

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 عين تموشنت بلحاج بوشعيب
Université –Ain Temouchent- Belhadj Bouchaib
Faculté des Sciences et de Technologie
Département D'électronique et des Télécommunications



Projet de Fin d'Etudes
Pour l'obtention du diplôme de Master en
Domaine : Sciences & Technologies
Filière : Télécommunication
Spécialité : Réseaux et Télécommunications

Thème

**Conception d'un biocapteur plasmonique : application pour la
détection du gaz**

Présenté Par :

- Mlle Maarouf Souad.

Devant le jury composé de :

Dr Yagoub Reda	MCB	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Président
Mme Boutkhil Malika	MAA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Examineur
Dr. Meradi Abdelhafid	MCA	UAT.B.B (Ain Temouchent)	Encadrant

REMERCIEMENTS

Ce travail s'inscrit dans le cadre d'un projet de fin d'étude mené au niveau de la faculté des sciences et technologie/département d'électronique et télécommunications à l'Université BLHADJ Bouchaïb d'Ain Témouchent.

Avant tout, je remercie infiniment Dieu le tout puissant pour la santé, la force et le courage qu'il m' a donné tout au long de mon parcours.

Ma gratitude va à l'égard de notre chère enseignant et encadrant Dr.Meradi Abdelhafid pour son bon encadrement, ses conseils, sa patience, et pour toutes les connaissances acquises durant ma formation qui m'ont aidés dans ce travail.

Mes remerciements aussi aux membres du jury Mme Boutkhil Malika et Dr Yagoub Reda d'avoir accepté d'évaluer ce travail.

Je tiens à remercier aussi tout le corps professoral du département d'électronique et télécommunication et à tous ceux qui m'ont aidés et encouragés de près ou de loin

Dédicace

*Je dédie Ce modeste travail accompagné
d'un*

profond amour éternel

A mes parents,

*Pour tout l'amour et l'éducation qu'ils
m'ont donnés.*

A mes sœurs et toute la famille

*Pour l'attention, l'aide et le soutien
qu'ils m'ont apporté.*

Et tous mes amies et Ma meilleure amie

« Gassam Manel »

*Et aux personnes Qui m'ont aidé,
encouragés et soutenus dans l'achèvement de
ce travail.*

Maarouf Souad

Liste des abréviations	iv
Liste des figures	v
Liste des tableaux	vi
Introduction générale :	1
Chapitre I: Les capteurs et la resonance plasmonique de surface	
1. I.1. Introduction :	2
I.2. Définition :	2
I.3. Fonctionnement d'un capteur :	2
I.4. Les composants d'un capteur :	2
I.4.1. Recapture vital :	2
I.4.2. Transformateur énergétique :	3
I.4.3. Affichage de la mesure :	3
I.5. <i>Les caractéristiques des capteurs</i> :	3
I.5.1. L'étendu de la mesure :	3
I.5.2. La sensibilité :	3
I.6. Classification des capteurs :	3
I.7. Principales considérations pour sélectionner le bon capteur :	4
I.7.1. Application prévue:	4
I.7.2. Exactitude et précision:	4
I.7.3. Durabilité :	5
I.7.4. Temps de réponse :	5
I.7.5. Répétabilité :	6
I.7.6. Coût :	6
I.7.7. Exigences particulières :	6
I.8. Les types des capteurs :	6
I.8.1. Capteur électrique :	6
I.8.2. Capteur électrochimique :	7
I.8.3. Les capteurs de température :	7
I.8.4. Capteur infrarouge (IR) :	7
I.8.5. Capteurs de pression :	7
I.8.6. Capteurs de lumière :	7
I.8.7. Capteur optique :	8
I.8.8. Capteur fibre optique :	8

Table des matières

I.9.	<i>Plasmon de surface :</i>	8
I.9.1.	Les plasmons de surface délocalisés :	9
I.9.2.	Les plasmons de surface localisés :	9
I.10.	La résonance plasmonique de surface :	10
I.10.1.	<i>Le principe :</i>	10
I.10.2.	<i>La résonance de surface localisés :</i>	11
I.11.	Biocapteurs d’Affinité RPS :	12
I.12.	Capteur a base de résonance plasmon de surface :	13
I.13.	Les matériaux plasmonique et leur propriété :	13
I.13.1	Les métaux :	13
I.13.4.	Les semi-conducteurs :	14
I.14.	Configurations des capteurs SPR à base de fibres optiques :	15
I.15.	Conclusion :	15
Chapitre II : Le gaz et ses propriétés physiques		
II.1	Introduction :	17
II.2	Définition :	17
II.3	Les avantages du gaz :	17
II.4	Les dangers du gaz :	18
II.4.1	Risque d’étouffement :	18
II.4.2	Risque d’explosion :	19
II.5	Les différents types de gaz :	19
II.5.1.	Le gaz naturel :	20
II.5.2.	Les biogaz :	20
II.5.3.	Le gaz propane et le gaz butane :	20
II.5.	Caractéristiques du gaz :	21
II.5.1	Densité :	21
II.5.2	Pouvoir calorifique :	21
-	Pouvoir calorifique supérieur (PCS) :	21
II.6	Les propriétés physiques des gaz:	21
II.7	Mesure de débit de gaz :	21
II.8	Gaz et optique :	22
II.9	L’indice de réfraction :	22
II.10	Mesure de l’indice de réfraction d’un gaz avec un Michelson:	23
■	Méthode de mesure :	24
II.11	Conclusion :	25

Table des matières

Chapitre III: Méthodes d'interrogation optique des capteurs

III.1	Introduction :	27
III.2	Méthode d'interrogation optique des capteurs :	27
III.3	Méthode de calcul :	28
III.3.1	La méthode FDTD :	28
III.3.2	La méthode PWE :	28
III.4	Méthode des matrices de transfert TMM :	28
III.4.1	Formalisme matricielle :	29
III.5	Structures en multicouches:	31
III.6	Présentation d'outils de simulation :	33
III.6.1	Environnement MATLAB :	33
III.8	Paramètres caractérisant les performances d'un biocapteur :	35
III.8.1	La Sensibilité :	35
III.8.2	FWHM (largeur à mi -hauteur) :	36
III.8.3	FOM (Figure de mérite) :	37
III.8.4	Précision de détection (DA) :	37
III.9	Conclusion :	37

Chapitre IV: Resultat et conception du biocapteur

IV.1	Introduction :	39
IV.2	Le schéma considéré :	39
IV.3	Les structures proposées :	40
IV.4	Optimisation de l'épaisseur du métal :	41
IV.5	Simulation des différentes structure	41
a-Structure n° 1	: Au+Sio2+BAF10	41
b-Structure n° 2	: Au+Sio2+analytes+BAF10	42
c-Structure n° 3	: Au+Tio2+BAF10	43
d-Structure n° 4	: Au+Tio2+analytes+BAF10	44
e-Structure n° 5	: Ag+Sio2+BAF10	45
f-Structure n° 6	: Ag+Sio2+analytes+BAF10	46
g-Structure n° 7	: Ag+Tio2+BAF10	47
h-Structure n° 8	: Ag+Tio2+analytes+BAF10	48
IV.8	Conclusion	51
	Conclusion Générale :	53

Liste des abréviations

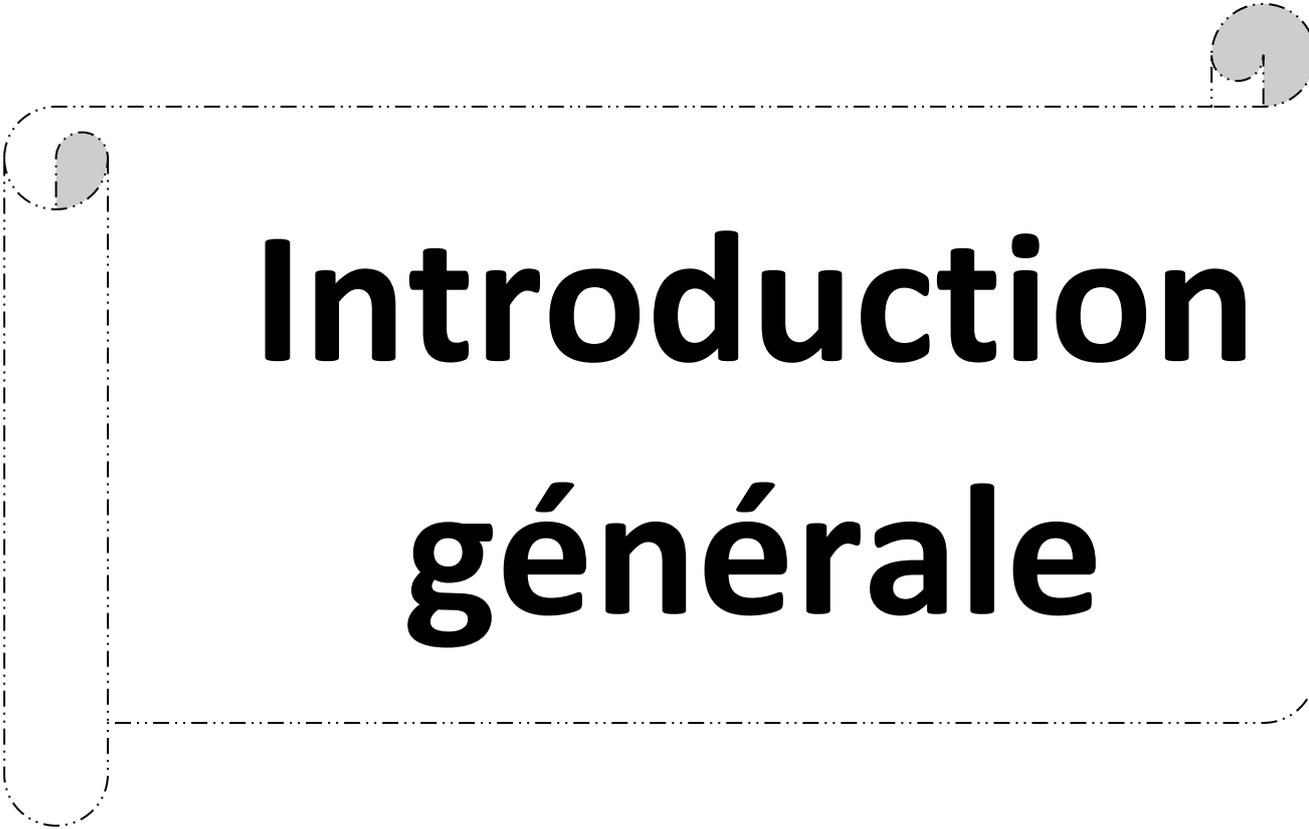
- SP :** surface plasmon
- SPR :** surface plasmon resonance
- SPRi :** surface plasmon resonanceimageri
- LSPR :** localized surface plasmon resonance
- ATR :** attenuated total reflection
- NIR :** Near infrared
- FDTD :** Finit-difference time-domain
- PWE :** Plane wave expansion
- TMM :** Transfer matrix method
- TM :** Transvers magnetic
- TE :** Transvers electric
- FWHM :** Full width at half maximum
- FOM :** Figure of merit
- PDD :** précision de détection

Liste des figures

• Figure 1: forme synoptique du capteur	2
• Figure 2: : Exactitude contre précision.	5
• Figure 3: Plasmon de surface localisés.	9
• Figure 4: Principe de la résonance plasmonique de surface	11
• Figure 5:Gaz naturel	17
• Figure 6: Réfraction.	22
• Figure 7::(a) une matrice interface entre deux milieu (b) matrice d'une couche homogène	30
• Figure 8:: Structures en multicouches.	31
• Figure 9:: Environnement MATLAB.	35
• Figure 10: Schéma descriptif du capteur	40
• Figure 11 : Au+Sio ₂ +BAF10	41
• Figure 12:Au+Sio ₂ +analytes+BAF10	42
• Figure 13:Au+Tio ₂ +BAF10	43
• Figure 14:Au+Tio ₂ +analytes+BAF10	44
• Figure 15: Ag+Sio ₂ +BAF10	45
• Figure 16:Ag+Sio ₂ +analytes+BAF10	46
• Figure 17:Ag+Tio ₂ +BAF10	47
• Figure 18:Ag+Tio ₂ +analytes+BAF10	48

Liste des tableaux

- **Tableau 1: : les indices de réfractions des différents milieux transparents 23**
- **Tableau 2: Paramètres optiques utilisés pour le calcul des propriétés de (SPR). 40**
- **Tableau 3 : Les performances du capteur proposé 49**



Introduction générale

Introduction générale :

Les biocapteurs sont aujourd'hui omniprésents dans le diagnostic biomédical ainsi que dans un large éventail d'autres domaines tels que la surveillance au point de service du traitement et de la progression de la maladie, la surveillance environnementale, le contrôle d'air et la recherche biomédical. Un large éventail de techniques peut être utilisé pour le développement de biocapteurs, leur couplage avec des biomolécules de haute affinité permet la détection sensible et sélective d'une gamme d'analytes. Les biocapteurs optiques sont devenus des dispositifs de premier plan largement utilisés pour les applications de biodétection, parmi de ce type de biocapteurs les biocapteurs à résonance plasmonique de surface qui appartiennent aux technologies de bio-détection optique sans étiquette. Depuis la fin des années 1990, les biocapteurs SPR sont devenus le principal outil pour l'étude des interactions biomoléculaires à la fois dans les sciences de la vie et la recherche pharmaceutique.

L'objectif principal de notre travail est de réaliser un biocapteur SPR pour fournir une approche très sensible et spécifique à la détection des gaz dans l'environnement domestique et professionnel.

Le but du développement des biocapteurs SPR est d'introduire un instrument analytique offrant un faible coût, une petite taille, une utilisation rapide et facile, ainsi qu'une sensibilité et une sélectivité supérieures aux instruments actuels.

Notre mémoire est subdivisé en quatre chapitres initiés d'une introduction générale et finalisés par une conclusion générale

- **Le premier chapitre** présentera les principes de base des capteurs et la résonance plasmonique de surface .
- **Le deuxième chapitre** de ce document présente une généralité sur les gaz et leur relation avec l'optique.
- **Le troisième chapitre** décrit les méthodes d'interrogation optique et les paramètres de performance qu'on utilisera dans la simulation de notre étude
- **Le quatrième chapitre** présentera la méthode de développement d'un biocapteur SPR pour la détection de l'indice de réfraction des différentes concentration, ainsi des résultats de simulations seront présentés afin de comprendre l'influence des différents paramètres.

Chapitre I

Les capteurs et la résonance plasmonique de surface

I.1. Introduction :

Le capteur est un dispositif qui est en interaction directe avec le système de mesure. Et il est, dans le domaine strictement métrologique, se réfère uniquement à la composante qui effectue la transformation physique de la variable d'entrée dans un signal autrement. Les dispositifs sur le marché intègrent souvent dans les blocs d'alimentation, également stabilisés amplificateurs de signaux, des dispositifs de communication à distance, etc, et il a une relation étroite entre lui et le plasmon de résonance de surface.

I.2 Définition :

Un capteur est un dispositif de prélèvement d'informations qui produit, à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique de nature différente (généralement électrique) représentative de la grandeur donnée, et utilisable pour des fins de mesure.

