

LA SONDE LIMNIMETRIQUE SPI-2 P. MAILLACH

La mesure des niveaux en milieu naturel soulève un certain nombre de difficultés :

- Déport de la mesure par rapport à son site d'acquisition
- installation
- interchangeabilité et maintenance
- précision et fiabilité de la mesure

Pour répondre à l'ensemble de ces problèmes, l'ORSTOM et ELSYDE ont développé un concept de sonde "intelligente" originale appelée SPI-2

Ses principales caractéristiques sont les suivantes :

- Elaboration de données en vraie grandeur
- Transmission numérique standardisée
- Interchangeabilité (banalisation des connexions)
- Auto-compensation et calibration.

Le principe fondamental adopté est la mesure de la pression hydrostatique du fluide par rapport à la pression atmosphérique à l'aide d'un capteur à semi-conducteur, auquel est associée une carte électronique.

L'ensemble est conditionné dans un boîtier cylindrique qui est immergé dans le fluide. La liaison est réalisée par un câble électrique incluant un capillaire pour la mise à l'air de la sonde.

La sonde SPI (Sonde Piezorésistive Immergée) est donc constituée d'une carte électronique raccordée à un capteur de pression et à un câble de liaison.

1 LE CAPTEUR DE PRESSION

Le capteur de pression est constitué d'une jauge de contrainte à semi conducteur intégrée dans un boîtier métallique et isolée du fluide par un diaphragme platiné (fig. 1).

L'élément sensible est une puce de silicium possédant des résistances diffusées et des métallisations en aluminium pour les relier. Cette puce est amincie du côté interne pour lui donner la forme d'un diaphragme de pression dont l'épaisseur détermine la gamme de mesure.

Sous l'effet de la pression, le diaphragme fléchit et les résistances diffusées positionnées sur les bords varient proportionnellement à la pression.

Quatre de ces résistances forment un pont de Wheatstone (fig. 2), deux d'entre elles ayant une variation positive et les deux autres, négative. Ce pont est donc totalement actif et lorsqu'il est soumis à une tension d'alimentation V_e , la tension de sortie V_s s'exprime par la relation :

$$V_s = V_e \frac{\Delta R}{R}$$

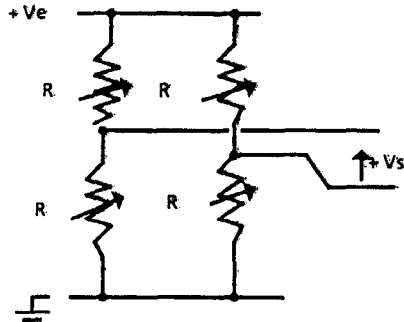


Fig. 2 : Calage du pont des jauges du capteur de pression

Cette caractéristique est appelée effet piézorésistif.

L'effet piézorésistif possède un facteur de jauge très important pouvant atteindre 200 à tel point que les résistances peuvent varier de 10% de leur valeur nominale. C'est ainsi qu'une tension V_e de 10 V génère une tension V_s de 1 V lorsque la variation de résistance atteint 10%.

Les avantages inhérent à ce procédé sont donc la sensibilité obtenue, l'insensibilité aux chocs, l'emploi possible à des températures élevées (- 40 à + 150°C). Il permet de détecter des changements de pression très rapides avec un temps de retard ne dépassant pas quelques μs .

La technologie utilisant un silicium monocristallin dont la construction est homogène, ces capteurs sont exempts d'hystérésis et très stables mécaniquement.

Le défaut principal des semi-conducteurs est la variation de leurs caractéristiques sous l'influence de la température (le silicium est également utilisé à la fabrication de capteurs de température !). Cet effet impose de mesurer la température du pont de résistance formant le capteur de pression en mesurant sa variation d'impédance totale. Cette information est l'image précise de la température.

L'effet thermique nécessite la mise en oeuvre d'une compensation pour conserver les performances du capteur de pression.

D'un capteur à l'autre, la dérive engendrée n'est ni constante ni systématiquement de même sens. Elle se mêle à la dérive des composants électroniques analogiques associés au capteur (amplificateurs, convertisseurs, alimentation...) et induit une variation non linéaire du signal de mesure.

Cette erreur, propre à chaque ensemble, est quantifiable par un étalonnage précis. Les mesures étalons peuvent ensuite être exploitées par le logiciel d'acquisition pour déduire la hauteur d'eau réelle.

