

I.1.Introduction :

Les capteurs chimiques, physiques et les biocapteurs développés depuis quelques dizaines d'années sont maintenant adoptés et largement utilisés dans tous les domaines de la vie courante (qualité de l'eau et de quelques produits de l'agroalimentaire, analyses biologiques, dépollution,.....). La sensibilité, la sélectivité, la spécificité et la durabilité des capteurs ont toujours été des paramètres essentiels dans leur conception [2]. Récemment, il y a eu plusieurs travaux de recherches utilisant les cristaux photoniques en tant qu'élément de détection en raison de leur structure de bande et du confinement de la lumière.

Ce premier chapitre nous présentons les notions de base sur des capteurs et dans ce cadre nous aborderons leurs principales caractéristiques et leurs différents types.

I.2.Généralités sur les capteurs :**I.2.1.Définition :**

Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, exemple : une tension électrique, une hauteur de mercure, une intensité, la déviation d'une aiguille...On fait souvent (à tort) la confusion entre capteur et transducteur : le capteur est au minimum constitué d'un transducteur[3].

Généralement, on obtient une grandeur de sortie du type électrique. Elle peut être soit: Une charge, une tension, un courant ou une impédance (R, L, C).

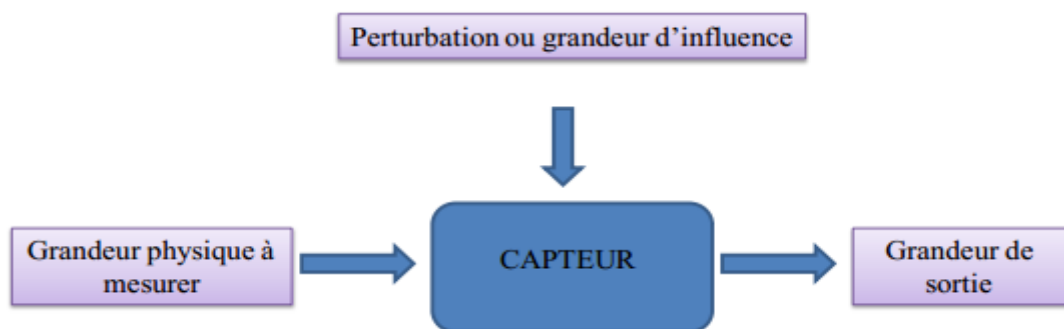


Figure I.01 : Définition d'un capteur.

I.2.2. Grandeurs d'influence :

Les grandeurs d'influence sont des grandeurs étrangères qui, selon leur nature et leur importance, peuvent provoquer des perturbations' sur le capteur. C'est donc une cause d'erreurs agissant sur le signal de sortie.

La plupart des grandeurs d'influence sont liées à l'environnement du capteur. Citons en particulier :

- la température (c'est la grandeur d'influence la plus répandue et la plus gênante),
- la pression environnante,
- les vibrations mécaniques ou acoustiques, les chocs, le temps,
- la position du capteur et sa fixation,
- l'humidité, la projection d'eau, l'immersion,
- les ambiances corrosives,
- les perturbations électromagnétiques,
- les rayonnements nucléaires,
- les accélérations et la pesanteur,
- l'alimentation électrique du capteur [4].

I.2.3. Caractéristiques d'un capteur :**a) La sensibilité :**

La sensibilité d'un capteur représente le rapport de la variation du signal de sortie à la variation du signal d'entrée, pour une mesure donnée. C'est donc la pente de la courbe de réponse de ce capteur, i.e.

$$S = \frac{\Delta_{sortie}}{\Delta_{entree}}$$

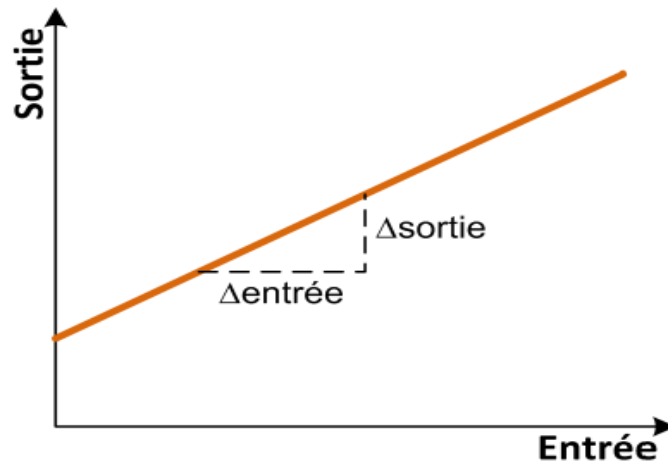


Figure I.02: Caractéristique linéaire

Si le capteur est linéaire, une seule valeur de sensibilité est nécessaire, car la pente de la courbe de la caractéristique entrée/sortie du capteur est constante (Figure I.02). La caractéristique est alors une droite.

