

## **La mesure de pression. Piézorésistifs et Piézoélectriques.**

### **1 - Première partie : piézorésistifs**

La pression est le paramètre résultant de l'effort appliqué par un fluide sur une surface. Le fluide ou média peut être un gaz ou un liquide plus ou moins visqueux. L'unité de mesure de pression est le Pascal qui se décline en Kilo Pascal, Kpa ou Méga Pascal, Mpa.

On retrouve souvent d'autres unités de mesure dont la plus commune est le Bar ou 1 Bar correspond à 100 Kpa. Une autre unité usuelle est le PSI ( Pound per Square Inch ) qui équivaut à 6,8948 Kpa ou 68,948 MilliBar.

La mesure de la pression consiste à traduire l'effort appliqué par le fluide en unité électrique exploitable. L'objectif est donc d'utiliser un moyen pour traduire une énergie mécanique en un signal électrique équivalent. Il existe plusieurs moyen pour parvenir à ce résultat.

#### ***Techniques des capteurs de pression***

- **Capacitif** : Une membrane se comportant comme l'une des plaques d'un condensateur est disposé en vis à vis de l'autre plaque et c'est la mesure de capacité qui est liée au phénomène pression. Ce concept est précis et sensible, robuste et insensible aux variations thermiques mais il demeure onéreux et ne permet pas de mesurer des pressions importantes.
- **Inductif** : La membrane induit une variation d'inductance dans un pont inductif ou un transformateur différentiel. La sortie électrique est de haut niveau et les échelles de mesure possibles peuvent être importantes. Instable en température, ce concept est fragile et supporte difficilement chocs et vibrations.
- **Piézoélectrique** : L'effort exercé sur un élément piézoélectrique : quartz, piézite de synthèse etc... Produit une tension électrostatique aux bornes de l'élément. Cette technologie, lorsque l'électronique est séparée, ne nécessite pas d'alimentation, les échelles de mesure peuvent être très importantes, les bandes passantes sont importantes et la tenue thermique très bonne. En contre partie, la sortie est faible, la précision toute relative et, surtout, ces capteurs ne mesurent pas la composante continue.
- **Piézorésistif** : Le phénomène pression exerce une contrainte sur un élément sensible créant une variation mesurable de résistance. Forte sensibilité, faible hystérésis, robustesse et tenue thermique sont les points forts de cette technologie. Le signal de sortie est en revanche faible et suivant les concepts, le capteur est plus ou moins complexe à réaliser.

Ce qui suit traite principalement des capteurs de pression piézorésistifs et il convient de considérer les différentes technologies exploitables.

- Jauges à trames métalliques : Les jauges à trames métalliques sont des éléments utilisant une trame attachée à un substrat. La forme et la dimension des jauges déterminent le type d'effort devant être mesuré. Les capteurs comportent alors un corps d'épreuve sur lequel les jauges sont implantées, le plus souvent sous la forme d'un pont de Wheatstone.
- Couches épaisses : Ces éléments sont des supports micro usinés et dopés pour réaliser à la fois un corps d'épreuve et un élément sensible. Le dopage se fait par exemple sous la forme de 4 équivalents jauges de déformation montés en pont de Wheatstone.
- Les jauges diffusées ou implantées : Là encore, un pont de Wheatstone ou un dispositif en cisaillement est réalisé sur un silicium.

Les avantages et inconvénients des différentes technologies permettent de sélectionner la mieux adaptée pour une application donnée.

Les jauges à trames métalliques peuvent être choisies en fonction de la tâche à accomplir, se plient à la forme du corps d'épreuve, permettent un collage à chaud dont la robustesse et la longévité sont les premières conséquences, la dérive thermique est relativement faible et facile à compenser. Les protections utilisées offrent de multiples possibilités suivant les environnements.

Les couches épaisses disputent le faible coût avec les semi-conductrices diffusées, leur utilisation est directe et suppose une protection de l'élément sensible lors de fonctionnement avec de nombreux médias et dans de nombreuses atmosphères, les dérives thermiques sont importantes mais les signaux de sortie aussi.

