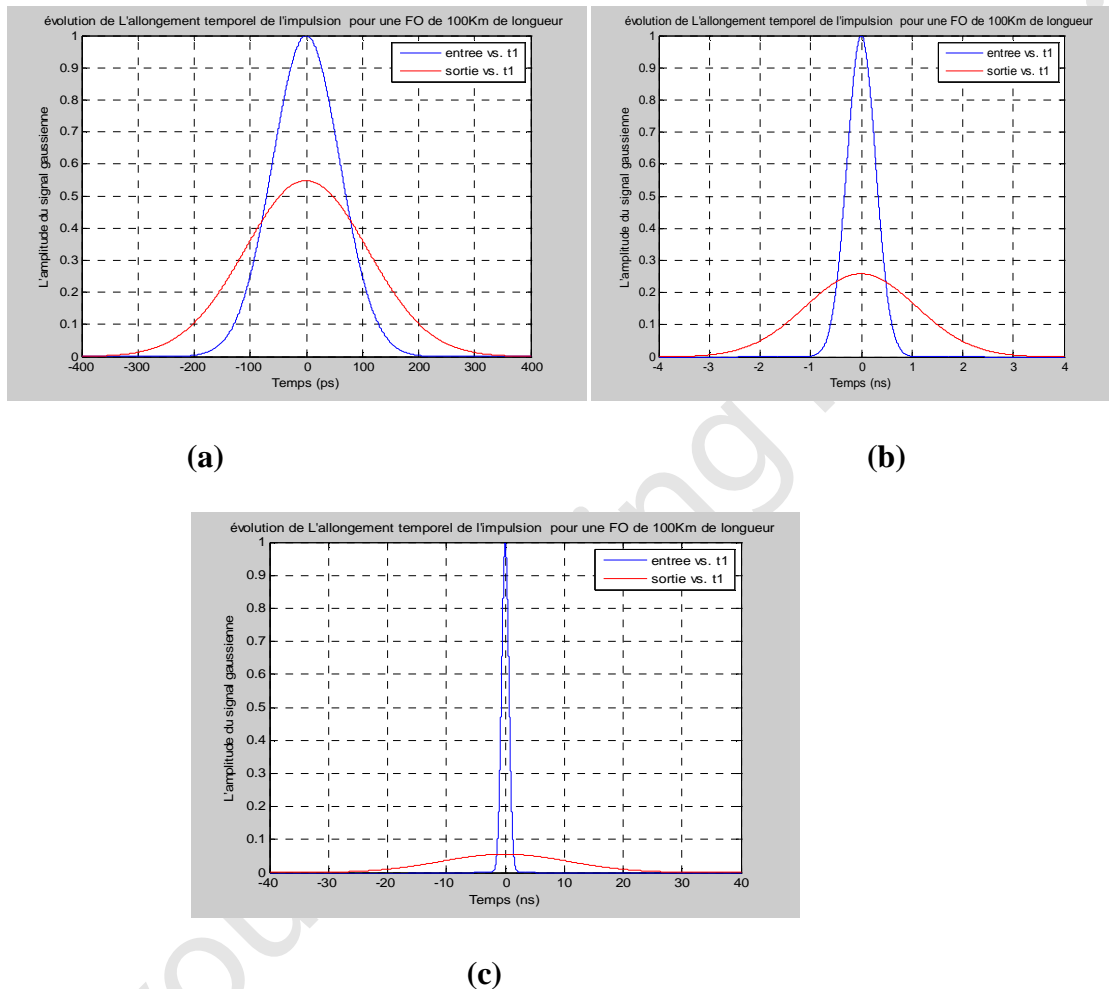


**Figure III-2** : évolution de la fonction fitness en fonction des générations.

On voit bien qu'à partir de la 13<sup>ème</sup> génération, la fonction fitness est fixée à une valeur de 3.87. C'est-à-dire la valeur max de la dispersion chromatique qui est de 3.87 (ps/nm.Km).

