

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITÉ BADJI MOKHTAR-ANNABA  
BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار - عنابة

Faculté : TECHNOLOGIE

Département : ELECTRONIQUE

Domaine : SCIENCES ET TECHNOLOGIES

Filière : Télécommunications

Spécialité : Systèmes des Télécommunications

## Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**Etude et optimisation d'une transition latérale destinée au couplage entre fibre optique et guide d'ondes.**

Présenté par : BALI Mohamed Zine Alabidine

REGHDADI Rassim

Encadrant : KHALDOUNA Zahia Grade MCB Université UBMA

## Jury de Soutenance :

KOUADRIA Nasreddine	MCA	Université UBMA	Président
KHALDOUNA Zahia	MCB	Université UBMA	Encadrant
HARIZE Saliha	MCA	Université UBMA	Examineur

Année Universitaire : 2022/2023

# Remerciements

Nous tenons en premier lieu à remercier Dieu Tout-puissant pour tout l'amour qu'il nous a partagé à travers la réalisation de ce mémoire.

Nous adressons nos vifs remerciements et notre profonde gratitude :

A notre encadreur, Madame KHALDOUNA Zahia, qui malgré ses maintes occupations, nous a partagé ses connaissances et son précieux temps pour l'élaboration à terme et a bien ce travail.

Aux messieurs les membres de jury d'avoir accepté d'évaluer ce mémoire.

A tous les Enseignants du département d'Electronique et Madame BRIK Fatima, qui nous ont partagé leur savoir-faire et leur connaissance.

A tous nos collègues, amis et à tous ceux qui ont contribué, de près ou de loin, à l'élaboration de ce manuscrit.

A tous les membres de nos familles respectives, pour leurs soutiens moraux, affectifs et financiers

## Dédicace

*A nos chers parents pour tous leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leur prière tout au long du parcours des études.*

*A nos chers frères et sœurs pour leurs encouragements, tous nos amis et proches pour leur présence qui compte très cher pour nous.*

## Résumé :

Cette étude se concentre sur l'optimisation d'une transition latérale destinée spécifiquement au couplage entre une fibre optique et un guide d'ondes.

L'objectif est d'explorer différents types de formes de transition, afin d'améliorer les performances du couplage entre ces deux éléments clés. Notamment la minimisation des pertes de transmission, l'optimisation de l'efficacité de couplage et la réduction des réflexions indésirables.

A cet effet, nous avons entrepris la simulation d'une transition latérale de différentes formes grâce au module intégré du Rsoftcad : BeamProb, qui est basé sur la propagation des faisceaux lumineux.

Les résultats de simulation nous a permis d'analyser et d'évaluer les différentes configurations de transition latérale. Des paramètres tels que les dimensions géométriques, les propriétés optiques des matériaux utilisés et la forme de transition ( Taper) ont été pris en compte.

**Mots clés :** transition, couplage, BeamProb, taper.

## Abstract:

This study focuses on the optimization of a lateral transition intended specifically for the coupling between an optical fiber and a waveguide.

The objective is to explore different types of transition shapes, in order to improve the performance of the coupling between these two key elements. Including minimizing transmission losses, optimizing coupling efficiency and reducing unwanted reflections.

To this end, we undertook the simulation of a lateral transition of different shapes thanks to the integrated module of Rsoft cad: BeamProb, which is based on the propagation of light beams.

The simulation results allowed us to analyze and evaluate the different lateral transition configurations. Parameters such as the geometric dimensions, the optical properties of the materials used and the transition shape (Taper) have been taken into account.

**Keywords:** transition, coupling, BeamProb, type.

## ملخص:

تركز هذه الدراسة على تحسين الانتقال الجانبي المصمم خصيصًا للاقتران بين الألياف الضوئية ودليل الموجة الهدف هو استكشاف أنواع مختلفة من أشكال الانتقال ، من أجل تحسين أداء الاقتران بين هذين العنصرين الرئيسيين. بما في ذلك تقليل خسائر النقل ، وتحسين كفاءة الاقتران وتقليل الانعكاسات غير المرغوب فيها لهذا الغرض ، قمنا بمحاكاة انتقال جانبي لأشكال مختلفة بفضل الوحدة المتكاملة لـ ، BeamProb:Rsoftcad، والتي تعتمد على انتشار الحزم الضوئية.

سمحت لنا نتائج المحاكاة بتحليل وتقييم تكوينات الانتقال الجانبي المختلفة. تم أخذ معلمات مثل الأبعاد الهندسية والخصائص البصرية للمواد المستخدمة وشكل الانتقال (Taper) في الاعتبار.

**الكلمات المفتاحية:** الانتقال ، الاقتران، BeamProb ،Taper

## Liste des figures

<i>Figure I-1 :Différents types de guides d'ondes .....</i>	12
<i>Figure I-2 : Représentation graphique de guide planaire à couches diélectriques.....</i>	13
<i>Figure I-3 :Réflexion et réfraction d'un rayon optique à l'interface de deux.....</i>	14
<i>milieux d'indice de réfraction <math>n_1</math> et <math>n_2</math></i>	
<i>Figure -4 :Propagation de la lumière dans un guide en fonction de l'angle d'incidence ....</i>	14
<i>Figure I-5 : Guide d'onde SOI.....</i>	19
<i>Figure I-6: Fibre optique .....</i>	19
<i>Figure I-7: Principe de la transmission de la lumière par réflexion totale dans une fibre optique.....</i>	20
<i>Figure I-8: Fibre monomode.....</i>	21
<i>Figure I-9: fibre multimode à saut d'indice.....</i>	21
<i>Figure I-10:La fibre à gradient d'indice .....</i>	22
<i>Figure II-1 : Couplage en bout.....</i>	25
<i>Figure II-2 : passage de la lumière entre deux composants de tailles différentes en utilisant une transition.....</i>	26
<i>Figure II-3 : Fenêtre principal de BEAMPROP.....</i>	27
<i>Figure II. 4: La fenêtre principale de Rsoft CAD.....</i>	30
<i>Figure II.5 : La fenêtre principale de dialogue de démarrage d'un nouveau circuit.....</i>	30
<i>Figure II.6 :Fenêtre principal du simulateur.....</i>	31
<i>Figure II.7 : Le tableau de l'éditeur des symboles.....</i>	31
<i>Figure II.8 :Un segment droit de guide d'ondes comme il apparaît dans la fenêtre.....</i>	32
<i>Figure II.9 : La boîte de dialogue de propriétés de segment.....</i>	33
<i>Figure II.10 : Le guide d'ondes conique dans la fenêtre de CAD.....</i>	33
<i>Figure II.11 : Le dialogue de calcul du profil d'indice.....</i>	34
<i>Figure III-1: Le profile transversal du mode fondamental de la fibre optique.....</i>	37
<i>Figure III-2:schéma en coupe du guide en arête choisi.....</i>	38
<i>Figure III-3 : Le profile transversal du mode fondamental du guide d'onde en arrête.....</i>	39

<i>Figure III -4 (A) profil d'indice au début de la transition, (B) profil d'indice à la fin de la transition.....</i>	<b>40</b>
<i>Figure III-5 transition linéaire.....</i>	<b>41</b>
<i>Figure III.6.Les cartes du profil du champ obtenues avec BEAMPROP pour <math>L=500\mu</math>.....</i>	<b>42</b>

## Table des matières

<b>Introduction générale</b> .....	2
<b>I. Les différents types de Guide d'ondes optiques :</b> .....	4
<b>I.1 Guides d'ondes planaires :</b> .....	5
I.1.1 Guides d'ondes plans à saut d'indice : .....	5
I.1.2 Approche d'optique géométrique : .....	5
I.1.3 Approche d'optique ondulatoire : .....	7
<b>I.2 Un guide d'onde bidirectionnel :</b> .....	8
1.2.1 Guide d'onde Rib : .....	9
1.2.2 Guide d'onde Rubban : .....	9
<b>I.3 Matériaux pour l'optique guidée :</b> .....	10
1.3.1 Les diélectriques : .....	10
1.3.2 Les semi-conducteurs : .....	10
<b>1.4 La fibre optique :</b> .....	11
1.4.1 Différents types de fibres: .....	11
1.4.2 Fibres à saut d'indice: .....	12
1.4.3 Fibre à saut d'indice monomode : .....	13
1.4.4 Fibre à saut d'indice multi mode : .....	13
1.4.5 Fibre multi mode à gradient d'indice: .....	13
<b>1.5 Matériau pour les fibres optiques :</b> .....	14
<b>Conclusion</b> .....	14
<b>Chapitre 2 : Les différents types de couplage :</b> .....	16
<b>Introduction :</b> .....	16
<b>II-1 Les différents types de couplage :</b> .....	16
II-1-1 Couplage transversal : .....	16
II-1-2 couplage longitudinal : .....	16
II-1-3 Couplage en bout : .....	17
<b>II-2 Transition :</b> .....	17
<b>II-3 Le simulateur " BEAMPROP " ou " Rsoft " :</b> .....	19
II-3.1 Présentation générale de l'outil de simulation » BEAMPROP » .....	19
II.3.2 L'objectif de "BeamPROP" : .....	20
II.3.3 Comment fonctionne le logiciel BeamPROP : .....	21
II.3.4 Icône de simulation .....	26
<b>II.4 Conclusion</b> .....	27
<b>III-Introduction</b> .....	29

<b>III-1</b> Caractéristiques de la fibre optique: .....	29
<b>III-2</b> Caractéristiques du guide d'onde rib: .....	30
III-3 Propriétés de la transition :.....	31
<b>III-4</b> Validation des résultats :.....	37
<i>Conclusion générale</i> .....	39
<b>Bibliographie</b> .....	41



# *Introduction générale*

## **Introduction générale**

L'intégration de différents composants optiques est essentielle pour le développement de systèmes de communication par fibre optique. Parmi ces composants, le couplage entre une fibre optique et un guide d'ondes revêt une importance particulière. Cela permet une transmission efficace et fiable des signaux optiques entre ces deux supports différents, tout en minimisant les pertes de transmission.

Cependant, La mise en œuvre du couplage de guides d'ondes et fibres optiques n'est pas facile, car la différence de taille entre ces dispositifs entraîne des pertes très élevées, c'est-à-dire la transmission n'est pas directe entre eux. La solution retenue à l'heure actuelle est l'utilisation d'une transition ( Taper ) entre la fibre et le guide d'ondes.

La transition ou taper est une forme particulière qui vise à relier une fibre optique, qui guide la lumière le long de son axe central, à un guide d'ondes, qui guide la lumière le long d'une structure plane.

C'est dans ce contexte que s'inscrit notre travail, qui porte sur l'optimisation d'une transition latérale entre une fibre optique et un guide d'ondes.

Pour atteindre cet objectif, nous avons entrepris la simulation d'une configuration de transition ayant différentes formes, par l'intermédiaire du simulateur BeamProp du logiciel Rsoft.

Notre mémoire s'articule autour de trois chapitres :

**Le premier chapitre** est consacré aux concepts de couplage fibre et guides d'ondes. Nous présentons les différents types de guides d'ondes, ainsi que les techniques de couplage.

**Dans le deuxième chapitre**, nous présentons en détail la conception de transition latérale sous le logiciel de simulation utilisé BeamProp, et nous décrivons les équations mathématiques correspondantes aux différentes formes de transition.

**Le troisième chapitre** est dédié aux résultats de simulation obtenus, nous présentons les résultats de chaque forme de transition, ainsi que l'optimisation trouvée.

Avec une conclusion générale résumant l'ensemble du travail effectué.

# *Chapitre I*

### Chapitre 1 : Les guides d'ondes optiques :

Le guide d'onde optique est un des fondements du développement de l'optique intégrée dans divers domaines, comme la communication optique, le traitement du signal optique, ou l'informatique optique. Il s'applique dans des fonctions de couplage, de modulation, de multiplexage, d'amplification.

#### I. Les différents types de Guide d'ondes optiques :

Un guide d'ondes optique est défini comme une structure permettant de confiner et de guider de la lumière. En principe l'effet de confinement dans un guide donne lieu à de grandes densités d'énergie pour de faibles puissances de pompe. Cela ouvre la voie par exemple à la réalisation de lasers avec un seuil d'émission très bas. [1]

Il existe actuellement deux approches qui permettent d'étudier la propagation de la lumière dans un guide d'onde :

- Une description géométrique basée sur la théorie des rayons lumineux.
- Une méthode plus rigoureuse basée sur la résolution des équations de Maxwell.

Les deux approches montrent que, moyennant la réalisation de certaines conditions, la lumière peut se propager dans un guide, grâce au phénomène de la réflexion totale. Il y a différents types de géométries de guides optiques :

- Guides d'ondes à une dimension (planaires).
- Guides d'ondes à deux dimensions (bidimensionnelles).

Elles sont présentées schématiquement dans la figure I-1. Si la variation d'indice de réfraction en fonction de la profondeur est abrupte, on parle de guides à saut d'indice, si elle varie graduellement avec la profondeur ce sont des guides à gradient d'indice.

