

L'ELECTRONIQUE



COMMANDE

LA VIE MODERNE

RETRONIK.FR

FASCICULE N° 19

## LES MESURES DES NIVEAUX, PRESSIONS ET DÉBITS D'UN LIQUIDE PAR PROCÉDÉS ÉLECTRONIQUES

*Nous avons déjà publié en 1955 un bulletin (N° 8) sur les mesures du niveau d'un liquide. L'apparition de nouveaux procédés nous a paru justifier une nouvelle étude dans laquelle nous avons également traité des procédés électroniques de mesure des pressions et des débits.*

**D**ANS les industries mettant en œuvre des liquides, il est bien souvent nécessaire d'en connaître en permanence le niveau, la pression ou le débit. Ces indications doivent alors pouvoir être lues à chaque instant sur les cadrans des appareils indicateurs placés à distance, ou être enregistrées sur des diagrammes.

L'électronique a apporté dans ce domaine de nombreuses solutions intéressantes.

Comme chaque fois que l'on effectue la mesure d'une grandeur physique par un procédé électronique, le problème est de transformer, à l'aide d'un organe appelé capteur, cette grandeur en un courant ou une tension électrique. Pour cela différents types de capteurs peuvent être employés suivant le cas envisagé. La tension fournie par le capteur est alors envoyée à un amplificateur, puis à un appareil de mesure ou à un système régulateur, si une régulation automatique est désirée.

# MESURE DES NIVEAUX

## 1. CAPTEURS A VARIATION DE RÉSISTANCE

### a) Mesure

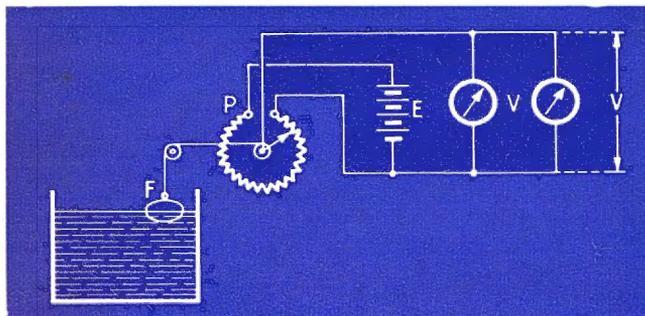


Fig. 1. Flotteur associé à un potentiomètre.

F. Flotteur. E. Source de tension.  
P. Potentiomètre. V. Appareils indicateurs.

Dans ce cas, un flotteur est solidaire du curseur d'un potentiomètre par l'intermédiaire d'un dispositif mécanique (Fig. 1). De ce fait le mouvement du flotteur entraîne le déplacement du curseur du potentiomètre P alimenté par une source de tension électrique E continue ou alternative.

Un ou plusieurs voltmètres V sont montés en dérivation entre le curseur du potentiomètre et une de ses extrémités, on a ainsi la possibilité de multiplier le nombre de points où est transmise l'indication du jaugage. Les voltmètres comportent une échelle graduée en hauteur de liquide ou en volume. La précision du dispositif de transmission électrique de l'indication du niveau peut être considérablement augmentée par l'utilisation d'une source de tension stabilisée par voie électronique.

### b) Enregistrement des niveaux d'un liquide

Le dispositif permettant la transmission à distance de l'indication d'un niveau, permet également la commande d'un enregistreur. Dans le cas où la puissance fournie par le potentiomètre serait insuffisante pour actionner un enregistreur, on pourrait avoir recours à un dispositif à moteur asservi du type utilisé pour les dispositifs de régulation automatique d'un niveau, dont il est question ci-après.

### c) Régulation électronique d'un niveau d'un liquide

Dans bien des cas, il est nécessaire de conserver dans un réservoir un niveau de liquide sensiblement constant quel que soit le débit demandé. On a recours alors à une commande de niveau utilisant un potentiomètre, d'un principe analogue à ceux employés pour l'enregistrement et la régulation de température (voir bulletin n° 16).

La tension fournie par le potentiomètre commandé par le flotteur s'oppose à celle donnée par le potentiomètre actionné par le moteur asservi. La tension de déséquilibre commande, par l'intermédiaire d'un amplificateur électronique, la rotation du moteur dans le sens convenable. L'arbre du potentiomètre asservi actionne des contacts réglables assurant la mise en route de la pompe d'alimentation ou l'ouverture d'une vanne (Fig. 2).

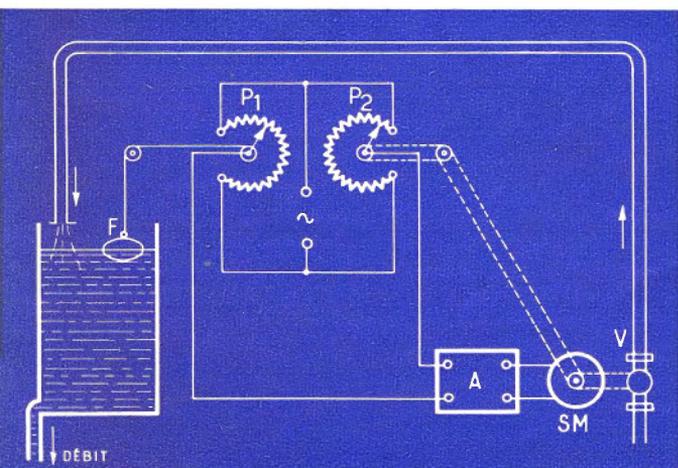


Fig. 2. Régulateur à potentiomètre automatique.

F. Flotteur.  
P1. Potentiomètre de commande entraîné par le flotteur.  
P2. Potentiomètre de commande entraîné par le servomoteur.  
A. Amplificateur.  
SM. Servomoteur commandant la vanne V de remplissage du réservoir.

Lorsque le niveau subit une variation, le flotteur entraîne le potentiomètre qui déséquilibre le pont. La tension de déséquilibre, après amplification, actionne le servomoteur ouvrant la vanne jusqu'à ce que le potentiomètre asservi occupe une position homologue à celle du potentiomètre de commande. Le débit d'alimentation s'équilibre alors avec le débit d'utilisation.

