

V. Les mesures de niveau

Selon les principes physiques exploités, la mesure de niveau peut se faire par plusieurs méthodes :

- **Méthodes Hydrostatiques** : Flotteur, Plongeur, Palpeur électromécanique, Capteur de pression, Capteur par bullage ;
- **Méthodes basées sur les phénomènes électriques** : Sonde conductrice, Sonde capacitive ;
- **Méthodes de rayonnement** : Capteur par rayons gamma, Capteur ultrasonique, Détecteur optique, Capteur par hyperfréquences.

V.1 Méthodes hydrostatiques de mesure de niveau

Les premières méthodes de mesure et contrôle de niveaux de liquides sont fondées sur les propriétés hydrostatiques des liquides (pression hydrostatique, poussée d'Archimède).

La mesure transmise par les capteurs utilisés est une fonction continue de la hauteur de liquide. Elle est indépendante de ses propriétés électriques mais dépend, sauf dans le cas du flotteur, de la masse volumique du liquide.

On distingue quatre principes de mesure :

a. Le flotteur

Il se maintient à la surface du liquide, il est rendu solidaire d'un capteur de position qui délivre le signal électrique correspondant au niveau. La mesure s'apparente ensuite à la mesure d'un déplacement ou la détection d'une position.

- **Domaine d'utilisation** : C'est une technologie qui convient mal aux liquides très visqueux susceptibles d'adhérer aux parois du flotteur, modifiant ainsi son poids et par conséquent sa profondeur d'immersion. Ils sont utilisables aussi bien dans les réservoirs ouverts, fermés, sous pression qu'en extérieur sur les puits, canaux... La mesure peut être faussée lorsque la densité du fluide varie
- **Gamme de mesure** : 10 mm à plusieurs mètres (30 m)
- **Précision** : 0,5 à 5% de l'étendue de mesure

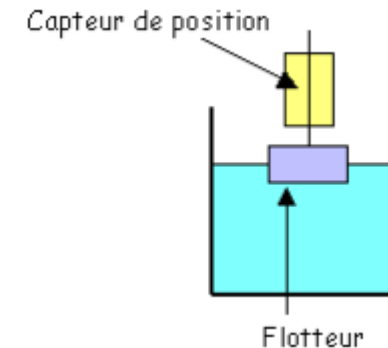


Figure 4.18 Détecteur de niveau à flotteur magnétique

Le cas le plus répandu est celui des détecteurs de niveau par transmission magnétique. La transmission est assurée par un système aimant permanent/interrupteur à lame souple (**ILS**). L'aimant permanent est solidaire du flotteur ou même contenu dans celui-ci. La position du contact est généralement réglable. Pour un montage vertical, le flotteur est guidé par un tube.

b. Le plongeur

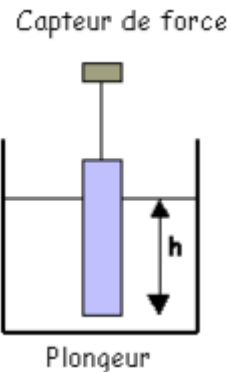
C'est un cylindre immergé dont la hauteur est au moins égale à la hauteur maximale du liquide dans le réservoir. Le plongeur est suspendu à un capteur dynamométrique qui se trouve soumis à une force F (poids apparent), qui est fonction de la hauteur h du liquide.

$$F = P - \rho \times g \times h \times S$$

Avec :

- $\rho \times g \times h \times S$: poussée d'Archimède s'exerçant sur le volume immergé du plongeur ;
- S : aire de la section du plongeur ;
- P : poids du plongeur.

- **Domaine d'utilisation** : Comme les dispositifs à flotteur, les dispositifs à plongeur utilisent le principe d'Archimède. Le plongeur subit de la part du liquide, une force qui est dépendante du niveau d'immersion. Le plongeur de forme cylindrique est peu sensible aux oscillations de niveaux autour d'un point d'équilibre. Il convient aux liquides très visqueux
- **Gamme de mesure** : 30 cm à 6 mètres maximum
- **Précision** : de l'ordre de 0,5 %

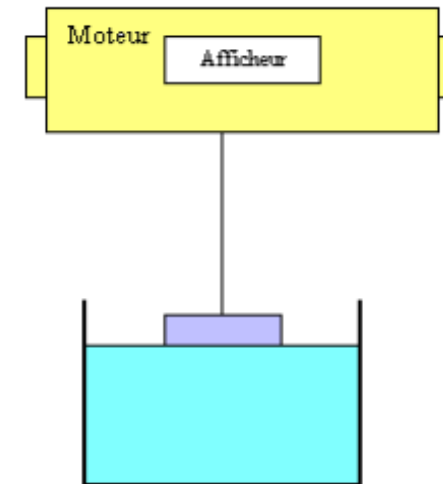


c. Le palpeur électromagnétique

Il est constitué d'un contrepoids suspendu à l'extrémité d'un câble. Un moteur permet de dérouler ce câble jusqu'à l'obtention que le contrepoids entre en contact avec ce liquide. A cet instant, la tension du câble se relâche actionnant un commutateur qui inverse le sens de rotation du moteur.