Les qualités d'un capteur constituent les liens effectifs entre le capteur et la grandeur qu'il mesure, elles sont appréciées en déterminant la résolution, la sensibilité et la sélectivité du détecteur [5].

b) Etalonnage :

L'étalonnage permet d'ajuster et de déterminer, sous forme graphique, la relation entre la mesure et la grandeur électrique de sortie (figure I.3).

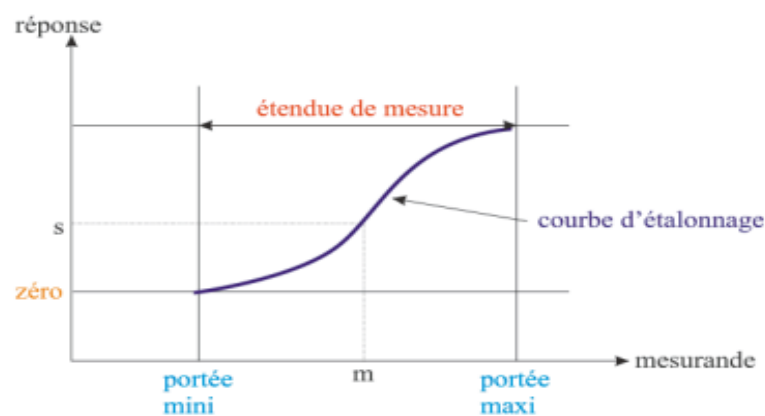


Figure I.03: Courbe d'étalonnage d'un capteur

c)Domaine de linéarité :

Dans ce domaine de linéarité, la variation de la grandeur de sortie est proportionnelle à la variation de la mesure de.

d)Résolution (Précision) :

C'est le plus petit incrément de la valeur mesurée qui puisse être significativement mesuré par le capteur.

e)Temps de réponse ou rapidité :

La rapidité est caractérisée par le temps que met le capteur à réagir à une variation brusque de la mesure de. Cependant la valeur finale étant le plus souvent atteinte de manière

asymptotique, elle correspond au temps nécessaire pour que le capteur délivre une certaine portion α de la pleine amplitude du signal. Le temps de réponse noté t_α est tel que α vaut généralement 90%.

f)Sélectivité :

Un capteur est dit sélectif, si la variation du signal de sortie est due uniquement à la seule grandeur (physique, chimique, biologique...) qu'on veut mesurer. C'est la capacité du capteur à ne mesurer qu'une seule grandeur dans le milieu où il est utilisé ou en d'autres termes, d'être le plus insensible aux grandeurs d'influence, grandeurs qui ne font pas l'objet de la mesure, mais influent sur la sortie du capteur.

g)Fidélité :

Elle définit la qualité d'un capteur à délivrer des résultats les plus proches possibles lors d'analyses répétées sur une même grandeur physique m . L'erreur de fidélité correspond à la dispersion (écart type) σ des résultats autour de la valeur moyenne $\langle m \rangle$ de n mesures effectuées sur m :

$$\langle m \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n m_i}{n} \dots\dots\dots \text{I-3}$$

$$\sigma = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n (m_i - \langle m \rangle)^2}}{n-1} \dots\dots\dots \text{I-4}$$

Où m_i est la valeur de m à la $i^{\text{ème}}$ mesure. Parmi les écarts de fidélité on distingue : la respectabilité [2].

- **Respectabilité :**

La respectabilité correspond à la variation aléatoire des résultats d'une série de mesures successives d'une même grandeur physique m , effectuée dans les mêmes conditions de mesure pendant un court intervalle de temps. Ces conditions sont appelées conditions de respectabilité et elles concernent le même mode opératoire de mesure, même observateur, même équipement de mesure, même lieu de mesure [6].