### III-4-2-2 Évaluation de L'allongement temporel de l'impulsion

On a opté pour émission, une onde lumineuse délivrée par une source de largeur spectrale de 40 nm. Onde lumineuse sous forme gaussienne est transmis à des distances différentes, la visualisation de cette gaussienne en sortie de fibre optique a donné la figure (III-3)



**Figure III-3 :** visualisation d'une gaussienne en sortie de FO, (a) 1Km, (b) 10Km, (c) 100Km.

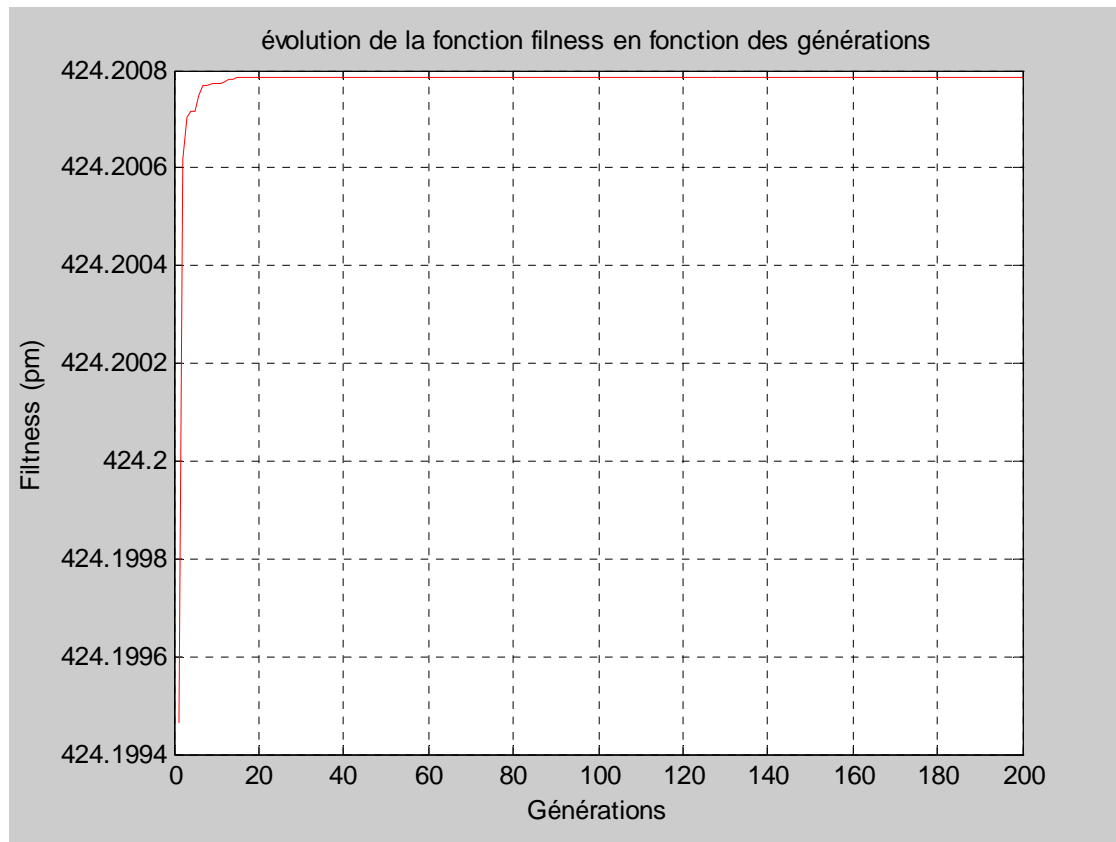
**Remarque :** l'étalement de l'impulsion, dépend essentiellement de deux paramètres, la longueur de la fibre optique et la largeur spectrale de la source utilisée.

### III-4-3 Optimisation de la dispersion modale

#### III-4-3-1 évolution de la fonction fitness en fonction des générations

Pour la dispersion modale, il faut connaître la variation de l'ouverture numérique en fonction de l'indice réfraction du cœur. On sait que  $N = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$ , avec  $n_1$ , vari en fonction

de la longueur d'onde mais pour l'optimisation, on a étudié la variation de la dispersion modale en fonction des générations (figure III-4)

