

Table des matières

1. PRÉSENTATION TECHNIQUE DU DISPOSITIF	2
1.1. LES CAPTEURS À MEMBRANE	2
1.1.1. <i>Principe de fonctionnement</i>	2
1.2. LES CAPTEURS À ÉLÉMENT SENSIBLE	7
1.2.1. <i>Principe de fonctionnement</i>	7
2. EXIGENCES TECHNIQUES	8
3. PRINCIPAUX CONSTRUCTEURS DE CAPTEURS DE PRESSION	9
4. RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES	9

1. PRESENTATION TECHNIQUE DU DISPOSITIF

Une chaîne de mesure de pression comprend :

- un corps d'épreuve associé ou non à un diaphragme (interface fluide-capteur),
- un détecteur et transducteur,
- des circuits électriques,
- des raccordements électriques,
- un boîtier ou corps.

Il faut distinguer les capteurs de pression qui mesurent une pression (éventuellement alarmés à certains seuils) et les pressostats qui détectent un ou deux seuils.

Les capteurs destinés à la mesure des pressions rapidement variables comme c'est le cas pour la mesure d'une surpression due à une explosion de poussières ou de gaz sont :

- Les capteurs à membrane,
- Les capteurs à éléments sensibles.

1.1. LES CAPTEURS A MEMBRANE

1.1.1. Principe de fonctionnement

Le corps d'épreuve d'un capteur de pression est l'élément assurant la transformation de la pression en déplacement, déformation ou force.

Dans cette technologie, les capteurs sont formés d'un corps d'épreuve, généralement une membrane, sur lequel agit la pression.

On mesure cette dernière par la mesure de la déformation du corps d'épreuve.

Les capteurs à membrane se distinguent entre eux par les procédés de conversion utilisés pour mesurer la déformation.

Les différents capteurs à membrane sont :

- Les capteurs à jauges extensométriques,
- les capteurs capacitifs,
- Les capteurs à fibres optiques,
- Les capteurs à variation d'inductance,
- Les capteurs à courants de Foucault.

Les capteurs à jauges extensométriques

Les jauges extensométriques les plus utilisées sont celles à *trame pelliculaire*. Les jauges (élément résistif) collées sur le corps d'épreuve assurent la conversion directe d'une déformation ε de la structure, en variation de résistance $\Delta R/R$. Associées en pont de Wheatstone elles permettent une compensation en température, et parfois un accroissement de la sensibilité en additionnant les déformations dues à la striction.

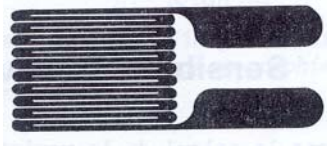


Figure 1 : jauge à trame pelliculaire

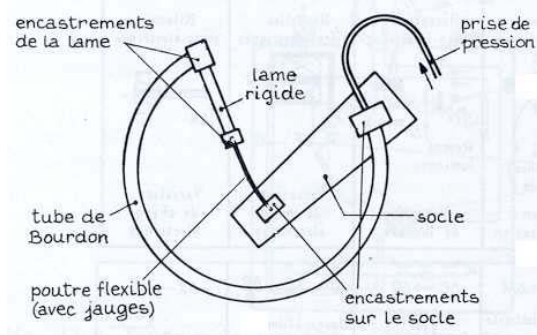


Figure 2 : capteur de pression avec élément

dynamométrique (ici lame) associé à un tube de Bourdon et poutre flexible

Les différentes caractéristiques métrologiques de ce capteur sont :

- *Linéarité et hystérésis* : +/- 0,2% à +/- 1% de l'étendue de mesure
- *Résolution* : meilleure que 0,02% de l'étendue de mesure
- *Précision* : 0,5 à 2% de l'étendue de mesure
- *Rapidité* : fréquence propre, 1kHz à 100kHz selon le corps d'épreuve
- *Signal de sortie* : quelques mV pour l'étendue de mesure
- *Avantages* : bonne précision, faible sensibilité aux vibrations ainsi qu'à la température, par compensation thermique
- *Inconvénients* : signal de sortie faible, fluage possible

Parmi les jauges extensométriques, on trouve également les jauges à *trame déposée*. Elles limitent dans le temps les performances des capteurs par le vieillissement des colles et leur fluage. On y remédie par un dépôt direct sur le corps d'épreuve d'une couche résistante formant ainsi les jauges in situ.

