

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا
Faculté de Technologie

قسم الإلكترونيك
Département d'Électronique



Mémoire de Master

Mention Électronique
Spécialité Micro-Opto-Electronique

présenté par

DERRADJI ZAHIA

&

ZINET DJAMILA

Étude et Simulation des Capteurs Chimiques à Base de Guides Optiques

Proposé par : *M^r* NACER Saïd

Année Universitaire 2016-2017

Remerciements

A dieu tout Grace

Pour nous avoir guidé et honoré par la lumière et la compréhension et de nous avoir accordé la connaissance de la science. Louange à dieu tout puissant qui nous a donné santé et courage pour achever ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer notre profonde gratitude à Mr NACER Saïd pour sa supervision de ce travail, nous le remercions infiniment pour sa rigueur, sa simplicité, sa générosité et sa disponibilité durant la réalisation de ce travail. Ces conseils précieux nous ont permis de réaliser notre mémoire de fin d'étude.

Nos remerciements les plus vifs s'adressent aussi à M^r le président et les membres du jury qui ont accepté d'examiner et d'évaluer notre travail.

Nos remerciements s'adressent à tout enseignant ayant contribué à notre formation depuis notre premier cycle du primaire jusqu'au dernier cycle à l'université.

Merci à toutes les personnes qui nous ont aidées de près ou de loin à réaliser ce mémoire.

ملخص: ان عملنا هذا يتمثل في دراسة لاقط الضوء ذو بعدين لغرض التوصل الى طريقة نموذجية لتحديد خصائص هذا اللاقط.

اعتمدنا على طريقة الحساب الرقمي (طريقة الفروق المنتهية) لعرض النتائج المتحصل عليها ; وبرنامجين حاسوبيين (مات كاد و كومصول) تم استعمالهما من اجل المحاكاة البصرية للاقط الضوء اللذان يسمحان انطلاقا من المعطيات الخاصة باللاقط بتحديد القرينة الفعالة ; عامل انحصار الضوء و الحساسية الضوئية. النتائج المتحصل عليها من خلال المحاكاة برهنت ان ابعاد البنيات المدروسة تلعب دور هام جدا في تحديد خصائص اللاقط الكيميائي المعتمد على الموجة الضوئية.

كلمات المفاتيح: موجة الضوء ; لاقطة الضوء ; الحساسية الضوئية ; طريقة الفروق المنتهية.

Résumé : Notre travail consiste en l'étude d'un capteur chimique à deux dimensions pour parvenir à une méthodologie de détermination des caractéristiques du capteur.

Une méthode de calcul numérique (Méthode des éléments finis) a été présentée, et deux logiciels ont été utilisés (Mathcad et Comsol) pour la simulation des capteurs optiques qui permettent à partir des données du capteur de déterminer l'indice effectif, le facteur de confinement et la sensibilité. Les résultats de nos simulations montrent que les dimensions des structures jouent un rôle très important dans la détermination des caractéristiques du capteur chimique à base de guide optique.

Mots clés : Guide optique ; Capteur optique ; Sensibilité, Méthode des éléments finis.

Abstract: Our work consist to study the two-dimension optical sensor to lead to a methodology which able to define the characteristics of the sensor.

Numerical method of calculation (Finite Element Method) was presented, and two software were used (Mathcad and Comsol) for the optical simulation of the sensor.

This method starts reading the data sensor and can determine the effective index, Factor of confinement and Waveguide sensivity. The results of our simulations show that the dimensions of the structures play a very important role in the characteristics of the chemical sensor based on optical guide.

Keywords: Optical Waveguide, Optical Sensor, Sensivity, Finite Element Method.

Listes des acronymes et abréviations

MEF : Méthode des Eléments Finis.

TE : Transverse Electrique.

TM : Transverse Magnétique

Table des matières

Introduction générale.....	01
----------------------------	----

Chapitre 1 : Généralités sur les guide optiques

1.1 Introduction.....	03
1.2 Les ondes électromagnétiques.....	03
1.2.1 Théorie électromagnétique de la lumière.....	03
1.2.2 Equation de Maxwell.....	04
1.2.3 Equation d'onde.....	06
1.3 Théorie des guides optiques.....	07
1.3.1 Mode des guides optiques.....	08
1.3.2 Guide optique planaire.....	09
1.3.3 Guide bidimensionnel.....	10
1.3.4 Guide optique rectangulaire.....	10
a. Guide Buried cannel.....	11
b. Guide RIB.....	12
c. Guide Ridge.....	12
d. Guide de lumière slot.....	13
d.1 Géométrie du guide Slot.....	13
1.4 Les caractéristiques d'un guide du lumière.....	14
1.4.1 L'indice effectif.....	14
1.4.2 Le facteur de confinement.....	15
1.5 L'indice de réfraction.....	16
1.6 Conclusion.....	16

Chapitre 2 : Généralités sur les capteurs

2.1 Introduction.....	18
2.2 Généralités sur les capteurs.....	18
2.2.1 Définition d'un capteur.....	18
2.2.2 Principales caractéristiques d'un capteur.....	18
a. La sensibilité.....	19
2.2.3 Constitution d'un capteur.....	19
2.3 Types des capteurs.....	19
2.3.1 Capteur optique.....	19
a. Différents types de capteurs optiques.....	20

2.3.2	Capteur chimique.....	21
a.	Capteur chimique à base de guide RIB.....	21
b.	Capteur chimique à base de guide Wire.....	22
c.	Capteur chimique à base de guide Slot.....	23
2.4	Principe de fonctionnement pour les trois structures.....	24
2.5	Domaine d'utilisation du capteur.....	24
2.6	Conclusion.....	24
 Chapitre 3 : Simulations		
3.1	Introduction.....	25
3.2	Simulation.....	25
3.2.1	Méthode des éléments finis à deux dimensions.....	25
3.2.2	Résultats de simulations.....	26
a.	Capteur chimique à base de guide optique RIB.....	27
a.1	Le mode TE (Transverse Electrique).....	27
a.2	Le mode TM (Transverse Magnétique).....	28
a.3	L'indice effectif en fonction des paramètres géométriques de la structure.....	29
a.4	Le facteur de confinement en fonction de paramètres géométrique de la structure.....	30
a.5	la sensibilité en fonction de la largeur W.....	31
b.	Capteur chimique à base de guide Wire.....	31
b.1	Le mode TE (Transverse Electrique).....	32
b.2	Le mode TM (Transverse Magnétique).....	33
b.3	L'indice effectif en fonction des paramètres géométriques de la structure.....	34
b.4	Le facteur de confinement en fonction des paramètres géométriques de la structure.....	34
b.5	La sensibilité en fonction de la largeur W.....	35
c.	Capteur chimique à base de guide optique Slot.....	35
c.1	Le mode TE (Transverse Electrique).....	36

c.2 La sensibilité en fonction d'H/W en mode TE.....	37
c.3 Le mode TM (Transverse Magnétique).....	37
c.4 La sensibilité en fonction d'H/W en mode TM.....	38
c.5 La sensibilité en fonction de la largeur W pour différentes valeurs de la distance g en mode TE	39
c.6 La sensibilité en fonction de la largeur W pour différentes valeurs de la distance g en mode TE.....	39
3.3 Conclusion.....	40
Conclusion générale.....	41
Bibliographie.....	43

Liste des figures

Figure 1.1. Propagation des ondes électromagnétiques.....	09
Figure 1.2. Répartition graphique d'un guide d'onde planaire.....	10
Figure 1.3. Répartition graphique d'un guide d'onde.....	11
Figure 1.4. Guide Buried.....	11
Figure 1.5. Guide RIB	12
Figure 1.6. Guide Ridge.....	12
Figure 1.7. Géométrie du guide slot.....	13
Figure 1.8. Principe de guidage de la lumière dans un guide planaire.....	15
Figure 2.1. Quelques applications des capteurs optique.....	20
Figure 2.2. Capteur chimique à base de guide RIB.....	22
Figure 2.3. Capteur chimique à base de guide Wire.....	22
Figure 2.4. Capteur chimique à base de guide slot.....	23
Figure 3.1. Capteur à base de guide RIB (Si/SiO ₂).....	27
Figure 3.2 Répartition de champ électrique dans le capteur à base de guide Rib en mode TE pour $W=0,42\ \mu\text{m}$, $H=0,2\ \mu\text{m}$, $d=0,2\ \mu\text{m}$ ($n_{\text{eff}}=2,476$).....	28
Figure 3.3. Répartition de champ magnétique dans le capteur à base de guide Rib en mode TM pour $W=0,42\ \mu\text{m}$, $H=0,2\ \mu\text{m}$, $d=0,05\ \mu\text{m}$ ($n_{\text{eff}}=1,991$).....	29
Figure 3.4. Variation de l'indice effectif en fonction de la largeur W avec $H=0,2\ \mu\text{m}$	29
Figure 3.5. Variation de facteur de confinement en fonction de la largeur W	30
Figure 3.6. Variation de la sensibilité en fonction de la largeur W	31
Figure 3.7. Capteur à base de guide Wire Si/SiO ₂	32
Figure 3.8. Répartition du champ électrique dans le guide Wire en mode TE pour $W=0,42\ \mu\text{m}$ ($n_{\text{eff}} = 2,387$).....	32
Figure 3.9. Répartition du champ magnétique dans le guide Wire en mode TM pour $W=0,42\ \mu\text{m}$	33
Figure 3.10. Variation de l'indice effectif en fonction de la largeur W ($H=0,25\ \mu\text{m}$).....	34
Figure 3.11. Variation du facteur de confinement en fonction de la largeur W	34

Figure 3.12. Variation de la sensibilité en fonction de largeur W	35
Figure 3.13. Capteur à base de guide slot.....	36
Figure 3.14. Répartition du champ électrique dans le guide en mode TE pour $W=0,18\mu\text{m}$, $H=0,324\mu\text{m}$ et $n_3=1,335$ avec $n_{eff}=1,555$	36
Figure 3.15. Variation de la sensibilité en fonction de rapport H/W en mode TE.....	37
Figure 3.16. Répartition de champ magnétique dans le guide en mode TM pour $w=0,18\mu\text{m}$ et $H=0.324$ et $n_3=1,335$ avec $n_{eff}=2,043$	37
Figure 3.17. Variation de la sensibilité en fonction d' H/W en mode TM.....	38
Figure 3.18. Variation de la sensibilité en fonction de W en mode TE pour différents g	39
Figure 3.19. Variation de la sensibilité en fonction de W en mode TM pour différents g	39

Liste des tableaux

Utiliser cette liste si vous avez des tableaux dans votre manuscrit.

Introduction générale

La technologie micro-électronique silicium a connu un essor considérable depuis la réalisation du premier circuit intégré au début des années soixante. Les circuits sont de plus en plus complexes et performants, et une production de masse à bas prix a permis à la micro-électronique de pénétrer progressivement les secteurs grand public tels l'automobile, la télécommunication, l'électroménager et les jouets par exemple.

Cette réussite technologique est à l'origine des efforts considérables déployés depuis quelques années dans le domaine des micro-technologies, en vue de réaliser des microsystèmes. Ce sont des dispositifs dont la fabrication utilise autant que possible les matériaux et les procédés de la micro-électronique, et qui intègrent capteurs, traitement du signal, actionneurs et alimentation. Le but est évidemment de tirer profit de tous les avantages de la technologie silicium, notamment la production de masse à bas coût ainsi que la petite taille des dispositifs. L'élaboration de tels microsystèmes est cependant très complexe, et pendant de nombreuses années la recherche a concerné essentiellement de "simples" capteurs [1].

La recherche dans le domaine des capteurs chimiques est très diversifiée, Un capteur chimique ou biologique par contre doit détecter de manière sélective une espèce chimique donnée, telle des ions H^+ ou Na^+ , ou bien une espèce biologique donnée, telle une enzyme spécifique, dans un milieu souvent très complexe. Ensuite il doit traduire cette reconnaissance en un signal électrique [2],[3].

Le développement des capteurs chimiques est actuellement le plus avancé. Ils ont été parmi les premiers capteurs commercialisés, car ils peuvent être réalisés entièrement avec la technologie classique du silicium.

Le travail présenté s'inscrit dans un projet qui vise à l'étude d'un capteur chimique à base d'un guide optique pour la détection. Les techniques actuellement utilisées sont sélectives et sensibles. Il est constitué d'une structure Si/SiO₂.

Dans ce mémoire, nous avons proposé trois chapitres. Dans le premier chapitre un rappel a été donné concernant les ondes électromagnétiques et le guidage de la lumière. Dans le deuxième chapitre, la définition d'un capteur ainsi que les principales caractéristiques d'un capteur sont exposées de façon générale. Enfin, le troisième chapitre est illustré par une série de simulations en utilisant la méthode des éléments finis dans le but d'étudier l'influence des paramètres géométriques sur la sensibilité du capteur et sur le guide de lumière.



Chapitre 1 Généralités sur les guides optiques

1.1 Introduction

Dans ce chapitre seront énoncées quelques notions de base nécessaires à la compréhension de l'optique guidée.

1.2 Ondes électromagnétiques

1.2.1 Théorie électromagnétique de la lumière

La théorie ondulatoire de la lumière a gagné ses lettres de noblesse lorsque le physicien JAMES CLERK MAXWELL associa la lumière à un phénomène électromagnétique. Ainsi, la lumière étant une onde électromagnétique, elle n'avait pas besoin d'un milieu dans lequel se propager. Elle pouvait très bien se déplacer dans le vide [4].

D'après la théorie électromagnétique de la lumière, une onde lumineuse est constituée de la superposition d'un champ électrique et d'un champ magnétique oscillant dans le temps avec une fréquence f et se déplaçant, dans le vide, à une vitesse c [4].

Depuis le début du XX^e siècle, les physiciens utilisent une théorie dualiste de la lumière (et même de la matière en général). On parle en effet maintenant de la dualité onde-particule de la lumière. Ainsi, la lumière se comporte sous certaines conditions comme une onde et, sous certaines autres conditions, comme une particule. De plus, du point de vue de la physique quantique, les photons seraient des « paquets d'onde », et non des particules ponctuelles. (Ce point de vue a été introduit suite à la relation d'incertitude d'Heisenberg selon laquelle il est impossible de déterminer avec une précision infinie à la fois la vitesse et la position d'une particule.) [4].

La dualité onde-particule de la lumière nous offre une relation, étonnante au premier abord, puisqu'elle relie l'énergie d'un photon (théorie corpusculaire) à la fréquence de l'onde électromagnétique (théorie ondulatoire).

$$W=h.f \quad (1.1)$$

Où $h=6.62.10^{-34}J.S$ est la constante de Planck.