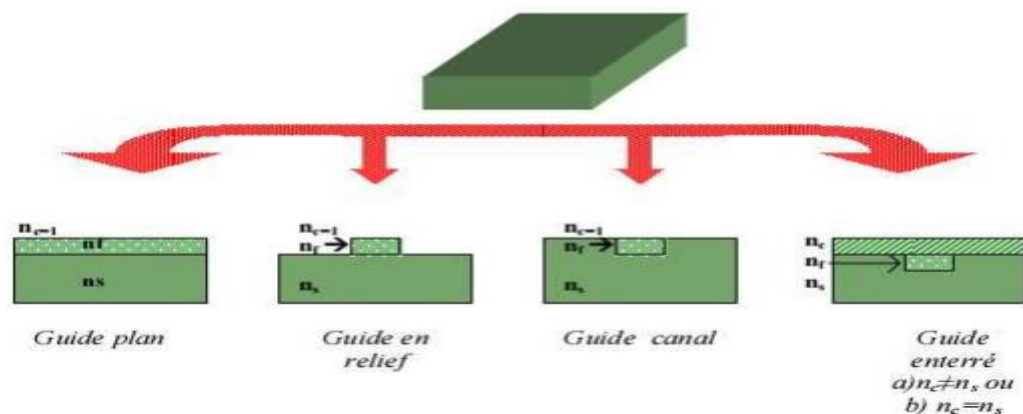
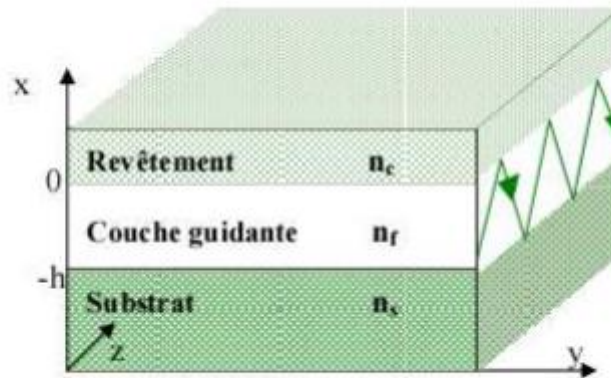


Figure I-1 : Différents types de guides d'ondes

### I.1 Guides d'ondes planaires :

La configuration la plus simple d'un guide d'onde plan est un empilement de trois couches de matériaux d'indices de réfraction différents. La lumière se propage préférentiellement dans la zone centrale d'indice  $n_f$  si celle-ci est entourée de deux couches : une couche inférieure de substrat d'indice de réfraction  $n_s$  et une couche supérieure de couverture d'indice de réfraction  $n_c$  (figure I-2). La lumière est confinée selon l'axe vertical (x) et se propage dans la direction (z). Du fait de l'invariance de cette structure dans la direction (y), la lumière ne peut être confinée dans cette direction. [2,3]



**Figure I-2 :** Représentation graphique de guide planaire à couches diélectriques

#### I.1.1 Guides d'ondes plans à saut d'indice :

On va appliquer les deux approches, géométriques et ondulatoires.

Pour l'étude de la propagation de la lumière dans un guide d'onde plan à saut d'indice.

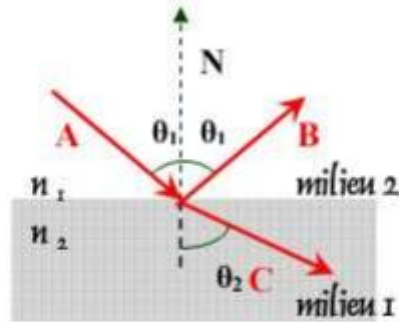
#### I.1.2 Approche d'optique géométrique :

La description de l'optique géométrique, bien qu'approximative, elle donne une bonne idée des propriétés du guidage de la lumière se propageant dans un milieu. Elle est valide quand les dimensions d'un guide sont beaucoup plus larges que la longueur d'onde  $\lambda$  considérée. On utilise un guide diélectrique planaire dont la forme la plus simple constitué d'une couche mince d'indice de réfraction  $n_f$  entourée par un substrat d'indice  $n_s < n_f$  et un revêtement supérieur d'indice  $n_c < n_f$  (Fig. I-2)

La lumière est confinée par réflexion totale aux interfaces couche\_guidante-substrat et couche\_guidante-revêtement. En considérant la lumière qui se propage dans la couche guidante en tant que rayon lumineux on obtient un trajet en forme de zigzag. Ce sont la réflexion et la réfraction aux interfaces qui détermine ce trajet. Elles sont régies par la loi de Snell-Descartes (Figure I-3)

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (I-1)$$

qui formule la dépendance entre l'angle de réflexion  $\theta_1$  et l'angle de réfraction  $\theta_2$  d'un rayon incident à l'interface de deux milieux d'indices de réfraction respectivement  $n_1$  et  $n_2$ .



**Figure. I-3 :**Réflexion et réfraction d'un rayon optique à l'interface de deux milieux d'indice de réfraction  $n_1$  et  $n_2$

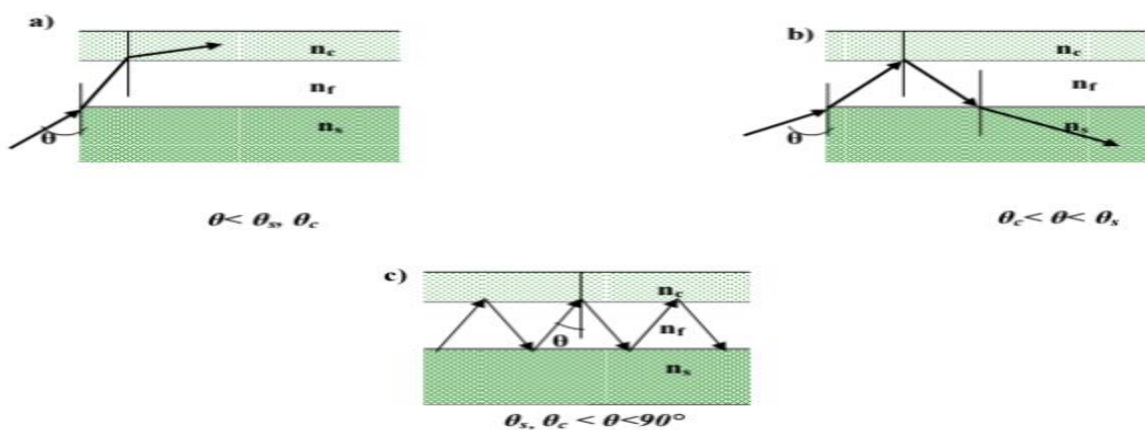
Dans le cas du modèle simple d'un guide planaire à trois couches, on peut définir les angles critiques des interfaces couche\_guidante-substrat et couche\_guidante-revêtement du guide comme suit :

$$\theta_c = \text{Arcsin}\left(\frac{n_c}{n_f}\right) \quad (I-2)$$

et

$$\theta_s = \text{Arc sin}\left(\frac{n_s}{n_f}\right) \quad (I-3)$$

Généralement, l'angle  $\theta$  d'incidence peut se trouver dans trois gammes de valeurs, représentées sur la figure ci-dessous :



**Figure. I-4 :**Propagation de la lumière dans un guide en fonction de l'angle d'incidence  $\theta$

Si l'angle  $\theta$  est petit,  $\theta < \theta_s, \theta_c$  le rayon lumineux est réfracté et s'échappe de la couche

guidante à travers de revêtement, donc la lumière n'est pas confinée, de tels modes sont dits des modes de radiation. Alors que si  $\theta$  dépasse  $\theta_c$  mais plus petit que  $\theta_s$  le rayon lumineux incident du substrat est réfracté par l'interface couche\_guidante-substrat, ensuite entièrement réfléchi à l'interface couche\_guidante-revêtement et enfin réfracté dans le substrat à travers lequel la lumière s'échappe de la structure. Finalement, pour les angles  $\theta_s$ ,  $\theta_c < \theta < 90^\circ$  la lumière est confinée dans la couche guidante, suite à la réflexion totale à deux interfaces, et se propage en forme de zigzag, de tels modes sont dits modes guidés.

On suppose que la lumière se propage dans la direction  $z$ , le confinement se produit transversalement dans la direction  $x$ , la lumière et le guide sont uniforme dans la direction  $y$  perpendiculaire au plan  $XZ$ . On considère des ondes stationnaires dans la direction  $x$  et progressives dans la direction  $z$ . Ces ondes sont considérées monochromatiques et cohérentes, avec pulsation, longueur d'onde dans le vide  $\lambda_0$  et un vecteur d'onde  $\vec{k}$  dans un plan normal à la surface d'onde.  $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda_0} n_f = k_0 n_f$ . Les composants du vecteur  $\vec{k}$  sont :

$$k_z = k_0 n_f \sin \beta = \beta \quad (I-4)$$

$$k_x = k_0 n_f \cos \beta \quad (I-5)$$

Pour que l'onde se propage dans le guide plan, la constante de propagation doit être bornée

$$k_0 n_s < \beta < k_0 n_f \quad (1 - 6)$$

En introduisant la notion d'indice effectif défini comme :

$$n_{eff} = \frac{\beta}{k_0} = n_f \sin \theta \quad (1 - 7)$$

Donc, la condition de propagation devient :

$$n_s < n_{eff} < n_f \quad (1 - 8)$$

### I.1.3 Approche d'optique ondulatoire :

Quand les dimensions d'un guide sont de l'ordre de la longueur d'ondes utilisé, l'approche géométrique n'est pas valide, on fait recours à la théorie électromagnétique de la propagation des ondes, qui permet d'expliquer complètement le guidage de la lumière. Cette théorie est basée sur les équations de Maxwell qui s'écrivent [1] :

$$\nabla \times \vec{E} = - \frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1 - 9)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \frac{\partial \vec{D}}{\partial t} + \vec{J} \quad (1 - 10)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{B} = 0 \quad (1 - 11)$$

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{D} = \rho \quad (1 - 12)$$

Dans un milieu non chargé et non magnétique, linéaire, isotrope, nous pouvons présumer que:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E} \quad (1 - 13)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \mu_r \vec{H} \quad (1 - 14)$$

$$\vec{J} = 0 \quad (1 - 15)$$

Avec :

$\rho$  : densité de charge électrique (C/m<sup>2</sup>)

$\epsilon_0$  : permittivité du vide (F/m)

$\epsilon_r$  : permittivité relative du milieu de propagation

$\mu_0$  : perméabilité du vide (H/m)

$\vec{B}$  : Champ d'induction magnétique (Tesla)

$\vec{E}$  : Champ électrique (V/m)

$J$ : Densité du courant (A/m<sup>2</sup>)

$D$ : Champ d'induction électrique (C/m<sup>2</sup>)

$H$ : Champ magnétique (A/m)

$\mu_r$ : perméabilité relative du milieu (non magnétique:  $\mu_r=1$ ).

## **1.2 Un guide d'onde bidirectionnel :**

Un guide d'onde bidirectionnel est un type de guide d'onde optique qui permet la propagation de la lumière dans les deux sens, à la fois en avant et en arrière le long de la fibre optique. Contrairement à un guide d'onde unidirectionnel, qui ne permet la propagation de la lumière que dans un seul sens, un guide d'onde bidirectionnel offre la possibilité d'une transmission bidirectionnelle des signaux optiques.

Le fonctionnement d'un guide d'onde bidirectionnel repose sur la symétrie de sa structure et sur les propriétés de réflexion et de transmission des interfaces internes du guide d'onde. Les rayons lumineux peuvent être réfléchis ou transmis à chaque interface, leur permettant de se propager dans les deux directions.

Les guides d'onde bidirectionnels sont largement utilisés dans les systèmes de télécommunications, les réseaux informatiques et les systèmes optiques en général. Ils



permettent notamment la mise en place de liaisons de communication bi-directionnelles, où des signaux optiques peuvent être transmis simultanément dans les deux sens sur une même fibre optique.

Il est important de noter que le concept de bidirectionnalité dans les guides d'onde ne signifie pas nécessairement que les signaux optiques peuvent être transmis simultanément sans interférence. Des techniques de multiplexage temporel ou de multiplexage en longueur d'onde sont souvent utilisées pour permettre la transmission bidirectionnelle de signaux optiques indépendants dans la même fibre optique.

### 1.2.1 Guide d'onde Rib :

Est un type de guide d'onde optique utilisé pour acheminer et confiner la lumière dans une structure à ruban surélevée par rapport au substrat de la fibre optique.

Le guide d'onde RIB est généralement fabriqué en dopant sélectivement un matériau diélectrique sur un substrat optique, créant ainsi une région surélevée en forme de ruban. La lumière est confinée et guidée à l'intérieur du ruban grâce à une différence d'indice de réfraction entre le ruban et le matériau environnant.