Durant la descente du palpeur, des impulsions sont générées à intervalles réguliers. Le comptage des impulsions permet l'obtention du niveau.

- **Domaine d'utilisation** : utilisés pour les installations sur canal ouvert, réservoir de stockage de raffinerie. Ils sont plus coûteux que les dispositifs à flotteur ou à plongeur. Ils portent également le nom de sondes affleurantes
- **Gamme de mesure** : jusqu'à 50 mètres
- **Précision** : de l'ordre du millimètre



d. Le capteur de pression

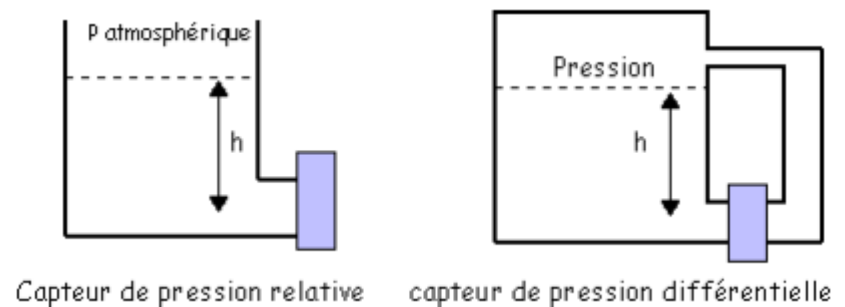
Il mesure :

- **La pression relative** au fond du réservoir quand celui-ci est ouvert à l'air libre, cette pression est l'image du niveau h du liquide

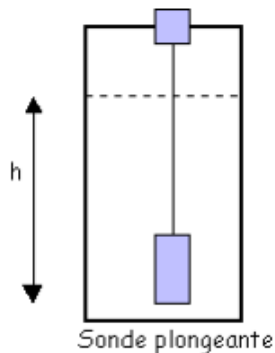
$$P = P_{atm} + \rho \times g \times h$$

- **La pression différentielle** quand le réservoir est fermé et sous pression

$$\Delta P = \rho \times g \times h$$



- **Domaine d'utilisation** : cette technique est utilisable à la quasi totalité des liquides : toutes viscosités, neutres ou corrosifs, chargés ou non, inflammables ou non. Toutefois l'indication délivrée est directement proportionnelle à la densité du fluide. Toute variation de densité fausse la mesure. Utilisation dans une large gamme de la température ambiante -20 à + 80 °C et de liquide (< 120 °C) ainsi que de pression hydrostatique (< 25 bars)
- **Gamme de mesure** : depuis 0 à 25 mbar et jusqu'à 25 bars
- **Précision** : 0,5 à 1 % de l'étendue de mesure selon la technologie employée



Exercice résolu

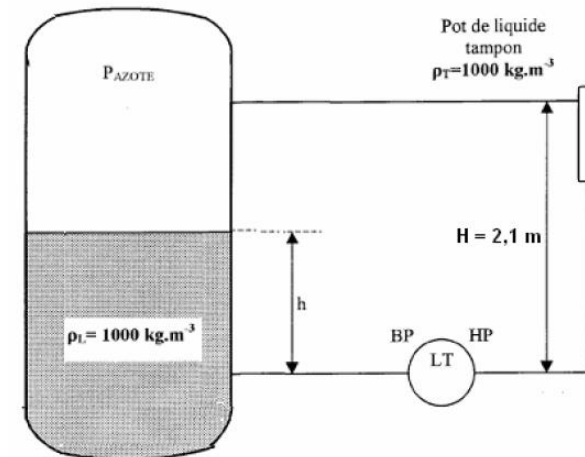
Le transmetteur de niveau LT mesure la pression différentielle entre deux piquages, et il est réglé de façon à ce que son signal de sortie augmente lorsque sa $\Delta P = HP - BP$ augmente.

1. Les chambres **HP** et **BP** du transmetteur de pression différentielle ont été raccordées comme indiqué sur le schéma ci-dessous.

Écrire l'équation $\Delta P = f(h)$. En déduire le sens d'évolution du signal de sortie du transmetteur en fonction du niveau.

2. Sachant que la hauteur maximale mesurée **h_{max}** est de **2 m**, tracer la caractéristique d'étalonnage $\Delta P = f(h)$ et calculer l'étendue d'échelle et le décalage de zéro du transmetteur.

3. déterminer ΔP pour : **h = 0,5 m** et **h = 1m**.