Vers le milieu du dix-neuvième siècle le physicien anglais JAMES CLERK Maxwell a réussi à exprimer les lois de l'électromagnétisme. En combinant celles-ci, il a abouti à des équations de propagation d'onde, et a montré que cette onde électromagnétique se propage dans le vide à la vitesse de la lumière [5].

1.2.2 Equations de Maxwell

Les équations de Maxwell décrivent de façon mathématique comment sont liées et comment interagissent charges électriques, courants électriques, champs électriques et champs magnétiques. Pour le dire simplement, elles décrivent quantitativement les phénomènes électriques, magnétiques et lumineux.

Ces équations sont très importantes en physique et tirent leur grande élégance dans leur simplicité : seulement quatre équations pour décrire tous les phénomènes de l'électromagnétisme [6]. Ci-après, nous allons voir ce que disent qualitativement ces équations, une par une.

Équation de Maxwell-Gauss

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = \frac{\rho}{\epsilon} \quad (1.2)$$

Équation de Maxwell-Thomson

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (1.3)$$

Equation de Maxwell-Faraday

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \quad (1.4)$$

Équation de Maxwell-Ampère

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \vec{j} + \varepsilon \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \quad (1.5)$$

Tels que :

\vec{E} : Champ électrique.

\vec{H} : Champ magnétique.

ρ : Densité de charges.

μ : Perméabilité magnétique.

\vec{j} : Densité de courant électrique.

ε : Permittivité électrique.

D'où $\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$, Induction magnétique.

Les équations de Maxwell-Ampère et de Maxwell-Faraday montrent que les deux champs électriques et magnétiques sont couplés et que la variation de l'un est proportionnelle à l'intensité du champ de l'autre. Elles traduisent de la même façon la conversion de la composante magnétique d'une onde électromagnétique en sa composante électrique et vice-versa.

Le génie mathématique de MAXWELL lui a permis ainsi de condenser une vingtaine de lois décrivant des phénomènes simples et plus ou moins indépendants dans seulement quatre équations cohérentes (par contre, l'élégance des équations de Maxwell n'enlève rien à la complexité des calculs et applications numériques qui peuvent en découler) [7].

Dans l'espace libre ou vide, où n'existe ni charge ($\rho = 0$), ni courant ($I = 0$), ces équations sont légèrement plus simples et deviennent :

$$\vec{\nabla} \cdot \vec{E} = 0 \qquad \vec{\nabla} \cdot \vec{H} = 0 \quad (1.6)$$

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{E} = -\frac{\partial \vec{B}}{\partial t} \qquad \vec{\nabla} \wedge \vec{H} = \varepsilon_0 \frac{\partial \vec{E}}{\partial t} \qquad (1.7)$$

1.2.3 Equations d'onde

Les équations de Maxwell appliquées à un milieu connu avec des conditions initiales et aux limites données, permettent théoriquement de décrire les champs électromagnétiques sous certaines conditions [8].

Ces équations sont utilisées pour l'étude de propagation dans des structures d'intérêt telles que les guides d'ondes [9].

En prenant le rotationnel de l'équation (1.4) :

$$\begin{aligned} \vec{\nabla} \wedge \vec{\nabla} \wedge \vec{E} &= \vec{\nabla} \wedge \left(-\mu \frac{\partial \vec{H}}{\partial t} \right) \\ &= -\mu \cdot \frac{\partial (\vec{\nabla} \wedge \vec{H})}{\partial t} \\ &= -\varepsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} - \mu \cdot \frac{\partial \vec{j}}{\partial t} \end{aligned} \qquad (1.8)$$

Où :

μ : la perméabilité magnétique et ε : La permittivité électrique.

Or : $\vec{\nabla} \wedge \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = \vec{\nabla} \cdot (\vec{\nabla} \cdot \vec{E}) - (\vec{\nabla} \cdot \vec{\nabla}) \cdot \vec{E}$ (propriété des fonctions vectorielles)

$$\vec{\nabla} \wedge \vec{\nabla} \wedge \vec{E} = \vec{\nabla} \left(\frac{\rho}{\varepsilon} \right) - \vec{\nabla}^2 \vec{E} \qquad (1.9)$$

En utilisant (1.8) et (1.9), nous obtenons :

$$\varepsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu \cdot \frac{\partial \vec{j}}{\partial t} = \vec{\nabla}^2 \vec{E} - \frac{1}{\varepsilon} \vec{\nabla}(\rho)$$

Avec : $\Delta = \vec{\nabla}^2$ Laplacien.

L'équation d'onde dans un milieu matériel homogène (ϵ, μ) s'écrit :

$$\epsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} + \mu \cdot \frac{\partial \vec{J}}{\partial t} = \Delta \vec{E} - \frac{1}{\epsilon} \cdot \vec{\nabla} \rho \quad (1.10)$$

En absence de charges, et de courant ($J = 0, \rho = 0$) dans le cas d'un milieu diélectrique homogène l'équation (1.10) se réduit à :

$$\Delta \vec{E} - \epsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial t^2} = 0 \text{ (Équation d'onde pour un champ électrique)} \quad (1.11)$$

De la même manière, nous trouvons l'équation d'onde pour un champ magnétique.

$$\Delta \vec{H} - \epsilon \cdot \mu \cdot \frac{\partial^2 \vec{H}}{\partial t^2} = 0 \quad \text{(Equation d'onde pour un champ magnétique)} \quad (1.11^*)$$

Dans le cas où le champ électromagnétique a une variation harmonique dans le temps et suivant la direction de propagation z :

$$\vec{E}(x, y, z, t) = \vec{E}_0(x, y) e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (1.12)$$

$$\vec{H}(x, y, z, t) = \vec{H}_0(x, y) e^{j(\omega t - \beta z)} \quad (1.13)$$

Nous obtenons les équations d'ondes :

$$\frac{\partial^2 \vec{E}_0(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{E}_0(x, y)}{\partial y^2} + [k_0^2 n^2 - \beta^2] \vec{E}_0(x, y) = 0 \quad (1.14)$$

$$\frac{\partial^2 \vec{H}_0(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \vec{H}_0(x, y)}{\partial y^2} + [k_0^2 n^2 - \beta^2] \vec{H}_0(x, y) = 0 \quad (1.15)$$

Ou $k_0 = \frac{2\pi}{\lambda}$, vecteur d'onde dans le vide.

β : Constante de propagation.

n : Indice de refraction.

1.3 Théorie des guides optiques

Les guides d'onde optiques sont des guides qui confinent et guident la lumière. Les guides optiques sont basés sur le principe de la réflexion interne totale où la lumière est confinée optiquement dans une région de haut indice de réfraction entourée par un revêtement d'indice de réfraction inférieur. Récemment, le guide d'onde emploie généralement des géométries planaires de dimensions nanométriques et de matériau qui permettent des fonctions de type couplage, modulation, multiplexage, amplification, etc. Ces guides sont associés aux fibres optiques de structure cylindrique dont la fonction principale est la transmission de l'information [10].

1.3.1 Modes des guides optiques

En fonction de la polarisation, l'onde électromagnétique peut être classifiée en deux modes : le mode transverse électrique (TE) et le mode transverse magnétique (TM).

Dans le cas de guide de mode TE, le champ électrique n'existe pas dans la direction de propagation de l'onde ($E_z=0$),

$$\vec{E} \left| \begin{array}{l} E_x = 0 \\ E_y \neq 0 \\ E_z = 0 \end{array} \right. \quad \vec{H} \left| \begin{array}{l} H_x \neq 0 \\ H_y = 0 \\ H_z \neq 0 \end{array} \right.$$

De même pour le guide de mode TM, le champ magnétique n'existe pas dans la direction de propagation de l'onde ($H_z=0$) [11].

$$\vec{E} \left| \begin{array}{l} E_x \neq 0 \\ E_y = 0 \\ E_z \neq 0 \end{array} \right. \quad \vec{H} \left| \begin{array}{l} H_x = 0 \\ H_y \neq 0 \\ H_z = 0 \end{array} \right.$$

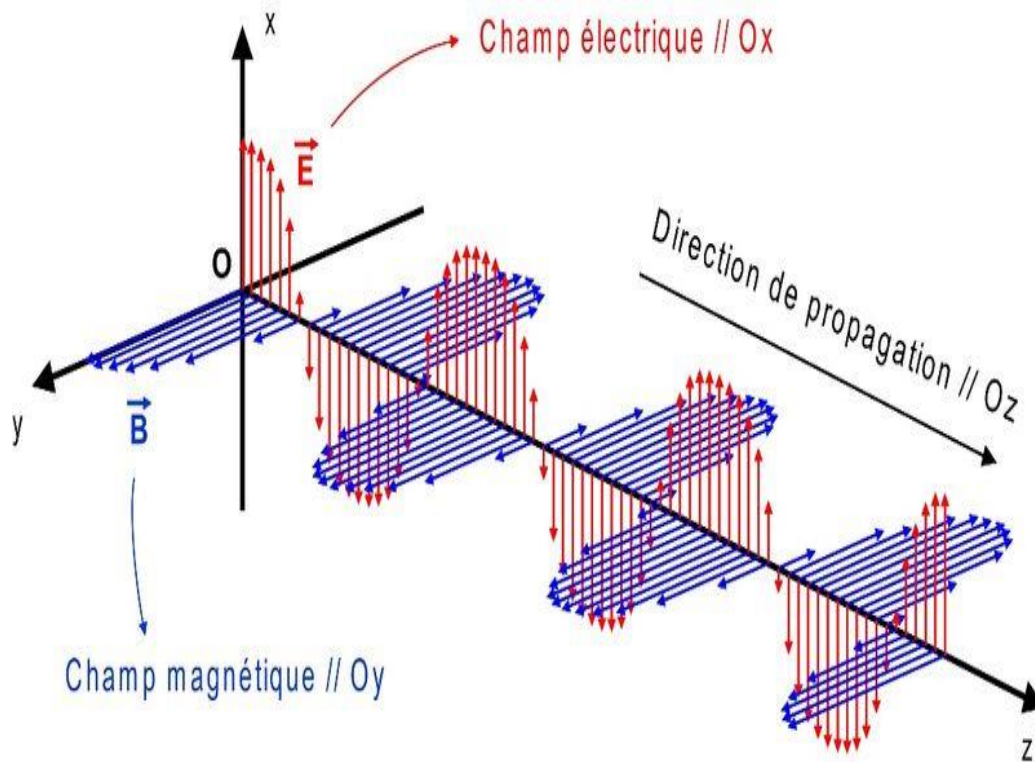


Figure 1.1. Propagation des ondes électromagnétiques.

1.3.2 Guide optique planaire

Le guide d'onde plan est un empilement de trois couches de matériaux d'indices de réfraction différents (figure 1.1). La lumière se propage préférentiellement dans la couche d'indice de réfraction n_2 , celle-ci est entourée de deux couches : une couche inférieure de substrat d'indice de réfraction n_3 et une couche supérieure de couverture d'indice de réfraction n_1 . Pour qu'il y ait guidage de la lumière, il faut que l'indice de réfraction n_2 de la couche guidant (active) soit supérieur à celui des couches latérales, où le champ est évanescent [12].

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.

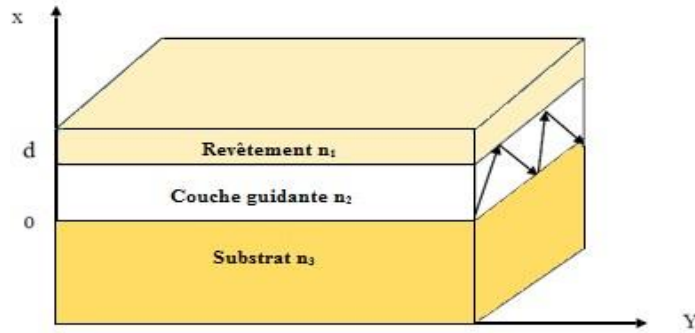


Figure 1.2. Représentation graphique d'un guide d'onde planaire.

1.3.3 Guide bidimensionnel

Un guide d'onde plan présente généralement peu d'intérêt en optique intégrée car la lumière diverge transversalement lors de sa propagation, d'où la nécessité de la réalisation des guides à deux dimensions.

Avec la technologie actuelle, il est aisé de réaliser un confinement latéral en utilisant un guide bidirectionnel. On appelle un guide bidimensionnel un guide d'onde de section constante invariante en z et dont l'indice de réfraction varie dans la section.

Les modes TE et TM n'existent pas au sens strict pour un guide d'onde bidirectionnel, néanmoins il y a toujours deux familles de solutions qu'on désigne par les termes quasi-TE et quasi-TM [13].

1.3.4 Guide optique rectangulaire

Dans les guides d'ondes optiques 1D, la lumière est confinée dans une seule dimension (la dimension x dans notre notation). Dans la plupart des guides d'ondes réels, la lumière est confinée dans deux dimensions (x et y) et se déplace dans la direction z [13].

La section transversale d'un guide optique rectangulaire est illustrée sur la figure 1.2 :

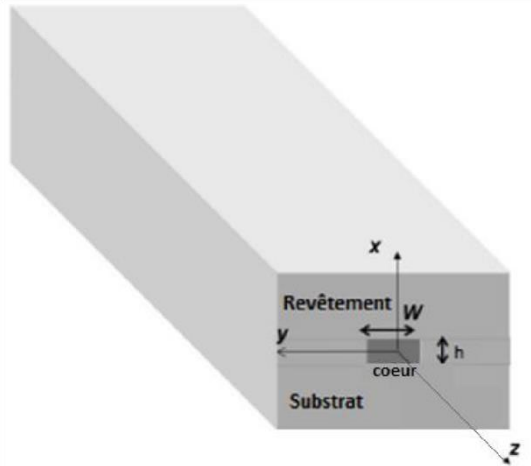


Figure 1.3. Représentation graphique d'un guide d'onde rectangulaire.

Il existe différents types de guides non planaires qui sont différenciés par les caractéristiques spécifiques de leur profil d'indice. On peut citer :

- Guide Buried Channel.
- Guide Rib.
- Guide Ridge.

a Guide Buried Channel :

Ce guide est formé par un cœur de haut d'indice entouré par un milieu de faible indice. La section transversale de la couche guidant peut avoir une géométrie quelconque, mais généralement de forme rectangulaire [13].

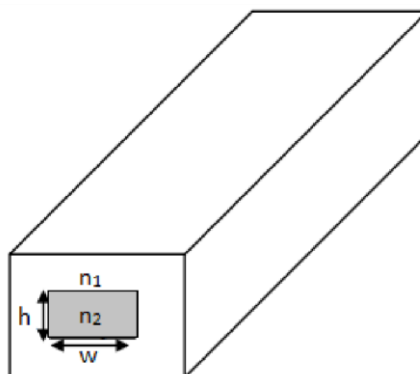


Figure 1.4. Guide Buried Channel.

b Guide Rib

Le guide d'onde Rib est un guide d'ondes, dans lequel la couche de guidage se compose essentiellement d'un cœur déposé sur une couche de même indice [13].