Les guides d'onde RIB présentent plusieurs avantages par rapport aux guides d'ondes optiques conventionnels. Ils offrent un confinement plus efficace de la lumière, permettant ainsi une plus grande densité de puissance optique et une meilleure isolation entre les modes de propagation. Cela peut être particulièrement utile pour les applications nécessitant une forte confinement de la lumière, telles que les dispositifs optiques à faible dimension, les lasers à semi-conducteurs, les modulateurs optiques et les amplificateurs optiques.

En outre, les guides d'onde RIB peuvent présenter des propriétés de mode de propagation spécifiques en fonction de la géométrie du ruban, de l'indice de réfraction du matériau utilisé et d'autres paramètres de conception. Cela permet une flexibilité dans la conception et l'optimisation des performances des dispositifs optiques.

Cependant, il convient de noter que la fabrication des guides d'onde RIB peut être plus complexe et nécessiter des techniques de fabrication plus avancées par rapport aux guides d'ondes optiques conventionnels. De plus, les guides d'onde RIB peuvent être sensibles aux pertes optiques causées par des défauts de fabrication ou des effets non linéaires.

### 1.2.2 Guide d'onde Ruban :

Dans un guide d'onde Ruban, plusieurs fibres optiques individuelles sont regroupées en une structure plate et plate, généralement sous la forme d'un ruban. Les fibres sont alignées côte à côte avec une distance précise entre elles et sont maintenues ensemble par une matrice ou un revêtement. Chaque fibre individuelle agit comme un guide d'onde séparé pour acheminer la lumière.

Les guides d'ondes Ruban sont couramment utilisés dans les systèmes de communication optique à haut débit, tels que les réseaux de télécommunications à fibres optiques. Ils offrent une densité de canaux élevée, ce qui signifie qu'ils permettent de transmettre un grand nombre de signaux optiques à travers le ruban de fibres. Cela permet une communication à haut débit et une utilisation efficace de la bande passante optique.

De plus, les guides d'ondes Ruban présentent des avantages en termes de facilité de manipulation et de connectivité. En raison de leur structure plate, ils peuvent être facilement

manipulés, fusionnés ou divisés à l'aide d'équipements appropriés. Ils peuvent également être connectés à d'autres composants optiques tels que des émetteurs-récepteurs ou des connecteurs.

Il convient de noter que les guides d'ondes Ruban peuvent présenter des défis en termes de pertes optiques, de dispersion et de couplage entre les fibres individuelles. Des techniques spéciales peuvent être utilisées pour atténuer ces problèmes, notamment l'utilisation de revêtements spéciaux, de structures de couplage ou de techniques de multiplexage/démultiplexage optiques.

### 1.3 Matériaux pour l'optique guidée :

Plusieurs types de matériaux peuvent être utilisés pour l'optique guidée. Les principaux critères de sélection sont :

- L'atténuation de la lumière guidée se propageant dans un matériau donné : Elle doit être la plus faible possible.
- Le degré de confinement exprimé par la différence  $\Delta n$  entre l'indice de réfraction de la couche guidante et les indices des couches de confinement :

Chacun de ces guides, à faible ou à fort  $\Delta n$ , possède des avantages et des inconvénients en terme de pertes de propagation ou de pertes par couplage à travers les couches de confinement. Les guides monomodes à faible valeur de  $\Delta n$  sont bien adaptés pour le couplage guide-fibre optique. Les guides à fort  $\Delta n$  permettent quant à eux la réalisation de guides courbés à faible rayon de courbure, ce type de guide peut être utilisé pour établir des connexions optiques dans les circuits intégrés à haute densité d'intégration. [3]

On présente rapidement dans ce paragraphe les principaux matériaux de base pour l'optique intégrée, à savoir les diélectriques et les semi-conducteurs.

#### 1.3.1 Les diélectriques :

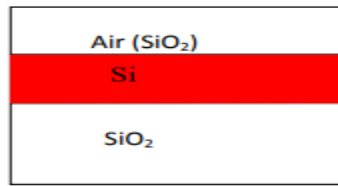
Les diélectriques ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$  dopée,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) déposés sur silicium permettent de réaliser des guides optiques à faibles pertes de propagation. Selon la nature de la couche guidante, on peut avoir une faible différence d'indice et ainsi conserver des guides épais tout en restant monomodes. Au contraire, on peut par exemple déposer une couche de nitrure de silicium ( $n_g=2$ ) sur la silice ( $n_s=1.5$ ) et assurer un fort  $\Delta n$ . Cependant, les diélectriques ont le désavantage de ne conduire qu'à la réalisation des composants passifs. Il est vrai qu'une perturbation des indices de réfraction d'origine thermique peut les rendre actifs mais en pratique les temps de réponse restent (de l'ordre de la ms). [2,3]

#### 1.3.2 Les semi-conducteurs :

(SOI) Dans la famille des semi-conducteurs, le silicium, qui est l'élément incontournable de la microélectronique, prend une importance croissante en optoélectronique dans la mesure où on essaye de profiter de son faible coût et de maîtrise technologique en microélectronique en même temps que de ses propriétés physique et électronique.[3,5]

Une solution envisageable pour l'optique intégrée, est le silicium sur isolant, communément appelé SOI (Silicon-OnInsulator). Le substrat s'est constitué d'un substrat de silicium, d'une couche de silice enterrée sous une couche de silicium cristallin formant un guide d'onde

naturelle aux longueurs d'onde des télécommunications optiques (figure I-5) :



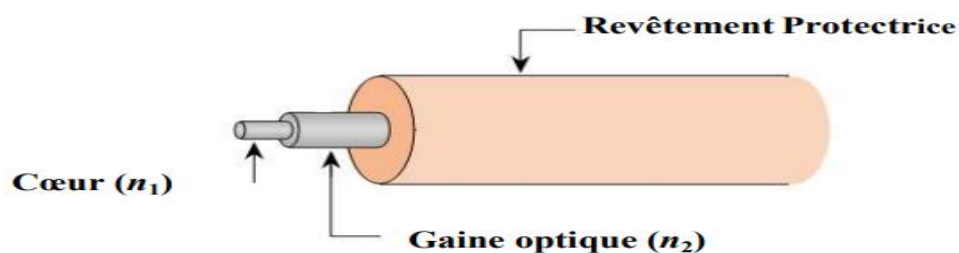
**Figure I-5 :** Guide d'onde SOI

Le permet l'intégration monolithique de fonctions électriques et optiques sur un même substrat et avec une grande densité d'intégration. La technologie SOI a ouvert la voie à la réalisation de circuits optiques intégrés sur silicium de meilleure qualité optique et de faible coût de fabrication. [5]

### 1.4 La fibre optique :

#### Généralités :

Une fibre optique est un guide d'onde optique à symétrie circulaire tel que schématisé sur la (figureI-6) Ce guide est constitué de deux ou plusieurs couches de matériaux diélectriques transparents (verre de silice ou plastique) d'indices de réfraction différents assurant le confinement de la lumière au voisinage du centre. Elle présente des meilleures qualités de transmissions et elle permet de faire passer un très grand nombre d'information (large bande passante).On peut avoir plusieurs canaux de transmission simultanément sur une fibre.



**Figure I-6:** Fibre optique

#### 1.4.1 Différents types de fibres:

La fibre optique est constitué en générale d'un milieu diélectrique appelé cœur de la fibre

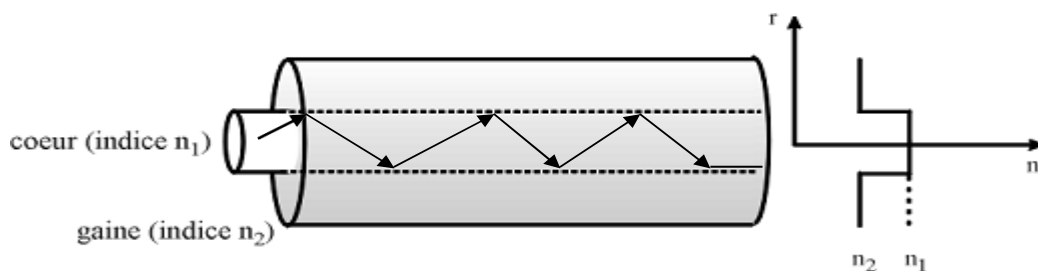
d'indice de réfraction  $n_1$ , recouvert d'un matériau appelé gaine d'indice de réfraction  $n_2$  inférieur à celui du cœur. L'ensemble est lui-même entouré d'une enveloppe, généralement en plastique, qui a le double rôle de protéger la fibre mécaniquement et de piéger la lumière qui se propage dans la gaine optique, en général indésirable.

Suivant le profil d'indice du cœur on distingue deux différents types de fibres, à savoir : les fibres optiques à saut d'indices et les fibres à gradient d'indice.

### 1.4.2 Fibres à saut d'indice:

Une fibre à saut d'indice est caractérisée par son indice de réfraction du cœur qui est constant, ne varie pas en fonction de la distance par rapport à l'axe de la fibre.

La lumière se propage le long de l'axe de la fibre en zigzag, suite aux réflexions totales successives à l'interface cœur-gaine.(voir FigureI-7 )



**Figure I-7:** Principe de la transmission de la lumière par réflexion totale dans une fibre optique.

On définit la fréquence normalisée par la formule suivante :

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda_0} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

Où:  $a$  est le rayon du cœur de la fibre

$n_1$  indice de réfraction du cœur

$n_2$  indice de réfraction de la gaine

Suivant la valeur de  $V$  on distingue deux types de fibres à saut d'indice:

### 1.4.3 Fibre à saut d'indice monomode :

Dans laquelle il ne se propage qu'un seul mode et le rayon du cœur est très petit, cela pour :  $V < 2.405$ , elle est schématisée sur la figure I-8.

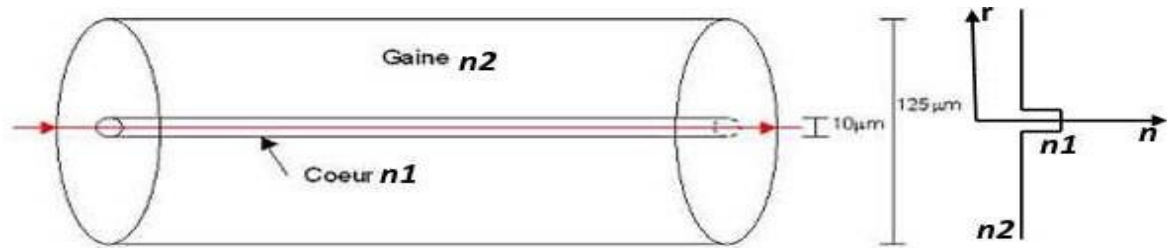


Figure I-8: Fibre monomode

### 1.4.4 Fibre à saut d'indice multi mode :

Dans laquelle plusieurs modes peuvent se propager dans le cœur. Pour une fibre à saut d'indice, elle est multi mode si  $V \gg 1$ . Le nombre de modes est donnée par:

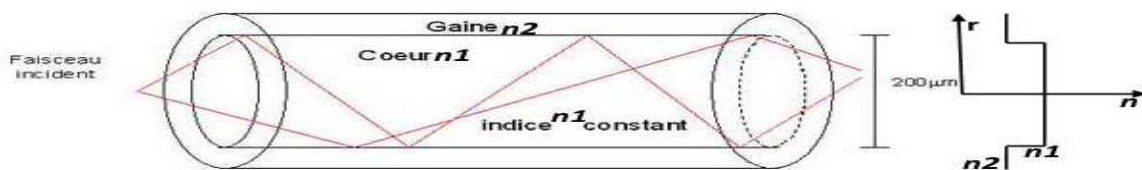


Figure I-9: fibre multi mode à saut d'indice

### 1.4.5 Fibre multi mode à gradient d'indice:

Dans la fibre multi mode à gradient' indice, l'indice de réfraction du cœur diminue progressivement vers l'extérieur, de sorte que les rayons qui s'écartent de l'axe de la fibre se propagent à des vitesses plus grandes.(figureI-10)

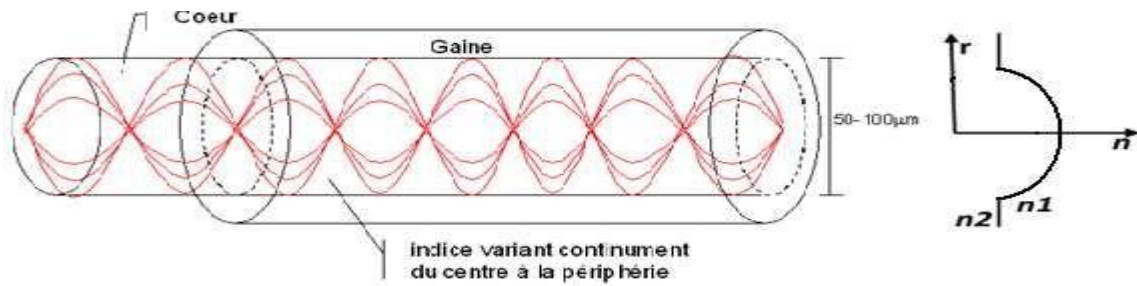


Figure I-10: La fibre à gradient d'indice

### 1.5 Matériau pour les fibres optiques :

Dans les fibres optiques, l'indice de réfraction du cœur  $n_{co}$  est légèrement supérieur à celui de la gaine  $n_{go}$ . Le matériau qui constitue la fibre optique est le silice  $SiO_2$ . On a deux possibilités pour avoir  $n_{co} > n_{go}$

- On augmente l'indice du cœur en  $SiO_2$  en le dopant avec le germanium (Ge) ou le phosphore.
- On diminue l'indice de la gaine en la dopant avec le bore (Br) ou le fluor [6].

### Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté deux principales structures, qui sont les guides d'ondes optiques et les fibres optiques.

Nous avons passé en revue quelques notions de base concernant le guidage de la lumière.

Dans le chapitre suivant, on va présenter les techniques de couplage qui existent, ainsi que notre outil de simulation (RsoftCad).

## ***Chapitre II***

### Chapitre 2 : Les différents types de couplage :

#### Introduction :

Les applications des micro guides aux télécommunications optiques ne seront viables que si l'information lumineuse provenant d'une fibre optique est transférée efficacement dans le guide d'onde et inversement du guide vers la fibre. Il faut donc s'est suffisamment efficace avec ces guides d'ondes malgré leurs faibles dimensions de l'ordre du micron. Il existe principalement trois méthodes pour coupler la lumière dans un guide d'onde savoir couplage par prisme.

#### II-1 Les différents types de couplage :

##### II-1-1 Couplage transversal :

Le couplage transversal également connu sous le nom de couplage latéral ou couplage côte à côte, est un type de couplage en fibre optique qui se produit lorsqu'une partie du signal optique d'une fibre se transfère ou se propage à une fibre adjacente

Le couplage transversal peut entraîner une perte de signal, une diaphonie (interférence entre les signaux des différentes fibres) et d'autres problèmes indésirables dans les systèmes de fibre optique. Il est généralement préférable de minimiser ou d'éliminer le couplage transversal en utilisant des techniques de conception appropriées, en choisissant des fibres de qualité et en assurant une installation et une manipulation soigneuses des fibres optiques.

##### II-1-2 couplage longitudinal :

Le terme "couplage longitudinal" dans le contexte des fibres optiques n'est pas couramment utilisé, et il peut y avoir une confusion dans son utilisation. Néanmoins, je vais essayer de vous donner une explication basée sur une interprétation possible du terme.

Dans le domaine des fibres optiques, le couplage fait généralement référence au transfert de lumière d'une fibre à une autre, que ce soit latéralement (couplage transversal) ou d'une extrémité à l'autre (couplage en bout).

Si nous envisageons le "couplage longitudinal" comme étant le transfert de lumière le long d'une fibre optique, il n'y a généralement pas de couplage entre des fibres distinctes dans cette direction. La lumière se propage le long d'une fibre de manière longitudinale, en suivant la direction axiale de la fibre elle-même.

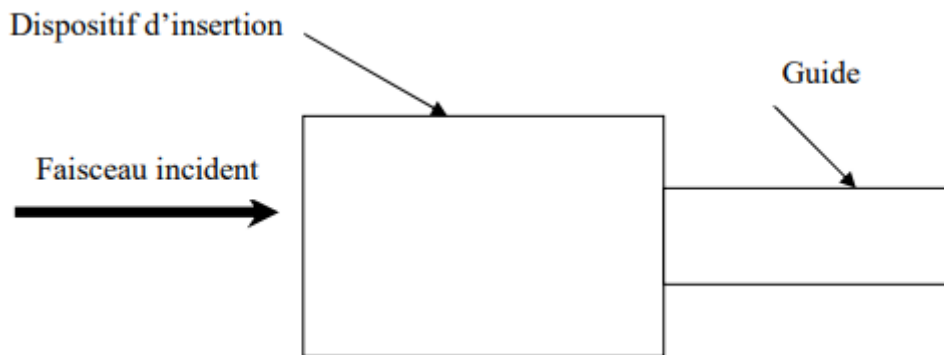
Cependant, il convient de noter que le couplage longitudinal peut parfois être utilisé pour décrire un phénomène ou une interaction spécifique dans les fibres optiques, mais cela dépend du contexte spécifique dans lequel le terme est utilisé



### II-1-3 Couplage en bout :

Le couplage en bout, également connu sous le nom de couplage bout à bout ou couplage direct, est un type de couplage en fibre optique où les extrémités de deux fibres optiques sont directement rapprochées et alignées pour permettre le transfert de la lumière d'une fibre à l'autre.

Le couplage en bout est utilisé dans de nombreux systèmes de fibre optique, tels que les réseaux de télécommunications, les réseaux informatiques, les systèmes de transmission de données et les systèmes de surveillance. Il permet d'assurer un transfert efficace de la lumière d'une fibre à l'autre, avec une perte minimale de signal



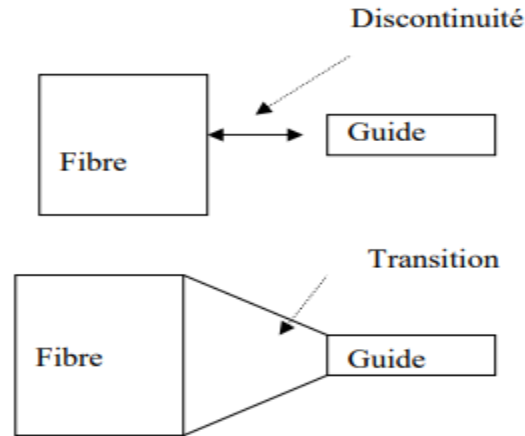
**Figure II-1 : Couplage en bout.**

### II-2 Transition :

#### Définition :

Une transition est un composant qui permet de passer d'un guide de section large (fibre optique) à un guide de section beaucoup plus faible (guide submicronique). Elle correspond aussi à un élargissement progressif le long de la direction de propagation de la lumière dans une direction du guide d'onde jusqu'à la fibre, ce qui permet un couplage fibre – guide correct [5]

Quelque soit le composant, nous pouvons distinguer deux types de transitions (tapers) : La transition horizontale et la transition latérale. Concernant cette dernière, il est facile de lui conférer une forme non linéaire correspondant à une transition adiabatique quasi-parfaite par simple gravure. Par contre, ceci est plus compliqué avec la transition horizontale car cette dernière est réalisée avec une étape de croissance de matériau plus difficilement contrôlable. [7]



**Figure II-2 :** passage de la lumière entre deux composants de tailles différentes en utilisant une transition.

**Caractéristiques d’une transition :** Les transitions sont définis comme étant des dispositifs utilisés pour interconnecter les réseaux optiques (photoniques) en reliant les composants d’un réseau aux ceux d’un autre. Une efficacité de couplage élevée (le transfert de la lumière entres les deux différents guides) est obtenue si la transition satisfait aux trois conditions suivantes :

- adaptation et transformation des modes
- Différence d’indice de réfraction
- Alignement optique.

**Adaptation et transformation des modes :** Une bonne transition est capable à transformer le mode fondamentale de la fibre avec le moins de pertes possibles à un mode fondamentale du guide d’ondes et avec la transmission d’autant que possible de la lumière. L’adaptation de mode évite l’excitation de modes de radiation et la collection de la lumière empêchent l’échappement des rayons lumineux vers la couverture (diminuer les pertes) [8].

**Différence d’indice de réfraction :** En plus d’adaptation et transformation de modes, une transition doit également adapter les Indices effectifs des deux composants interconnectés. L’échec de la réalisation de ceci cause les réflexions de Fresnel, puisque l’onde doit satisfaire les conditions aux limites au niveau des interfaces. Pour une incidence normale de la lumière la coefficient de réflexion R et de transmission T sont données par :

$$R = \left( \frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2 \quad (\text{II} - 2)$$

$$T = \frac{4n_2n_1}{(n_2 + n_1)^2} \quad (\text{II} - 3)$$

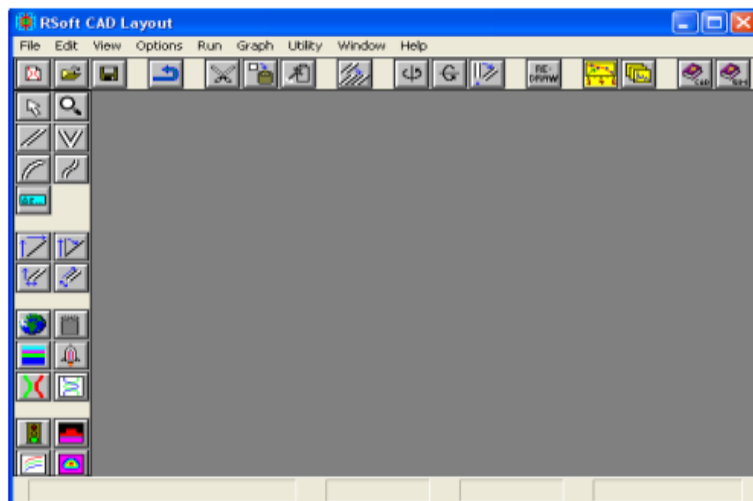
Les réflexions induisent des pertes de la puissance et éventuelles interférences avec l'onde incidente. [8]

**Alignement optique :** Tous les dispositifs doivent être alignés—mais pas seulement les transitions—pour bien recevoir le signal (données) pour les manipuler. Au regard aux dimensions des dispositifs interconnectés, même un décalage d'un micron peut avoir un impact significatif sur l'efficacité de la transmission. En effet, l'alignement dépend de la précision de fabrication et l'assemblage des équipements: Par simulation, on peut facilement aligner les composants interconnectés, mais il est très difficile à le faire en fabrication. On peut estimer, en simulation, l'effet de désalignement sur les performances. [8] Pour le couplage par transition on distingue des pertes de propagation le long de la transition, ainsi que les pertes d'insertion à l'interface transition\_guide.

### II-3 Le simulateur" BEAMPROP" ou " Rsoft " :

BEAMPROP est le module de propagation intégré avec RSoftPhotonics CAD SUITE, c'est un nouvel outil pour simuler la propagation optique dans les guides d'ondes à 2D et 3D. Au cœur du BEAMPROP -3D il y a un programme de calcul extrêmement robuste capable de trouver les solutions rigoureuses des équations d'ondes de Maxwell, des solutions qui sont complètement vectorielles et entièrement bidirectionnelles, tenant compte de toutes les réflexions aux joints à l'interfaces des différents composants du dispositif, car l'algorithme bidirectionnel modélise toutes les réflexions internes.

#### II-3.1 Présentation générale de l'outil de simulation » BEAMPROP »



**Figure II-3 :** Fenêtre principal de BEAMPROP

BeamPROP fournit un package de simulation générale pour le calcul de la propagation des ondes lumineuses dans des géométries de guide d'ondes arbitraires. Il s'agit d'un problème complexe, en général, et plusieurs hypothèses sont faites au départ (dont beaucoup sont ensuite détendus). Le noyau de calcul de ce programme est basé sur une méthode de propagation du faisceau à différence finie comme décrit dans [9,10]. Cette technique utilise des méthodes de différences finies pour résoudre l'approximation bien connue parabolique ou paraxiale de l'équation de Helmholtz. En outre, le programme utilise des «conditions aux limites transparentes» [11].

Le problème de la propagation physique requiert deux éléments clés:

1. La distribution d'indice de réfraction  $n(x, y, z)$
2. Le champ à l'entrée,  $\mu(x, y, z=0)$ .

La physique dicte le champ (électrique et magnétique) dans le reste du domaine,  $\mu(x, y, z > 0)$ . BeamPROP fournit un moyen de spécifier ces informations.

L'algorithme de la solution nécessite un apport supplémentaire sous la forme de paramètres de simulation numériques tels que:

- un domaine fini de calcul

$$\{x \in (x_{min}, x_{max})\}, \{y \in (y_{min}, y_{max})\}, \text{ et } \{z \in (z_{min}, z_{max})\}$$

- La taille de la grille transversale,  $\Delta x$  et  $\Delta y$ .
- La taille de l'étape longitudinale,  $\Delta z$ .(le pas)

Le logiciel BeamPROP, permet à l'utilisateur de modifier les valeurs ces paramètres. Comme pour toute simulation, la confiance dans l'exactitude de la solution numérique exige une expérimentation afin de déterminer la sensibilité aux paramètres numériques.

BeamPROP dispose également de capacités pour le calcul des modes, la manipulation des matériaux non-linéaire et anisotrope[12,13].