## 2. CAPTEURS CAPACITIFS

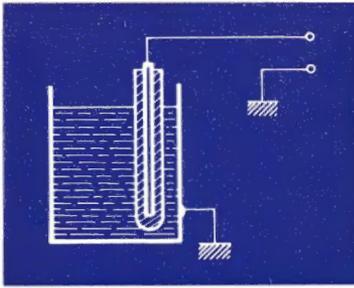


Fig. 3. Electrode de mesure dans le cas de liquide conducteur

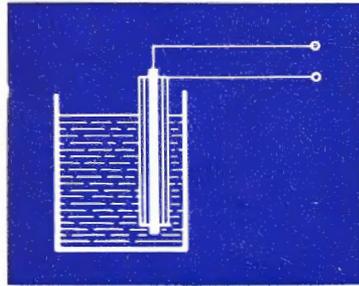


Fig. 4. Electrodes de mesure dans le cas de liquide isolant.

### a) Mesure

Dans ce cas, on traduit les variations de niveau en variations d'une grandeur électrique, en utilisant le pouvoir inducteur spécifique du liquide par mise en œuvre d'un palpeur capacitif. Si le liquide à jauger est conducteur (solution acide ou basique), on constitue l'une des armatures du condensateur avec le liquide lui-même en contact avec le réservoir métallique (Fig. 3), ou une armature immergée si le réservoir est isolant. L'autre armature est un plongeur vertical métallique disposé dans un manchon isolant non attaqué par le liquide considéré (verre dur genre Pyrex). Dans le cas du jaugeage de liquides isolants (pétrole, huile, etc.), la capacité de mesure peut être constituée par deux électrodes fixées verticalement dans le réservoir (Fig. 4). C'est le liquide lui-même qui joue le rôle de diélectrique.

Le condensateur de mesure constitué par les deux armatures définies ci-dessus, est inséré dans l'une des branches d'un pont de capacité (Fig. 5). Il s'agit d'une mesure de capacité pure. Les variations du niveau dans le réservoir entraînent la variation de la capacité du palpeur. Si le pont a été équilibré (ce qui se produit pour une déviation nulle de l'appareil de mesure), les déviations seront ensuite proportionnelles à la hauteur du niveau du liquide. Comme les variations de la capacité du palpeur sont toujours faibles, le pont est alimenté par un générateur  $G$  à courant alternatif de fréquence élevée (par exemple de l'ordre de 100 kc/s).

La tension de déséquilibre attaque, après redressement, un amplificateur électronique  $A$  dont le courant de sortie actionne un milliampèremètre  $M$  gradué en hauteur de liquide ou en volumes. Le câble de raccordement du palpeur capacitif au pont de mesure doit être le plus court possible et, dans tous les cas, réalisé à l'aide d'un câble à très faible capacité (câble coaxial); par contre, la liaison du pont de capacité au secteur d'alimentation et au milliampèremètre indicateur de niveau, est de type indifférent. La précision de lecture d'un jaugeur électronique est au moins de 1 %.

Ce dispositif a l'avantage de ne comporter aucune pièce mobile à l'intérieur du réservoir, ni membrane, ni contact électrique.

La précision et la facilité du jaugeage électronique sont supérieures à tous les autres dispositifs utilisés jusqu'à ce jour. La consommation de l'équipement est pratiquement négligeable. Enfin, les risques d'incendie à l'intérieur du réservoir sont absolument inexistants, l'électrode isolée étant traversée par un courant alternatif très faible mettant en jeu une puissance inférieure à 10 micro-watts.

Sur ce principe, ont été réalisés des équipements de jaugeage pour réservoirs d'avions. L'alimentation en énergie électrique du dispositif se fait directement à partir du réseau continu du bord (24 ou 48 volts). La puissance consommée est de l'ordre d'un watt, donc insignifiante. L'encombrement réduit du dispositif permet son emploi dans des endroits très encombrés. L'ensemble du système de jaugeage électronique pour l'aviation pèse moins de deux kilogrammes.

### b) Enregistreur

Un dispositif électronique de mesure de niveau peut être facilement muni d'un système enregistreur classique, conservant, pour études ultérieures, la trace des variations de niveau en fonction du temps.

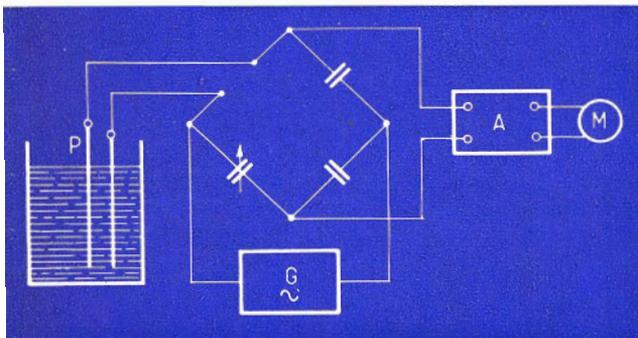


Fig. 5. Schéma de principe de mesure électronique de niveau.

- A. Amplificateur électronique.
- G. Alimentation.
- M. Appareil de mesure.
- P. Les électrodes.

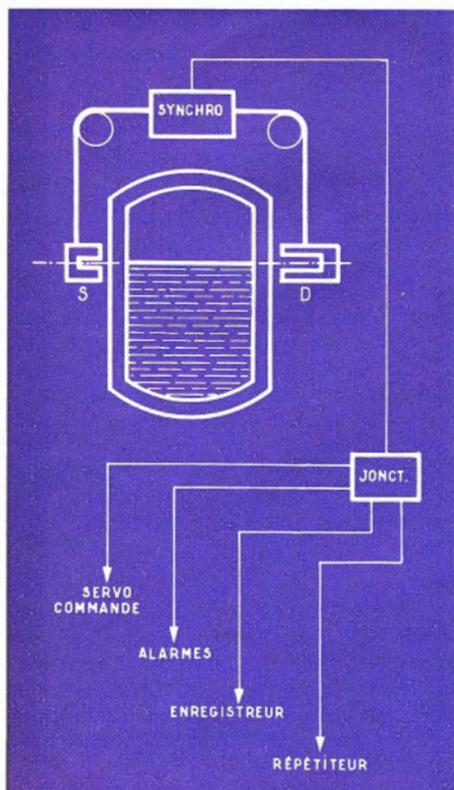


Fig. 6. Suiveur de niveau à isotope radioactif (Technique Nucléaire).