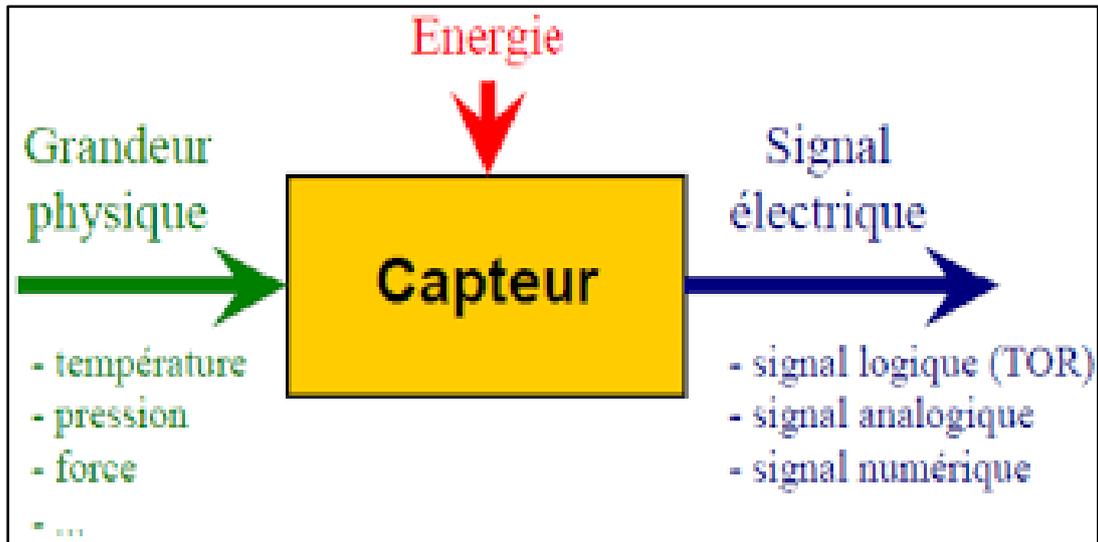


Figure 1.1.: forme synoptique du capteur

I.3. Fonctionnement d'un capteur :

Un capteur convertit la grandeur physique à mesurer en une grandeur électrique et traite cette dernière de telle manière à ce que les signaux électriques puissent être facilement transmis et traités en aval. Le capteur peut signaler si un objet est présent ou non ou si une valeur mesurée est atteinte (analogique ou numérique).[1]

I.4. Les composants d'un capteur :

Un capteur est constitué de trois composants principaux :

I.4.1. Recapture vital :

C'est une partie vivante du système de capteurs biologiques. Quant aux récepteurs biologiques que cette partie comprend, il peut s'agir de systèmes biologiques vivants, tels que

des micro-organismes, ou de molécules, telles que des enzymes ou des anticorps. Ces capteurs se déposent à la surface du capteur électrique.

I.4.2. Transformateur énergétique :

C'est la partie qui convertit l'énergie d'une forme à une autre. (Convertit l'énergie chimique, par exemple, en énergie électrique). Ainsi, le signal électrique a été converti en une sortie qui peut être comprise et analysée après avoir été surveillée et mesurée.

I.4.3. Affichage de la mesure :

Les biocapteurs sont généralement classés en fonction de la partie la plus importante d'entre eux, qui est le transducteur, car chaque type d'entre eux suit une méthode de détection spécifique pour le biocapteur à l'intérieur du corps. [2]

I.5. Les caractéristiques des capteurs :

Tout appareil peut être classé comme capteur en fonction de ses caractéristiques, qui comprennent :

I.5.1. L'étendu de la mesure :

C'est plus ou moins la différence entre le plus petit signal détecté et le plus grand perceptible.

I.5.2. La sensibilité :

C'est la plus petite variation d'une grandeur physique que peut détecter un capteur.

I.5.3. La rapidité :

C'est le temps de réaction d'un capteur entre la variation de la grandeur physique qu'il mesure et l'instant où l'information est prise en compte par la partie commande.[3]

I.6. Classification des capteurs :

La grandeur de sortie du capteur peut varier :de manière binaire (information vraie ou fausse), c'est le capteur tout ou rien (Tor)

De façon progressive (variations continue), c'est le capteur analogique. D'échelon de tension ou de courant, c'est le capteur numérique. [4]

I.7. Principales considérations pour sélectionner le bon capteur :

Essayer de choisir un capteur adapté à un usage particulier peut être une tâche ardue. Pour le savoir, il faut se référer aux éléments suivants :

I.7.1. Application prévue:

Toutes les exigences des applications doivent être prises en considération avant de choisir un capteur. Celles-ci peuvent inclure des facteurs tels que :

- **La distance de la cible :**

Cela fournira des indications quant à la sensibilité requise du capteur pour trouver sa cible et le champ nécessaire pour garantir qu'il soit adapté à l'usage prévu.

- **L'emplacement du capteur :**

L'environnement dans lequel le capteur est placé déterminera la taille appropriée du capteur et indiquera l'ampleur des options de montage.

I.7.2. Exactitude et précision:

L'exactitude est souvent une spécification critique que doit satisfaire un produit. En matière de commercialisation des capteurs, l'exactitude et la précision sont régulièrement utilisées de façon interchangeable mais en réalité, elles représentent deux choses différentes. Il est impératif de bien comprendre la différence entre les deux lorsque vous devez décider quelle spécification est une priorité.

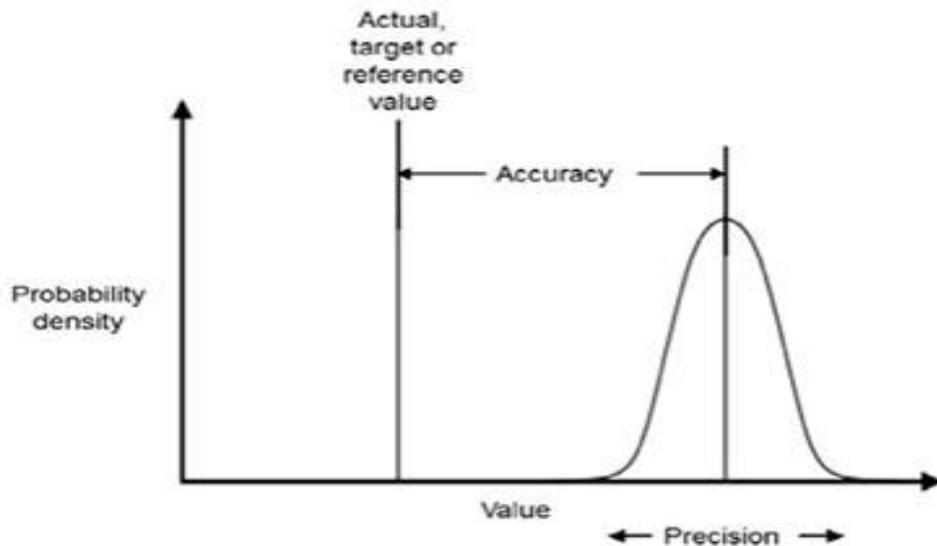


Figure 1.2: : Exactitude contre précision.

I.7.3. Durabilité :

Chaque capteur a une durée de vie limitée qui est souvent déterminée par sa durée de vie utile, sa durée de stockage ou la date d'expiration du capteur. Les facteurs qui peuvent affecter la longévité d'un capteur incluent la conception, le matériel, le processus de fabrication, les niveaux de concentration mesurés et les conditions environnementales entourant le capteur.

Par exemple, certains capteurs qui consomment des matériaux comme l'oxygène ou le glucose sont plus susceptibles d'avoir une durée de vie courte tandis que d'autres capteurs, habituellement les capteurs de température, ont une durée de vie supérieure à 10 ans. Il convient cependant de noter que même les capteurs avec une longévité plus longue peuvent vieillir avec le temps et perdre leur sensibilité et leur exactitude.

I.7.4. Temps de réponse :

La plupart des capteurs ont des temps de réponse mesurés en millisecondes, bien que certains (souvent les capteurs pour les gaz et les fuites) puissent être mesurés en secondes voire en minutes. Le temps de réponse optimum sera souvent déterminé par les données obtenues.

I.7.5. Répétabilité :

La répétabilité fait référence à la constance d'un capteur par rapport à lui-même, en déterminant s'il fournit le même résultat dans les mêmes circonstances encore

et encore. Cependant, cette valeur est souvent associée à l'exactitude, un capteur peut être inexact et fournir néanmoins des observations répétées.

I.7.6. Coût :

Les capteurs fonctionnent généralement dans les limites d'un réseau d'infrastructure plus large. À ce titre, lorsque vous prenez en considération le potentiel de développement et l'évolutivité, le coût du capteur est un facteur important. Si les capteurs sont souvent un élément essentiel de toute infrastructure, ils doivent être tarifés à un niveau proportionnel à la portée financière de l'ensemble du projet qu'ils soutiennent.

I.7.7. Exigences particulières :

Il peut y avoir des exigences particulières spécifiques à un capteur où à l'utilisation d'un capteur précis qui doivent être prises en considération. Ces exigences peuvent inclure des

Chapitre I : les capteurs et la résonance plasmonique de surface

processus de soudure qui peuvent rendre un capteur autrement adapté inapproprié pour une utilisation particulière. [5]

I.8. Les types des capteurs :

Le choix du capteur sera déterminé par la composition de la propriété détectée (métal, solide, liquide, gaz, etc.). C'est le principal facteur qui déterminera si un capteur particulier est adapté ou pas, il en existe plusieurs types :

I.8.1. Capteur électrique :

Un capteur électrique est un dipôle qui permet de convertir une grandeur physique comme la luminosité, la température, la pression ou autre en un signal électrique. [6]

I.8.2. Capteur électrochimique :

Les capteurs électrochimiques utilisent une réaction chimique pour mesurer la concentration d'un gaz spécifique dans un environnement. Ils sont présents existe dans de nombreuses applications différentes et ils continuent de jouer un rôle important dans de nombreuses industries. [7]

I.8.3. Les capteurs de température :

Les capteurs de température sont disponibles sous plusieurs formes y compris les capteurs de température, les thermistances, les thermocouples et les capteurs de température à résistance.

I.8.4. Capteur infrarouge (IR) :

Il existe deux types de capteurs IR – transmissifs et réfléchifs :

- **Type transmissif :**

le transmetteur à IR et le détecteur à IR sont positionnés face à face afin que le capteur

- **Type réfléchif :**

le transmetteur et le détecteur sont positionnés l'un à côté de l'autre, faisant face à l'objet de telle sorte que le capteur détecte l'objet lorsqu'il est face au capteur.

I.8.5. Capteurs de pression :

Il existe trois types de pressions qui peuvent être mesurées : manométrique, absolue et différentielle.

I.8.6. Capteurs de lumière :

Il Une méthode qui nécessite que les ondes se propagent d'une extrémité à l'autre d'une matrice de couches homogènes plusieurs types de capteurs de lumière y compris les photorésistances, les photodiodes et les phototransistors.[8]

1.8.7. Capteur optique :

Les capteurs optiques sont des dispositifs capables de détecter l'intensité lumineuse et de la transformer en une grandeur mesurable comme un courant ou une tension électrique. Ils sont performants pour détecter la chaleur, la couleur ou encore la présence de certains gaz ou composants chimiques.

1.8.8. Capteur fibre optique :

Le capteur fibre optique est essentiellement un conduit de lumière et Dès la fin des années 70, quelques capteurs simples utilisant l'optique guidée apparurent dans le marché. Mais ce n'est que vers 1982 que les capteurs à fibres optiques constituèrent réellement une discipline à part entière [9]. Plusieurs principes de mesure pour différents paramètres physiques et chimiques ont été proposés puis expérimentalement vérifiés. Nous nous limiterons dans la suite de ce chapitre à présenter les diverses configurations utilisées dans le cadre des capteurs à fibre optique dont le principe de fonctionnement est basé sur la résonance des plasmons de surface (FO-SPR). En particulier nous nous attacherons aux performances de ces capteurs en donnant les sensibilités et les limites de détection pour chaque configuration quand elles seront connues. Préalablement, nous présenterons les avantages d'utiliser une onde optique guidée dans une fibre optique à cœur homogène pour l'application capteur. [10]

1.9. Plasmon de surface :

Les métaux nobles peuvent être décrits assez convenablement par le modèle des électrons libres quant à leur structure électronique. Cette approche consiste à traiter les électrons de valence du métal comme un gaz d'électrons libres, ignorant le réseau métallique en première approximation. Un gaz dense de particules chargées est appelé un plasma et on parle d'un plasma d'électrons libres à l'intérieur d'un métal. Des oscillations de ce plasma peuvent se propager dans le volume du métal.

1.9.1. Les plasmons de surface délocalisés :

Qui sont des plasmons de surface se propageant sur des surfaces métalliques planes, et L'élément essentiel pour la génération de plasmons de surface (SP) est la présence d'électrons libres à l'interface entre deux matériaux. En pratique, ceci implique que l'un de ces matériaux soit un métal où les électrons libres sont abondants. Cette condition découle de l'analyse d'une interface métal-diélectrique par les équations de Maxwell. Cette analyse montre que des ondes électromagnétiques peuvent se propager à l'interface entre le métal et le diélectrique. Ces ondes sont associées à des oscillations du plasma d'électrons libres à la surface du métal. [11]

1.9.2. Les plasmons de surface localisés :

Qui sont des excitations localisées du plasma d'électrons à l'intérieur de petites structures d'une taille de quelques dizaines de nanomètres, par exemple des nanoparticules métalliques ou des rugosités de surface de certaines structures.

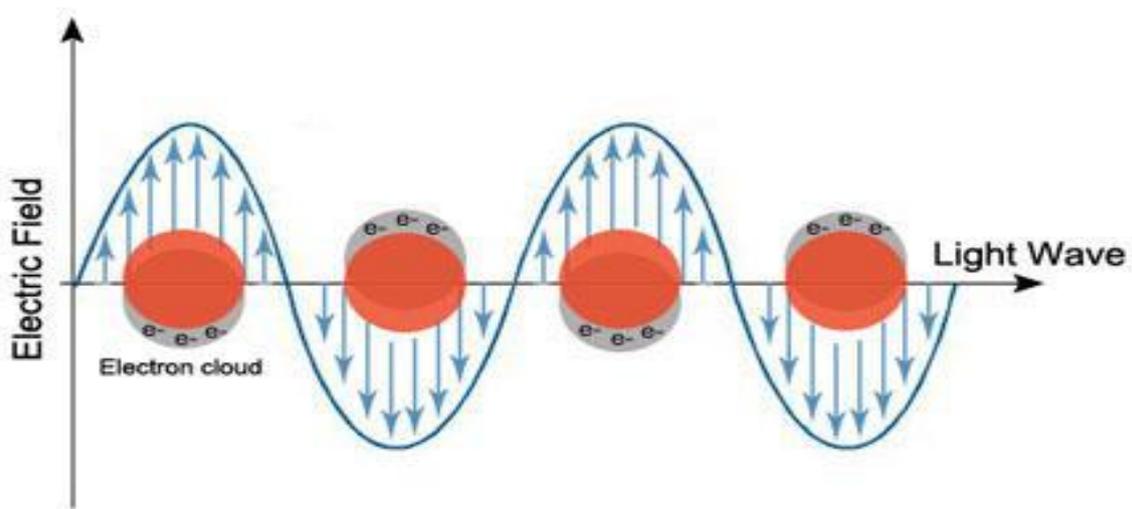


Figure 1.3: Plasmons de surface localisés.

I.10. La résonance plasmonique de surface :

La résonance plasmonique de surface (SPR pour Surface Plasmon Resonance) est une technique optique permettant la détection d'un ligand (molécule organique, biologique, micro-organisme, ...) se fixant à un récepteur immobilisé sur une surface. Elle ne nécessite aucun marquage préalable des molécules cibles, permet une détection en temps réel qui peut être quantitative. En outre, les capteurs SPR peuvent être régénérés par injection d'une solution dite de régénération.

I.10.1. Le principe :

La résonance plasmonique de surface (SPR) est la méthode de choix pour l'analyse en temps réel sans étiquette des interactions biomoléculaires. La méthode permet de caractériser un large spectre d'interactions.

Il s'est avéré être une méthode analytique indispensable pour la découverte et le développement de médicaments, la caractérisation d'anticorps, la production de produits biothérapeutiques ainsi que la recherche fondamentale et plus encore. La SPR est souvent employée comme méthode complémentaire et orthogonale à l'ITC (Isothermal Titration Calorimetry), au Thermal Shift, à la masse.

RMN (spectroscopie par résonance magnétique nucléaire) ou XRD (diffraction des rayons X). Contrairement aux tests ELISA et autres tests à point final, la SPR offre l'avantage de fournir des informations et des données supplémentaires importantes sur les constantes de vitesse cinétique, thermodynamique, caractérisation des épitopes et activité biologique, etc. De plus, vous pouvez également mesurer des échantillons bruts à partir de surnageants cellulaires ou de lysats bactériens.

La combinaison de cette large flexibilité applicative et de cette sensibilité haut de gamme permet d'utiliser la SPR pour l'analyse de la liaison des composés de faible poids moléculaire (> 70 Da, par exemple les composés principaux) aux complexes protéiques de haut poids moléculaire.

De plus, la SPR est couramment utilisée pour les processus de contrôle de la qualité (par exemple, la comparaison d'un lot à l'autre des protéines et de leur activité). Par la présente, Bruker étend son portefeuille de spectrométrie de masse, nucléaire système de résonance magnétique et de diffraction des rayons X pour la recherche pharmaceutique et l'industrie.