### II.3.2 L'objectif de "BeamPROP" :

BeamPROP fournit un paquet général de simulation pour calculer la propagation des ondes légères dans les géométries arbitraires de guide d'ondes. C'est un problème complexe, en général, et plusieurs prétentions sont faites au départ (dont beaucoup sont plus tard détendus). Le noyau informatique du programme est basé sur une méthode finie de propagation de faisceau de différence finie. Cette technique emploie des méthodes de

différence finies pour résoudre l'approximation parabolique ou par axiale bien connue de l'équation de Helmholtz. En outre, le programme emploie suivre " transparent " d'états de frontière.

Le problème physique de propagation exige deux informations principales:

1. La distribution d'indice de réfraction,  $n(x, y, z)$ .
2. Le champ de vague d'entrée,  $u(x, y, z=0)$ .

La physique dicte le champ de vague dans tout le reste du domaine,  $u(x, y, z>0)$ . Naturellement, le logiciel fournit une manière d'indiquer cette information.

L'algorithme de solution exige l'entrée additionnelle sous forme de paramètres numériques de simulation comme:

- Un domaine informatique fini,  $\{x \in (x_{\min} x_{\max})\}$ ,  $\{y \in (y_{\min} y_{\max})\}$ , et  $\{z \in (z_{\min} z_{\max})\}$ .
- Les tailles transversales de grille,  $\Delta x$  et  $\Delta y$ .
- La taille d'étape longitudinale.  $\Delta z$

Le logiciel essaye d'estimer des valeurs appropriées pour ces paramètres, mais permet à l'utilisateur de les dépasser. Comme avec n'importe quelle simulation, la confiance en exactitude de la solution numérique exige de l'expérimentation de déterminer la sensibilité aux paramètres numériques. BeamPROP a également des possibilités pour le calcul des modes, manipulant matériaux non-linéaires et anisotropes.

### II.3.3 Comment fonctionne le logiciel BeamPROP :

#### Etape 1 : Vue de la fenêtre de DAO

Le programme de DAO apparaît comme dans (la figure II.6)

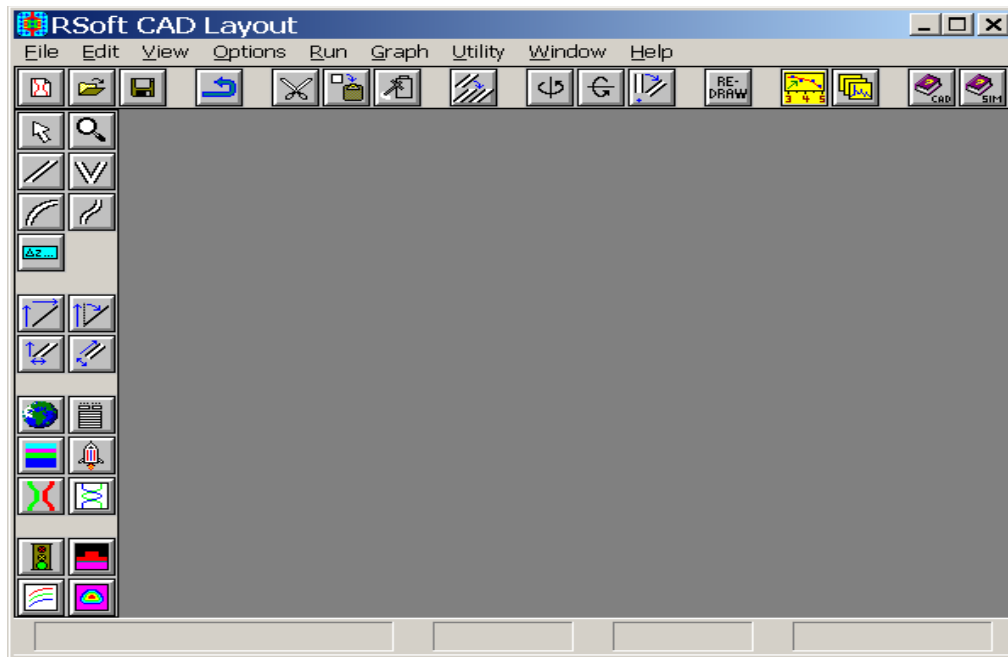


Figure II. 4: La fenêtre principale de Rsoft CAD.

## Etape 2 : Créer un nouveau circuit

Pour créer un nouveau circuit, on choisit **la nouvelle icône (New Circuit)** de circuit dans la barre d'outils supérieur .Ou sur File/New comme indique la figure suivante.



Figure II.5 : La fenêtre principale de dialogue de démarrage d'un nouveau circuit.

Cette fenêtre apparaîtra:

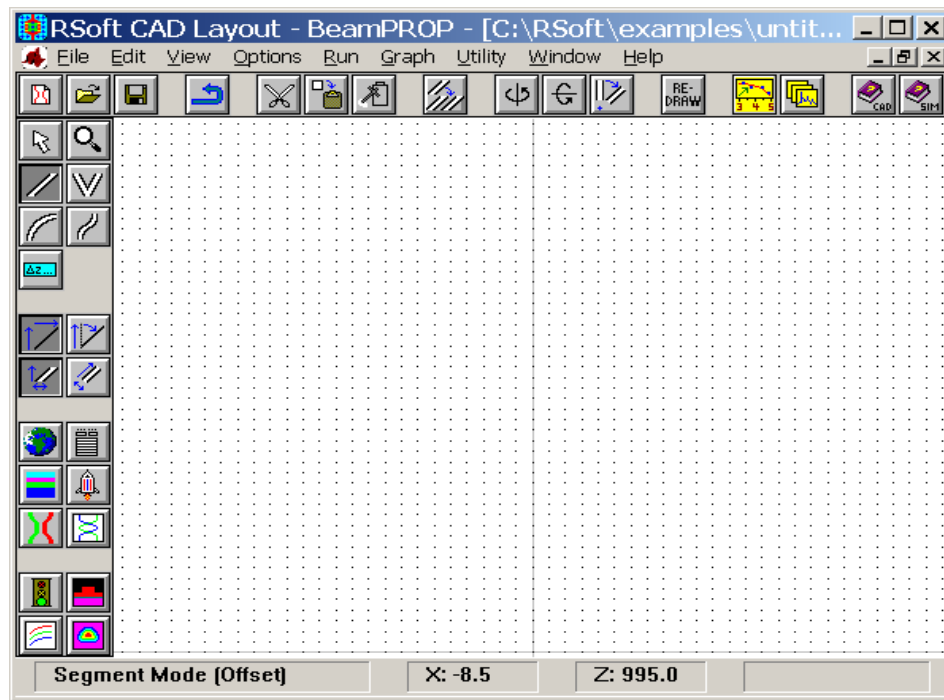


Figure II.6 :Fenêtre principal du simulateur

### Étape 3: Définir les variables

Afin de placer la longueur du guide d'ondes, on va définir une variable. Pour faire ceci, on choisit **Edit Symbols** dans la fenêtre de DAO, il apparait le Tableau de symbole suivant.

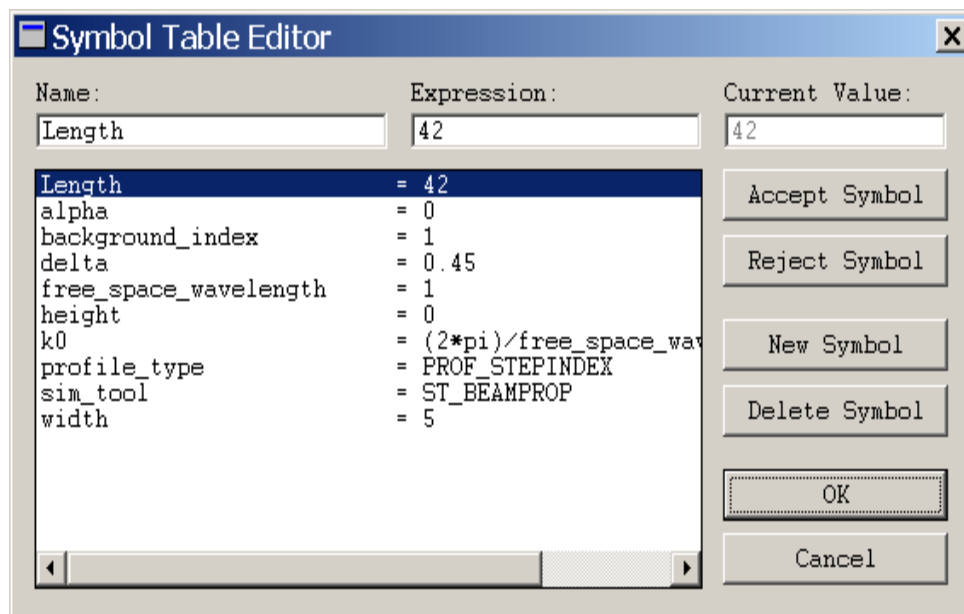
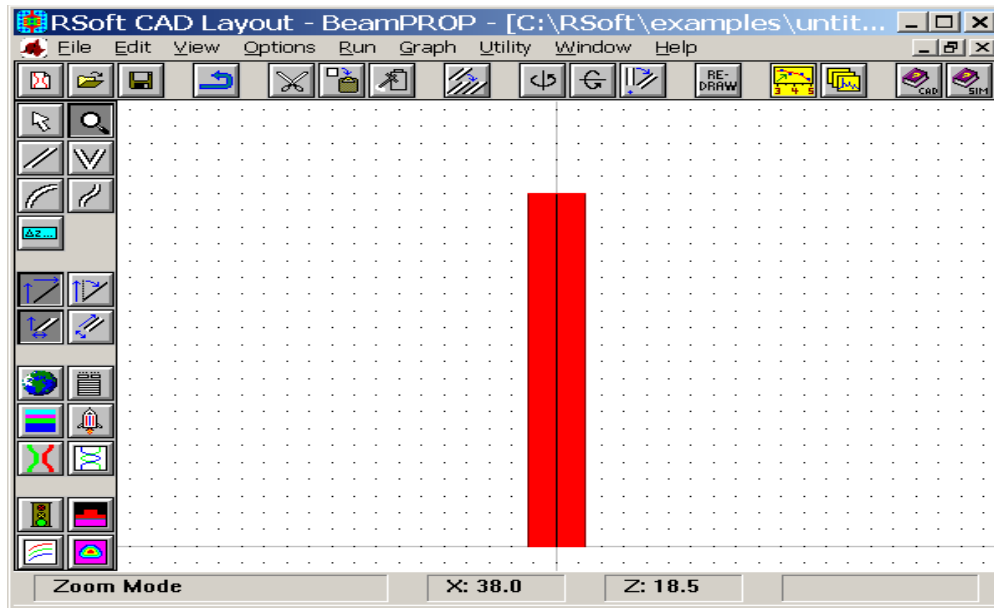


Figure II.7 : Le tableau de l'éditeur des symboles.

#### Étape 4: Dessin d'un guide d'ondes

D'abord on choisit le type de composant de guide d'onde c'est l'icône **Segment Mode**, (figure II.10).



**Figure II.8 :**Un segment droit de guide d'ondes comme il apparaît dans la fenêtre.

#### Étape 5: déplacer un guide d'onde :

Il y a deux méthodes pour déplacer un guide d'ondes dans le DAO:

- Par l'intermédiaire de la souris**

Des composants de guide d'ondes peuvent être choisis avec la souris, et être puis traînés dans une nouvelle position. Ceci tient compte du mouvement rapide d'un segment de guide d'ondes.

- Par l'intermédiaire de la zone de dialogue ‘ Segment Properties ’**

Les coordonnées exactes d'un composant de guide d'ondes peuvent être placées dans la zone de dialogue de propriétés de segment.

#### Étape 6: Placez les propriétés de guide d'ondes exactement :

Cette zone de dialogue permet à l'utilisateur de placer les propriétés de guide d'ondes telles que l'indice de réfraction et la géométrie de guide d'ondes pour ce guide d'onde (Figure II.11)



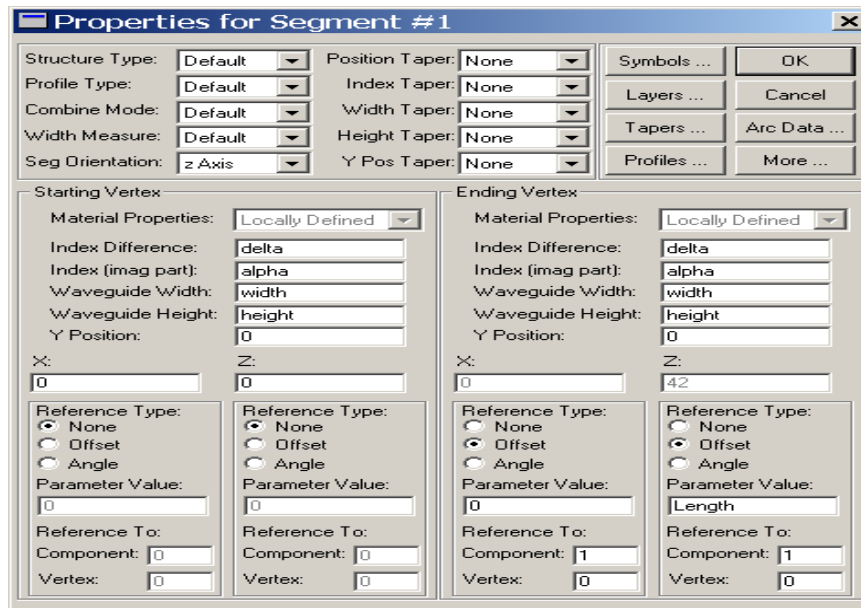


Figure II.9 : La boîte de dialogue de propriétés de segment (properties for segment).