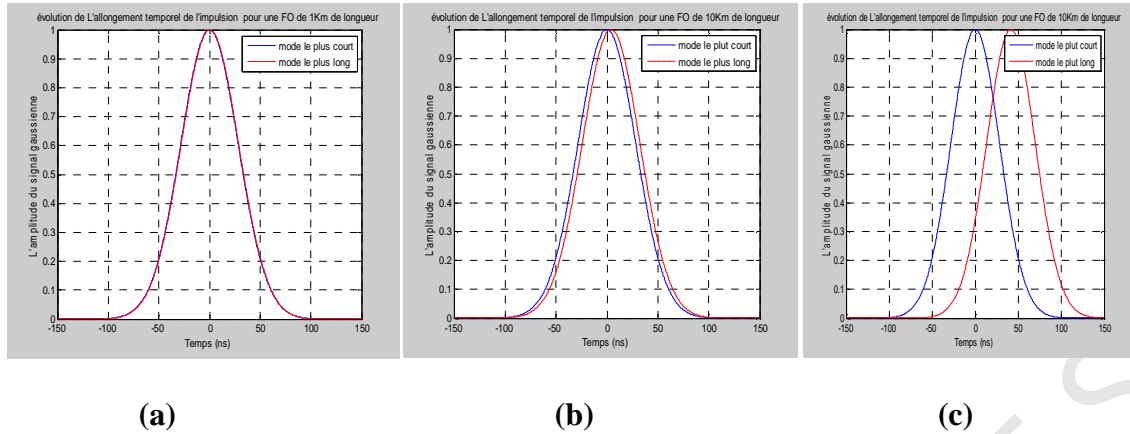


**Figure III-4** : évolution de la fonction fitness en fonction des générations

On voit bien qu'à partir de la 15<sup>ème</sup> génération, la fonction fitness est fixée à une valeur de 424.2. C'est-à-dire la valeur max de la dispersion modale qui est de 424.2 (ps /Km).

#### III-4-3-2 Effet de la dispersion modale

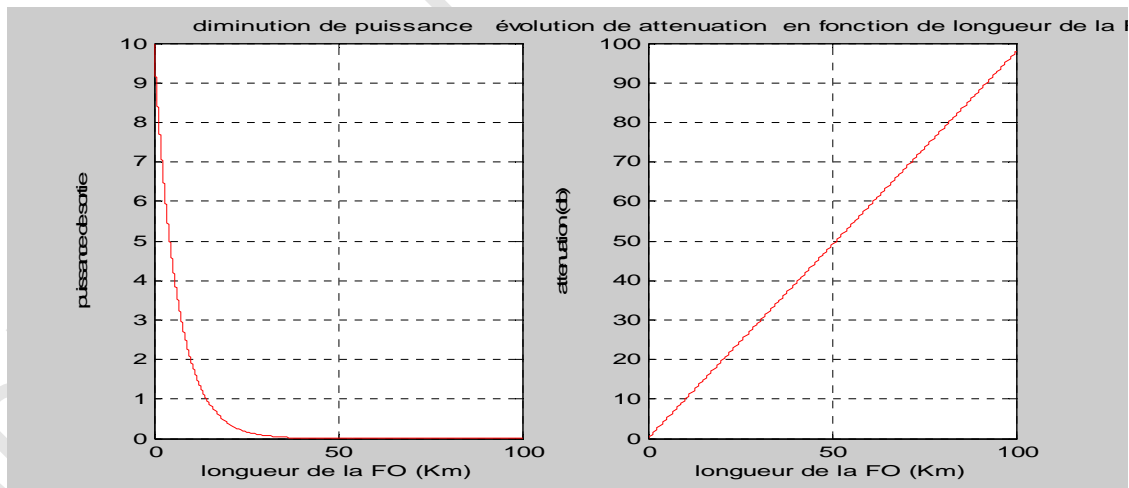
Après avoir trouvé le maximum de la dispersion modale pour une unité de longueur de 424.2 (ps/Km), on a visualisé le mode le plus court et le mode le plus long pour des différentes longueurs de la fibre optique. (Figure III-5).



**Figure III-5 :** Effet de la dispersion modale, (a) 1Km ;(b) 10Km ;(c)100km.

### III-4-4 Optimisation de l'atténuation dans la fibre optique

Il est souvent nécessaire de tenir compte de l'atténuation du flux lumineux dans le verre. En effet, si une puissance lumineuse arrive à l'entrée d'une fibre optique, sa valeur  $P_0$  juste après avoir traversé la fibre optique, va diminuer en fonction de son parcours à l'intérieur de la fibre optique. La diminution de cette puissance pour une fibre à gradient d'indice avec un coefficient d'atténuation  $k=0.22 \text{ (Km}^{-1}\text{)}$  qui est donnée par figure (III-6).