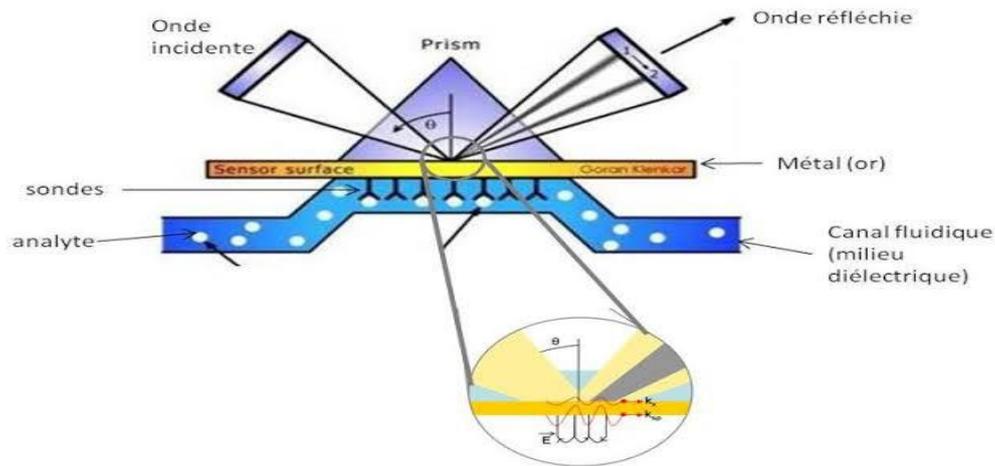


Figure 1.4: Principe de la résonance plasmonique de surface

I.10.2. La résonance de surface localisée :

Les couleurs vives des particules de métaux nobles ont attiré une grande attention depuis les temps historiques, lorsqu'elles étaient utilisées comme pigments décoratifs dans les vitraux. Récemment, les propriétés optiques des nanoparticules métalliques accordables et leur possibilité de les manipuler via des techniques de spectroscopie les ont ramenées au premier plan des domaines de la recherche fondamentale et appliquée. Une grande partie de l'intérêt récent concerne les nanoparticules métalliques telles que l'or et l'argent qui ont été utilisées comme capteurs optiques compacts, très sensibles et sans étiquette. Les nanoparticules plasmoniques, dans ce cas, agissent comme des transducteurs qui convertissent les changements d'indice de réfraction locaux en décalages spectraux de la bande de résonance plasmonique de surface (LSPR).

Il s'agit d'une technique générale pour mesurer les affinités et les taux de liaison de toute molécule qui entraîne une modification de l'indice de réfraction local autour de la nanostructure métallique. En fixant des éléments de reconnaissance moléculaire (ligand chimique ou biologique) à l'échelle nanométrique, la spécificité et la sélectivité de l'analyte respectif sont introduites dans le nanocapteur. Dans cette revue, nous discuterons des différentes méthodes utilisées pour fabriquer des nanocapteurs plasmoniques. Un accent particulier sera mis sur les techniques utilisées pour attacher les nanoparticules plasmoniques aux surfaces. Bien que la différence entre les approches colorimétriques et la détection de l'indice de réfraction soit brièvement décrite, l'importance de faire la distinction entre la détection de l'indice de réfraction (RI) en vrac et la détection de l'indice de réfraction moléculaire en champ proche sera discutée.

I.11. Biocapteurs d’Affinité RPS :

Les biocapteurs sont des instruments de mesure qui associent de manière intégrée un élément biologique (enzyme, anticorps, cellule végétale ou animale, fragment d'ADN, lipides...) et un transducteur physique (électrode, fibre optique, quartz piézoélectrique...).

Pour déterminer les hautes performances des capteurs nanoplasmoniques, l'optimisation du capteur de résonance plasmonique de surface (RPS) basé sur un substrat graphène-argent a été étudiée. Cette étude se poursuit par la modélisation de l'effet de chacun des facteurs importants : la température et la cinétique de liaison et de dissociation entre un analyte soluble et un ligand immobilisé sur ou à proximité d'une surface de capteur-RPS. D'autre part, nous avons effectué une étude sur les biocapteurs RPS basés sur des nanoparticules d'argent pour caractériser les couches biomoléculaires. Enfin, les algorithmes génétiques ont été utilisés pour optimiser la performance de biocapteurs RPS en ajustant les coefficients de système. Il apparaît maintenant que les promesses des capteurs nanoplasmoniques peuvent être mises en œuvre dans un grand nombre de domaines

I.12. Capteur à base de résonance plasmon de surface :

Les plasmons de surface sont une oscillation collective des électrons libres à la surface d'un métal due à un couplage avec des photons incidents. Plusieurs conditions sont à respecter pour que ce couplage puisse avoir lieu entre autres, la partie réelle de la permittivité du métal à la longueur d'onde d'excitation doit être négative. C'est le cas pour l'or, l'argent ou l'aluminium dans le visible et le proche infrarouge. La finesse de la résonance et le caractère évanescent des plasmons de surface sont les deux propriétés clés pour l'utilisation de la SPR dans le domaine des capteurs, avec la mise sur le marché des premiers appareils commerciaux au début des années 80. Le vrai succès de la résonance des plasmons de surface (SPR) est dû à capacité à mesurer des variations d'indice de réfraction et d'épaisseurs de couches organiques avec une grande précision, d'où la conception de capteurs capables de détecter les interactions entre surfaces et différents types d'entité physique chimique biologiques.....etc. D'autre part, les capteurs SPR sont basés sur le décalage du pic de résonance des SP en raison du changement de l'indice de réfraction du milieu environnant. Bien que la différence soit minime, il est toujours possible de contrôler cette variation d'indice par le décalage des positions des pics SPR.[12]

I.13. Les matériaux plasmonique et leur propriété :

La condition nécessaire pour générer l'effet plasmonique est la présence d'une forte densité de charges libres qui est traduit par une constante diélectrique négative. Cependant, l'oscillation de ces charges libres entraîne aussi une dissipation de l'énergie par absorption, ce qui peut affecter le bilan énergétique global. Par conséquent, un compromis entre ces deux effets doit être trouvé en choisissant essentiellement le matériau à utiliser.

I.13.1 Les métaux :

Due à leur forte conductivité, les métaux sont les premiers candidats pour les applications en plasmonique. Toutefois, l'argent et l'or sont les plus utilisés grâce à leur absorption relativement faible dans la gamme du visible et proche IR, L'argent est le meilleur conducteur présentant la plus basse absorption.

Cependant, il est chimiquement instable en comparaison à l'or. Ce dernier est le meilleur matériau, après l'argent, en termes de pertes, mais présente un coût plus élevé. Le cuivre, beaucoup moins cher, présente des propriétés similaires à celles de l'or dans la gamme du visible, ce qui le rend un bon candidat pour remplacer l'or et l'argent. Cependant, à cause de son instabilité chimique, la fabrication de dispositif à base de cuivre est très difficile. Aussi, l'aluminium, malgré sa forte absorption dans le domaine proche IR, a récemment suscité plusieurs études pour des applications en plasmonique. La partie réelle de sa fonction diélectrique est négative dans l'UV jusqu'à des longueurs d'onde inférieures à 200 nm tout en gardant une partie imaginaire plus faible que celles de l'or et l'argent, que d'autres métaux aient été étudiés, leur utilisation est limitée par leurs pertes assez élevées dans le domaine du visible. Par exemple, le platine et le palladium ont été utilisés comme matériaux plasmoniques dans les systèmes où l'activité catalytique du matériau est importante pour le fonctionnement du dispositif global.

I.13.2 Les alliages métalliques :

L'une des approches adoptées pour améliorer les performances plasmoniques des métaux, surtout en termes de diminution de pertes, est l'utilisation des alliages. Malgré que les métaux nobles aient démontré des propriétés plasmoniques intéressantes, pour certaines applications il convient de décaler la position des transitions interbandes à un autre domaine spectrale. Pour cela, l'utilisation d'alliages, métaux nobles-métaux de transitions par exemple, permet de contrôler la structure de bande en ajustant la proportion de chaque métal de l'alliage.

I.13.4. Les semi-conducteurs :

Les semi-conducteurs sont classiquement considérés comme des matériaux diélectriques pour des fréquences supérieures à plusieurs centaines de THz. Cependant, la partie réelle de leur fonction diélectrique peut être négative sous certaines conditions.

En raison de la facilité de fabrication et de contrôle de leurs propriétés telles que la concentration de porteurs, les semi-conducteurs sont considérés comme des candidats potentiels pour la plasmonique.

Pour que ceux-ci soient qualifiés comme matériaux plasmoniques à faibles pertes, l'énergie de la bande interdite et la fréquence plasma (densité de charge) du semi-conducteur doivent être plus grandes que la gamme de fréquences d'intérêt. Une fréquence plasma élevée assure une permittivité réelle négative, alors qu'une large bande interdite minimise les pertes par les transitions inter-bandes. Un fort dopage des semi-conducteurs est nécessaire pour avoir des fréquences de coupure proches du domaine du visible. L'oxyde d'étain et d'indium (ITO pour Indium-Tin-Oxide) et l'oxyde de Zinc (ZnO) dopés présentent des propriétés plasmoniques intéressantes dans le domaine proche IR.

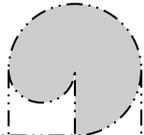
I.14. Configurations des capteurs SPR à base de fibres optiques :

Plus de 6 types de configurations expérimentales ont été identifiées dans la littérature pour une étude et le développement des capteurs SPR à fibre optique. Ces montages ont été développés pour les analyses dans des milieux liquides ou gazeux. Ces études sont basées sur l'emploi de fibres multimodes et monomodes [13] [14]. Typiquement, ces CFO sont réalisés à partir de fibres optiques dont le cœur a été dénudé sur une longueur limitée (15 mm) puis revêtu par une ou des couches métalliques (argent ou or en général).

Si la zone métallisée dite « sensible » se situe au milieu de la fibre, on parlera alors de capteur en transmission ou "in-line transmission-based" CFO à SPR [15].

I.15. Conclusion :

Les capteurs nous permettent d'analyser une source analogique et de nous la transmettre électrique en état numérique. Cela nous permet d'analyser l'énergie (chaleur, humidité, etc...), et toujours dans ce chapitre, nous avons étudié la validité des résultats expérimentaux du capteur à fibre optique SPR.



Chapitre II :

Le gaz et ses propriétés physiques

II.1 Introduction :

Dans ce chapitre, nous allons parler du gaz, qui est un groupe d'atomes ou de molécules faiblement liés et semi-indépendants. A l'état gazeux, la matière n'a ni forme ni volumes propres: le gaz tend à occuper tout le volume disponible. Cette phase constitue l'un des trois états dans lesquels on peut trouver une substance pure, les autres étant les phases solide et liquide. Le passage de l'état liquide à l'état gazeux est appelé évaporation. Le corps est alors classé comme une vapeur.

II.2 Définition :

Le gaz est un combustible utilisé comme source d'énergie sous forme de gaz naturel (méthane), gaz butane ou propane (produit pétrolier), ou de composés organiques fossiles ou non (charbon, houille, biogaz, ... etc).[16]

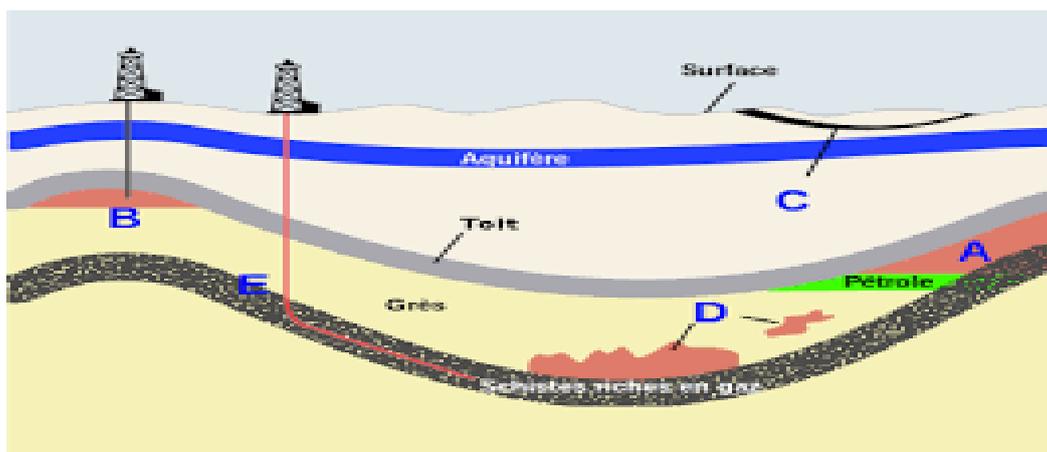


Figure 2.1 Gaz naturel

II.3 Les avantages du gaz :

- Une fois extrait, il peut être utilisé tel quel, sans transformation.
- Il s'agit du combustible fossile le moins polluant, car sa combustion génère principalement du CO₂ et de la vapeur d'eau.
- Par rapport aux autres combustibles, le gaz naturel n'émet que 30 à 50% d'émissions de CO₂.

-
- Pour produire 1 kWh, le gaz naturel émet uniquement 234 g de CO₂. Pour produire la même quantité, le fioul rejette quant à lui 300g de CO₂ et le charbon 384g.
 - Autre atout du gaz naturel, lors de sa combustion il n'émet quasiment pas de particules fines et beaucoup moins de gaz à effet de serre.

II.4 Les dangers du gaz :

Le danger d'étouffement et d'explosion est à l'origine de la plupart de ces accidents, et nous aborderons en détail les deux dangers suivants :

II.4.1 Risque d'étouffement :

Et cela résulte des fuites de gaz naturel ou de gaz brûlés des appareils de chauffage, tels que le mono gazeux et le gaz carbonique à l'intérieur des pièces.

- Asphyxie au dioxyde de carbone :

L'une des raisons les plus importantes conduisant à l'étouffement des personnes à l'intérieur des bâtiments avec ce gaz : une mauvaise ventilation du bâtiment ou de la pièce, car nous constatons que le volume d'oxygène à l'intérieur de la pièce diminue tandis que le volume de gaz carbonique augmente en raison de la combustion. du gaz naturel et de la respiration des personnes à l'intérieur de la pièce. De même, la mauvaise qualité des appareils de chauffage, qui provoquent des fuites de gaz brûlants à l'intérieur de la pièce au lieu de les rejeter à l'extérieur, et enfin le manque d'entretien des appareils de chauffage et des sorties de gaz, car tout bouchon dans la cheminée peut conduire à changer le trajet du gaz brûlant dans la pièce.

- Asphyxie au monoxyde de carbone :

Ce gaz résulte de la combustion incomplète du gaz naturel suite au manque sévère d'oxygène à l'intérieur de la pièce. Son danger réside dans le fait qu'il s'agit d'un gaz toxique inodore et incolore + 250 fois plus rapide que l'oxygène pour pénétrer dans les bronches à l'intérieur des poumons et se fixant sur les molécules d'hémoglobine : formant deux parties difficiles à démonter appelées « carboxy. hémoglobine ». Ce dernier est à l'origine de l'arrêt du processus de respiration et donc de l'étouffement en quelques instants.

II.4.2 Risque d'explosion :

Une explosion est l'une des réactions chimiques productrices de chaleur qui s'accompagnent d'actions physiques telles qu'une augmentation de la pression et de la chaleur, et pour qu'elle se produise, cinq conditions (conditions) doivent être remplies simultanément pour former une explosion pentagonale Ses en-têtes sont les suivants:

- **L'habitude explosive :**

Il est principalement à l'état gazeux et le volume de gaz par rapport au volume d'air doit être compris entre la valeur limite inférieure d'explosion (LEL) et la valeur limite supérieure d'explosion (UEL) pour ce gaz [17].

- **Milieu de l'explosion :**

Dans Habituellement, c'est le gaz oxygène à l'intérieur de la pièce.

- **Source d'allumage :**

Toute source thermique, électrique ou électromagnétique susceptible de provoquer l'explosion.

- **Espace clos :**

La forme de la chambre affecte l'intensité de l'explosion, car la forme fermée maintient l'état de pression et les volumes de gaz à l'intérieur de la chambre.

- **Dilatation des gaz :**

Les dimensions de la pièce jouent un rôle dans la dilatation des gaz à l'intérieur, ce qui contribue à explosion s'est produite.

II.5 Les différents types de gaz :

Le gaz est d'une grande importance et a plusieurs types différents, différents les uns des autres, que nous allons maintenant mentionner :

II.5.1. Le gaz naturel :

Le gaz naturel est le type de gaz le plus courant en usage domestique car il est distribué directement aux consommateurs via un système de canalisations centralisé. Le gaz naturel - d'où son nom - est extrait directement du sous-sol et subit très peu de transformations.