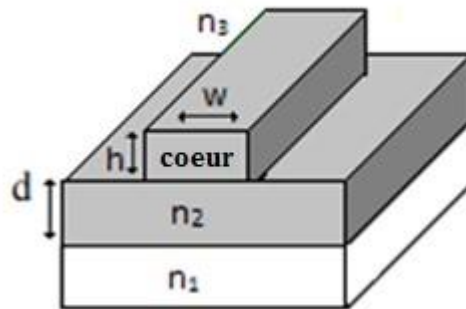


Figure 1.5. Guide Rib.

n_1 , n_2 et n_3 des indices de réfraction tels que : $n_2 > n_1 > n_3$

c Guide Ridge

Le guide Ridge est composé d'un cœur à haut d'indice, entouré par les trois côtés par un milieu de faible indice (air ou matériaux) [13].

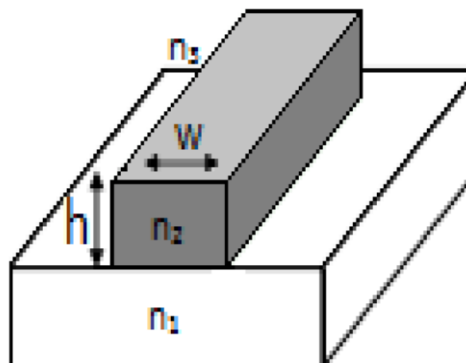


Figure 1.6. Guide Ridge.

d Guide de lumière slot

Le guide Slot est basé sur une région de faible indice et de faible épaisseur (Slot rempli d'air ou de (SiO_2)) entourée par deux régions de fort indice (Si). Dans de telles structures, le champ électrique dans la région de faible indice est important comparé à celui dans les régions à fort indice, à cause des indices aux interfaces à fort contraste d'indices [14].

d.1 Géométrie du guide Slot

Le guide Slot est représenté sur la « Figure 1.7 ». Les indices de réfraction des régions à fort indice et à faible indice ont pour valeurs respectives : $n_1 = 3,5$ (Si) et : $n_2 = 1,45$ (SiO_2). La structure est recouverte par du SiO_2 , H est la hauteur du guide, W est la largeur des régions en silicium et g est la distance entre les deux cœurs du Slot. La longueur d'onde de fonctionnement est prise égale à $1,55\mu m$.

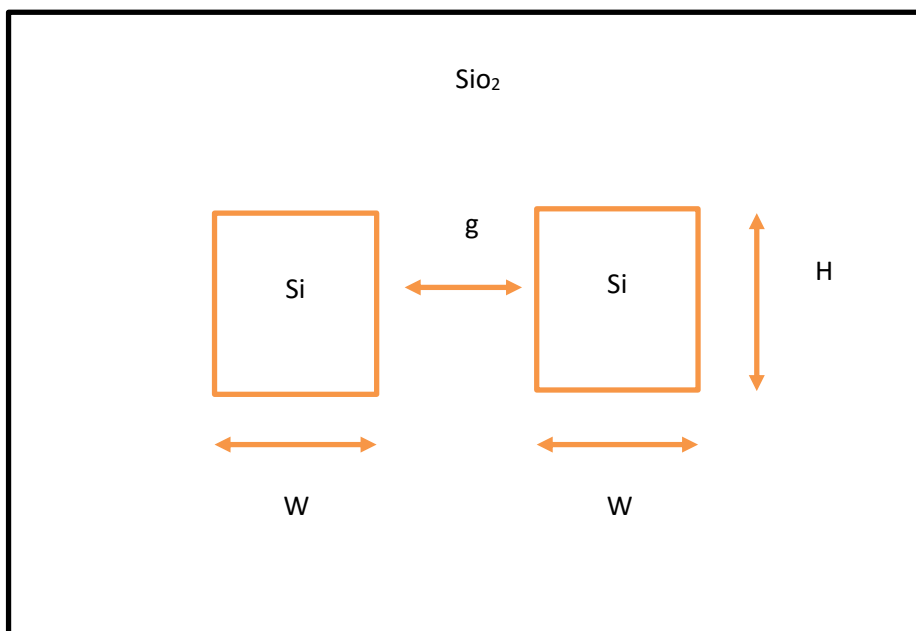


Figure 1.7. Géométrie du guide Slot.

1.4 Les caractéristiques d'un guide de lumière

1.4.1 L'indice effectif

Nous venons de voir qu'un guide d'onde optique est un système constitué de différents matériaux diélectriques dans lequel une onde optique peut être guidée par réflexion totale interne. Selon la structure d'un guide, il peut être monomode ou multimode, c'est-à-dire qu'il ne supporte qu'un seul mode ou plusieurs modes.

En considérant l'approche géométrique, chaque mode peut être associé à des rayons lumineux dont l'angle d'incident respecte la condition de guidage.

Soit un guide d'onde plan dans lequel une onde optique de vecteur \vec{K} , de longueur d'onde λ_0 dans le vide, se propage dans la direction O_z et est confinée dans la direction O_x (figure 1.8) [15].

Les composants du vecteur \vec{K} dans les directions o_z et O_x ainsi que son module sont :

$$K_z = \frac{2\pi}{\lambda_0} n f \sin \theta \quad (1.16)$$

$$K_x = \frac{2\pi}{\lambda_0} n f \cos \theta \quad (1.17)$$

$$|\vec{K}| = \frac{2\pi}{\lambda_0} n f \quad (1.18)$$

La constante de propagation étant définie comme le module du vecteur d'onde et la propagation s'effectuant dans la direction o_z , la constante de propagation β , suivant o_z , des modes guidés correspond donc à la projection de \vec{K} dans cette direction ($\beta=K_z$). L'indice effectif d'un mode guidé correspond au rapport entre la constante de propagation β de ce mode et la constante de propagation dans le vide ($k_0=\frac{2\pi}{\lambda_0}$) d'où :

$$n_{\text{eff}} = \frac{\lambda_0}{2\pi} \beta \quad \rightarrow \quad n_{\text{eff}} = \frac{\beta}{k_0} \quad (1.19)$$

β =constante de propagation. k_0 = vecteur d'onde dans le vide.

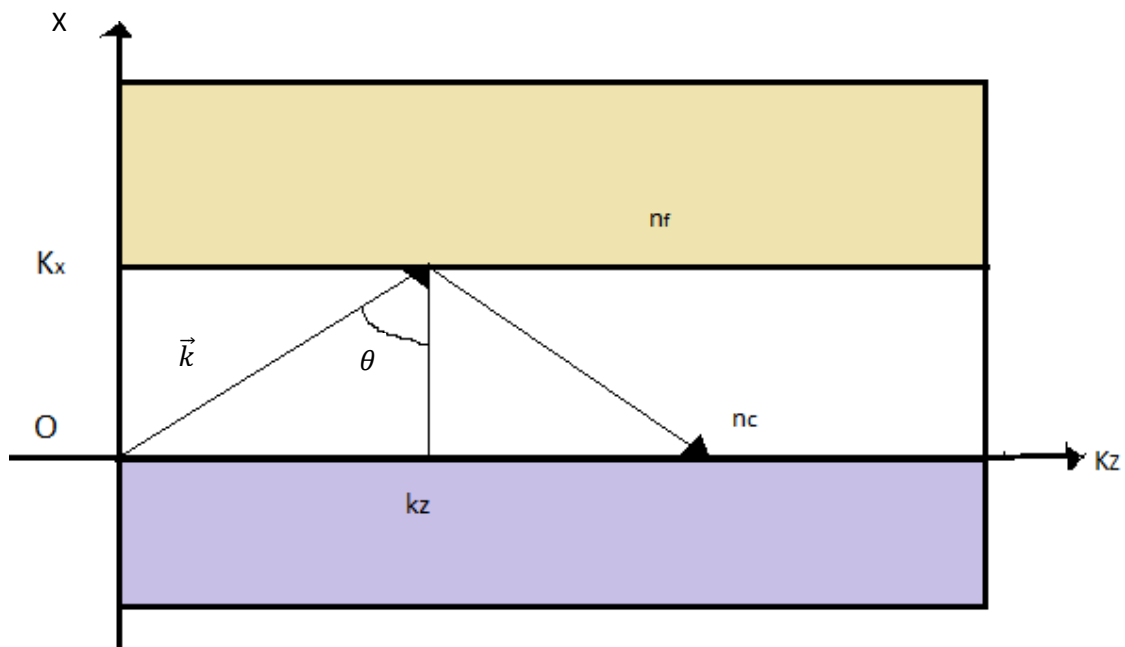


Figure1.8. Principe de guidage de la lumière dans une guide planaire

1.4.1 Le facteur de confinement

Pour différentes caractéristiques des matériaux utilisés dans la fabrication des guides, on obtient plusieurs choix.

Notre objectif est de sélectionner le meilleur en se basant sur certains critères :

- Le maximum de puissance dans la couche guidant.
- En tendant vers les extrémités du guide, les champs doivent être nuls, pour les fuites d'ondes en dehors du guide.

Ces deux critères peuvent être contrôlés par un facteur très important appelé facteur de confinement.

Ce facteur de confinement est le rapport de la puissance dans la couche guidante à la puissance totale.

$$\Gamma = \frac{\text{puissance dans le guide}}{\text{puissance totale}} \quad (1.20)$$

Avec :

$$\Gamma = \frac{\int_{\text{guide}} |E|^2 dx.dy}{\int_{\text{structure}} |E|^2 dx.dy} \quad (1.21)$$

Où E : est la composante de champ électrique.

1.5 L'indice de réfraction

L'indice de réfraction est défini comme étant le rapport entre la vitesse de la lumière dans le vide et la vitesse de la lumière dans le matériau considéré. Il dépend de la longueur d'onde du faisceau lumineux. La valeur de cet indice pour une radiation électromagnétique de fréquence ν ou de longueur d'onde λ est donnée par la relation suivante :

$$n = \frac{c}{V_\phi} \quad (1.22)$$

Où V_ϕ représente la vitesse de phase de l'onde optique dans le milieu considéré.

La vitesse de phase peut être déterminée à partir de la théorie de Maxwell [15], elle peut s'exprimer par :

$$V_\phi = \frac{c}{\sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r}} \quad (1.23)$$

Où ϵ_r et μ_r représentent respectivement la permittivité électrique relative et la perméabilité magnétique relative du milieu.

1.6 Conclusion

Ce chapitre nous a permis de comprendre comment évolue la propagation des ondes électromagnétiques à l'intérieure d'un guide d'onde optique.

Nous avons aussi exposé différentes structures de guides de lumière ainsi que leurs paramètres.

2.1 Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les capteurs chimiques à base de guide optique, de ce fait nous essayerons de donner un aperçu général sur les capteurs, plus particulièrement, leur définition, les paramètres qui les caractérisent...

Pour cela nous avons étudié trois structures différentes, capteur à base de guide RIB, capteur à base de guide Wire et capteur à base de guide slot.

2.2 Généralités sur les capteurs

2.2.1 Définition d'un capteur

Un capteur est un dispositif qui sous l'effet d'une grandeur physique que l'on souhaite connaître et caractériser délivre une grandeur physique exploitable (par exemple signal électrique). On parle aussi de transducteur, puisque la grandeur physique d'entrée est généralement transformée en une autre grandeur physique de sortie comme un signal électrique tel qu'un courant, une tension, une charge, une impédance, etc.

2.2.2 Principales caractéristiques d'un capteur

Les qualités d'un capteur par rapport à la nature de la grandeur à mesurer et aux conditions de mesure sont appréciées en déterminant ses six principales caractéristiques : les 3 « S » : Sensibilité, Sélectivité et Stabilité mais aussi la réversibilité, la reproductibilité, la limite de détection et le temps de réponse et de recouvrement. Dans notre travail nous nous sommes intéressés plus particulièrement à la performance la plus importante pour un capteur : la sensibilité.

a La sensibilité

La sensibilité S détermine l'évolution de la grandeur de sortie en fonction de la grandeur d'entrée en un point donné, c'est-à-dire le dérivé de la grandeur de sortie par rapport à celle d'entrée.

$$S = \frac{\partial n_{eff}}{\partial n_c} \quad (2.1)$$

n_{eff} = l'indice effectif du guide.

n_c = l'indice de réfraction de la couche sensible.

S = la sensibilité

2.2.3 Constitution d'un capteur

Certains capteurs sont des capteurs dits « composites », c'est à dire composés de 2 parties ayant un rôle bien défini : Corps d'épreuve : C'est un élément qui réagit sélectivement aux variations de la grandeur à mesurer. Il a pour rôle de transformer cette grandeur en une autre grandeur physique dite mesurable. Elément de transduction : C'est un élément lié au corps d'épreuve qui traduit ses réactions en une grandeur physique exploitable [17].

2.3 Types de capteurs

2.3.1 Capteur optique

Les capteurs optiques se répartissent en plusieurs catégories selon leur mode de fonctionnement d'une part (spectroscopie ou changement de propriétés optiques) et le type de dispositif qu'ils requièrent d'autre part. Ce type de capteur présente l'avantage de ne pas présenter de danger en atmosphère explosive [15].

a. Différents types de capteurs optiques

L'utilisation de composants optiques, comme la fibre standard ou sous-marine dans les domaines des télécommunications optiques, a conduit à s'affranchir des perturbations électromagnétiques basses fréquences et à limiter les pertes optiques par propagation. Cette limitation a donc permis de mieux étudier le comportement des dispositifs optiques vis-à-vis des perturbations environnementales. Ainsi, le développement de capteurs optiques performants est rendu possible en s'intéressant aux différents mécanismes d'interactions physiques extérieures que l'on souhaite caractériser (figure 2.1). Il existe actuellement plusieurs capteurs optiques comme les capteurs de pression, de température, de vitesse, de position, d'humidité, mais aussi des capteurs biologiques [15].