I.2.4 Différents types de capteurs

Il existe plusieurs classifications des capteurs. La plus répandue se réfère à la nature du mesurant ou à la transduction, de façon indépendante de l'utilisation [7].

I.2.4.1 Capteurs physiques

Ce sont des dispositifs sensibles à des phénomènes physiques, les mesures étant notamment la température, la pression, la masse, la force, la vitesse, le débit ...etc.

La sensibilité est assurée par divers phénomènes physiques, comme la piézoélectricité, l'effet hall, des variations d'impédance, la photosensibilité...etc.

Cette dénomination n'a donc rien à voir avec l'utilisation, tous ces capteurs pouvant trouver des applications par exemple dans des systèmes chimiques [7].

I.2.4.2 Biocapteurs

Dans la définition aujourd'hui adoptée, un biocapteur est un dispositif comportant une entité biologique (enzyme, anticorps, antigène, ARN...etc.), sensible à une espèce qui peut être chimique ou biologique, ceci quels que soient l'espèce analysée et le domaine d'application [8]. Dans ce cas, on distingue souvent la fonction de reconnaissance biologique, au niveau de la sensibilité vis-à-vis du mesurand, de la transduction qui est nécessaire pour obtenir un signal électrique, par exemple par un procédé électrochimique [7].

I.2.4.3 Les capteurs chimiques

Les problèmes de sécurité, pollution, économie d'énergie, contrôle de qualité des produits, santé, etc..., se posent avec acuité depuis ces dernières années du fait de l'essor industriel sans précédent dans de nombreux pays.

La connaissance d'un problème nécessite la mesure préalable du phénomène correspondant, en d'autres termes l'utilisation de capteurs. Le capteur constitue en effet le maillon de base de toute chaîne de mesures.

La possibilité de réaliser des dispositifs performants par adjonction d'une électronique sophistiquée (microprocesseurs, ASIC, etc....) aux capteurs est sans nul doute à l'origine du développement considérable des recherches fondamentales et appliquées dans ce domaine. On peut citer par exemple les capteurs de température.

Le terme "capteur", dans sa définition la plus générale désigne un élément sensible qui, soumis à une modification de son environnement physico-chimique présente une caractéristique électrique fonction de cette variation.

Les capteurs chimiques sont destinés à la détection et/ou à l'analyse de la concentration d'espèces chimiques ou biochimiques, gazeuses ou liquides en général. L'analyse d'espèces solides, bien que moins évidente, peut cependant être envisagée. Contrairement aux autres types de capteurs, les capteurs chimiques ont connu un succès limité sur le plan commercial, malgré la forte demande de nombreux secteurs de l'économie, tels que les industries chimique, métallurgique, automobile, électronique, agro-alimentaire, l'environnement, le domaine médical, les biotechnologies, etc... . Ce fait est vraisemblablement lié à la difficulté technique de transformer une grandeur telle que la concentration d'une espèce chimique dans un liquide ou un gaz en signal électrique, tout en assurant simultanément reproductibilité, sensibilité et sélectivité.

1.3.Description d'un capteur de pression :

Le capteur, premier élément d'une chaîne de mesure à pour fonction essentielle de traduire une grandeur physique, en une autre grandeur généralement électrique. C'est est un dispositif chargé de prélever une grandeur physique à mesurer et de la transformer en une grandeur exploitable (figure 1.4). Par exemple un manomètre [9] est un capteur de pression ,dont la sortie est une tension électrique dépendante la pression, et un thermocouple est un capteur de température, dont la sortie est une tension électrique dépendant de la température.

Le mesura de qui est la grandeur physique à mesurer n'est pas directement utilisable. Elle constitue le signal d'entrée du capteur .La grandeur exploitable est souvent de nature électrique, elle constitue le signal de sortie ou la réponse du capteur .Le capteur de pression est un système constitué de deux parties : une partie détection que l'on

peut appeler « cellule sensible » et une partie traitement de l'information par l'intermédiaire

d'un circuit électronique que l'on peut appeler « circuit électronique de traitement » ou encore « circuit convertisseur ». La partie détection, est quant à elle, constituée d'un « corps d'épreuve » et d'un « transducteur » qui transforme la déformation de ce corps d'épreuve en une grandeur physique, la plupart du temps électrique [10].