La technique employée dans la sonde SPI-2 consiste à stocker sous forme de tables les courbes de hauteur en fonction de la mesure capteur pour des températures différentes. Cette opération est réalisée sur un banc d'étalonnage équipé d'un caisson de température et géré par un micro-ordinateur. Les résultats de l'étalonnage sont automatiquement écrits dans un espace de la mémoire de programme du SPI-2 identifié par son numéro de série.

On utilise généralement trois courbes de température. Cet étalonnage corrige également les défauts de linéarité du capteur (fig. 3).

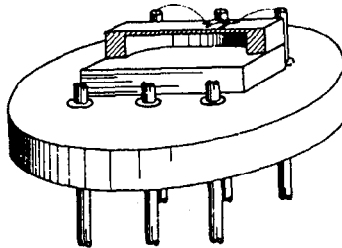


Fig. 1 : La cellule de mesure (avec une coupe) à l'embase à passages de verre

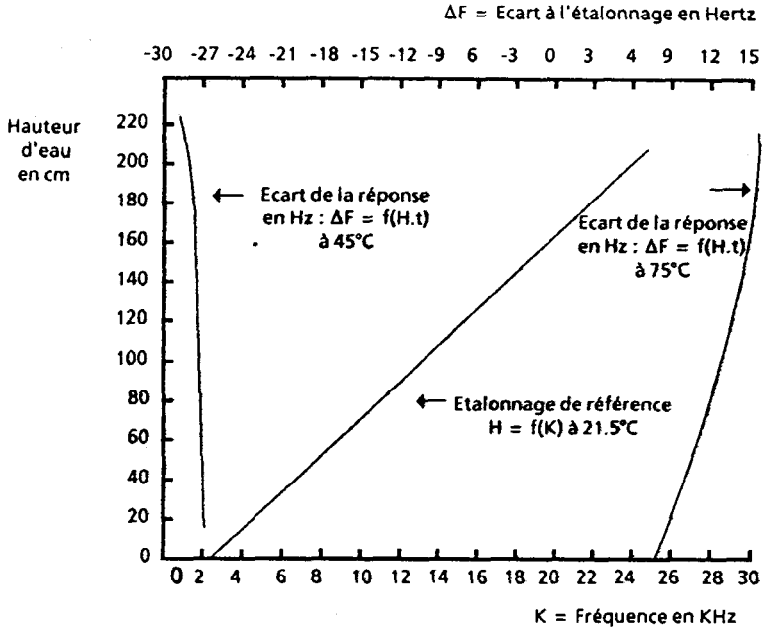


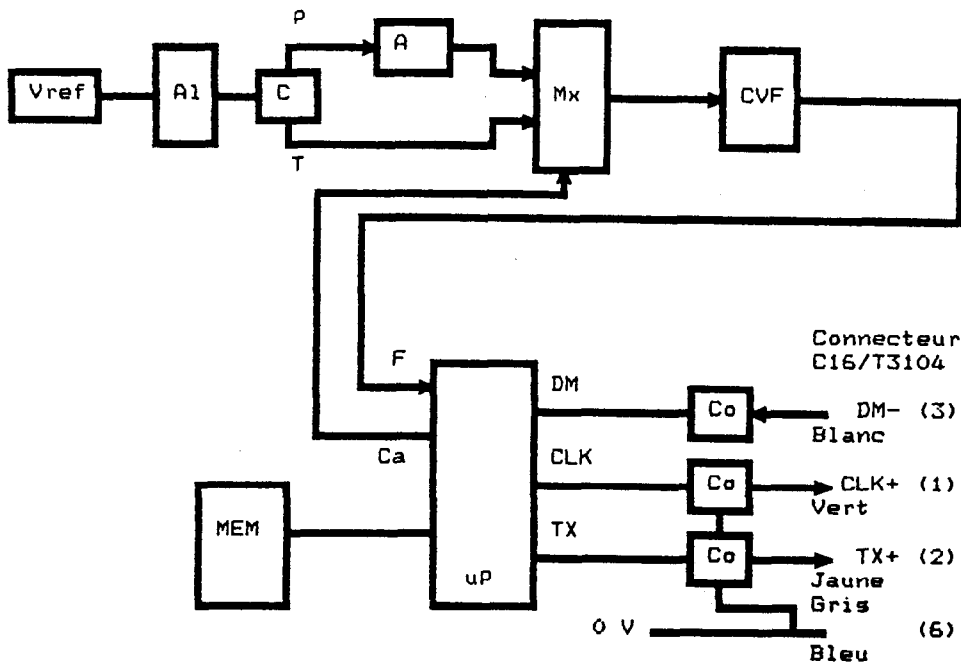
Fig. 3 Exemple de courbes de compensation de la dérive en fonction de la température