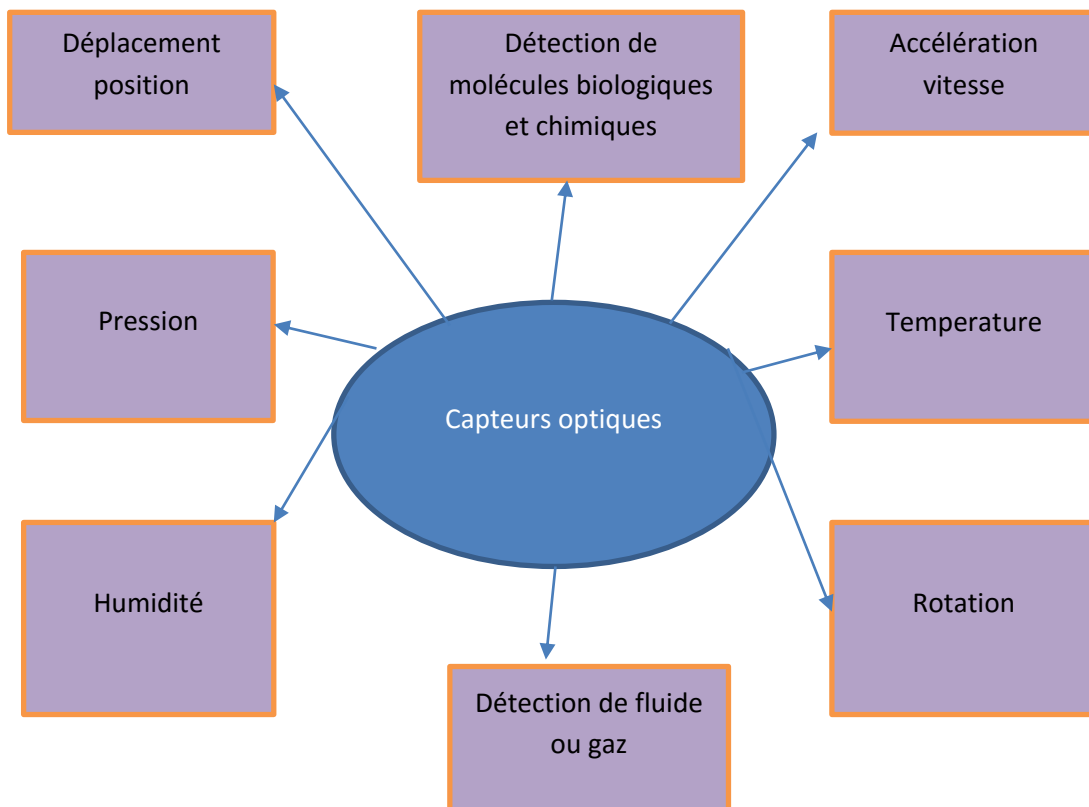


Figure 2.1. Quelques applications des capteurs optiques.

2.3.2 Capteur chimique

Un capteur chimique est un système simple constitué d'une couche sensible permettant la reconnaissance de l'espèce à mesurer et d'un système transducteur transformant l'interaction chimique en un signal électrique de sortie. Ses fonctions sont soit de mesurer la concentration d'une entité particulière, soit de caractériser l'existence d'une entité dans un mélange. Il existe plusieurs familles de capteurs chimiques qui se distinguent par le type de couche sensible et le principe de transduction. Les capteurs chimiques peuvent fonctionner en phase aqueuse comme en phase gazeuse [20].

Notre projet est basé sur l'étude des trois structures différentes de capteurs chimiques à base de guide optique.

a capteur chimique à base de guide RIB

Structure

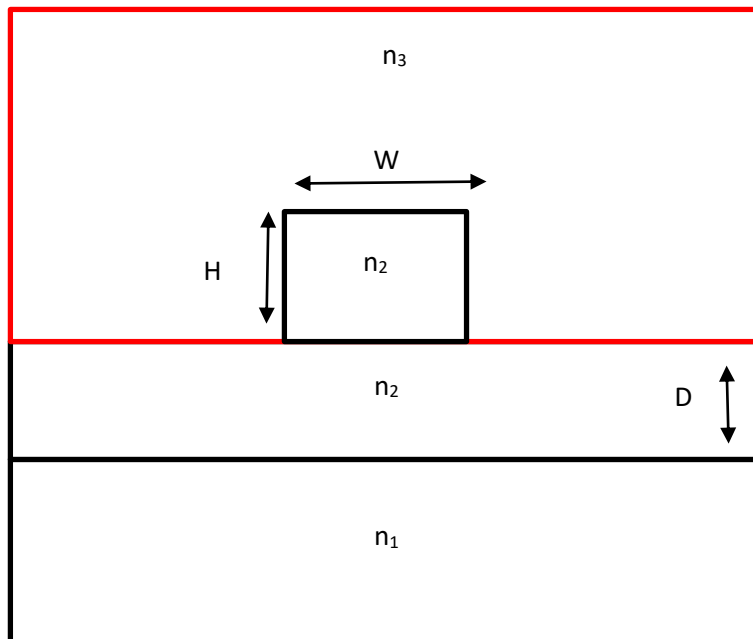


Figure 2.2. Capteur chimique à base de guide RIB.

Description

La figure 2.2 illustre un guide RIB avec un cœur Si d'indice de réfraction $n_2=3,5$, de largeur W , et d'une hauteur H , limité par une couche de même indice d'épaisseur D et

recouvert par la solution à tester d'indice n_3 . Les indices de réfractifs des trois couches sont valables pour une longueur d'onde $\lambda=1,55 \mu\text{m}$.

b capteur chimique a base de guide Wire

Structure

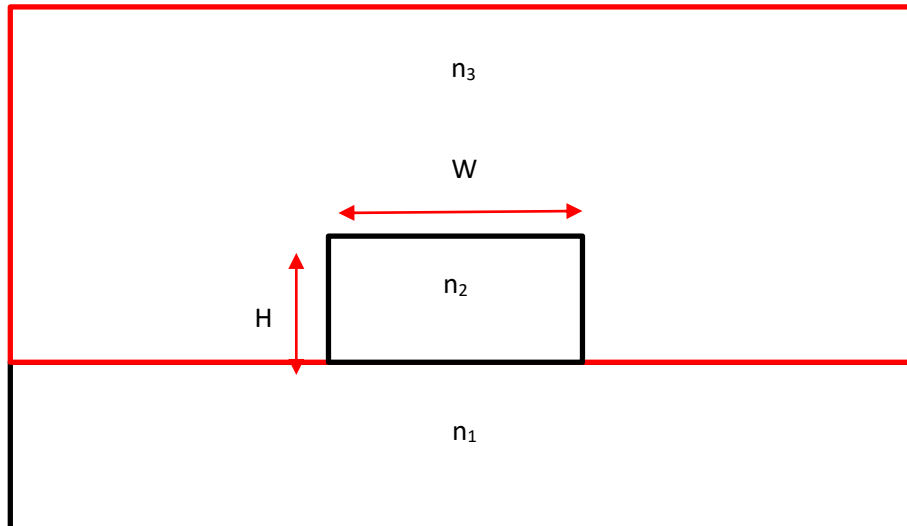


Figure 2.3. Capteur chimique à base de guide Wire.

Description

La figure 2.3 représente un guide Wire avec un cœur Si, d'indice de réfraction $n_2=3,5$, de largeur W , et d'une hauteur H , limité par un substrat en oxyde de silicium SiO_2 d'indice de réfraction $n_1=1,5$ et une couverture de solution aqueuse d'indice de réfraction $n_3=1,33$ (de l'eau).

c capteur chimique à base de guide slot

Structure

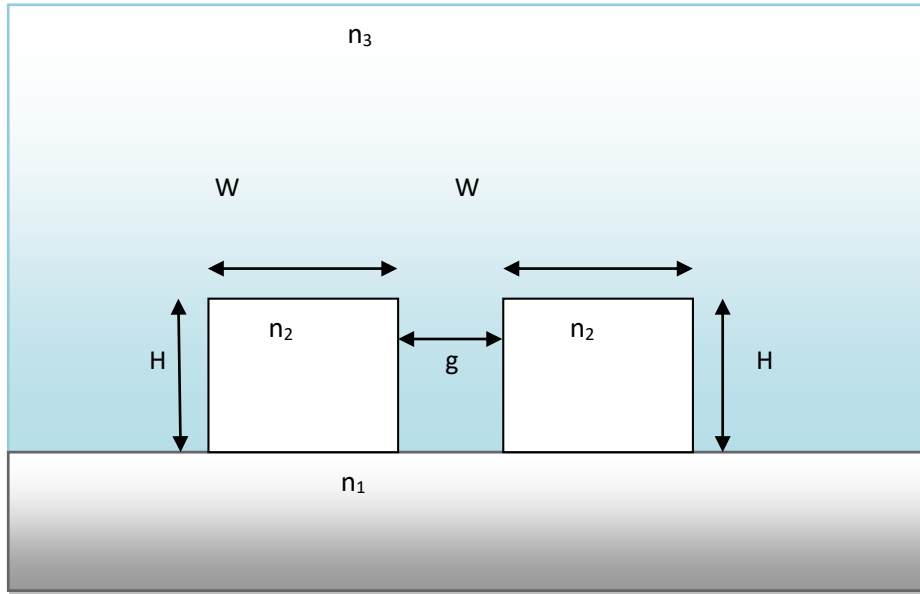


Figure 2.4. Capteur chimique à base de guide slot.

Description

La figure 2.4 représente un guide Slot avec deux cœurs Si, d'indice de réfraction $n_2=3.5$ de largeur W , et d'une hauteur H , la distance entre le premier cœur et le deuxième est g , limité par un substrat de SiO_2 d'indice de réfraction $n_1 = 1,5$ et une couverture de solution aqueuse d'indice n_3 .

2.4 Principe de fonctionnement pour les trois structures

Une analyse détaillée de ces types de capteurs indique que le changement d'indice dans la couche sensible (n_3) implique forcément un changement de l'indice effectif du guide.

2.5 Domaines d'utilisation du capteur

Tous les domaines d'activité nécessitent l'emploi de capteurs [19].

Exemples :

- Automobile.
- Contrôle de la production.
- Agriculture.

-Sécurité.

-Médical (domaine de micro capteur).

-Electroménager.

2.6 Conclusion

Dans ce chapitre nous avons donné des généralités sur les capteurs, leurs principales caractéristiques et leurs constitutions. Nous avons également décrit le principe de fonctionnement d'un capteur chimique à base de guide optique pour différentes structures.

A partir du modèle théorique d'un capteur chimique à base de guide optique, une étude de l'influence des paramètres géométriques du guide optique sur le confinement optique et la sensibilité sera réalisée dans le prochain chapitre.

3.1 Introduction

Dans les années récentes, il existe un intérêt croissant pour les capteurs optiques très sensibles dans des domaines tels que le contrôle des procédés, le diagnostic médical, la surveillance de l'environnement...etc.

Dans cette partie, nous présentons le résultat de simulation des différents exemples de capteur chimiques à base de guides optiques à deux dimensions. Dans un premier temps, nous décrivons la méthode des éléments finis utilisée pour déterminer l'indice effectif par le logiciel consol. Ensuite, nous calculons la sensibilité et nous exposons les différents résultats obtenus de l'indice effectif, le facteur de confinement et de la sensibilité.

3.2 Simulations

3.2.1 Méthode des éléments finis à deux dimensions

La solution du problème scientifique passe par une représentation mathématique des phénomènes mis en jeu. Ces phénomènes sont en général multiples et compliqués. Pour les représenter, on est amené à négliger certains phénomènes et à simplifier certains autres. Même avec ces simplifications, les équations obtenues sont souvent insolubles par les méthodes algébriques connues. Il est alors nécessaire d'avoir recours à des méthodes numériques.

La méthode des éléments finis (MEF) est une méthode numérique qui permet de résoudre des équations aux dérivées partielles. Elle n'est pas limitée à la recherche de modes guidés car n'importe quel système dont les équations qui le régissent sont connues peut être traité.

La géométrie du système se décompose en domaines. Pour chaque domaine les

caractéristiques physiques doivent être identiques. Une fois que la géométrie du système est définie, chaque domaine est discrétisé spatialement selon un maillage fin ou grossier et qui peut dépendre du domaine. Pour chaque maille, le programme dans notre projet, on va utiliser le logiciel commercial (COMSOL) définit des points pour lesquels la (les) variable(s) pertinentes(s) va (vont) être calculée(s). En règle générale, les points choisis correspondent aux nœuds du maillage, ce qui impose une relation de continuité entre les différentes mailles. L'ensemble maille+points s'appelle l'élément. En fonction des équations à résoudre, le programme (ou l'utilisateur) va choisir les fonctions d'interpolation sur lesquelles la solution va être projetée. Pour chaque élément il est nécessaire de trouver les paramètres de la fonction d'interpolation qui permet d'avoir les valeurs de la solution aux points de la maille.

Une fois que le système d'équations qui relie les valeurs de la variable aux points de la maille aux paramètres de la fonction d'interpolation est déterminé, le programme construit un système d'équations algébriques pour le résoudre. Cette étape s'appelle la formulation variation du problème. Un des paramètres à optimiser est le temps de calcul. La première solution est d'utiliser des symétries du système. La

Deuxième solution consiste à optimiser le maillage. Ce dernier doit être adapté au mode recherché. A titre d'exemple, le maillage doit être fin dans les régions où les variations du champ sont rapides dans le domaine spatial. Inversement, si les variations du champ sont lentes dans le domaine spatial, le maillage peut être grossier.

La méthode des éléments finis (MEF) est notre méthode de prédilection dès que la géométrie du guide exige une résolution à deux dimensions.

3.2.2 Résultats de simulations

a Capteur chimique à base de guide optique Rib

La figure 3.1 représente un guide RIB avec un cœur (Si) d'indice de réfraction $n_2=3,5$, de la largeur W , et d'une hauteur H , limité par une couche de même indice d'épaisseur d et recouvert par la solution à tester d'indice n_3 . Les indices de réfractifs des trois couches sont valables pour une longueur d'onde $\lambda=1,55 \mu\text{m}$.