Les jauges diffusées : apparentées aux jauges à trames pelliculaires, elles peuvent être disposées sur un corps d'épreuve et présentent un coefficient de jauge dans un rapport 100 ou plus par rapport aux jauges classiques. Leur protection doit, en revanche être soignée et les dérives thermiques sont conséquentes. Leur coût très faible est séduisant.

### **Lier le paramètre aux éléments sensibles**

A part pour les jauges semi-conductrices diffusées et pour les couches épaisses ou une pellicule de protection permet une utilisation directement en contact avec le fluide ( forme brut du capteur ), la plupart des capteurs de pression découpent le fluide de l'élément sensible en utilisant une membrane. La membrane peut alors, dans certains cas, transmettre l'effort exercé par le fluide ' mesuré ' à un fluide ' encapsulé ' dans la cavité recevant l'élément sensible. Force est de constater que l'ajout de ce type d'interface liquide possède plusieurs inconvénients. Le fluide utilisé pour la transmission de l'intérieur de la membrane à l'élément sensible doit être, en théorie, incompressible et non oxygénable. Autre difficulté, il doit être stable en température pour ne pas induire de dérive de zéro et de sensibilité. Différents fluides peuvent être utilisés, ainsi, des capteurs de pression pour extrudeuses de matières plastiques utilisent un capillaire rempli de Mercure, d'autres capteurs utilisent des graisses Molycotex etc ...

Dans tous les autres cas, le fluide est supprimé. Les jauges sont alors implantées soit directement sur la membrane avec ce que cela comporte comme possibles erreurs liées au transfert thermique via cette membrane et le fluage du matériau dans lequel elle est réalisée ou, sur un corps d'épreuve calculé et conçu en fonction des applications. Les corps d'épreuve peuvent être simples comme des barreaux, des anneaux etc ... Ou compliqués pour certaines applications. Pour conserver l'exemple des mesures sur extrudeuses, des capteurs utilisent une transmission mécanique ( une tige de plusieurs centimètres de long ) permettant de lier l'effort appliqué à la membrane au pont de Wheatstone. La raison de ce dispositif réside dans le déport du pont de Wheatstone vers une zone plus froide que le droit de la membrane.

## La référence

Pour comprendre le problème des références, il faut s'attarder sur l'atmosphère. La pression atmosphérique varie en fonction d'une multitude de paramètres. En différents moments de la journée, il peut y avoir des différences, en différents points du globe, à différentes altitudes, cette pression atmosphérique peut être différente. Pour visualiser l'influence de cette variation, le plus simple est d'imaginer la mesure d'une hauteur d'eau, au niveau de la mer et à 4°C. En admettant que la surface de l'eau soit à l'air libre, la mesure réalisée par un capteur dont la membrane est à 1 mètre de profondeur mesurera dans l'absolu 101 Kpa, la pression en surface peut évoluer de 80 Kpa à 110 Kpa. La mesure de la hauteur de 1 mètre d'eau n'est réalisable que si le capteur mesure la différence entre la pression réelle de l'eau et la pression atmosphérique. Ce type de capteur est nommé capteur **Relatif vrai**. La référence étant la pression atmosphérique variable.

S'il est possible d'admettre une erreur liée à la fluctuation de pression atmosphérique, pour en limiter les effets, il est possible de créer une référence arbitraire. La référence arbitraire consiste à créer une pression de pseudo-équilibre en ajustant la pression au dos de l'élément sensible à une valeur fixe de 100 Kpa. Dans ce cas, l'erreur pour une pression atmosphérique descendue à 80 Kpa sera de - 20 % de la référence et à l'inverse, en positif, de 10 %. Dans le cadre de pressions importantes, d'impossibilité de travailler avec un capteur ou peut entrer l'air libre, cette solution est parfaitement satisfaisante. Le capteur est alors nommé **Relatif fixe**. Ceci suppose des moyens conséquents pour que la valeur de référence soit exacte.