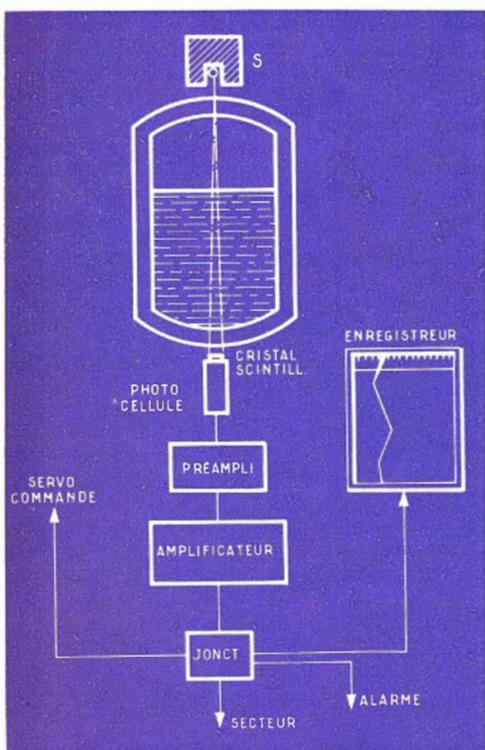


Fig. 7. Mesure continue du niveau à l'aide d'un isotope radioactif placé au-dessus de la cuve et le détecteur au-dessous.

### c) Système de régulation

Il est naturellement possible d'adjoindre au dispositif de mesure de niveau, en parallèle avec le milliampèremètre, des relais actionnant l'ouverture ou la fermeture de vannes ou assurant la mise en route ou l'arrêt d'une pompe d'alimentation.

## 3. EMPLOI DES ISOTOPES RADIOACTIFS

### a) Mesure

Les niveaux utilisant les sources radioactives présentent le gros avantage de ne nécessiter aucun appareillage à l'intérieur de la cuve, ce qui est particulièrement intéressant lorsqu'il s'agit de liquides corrosifs ou inflammables.

De tels niveaux comportent un isotope radioactif émettant en général un rayonnement  $\gamma$  et un détecteur (compteur Geiger, scintillomètre, chambre à ionisation) placés de part et d'autre de la cuve et se déplaçant simultanément à l'aide d'un système mécanique. Le passage au niveau du liquide se manifeste par une brusque variation du rayonnement détecté, car l'absorption de ce dernier varie beaucoup à cet endroit (Fig. 6).

Il existe également une autre méthode de mesure qui consiste à placer la source émissive au-dessus de la cuve et le détecteur au-dessous (Fig. 7). L'intensité de rayonnement reçue par le détecteur est fonction du niveau du liquide. Il en résulte que la tension à la sortie du détecteur est elle-même fonction du niveau. Cette tension est alors envoyée à un amplificateur électronique, puis à l'appareil de mesure.

La précision obtenue par ces méthodes est de l'ordre du millièème et le temps de réponse atteint la seconde.

### b) Enregistreur

Là aussi, les mesures peuvent s'effectuer en continu et les informations être envoyées à un enregistreur qui peut être placé à distance.

### c) Régulation

Comme le montrent les figures 6 et 7, la tension fournie par l'amplificateur peut aussi être employée pour commander un servomécanisme permettant l'arrivée du liquide dans le réservoir.

Si le niveau doit être maintenu entre deux points fixes, il est possible d'employer le montage de la figure 8. Dans ce cas, deux ensembles sources et détecteurs sont respectivement placés aux deux niveaux désirés.

Lorsque le niveau du liquide varie et arrive à la hauteur de l'un des ensembles, il provoque une forte variation du rayonnement reçu par le détecteur, d'où une différence de tension à sa sortie. On pourra ainsi, à l'aide d'un amplificateur, commander l'ouverture ou la fermeture d'une vanne ou actionner le moteur d'une pompe.

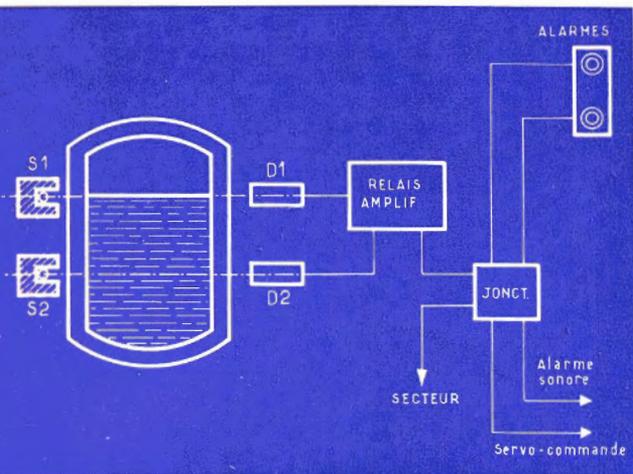


Fig. 8. Régulation du niveau d'un liquide entre deux points fixes.



Fig. 9. Appareil Mesco qui permet la commande asservie des dispositifs d'enfournement en fonction de l'intensité de rayonnement détecté par le compteur Geiger-Muller que l'on voit au-dessous.

Fig. 10. Régulation du niveau du verre en fusion (Mesco).  
 A. Isotope et sa protection.  
 B. Niveau du verre.  
 C. Compteur de Geiger-Muller.  
 D. Contacteur.  
 E. Amplificateur et organes de commande pour la régulation.  
 F. Enregistreur.  
 M. Moteur commandant l'enfournement.

On emploie également des systèmes de régulation par tout ou rien à l'aide d'un seul ensemble isotope-détecteur.

Ce procédé est employé dans l'industrie de la verrerie pour le repérage du verre en fusion dans le four et la commande automatique des dispositifs d'enfournement (Fig. 9).