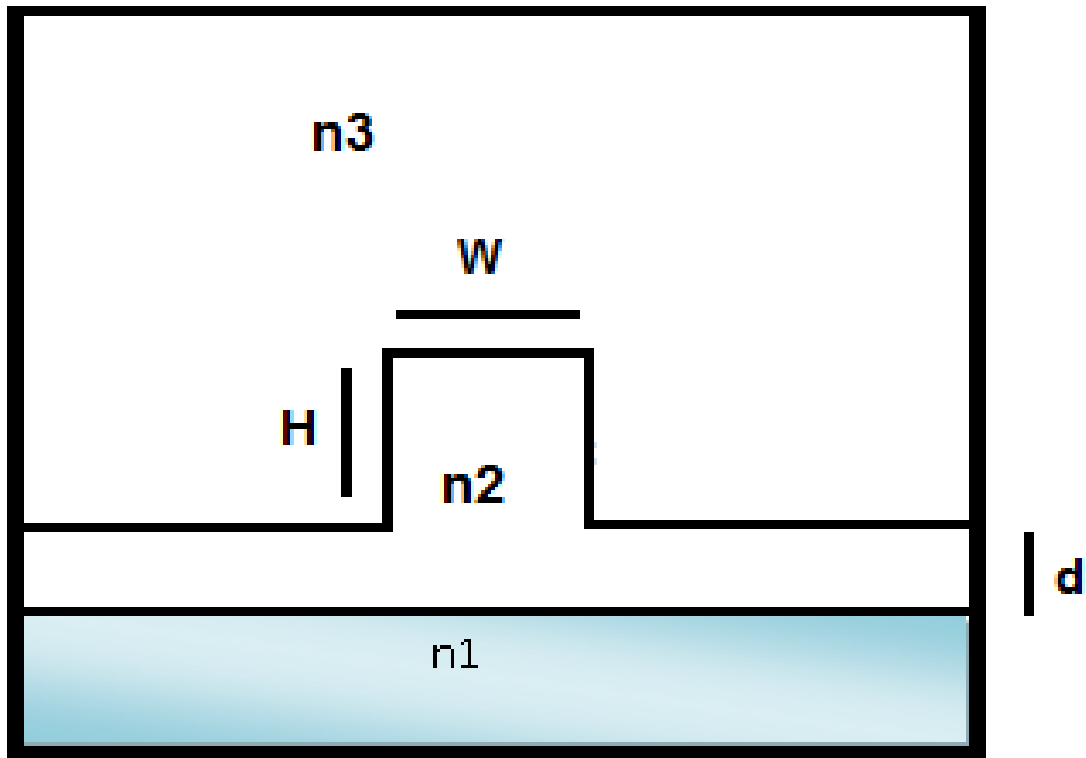


Figure 3.1. Capteur à base de guide Rib Si/SiO2.

a.1 Le mode TE (Transverse Electrique)

On étudie ce guide pour les modes TE qui sont décrits par l'expression du champ électrique E_x , se propageant dans la direction de l'axe des z.

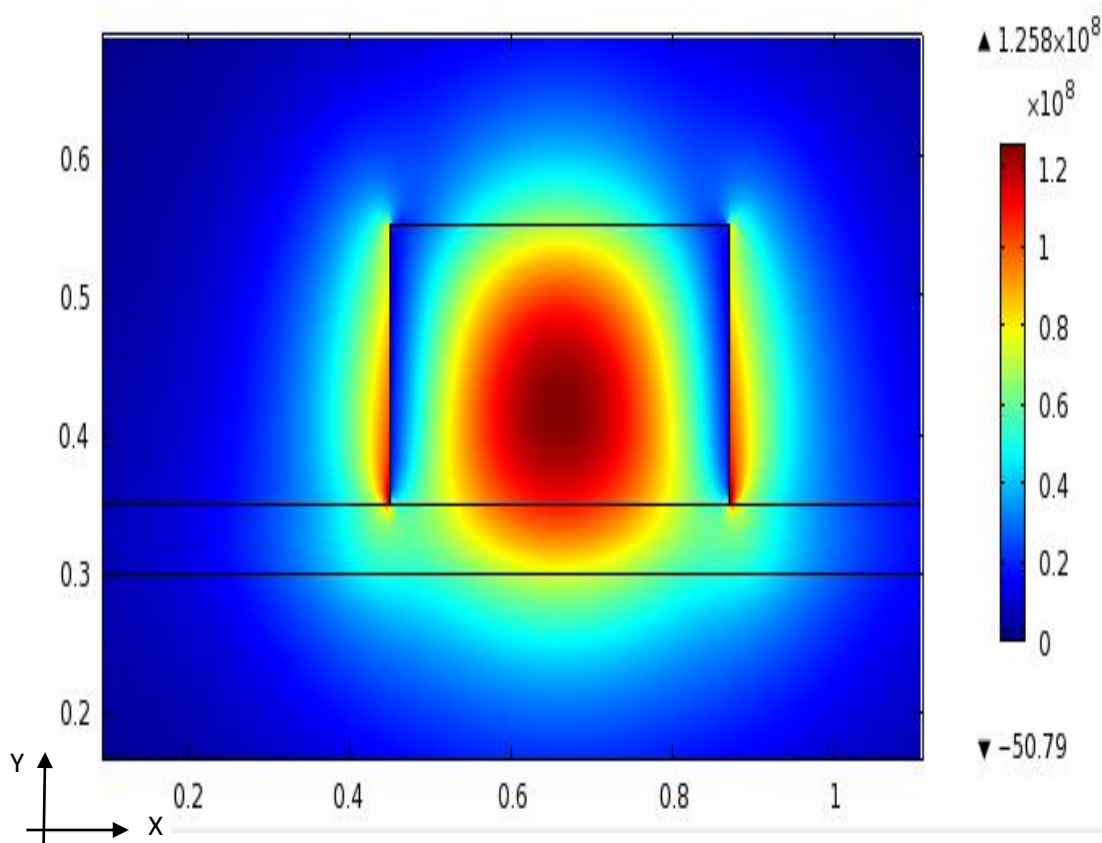


Figure 3.2. Répartition de champ électrique dans le capteur à base de guide Rib en mode TE pour $W=0,42 \mu\text{m}$, $H=0,2\mu\text{m}$, $d=0,2\mu\text{m}$ ($n_{\text{eff}}=2,476$).

La figure (3.2) représente la répartition du champ électrique dans le capteur à base de guide Rib en mode TE pour $W=0,42 \mu\text{m}$ ($n_{\text{eff}}=2,476$). On remarque que la lumière est bien confinée dans le guide.

a.2 Le mode TM (Transverse magnétique)

On étudie ce guide pour les modes TM qui sont décrits par l'expression du champ magnétique H_x , se propageant dans la direction de l'axe des z.

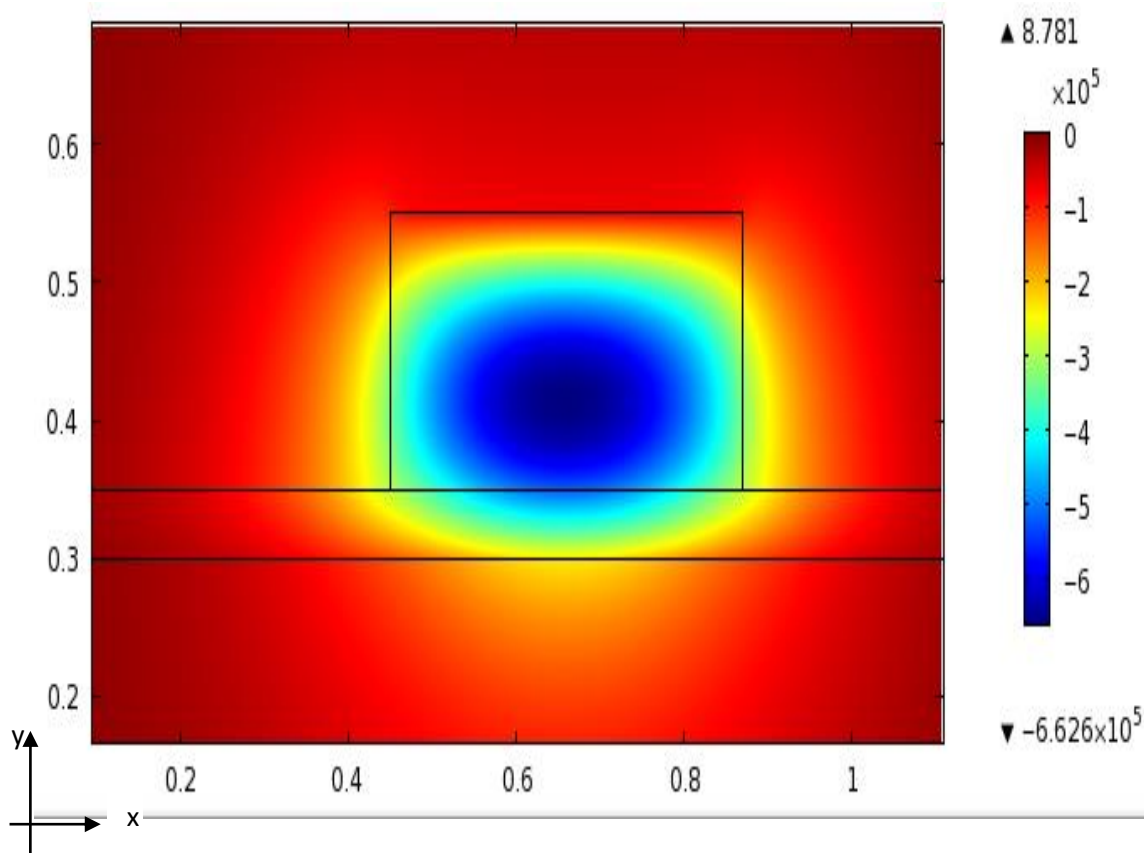


Figure 3.3. Répartition de champ magnétique dans le capteur à base de guide Rib en mode TM pour $W=0,42 \mu\text{m}$, $H=0,2\mu\text{m}$, $d=0,05\mu\text{m}$ ($n_{\text{eff}}=1,991$).

La figure (3.3) représente la répartition du champ magnétique dans le capteur à base de guide Rib en mode TM pour $W=0,42 \mu\text{m}$ ($n_{\text{eff}}=1,991$). On remarque que La lumière est bien confinée dans le guide.

a.3 L'indice effectif en fonction des paramètres géométriques de la structure

Dans notre travail, nous varions la hauteur H et la largeur W, et nous effectuons une série de simulations.

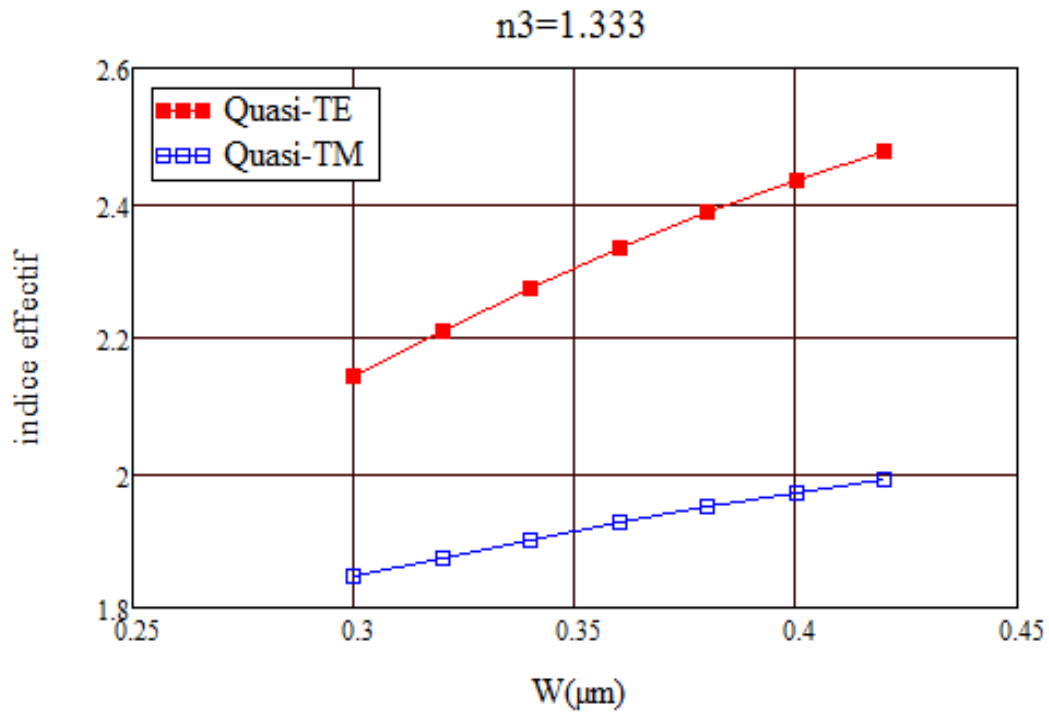


Figure 3.4. Variation de l'indice effectif en fonction de la largeur W avec $H=0,2\mu\text{m}$.

La figure (3.4) illustre la variation de l'indice effectif en fonction de la largeur W avec $H=0,2\mu\text{m}$. L'indice effectif croit avec la largeur W et le mode TE possède des valeurs plus grandes pour l'indice effectif que le mode TM.

a.4 Le facteur de confinement en fonction des paramètres géométriques de la structure

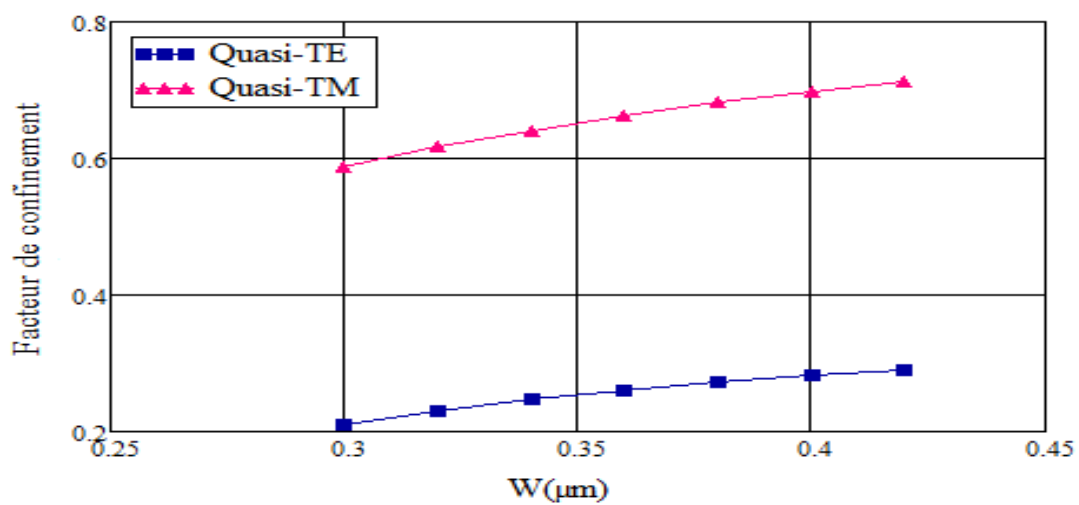


Figure 3.5. Variation de facteur de confinement en fonction de la largeur W .