Un capteur de pression peut donc être représenté par le schéma de la figure suivante :

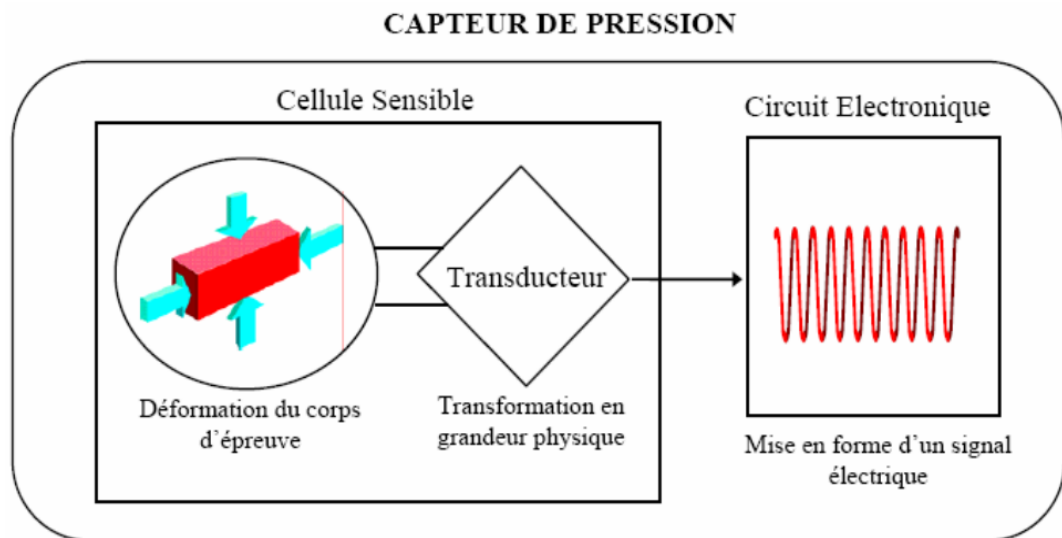


Figure 1.4 : Schéma synoptique d'un capteur de pression.

La figure 1.4 constitue trois blocs essentiels:

- Un corps d'épreuve.
- Un élément de transduction ou élément sensible ou transducteur.
- Module électronique de conditionnement ou circuit électronique

Le corps d'épreuve est l'élément mécanique qui, soumis aux variations de la grandeur à mesurer (mesure de), a pour rôle de la transformer en une grandeur physique mesurable. Pour les capteurs de pression cette grandeur est généralement une déformation.

Les corps d'épreuve les plus utilisés sont les plaques, les poutres et les membranes. A partir des années 70, les nouveaux capteurs sont basés soit sur la déformation d'un substrat, soit sur celle d'une membrane de silicium qui, de nos jours, est le corps d'épreuve le plus répandu [10]

Le transducteur est l'élément sensible qui, lié au corps d'épreuve, traduit les réactions de ce dernier en signal électrique. Pour effectuer la mesure de la pression, on a vu qu'il fallait convertir la déformation du corps d'épreuve en une grandeur physique.

Il existe plusieurs techniques pour mesurer un déplacement, une déformation ou une force. La plupart des grandeurs de sortie sont d'ailleurs de type électrique.

Depuis des années 80, la majeure partie des nouvelles cellules sensibles disponibles sur le marché, est basée sur le principe de détection de type piézo résistif. Cela signifie que la détection de la pression se fait par la mesure d'une variation de résistance [11].

composants sont extrêmement sensibles à la température et nécessitent un circuit de compensation spécifique. C'est pourquoi, des efforts de recherche ont été effectués sur des structures capacitives dont les avantages potentiels sont une grande sensibilité à la pression et une faible sensibilité à la température [12]. Le principe de détection de ces structures capacitives est basé sur la variation d'une capacité.

Le module électronique est le module de traitement du signal en vue d'une éventuelle exploitation [10]. Comme nous l'avons vu dans la définition d'un capteur, le circuit de traitement sert à mettre en forme un signal électrique transportant l'information donnée par le transducteur. Autrement dit, ce signal doit être l'image de la déformation du corps d'épreuve et par suite, de la pression.