II.5.2. Les biogaz :

Ils sont issus d'un procédé de "méthanisation", c'est-à-dire de la fermentation de matières organiques (comme les déchets agricoles ou agro-alimentaires). Le biométhane en particulier est un biogaz épuré, dont la composition est très proche de celle du gaz naturel. Un atout de taille car on peut donc tout à fait l'injecter dans les réseaux de gaz naturel.

II.5.3. Le gaz propane et le gaz butane :

Le gaz propane et le gaz butane sont des gaz dérivés du pétrole, commercialisés sous forme de bouteilles de gaz ou par remplissage de citerne. Ce sont ce qu'on appelle des GPL, Gaz de Pétrole Liquéfié (GPL). Les GPL sont largement utilisés comme énergie de cuisson mais aussi pour le bricolage et le jardinage et pour des équipements de chauffage.

II.5.4 Le gaz de ville :

Dans le langage courant, on utilise souvent l'expression "gaz de ville" pour désigner le gaz naturel. Pourtant, cette expression fait référence à un autre type de gaz à la composition très différente du gaz naturel. Ainsi le gaz de ville "originel" n'est plus distribué sur le réseau du gaz depuis des dizaines d'années. À l'origine, le gaz surnommé gaz de ville, ou gaz d'éclairage, était un gaz manufacturé. Il était produit dans des usines à gaz par différents procédés, dont la distillation de la houille. Ce gaz circulait dans le réseau de distribution des villes durant le XIXe siècle et le début du XXe siècle et servait notamment à allumer les réverbères, mais le chauffage au gaz de ville était également possible.[18]

II.5. Caractéristiques du gaz :

Il existe plusieurs caractéristiques par les propriétés suivantes :

II.5.1 Densité :

Pour un gaz elle est définie par le rapport de sa masse volumique à celle de l'air dans les conditions déterminées de la température et de la pression.

II.5.2 Pouvoir calorifique :

C'est la quantité de chaleur dégagée par la combustion d'une unité de volume du gaz, mesurée dans les conditions de référence. Le pouvoir calorifique pour le gaz naturel s'exprime en (J/m³). Il existe deux valeurs de pouvoir calorifique :

- **Pouvoir calorifique supérieur (PCS) :**

C'est la quantité de chaleur dégagée lorsque tous les produits de combustion sont ramenés à la température ambiante, l'eau formée étant liquide.

- **Pouvoir calorifique inférieur (PCI) :**

C'est la quantité de chaleur dégagée lorsque tous les produits de combustion sont ramenés à la température ambiante, l'eau restée à l'état vapeur.

II.6 Les propriétés physiques des gaz:

Les propriétés physiques des gaz déterminent les façons qu'ils ont de réagir sous l'effet de certaines variations de leurs conditions physiques, soit de leur pression, de leur température ou de leur volume. [19]

II.7 Mesure de débit de gaz :

Dans le monde de la mesure des débits de gaz, il existe de multiples technologies, notamment:

- Débitmètres thermiques.
- Débitmètres à pression différentielle.
- Débitmètres à ultrason.
- Débitmètres Coriolis.

- Débitmètres mécaniques.

II.8 Gaz et optique :

Il existe une relation étroite entre le gaz et optique :

- L'indice de réfraction gazeuse (loi de Gladstone, aberration).
- Absorption lumineuse, émission (loi de Kirchhoff).
- Gaz coloré (par exemple le dioxyde d'azote NO_2 est roux).
- Lampe à gaz.
- Jets atomiques ...

II.9 L'indice de réfraction :

L'indice de réfraction est la caractéristique d'un verre, qui varie selon le matériau. a la base de la conception de la lentille optique, la réfraction est le phénomène de changement de direction d'un rayon lumineux qui passe d'un milieu (matériau) à un autre.

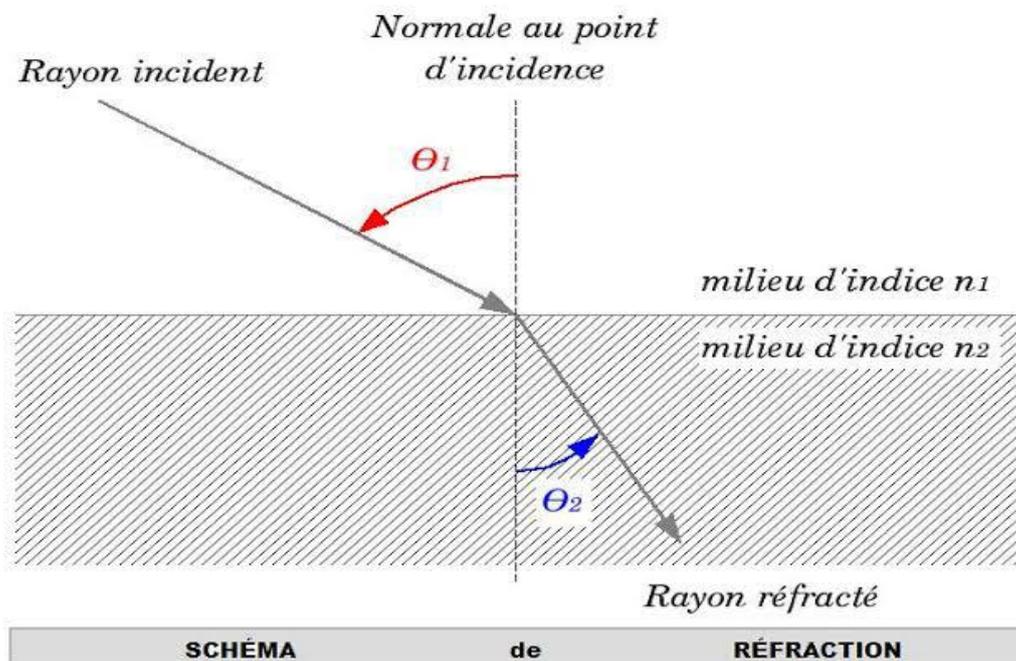


Figure 2.2: Réfraction.

Le **tableau II.1** donne quelques valeurs d'indices des différents milieux dans le visible

Milieu	Indices (N)
Air, vide	1
Eau	1.33
Ethanol	1.36
Plexiglas	1.50
Verre	1.50
Diamant	2.42
Co ² (gaz)	1.00042
Butane (gaz)	1,00038
Méthane (gaz)	1.00040
Propane (gaz)	1.00034

Tableau 2.1: : les indices de réfractions des différents milieux transparents

II.10 Mesure de l'indice de réfraction d'un gaz avec un Michelson:

Nous suggérons l'indice de réfraction des gaz par interférométrie (et plus précisément sa variation avec la pression).

L'expérience consiste à placer devant l'un des deux miroirs d'un Michelson une cellule cylindrique contenant le gaz étudié (de l'air par exemple) et à faire varier sa pression en utilisant une pompe manuelle équipée d'un manomètre. On observe alors un défilement des franges, que l'on compte en fonction de la dépression. L'interféromètre de Michelson est éclairé par un laser de façon à observer des franges quelconques (rectilignes ou anneaux, près ou loin du contact optique peu importe, donc inutile ici d'être un virtuose du réglage du Michelson ...).

Lorsque la cellule qui a le gaz est placée devant l'une des deux fentes, on observe un changement de marche du système d'interférence :

$$\delta = \delta_0 + 2e \times (n-1) \quad (\text{II.1})$$

X , étant un décalage fixe dû aux fentes d'entrée et de sortie de la cellule, e l'épaisseur de gaz dans la cellule et n son indice de réfraction.

On suppose que cet indice varie linéairement avec la pression P (hypothèse que l'on pourra vérifier a posteriori)

$$n(P) = 1 + \alpha P \quad (\text{II.2})$$

On a donc :

$$\delta = \delta_0 + 2e \alpha P. \quad (\text{II.3})$$

Or, $X = k\lambda$, lorsque les interférences sont constructives (k entier ordre d'interférences)

Quand la pression varie, l'indice de réfraction donc la différence de marche varie, donc les franges défilent. On a alors :

$\Delta\delta = 2e \alpha \Delta P \lambda$ où Δk est le nombre franges qui ont défilé pour une dépression ΔP .

Soit :

$$\alpha = (\Delta k / \Delta P) \times \lambda / (2e) \quad (\text{II.4})$$

■ Méthode de mesure :

On place un signe constant sur un écran et on note les valeurs de vide (A_p) étudiées sur le manomètre pour chaque passage marginal ($\Delta k = 1, 2, \dots$) Au-dessus de ce repère, on trace la fonction A_p pour A_k et on trouve une droite dont pente ($\Delta P / \Delta k$) nous permet de calculer α , puis d'en déduire $n(p)$.

Si on n'a pas le temps de tracer une courbe, on peut se contenter de compter le nombre N de franges qui défilent entre la pression atmosphérique et le vide », et écrire :

$$\delta = \delta_0 + 2ex(n-1) = k\lambda \text{ donc } \Delta\delta = 2ex\Delta n = k\lambda, \text{ soit } \Delta n = \Delta k \lambda / 2e$$

Donc pour une variation de pression de P_{atm} à 0 (n-1) donnant $\Delta k = N$ franges .

$$n(P_{atm}) = 1 + N \times \frac{\lambda}{2e} \quad \text{(II.5)}$$

Ce qui revient à supposer (sans le vérifier) une variation linéaire de l'indice avec la pression.

Pour les valeurs tabulées de l'indice des gaz, consultez un Handbook (disponible dans la bibliothèque du 1^{er} étage).

On dispose de deux cellules : une petite ($e = 1 \text{ cm}$), adaptée aux Michelson Sopra (petits miroirs), et une grande ($e = 5 \text{ cm}$), adaptée au Michelson DMS (grands miroirs). La mesure sera plus précise avec cette dernière, car on comptera un plus grand nombre de franges. La précision sur l'épaisseur e de ces cellules est inconnue. [20]

II.11 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons vu tout ce qui concerne les gaz et les risques qu'ils peuvent engendrer, outre le rôle important que joue l'indice de réfraction dans la détection de ces gaz, et la difficulté de mener des expériences pour obtenir l'indice de réfraction des gaz.

Chapitre III

Méthodes D'interrogations optiques des capteurs

III.1 Introduction :

La technologie optique est l'une des technologies les plus difficiles à contrôler et à développer, et par conséquent, elle est exposée à plusieurs défis tels que les performances optiques médiocres et la compatibilité. À partir de là, nous examinons plusieurs méthodes d'interrogation des capteurs optiques.

III.2 Méthode d'interrogation optique des capteurs :

Les capteurs optiques sont des dispositifs capables de détecter l'intensité de la lumière et de la convertir en une grandeur mesurable telle qu'un courant ou une tension électrique. Ils sont efficaces pour détecter la chaleur, la couleur ou la présence de certains gaz ou constituants chimiques et L'onde lumineuse contient plusieurs informations, amplitude, intensité, longueur d'onde, etc., qui sont utilisées pour concevoir le capteur optique et utiliser des méthodes d'interrogation visuelle de la réponse du capteur. et Pour améliorer les performances du capteur, nous discutons de 4 méthodes d'interrogation optique :

- La mesure de la variation de l'amplitude ou de l'intensité lumineuse [21] entre l'entrée et la sortie d'un capteur.
- Un changement de phase qui modifie la vitesse de phase de l'onde est mesuré dans l'un des bras de l'interféromètre, et se traduit donc par un déphasage entre les deux bras.[22]
- L'interaction avec un analyte, comme dans le cas de notre capteur de fluide optique, peut être provoquée par la mesure de l'anisotropie de phase d'une onde lumineuse dirigée dans un microrésonateur.[23]
- La méthode d'interférométrie optique d'une source à faible cohérence se distingue par son interrogation simultanée de l'amplitude et du changement de phase de l'onde dans le guide d'onde pour extraire l'information à analyser.

III.3 Méthode de calcul :

Les méthodes d'utilisation de la propagation des ondes électromagnétiques dans les cristaux photoniques sont très variées. L'analyse numérique et la programmation des principales techniques utilisées sont le domaine temporel des différences finies (FDTD) et l'expansion des ondes planes (PWE).[23]

III.3.1 La méthode FDTD :

FDTD est l'acronyme de l'expression anglaise de domaine temporel fini. Dépend de pour résoudre des équations largement utilisées en électromagnétisme, les équations de Maxwell ont toutes été proposées en 1966 par l'algorithme.[25]

Elle permet également de connaître la réponse spectrale et de calculer des distributions de champ dans des structures de dimensions finies, et elle permet également d'obtenir des informations à partir d'autres grandeurs et de l'énergie électromagnétique stockée.

III.3.2 La méthode PWE :

C'est une façon de résoudre les équations de Maxwell dans le domaine fréquentiel et la décomposition des ondes planes sur lesquelles repose le problème électromagnétique. Il est également utilisé pour analyser les propriétés de diffusion des matériaux à bande interdite optique et pour déterminer la fréquence, la polarisation et la distribution de champ des modes de structure optique.

III.4 Méthode des matrices de transfert TMM :

Il est utilisé pour calculer les coefficients de réseau et de transition des cristaux photoniques de taille finie et est utilisé pour calculer la structure de bande d'un cristal en cascade qui a été adapté au cas des cristaux photoniques par Bendery au début des années 1990 et Reynolds [26]

Ceci fait l'expression du champ électromagnétique sur une couche en fonction du champ dans la couche précédente, puis on calcule l'évolution d'une couche à l'autre pour le champ du cristal, et pour cela on utilise les coefficients de transmission et de réflexion et il est caractérisé

par une vitesse de calcul élevée et Les opérations arithmétiques occupent une petite quantité de mémoire.

III.4.1 Formalisme matricielle :

Utilisé pour calculer la photo-réponse d'une structure multicouche.

Cette méthode remplit chaque interface avec une matrice d'interface et chaque couche avec une matrice de couche, et le résultat est la réflexion, la transmission et l'absorption de la structure complète sur la base des définitions de capacités [27] liées aux équations suivantes :

$$B = A_{1r} + B_{22}. \quad (\text{III.1})$$

$$A_2 = A_1 t_{12} + B_2 r_{21}$$

A_1, A_2 : les amplitudes de l'onde qui se propage a droite.

B_1, B_2 : les amplitudes de l'onde qui se propage a gauche.

$r_{12}, r_{12}, t_{21}, t_{21}$: les coefficients de réflexion de transmission de frensel .

L'équation est résolue donne :

$$\{A_1 = \frac{1}{t_{12}}A_2 - \frac{r_{21}}{t_{12}}B_2 \quad B_1 = \frac{r_{12}}{t_{12}}A_2 + \left(t_{21} - \frac{r_{12}r_{21}}{t_{12}}\right)B_2 \quad (\text{III.2})$$

En utilisant :

$$r_{12} = -r_{21} \text{ et } t_{21} = (1 - r_{12}^2) \frac{1}{t_{12}} \quad (\text{III.3})$$

En simplifier :

$$\{A_1 = \frac{1}{t_{12}}A_2 + \frac{r_{12}}{t_{12}}B_2 \quad B_1 = \frac{r_{12}}{t_{12}}A_2 + \frac{1}{t_{12}}B_2 \quad (\text{III.4})$$

- **La matrice interface :**

Donné sous la forme :

$$\begin{bmatrix} A_1 \\ B_1 \end{bmatrix} = \frac{1}{t_{12}} \begin{bmatrix} 1 & r_{12} \\ r_{12} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_2 \\ B_2 \end{bmatrix} = I_{12} \begin{bmatrix} A_2 \\ B_2 \end{bmatrix} \quad (\text{III.5})$$

Une méthode qui nécessite que les ondes se propagent d'une extrémité à l'autre d'une matrice de couches homogènes.

- **La matrice d'une couche homogène :**

$$\begin{bmatrix} A \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} e^{i\beta} & 0 \\ 0 & e^{-i\beta} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A' \\ B' \end{bmatrix} = L \begin{bmatrix} A' \\ B' \end{bmatrix} \quad (\text{III.6})$$

A et B : les amplitudes de champs à l'extrémité gauche du milieu.

A' et B' : les champs l'extrémité droit du milieu

β : le déphasage qui donne par :

Où est l'angle d'incidence, la matrice diagonal L. est la matrice couche. Pour les milieux sans perte, la matrice couche est unitaire [28].