Dans certains cas, les mesures doivent être référencées au vide. Comme pour les relatifs vrais, il s'agit de créer une référence. Cette référence sera le vide tel que réalisable avec des moyens techniques. Le capteur est alors nommé **Absolu**.

Certaines mesures, sur des canalisations, par exemple, supposent de mesurer, comme pour le relatif vrai, deux pressions fluctuantes distinctes. À la différence ce qui est souhaité est une mesure de fluides identiques ou différents. Dans ce cas, pour simplifier, une sollicitation d'une seule et unique membrane devra refléter l'écart de pression de part et d'autre d'elle. Ce type de capteur est nommé **Différentiel**. Dans la réalité, les capteurs différentiels sont constitués de deux membranes et d'un corps d'épreuve sollicité simultanément par les deux, le résultat se traduit par une déformation mesurée correspondant à la différence de pression. Certains capteurs, plus complexes, sont constitués de deux capteurs appairés.

## Habillage mécanique

Dès lors que la référence est établie et que le choix de telle ou telle technologie adopté, le capteur doit être 'habillé'. Un des éléments essentiels est la membrane du capteur suffisamment souple pour transmettre le phénomène et suffisamment rigide pour ne pas se déformer irrémédiablement. Cette membrane doit, en outre, être d'un matériau compatible avec le fluide à mesurer. Le choix et la réalisation de la membrane relèvent d'une expertise et d'une expérience. Les meilleurs fabricants de capteurs proposent même des **membranes remplaçables**. En effet, certaines mesures, par exemple sur les explosifs, ne permettent pas d'affirmer que la membrane ne sera pas irrémédiablement endommagée. Il existe des capteurs où la membrane est judicieusement montée avec des joints étanches et peut-être rapidement remplacée par un technicien.

Lorsque l'on évoque les membranes, il convient de distinguer les **membranes affleurantes** qui permettent, comme le nom l'indique un positionnement à fleur du point de mesure et les **membranes à l'intérieur d'une cavité** qui sont logées dans un espace creux appartenant au capteur. Seules les membranes rentrées permettent de réaliser des capteurs à membranes remplaçables.

Les membranes affleurantes peuvent être construites par soudure sur le bout du capteur et sont dans ce cas sollicitées au point de soudure par les efforts appliqués ou se présentent sous la forme de capuchons et soudées sur le corps du capteur. La seconde solution plus résistante est moins sensible.

Le lien entre le capteur et le point de mesure est, le plus souvent réalisé avec le ‘ port de pression ‘ élément de l’extrémité du capteur, là où se trouve la membrane et permettant le montage. Nombre d’applications utilisent un filetage ou un taraudage pour la fixation. La nature du filetage ou du taraudage dépend de l’échelle de mesure de pression et la nature du matériau du port de pression du type de fluide avec lequel il doit être compatible.

Certains capteurs possèdent un port de pression démontable pour permettre un accès facile à la membrane ( lorsqu’elle est rentrée ) soit pour le remplacement soit pour un nettoyage. **Capteurs à membranes nettoyables.**

Certaines applications dites propres ( **alimentaires** ) ne supportent pas de capteurs avec filetages ou taraudages, d’ordinaire ces capteurs sont à membranes affleurantes et le port de pression est parfaitement lisse pour ne laisser aucune prise aux dépôts et colmatages. Le montage s’effectue alors par ‘ pinçage ‘ ( **clamp** ).

Le reste de l’habillage du capteur est son corps proprement dit et est réalisé dans un matériau compatible avec l’environnement.

Enfin, le capteur doit être doté d’un raccordement électrique. Suivant les cas, le raccordement électrique sera réalisé au travers d’un câble sortant directement du capteur ou au travers d’un connecteur.

Dans les deux cas, les considérations mécaniques liées au capteur déterminent les choix. Vibrations, chocs, facilité de connexion et type de câblage comptent pour beaucoup.

### **Du capteur au transducteur**

En résumé, un capteur est un élément sensible correctement ajusté mécaniquement et électriquement pour offrir un signal faible mais précis correspondant à la mesure, ce qui précède explique aux détails de compensations électriques près la réalisation d’un capteur.