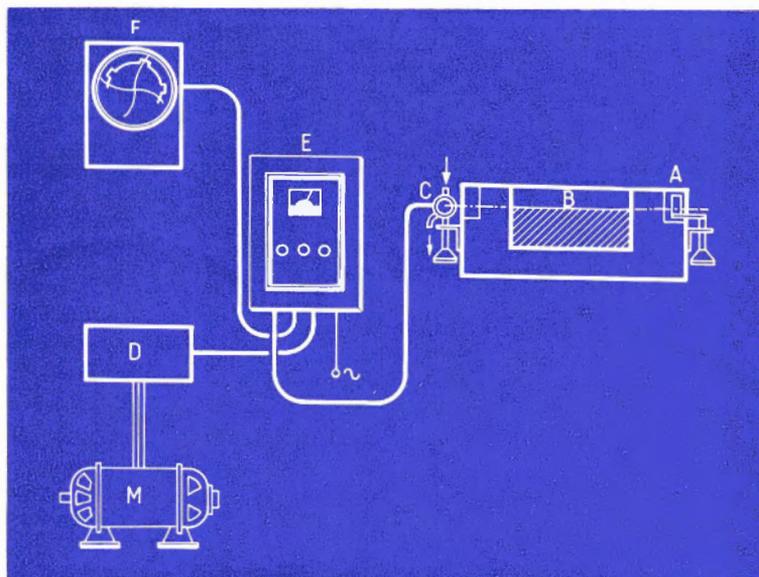
La figure 10 représente le principe de fonctionnement de l'appareil. A la hauteur de référence désirée pour le niveau, sont placés, de part et d'autre du four, une source radioactive A et un compteur de particules C. Le milieu de verre en fusion étant plus absorbant, vis-à-vis des rayons gamma émis par la source, que les gaz de surface, il est dès lors évident que le nombre de particules reçues par le compteur diminuera brusquement dès que le niveau atteindra la ligne de visée AC.

Le compteur C est relié à un dispositif électronique permettant de discriminer si le nombre d'impulsions fournies par le compteur correspond à un niveau supérieur ou inférieur à la ligne de référence. Enfin le circuit électronique commande directement un relais contacteur permettant d'effectuer toutes actions mécaniques désirées, et en particulier l'arrêt et la mise en marche du moteur de l'enfournement, ou la marche lente et la marche rapide dans le cas d'un moteur à deux vitesses.

La précision du système dépend de l'épaisseur de la source employée et permet la mise en marche ou l'arrêt de l'enfournement pour une variation de niveau de  $\pm 1$  mm. Précision, d'ailleurs, bien supérieure à celle généralement demandée pour les fours automatiques de verrerie.

#### 4. CAPTEURS A CELLULES PHOTOÉLECTRIQUES

Dans certains cas, on fait appel à une commande photoélectrique pour signaler le niveau atteint par un liquide dans un réservoir. Le niveau du liquide à contrôler s'établit dans un tube transparent placé entre une lampe L et une cellule photoélectrique C, suivie d'un amplificateur alimentant un relais (Fig. 11).



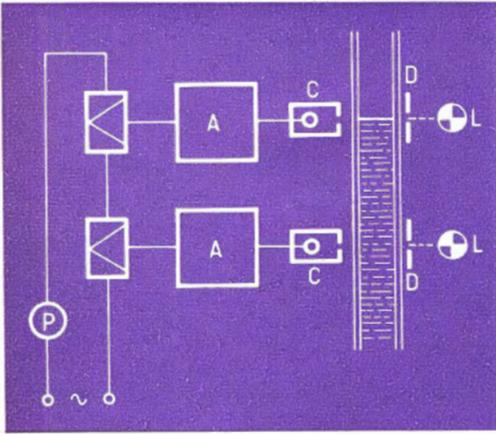


Fig. 11. Contrôle photoélectrique du niveau.

## 5. CAPTEURS A CONTACT

Le mouvement du liquide dans le tube, en masquant ou en démasquant la cellule, provoque l'enclenchement ou le déclenchement du relais (Fig. 12). On peut ainsi, soit actionner un dispositif de signalisation, soit commander une pompe d'alimentation. On utilise généralement deux dispositifs photoélectriques correspondant aux niveaux inférieur et supérieur à contrôler.

Ce système est particulièrement intéressant pour la commande automatique de l'alimentation des chaudières. Des dispositifs mécaniques, basés sur l'utilisation de flotteurs actionnant un interrupteur, sont parfois utilisés, mais leur entretien est une lourde servitude par suite des incidents nombreux dont ils sont l'objet : flotteur coincé, levier entartré, grippé. Les dispositifs électroniques assurent au contraire un fonctionnement très sûr, n'exigeant qu'un minimum d'entretien.

Le principe de ces appareils est généralement le suivant (Fig. 13) :

Une électrode A plonge dans l'eau et est reliée à la grille d'un thyatron. Une tension alternative d'une dizaine de volts est appliquée à travers une résistance  $r$  entre la grille et la cathode du thyatron. Le léger courant qui circule dans la résistance polarise positivement la grille du thyatron qui est ainsi rendu conducteur. Le courant anodique maintient le relais R au collage.

Quand le niveau de l'eau dans la chaudière baisse, l'électrode A est dégagée et la grille du thyatron devient négative; le thyatron est alors bloqué, le relais R retombe et commande la mise en marche de la pompe d'alimentation P. On voit que, suivant que l'électrode est baignée ou non, le relais R est ou non au collage.

Sur ce principe, peut être réalisé un système complètement automatique d'alimentation de la chaudière (Fig. 14). Le système comporte trois électrodes A, B, C; A, l'électrode pour le niveau supérieur; B, l'électrode pour le niveau inférieur; C, l'électrode de sécurité et deux thyatrons T1 et T2.

Lorsque l'eau atteint l'électrode A, le courant circule entre A et la masse, le relais R1 est excité, la pompe d'alimentation PA cesse de fonctionner. Un contact auxiliaire du relais R1 court-circuite les électrodes A et B. Quand le niveau baisse et dégage l'électrode A, le courant circule entre l'électrode B et la masse et le relais reste excité. Le niveau continuant à baisser, l'électrode B finit par n'être plus baignée par l'eau. Le courant est alors coupé, le relais retombe et la pompe d'alimentation PA entre en action. La connexion entre les électrodes A et B est interrompue, le niveau remonte et l'eau atteignant à nouveau l'électrode A, le courant circule entre A et la masse. Le relais s'enclenche à nouveau et le cycle recommence.