Le capteur est construit pour exploiter une propriété de la matière, décrite par une loi physique, permettant de connaître la correspondance entre la grandeur électrique à la sortie du capteur et la grandeur physique à mesurer [9].

Par exemple, pour mesurer une pression, une loi physique permet de calculer la pression à partir de la mesure de la résistance du capteur. Le capteur doit avoir les caractéristiques suivantes [9] :

- Une bonne linéarité.
- Une grande étendue de mesure.
- Une très bonne sensibilité au mesura de.
- Une insensibilité aux grandeurs d'influence.

1.3.1. Principe de fonctionnement

Le principe de fonctionnement d'un capteur de pression capacitif est la variation de sa capacité en fonction de la pression appliquée et les grandeurs d'influence comme montre la figure 1.5, il transforme les déformations élastiques de la membrane en signal électrique. L'objectif de ce chapitre est l'étude de la réponse capacitive et de la sensibilité en fonction de la pression appliquée pour chaque paramètre d'influence.

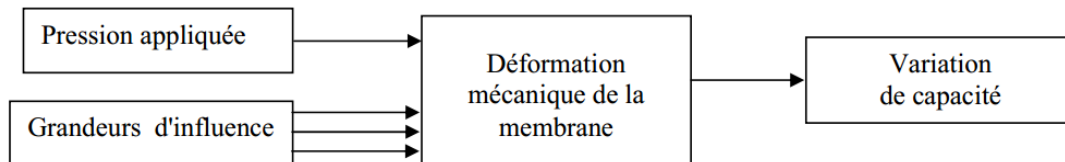


Figure 1. 5 : Principe de fonctionnement d'un capteur de pression capacitif.

Ce capteur est composé d'une membrane micro usinée au silicium, constituant l'armature mobile et d'un substrat isolant en pyrex représentant la deuxième électrode. La membrane fine au silicium et le substrat de pyrex sont collées par soudure anodique donnant naissance à une cavité hermétique entre les deux comme le montre la figure 1.6.

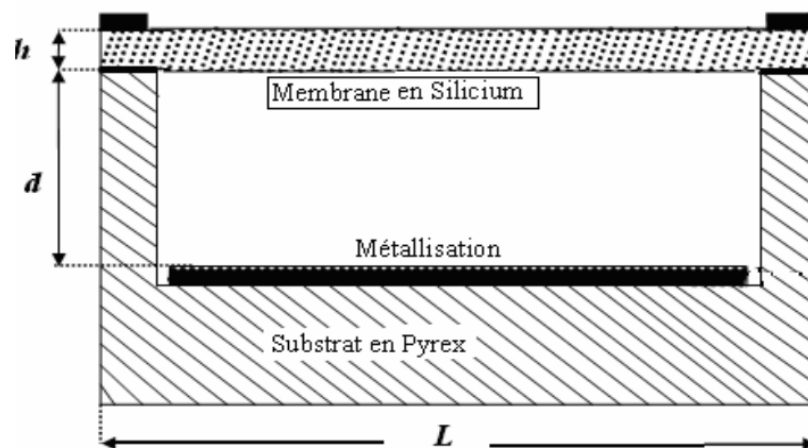


Figure 1. 6 : Structure de la cellule sensible capacitive.

Avec

: h : L'épaisseur de la membrane.

d : La distance entre les deux armatures.

L : La longueur de la membrane.

1.4. Capteurs à bases de cristaux photoniques à 2D

La recherche sur des capteurs se fondant sur la résonance optique est un domaine de recherche d'actualité. La résonance optique même aux chutes ou aux pics dans la signature spectrale. Quand les indices de réfraction sont modifiés, la longueur d'onde des chutes ou les crêtes sont décelables. Des capteurs photoniques à base de cristaux photoniques bidimensionnels [13] ont démontré leur capacité, à la fois théoriquement et expérimentalement, à détecter des éléments biochimiques en raison du mécanisme du confinement de la lumière fourni par la bande interdite photonique [14]. Le principe de fonctionnement de ces capteurs repose sur la variation de leurs propriétés optiques lorsque l'indice de réfraction des substances à analyser change en mesurant le décalage de la longueur d'onde de résonance dans le spectre de transmission en fonction de l'indice de réfraction du liquide.