La notion de transducteur réside dans l’intégration d’une électronique à l’intérieur du boîtier ou du corps du capteur. Cette électronique gère en grande partie le conditionnement indispensable au bon fonctionnement de l’instrument et permet un affichage, supposé direct, de la mesure.

Le premier niveau de conditionnement réside dans l’alimentation de l’élément sensible. Les capteurs à jauges de déformations ( classiques ou semi-conductrices ) peuvent être alimentés en tension d’une valeur minimale à une valeur maximale mais le signal de sortie exprimé de  $\mu\text{V}$  de sortie par Volt d’alimentation à  $\text{mV}$  de sortie par Volt d’alimentation tirent ces valeurs de sensibilité d’une alimentation stable. Plus l’alimentation est stable, plus la sensibilité est stable et la mesure précise. La première tâche du conditionneur consiste à réguler l’alimentation permettant d’alimenter le pont de Wheatstone. Une alimentation par piles, par exemple, déclinera en fonction de paramètres comme le temps et la température. D’une pile 9 Volt, un signal utile de 5 Volt pourra être extrait sur une durée raisonnable mais il conviendra de maintenir ces 5 Volt pendant toute la durée d’utilisation. L’étage **régulateur de tension** est utilisé pour traduire un signal continu en tension d’alimentation stable. Des astuces peuvent être ajoutés pour que les limites d’alimentation du capteur soient compatibles avec les énergies disponibles.

Le second niveau de conditionnement consiste, connaissant la tension d’alimentation du capteur, le coefficient des jauges et la nature du pont en terme de branches actives à déterminer une valeur de sortie minimale et maximale du capteur selon la formule  $S = U/x \cdot K \cdot \mu d$  ce qui se résume en sortie égale à tension d’alimentation sur nombre de branche active multiplié par le coefficient des jauges, multiplié par le nombre de micro-déformations attendues. Cette valeur  $S$ , exprimée, usuellement en fractions de Volt ( 100, 200  $\text{mV}$  ), pour être utilisable doit être amplifiée. Un amplificateur permet alors de monter la plage de tension exploitable à un niveau compatible avec les électroniques

classiques, par exemple 0 à 5 Volt. Si le cheminement des câbles doit être réalisé sur de longues distances, pour éviter les perturbations plausibles d'un véhiculage sur une ligne tension, l'électronique sera conçue avec un circuit en Intensité permettant de transférer, au lieu de tensions des courants qui, d'ordinaire sont dans des plages de 4 à 20 mA.

Alimentation et amplification offrent des réglages en terme d'équilibre et de gain plus simples, dans l'esprit, que les capteurs ' seuls '.

L'avènement du microprocesseur a permis de pousser les possibilités de l'électronique plus loin avec la norme IEEE. En réalité, ce qui est réalisé est, à l'origine, une traduction du signal analogique en numérique. Puisque l'on dispose d'une conversion analogique / numérique, personne n'interdit de traiter ce signal in-situ et de compenser avec des réglages numériques déterminés par des mesures en laboratoire les imprécisions de la partie mesure. Puisque l'évolution des microprocesseurs a été fulgurante, il a été décidé d'ajouter aux tâches du composant ' intelligent ' quelques informations complémentaires comme le nom du fabricant, le type de capteur et son numéro de série mais, plus intéressant, les valeurs d'étalonnages lors des montées et descentes en pression permettant de qualifier un point test à x % de la pleine échelle et de déterminer courbes de linéarité et d'hystérésis et d'intégrer les notions de fidélité. Comme les bons constructeurs de capteurs procèdent à des cyclages en température, les notions de dérives thermiques de zéro et de pleine échelle peuvent compléter une fiche technique signalétique individuelle du capteur.

Ces capteurs fonctionnant en analogique et en numérique peuvent offrir une manne de renseignements associés à l'instrument en même temps qu'une mesure compensée de manière beaucoup plus stricte.