### Étape 7: Créer un guide d'onde conique (taper)

Des guides d'ondes coniques (taper) peuvent être créés en écrivant différentes valeurs pour des paramètres de guide d'ondes tels que l'indice, la largeur, la taille, et la position. Puis, on peut définir une fonction de cône qui indique comment le paramètre de guide d'ondes change au-dessus de la longueur du guide d'onde.

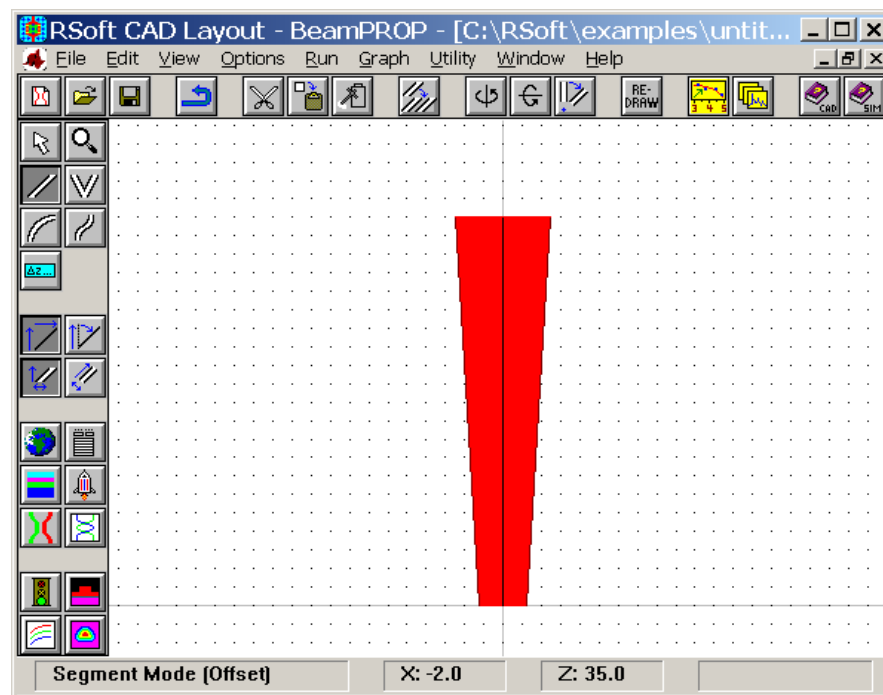
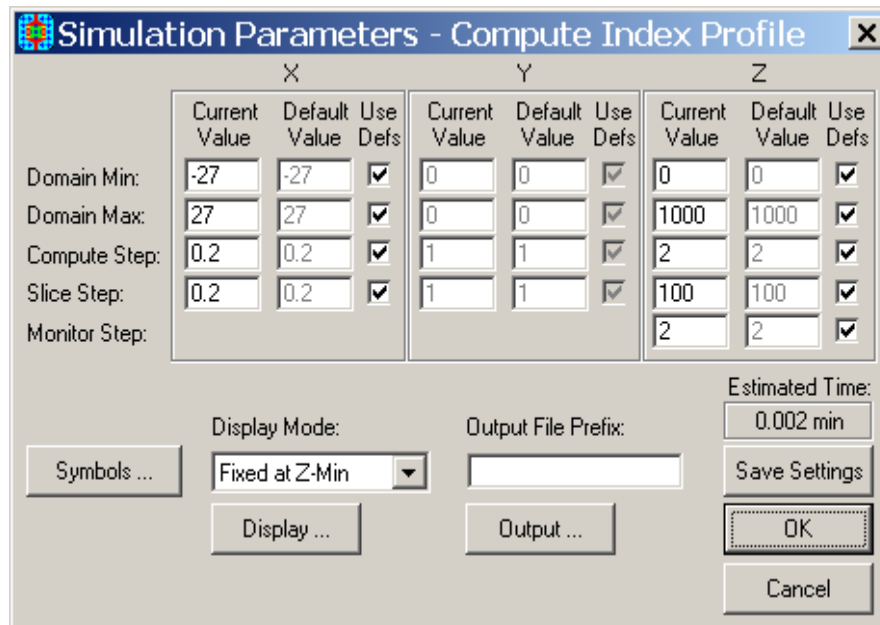


Figure II.10 : Le guide d'ondes conique dans la fenêtre de CAD.

### Étape 8: Vérification de la disposition de guide d'onde

Il est très utile de calculer la distribution d'indice afin de vérifier la disposition. Ceci est accompli par l'intermédiaire **Compute Index Profile** dans la gauche de la barre d'outils. La pression de cette icône ouvrira le dialogue de paramètres de simulation montré dans (la figure II. 13)



**Figure II.11 :** Le dialogue de calcul du profil d'indice (compute index profile).

### Étape 9: Effectuer une simulation

C'est l'étape finale après que la structure ait été faite de effectuer la simulation à l'aide de l'outil de simulation de votre choix.

#### II.3.4 Icône de simulation

Barre d'icône de simulation de Rsoft CAD spécifique à la simulation



**Edit Global Settings** (Éditer Les Arrangements Globaux) : Cette option ouvre la boîte de dialogue Global Settings (globale d'arrangements) où les arrangements par défaut du circuit peuvent être placés. Elle est équivalente à la nouvelle boîte de dialogue de circuit.



**Edit Launch Field** (Éditer Le Champ De Lancement) : Cette option ouvre la boîte de dialogue de **LaunchParameters** (paramètres de lancement) où l'utilisateur peut indiquer le champ initial pour une simulation.



**Edit Layer Table** (Éditer Le Tableau De Couche): Cette option ouvre **Layer Table Editor** (l'éditeur des couches), il est utilisé pour définir les structures **3D** multicouche (multilayer).



**Perform Simulation** (Effectuer La Simulation) : Cette option ouvre la boîte de dialogue de Simulation Parameters (paramètres de simulation) où l'utilisateur peut indiquer des paramètres de simulation avant de l'effectuer.



**Compute Fundamental Mode** (Mode Fondamental De Calcul) : Cette option permet à l'utilisateur de calculer le mode fondamental du circuit. Noter que des modes d'ordre plus supérieur peuvent être calculés par l'intermédiaire de l'option de menu **Run**.



**Edit Monitors** (Éditer Les Moniteurs): Cette option permet à l'utilisateur de créer et modifier des moniteurs de BeamPROP. Un moniteur permet à l'utilisateur de mesurer une quantité, telle que la puissance de guide d'ondes, pendant une simulation.



**Launch Data Browser** : Ces options ouvrent le RSoft Data Browser.



**Compute Index Profile** : Cette option ouvre la zone de dialogue de profil d'index de calcul où l'utilisateur peut calculer un profil d'index du circuit.

## II.4 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes méthodes possibles pour coupler la lumière dans un guide d'onde, longitudinale et transversale ainsi qu'une présentation du logiciel de simulation Rsoft CAD.

# ***Chapitre III***

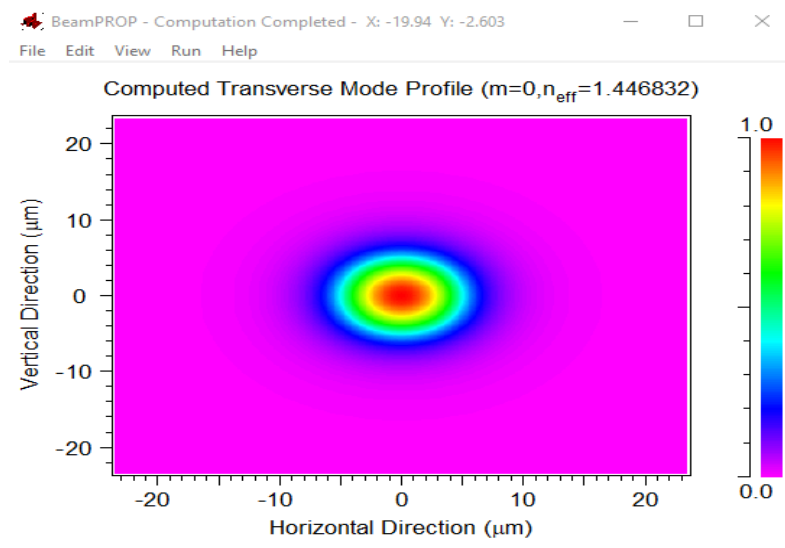
**III-Introduction**

Dans ce chapitre, nous allons présenter type de transitions linéaires, ensuite interpréter les résultats obtenus par simulation des différents paramètres caractéristiques des dispositifs à l'aide du logiciel RSOF PHOTONICS CADSUITE et de son module BEAMPROP.

**III-1Caractéristiques de la fibre optique:**

Nous avons choisi une fibre optique monomode. Elle présente, par rapport à la fibre multi mode, l'avantage d'avoir une bande passante plus élevée. La fibre multi mode est généralement réservée pour les liaisons courte distance et faible débit. Nous avons donc choisi une fibre optique monomode à saut d'indice dont l'indice du cœur est de 1,44904. Et l'indice de la gaine est 1.44404 avec  $\Delta n=0.005$ . La figure III-1 représente le profil transversal du mode fondamental à l'entrée de la fibre, obtenu par injection d'une gaussienne dans la fibre avec une longueur d'onde  $\lambda=1,5 \mu\text{m}$

L'indice effectif de ce mode fondamental est  $n_{\text{eff}}=1.446832$ .

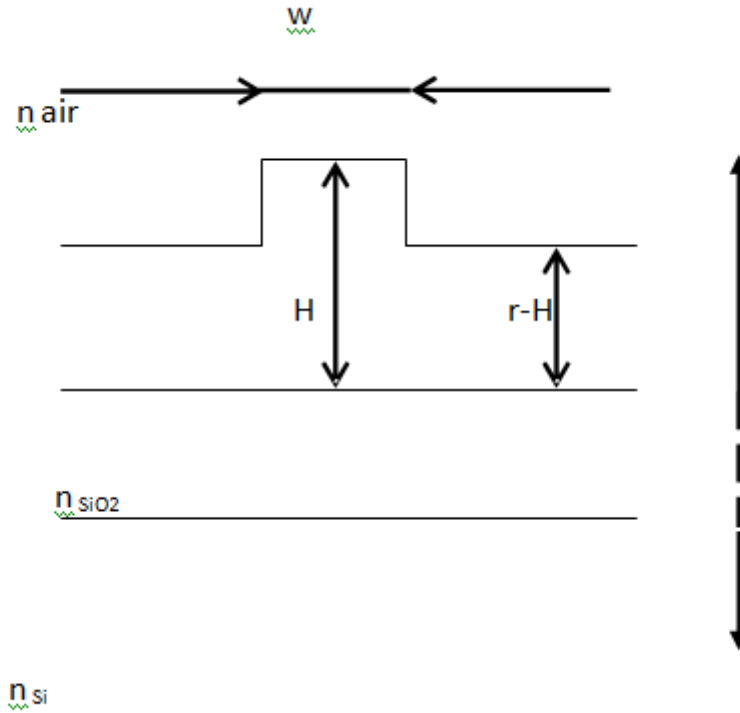


**Figure III-1:** Le profil transversal du mode fondamental de la fibre optique

Après avoir calculé le mode fondamentale de la fibre on l'injecte à l'entrée de la transition, ensuite on lance la simulation BeamProp pour obtenir la solution optimale.

### III-2 Caractéristiques du guide d'onde rib:

Nous avons choisi un guide en arête monomode (figure III-2) qui doit être compatible avec l'utilisation des composants optoélectroniques ainsi que celles des fibres monomodes permettant ainsi un couplage entre la fibre et le guide.