Différents types de cristaux photoniques sont utilisés comme capteurs à cause de leur haute sensibilité aux variations d'indices de réfraction, par exemple:

- 1 - La technologie SPR (Surface Plasmon Résonance) qui exploite les changements de phase des plasmons qui correspondent aux variations d'épaisseur des analytes biologiques dans un cristal photonique [15].

- 2- Des lasers à base de cristaux photoniques qui ont été utilisés comme biocapteurs par la surveillance des changements du spectre de sortie du laser dus aux changements de l'indice de réfraction du matériau de sa cavité, ce qui permet la détection d'infime variation d'indice de réfraction à l'intérieur des échantillons de volumes femto-litres [16].

- 3- Les fibres à cristaux photoniques, qui peuvent guider la lumière par effets de bandes interdites photoniques, non pas par réflexion totale interne, ont été utilisés dans la biodétection [17, 18].

- 4- La technologie de cristal photonique basée sur l'hydrogel et les structures cristallines photoniques colloïdales ont été également des candidats dans la biodétection [19-15].

- 5- Lee et al. ont utilisé un cristal photonique à deux dimensions ayant une cavité centrale formée par un trou plus petit que les autres trous du cristal photonique [20]. Ils ont fonctionnalisé la cavité pour que des protéines spécifiques s'y fixent. Lorsqu'elles s'attachent, le pic de résonance transmis est décalé vers le rouge. De la même façon, un

guide d'onde formé par une ligne de trous omise dans un cristal photonique à deux dimensions permet de détecter la fixation d'une couche de 2,5 nm de streptavidine [21].

6- D'autres chercheurs utilisent les pores des cristaux photoniques comme des micros canaux : le fluide passe au travers le cristal photonique et la variation de l'indice de réfraction est détectée [22].

7-Capteur de gaz où La détection est effectuée par une monocouche sensible qui réagit avec l'analyte. La zone de détection est composée d'une structure photonique fonctionnant avec une monocouche sensible (fig.07). Cette monocouche réagit avec l'analyte qui induit une variation de l'indice de réfraction, de l'épaisseur de la couche sensible et de son absorption. Cette structure doit être conçue pour être fortement sensible à la variation de l'indice de réfraction. Cette méthode peut être appliquée à la détection d'un grand nombre d'éléments chimiques et biologiques [23].

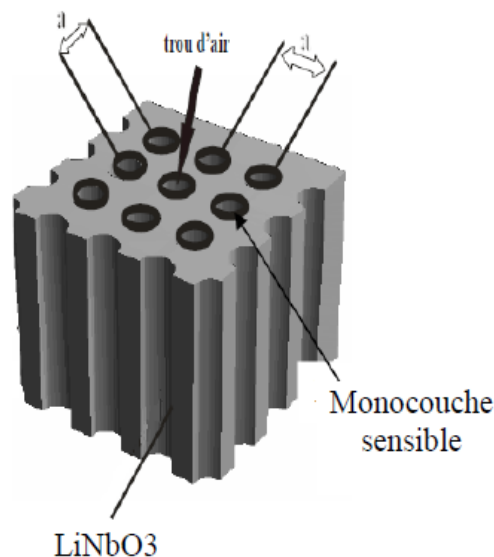


Figure I.07 : Exemple d'un capteur chimique à base d'un cristal photonique bidimensionnel en LiNbO3.

1.4.1. Concept des fibres à cristaux photoniques :

Les fibres à cristaux photoniques connues encore sous le nom de fibres microstructures ou fibres à trous sont constituées d'un arrangement régulier ou non de canaux d'air de dimensions macaroniques disposés parallèlement à l'axe de propagation. Les paramètres qui caractérisent cet arrangement et ajustent les propriétés optiques des fibres,

sont la distance entre les centres de deux trous adjacents noté A (pas ou pitch) et le diamètre des trous d [24]. Ces paramètres opto-géométriques permettent de définir le rapport d/A

correspondant à la proportion d'air présente dans la fibre. L'arrangement des trous peut constituer une matrice triangulaire, hexagonale ou aléatoire. Le nombre de rangées ou de couronnes de trous utilisées pour former la gaine microstructure constitue un critère important pour réduire les pertes de guidage. La région, au centre de la fibre, permettant le guidage de la lumière est considérée comme le cœur de la fibre. Généralement, dans le cas de fibres à cœur plein, ce dernier est constitué de silice pure. Une PCF (Photonique Crystal Fibre en anglais) est une fibre avec un cœur en silice pure entouré de plusieurs couches de trous d'air qui jouent le rôle de gaine optique. La figure I-8: présente les paramètres géométriques d'une telle fibre.