Un exemple classique utilisé est celui des capsules capacitives utilisées pour la mesure barométrique. Ces éléments sont tout sauf précis et présentent des erreurs de linéarité, hystérésis, dérive thermiques etc ... ahurissantes. Leur seule qualité est une fidélité redoutable dans l'erreur en fonction des paramètres externes . Un bon baromètre utilise ces ' mauvais ' capteurs liés à une électronique numérique sophistiquée. L'astuce consiste à produire l'ensemble des conditions de fonctionnement pour créer un ' algorithme ' capable, si on lui en donne les moyens ( mesure thermique associée entre autre ) de dire que pour un phénomène prélevé dans les conditions x, la mesure vraie, corrigée sera y.

Ceci conduit à s'intéresser à la phase la plus importante de la réalisation d'un capteur. Cette phase, si chaque sous ensemble est déterminé puis testé individuellement est l'étalonnage final de l'instrument.

### **Des considérations liées aux utilisations**

Les capteurs de pression doivent présenter pour certaines applications des caractéristiques bien particulières. L'une de ces caractéristiques est la résistance aux coups de béliers. Une application classique consiste à mesurer une pression hydraulique sur un laminoir à froid. Lors du laminage d'une tôle, la pression est ' normale ' et évolue permettant le contrôle de la machine. Si une tôle vient à casser, la pression hydraulique monte brutalement. Cette montée brutale et importante du phénomène s'appelle un *coup de bélier*. La plupart des capteurs classiques subiront ce phénomène avec le risque d'une déformation de la membrane lorsque ce n'est pas sa destruction et par conséquent des dommages causés au corps d'épreuve s'il existe et aux jauges de déformation. Pour éviter ces inconvénients, certains constructeurs utilisent un corps d'épreuve, par exemple annulaire, situé derrière la membrane. Pour limiter le déplacement en cas de coup de bélier, des *astuces et butées mécaniques* sont incluses. Le choc poussera le corps d'épreuve en butée, la membrane sera ainsi retenue et si le capteur sera saturé lors de l'apparition du phénomène, il reprendra, dans les conditions classiques sa mesure d'origine.

Pour d'autres utilisations, la *sécurité intrinsèque* permettra un fonctionnement dans des ambiances dangereuses. Pour d'autres, le capteurs sera dans une enveloppe *antidéflagrante*. Ceci est utilisé, souvent, dans des applications pétrolières ou de production chimique mais est aussi exploitable lors de mesures de pression gazeuses sur des pulvérulents confinés comme pour l'agro alimentaire.

## **Etalonnage**

Il existe un fossé entre l'essais des capteurs en ' batterie ' en fin de fabrication et la vérification après chaque étape de réalisation. Un bon capteur fait l'objet de vérifications tout au long du processus de fabrication que ce soit l'implantation de jauges sur un corps d'épreuve, l'ajout d'une membrane, la création d'une référence, l'association à une électronique etc ... La fiche de suivi aura éliminé les instruments non conformes dès la première observation de défaut. Les rares capteurs traversant ces contrôles pour arriver au contrôle final seront déjà d'une excellente qualité. Le reste réside dans une élaboration minutieuse d'un contrôle qualité final avec versement au curriculum vitae de l'instrument la fiche d'étalonnage donnant les valeurs relevées lors des montées et descentes en pression, les écarts maximum et les derives thermiques pour différentes températures.

Peuvent être associées d'autres données comme l'immunité aux perturbations électromagnétiques et des résultats de tests particuliers

La finalité est un **CAPTEUR** digne de ce nom.

## **Caractéristiques**

Les feuilles proposées par les vendeurs de capteurs proposent des caractéristiques parfois difficiles à maîtriser parce que la procédure permettant de les obtenir n'est pas expliquée.

Par exemple, un capteur x possèdera une fiche d'étalonnage stipulant le raccordement électrique, des conditions de tests explicités sous la forme de 4 valeurs : Echelle de pression ; pression de surcharge, alimentation ( dont on suppose qu'il s'agit d'une valeur moyenne ) et alimentation maximum.