Si, par suite d'un incident quelconque : non fonctionnement de la pompe ou de la vanne, manque d'eau, etc., l'alimentation n'est pas assurée régulièrement, le niveau continuant à baisser l'électrode C cesse d'être immergée. Le thyatron T2 est bloqué; le

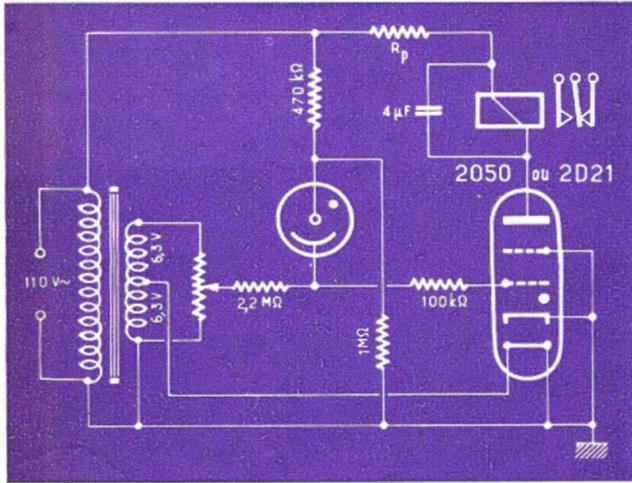


Fig. 12. Relais photoélectrique fonctionnant par accroissement d'un flux lumineux. La tension alternative du secteur alimente directement le circuit anodique du thyatron.

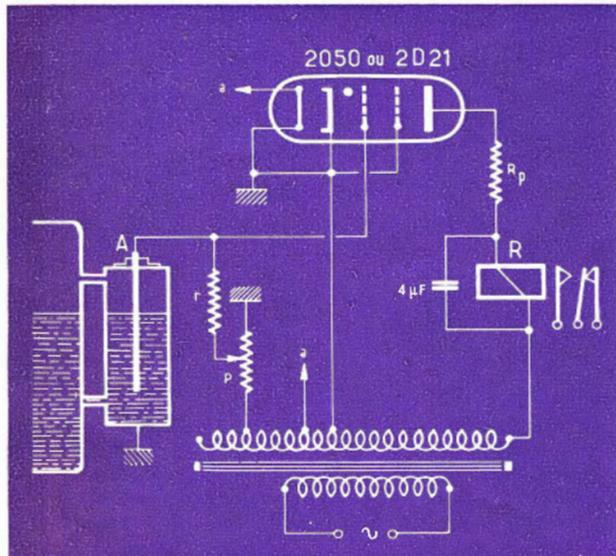


Fig. 13. Principe de régulation électronique de niveau. Quand l'eau baigne l'électrode A, le léger courant traversant la résistance  $r$  polarise négativement la grille et bloque le thyatron. Si l'électrode A est dégagée, le thyatron s'amorce et le relais R excité met en route la pompe P.

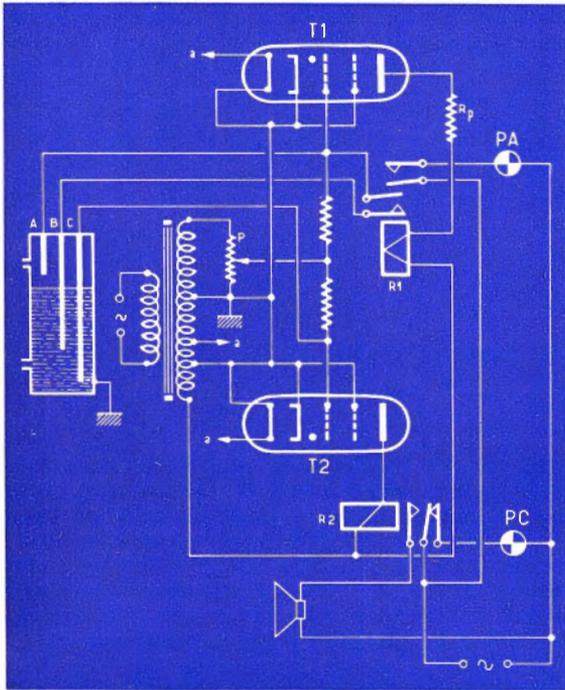


Fig. 14. Schéma d'un régulateur automatique de niveau d'une chaudière :

- A. Electrode niveau supérieur.
- B. Electrode niveau inférieur.
- C. Electrode de sécurité.
- P. Potentiomètre de réglage.
- T1. Thyatron commandant l'alimentation
- T2. Thyatron du système de sécurité.
- PA. Pompe d'alimentation.
- PC. Pompe à combustible alimentant le brûleur.
- S. Signalisation sonore.

relais de sécurité R2 tombe, la vanne d'arrivée du carburant au brûleur se ferme et un signal sonore ou lumineux entre en action. Cette sécurité est absolue : un incident quelconque affectant l'appareillage d'alimentation, l'interruption du courant électrique, le manque d'eau, toutes ces causes se traduisent par l'extinction du brûleur et déclenchent la signalisation d'alarme (Fig. 15). Des dispositifs analogues peuvent être appliqués à la commande de la vidange automatique des réservoirs, puisards, forages, etc.

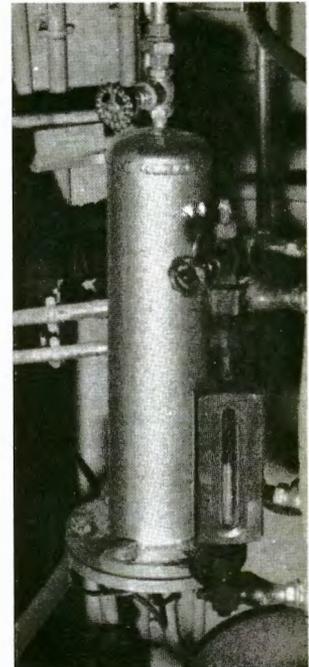


Fig. 15. Bouteille enfermant les électrodes de contrôle du niveau d'une chaudière.

## MESURE DES PRESSIONS

Certaines mesures de niveau peuvent aussi se ramener à une mesure de pression. En effet, la hauteur du liquide est fonction de la pression qu'il exerce dans le fond de la cuve.