**Figure III-2:**schéma en coupe du guide en arête choisi

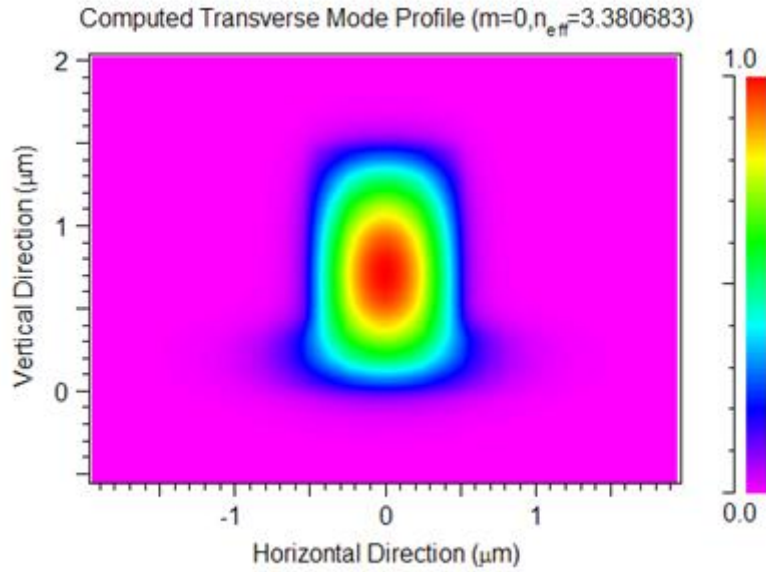
W:La largeur du guide.

H:la hauteur du guide

r: le paramètre de gravure qui correspond au rapport entre l'épaisseur de l'arête déterminant le confinement latéral et l'épaisseur du guide.

Les paramètres correspondants à notre guide en arête monomode sont :  $W=1\mu\text{m}$ ,  $H=1.5\mu\text{m}$ ,  $r=0.40$

La figure III-3 représente le profile transversal du mode fondamental à l'entrée du guide d'onde en arête monomode, en injectant une gaussienne à l'entrée du guide avec une longueur d'onde  $\lambda=1,55\mu\text{m}$ .



**Figure III-3 :** Le profile transversal du mode fondamental du guide d'onde en arrête

### III-3 Propriétés de la transition :

On décrit les deux types de transitions utilisées pour assurer le couplage entre la fibre optique et le guide.

#### -Position normalisée:

La position normalisée est définie par:

$$z' = \frac{z-z_0}{z_1-z_0} \quad (3-1)$$

$z_0$  et  $z_1$  sont les coordonnées  $z$  des débuts et fin de la structure guidant respectivement. Donc  $z'$  varie de 0 à 1 le long du guide.

#### -Taper de la largeur:

Ce taper (transition) spécifie la manière fonctionnelle avec laquelle la largeur de la structure guidante varie en fonction de la position  $z$  le long du guide. La fonction de taper est donnée par  $f(z')$

$$w(z') = w_0 + (w_1 - w_0)f(z') \quad (3-2)$$

$w_0$  et  $w_1$  sont les largeurs des début et fin de la structure guidant respectivement.

#### -Taper de la hauteur:

Ce taper spécifie la manière fonctionnelle avec laquelle la hauteur de la structure guidant

Varie en fonction de la position  $z$  le long guide. (Figure III-4)

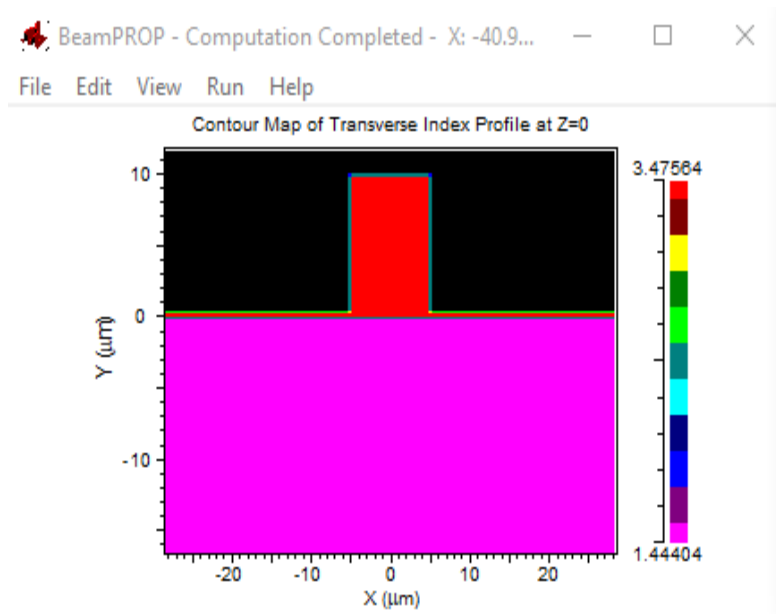
$$h(z') = h_0 + (h_1 - h_0)f(z') \quad (3-3)$$

$h_0$  et  $h_1$  sont les hauteurs de début et fin de la structure guidant respectivement.

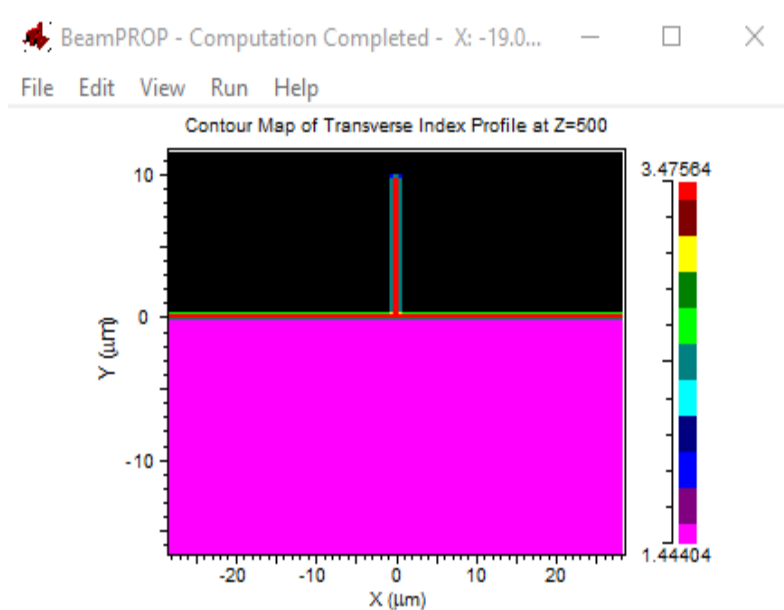
La transition qu'on va utiliser pour le couplage entre la fibre optique et un guide d'onde en arrête est caractérisée par:

$w_0=10, z_0=0, h_0=10\mu m$  paramètres du début de la transition

$w_1=1, z_1=\text{longueur de la transition}, h_1=1.5\mu m$  paramètres du fin de la transition.



(A)



(B)

**Figure III-4** (A) profil d'indice au début de la transition, (B) profil d'indice à la fin de la



transition

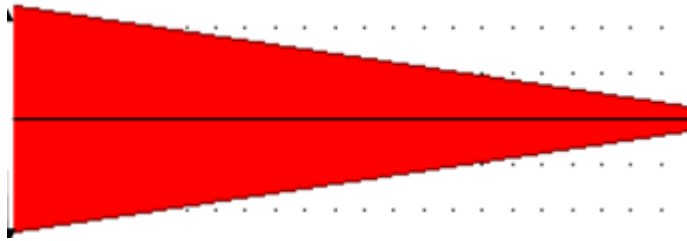
#### III-3-1 Transition linéaire:

La transition linéaire avec deux tapers pour le couplage entre la fibre optique et un guide (figure III-5). Leurs fonctions sont définies comme suit :

$$f(z') = z' \quad (3-4)$$

Et la hauteur de la transition:

$$h(z') = 10 - 8,5z \quad (3-5)$$



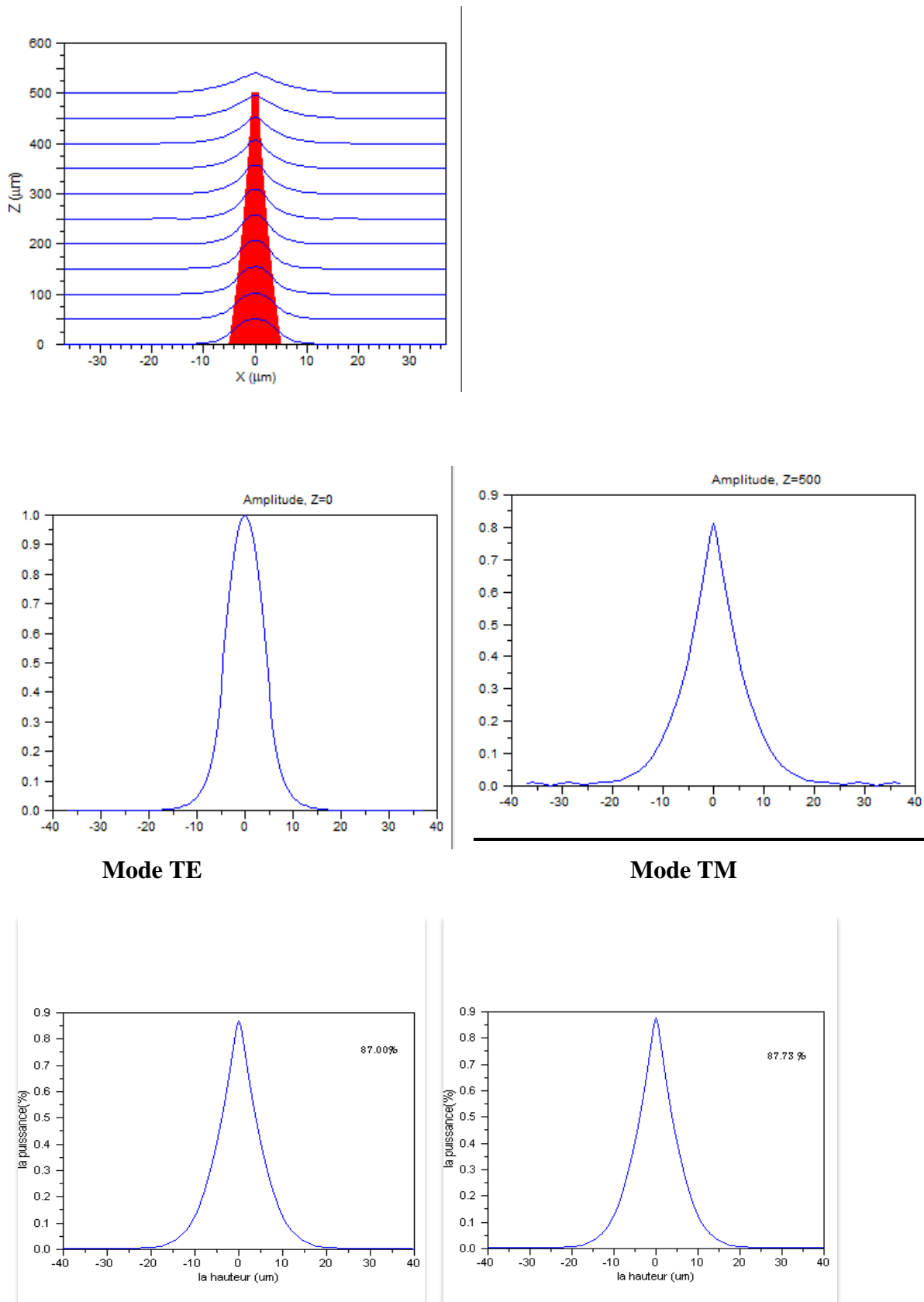
**Figure III-5** transition linéaire

#### Les profils du champ dans la transition :

On étudie l'influence de la longueur de la transition sur l'efficacité du couplage, dans le but de trouver la longueur optimale qui maximise la conservation de la puissance dans le mode fondamental. C'est-à-dire que le premier mode normal local de la structure s'y propage sans transfert de puissance vers les autres modes, on a opté pour trois longueurs de transition :  **$L=500\mu\text{m}$**  ,  **$L= 700 \mu\text{m}$**  ,  **$L=1000\mu\text{m}$**  ; Pour une différence d'indice de ( $\Delta n=0.005$ )