Ensuite le relevé donne 6 valeurs de pression, la sortie électrique pour ces valeurs et les valeurs minimales et maximales pour chaque valeur. Les impédances de sortie et d'entrée sont stipulées ainsi que la résistance d'isolement.

Si l'on considère le capteur d'un autre fabricant, on perçoit immédiatement la différence. Le capteur possède un dossier de suivi et la fiche stipule le nom du client. Le modèle , son échelle de mesure, la résistance du pont, la sortie électrique maximum et la tension exacte utilisée pour la calibration figurent sur le document. Suit la température utilisée pour cette calibration et 6 valeurs de pression générées dans les sens montant et descendant, leur conséquence en terme de sortie électrique et les écarts permettant de déterminer linéarité et hystérésis. Des tests en températures minimale ambiante et hautes font l'objet de relevés pour zéro et 100 % de l'échelle avec le delta correspondant.

Un récapitulatif explique l'erreur globale statique comprenant linéarité, hystérésis et fidélité suivant la méthode de calcul du moindre carré sur la plage globale. La plage totale d'erreur est stipulée également en faisant appel au même mode de calcul.

Le second constructeur donne en outre les valeurs de linéarité ( les plus mauvaises ) en expliquant sa méthode de calcul, par exemple : Linéarité = Divergence maximale @ l'ambiante / Sur pleine échelle @ l'ambiante x 100.Ce calcul est réalisé avec une différence théorique : TD, la lecture du zéro à l'ambiante et les différentiels maximum entre absolu et réalité à 20, 40, 60, 80 et 100 % de la pleine échelle. La différence la plus importante est divisée par la pleine échelle et multipliée par 100.

La précision globale d'un capteur constitue donc l'un des points ou il convient d'être prudent.

## **Applications**

Les applications sont variées, la mesure de pression barométrique en est une, les mesures permettant des réglages de circuits hydrauliques ou leur régulation, des mesures de contrôles et d'essais, des mesures de niveaux, des mesures de débit peuvent être réalisées ...

Du manomètre aux essais de propulseurs, du débit d'une pompe au niveau d'une cuve de fuel, toutes les applications supposent de faire le choix du bon capteur au meilleur prix.

Dans la mesure ou il faut pré-trier l'offre des produits, nous avons choisi d'établir différentes catégories. La catégorie présentant les meilleures garanties de qualité et de fiabilité est celle dédiée aux mesures *aéronautiques et spatiales*. Les contraintes ' qualité ' sont drastiques, les capteurs doivent être, souvent, miniatures, consommer peu et offrir une précision inaltérable pendant de longues années. C'est de ces séries que sont nés les capteurs à membranes remplaçables utilisés plus pour les instrumentations sol que pour les instrumentations bord.

Décliner l'aéronautique et le spatial aux applications *marines* est évident mais certains impératifs viennent s'ajouter comme la possibilité d'immerger les capteurs directement dans l'eau de mer, les connectiques bronze ou des câbles intégrés résistant au milieu marin.

Qui peut le plus peut le moins et la série *industrielle* malgré l'intitulé est dédiée aussi bien aux applications militaires qu'aux applications civiles avec un large spectre d'industries, du chimique en passant par l'industrie métallurgique, l'automobile, les eaux usées, l'agro alimentaire etc ...

Trois dérivées de ces séries industrielles sont les séries pour milieu *dangereux* et *explosifs* ainsi que les séries *pétrole* et *membranes affleurantes*.

Enfin les avancées technologiques ont donné naissance aux capteurs *intelligents*.

## Conclusions

La mesure de pression, à l'instar des autres mesures, suppose un nombre de connaissances solides et une expérience acquise au fil de applications.

Ce type de mesure ne supporte pas l'improvisation. D'ailleurs, nombre d'experts ont vécu plusieurs vies avec des capteurs et transducteurs de différentes natures et pour différentes applications.

C'est sur ces connaissances qu'un fournisseur peut s'appuyer pour conseiller le choix du capteur approprié à l'application donnée.