Il en existe deux types qui diffèrent suivant leur mode de fabrication : les jauges à couche mince et les jauges à couche épaisse.

Les jauges à couche épaisse sont obtenues par dépôt direct, par sérigraphie, d'une encre piézorésistive sur des membranes en céramique (96% d'alumine).

Les différentes caractéristiques métrologiques de ce capteur sont :

- *Linéarité et hystérésis* : +/- 0,2% à +/- 0,5% de l'étendue de mesure
- *Résolution* : meilleure que 0,05% de l'étendue de mesure
- *Précision* : 0,1 à 0,5% de l'étendue de mesure
- *Rapidité* : fréquence propre, 1kHz à 100kHz selon le corps d'épreuve
- *Signal de sortie* : quelques mV pour l'étendue de mesure
- *Avantages* : bonne fidélité, insensibilité aux vibrations et chocs

- *Inconvénients* : sensibilité à la surcharge électrique

Les capteurs capacitifs

On distingue les capteurs utilisant :

-la *variation de distance entre les armatures* : le condensateur est destiné à la traduction de déplacements rectilignes ; il est inséré dans un montage en pont. Pour $dl=0$, le pont est équilibré : $V_s=0$. Pour un déplacement dl de l'armature mobile, la tension de sortie V_s est proportionnelle à dl .

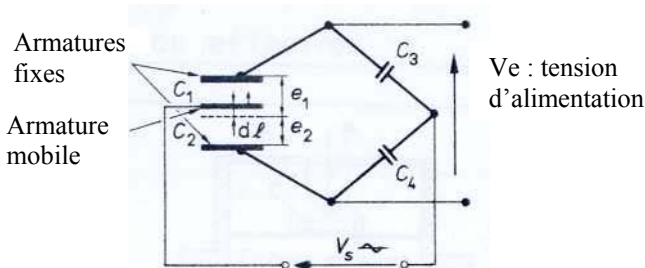


Figure 3: capteur à variation de capacité

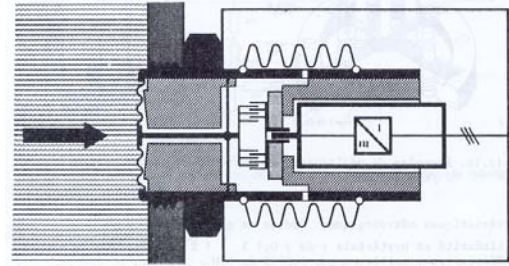


Figure 4 : exemple de capteur de pression par variation de distance entre les armatures

-l'*effet électret* : cet effet est la propriété qu'ont certains diélectriques solides (polymères : PTFE, téflon, polypropylène, etc) de conserver une polarisation après application d'un champ électrique.

Une feuille de plastique métallisée (figure 5) constitue une électrode d'un condensateur et repose sur une deuxième électrode dont la surface est gaufrée. Si on applique une pression sur la face supérieure, la membrane se déforme et la capacité entre les deux électrodes varie.

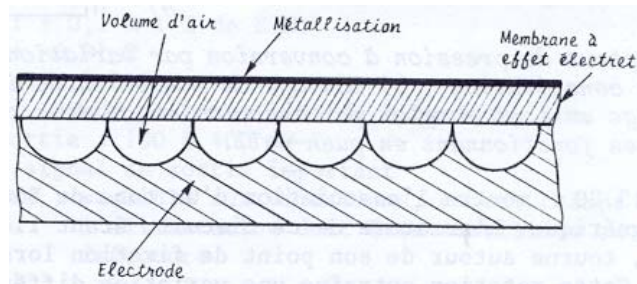


Figure 5 : capteur à électrets

Les différentes caractéristiques métrologiques des capteurs capacitifs de pression sont:

- *Linéarité* : 0,5 à 2% de l'étendue de mesure
- *Hystérésis* : inférieure à 0,02% de l'étendue de mesure
- *Résolution* : meilleure que 0,1% de l'étendue de mesure
- *Fidélité* : 0,1 à 2% de l'étendue de mesure
- *Précision* : 0,2 à 0,5% de l'étendue de mesure
- *Rapidité* : fréquence propre : 50 à 200 kHz selon le diamètre et l'épaisseur de la membrane
- *Signal de sortie* : 20 à 200 mV
- *Avantages* : faible masse, peu sensibles aux accélérations

- *Inconvénients* : sensibilité à la température, sauf en montage différentiel ; sortie haute impédance

Les capteurs à fibres optiques

Ces capteurs sont utilisés pour la mesure de pressions variables dans les solides.

La variation de pression entraîne la déformation du solide ou du corps d'épreuve, ce qui modifie les propriétés optiques de la fibre. La fibre est relié le plus souvent à un capteur de type Fabry-Perot.

Les capteurs à variation d'inductance,

Dans les capteurs de pression à variation d'inductance on utilise, essentiellement, la variation de la réluctance¹ d'un circuit magnétique, par modification, suivant le cas d'un ou de plusieurs entrefers.

Les capteurs à *réluctance variable* utilisent généralement des circuits symétriques. La Figure 6 a montre l'association d'un tube de Bourbon vrillé avec un circuit magnétique. L'armature de ce circuit, étant lié à l'extrémité libre du tube, tourne autour de son point de fixation lorsqu'on applique une pression. Cette rotation entraîne une variation différentielle des entrefers $+\Delta e$ et $-\Delta e$ (de 0,05 mm à 0,1 mm par exemple). La variation des inductances L_1 et L_2 qui en résulte peut être convertie en signal de mesure au moyen d'un montage en pont associant ces inductances avec deux inductances ou deux résistances fixes ou simplement avec deux demi-secondaires d'un transformateur d'entrée d'un équipement à courant porteur.

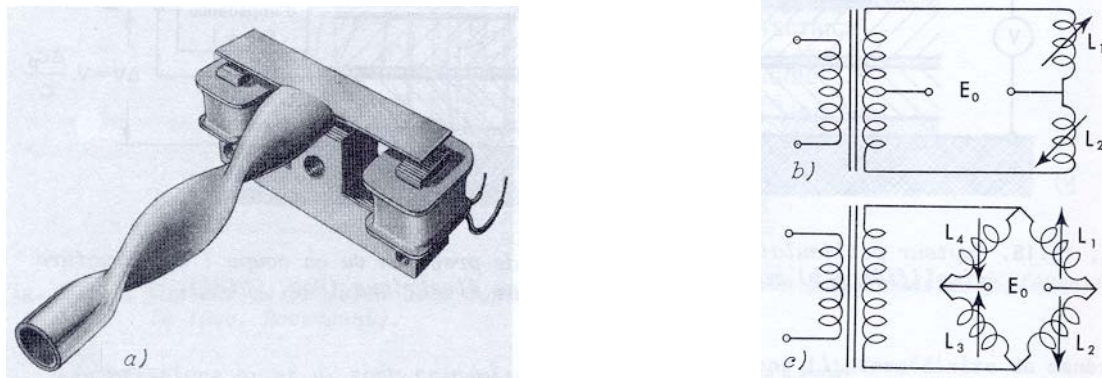


Figure 6 : capteur de pression à conversion par variation de réluctance :
 a) constitution ; b) montage de mesure en demi-pont ; c) montage en pont complet par association de deux circuits magnétiques fonctionnant en push-pull.

On trouve également des capteurs à *variation de mutuelle induction*. Dans ce montage, on fait en général varier le couplage entre deux enroulements secondaires S1, S2 et deux enroulements primaires en série P1 et P2 parcourus par un courant alternatif. Cette variation de couplage est effectuée en différentiel.

¹ : dans un circuit magnétique, c'est le quotient de la force électromagnétique par le flux associé (c'est l'équivalent magnétique de la résistance électrique).