### 1. CAPTEURS A FIL RÉSISTANT OU EXTENSOMÉTRIQUE

Un tel capteur se compose d'une jauge à fil résistant collé sur une membrane ou une lame flexible, qui se déforme plus ou moins suivant la pression exercée. La déformation de la membrane entraîne un allongement du fil, d'où une diminution de sa section et par suite une augmentation de sa résistance : la résistance d'un conducteur étant proportionnelle à sa longueur et inversement proportionnelle à sa section. Il suffit donc de placer la jauge à fil

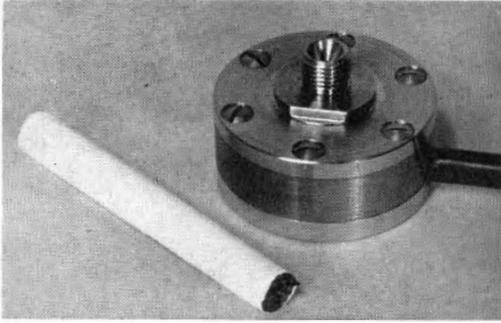


Fig. 16. Capsule manométrique à jauges résistances (Sexta).

résistant, dans l'une des branches d'un pont de mesure, pour en connaître la variation de résistance et par suite la pression qui s'exerce sur la membrane (Fig. 16 et 17).

La réalisation et l'utilisation des jauges extensométriques ont été étudiées en détail dans notre fascicule n° 11 intitulé : « Les Applications de l'Electronique aux méthodes d'extensométrie ».

## 2. CAPTEURS CAPACITIFS

Dans ce cas la pression est appliquée sur une membrane constituant l'une des armatures d'un condensateur. La déformation de la membrane provoque une variation de la capacité : cette dernière peut être alors mesurée directement en la montant dans un pont de mesure. Cependant, pour ne pas être obligé d'employer des membranes de grand diamètre, les mesures s'effectuent en haute ou moyenne fréquence : en effet, de cette façon, une petite variation de capacité de l'ordre du picofarad agit considérablement sur le circuit auquel il appartient. Si donc le condensateur est associé à une self, formant un circuit accordé pilotant un oscillateur, il suffira de mesurer la variation de fréquence pour connaître la pression (Fig. 18).

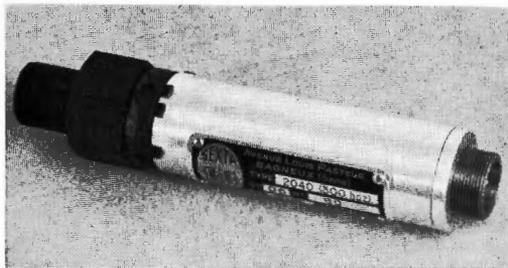


Fig. 17. Capteur de pression à jauges résistances (Sexta).

## 3. CAPTEURS INDUCTIFS

Les capteurs inductifs de pression emploient souvent un noyau à entrefer. La pression appliquée modifie la longueur de l'entrefer et donc l'inductance. Les modèles du commerce ont des gammes de pression comprises entre 0-0,7 kg/cm<sup>2</sup> et 0-80 kg/cm<sup>2</sup>. La variation correspondante de l'inductance est d'environ 7,5 mH. De la même façon que pour les capteurs capacitifs, un circuit accordé comportant le capteur peut piloter un oscillateur. De cette manière, la relation entre la pression et la fréquence est presque linéaire. En effet l'augmentation de l'inductance en fonction du déplacement du noyau est du second degré tandis que celle qui relie la fréquence à l'inductance est du degré 1/2 : il y a donc compensation.

La figure 19 représente un capteur de petite dimension pour mesurer les pressions intra-cardiaques. Dans ce capteur un noyau magnétique suspendu entre deux membranes très minces ne peut se déplacer qu'axialement sous l'influence de la pression. Il traverse une bobine dont il modifie l'inductance. La valeur de celle-ci est mesurée par modulation de fréquence. La membrane sensible est protégée par un dôme perforé en plexiglas qui se prolonge par un cylindre de 2,7 mm de diamètre et qui contient tout le mécanisme. Le capteur est fixé solidement sur le cathéter et ne peut en être démonté. L'effet de température est compensé mécaniquement.

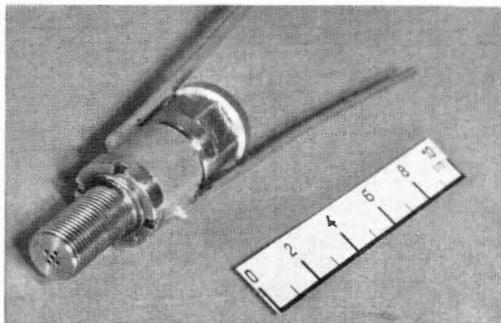


Fig. 18. Capteur de pression à variation de capacité (Sexta).

Ce capteur ne peut fonctionner qu'avec un oscillateur à 120 kc qu'il module en fréquence et un discriminateur de fréquence. Un système de filtres permet d'extraire les signaux de fréquence audible supérieure à 40 Hz qui sont considérés comme « sons intra-cardiaques ». Sons et pressions peuvent être étalonnés (Fig. 20).

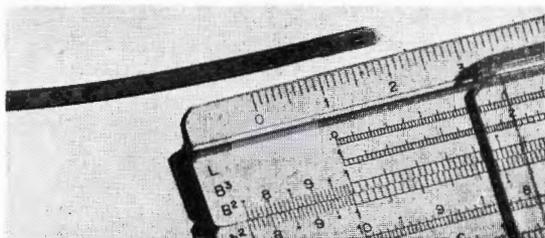


Fig. 19. Sonde avec capteur inductif pour la mesure des pressions intracardiaques (Telco).

## 4. CAPTEURS PIÉZO-ÉLECTRIQUES

La pression est appliquée par l'intermédiaire d'une membrane sur un tube de quartz ou de Sel de Rochette. Ces deux cristaux ont la propriété de fournir une tension proportionnelle à la force appliquée. Le quartz a l'avantage d'être fidèle et robuste mécaniquement, mais il a une sensibilité plus faible que celle du Sel de Rochette dont l'application est limitée par sa fragilité et par l'influence des conditions atmosphériques. Ainsi, le quartz est employé plus généralement pour mesurer les pressions dans les machines thermiques jusqu'à des températures de 500° C. (Fig. 21).

## ENREGISTREMENT ET RÉGULATION

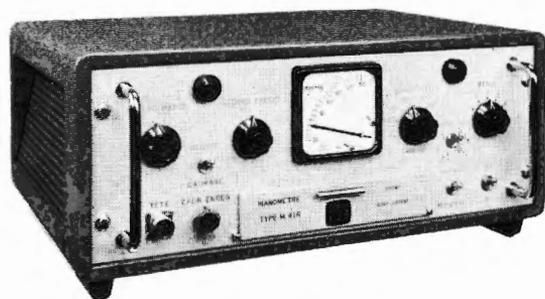


Fig. 20. Appareil électronique Telco à associer à la sonde pour la mesure des pressions intracardiaques.