De là, comme il est facile de comprendre que la fabrication suppose un matériel lourd et onéreux ... Pourquoi lourd et onéreux ? Parce que le suivi d'un capteur lambda commence par le choix des composants utilisés, parfois leur tri et leur essais, puis par des réalisations en interne des sous ensembles mécaniques et électroniques pour ne perdre aucun contrôle de la qualité, enfin l'assemblage et le test puis la calibration pour obtenir un produit ' fini '. Le tout, naturellement supervisé par le contrôle qualité. Ce sont des machines à commandes numériques, des salles blanches, des ateliers de câblage et nombre d'autres qui doivent être hébergés sous le même toit et fonctionner en phase. Comme le matériel est lourd et onéreux, il n'existe que peu de place pour les fabrications artisanales, à ceci près que la fabrication industrielle fait appel à des orfèvres, artisans de ce domaine particulier.

La mesure de pression est un métier à part entière.

## 2 Seconde partie : piézoélectriques

Les capteurs de pression piézoélectriques dont il est sommairement fait état dans la première partie de cette discussion, s'apparente aux accéléromètres piézoélectriques, sujet d'un article.

Cependant pour que l'état des lieux soit assez complet, ce qui suit traite des capteurs basés sur cette technologie.

## **Fondements conceptuels :**

L'élément sensible qui peut être un quartz cristallin ou une piézite de synthèse, plus rarement un plastique piézoélectrique ( PVF<sub>2</sub> ) se comporte comme une éponge. Lorsqu'un effort est appliqué sur l'élément sensible, il délivre instantanément un signal proportionnel à la stimulation sous forme de charge électrostatique.

Ce type d'élément sensible permet d'effectuer des mesures de pression gazeuses ou liquides en dynamique. Ceci signifie que, si le capteur est soumis à une pression stable, il verra, lors de son application le phénomène, puis le signal de sortie redeviendra zéro quel que soit le niveau de pression appliqué. Ce type de capteur appréhende donc des phénomènes dynamiques.

Par construction, ces capteurs utilisent une membrane qui sollicite une pièce rigide sur laquelle se trouve une électrode. Un élément piézoélectrique surmonte cette pièce et est lui même doté sur sa surface supérieure de la seconde électrode. Pour un bon fonctionnement, l'ensemble est précontraint, c'est à dire qu'une force de compression déterminée lui est appliquée définitivement.

Comme ces technologies sont utilisées, par ailleurs, pour mesurer des vibrations, il est évident qu'il existe un risque, lors d'apparition de phénomènes vibratoires, de voir des réactions liées non pas à la pression mais à la vibration venir perturber la mesure. Dans ce cas, l'empilage est un peu différent, une masse sismique et un élément piézoélectrique de compensation sont ajoutés. On a donc, dans ce capteur, un accéléromètre et un capteur de pression dynamique

## **La mesure de pression dynamique**

Comme expliqué plus haut, le capteur ne peut voir que les fluctuations des phénomènes. Cela étant, les fluctuations peuvent intervenir à une pression d'équilibre quelconque qu'elle soit proche de la pression atmosphérique ou de 100 000 Kpa.

Lorsque le capteur ne possède pas d'électronique intégrée, il peut être utilisé lors d'applications en hautes températures et également lorsque la dynamique du signal doit être très importante : 20 KHz ...

Des mesures très basses fréquence peuvent aussi être réalisées en utilisant des capteurs dont la constante de temps de décharge est importante. En réalité ceci permet, artificiellement de mesurer un signal qualifié de pseudo continu.

Comme les capteurs piézoélectriques sont très sensibles, la quantité d'énergie qu'ils délivrent est très importante : 2000 pC pour 100 Kpa est une moyenne et 4000 pC pour 1 Kpa n'est pas difficile à réaliser.

Ces capteurs sont, par ailleurs de petite taille et dans des volumes réduits ce qui permet de les utiliser dans le cadre d'applications où l'espace est restreint. Petits, ils sont légers et particulièrement robustes.