Correction

$$1. HP = \rho g H + P_{azote}$$

$$BP = \rho g h + P_{azote}$$

$$\Delta P = f(h) = HP - BP$$

$$= \rho g H + P_{azote} - \rho g h + P_{azote}$$

$$= \rho g (H - h)$$

$$\Delta P = \rho g (H - h) \Rightarrow \Delta P = -\rho g h + \rho g H$$

Équation de la forme $y = -ax + b$

par identification : **a = - ρg** et **b = ρgH**

Si :

- **h augmente ΔP diminue**

- **h diminue ΔP augmente**

$$2. \text{ Si } h = 0 \Rightarrow \Delta P = b = \rho g H$$

$$\text{AN : } \Delta P = \rho g H = 1000 \times 9,81 \times 2,1 = 20,601 \text{ kPa}$$

$$\text{Si } h = 2\text{m} \Rightarrow \Delta P = \rho g (H - h)$$

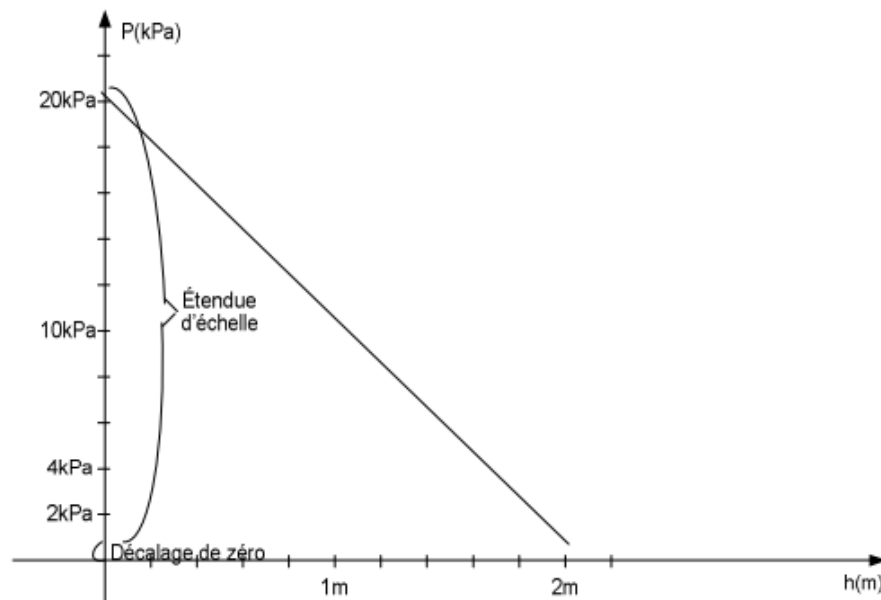
$$\text{AN : } \Delta P = 1000 \times 9,81 \times 0,1 = 0,981 \text{ kPa}$$

$$3. \text{ Si } h = 0,5\text{m} \Rightarrow \Delta P = \rho g (H - h)$$

$$\text{AN : } \Delta P = 1000 \times 9,81 \times 1,6 = 15,696 \text{ kPa}$$

$$\text{Si } h = 1\text{m} \Rightarrow \Delta P = \rho g (H - h)$$

$$\text{AN : } \Delta P = 1000 \times 9,81 \times 1,1 = 10,791 \text{ kPa}$$

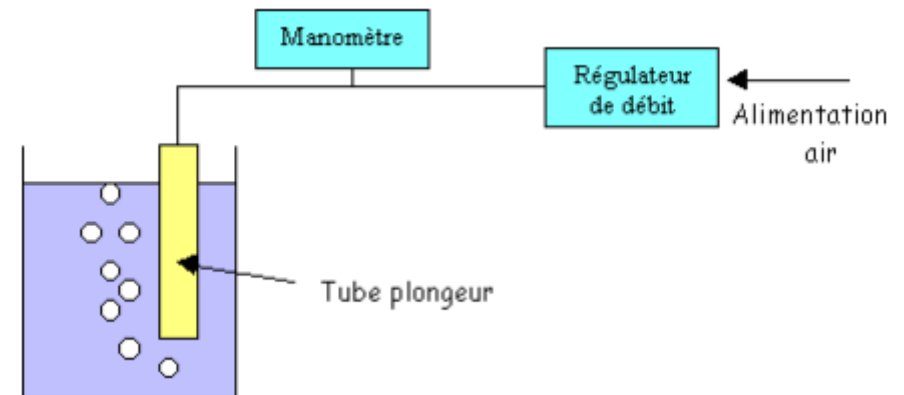


e.1 Le capteur à bulle (ou limnimètre bulle à bulle)

Le principe consiste à insuffler un débit d'air constant dans un petit tuyau débouchant sous la surface de l'eau, la pression de l'air est équilibrée par la colonne d'eau. La pression de l'air qu'il faut appliquer pour produire des bulles est égale à la pression du fluide en bout de canne. La mesure de la hauteur d'eau est égale à la pression d'air fournie.