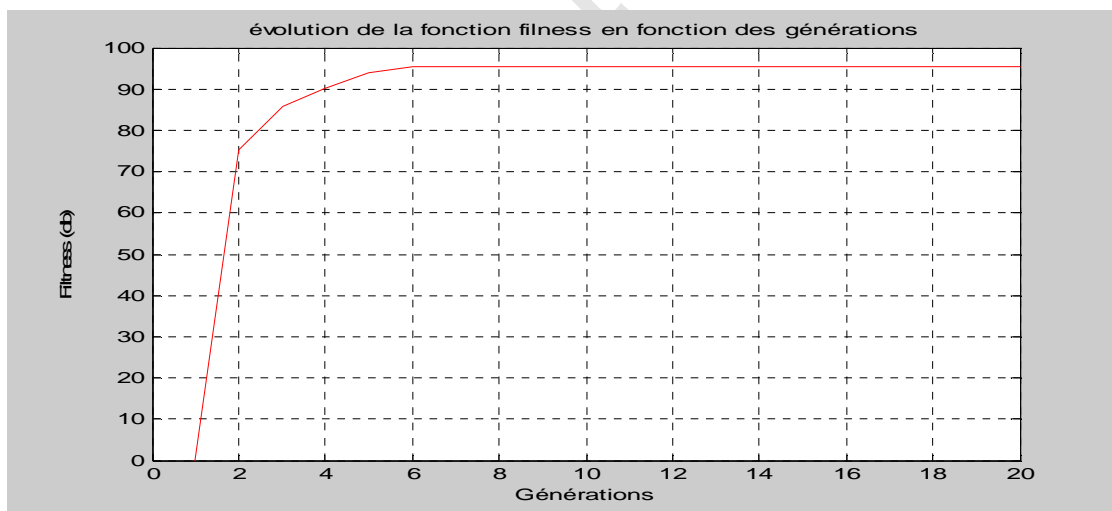
**Figure III-6 :** évolution de l'atténuation en fonction de longueur de la FO.

A partir de la fonction fitness, on a cherché la valeur max de l'atténuation en fonction des générations. On a choisit les paramètres suivants :

Paramètres	Valeurs
Codage	Binaire
Taille de la population	100 individus
Croisement	Deux points
La probabilité de croisement	1
Mutation	Un point
Probabilité de mutation	0.1
Sélection	Roue de loterie
Nombre de génération	20

**Tab III-2** : paramètres choisis.

Le résultat de simulation est donné par la figure (III-7).

**Figure III-7** : évolution de fonction fitness en fonction des générations.

Pour une fibre optique à gradient d'indice de 100Km, à partir de la sixième génération, la fonction fitness est fixée à une valeur de 97.71. C'est-à-dire, l'atténuation pour 100 Km qui est de 97.71 (db). Si on veut calculer l'atténuation par une unité de longueur, on trouve 0.97 (db/Km).



### III-5- Conclusion

Dans ce chapitre, on a exploré une méheuristique qui travaille sur une population de solutions candidates, basée sur les algorithmes génétiques. On remarque que les algorithmes génétiques qu'on a développés ont permis de générer des bons paramètres.

## Conclusion générale

Avec la transmission optique, les fibres optiques sont sorties des cahiers des mathématiciens pour entrer dans le laboratoire des physiciens. Ce sont des objets très intéressants, car, de leur robustesse vis à vis des perturbations extérieures, ils sont modélisés mathématiquement d'une manière très simple et la précision de ces modèles est très bonne.

Ce très bon accord entre la théorie et l'expérience, a permis d'optimiser les systèmes de transmission de manière très efficace. Aujourd'hui, cette modélisation dessert les fibres optiques, car de nombreux industriels se méfient des systèmes régis par des équations mystérieuses et préfèrent les bons vieux systèmes dont l'optimisation nécessite des semaines de simulations numériques.

Pour transformer un objet de laboratoire en un produit industriel, il faut cependant plus qu'un bon accord entre la théorie et l'expérience. Les Algorithmes génétiques viennent dans ce mémoire pour faire l'accord entre la théorie et l'expérimentale.

Les algorithmes génétiques peuvent être utilisés en tant qu'une méthode de recherche combinatoire, incluant des propriétés basant sur le parallélisme et l'exploration, des heuristiques de recherche intéressante basées sur des principes d'auto-organisation. Les algorithmes génétiques peuvent constituer une alternative intéressante lorsque les méthodes d'optimisation traditionnelles, ne parviennent pas à fournir efficacement des résultats fiables.

Cette étude a permis de développer et de tester un programme d'optimisation basé sur les algorithmes génétiques. La recherche d'un optimum s'effectue à partir d'une population et non d'un point unique. Ce parallélisme implicite permet de proposer plusieurs solutions différentes en fin d'exécution.

Les algorithmes génétiques emploient un mécanisme de recherche souvent "trop aveugle", ils utilisent des règles de transition probabilistes, et non déterministes, ce qui permet de s'extraire des optima locaux.

Thank you for trying PDF Suite

# Liste des acronymes

Un certain nombre d'abréviations sont utilisées dans le langage technique, tantôt sous forme française, tantôt sous forme anglo-américaine. Elles sont explicitées ci-dessous, par ordre alphabétique, avec les correspondances anglais-français, lorsqu'il y a lieu.