La figure (3.5) illustre la variation du facteur de confinement en fonction de la largeur W . Le facteur de confinement croît avec la largeur W , et il est plus petit pour le mode TE que le mode TM.

a.5 La sensibilité en fonction de la largeur W

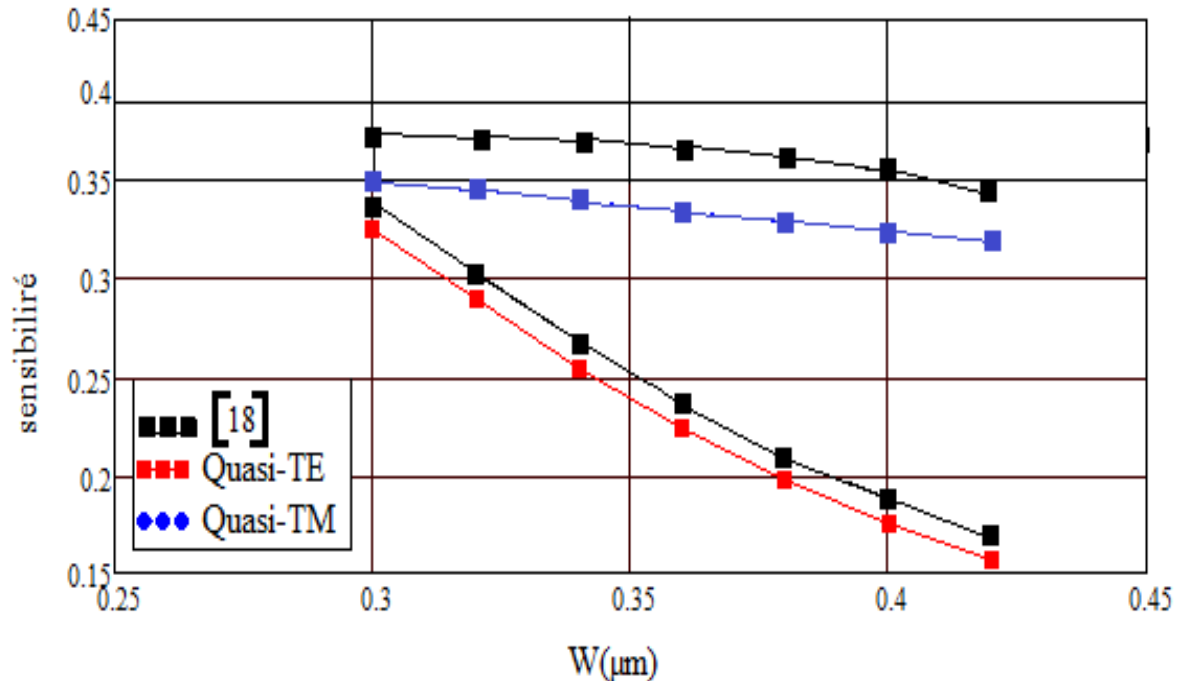


Figure 3.6. Variation de la sensibilité en fonction de la largeur W .

La figure (3.6) représente la variation de la sensibilité en fonction de la largeur W . On remarque que la sensibilité décroît avec la largeur W et le mode TM est plus sensible que le mode TE. Nos courbes sont proches des courbes de la référence [18] et présentent les mêmes allures.

b Capteur chimique à base de guide optique Wire

La figure 3.7 représente un guide Wire avec un cœur (Si), d'indice de réfraction $n_2=3,5$, de largeur W , et d'une hauteur H , limité par un substrat de l'oxyde de silicium (SiO_2) d'indice de réfraction $n_1=1,5$ et une couverture de solution aqueuse d'indice de réfraction $n_3=1,33$ (de l'eau).

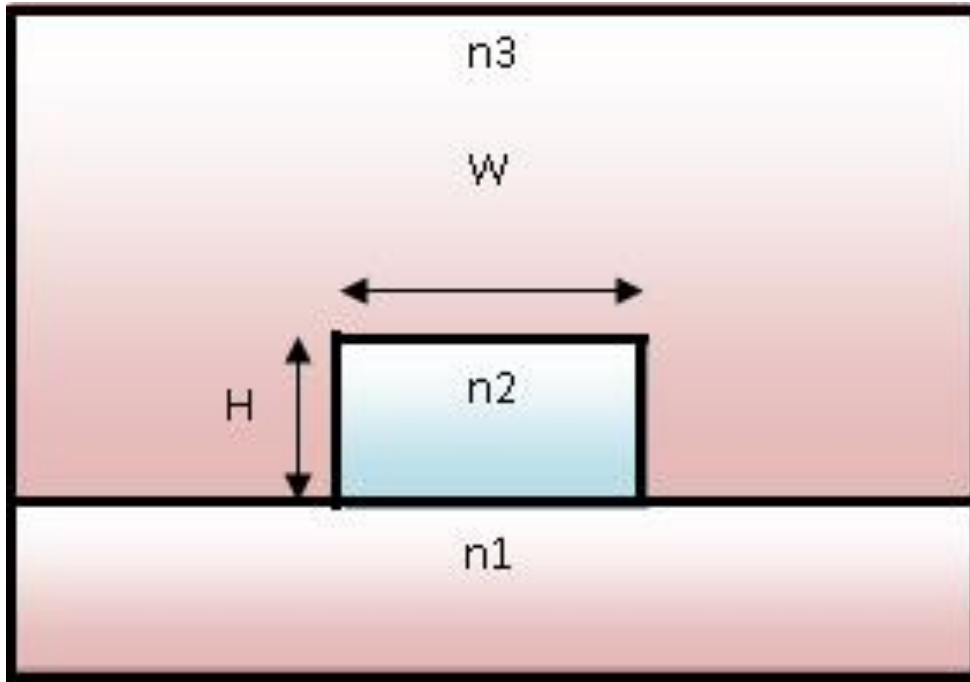


Figure 3.7. Capteur à base de guide Wire Si/SiO2.

b.1 Le mode TE (Transverse Electric)

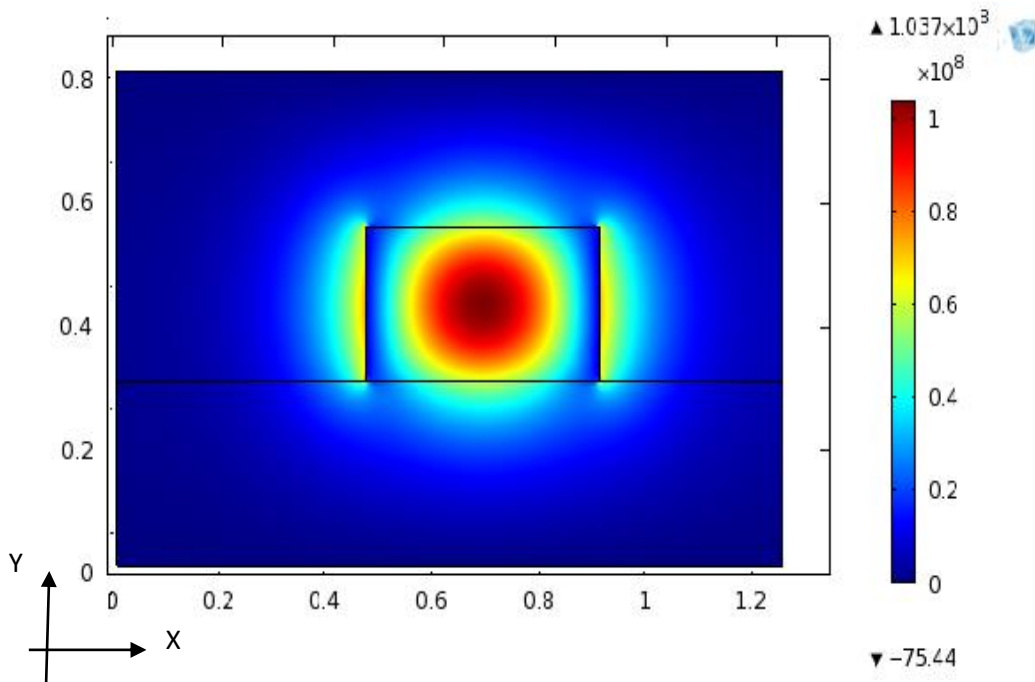


Figure 3.8. Répartition du champ électrique dans le guide Wire en mode TE pour $W=0,42\mu\text{m}$ ($n_{eff} = 2,387$).

La figure (3.8) illustre la répartition du champ électrique dans le guide Wire en mode TE. La lumière est bien confinée dans le guide en mode TE.

b.2 Le mode TM (Transverse Magnétique)

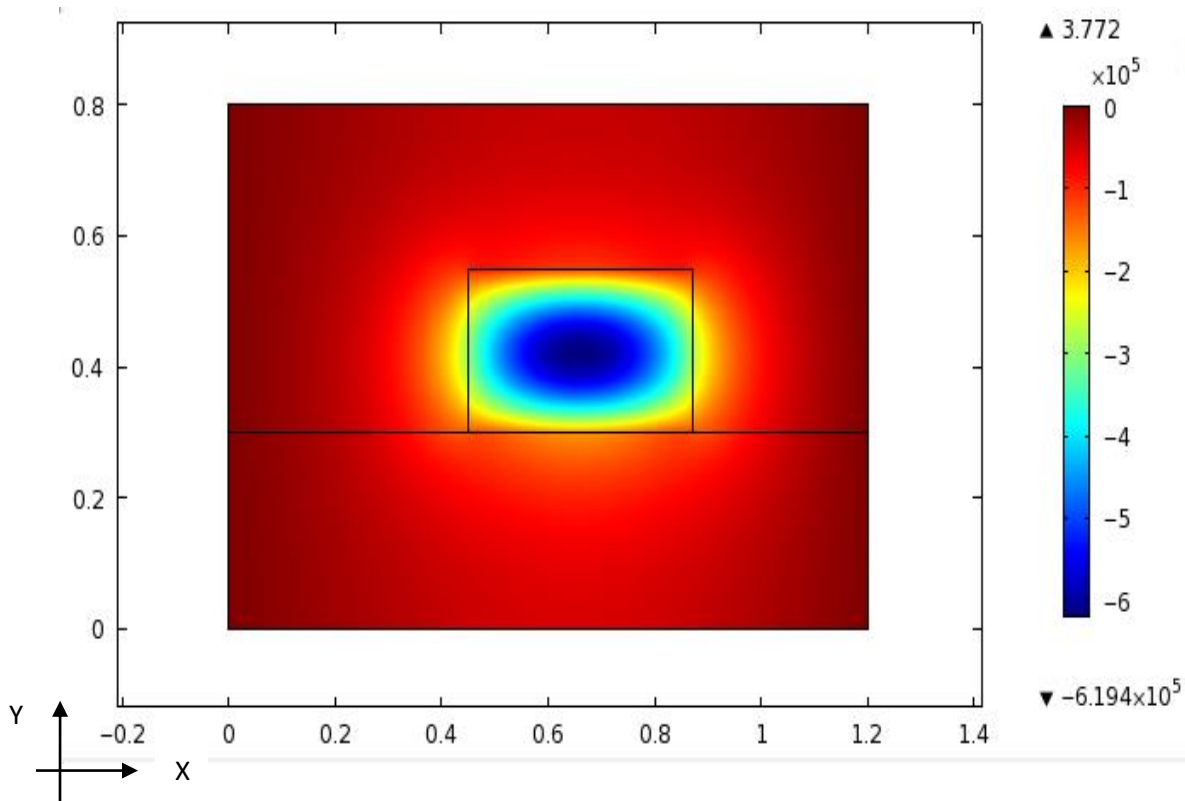


Figure 3.9. Répartition du champ magnétique dans le guide Wire en mode TM pour $W=0,42\mu\text{m}$.

La figure (3.9) représente la répartition du champ magnétique dans le guide Wire en mode TM pour $W=0,42\mu\text{m}$. Nous remarquons que les composantes du champ magnétique sont bien confinées et les pertes sont faibles.

b.3 L'indice effectif en fonction des paramètres géométriques de la structure

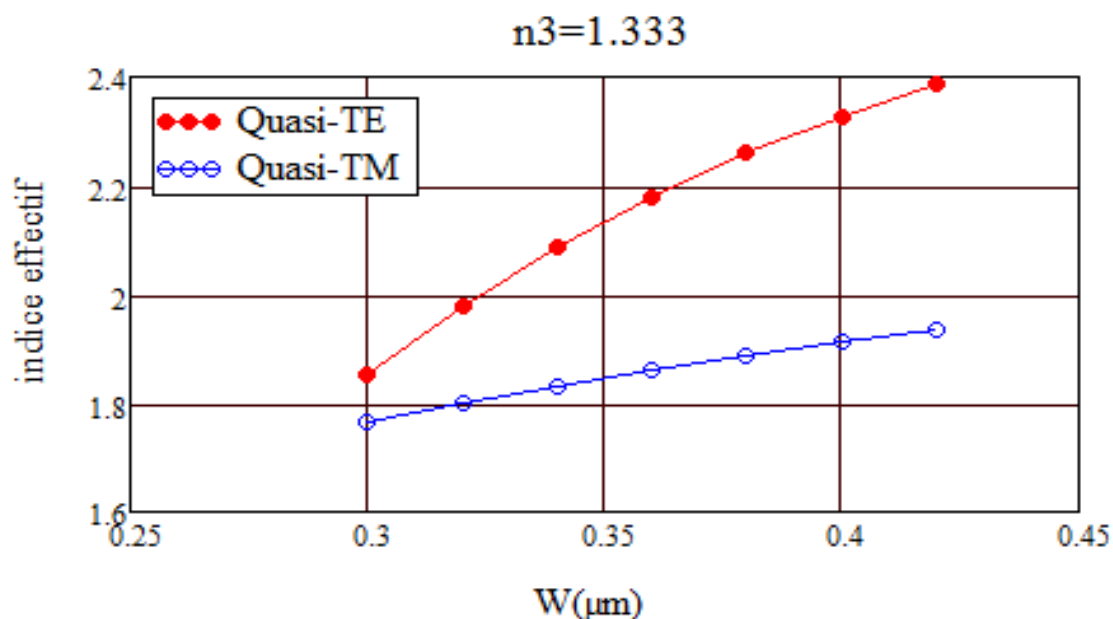


Figure 3.10. Variation de l'indice effectif en fonction de la largeur W ($H=0,25\mu\text{m}$).