Le déplacement axial du noyau central N, obtenu au moyen de deux membranes de guidage M, fait varier en sens inverses les entrefers e_1 et e_2 . La réductance du circuit correspondant variant corrélativement, le couplage entre primaire et secondaire se trouve modifié. Les fem induites varient en sens inverse et proportionnellement au déplacement. Ces fem, après redressement, sont opposées dans le circuit de mesure comportant un galvanomètre indicateur ou enregistreur.

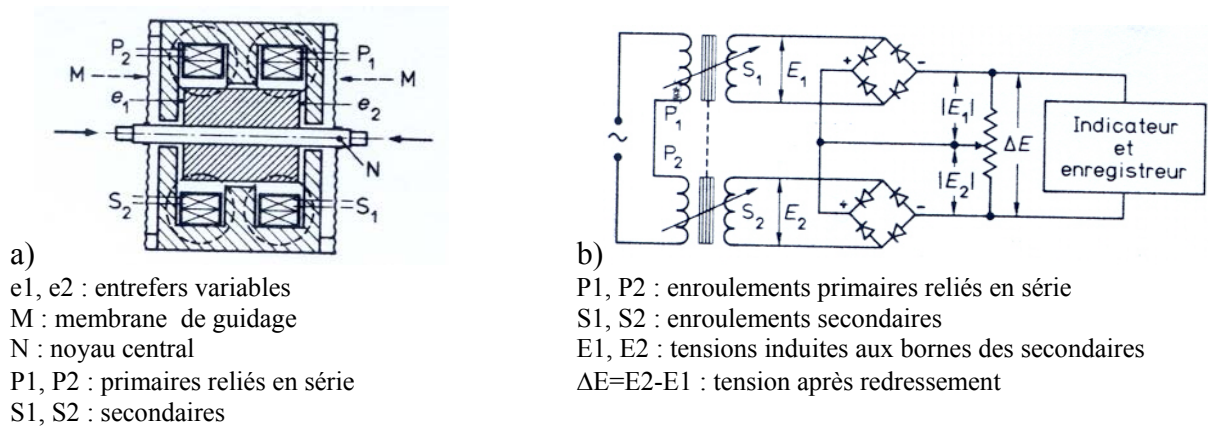


Figure 7 : capteur par variation de mutuelle induction :

a) constitution ; b) circuit de mesure

Les différentes caractéristiques métrologiques des capteurs de pression à variation d'inductance sont :

- *Linéarité* : +/-0,5 à 3% de l'étendue de mesure
- *Hystérésis* : +/-0,1 à 1% de l'étendue de mesure
- *Résolution* : 0,01% de l'étendue de mesure
- *Précision* : 0,5 à 2% de l'étendue de mesure
- *Rapidité* : bande passante limitée à quelques kHz
- *Signal de sortie* : 100 à 400 mV
- *Avantages* : signal de sortie important
- *Inconvénients* : sensible aux vibrations, chocs, champs magnétiques : l'alimentation doit être stabilisée en amplitude et fréquence

Les capteurs à courants de Foucault.

Le principe de ces capteurs repose sur la variation de résistance de la bobine active lorsque cette dernière est couplée à une plaque conductrice qui sert de spire secondaire en court-circuit.

La pression fait rapprocher la membrane de la bobine active ce qui diminue son couplage et augmente sa résistance.

La bobine de référence présente la résistance de la membrane au repos. Elle assure la symétrisation du circuit ce qui permet d'utiliser ces capteurs à hautes températures (>800°C).

1.2. LES CAPTEURS A ELEMENT SENSIBLE

1.2.1. Principe de fonctionnement

Le principe de cette méthode est de mesurer la variation d'une propriété physique de l'élément sensible, sensible à la pression et autre que la déformation.

L'élément sensible peut être du quartz, du verre, du nickel...

La propriété physique de cet élément qui varie avec la pression peut être la résistivité électrique, la perméabilité magnétique, la polarisation optique...

Les différents capteurs à élément sensible sont :

- Les capteurs piézorésistifs,
- Les capteurs piézoélectriques,
- Les capteurs magnétostrictifs,
- Les capteurs photoélastiques.

Les capteurs piézorésistifs

Ces capteurs sont particulièrement utilisés pour mesurer les ondes de choc (compression suivie d'une détente) créés par les explosifs puissants, les projectiles à grande vitesse ou pour la mesure de pression dans les presses d'extrusion...