Un autre avantage majeur réside dans le fait qu'ils sont auto générateurs des signaux de sortie ce qui évite les alimentations trop gourmandes et facilite les applications embarquées où l'énergie électrique peut-être rare.

L'inconvénient, si c'en est un est le fait que le raccordement électrique se fasse par des câbles très faibles bruits. En effet, le signal véhiculé est une charge électrique et bien plus sujet aux perturbations qu'une tension. En réalité, il arrive souvent que la longueur du câble faible bruit se limite à la zone dite chaude et que, dès après cette zone, un convertisseur de charge ou un amplificateur de charge. Dès après la conversion le signal devient un signal tension véhiculable sur un câble classique

Les mêmes capteurs existent avec une électronique intégrée. L'électronique intégrée est un convertisseur interne des charges. Un composant électronique comprenant transistor à effet de champs

permet de polariser l'élément sensible et de transformer la sortie du capteur de charge ( Q ) en picoCoulomb par Kpa en tension ( V ). Le dispositif exploite la relation classique  $Q=C.V$  ou C est la capacité de l'élément sensible en Farad. Pour simplifier le dispositif, le capteur fonctionne alors en boucle de courant.

L'intérêt de l'électronique intégrée demeure la suppression des câbles spécifiques de liaison. Toutefois, la plupart des capteurs de ce type utilisent malgré tout les câbles faible bruit équipés d'une prise microdot pour la connectique. La raison en est simplement que ce type de connecteur est particulièrement miniature, robuste et léger. Dès lors l'avantage essentiel est de pouvoir transporter le signal sur des distances relativement longues sans avoir le soucis de possibles perturbations triboélectriques dues aux liaisons filaires.

Si la tendance a été d'utiliser beaucoup plus d'électroniques intégrées que de capteurs à sortie en picoCoulomb, elle risque de s'inverser avec la probable suppression des liaisons filaires pour des liaisons radio ramenant l'incontournable source d'énergie et, bien sur le soucis de consommation électrique

La plupart des applications pour ces capteurs sont liés à des phénomènes très rapides, le plus évident étant la mesure d'une onde de choc dans un liquide.

## Conclusions

Comme pour les capteurs piézorésistifs, les capteurs piézoélectriques supposent, pour leur fabrication, un soin tout particulier et un équipement adapté.

La sensibilité des éléments sensibles est liée à leur forme et à leurs dimensions. L'usinage de quartz ou de piézites de synthèse ne s'improvise pas et il faut une longue expérience et des matériels lourds pour cette opération.

La réalisation des capteurs passe par l'assemblage des différentes pièces microminiatures avec suivi de chacune d'entre elle et par l'habillage de l'instrument. Là encore, les outillages, très différents de ceux utilisés pour les capteurs piézorésistifs supposent, tout de même des machines à commandes numériques, des postes de soudage spéciaux etc ...

Enfin l'étalonnage qui peut sembler moins complexe impose de pouvoir reproduire des pressions dynamiques et de les contrôler avec précision.

L'ensemble ne dispense pas du sérieux d'un contrôle qualité.

Les quantités de ces capteurs de pression sont moindres que celles des capteurs de vibration ou de choc et les constructeurs sont, généralement des fabricants de capteurs piézoélectriques de mesures vibratoires dynamiques ce qui offre une garantie de fiabilité.

Là, plus qu'ailleurs, l'artisanat n'existe pas et il s'agit d'un métier à part entière.

./

**Giacintec Measure, Télémessure, Equipement**  
7 rue Gounod - 94 400 Vitry sur Seine – France  
Tel : 33 (0) 1 46 80 96 91 - Mobile : 33 (0) 6 84 61 15 46  
Courriel : [giacintec@aol.com](mailto:giacintec@aol.com)

**T.C.E. Télémessure, Capteurs, Electronique**  
708 Av. de Caupos - 40 600 Biscarrosse - France  
Tel : 33 (0) 5 58 78 16 48 - Mobile : 33 (0) 6 71 33 55 77  
Courriel : [tce40@hotmail.fr](mailto:tce40@hotmail.fr)