On peut toujours associer à l'un de ces capteurs, soit un appareil enregistreur, soit un système régulateur comme ceux que nous avons décrits précédemment dans les mesures de niveau.

## MESURE DES DÉBITS

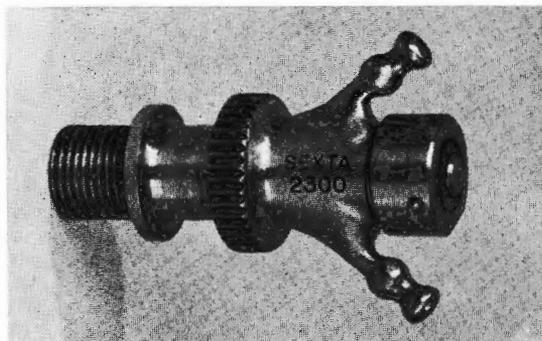


Fig. 21. Capteur de pression à quartz piézo-électrique pour la mesure des pressions rapidement variables (Sexta).

La mesure du débit dans une canalisation peut se ramener à une mesure de pression suivant la formule de Bernouilli.

Soit une conduite de section  $s$  parcourue par un fluide de poids spécifique  $\gamma$  avec une vitesse moyenne  $v$ , le débit volumétrique par unité de temps est

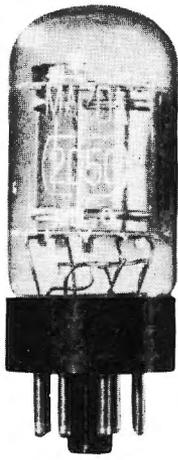
$$Dv = vs$$

le débit-poids  $Dp = vs\gamma$

Le poids du liquide transporté étant le même en deux points 1 et 2 de la conduite on peut écrire

$$\gamma v_1 s_1 = \gamma v_2 s_2$$

ou  $\frac{v_1}{v_2} = \frac{s_2}{s_1}$



A. Thyatron Mazda 2050 P.



B. Thyatron Mazda 2D 21.

On voit donc que la vitesse est inversement proportionnelle à la section et qu'un obstacle disposé dans la canalisation augmente en ce point la vitesse du liquide.

De plus, dans un liquide en mouvement il y a deux formes d'énergie qui interviennent; ce sont :

1°) — L'énergie de Pression ou énergie statique P

2°) — L'énergie cinétique  $\frac{1}{2} \gamma v_2^2$

D'après la formule de Bernoulli la somme de ces énergies est constante dans le cas d'un écoulement sans frottement.

On a donc :  $P + \frac{1}{2} \gamma v_2^2 = \text{constante.}$

Il en résulte que l'augmentation de vitesse d'un liquide par suite de la présence d'un obstacle dans la conduite produit une diminution de la pression.

Pour deux points d'une conduite, correspondant à des sections  $s_1$  et  $s_2$ , on a donc la relation

$$P_1 + \frac{1}{2} \gamma v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \gamma v_2^2$$

d'où

$$v_2 = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma}} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{s_2}{s_1}\right)^2}}$$

Il suffit donc de mesurer la différence de pression  $P_1 - P_2$  pour en déduire le débit.

Par suite, dans les canalisations où l'on désire effectuer des mesures de débit, on place un obstacle (diaphragme, tuyère, venturi, etc.) et on mesure la pression en amont et en aval. Cette mesure peut s'effectuer avec un manomètre différentiel basé sur les mêmes principes que ceux décrits précédemment.

## 1. CAPTEURS A INDUCTION MAGNÉTIQUE

Ces capteurs sont conçus pour le contrôle précis des débits de liquides tels que l'eau, les alcools, le kérosène, l'acide nitrique, l'oxygène liquide, etc., ils trouvent, par cela même, des applications dans tous les secteurs de l'industrie (industries chimiques, pétroles, production d'énergie, etc.) et principalement en aéronautique (turbo-réacteurs, réacteurs, fusées et engins divers).

Ils se composent d'un corps cylindrique qui est traversé par le liquide dont on veut mesurer le débit, et d'un rotor libre, à pales hélicoïdales, dont la vitesse de rotation est proportionnelle à la vitesse d'écoulement du liquide (Fig. 22). Ce rotor comporte, selon son axe, un petit aimant cylindrique, à aimantation transversale, qui induit, aux bornes d'une petite bobine placée à l'extérieur du corps en métal non magnétique, une tension périodique dont la fréquence en hertz est égale à la vitesse du rotor en tours par seconde.

Cette tension peut alors être aisément transmise à un appareil de mesure électronique (Fig. 23) (indicateur, totalisateur, enregistreur, quotientmètre, etc.) conçu pour fournir une indication directe en unités convenables ( $\text{dm}^3 - \text{dm}^3/\text{seconde} - \text{dm}^3/\text{heure}$ , quotient, etc.). A cet effet, les transmetteurs sont munis d'un connecteur

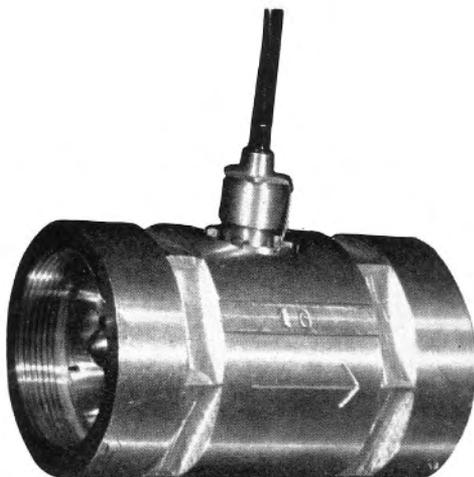


Fig. 22. Transmetteur débit métrique Rochar à pales hélicoïdales.