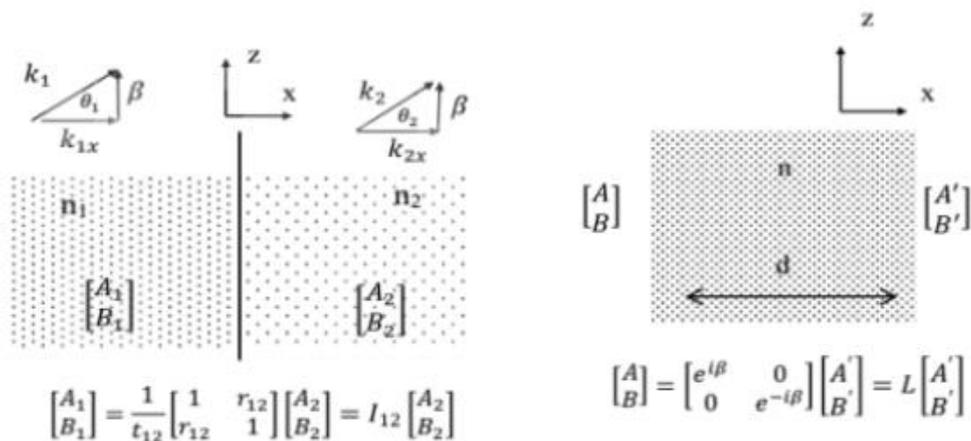


Figure 3.1::(a) une matrice interface entre deux milieu (b) matrice d'une couche homogène
Maintenant, la matrice d'interface et la matrice de couches peuvent être utilisées pour traiter une structure multicouche .[29]

III.5 Structures en multicouches:

Le système considéré comporte N couches planes perpendiculaires à l'axe z . Chaque couche est définie par son indice de réfraction et son épaisseur. Les matériaux sont supposés non magnétiques. Dans le cas d'un matériau absorbant ou d'un conducteur, on définira un indice complexe.

Les matériaux et leurs surfaces sont supposés non diffusants. Dans ce cas, les réflexions sont spéculaires. En pratique, cela est réalisé pour des surfaces polies, dont les irrégularités sont beaucoup plus petites que la longueur d'onde du rayonnement.

On considère la réflexion et la transmission d'une onde électromagnétique plane monochromatique sur cette structure. L'indice du milieu d'incidence est noté n_i et l'angle d'incidence de l'onde θ_i . L'indice du milieu de transmission est n_t .

En partant du milieu d'incidence, les couches sont numérotées de 1 à N . On note n_k l'indice de réfraction de la couche k et e_k son épaisseur.[30]

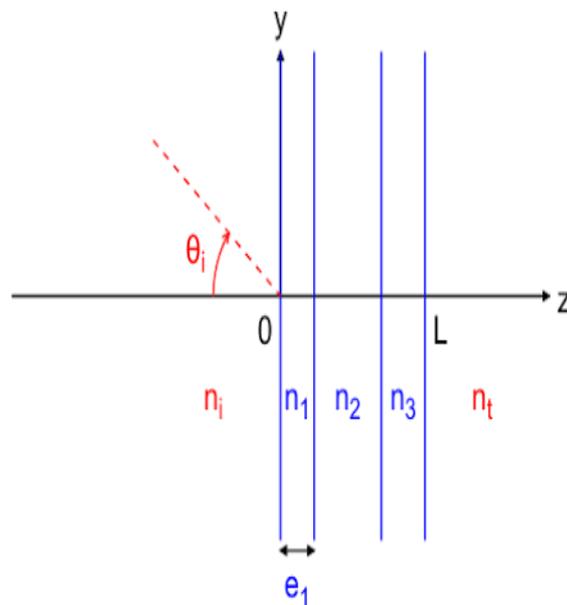


Figure 3.2:: Structures en multicouches.

- **Coefficient de réflexion :**

Pour chaque couche, l'angle des rayons par rapport à l'axe z [31] est donné par la loi de Descartes :

$$n_i \sin \theta_i = n_k \sin \theta_k \quad (\text{III.8})$$

La phase de chaque couche :

$$\varphi_k = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right) n_k e_k \cos \theta_k \quad (\text{III.9})$$

On définit pour chaque couche et pour les milieux d'incidence et de transmission le paramètre suivant pour une onde TE

$$P_k = \left(\frac{n_k}{c}\right) \cos \theta_k \quad (\text{III.10})$$

La matrice de transfert de la couche k est :

$$M_k = \frac{\cos \theta_k \left(\frac{i}{P_k}\right) \sin \theta_k}{i P_k \sin \theta_k} \quad (\text{III.11})$$

La matrice de transfert est donnée par le produit suivant, Pour l'ensemble des N couches

$$M = M_1 M_2 \dots M_N \quad (\text{III.12})$$

La première interface Z=0 et la dernière Z=L, la matrice permet d'exprimer les amplitudes des champs électrique et magnétique en z=0 en fonction des amplitudes en z=L. Ainsi, pour l'onde TE :

$$E(0)B(0) = M_{E(L)B(L)} \quad (\text{III.13})$$

Dans cette relation E(z) désigne l'amplitude du champ électrique (composante x) et B(z) celle du champ magnétique (composante y). Pour l'onde TM, il suffit d'inverser E et B.

La continuité des composantes tangentielles des champs en z=0 et z=L s'écrit :

$$E_i + E_r = E(0)$$

$$E(L) = E_t \quad (\text{III.14})$$

$$B(0) = P_i(E_i - E_r)$$

$$B(L) = P_t E_t$$

Les coefficients de réflexion et de transmission des puissances, appelés aussi facteurs de réflexion et de transmission, sont :

$$R = |r|^2 \quad (\text{III.15})$$

$$T = \left(\frac{P_t}{P_i}\right) |t|^2 \quad (\text{III.16})$$

Dans le cas de couches absorbantes, le facteur d'absorption donne la fraction de puissance incidente absorbée dans la structure :

$$A=1-R-T. \quad (\text{III.17})$$

III.6 Présentation d'outils de simulation :

C'est un outil qui permet aux chercheurs de comprendre la complexité qualifiée des systèmes sociaux grâce au développement informatique et permet aux chercheurs de prêter attention aux concepts d'instabilité ou d'irréversibilité....

III.6.1 Environnement MATLAB :

MATLAB est utilisé, ce qui nous aide à calculer des informations pour le biocapteur et a été développé par Cleve Moler à la fin des années 90. Matlab est une plate-forme numérique de programmation et de calcul utilisée par des millions d'ingénieurs et de scientifiques pour analyser des données, développer des algorithmes et créer des modèles.[32].

III.6.1.1 *Les avantages de MATLAB :*

L'environnement de programmation Matlab possède de nombreux avantages :

- Développement rapide pour le calcul et pour l'affichage.
- Un environnement facile d'approche pour un débutant.
- Un éditeur intégré.
- Une librairie riche.
- La possibilité d'intégrer un programme en C++/C++.
- Une documentation bien faite.

III.6.2. **Type de modes de fonctionnement MATLAB :**

Il existe deux modes de fonctionnement pour MATLAB :

- **Mode interactif :**

Les instructions sont exécutées telles qu'elles sont données par l'utilisateur, c'est-à-dire commande par commande.

- **Mode exécutif :**

Un ensemble de commandes écrites dans un fichier officiel est exécuté par un programme que les élèves exécutent en saisissant des instructions et des commandes, et il comporte de nombreuses fenêtres, dont la plus importante est :

- Fenêtre de commande : Dans lequel vous utilisez l'application d'instructions et de commandes.
- Current folder : Il stocke le travail des projets contenant de nombreux fichiers variables dans la mémoire.
- Espace de travail : Tous les fichiers de variables en mémoire.
- Historique des commandes : Enregistre la date et l'heure de toutes les commandes.

[32]

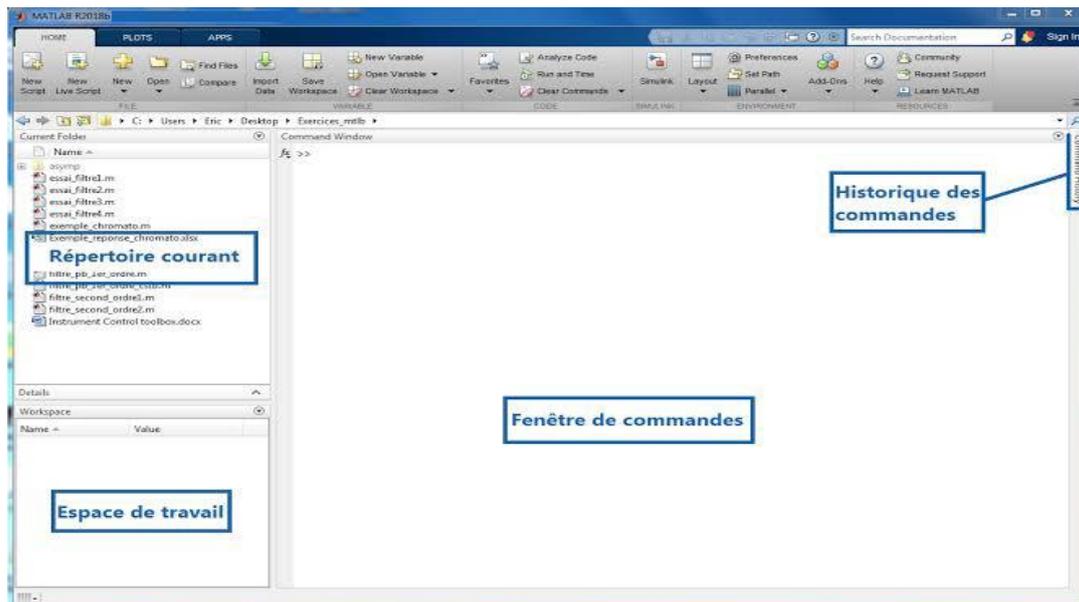


Figure 3.3.: Environnement MATLAB.

III.8 Paramètres caractérisant les performances d'un biocapteur :

III.8.1 La Sensibilité :

Le capteur sensible peut être une mesure (indicateur, épaisseur, mise au point, etc.) capable de détecter la différence minimale, le calcul de la variation de la longueur d'onde de résonance par rapport à l'indice de réfraction du milieu diélectrique[34].

Une relation entre les changements de la quantité qui détermine la sensibilité de s et le changement Δn en tant que caractérisation de la résonance plasmonique et du changement de l'indice de réfraction d'un milieu diélectrique [35].

$$S = \Delta f_{res} / \Delta n. \quad (III.18)$$

- Interrogation angulaire :

On s'intéresse à la réflectivité en fonction de l'angle de résonance θ de la longueur d'onde de la lumière incidente dans les capteurs à intercepteur d'angle et la moindre variation de l'indice de réfraction fera passer l'angle de résonance à une valeur plus grande.

La définition :

$$s\theta = \Delta\theta / \Delta n. \quad (III.19)$$

- **Interrogations spectacles :**

L'angle d'incidence est maintenu fixe mais supérieur à l'angle critique, et la longueur d'onde de la lumière incidente est modifiée. L'énergie maximale est transférée de l'onde évanescente au plasmon de surface, ce qui correspond à la réflectivité minimale. Dans ce type d'interrogation, la longueur d'onde de résonance augmente avec l'indice de réfraction de l'analyte.[36]

Elle à définir par :

$$s\lambda = \Delta\lambda / \Delta n. \quad (\text{III.20})$$

- **Interrogation d'intensité :**

la variation de réflectance avec l'indice de l'analyte donne une valeur fixe d'angle d'incidence supérieure à l'angle critique, et aussi Cette méthode est similaire à l'interrogation d'angle.

La définition:

$$sI = \Delta R / \Delta n. \quad (\text{III.21})$$

- **Interrogation de phase :** dans cette interrogation il y a deux polarisation, d'interférence : TM et TE d'une longueur d'onde fixe.

La phase de la lumière en polarisation TM :

$$\phi_p = \arg(r_p). \quad (\text{III.22})$$

La différence entre TM et TE

$$\Phi_d = |\phi_p - \phi_s|. \quad (\text{III.23})$$

La sensibilité de phase :

$$S_\phi = \Delta\phi_d / \Delta n. \quad (\text{III.24})$$

La sensibilité est donnée [nm/RIU] ou égale [deg /RIU] selon le mode d'interrogation, Parfois les détecteurs de phase sont très sensibles et fonctionnent à un angle fixe.

III.8.2 FWHM (largeur à mi -hauteur):

FWHM Il s'agit de la largeur d'une forme de ligne à la moitié de sa largeur maximale et est utilisé pour définir la précision.

III.8.3 FOM (Figure de mérite) :

Il évalue les performances liées au travail de l'appareil, En règle générale, ce chiffre est représenté par un point sur une échelle et peut impliquer la comparaison des mérites du dispositif avec des produits similaires [37].

Elle est définie par :

$$\text{FOM} = s / \text{FWHM} \quad (\text{III.25})$$

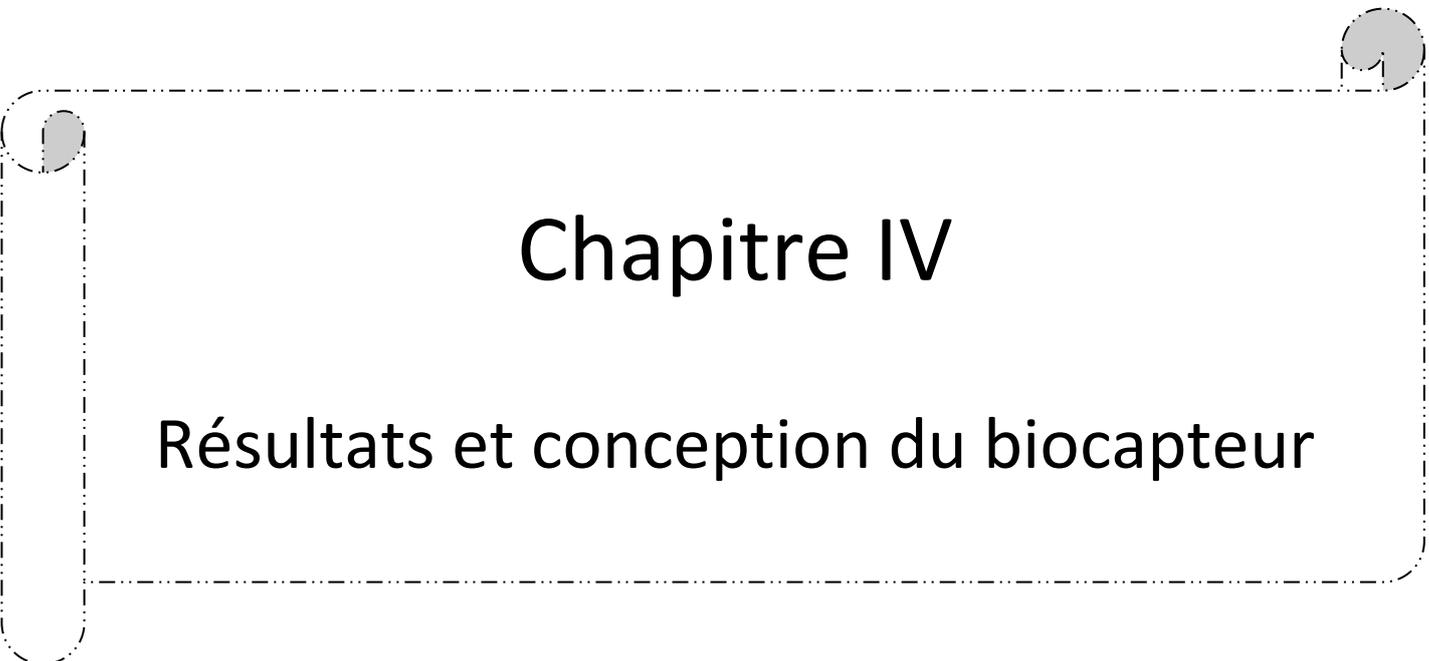
III.8.4 Précision de détection (DA) :

Il est défini comme l'inverse de la largeur à la moitié de la hauteur de la courbe SPR et est utilisé pour déterminer la précision du capteur SPR

$$\text{DA} = 1 / \text{FWHM}. \quad (\text{III.26})$$

III.9 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons décrit toutes les méthodes impliquées dans la modélisation numérique et les méthodes de calcul des paramètres de performance d'un biocapteur que nous devons utiliser à l'aide du logiciel MATLAB.