Ils sont constitués d'un fil ou de dépôts en couche mince de matériaux dont la résistivité électrique varie avec la pression.

La variation de la résistivité et donc de la résistance est mesurée par la variation de tension mesurée aux bornes de l'élément piézorésistif parcouru par un courant constant durant le phénomène à observer.

Les matériaux les plus utilisés sont le carbone, l'ytterbium et le manganèse.

La précision de la mesure de ces capteurs peut atteindre 0,1%.

Les capteurs piézoélectriques

L'effet piézoélectrique est la particularité que possèdent certains matériaux (quartz, céramiques PZT, etc...) de se polariser électriquement lorsqu'ils sont soumis à des contraintes mécaniques convenablement orientées par rapport aux axes cristallographiques.

Les structures piézoélectriques, tubulaires ou à lame, utilisées comme corps d'épreuve assurent donc directement la transformation de la contrainte, produite par l'application d'une force F, en un signal électrique Q tel que $Q=kF$.

Les caractéristiques métrologiques de ces capteurs sont :

- *Linéarité* : +/-0,1 à +/- 1% de l'étendue de mesure
- *Hystérésis* : inférieure à 0,0001% de l'étendue de mesure
- *Résolution* : 0,001% de l'étendue de mesure
- *Rapidité* : fréquence propre : 50kHz à 1 MHz suivant la réalisation
- *Signal de sortie* : 5 à 100 mV
- *Avantages* : excellente réponse en fréquence, convenant à la mesure de pressions rapidement variables ; miniaturisation ; très faible sensibilité à l'accélération : <0,001% par g ;
- *Inconvénients* : sensibilité à la température, nécessite un câble de liaison spécial, de faible bruit en particulier

Les capteurs magnétostrictifs

Ils utilisent la variation de la perméabilité magnétique d'un barreau de métal ferromagnétique soumis à une contrainte.

Le barreau est généralement un alliage binaire ou ternaire Fe, Ni, Co à grains orientés et traités thermiquement.

2. EXIGENCES TECHNIQUES

Ces exigences techniques sont indiquées dans le document intitulé « *détermination des fonctions de sécurité et de leurs exigences techniques – identification des barrières techniques de sécurité* ».

Dans le document intitulé « *Présentation de la méthodologie pour l'identification des barrières techniques de sécurité et de leurs exigences techniques* », l'INERIS propose une grille permettant de définir les exigences techniques d'éléments de sécurité. Cette grille est à adapter au dispositif étudié.

3. PRINCIPAUX CONSTRUCTEURS DE CAPTEURS DE PRESSION

Le Tableau 1 regroupe une liste non exhaustive des constructeurs de capteurs de pression.

Tableau 1 : constructeurs de capteurs de pression

Nom	Coordonnées	Site internet
BOURDON SEDEME	125, RUE DE LA MARRE 41103 VENDOME CEDEX tel: 02.54.73.74.75 Fax: 02.54.73.74.74	
ENTRAN SA	26, rue des Dames 78340 LES CLAYES-SOUS-BOIS tel : 01.30.79.33.00 fax : 01.34.81.03.59	
KOBOLD	ZA les béthunes 16, avenue du Fief 95310 SAINT OUEN L'AUMONE tel 01.34.21.91.15 fax : 01.34.21.92.18	
VEGA Technique S.A	15 rue du ried 67150 NORDHOUSE Tél : 03.88.59.01.50 / fax : 03.88.59.01.51	www.vega-technique.fr

4. REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] Asch Georges – les capteurs en instrumentation industrielle - édition Dunod, - 5ème édition,1999

[2] Charvin Bénédicte - Etude et Recherche DRA-14 : Évaluation des performances des dispositifs de prévention et de protection pour réduire les risques - mise en place d'une méthodologie pour structurer la collecte des données sur l'évaluation des performances des dispositifs de sécurité - application aux installations frigorifiques fonctionnant à l'ammoniac - 2001

[3] Techniques de l'ingénieur – Jean-Claude Godefroy - Article R2090 : Pressions rapidement variables –