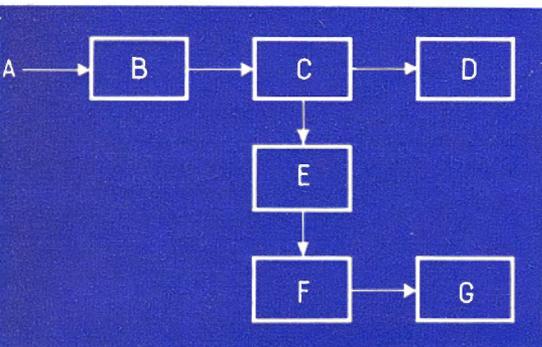


Fig. 23. Principe du débitmètre électronique Rochar.

- A. Impulsions fournies par le transmetteur.
- B. Mise en forme.
- C. Fréquence-mètre
- D. Indicateur de débit.
- E. Diviseur aperiodique.
- F. Compteur.
- G. Indicateur de consommation.

démontable permettant d'établir une liaison électrique par câble blindé.

Les différents modèles se différencient principalement par leurs dimensions et leurs constantes d'étalonnage (nombre de tours du rotor pour un volume donné de liquide).

## 2. CAPTEURS A VARIATION DE TEMPÉRATURE

### a) Capteurs à fil de platine

La canalisation dans laquelle circule le liquide est chauffée extérieurement à l'aide d'un enroulement de chauffage. En l'absence de circulation du liquide la répartition des températures le long du tube est symétrique par rapport à l'élément chauffant. Par contre, dès que le liquide s'écoule dans le tube, il apparaît une dissymétrie dans la répartition des températures : dissymétrie qui est fonction de la capacité calorifique du liquide, donc de son débit et de sa chaleur spécifique (Fig. 24).

Pour détecter cette variation de température, on place sur le tube, de part et d'autre et à égale distance de l'enroulement de chauffage, deux autres enroulements en fil de platine. Ces deux bobinages identiques constituent avec deux autres résistances de référence les quatre branches d'un pont de Wheatstone. Il est alors facile de tracer, pour un liquide donné, la courbe du débit en fonction du déséquilibre du pont.

### b) Capteurs à Thermistance

Il est possible d'opérer de la même manière que précédemment en employant deux thermistances placées à l'intérieur du tube et à égale distance d'une résistance chauffante placée également dans le tube. On peut ainsi mesurer la température du liquide avant et après passage sur l'élément chaud. En plaçant les thermistances dans un pont de Wheatstone, on pourra étalonner l'appareil de mesure en débit. Les thermistances ayant l'avantage d'avoir une conductibilité qui croît rapidement avec la température, les mesures réalisées avec ce procédé sont très précises.

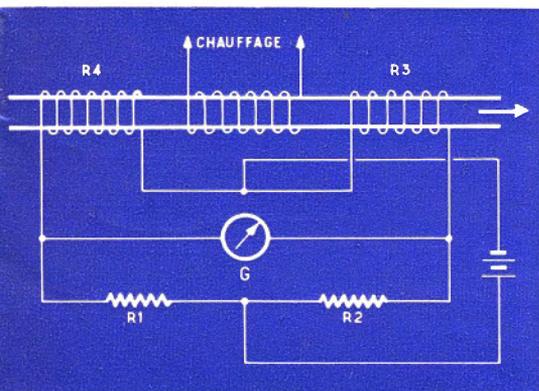


Fig. 24. Schéma de principe d'un débitmètre à variation de température.

## 3. EMPLOI DES ISOTOPES RADIOACTIFS

Les mesures de débit se ramènent le plus souvent à la mesure de la vitesse d'écoulement du fluide dans une canalisation dont on connaît la section. L'emploi de traceurs radioactifs en suspension dans le liquide permet de détecter cette vitesse même à l'intérieur d'un tube métallique. Pour cela, à l'aide de détecteurs de rayonnement, on mesure le temps mis par le traceur pour parcourir une distance connue.

# ENREGISTREMENT ET RÉGULATION

Comme pour les autres mesures, la tension fournie par le capteur peut être envoyée à un amplificateur électronique, puis à un appareil enregistreur ou à un système de régulation basé soit sur le potentiomètre automatique, soit sur les synchro-transmetteurs.

## CONCLUSION



C. Tube de Sécurité  
" Cinq Étoiles "  
12 AT7 WA.

Ce bulletin n'a pas la prétention d'avoir passé en revue tous les différents types de capteurs que l'on peut employer pour réaliser par un procédé électronique une mesure de niveau, de pression et de débit : seuls les principaux ont été étudiés rapidement. Dans ce domaine, les apports de l'électronique ont été considérables : en premier lieu, elle a permis d'utiliser avec plus de profit les indications données par des dispositifs mécaniques ou électriques, sans apporter toutefois de modifications au principe même de ces dispositifs : l'indication est transmise sous forme d'enregistrement ou utilisée à des fins de régulation, c'est là, la partie électronique du système. En second lieu, il a été possible d'effectuer les mesures dans des milieux néfastes aux dispositifs usuels, par la mise au point des jaugers électroniques et l'utilisation des isotopes radioactifs.

L'emploi de matériaux de qualité dans ces différents types d'appareils garantit aux utilisateurs une maintenance très simplifiée. Il faut évidemment prévoir dans les installations fonctionnant en permanence un remplacement systématique des tubes électroniques après un laps de temps raisonnable. Mais il s'agit là d'une opération rapide qui, effectuée à des intervalles réguliers, élimine au maximum les risques de pannes à des moments inopportuns. De plus, si l'équipement doit être soumis à des vibrations provenant par exemple de la proximité des machines, il faut utiliser de préférence des tubes de sécurité « Cinq Étoiles » qui présentent l'avantage d'une excellente tenue aux chocs et, de plus, une durée de vie plus régulière.

## LISTE DES CONSTRUCTEURS CITÉS DANS LE PRÉSENT BULLETIN

- AROLA, 14, rue du Temple, Paris.
- MESCO, 14, rue Coche, Vanves (Seine).
- ROCHAR, 51, rue Racine, Montreuil (Seine).
- SEXTA, 1, avenue Louis-Pasteur, Bagneux (Seine).
- TECHNIQUE NUCLEAIRE, 82, rue de Montigny, Argenteuil (S.-et-O.).
- TELCO, 45, rue de la Division Leclerc, Gentilly (Seine).



29, rue de Lisbonne - Paris-8<sup>e</sup> - S.A. au capital de 13.680.000 NF - Tél. : LAB. 72-60 à 72-68 - Adr. Télégr. Mazdalamp-Paris - R. C. Seine 54 B 5088