Chapitre IV

Résultats et conception du biocapteur

IV.1 Introduction :

L'objectif de ce travail est de concevoir un capteur à base de cristaux plasmonique pour le suivi de gaz. Dans cette étude, nous avons proposé différentes structures utilisant différents métaux d'argent (Ag) et d'or (Au) et différents isolants $X_1X_2 \rightarrow$ oxyde de silice (SiO_2) et oxyde de titane (TiO_2) et ceci afin de choisir la meilleure structure pour les meilleures performances. La variation périodique de l'indice de réfraction modifie considérablement les propriétés spectrales telles que la réflectance (coefficient de réflexion R), la transmission (coefficient de transmission T) et la structure de bande. Nous utilisons la méthode de la matrice de transfert (TMM) pour les calculs dans les structures multicouches afin d'effectuer l'analyse compositionnelle.

$$\begin{bmatrix} A_0 \\ B_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M_{11} & M_{12} \\ M_{21} & M_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_{m+1} \\ B_{m+1} \end{bmatrix} = M \begin{bmatrix} A_{m+1} \\ B_{m+1} \end{bmatrix} \quad (\text{IV.1})$$

IV.2 Le schéma considéré :

Le domaine qui intéresse le plus les capteurs SPR est sans aucun doute la bio-détection. Aujourd'hui, de nombreuses entreprises se concentrent sur la fabrication de ce type de détecteur. Le dispositif considéré est un capteur qui repose sur le couplage par prisme en configuration Kretschmann-Raether.

On note en particulier les caractéristiques suivantes :

- La longueur d'onde d'excitation est fixée sur 632,8 nm, ce qui se traduit par une analyse angulaire, le choix de du laser **Hélium-Néon (632,8nm)** nous permet de émettre une lumière visible (faisceau rouge).
- La couche métallique est constituée soit par l'argent (Ag) soit par l'or (Au) ces deux métaux sont largement utilisés dans les applications de bio-détection en raison de leur sensibilité et de leur stabilité.

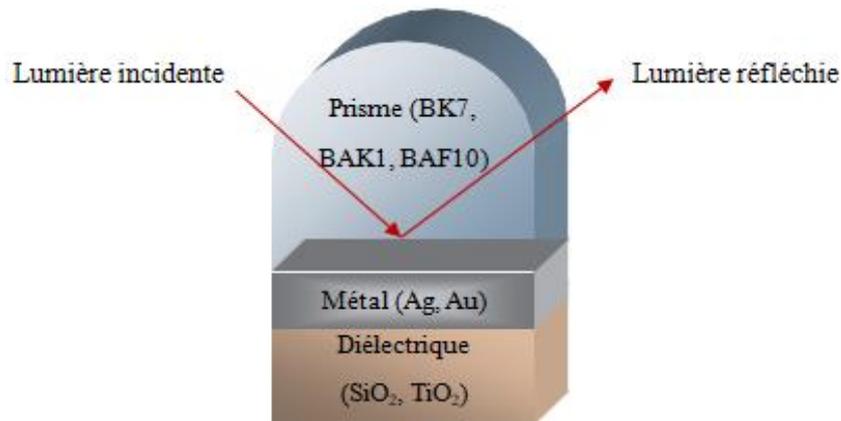


Figure4.1: Schéma descriptif du capteur

matériaux	Indices de réfraction
L'argent (Ag)	$n_r=0,059$ $n_i=4,279$
L'or (Au)	$n_r=0,172$ $n_i=3,421$
Dioxyde de silice (SiO ₂)	$n_{SiO_2}=1,451$
Dioxyde de titan (TiO ₂)	$n_{TiO_2}=2,232$
Prisme (BK7)	$n_{BK7}=1,515$
Prisme (BAK1)	$n_{BAK1}=1,570$
Prisme (BAF10)	$n_{BAF10}=1,667$

Tableau 4.1: Paramètres optiques utilisés pour le calcul des propriétés de (SPR).

IV.3 Les structures proposées :

L'épaisseur optimale, qui permet d'annuler la réflectivité minimale, est évidente dans la détection d'intensité. En effet, le rapport de contraste (le rapport entre la réflectance mesurée à la résonance et la réflectance minimale) affecte la résolution du capteur.

Il est donc intéressant d'évaluer l'épaisseur des différents métaux et diélectriques en fonction de la longueur d'onde (632,8nm).

IV.4. Optimisation de l'épaisseur du métal :

L'étude de la résonance plasmonique de surface par l'équation de Fresnel permet de définir l'épaisseur optimale de la couche métallique à une réflectivité égale à zéro. Dans l'architecture ATR, l'épaisseur optimale (d) est donnée par la relation :

λ_0 est la longueur d'onde ($\lambda_0 = 632.8 \text{ nm}$) et ϵ_r, ϵ_i sont les composantes réelle et imaginaire de la permittivité du métal, ϵ_d est la permittivité diélectrique.

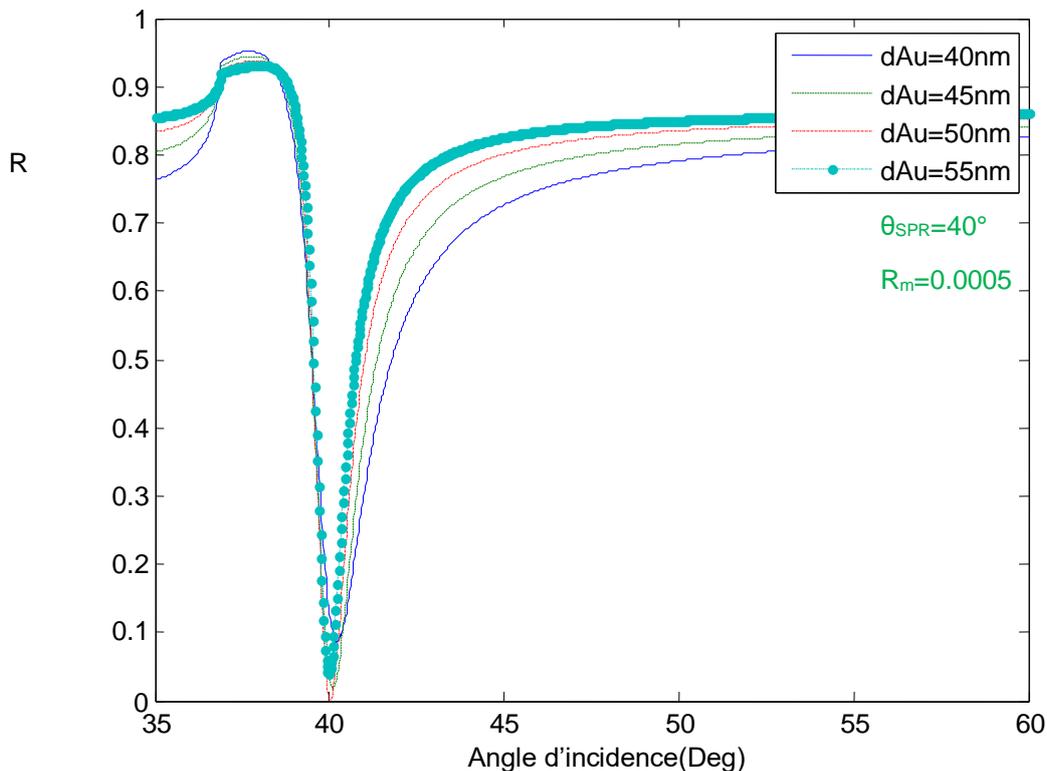
Cette épaisseur optimale est nécessaire pour assurer le couplage entre l'onde incidente et les plasmons de surface entre le métal et le diélectrique.

L'influence de l'épaisseur (d) de la couche métallique est montré aux figures (IV-2, IV-3, IV-4, IV-5) Il apparaît qu'un déplacement du pic de résonance. En effet $d=47,5\text{nm}$ est généralement l'épaisseur la plus utilisée dans les couches métalliques.

En effet on va simuler des différentes structures multicouches (diélectriques et métaux) différentes en association avec le prisme BAF10 et ceci pour faire une optimisation adéquate pour la conception de notre capteur désiré.

IV.5 Simulation des différentes structure

a-Structure n° 1 : Au+Sio2+BAF10



Chapitre IV : résultats et simulations

Figure 4.2 : coefficient de réflexion R en fonction de l'angle d'incidence de la structure Au+Sio2+BAF10

A travers la figure présentée l'épaisseur a été mesurée avec du métal doré, nous constatons que l'épaisseur optimale est de 50 nm et $\theta_{SPR} = 40^\circ$ et un minimum de réflectance de 0.0005

b-Structure n° 2 : Au+Sio2+analytes+BAF10

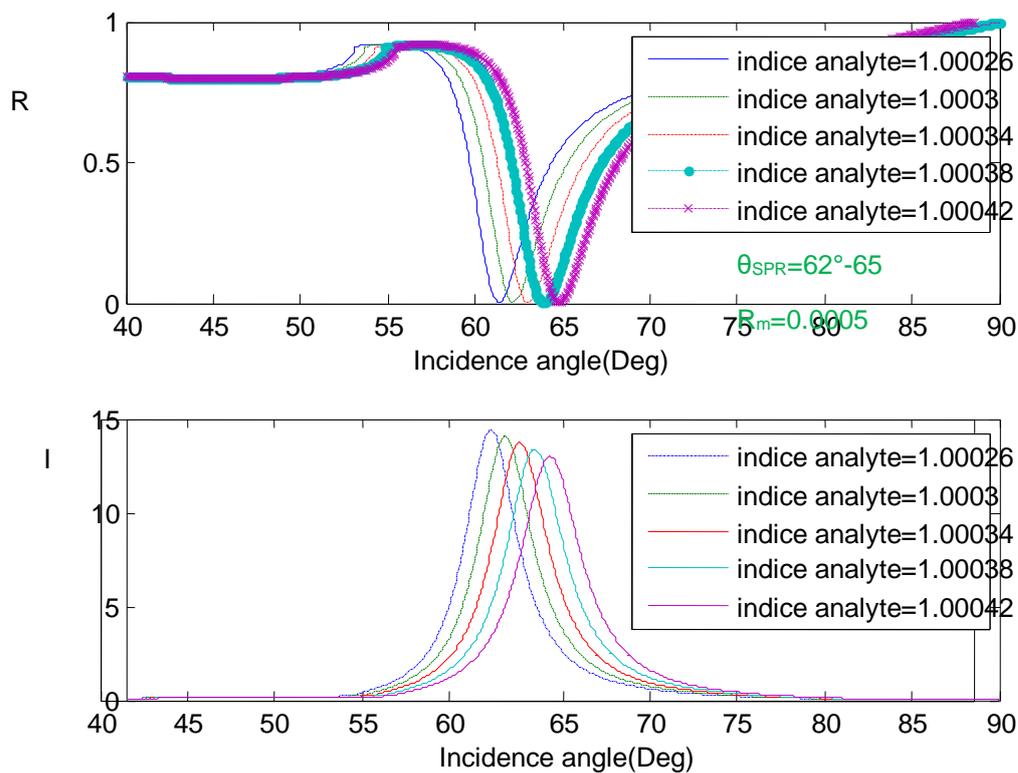


Figure 4.3 : coefficient de réflexion R en fonction de l'angle d'incidence et l'intensité du champ latéral I de la structure Au+Sio2+analytes+BAF10

Chapitre IV : résultats et simulations

La figure montre la variation de l'indice de réfraction qui Apparaît sous forme de déplacements angulaires dans la distribution d'intensité du champ latéral , notez que notre angle de résonance varie entre 62° et 65° en allant des milieux moins réfringents vers les milieux les plus réfringents.

Cependant pour le minimum de réflectance on a eu pour $5 \cdot 10^{-4}$ pour les différents analytes.

En passant maintenant avec les mêmes couches des structures 1 et 2 en changeant le diélectrique SiO₂ par le TiO₂.

c-Structure n° 3 : Au+TiO₂+BAF10

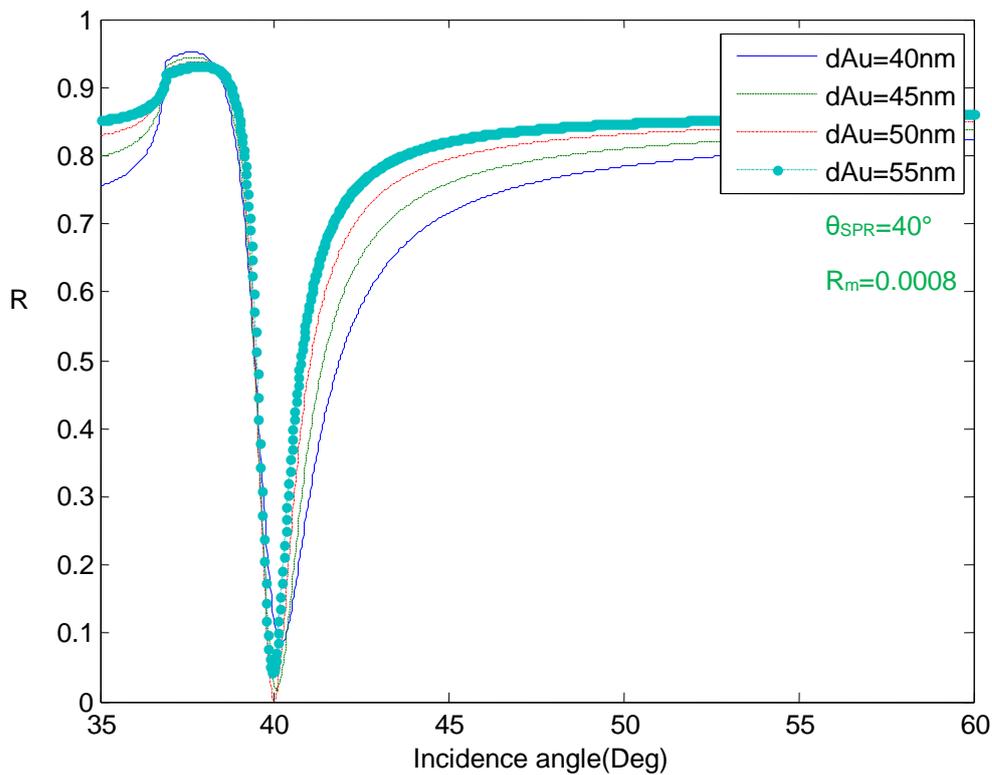


Figure4.4 : coefficient de réflexion R en fonction de l'angle d'incidence de la structure $\text{Au}+\text{TiO}_2+\text{BAF10}$

Pour cette nouvelle structure on a eu presque les mêmes résultats que pour la première structure ou la seule différence réside en matière du niveau de la réflectance ou son minimum s'ajoute pour une valeur de 0.0003 que la précédente.

d-Structure n° 4 : Au+Tio2+analytes+BAF10

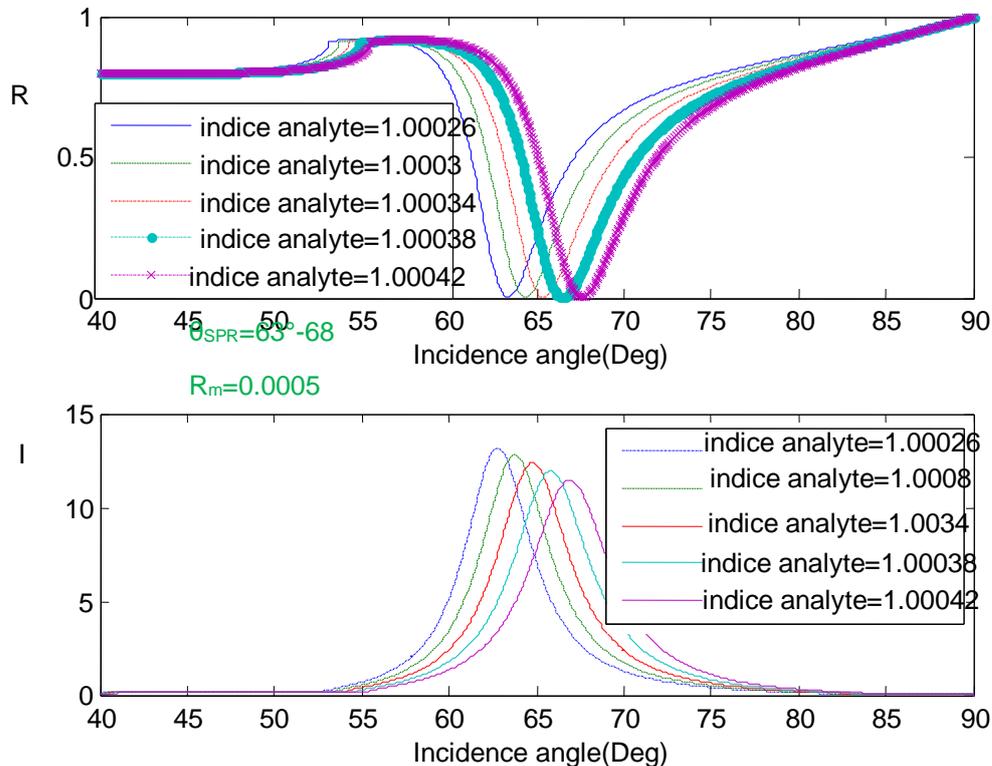


Figure 4.5 : coefficient de réflexion R en fonction de l'angle d'incidence et l'intensité du champ latéral I de la structure Au+Tio2+analytes+BAF10

La figure montre la variation de l'indice de réfraction qui Apparaît sous forme de déplacements angulaires dans la distribution d'intensité du champ latéral , notez que notre angle de résonance varie entre 63° et 68° en allant des milieux moins réfringents vers les milieux les plus réfringents ce qui fait un déplacement angulaire retardé par rapport à l'autre structure avec le SiO2

Cependant pour le minimum de réflectance on a eu pour $5 \cdot 10^{-4}$ pour les différents analytes idem pour la structure avec l'oxyde de silicium .