2 LA CARTE ELECTRONIQUE

La carte électronique implantée dans la sonde SPI-2 réalise la mise en forme des signaux capteurs et le traitement de ceux-ci pour élaborer une hauteur d'eau en mm et une température en $1/10^{\circ}\text{C}$. Elle se compose d'une partie analogique et d'une partie logique (Fig.4). Les résultats sont transmis sur une liaison filaire suivant un mode série à faible vitesse (100 bits/sec) et en boucles de courants isolées par des opto-coupleurs. Le message comporte 64 bits contenant :

- le numéro de la sonde (16 bits)
- la hauteur d'eau (16 bits) en mm
- la densité d'étalonnage (12 bits)
- la température en $1/10^{\circ}\text{C}$ (12 bits)
- Le message se termine par un octet de checksum (BCC).

La liaison est protégée contre les surtensions et les parasites électro-magnétiques.



- | | | | |
|------|---|--------|-----|
| Vref | = Tension de référence | + 12 V | (5) |
| A1 | = Alimentation en courant | | |
| C | = Jauge de pression | | |
| P | = V pression | | |
| T | = V température | | |
| A | = Amplification de tension | | |
| Mx | = Multiplexage analogique | | |
| CVF | = Convertisseur tension/fréquence | | |
| F | = Signal capteur en fréquence | | |
| DM | = Demande de mesure | | |
| CLK | = Horloge de transmission | | |
| TX | = Données | | |
| MEM | = Mémoire logiciel + courbes d'étalonnage | | |
| uP | = Micro-processeur | | |
| Ca | = Commande d'adressage du multiplexeur | | |
| Co | = Couleur opto-électronique | | |
-
- | | | | |
|--|--------|------------|-----|
| | | DM- (3) | |
| | | Blanc | |
| | | CLK+ (1) | |
| | | Vert | |
| | | TX+ (2) | |
| | | Jaune | |
| | | Gris | |
| | 0 V | | (6) |
| | | Bleu | |
| | + 12 V | | (5) |
| | | Marron | |
| | GND | | (4) |
| | | Vert/jaune | |

Fig. 4 : Sonde SPI-2
Schéma synoptique

3 AVANTAGES DE LA SONDE SPI

Le concept mis en oeuvre dans la sonde SPI-2 lui confère un certain nombre de caractéristiques qui en font un instrument bien adapté à l'utilisation sur le terrain :

Les sondes sont toutes interchangeables et ne nécessitent aucune adaptation au niveau de la centrale d'acquisition.

Chaque sonde est étalonnée et compensée, et fournit la hauteur d'eau et la température directement en vraie grandeur (mm et 1/10°C).

Le mode de transmission choisi permet l'éloignement de la sonde de plusieurs kms sans influence sur la précision ou la qualité de la mesure (réalisée à l'intérieur de la sonde) et sans risque de perturbations.

Sa dimension réduite et la qualité de sa prise de pression facilitent son installation en milieu naturel (positionnement quelconque).

L'ensemble des caractéristiques et spécifications est précisé dans la notice du SPI-2 jointe en annexe (Fiches techniques du matériel, page 45).

DISCUSSION

A une question de DUBEE, MAILLACH répond que les appareils sont protégés contre une inversion de polarité. RODIER s'interroge sur la signification de la mesure dans deux conditions : lorsque le capillaire est bouché, et lorsque le capteur de pression est enfoui sous un mètre de sable. Pour MAILLACH, vu le diamètre du capillaire (1,7 mm), il est impossible qu'il se bouche. Par contre, si les trous sur le capteur sont partiellement obstrués, le temps de réponse de l'appareil augmente. A la limite, si tous les trous sont fermés, il n'y a plus de mesure possible.

PASQUIER veut savoir si la longueur du câble de liaison ne pose pas de problème (élévation de température qui pourrait induire un problème de transmission par exemple). MAILLACH indique qu'il s'agit d'une liaison numérique et non analogique, ce qui autorise une longueur maximum de câble de 2 km. De plus le diamètre du capillaire a été calculé pour supprimer l'influence de la température. Enfin, le logiciel développé teste la qualité de la transmission. En cas de problème, la mesure n'est pas stockée.