**DEL** : Diode électroluminescence

**DL** : Diode laser

**LASER** : **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation – Amplification de lumière par radiation d'émission stimulée

**EDFA** : un faisceau lumineux incident est amplifié

**EDFA** : **Erbium-Doped Fiber Amplifier** - Amplificateur à fibre dopée à l'erbium

**RA** : **Raman Amplifier**- Amplificateur Raman

**WDM** : **Wavelength Division Multiplexing** - Multiplexage en longueur d'onde

**PIN**: Photodiode

**APD** : Photodiode a avalanche

**NL** : non linéaire

**AG** : Algorithme génétique

**ADN** : Acide DéoxyriboNucléique

**DC** : Dispersion chromatique

**DM** : Dispersion modale

## Bibliographie

### LIVRES :

- [1] Michel PEYRARD – Thierry DAUXIOS ‘Physique des solitons ‘
- [2] H. Apithy, Y. Bouslimani et H. Hamam, Faculté d’ingénierie, Université. de Moncton, ‘Communications à fibres optiques : Limitations causées par la dispersion et les effets non-linéaires’ 2004
- [3] ALI MOUBERIK télécommunication optique
- [4] P. Lecoy, “Télécommunications sur fibres optiques,” Paris : Hermès, 1997.
- [5] G. P. Agrawal, “Fibre-optic communication system,” 3rd Ed., John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [6] G. P. Agrawal “Nonlinear Fiber Optics 4th edition,” ELSEVIER 2007.
- [7] G.P. Agrawal “Application of Nonlinear Fiber Optics” Rochester, NY December 2007.
- [8] G. Millot and P. Tchofo-Dinda, Encyclopedia of modern optics: Elsevier, in press 2004.
- [9] MOLLENAUER (L.F.), GORDON (J.P.) et EVANGELIDES (S.G.). – The sliding-frequency guiding filter: an improved form of soliton jitter control. Opt. Lett., 17,1575-1577 (1992).
- [10] Jin-Kao Hao, Raphael Dorne, « Study of Genetic search for the frequency assignment problem », Parc Scientifique Georges Besse F-30000 Nimes France.
- [11] Math Works laboratory « Learning MATLAB 7 », Math Works laboratory 2008
- [12] S.N .Sivanandam S.N. Peepa “Introduction to genetic Algorithms” 2008
- [13] Mehme dKantardzic “Data Mining: Concepts, Models, Methods, and Algorithms” 2003

### THÈSES DOCTORAT :

- [14] Julien FATOME “Propagation d’impulsions ultra-courtes à 160-Gb/s dans des lignes de fibres optiques gérées en dispersion” Université de Bourgogne France décembre 2004.
- [15] Julien MAURY « Étude et caractérisation d’une fibre optique amplificatrice et compensatrice de dispersion chromatique » École Doctorale Science, Technologique et Santé ,Le 26 novembre 2003
- [16] Isabelle Devarenne, « Etudes d’heuristiques à mémoire pour l’affectation de fréquences »

Université de Technologie de Belfort-Montbéliard. France, September 2004.

[17]Ouahib GUENOUNOU “ Méthodologie de conception de contrôleurs intelligents par l'approche génétique- application à un bioprocédé” **Le 22 avril 2009 Délivré par** l'Université Toulouse III - Paul Sabatier

[18]Wahiba RAMDANE-CHERIF “Problèmes d’optimisation en tournées sur arcs ” le 12 décembre 2002 .université de technologie Toyes

[19]Laure RIGAL’’ Etude sur la Performance des Algorithmes Génétiques Appliqués à une Classe de Problèmes d’Optimisation’’ 02/12/2005 a l’IRCCYN

[20]Dimitrios MAKRIS’’ Etude et réalisation d'un système déclaratif de modélisation et de génération de styles par algorithmes génétiques. Application à la création architecturale’’ Le 18 Octobre 2005 ECOLE DOCTORALE Science – Technologie – Santé

[21]Nassima BOUDRIOUA ’’ Etude et optimisation d’une chaîne de transmission numérique sur Fibre optique : vers une compensation électronique de la PMD ’’ l’Université Paul Verlaine – Metz le 25 octobre 2007

#### **SITES INTERNET :**

[22]<http://www.techniques-ingenieur.fr/book/e1985/solitons-dans-les-fibres-optiques.html>

[23]<http://www.techniques-ingenieur.fr/book/e7110/fibres-optiques-pour-telecommunications.html>

[24] <http://fr.wikipedia.org>