Maintenant on va refaire les mêmes simulations en changeant la couche métallique dorée (Au) avec seule argentée (Ag).

e-Structure n° 5 : Ag+Sio2+BAF10

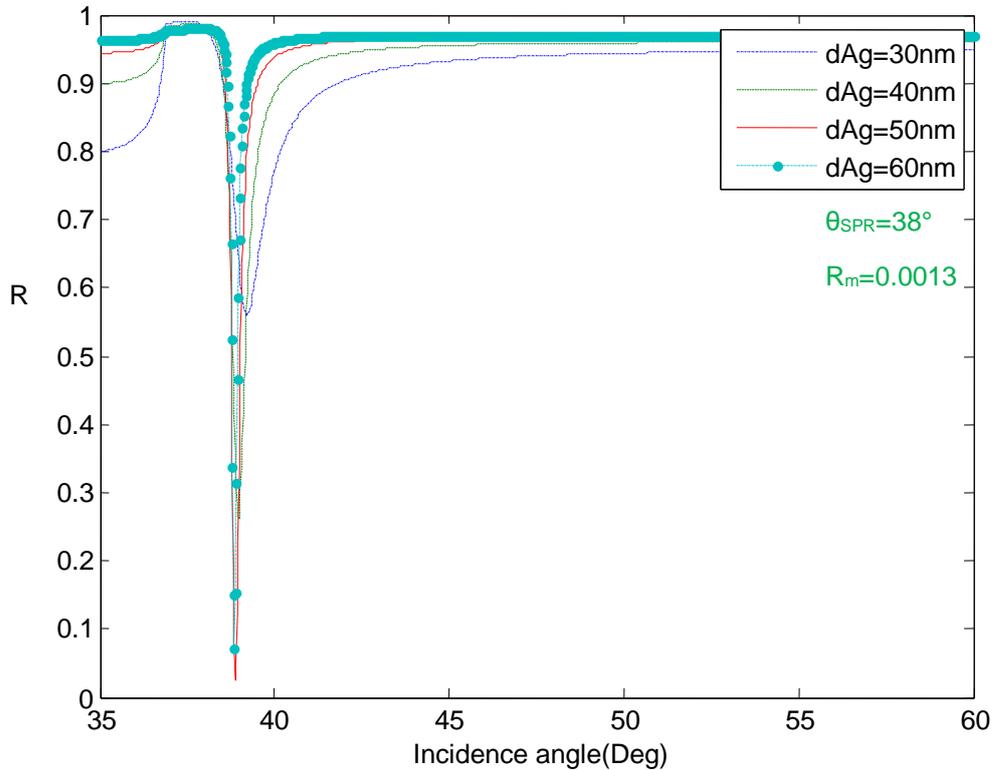


Figure4.6 : coefficient de réflexion R en fonction de l'angle d'incidence de la structure Au+Sio2+BAF10

Avec cette nouvelle structure plasmonique on a eu un pic de résonance de 38° (un avancement angulaire de 2° par rapport la première structure) et une épaisseur optimale simulée de 50 nm ainsi un minimum de réflectance de 0.0013 .

Sauf que pour cette structure en argent on voit bien la fitness des allures ce qui nous donne une meilleure sélectivité qu'en utilisant l'or.

f-Structure n° 6 : Ag+Sio2+analytes+BAF10

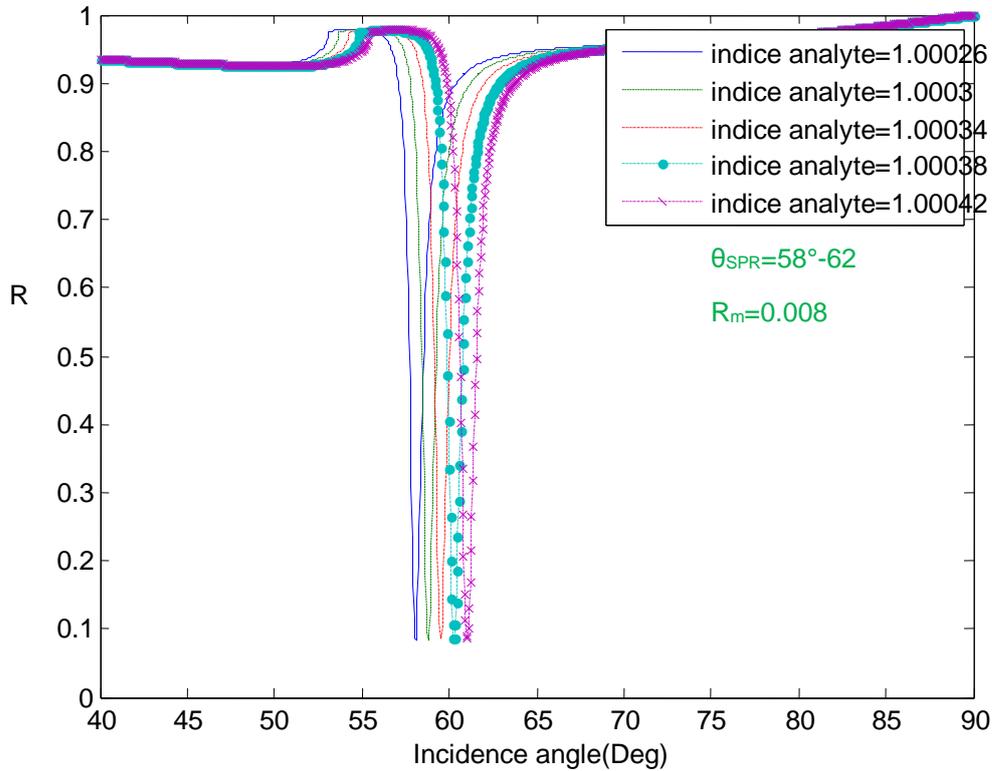


Figure 4.7: : coefficient de réflexion R en fonction de l'angle d'incidence et l'intensité du champ latéral de la structure Ag+Sio2+analytes+BAF10

La figure montre la variation de l'indice de réfraction qui Apparaît sous forme de déplacements angulaires dans la distribution d'intensité du champ latéral , notez que notre angle de résonance varie entre 58° et 62° en allant des milieux moins réfringents vers les milieux les plus réfringents ,ce qui donne un avancement angulaire de 4°

Cependant pour le minimum de réflectance on a eu pour $8 \cdot 10^{-3}$ pour les différents analytes .

On constate bien la sélectivité meilleure que la structure précédente.

g-Structure n° 7 : Ag+Tio2+BAF10

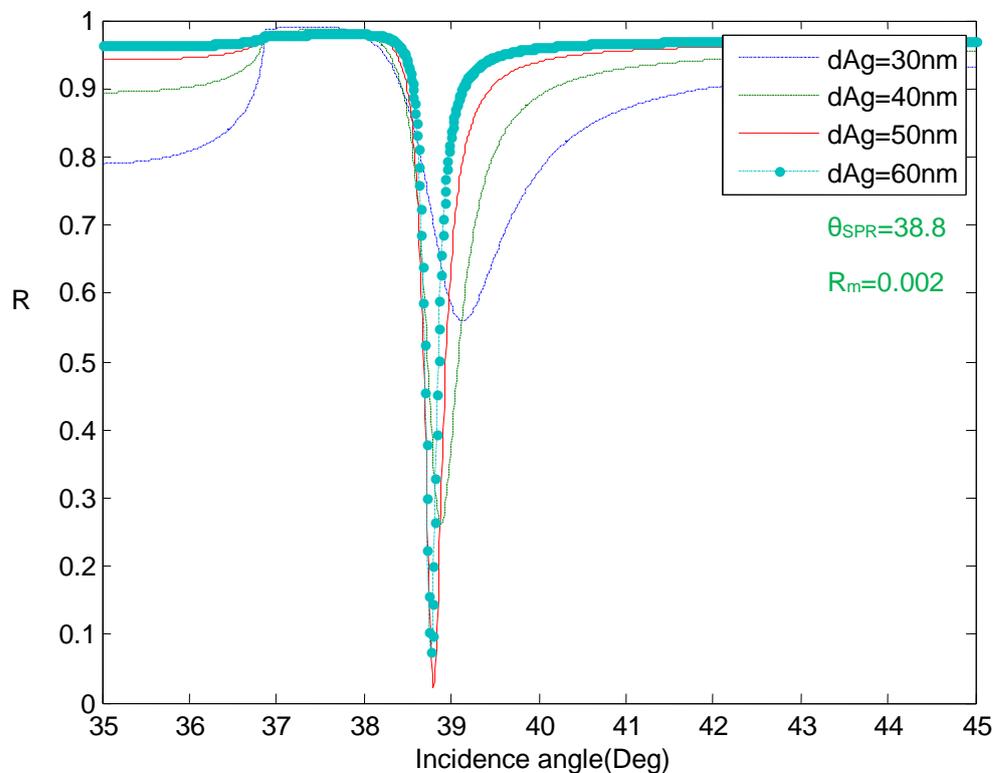


Figure4.8 : coefficient de réflexion R en fonction de l'angle d'incidence de la structure Ag+Tio2+BAF10

Pour cette nouvelle structure on a de bon résultat que pour l'épaisseur optimale simulée de 50 nm de la couche argentée et ceci pour un pic de résonance de 38.8° et un minimum de réflectance de 0.002.

Il faut noter que pour cette simulation on a eu une croissance en terme de minimum réflectif pour les autres épaisseurs .

h-Structure n° 8 : Ag+TiO₂+analytes+BAF10

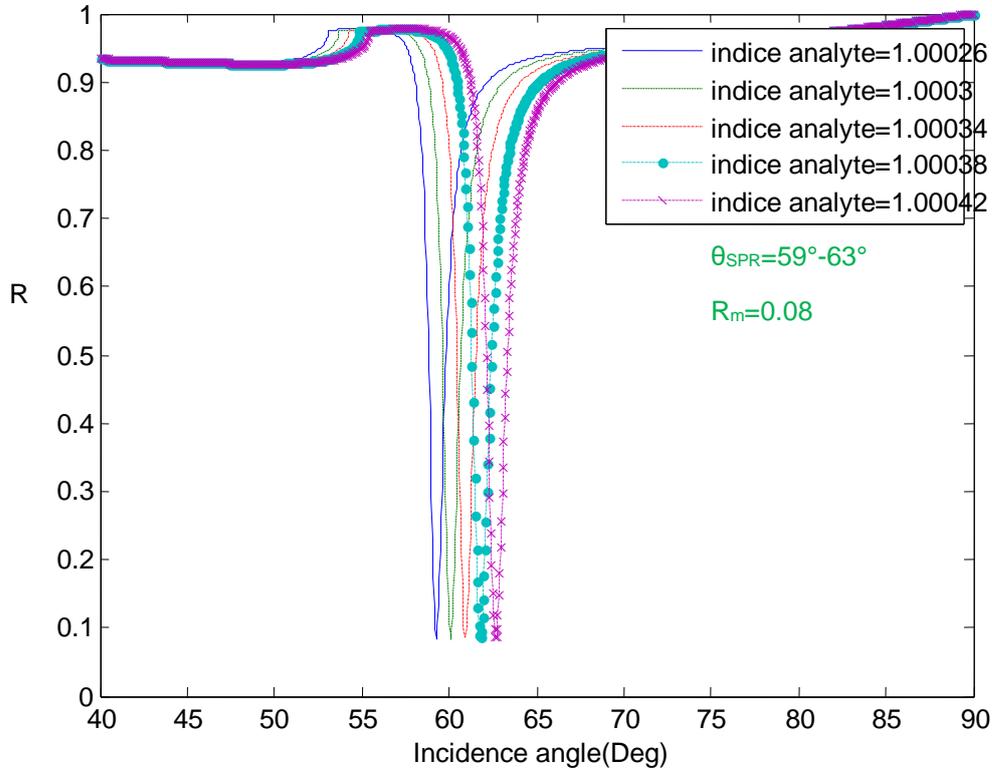


Figure 4.9: : coefficient de réflexion R en fonction de l'angle d'incidence et l'intensité du champ latéral de la structure Ag+TiO₂+analytes+BAF10

La figure montre la variation de l'indice de réfraction qui Apparaît sous forme de déplacements angulaires dans la distribution d'intensité du champ latéral , notez que notre angle de résonance varie entre 59° et 63° en allant des milieux moins réfringents vers les milieux les plus réfringents, ce qui donne un retard angulaire de 1° que pour l'autre structure avec le SiO₂ et pour la même couche métallique .

Cependant pour le minimum de réflectance on a eu pour $8 \cdot 10^{-2}$ pour les différents analytes .

On constate bien la sélectivité meilleure toujours..

Les tableau IV.2 ,IV.3 ,IV.4 et IV. nous donne l'angle de résonance (θ_r), le minimum de réflectance (R_r), la sensibilité spectrale (S), la largeur à mi-hauteur (FWHM), la précision de

Chapitre IV : résultats et simulations

détection (DA), la figure du mérite (FOM) et le facteur de qualité (QF) pour les quatre structures différentes

Structure A :Au+SiO₂+analytes+BAF10 ,

Structure B :Au+TiO₂+analytes+BAF10 ,

Structure C :Ag+SiO₂+analytes+BAF10

Structure D : Ag+TiO₂+analytes+BAF10

n (RIU)	R _{min}	S (nm/RIU)	FWHM	DA	FOM
1.0002 6	5×10 ⁻⁴	1.875 10 ⁴	2.07	0.48	9058
1.0003	5×10 ⁻⁴	1.875 10 ⁴	2.01	0.49	9328.3
1.0003 4	5×10 ⁻⁴	1.875 10 ⁴	2.15	0.46	8721
1.0003 8	5×10 ⁻⁴	1.875 10 ⁴	2.01	0.49	9328.3
1.0004 2	5×10 ⁻⁴	1.875 10 ⁴	2.07	0.48	9058

Tableau IV.2 Les performances du capteur de la structure A

n (RIU)	R _{min}	S (nm/RIU)	FWHM	DA	FOM
1.0002 6	5×10 ⁻⁴	3.125 10 ⁴	2.52	0.39 6	12400.8
1.0003	5×10 ⁻⁴	3.125 10 ⁴	2.48	0.40 3	12600.8
1.0003 4	5×10 ⁻⁴	3.125 10 ⁴	2.55	0.39 2	12254.9
1.0003 8	5×10 ⁻⁴	3.125 10 ⁴	2.49	0.40 1	12550.2
1.0004 2	5×10 ⁻⁴	3.125 10 ⁴	2.48	0.40 3	12600.8

Tableau IV.3 Les performances du capteur de la structure B

Chapitre IV : résultats et simulations

n (RIU)	R_{min}	S (nm/RIU)	FWHM	DA	FOM
1.0002 6	8×10^{-3}	$2.5 \cdot 10^4$	0.54	1.85	$4.63 \cdot 10^4$
1.0003	8×10^{-3}	$2.5 \cdot 10^4$	0.48	2.08	$5.21 \cdot 10^4$
1.0003 4	8×10^{-3}	$2.5 \cdot 10^4$	0.47	2.12	$5.32 \cdot 10^4$
1.0003 8	8×10^{-3}	$2.5 \cdot 10^4$	0.48	2.08	$5.21 \cdot 10^4$
1.0004 2	8×10^{-3}	$2.5 \cdot 10^4$	0.54	1.85	$4.63 \cdot 10^4$