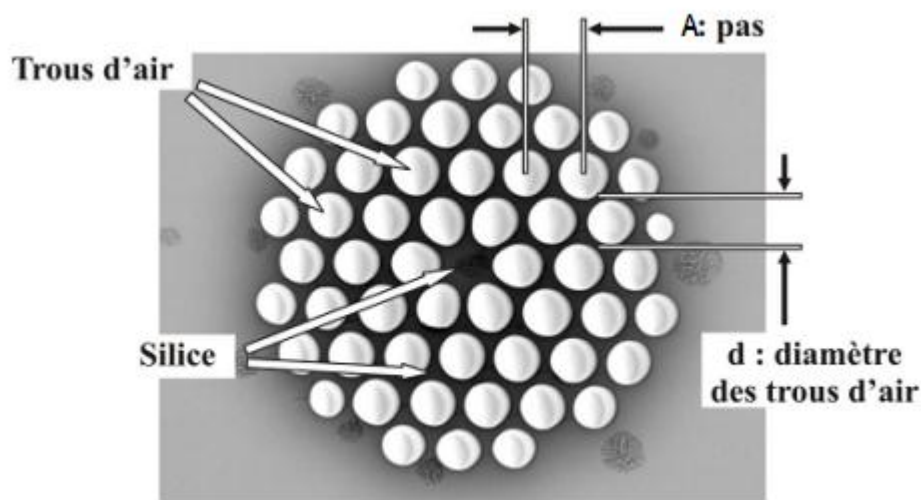


Figure I-8 : Coupe transversale d'une PCF avec ses paramètres

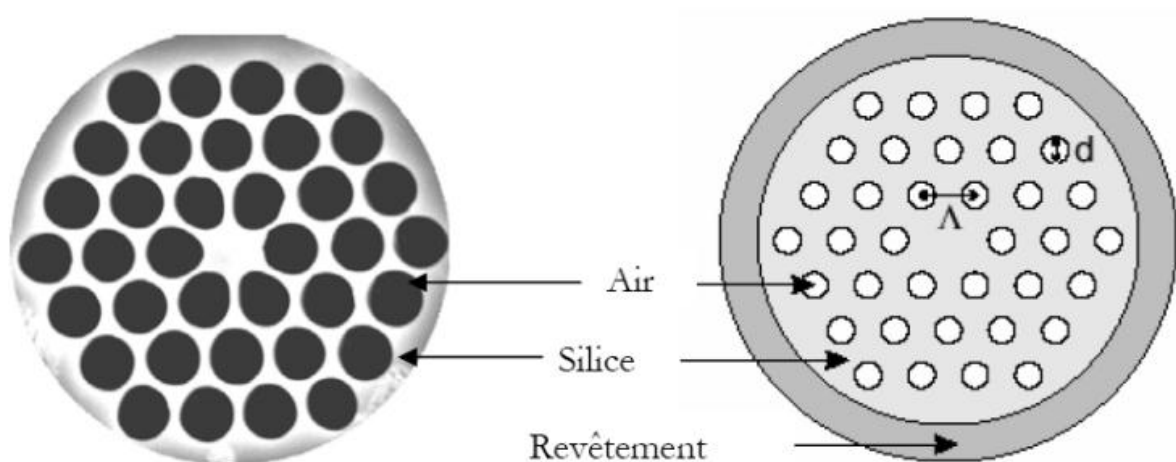


Figure I-9: section transversale d'un PCF idéal (droite) réelle (gauche)

I.5. Conclusion :

Dans ce chapitre nous avons exposé les concepts de base liés aux capteurs et plus particulièrement d'un capteur de pression. Nous présentés la conception des capteurs à cristaux photonique ainsi que leurs mécanisme de détection. Ensuite nous avons présentée principe de fonctionnement des capteurs, qui nous intéresse dans notre travail, qui sont les capteurs à base des cristaux photonique. Et à la fin nous avons cité quelques exemples sur ce type des capteurs.