La figure (3.10) représente la Variation de l'indice effectif en fonction de largeur W pour $H=0,25\mu\text{m}$. L'indice effectif croit avec la largeur W , et le mode TE possède des valeurs plus grandes pour l'indice effectif que le mode TM.

b.4 Le facteur de confinement en fonction des paramètres géométriques de la structure

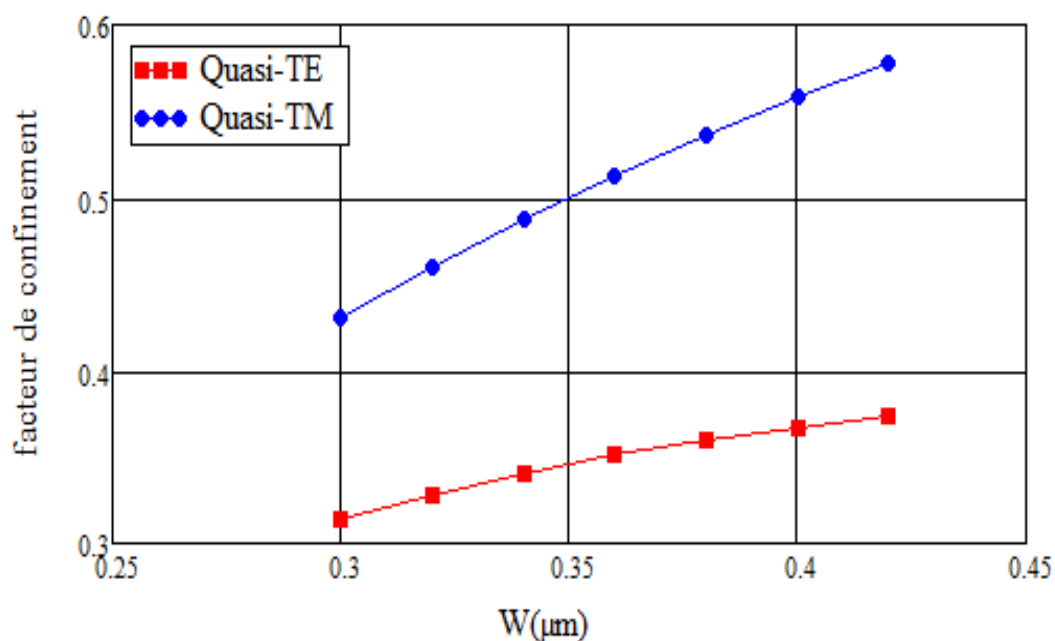


Figure 3.11. Variation du facteur de confinement en fonction de la largeur W .

La figure (3.11) représente la variation du facteur de confinement en fonction de la largeur W . Le facteur de confinement augmente avec la largeur W , et il est plus grand dans le mode TM que le mode TE.

b.5 La sensibilité en fonction de la largeur W

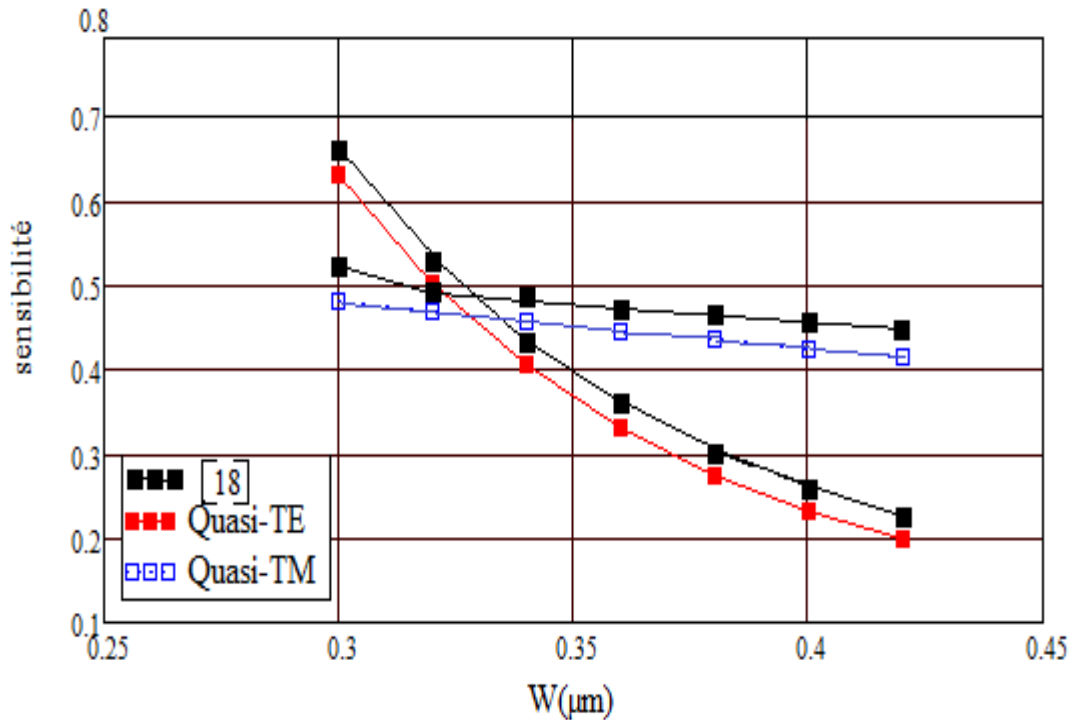


Figure 3.12. Variation de la sensibilité en fonction de largeur W .

La figure (3.12) représente la variation de la sensibilité en fonction de la largeur W . La sensibilité décroît avec la largeur W et on remarque une égalité des sensibilités pour $W=0,34\mu\text{m}$, ainsi Le mode TE possède une sensibilité plus grande pour $W < 0,34 \mu\text{m}$ et une sensibilité plus petite pour $W > 0,34 \mu\text{m}$ que le mode TM.

Nos courbes sont proches des courbes de la référence [18] et présentent les mêmes allures.

c Capteur chimique à base de guide optique slot

La figure (3.13) représente un guide Slot avec deux cœurs (Si), d'indice de réfraction $n_2=3,5$ de largeur W , et d'une hauteur H , la distance entre le premier cœur et le deuxième est g , limité par un substrat de SiO_2 d'indice de réfraction $n_1=1,5$ et une couverture de solution aqueuse d'indice n_3 .

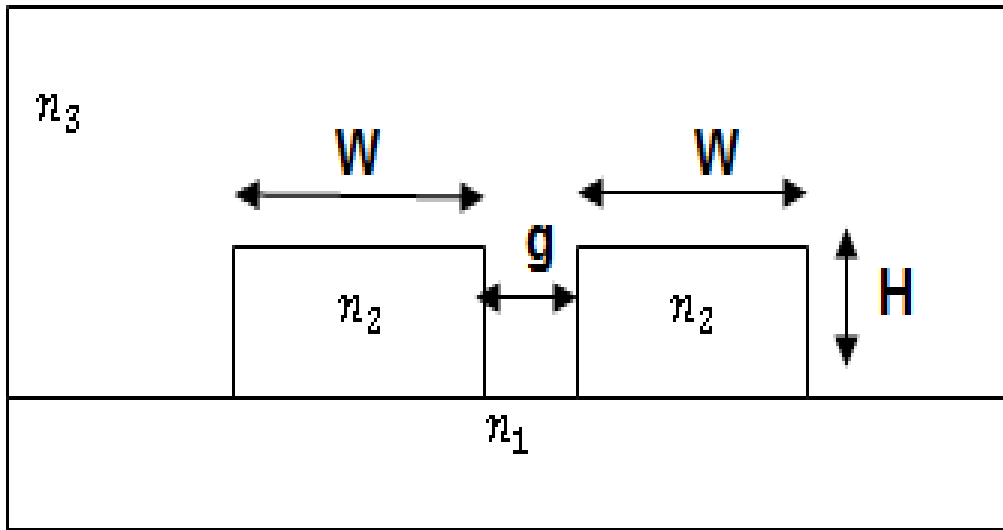


Figure 3.13. Capteur à base de guide slot.

Dans notre travail, nous avons étudié l'influence du rapport H/W sur la sensibilité. Nous varions la hauteur H , la largeur W et la distance g et nous effectuons une série de simulations.

c.1. le mode TE (Transverse Electrique)

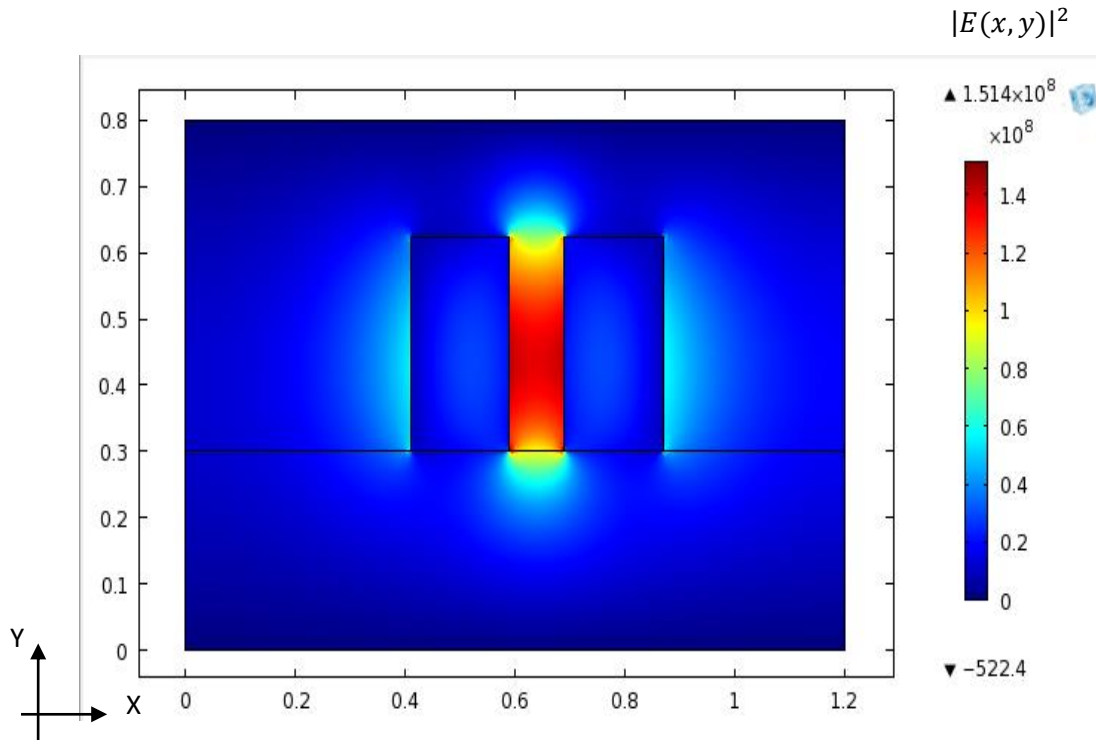


Figure 3.14. Répartition du champ électrique dans le guide en mode TE pour $W=0,18\mu\text{m}$, $H=0,324\mu\text{m}$ et $n_3=1,335$ avec $n_{eff}=1,555$.

La figure (3.14) illustre la répartition du champ électrique en mode TE pour $W=0,18\mu\text{m}$ et $H=0,324\mu\text{m}$, et montre que la lumière est bien confinée dans le guide en mode TE.

c.2 la sensibilité en fonction d'H/W en mode TE

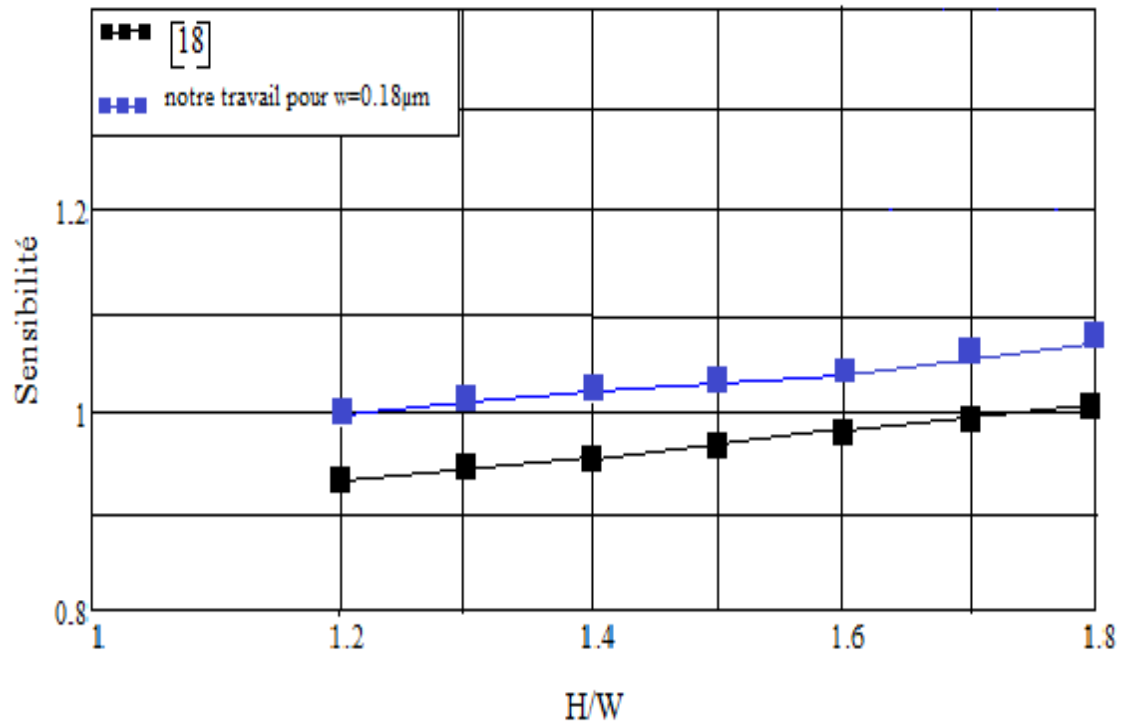


Figure 3.15. Variation de la sensibilité en fonction de rapport H/W en mode TE.

La figure (3.15) représente la variation de la sensibilité en fonction du rapport H/W en mode TE. La sensibilité augmente avec le rapport H/W, et nos courbes présentent les mêmes allures que celles de la référence [18].

c.3 Le mode TM (transverse magnétique)

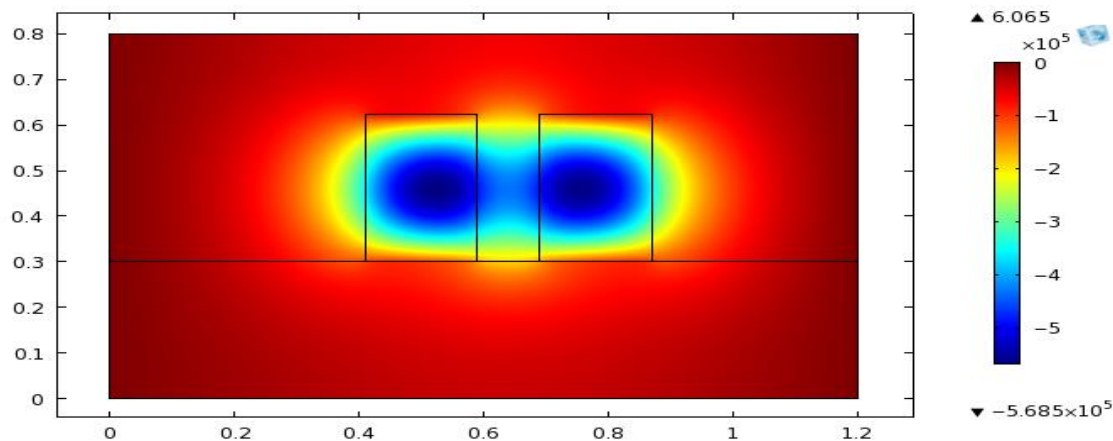


Figure 3.16. Répartition de champ magnétique dans le guide en mode TM pour $w=0,18\mu\text{m}$ et $H=0,324$ et $n_3=1,335$ avec $n_{eff}=2,043$.