Tableau IV.4 Les performances du capteur de la structure C

n (RIU)	R_{min}	S (nm/RIU)	FWHM	DA	FOM
1.0002 6	8×10^{-2}	$2.5 \cdot 10^4$	0.28	3.57	$8.93 \cdot 10^4$
1.0003	8×10^{-2}	$2.5 \cdot 10^4$	0.26	3.84	$9.61 \cdot 10^4$
1.0003 4	8×10^{-2}	$2.5 \cdot 10^4$	0.3	3.33	$8.33 \cdot 10^4$
1.0003 8	8×10^{-2}	$2.5 \cdot 10^4$	0.29	3.44	$8.62 \cdot 10^4$
1.0004 2	8×10^{-2}	$2.5 \cdot 10^4$	0.28	3.57	$8.93 \cdot 10^4$

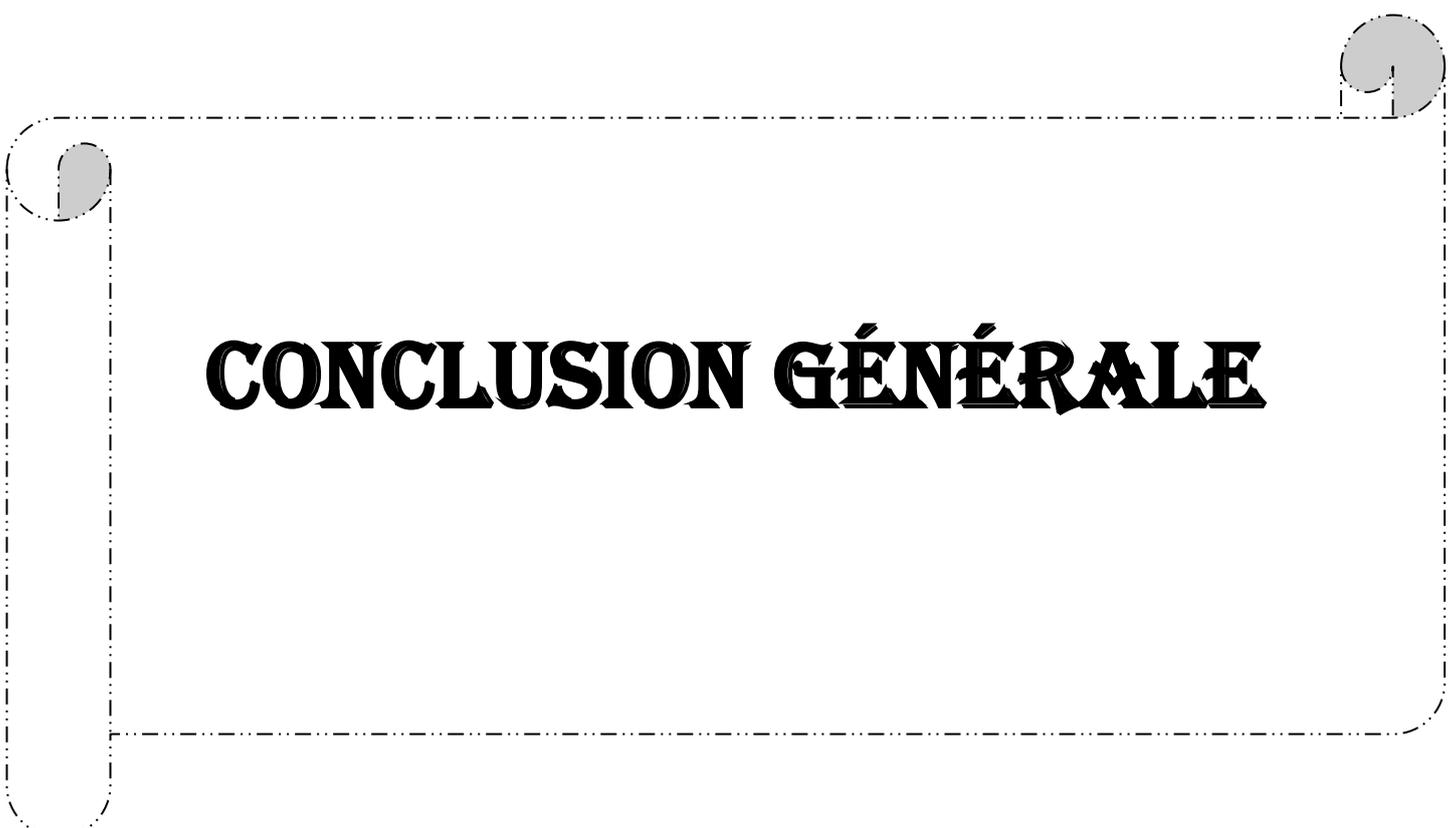
Tableau IV.5 Les performances du capteur de la structure D

Nous pensons que ces résultats numériques peuvent être utiles dans l'élaboration d'un capteur de gaz basé sur les plasmons de surface, efficace, économique et d'une haute performance indispensable dans le domaine biologique et environnemental pour mesurer et détecter la pollution d'air.

IV.8 Conclusion

Dans ce travail, nous avons introduit un capteur d'indice de réfraction constitué d'un cristal plasmonique pour les applications de détection de gaz. nous avons proposé différentes structures en utilisant différents matériaux tels que Ag, Au, SiO₂ et TiO₂ et l'influence des épaisseurs de métaux et diélectriques utilisés, nous avons poursuivi notre étude avec la structure optimale et nous l'avons utilisée pour tester différentes concentrations de gaz .

La sensibilité démontrée décrit le potentiel du capteur proposé pour détecter les différentes concentrations de gaz , La dépendance linéaire de la concentration à l'indice de réfraction facilite la structure proposée pour détecter la concentration de gaz .



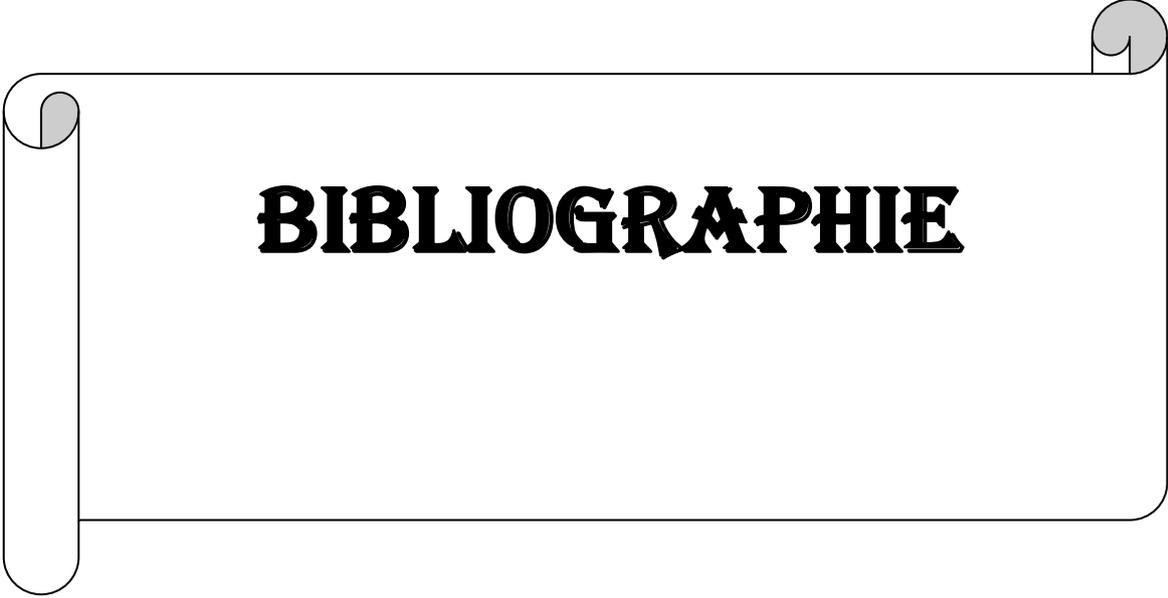
CONCLUSION GÉNÉRALE

Conclusion Générale :

Le capteur optique de fabrication nationale sera utilisé pour la détection précoce de gaz de divers types et servira de nouvel outil d'analyse, qui aura un volume inférieur et facilitera sa détection d'une manière différente. Les biocapteurs optiques ont été testés avec succès dans de nombreux domaines, tels que la détection de gaz, la médecine et la pharmacologie, la sécurité alimentaire, l'environnement, la biotechnologie, la défense et la sécurité.

Le capteur a réussi à nous donner des résultats avancés dans le domaine de la détection de gaz, et cela de manière simple et rapide

À notre avis, l'effet synergique dans le domaine de l'optique, de la nanotechnologie, de la microfluidique, de la biotechnologie et de la chimie des surfaces conduira au développement de bio dispositifs SPR améliorés pouvant être utilisés comme alternative aux méthodes conventionnelles couramment utilisées en laboratoire pour des découvertes dans plusieurs domaines.



BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

- [1] <https://www.balluff.com/fr-ch/principes-de-base-de-lautomatisation/connaissances-de-base-en-matiere-dautom/fonctionnement-structure-et-technologie>
- [2] <https://baraa7.com/%D8%A7%D9%84%D9%85%D8%B3%D8%AA%D8%B4%D8%B9%D8%B1-%D8%A7%D9%84%D8%AD%D9%8A%D9%88%D9%8A/>
- [3] <https://www.superprof.fr/ressources/maths/maths-tous-niveaux/tpe-2010-physique.html#:~:text=On%20peut%20alors%20classer%20les,capteurs%20m%C3%A9caniques%2C%20%C3%A9lectriques%2C%20pneumatique>
- [4] https://si.lycee-desfontaines.eu/IMG/pdf/capteurs_cr.pdf
- [5] <https://knowhow.distrelec.com/fr/energie-et-alimentation-electrique/principales-considerations-pour-selectionner-le-bon-capteur/>
- [6] <https://www.maxicours.com/se/cours/les-capteurs-electriques/>
- [7] <https://www.processsensing.com/fr-fr/blog/comment-fonctionnent-les-capteurs-%C3%A9lectrochimiques.htm>
- [8] <https://www.almrsl.com/post/1092102>
- [9] <https://core.ac.uk/reader/53020430>
- [10] KANSO MALAK these (4) de doctorat présente modélisation , réalisation et caractérisation d'un capteur plasmonique a fibre optique : effets de la rugosité,des réactions de surface et de la cinétique dans un système microfluidique
- [11] Samira KHADIR these de doctorat présente Effets des résonances plasmon de surface localisé sur les performances optique et électrique des diodes électroluminescentes organique
- [12] Ben makhloufi Nawal ,Aissaoua Taieb ,Enca zouache ,Tarek mémoire de fin d'études présent optimisation d'une plateforme de capteur a base de résonances plasmon de surface par université Mohamed Boudiaf –M'sila
- [13] R.C. Jorgenson, S.S Yee, Fiber optic chemical sensor based on surface plasmon resonance,Sensors and Actuators B 12 (1993) 213-220

Bibliographie

- [14] R. Slavík, J. Homola, J. Čtyroký, Single mode optical fiber surface plasmon resonance sensor, *Sensors and Actuators B* 54 (1999) 74-79.
- [15] X. Liu, D. Song, Q. Zhang, Y. Tian, L. Ding, H. Zhang, Wavelength-modulation surface plasmon resonance sensor, *Trends in Analytical Chemistry* 24 (2005) 887-893.
- [16] <https://www.climamaison.com/lexique/gaz.htm>
- [17] Salim Ghattas , Ingénieur d'État en prévention et sécurité industrielle Chargé D'Hygiène, Sécurité et Environnement, Ouasib - WESP, Hassi Messaoud, القيمة الحدية للانفجار هي، نسبة حجم الغاز الطبيعي إلى حجم الهواء داخل الفضاء بحيث إذا قلت هذه النسبة عن القيمة الحدية الدنيا أو زادت عن القيمة الحدية العليا فإن الغاز لا ينفجر. بينما إذا كانت بين هاتين القيمتين الحديثين فإن احتمال وقوع الانفجار وارد 15% بالنسبة للغاز الطبيعي، تقدر القيمة الحدية الدنيا للانفجار 5% و القيمة الحدية العليا للانفجار بـ
- [18] [https://gazpasserelle.engie.fr/gaz/comprendre-gaz-naturel/types-gaz.html#:~:text=Gaz%20naturel%2C%20gaz%20propane%2C%20gaz,m%3%AAme%20vos%20v%3%A9hicules%20\(GNV\).](https://gazpasserelle.engie.fr/gaz/comprendre-gaz-naturel/types-gaz.html#:~:text=Gaz%20naturel%2C%20gaz%20propane%2C%20gaz,m%3%AAme%20vos%20v%3%A9hicules%20(GNV).)
- [19] <https://www.alloprof.qc.ca/fr/eleves/bv/chimie/les-proprietes-physiques-des-gaz-c1003>
- [20] <https://tpe1s42000.wixsite.com/tpe-sur-les-mirages/refraction>, Réfraction | tpe-sur-les-mirages
- [21] <https://www.technoscience.net/?onglet=recherche&q=L%27indice%20de%20r%3%A9fraction%20de%20gaz%20butan>
- [22] PDF , indicegazmiche .pdf
- [23] Lagakos N, Cole JH, Bucaro JA. . Microbend fiber-optic sensor ». *Appl Opt.* 26(11):2171.1. juin 1987;
- [24] Yunming W, Jingcao D, Mingde Z, Xiaohan S Theoretical and experimental study on multimode optical fiber grating *Opt Commun.* 250(1-3):54 62. 1 juin 2005;

Bibliographie

- [25] Fan X, White IM, Shopova SI, Zhu H, Suter JD, Sun Y « Sensitive optical biosensors for unlabeled targets: A review. *Anal Chim Acta*. 620(1-2):8:26.14 juill 2008;
- [26] Camille Delezoide <<Microresonateurs en anneau polymères pour capteurs optofluidiques à champ évanescent. Thèse de doctorat de l'ENSCachan, soutenue en décembre 2012.
- [27] Yacouba Sanogo Conception et fabrication de capteurs et de leur technique d'interrogation pour des applications dans le domaine de la santé et de l'environnement >> Thèse de doctorat de l'ENSCachan, soutenue en décembre 2012
- [28] M. Chikhi, F. Benkabou, Theoretical Analysis of Multilayer Surface Plasmon Capteurs de résonance utilisant le formalisme d'admittance optique à couche mince Plasmonic (2015) ; DOI : 10.1007/s11468-015-9945-y
- [29] A. L. Reynolds, Translight Software Manual, Université de Glasgow (2000).
- [30]. Wikipédia
- [31] Jili Liu, Mei Wang, Lipeng Jiao, Ting Wu, Feng la région visible", *J. Opt. Soc. Suis*. 1108-1116 (2019)
- [32] Seri Asman Université Abdelhamid Ben Badis - Mostaganem Faculté des Sciences Exactes et de l'Informatique Mémoire De Fin d'Etude Présenté en vue d'obtenir le diplôme de MASTER - Propriétés optique des cristaux photoniques unidimensionnels périodiques »
- [33] Salim Aïcha université Ain temouchent Belhadj Bouchaib ,mémoire de fin d'études présenté conception d'un biocapteur plasmonique : application pour le contrôle des cellules cancéreuses dans le corps humain
- [34] <https://www.flegrand.fr/scidoc/docmml/sciphys/electmag/multicouches/multicouches.html>
- [35] Malcom Tatum <https://www.wise-geek.com/what-is-a-figure-of-merit.htm> - 22 avril 2022.
- [36] Olivier d'allivy Kelly mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de maîtrise ès science appliquée université de MONTRÉAL modalisation de l'influence de la géométrie sur des capteurs plasmoniques à détection de phase - JUIN 2011.

Résumé

ملخص:

الهدف من عملنا هو الكشف عن الغاز بطريقة حديثة ومتطورة تسهل مهمتنا بطريقة سريعة بفضل جهاز البلازما السطحي (SPR) المجهز بتقنية بصرية مهمة.

في هذه الدراسة، أدى حساس SPR إلى الكشف عن الغاز عن طريق القياس البصري لتغير معامل الانكسار المرتبط بالسطح المعدني مع وظيفة SPR

Abstract:

The goal of our work is to detect gases in a modern and advanced way that facilitates our task quickly thanks to the surface plasma (SPR) device equipped with important optical technology.

In this study, the SPR sensor led to gas detection by optical measurement of the refractive index change associated with the metallic surface with the SPR function.

Résumé :

Le but de notre travail est de détecter les gaz d'une manière moderne et avancée qui facilite notre tâche de manière rapide grâce au plasmons de résonance de surface (SPR) équipé d'une importante technologie optique.

Dans cette étude, le capteur SPR a conduit à une détection de gaz par mesure optique du changement d'indice de réfraction associé à la surface métallique avec la fonction SPR..