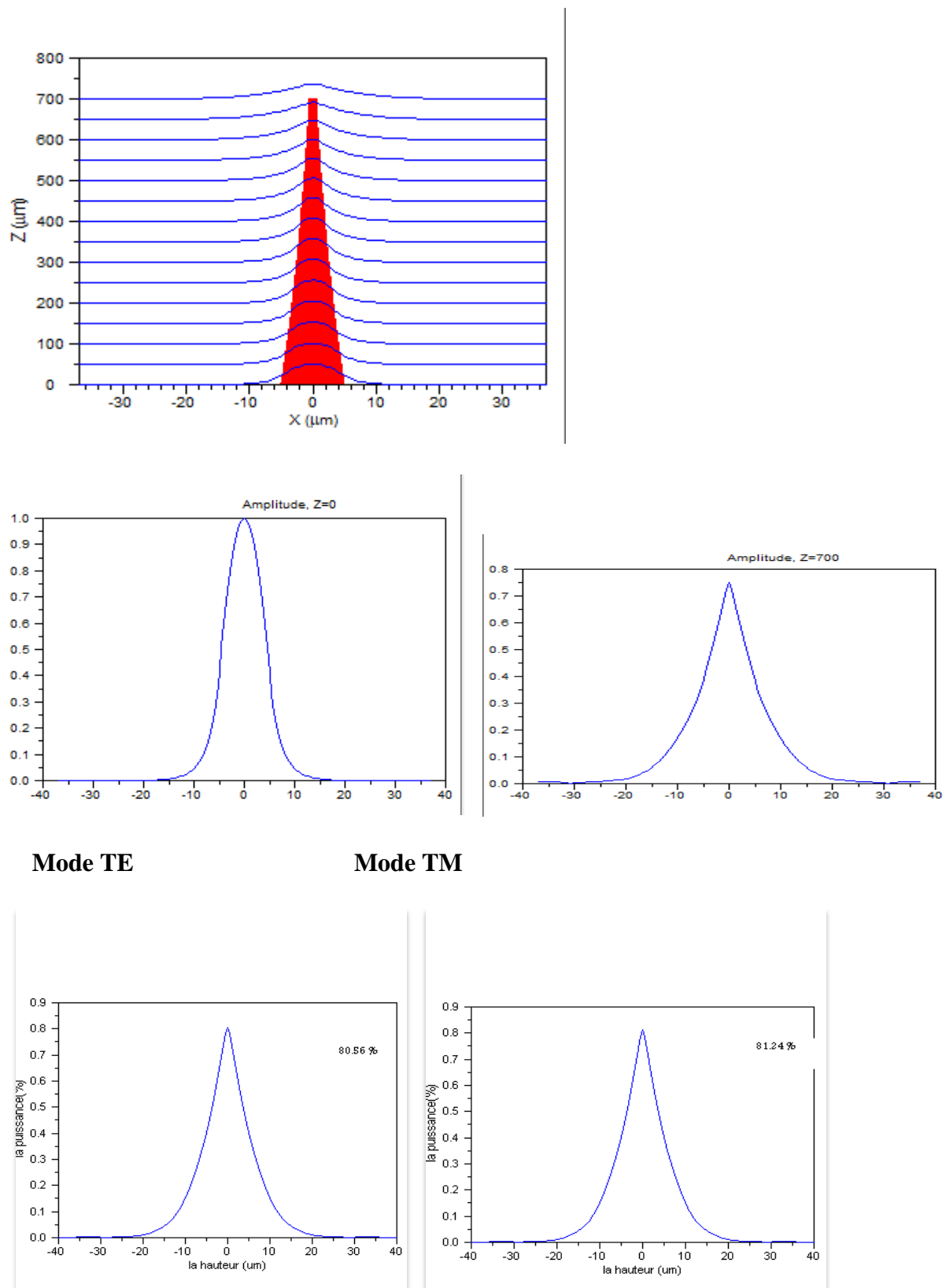
On présente dans ce qui suit, l'allure du profil du champ obtenue par simulation à la sortie de la transition, et ceci pour trois valeurs de la longueur de la transition ( $500\mu\text{m}$ ,  $700\mu\text{m}$  et  $1000\mu\text{m}$ ).

#### **$L=500 \mu\text{m}$** :



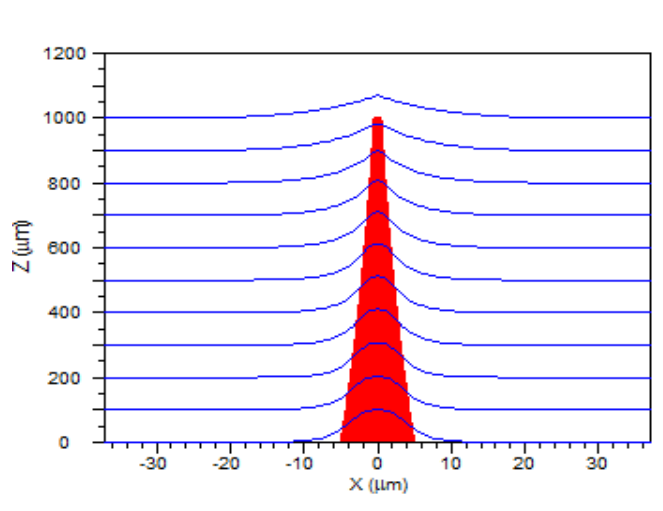
**Figure III.6.** Les cartes du profil du champ obtenues avec BEAMPROP pour  $L=500\mu\text{m}$ , à la fin de la transition et pour  $\Delta n=0.005$

**L=700  $\mu\text{m}$  :**



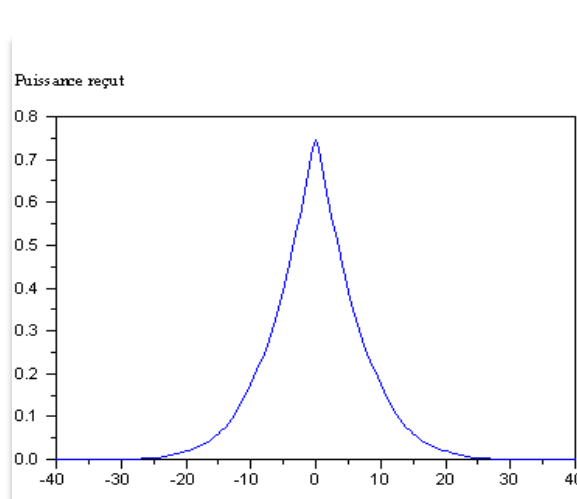
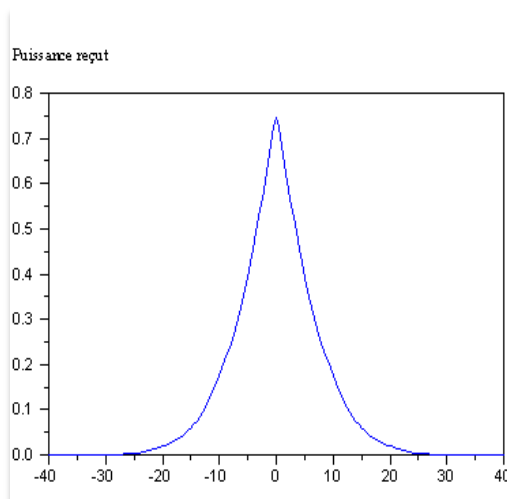
**Figure III.7** Les cartes du profil du champ obtenues avec BEAMPROP pour  $L=700 \mu\text{m}$ , à la fin de la transition et pour  $\Delta n=0.005$

**L=1000 $\mu$ m :**



**Mode TE**

**Mode TM**



**Figure III.8** Les cartes du profil du champ obtenues avec BEAMPROP pour L=1000  $\mu$ m à la fin de la transition et pour  $\Delta n=0.005$

**Table de comparaison pour les differents longueur (L=500 $\mu$ m , L=700 $\mu$ m , L=1000 $\mu$ m) pour  $\Delta n=0.005$**

La longueur	L'amplitude	Les pertes
L=500	0,873=87.3%	12. 36%
L=700	0,809=80.9%	19.09%
L=1000	0,7473=74,73%	25.26%

On remarque que les profils du champ en mode TE et TM sont presque les mêmes avec une légère différence :

- Pour  $L = 500\mu\text{m}$ , la puissance transmise à la sortie de la transition , est de 87 % pour le mode TE et de 87.73% pour le mode TM, on obtient alors une efficacité de couplage proche de 87.36% ; donc 12.36% de pertes.

-Pour  $L = 700\mu\text{m}$ , la puissance transmise est de 80.560797% pour le mode TE et de 81.244200% pour le mode TM, on obtient alors une efficacité de couplage proche de 80.9024985%; donc 19.0975015% de pertes .

- Pour  $L = 1000\mu\text{m}$ , la puissance transmise à la sortie pour le mode TE est de 74.488699% et de 74.973100% en mode TM . Donc l'efficacité de couplage vaut 74.7308995%, donc une perte de 25.2691005%

#### **III-4Validation des résultats :**

- D'après ces résultats on peut dire que la longueur de transition  $L= 500\mu\text{m}$  est la longueur optimale car elle offre un maximum de puissance avec un minimum de perte, ce qui est conforme avec [13,14]

## ***Conclusion générale***

### **Conclusion générale**

L'objectif de ce travail de mémoire a été l'optimisation d'une transition latérale pour le couplage fibre-guide d'ondes.

Le couplage de la lumière d'une fibre optique à un guide d'onde est effectué en utilisant un type de transition latérale, selon la géométrie du guide d'onde proposé (plan ou arête), il a suffit donc d'implanter le modèle dans le simulateur **BeamPROP**.

Le guide d'onde choisit est efficace pour réaliser une structure monomode, qui limite les pertes de propagation et doit être souvent compatible pour le couplage avec les fibres monomodes. Il a les paramètres suivants :  $W=1\text{ }\mu\text{m}$   $H=1.5\text{ }\mu\text{m}$ ,  $r=0.413\text{ }\mu\text{m}$ .

La simulation de la propagation de la lumière dans une transition latérale et verticale linéaires et après optimisation la longueur optimale de la transition est de  $500\text{ }\mu\text{m}$  avec une efficacité de couplage de 87%.

On conclut que la transition latérale et verticale linéaires représente le profil de transition optimale quant au couplage fibre optique- guide d'onde en arête, elle est insensible à la polarisation, sensible au désalignement selon l'axe Oy et moins sensible pour l'axe Ox. Cette solution au problème de couplage optique reste insuffisante, car la longueur de la transition de meure un obstacle par rapport aux dispositifs de plus en plus miniatures et notamment avec l'émergence de la nanotechnologie. Les perspectives d'avenir, serait de considérer des tapers en cristaux photoniques.

# ***Bibliographie***



## Bibliographie

- [1] M. SZACHOWICZ "Réalisation et études spectroscopiques de guides d'ondes monocristallins de  $Y_3Al_5O_{12}$  et  $YAlO_3$  dopés terres rares pour la conversion de fréquence" Thèse de doctorat Université CLAUDE BERNARD – LYON I (22 juin 2006).
- [2] Pierre Lecoy, Télécommunications sur fibres optiques, Lavoisier (2009).
- [3] R. OROBTCHOUK "Modélisation et étude de composants pour l'optique intégrée silicium sur isolant (SIMOX) à  $\lambda = 1.3 \mu m$ " Thèse en sciences de l'université Paris XI, Orsay (1996).
- [4] R. Sporken "Les fibres optiques" Cours de Physique des Télétransmissions 2004  
<http://perso.fundp.ac.be/~jllongue/syllabus/Eing2120-3.pdf>
- [5] L. Ahmed "étude du couplage guidé d'ondes/fibre optique à l'aide d'un simulateur" FIRM PROP"" Mémoire de magister En Electronique Université Mentouri Constantine (novembre 2004).
- [6] L. VIVIEN, LAVAL, S. CASSAN, E. LE ROUX, X. AND D. PASCAL "2-D taper for low-loss coupling between polarization-insensitive microwave guides and single mode optical fibers". *J. Lightwave Tech.* VOL 21, N(10) October 2003).
- [7] M. B. Frish, J. FIJOL AND AL "Coupling of single mode fibers to planar Si waveguides using vertically tapered mode converters" confluent photonics Corporation, 20 New England Business Center, Andover, MA 01810 (2002).
- [8] T. M. Montalbo "Fiber waveguide couplers for silicon photonics" Massachusetts Institute Of Technology (September 2004).
- [9] R. Scarmozzino, A. Gopinath, R. Pregla and S. Helfert, "Numerical Techniques for Modeling Guided-Wave Photonic Devices" *J. Selected Topics in Quantum Electronics* 6, 150 (2000).
- [10] J. C. Chen and S. Jungling, "Computation of higher-order waveguide modes by the imaginary-distance beam propagation method", *Optical and Quantum Electron.* 26, S199 (1994).
- [11] M. Fritz, J. Knecht, C. Bozier, C. Keat, J. Fijol, S. Jacobson, P. Keating, J. Leblanc, E. Fike, B. Kessler, M. Frish and C. Manolitu "Fabrication of three-dimensional mode converters for silicon-based integrated optics". *Journal of Vacuum Science and Technology B*, (Nov/Dec 2003).
- [12] J. J. Fijol, E. E. Fike, P. B. Keating, D. Gilbody, J. Leblanc, S. A. Jacobson, W. J. Kessler, and M. B. Frish "Fabrication of silicon-on-insulator adiabatic tapers for low loss optical interconnection of photonic devices". In R. A. Heyler, D. J. Robbins, and G. E. Jabbour, editors, *Photonics Packaging and Integration III*, volume 4997 of *proceedings of SPIE*, pages 157-170. SPIE. 2003.
- [13] : Boudelal .R, étude de couplage d'un guide d'onde avec une fibre optique, application en optique intégrée pour les télécoms optiques, thèse de doctorat, université de Constantine, (2010)
- [14]: F. Brik, F. Benmeddour and Z. Khaldouna, "Parametric analysis by simulation of Bragg gratings and their application as a sensor ", *J. Nano- Electron. Phys.* 14 N°6, 06015 (2022). DOI: [https://doi.org/10.21272/jnep.14\(6\).06015](https://doi.org/10.21272/jnep.14(6).06015)