La figure (3.16) représente la répartition du champ magnétique dans le guide en mode TM pour $W=0,18\mu\text{m}$, $H=0,324$ et $n_3=1,335$ avec $n_{eff}=2,043$. La lumière est bien confinée dans le guide.

C.4 La sensibilité en fonction de H/W en mode TM

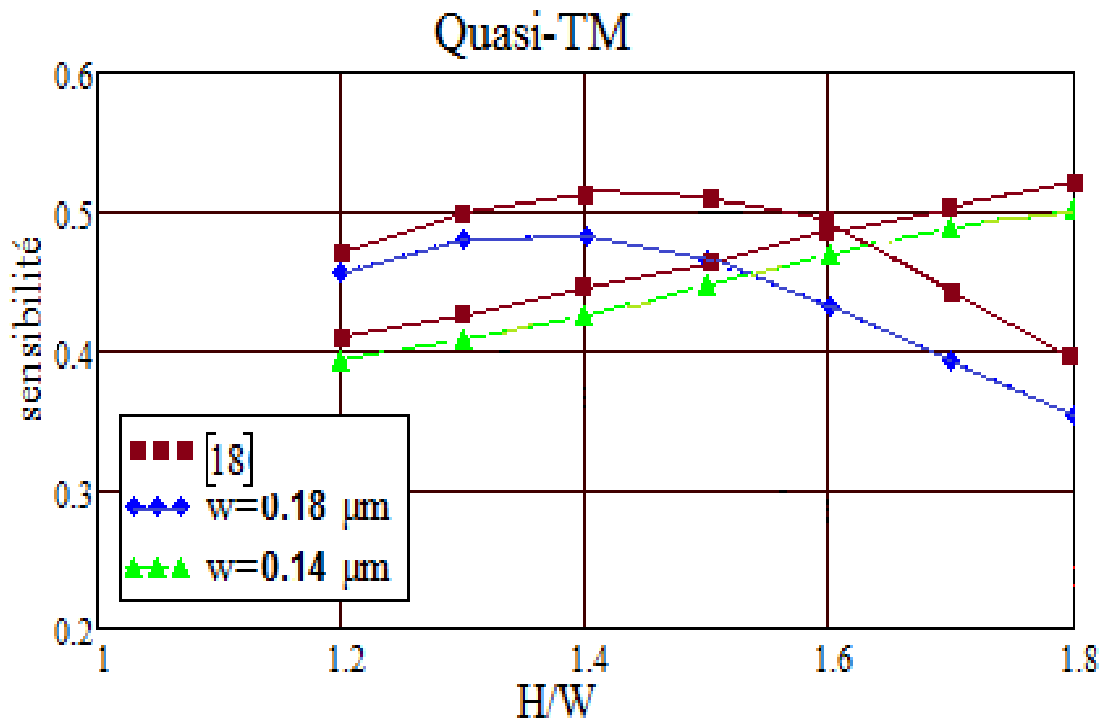


Figure 3.17. Variation de la sensibilité en fonction d'H/W en mode TM.

La figure (3.17) illustre la *variation* de la sensibilité en fonction d'H/W en mode TM. On constate que pour $W=0,18\mu\text{m}$ la sensibilité est plus grande que pour $W=0,14\mu\text{m}$ pour $H/W < 1,56$, et plus petite pour $H/W \geq 1,56$. Et nos courbes sont proches des courbes de la référence [18] et présentent les mêmes allures.

c.5 La sensibilité en fonction de W pour différentes valeurs de la distance g en mode TE

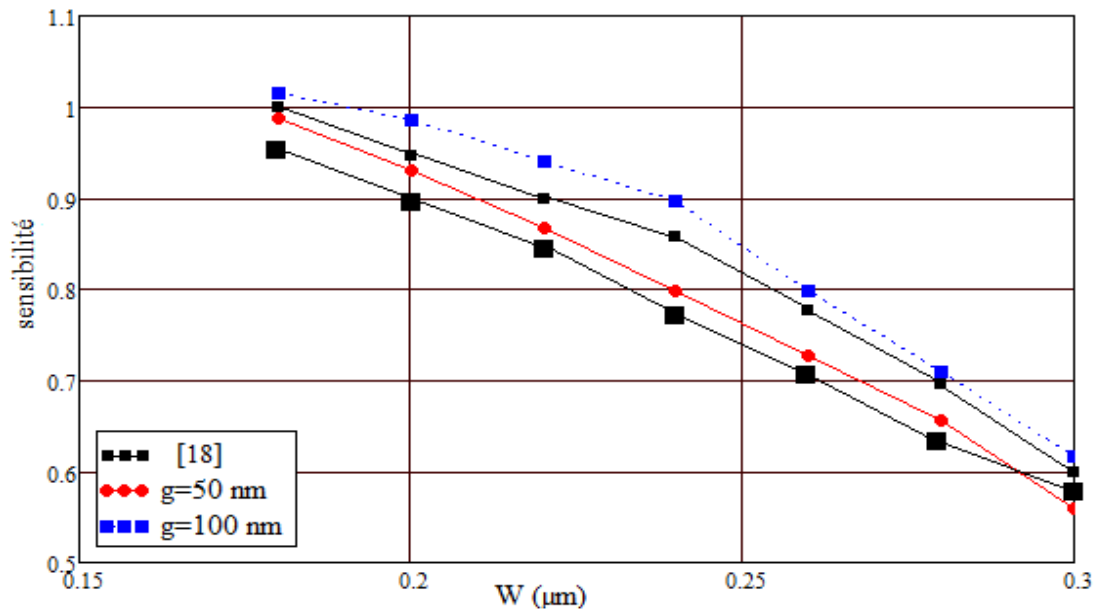


Figure 3.18. Variation de la sensibilité en fonction de W en mode TE pour différents g.

La figure (3.18) représente la variation de la sensibilité en fonction de W en mode TE pour différents g, et montre que la sensibilité décroît avec la largeur W pour $g=0,05\mu\text{m}$ et $g=0,1\mu\text{m}$. Et nos courbes sont proches des courbes de la référence [18] et présentent les mêmes allures.

c.6 La sensibilité en fonction de W pour différentes valeurs de la distance g en mode TM

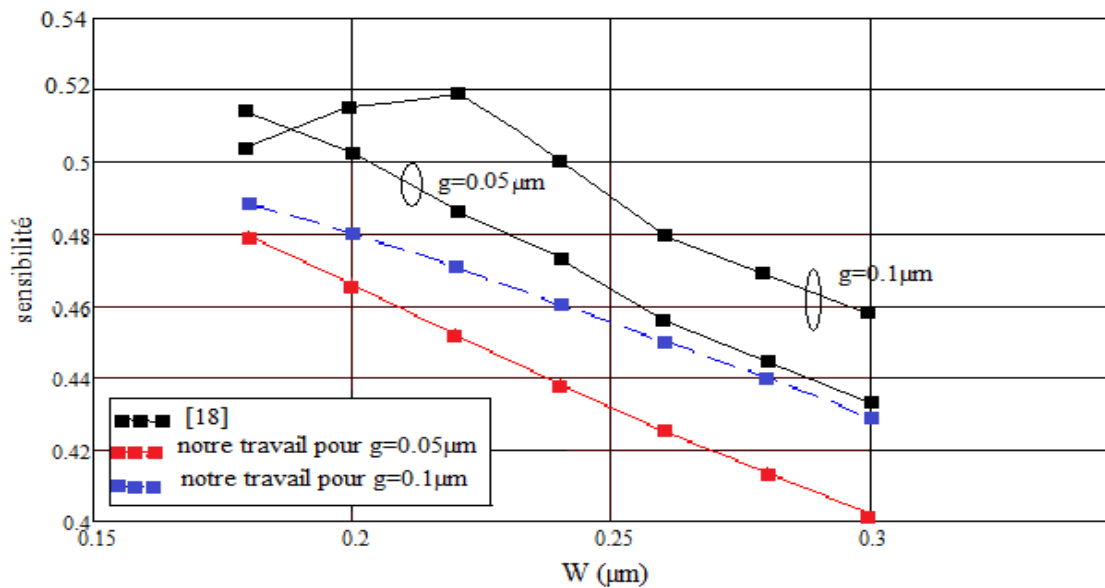


Figure 3.19. Variation de la sensibilité en fonction de W en mode TM pour différents g.

La figure (3.19) représente la variation de la sensibilité en fonction de W en mode TM pour différents g , et montre que la sensibilité décroît en fonction de W , et pour $g=0,05\mu\text{m}$ la sensibilité en fonction de W est plus petite que pour $g=0,1\mu\text{m}$.

Nos courbes présentent une variation monotone, par contre les courbes de la référence [18] présentent une déviation pour $g=0,1\mu\text{m}$.

3.3 Conclusion

Dans ce chapitre, des simulations portant sur trois types de guides bidimensionnels ont été réalisées.

Les résultats de ces simulations montrent que les dimensions des structures jouent un rôle très important dans les caractéristiques du capteur : indice effectif, facteur de confinement et sensibilité.

Les trois structures assurent un bon confinement. D'autre part, La sensibilité du guide d'onde slot est meilleure et une sensibilité maximale de 1 a été obtenue.

Nos résultats de simulations ont été validés par les résultats de la référence [18].

Les structures de guidage slot sont la plate-forme technologique la plus attrayante pour SOI.

Conclusion générale

Le travail réalisé dans le cadre de ce projet de fin d'étude est l'étude et la simulation des capteurs chimiques à base de guides optiques. Nous avons effectué une étude approfondie de l'influence des paramètres géométriques sur les guides de lumière ainsi que sur la sensibilité des capteurs.

Notre travail nous a permis de déterminer les différentes caractéristiques des guides comme l'indice effectif et le facteur de confinement qui jouent un rôle principal dans le fonctionnement d'un guide.

Dans le premier chapitre, un rappel a été donné concernant les ondes électromagnétiques et le guidage de la lumière. Ensuite, des généralités sur les guides optiques seront exposées, telles que : la théorie des guides, leurs modes de propagation et les paramètres qui les caractérisent.

Dans le deuxième chapitre, la définition d'un capteur ainsi que les principales caractéristiques d'un capteur sont exposées de façon générale. Ensuite quelques avantages des capteurs optiques sont mis en évidence. Trois structures de capteurs à base de guides optiques ont été considérées.

Enfin, le troisième chapitre est illustré par une série de simulations en utilisant la méthode des éléments finis dans le but d'étudier l'influence des paramètres géométriques sur la sensibilité du capteur et sur le guide de lumière.

Au cours de cette étude, nous avons pu relever les points suivants :

- Les dimensions des structures jouent un rôle très important dans les caractéristiques du capteur : indice effectif, facteur de confinement et sensibilité.

- L'indice effectif et le facteur de confinement augmentent avec les dimensions du guide.
- Les trois structures assurent un bon confinement.
- Le mode TM est plus sensible que le mode TE.
- Le capteur à base du guide optique Slot présente une meilleure sensibilité que les autres structures.

En perspective, la suite de ce travail peut être envisagée en considérant d'autres structures telles que les coupleurs optiques, les filtres optiques, les cristaux photoniques,...et

Bibliographie

- [1] F.BAILLEU, G.DELPIERRE, D.ESTEVE : ' L'enjeu technologique des microcapteurs', La Recherche, 1992, Vol. 23, N° 248, p. 1238-1246.
- [2] P.CLECHET, N.JAFFREZIC-RENAULT, C.MARTELET : 'Des microcapteurs à semi-conducteurs pour la biologie ', La Recherche, 1992, Vol. 23, N° 245, p. 936-938.
- [3] NICOLINI C., ADAMI M., ANTOLINI F. et al. Biosensors: ' a step to bioelectronics', Physics World, 1992, Vol. 5, N° 5, p. 30-34.
- [4]<http://www.fsg.ulaval.ca/opus/physique534/resumes/13c.shtml>. Accédé le lundi 11 avril 2016
- [5] M.AALONSO, E.J.finn : Physique Générale, ' Champs et ondes', 2ème édition, 1986.
- [6] T.V.Neerden : article, 'les équations de maxwell expliquées simplement', lundi 02 février 2015
- [7] V.RENVOISE, E.BELLANGER, R.GIRARDI, S.PAULI, B.PORTELLI, E.SAUDRAIS : 'physique PC-PC*.Cap prépa 2ème année – Cours complet avec tests, exercices et problème corrigés', 2010
- [8] Encyclopédie Universalis. Edition 2000.
- [9] A.KEBICHI, F.LOUNOUGH : 'étude et simulation des guides optiques ', thèse de master, université SDDB, 2015.

- [10] F. BOUBEKRI, S. CHIKHA AMARA : 'étude et dimensionnement d'un guide d'onde en arête a base du matériau (SiO_xN_y)', Mémoire de master, Université KASDI MERBAH Ouargla, 2014.
- [11] K. KAWANO, T. KITOH: ' Introduction to Optical Waveguide Analysis, Solving Maxwell's equation and the Schrodinger equation', 2001.
- [12] F. Meriche : ' Structuration 1D et 2D de matériaux diélectriques par ablation laser nanoseconde : Applications aux couches minces et monocristaux de LiNbO_3 et couches minces de TiO_2 ', Thèse de doctorat, Université de Constantine, 2008.
- [13] Jia-Ming Liu: ' A significant portion of the materials follow, Photonic Devices', Chapter 2.
- [14] V.R. Almeida, Q .Xu, and M. Lipson et .AL, Opt.Lett. 29 (2004) 1209.
- [15] Y.SANOGO: ' conception et fabrication de capteurs et de leur technique d'interrogation pour des applications dans les domaines de la santé et de l'environnement ', thèse de doctorat, école normale supérieur de CACHAN, Décembre 2012.
- [16] M.BOUTAMINE: ' étude et caractérisation d'un capteur chimique a base de couches minces', thèse de doctorat, Constantine1, 2014.
- [17] S. Poujouly IUT : Module2-Capteurs,' Capteurs – présentation', CACHAN.
- [18] FRANCESCO DELL'OLIO ET VICTORIO M.N.PASSARO: 'silicon-on-insulator slot waveguide dor integrated optical sensing' , via Edoardo Orabona n. 4, 70125 Bari, Italy.
- [19] G.TOULMINET : 'généralités sur la chaine d'acquisition des données et sur les capteurs', asi, 2003.
- [20] S.CARQUIGNY : 'conception, caractérisation et mise en œuvre des matériaux organiques conducteurs pour le développement de capteur de gaz pour l'environnement', thèse de doctorat, école des mines DOUAI et UNIVESITE LILLE1, Décembre 2011.