Conditions d'installation :

- Extrémité du bullage doit être située sous le niveau minimal de l'eau et au-dessus des dépôts possibles
- Absence de coude et longueur limitée à quelques mètres pour le tuyau d'air (pertes de charge)
- Éviter les grandes vitesses de l'eau (forces d'aspiration pouvant fausser notablement la mesure)



- **Domaine d'utilisation** : mesure des hauteurs de liquide jusqu'à 1,5 m de hauteur d'eau environ. Le système est sensible aux obturations et aux modifications de la température
- **Précision** : 2 % environ

Exercice résolu

Soit un capteur de niveau par bullage. Le réservoir peut contenir une **hauteur de 4 mètres** de liquide et le conduit s'arrête **0.0625 mètres** avant le fond du réservoir.

Le réservoir contient une solution aqueuse de **NaCl** ayant une densité de **1.19 gr/cm³**. ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$).

1. Quelle est la pression relative requise pour qu'il y ait des bulles émises continuellement ? Cette pression relative est celle appliquée par le compresseur.
2. Si la pression relative mesurée est de **20 kPa**, quel est le niveau de liquide dans le réservoir ?
3. Si le réservoir à la forme d'un cône tronqué dont le diamètre à la base est de **4 mètres** et le diamètre en haut est de **5 mètres**, quel est le volume de liquide dans le réservoir si la pression relative mesurée est de **13.3 kPa**.

Correction

1. La pression qu'il faut appliquer pour qu'il y ait émission de bulles doit excéder la pression hydrostatique. Ainsi, il faut que :

$$P > \rho gh$$

Avec : $\rho = 1,19 \text{ gr/cm}^3 = 1190 \text{ kg/m}^3$ et $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

AN : $P_{\min} = 1190 \text{ kg/m}^3 \times 9,81 \text{ m/s}^2 \times (4 \text{ m} - 0,0625 \text{ m}) = 45965,98 \text{ Pa}$

La pression du compresseur doit donc excéder **45965,98 Pascal**.

2. Si la pression relative mesurée est de 20 kPa, alors la hauteur de conduite immergée est la solution de :

$$P = \rho gh \rightarrow h = \frac{P}{\rho g}$$

AN :

$$h = \frac{20000}{1190,9,81} = 1,713 \text{ m}$$

Il faut additionner la distance de 0.0625 m entre le bout du conduit et le fond du réservoir. Ainsi, le niveau sera donc de :

$$1,713 \text{ m} + 0,0625 \text{ m} = 1,776 \text{ m}.$$

3. Le volume V d'un cône tronqué est calculé comme suit :

$$V = \frac{\pi R^2 h}{3} \left(1 + \frac{r}{R} + \frac{r^2}{R^2} \right)$$

Avec :

- r et R les rayons des extrémités du cône tronqué (et $R > r$) ;
 - h la hauteur.
- Dans notre cas :
- $r = 2 \text{ mètres}$ (car le petit diamètre est de 4 m) ;
 - $R = 2,5 \text{ m}$ (car le grand diamètre est de 5 m) ;
 - la hauteur est de 4 mètres .

$$P = \rho gh \rightarrow h = \frac{P}{\rho g}$$

AN : $P = 13300 \text{ Pa}$

$$h = \frac{13300}{1190,9,81} = 1,1134 \text{ m}$$

Il faut additionner la distance de 0.0625 m entre le bout du conduit et le fond du réservoir. Ainsi, le niveau sera donc de :

$$1,1134 \text{ m} + 0,0625 \text{ m} = 1,176 \text{ m}.$$

Pour $R = 2,5 \text{ m} \rightarrow H = 4 \text{ m}$

$$R = 2 \text{ m} \rightarrow H = 0 \text{ m}$$

Équation de la forme $R = a \cdot H + b$

$$\text{Avec : } a = \frac{\Delta R}{\Delta H} = \frac{2,5-2}{4-0} = 0,125$$

$$R = 2 \text{ m}$$

$$\text{Donc : } R = 0,125 \cdot H + 2$$

Pour une hauteur de **1.176 m**, le rayon R serait :

$$R = 0,125 \times 1,176 + 2 = 2,147 \text{ m}$$

Avec ces données, on obtient un volume de : **24.88 mètres cubes**.

e.2 Mesure en réservoir fermé

Si le réservoir est fermé, on utilise un capteur de pression différentielle. Il existe alors deux montages différents :

- **Si l'atmosphère est avec condensation**, le montage utilisera une canalisation humide (figure 4.19) ;

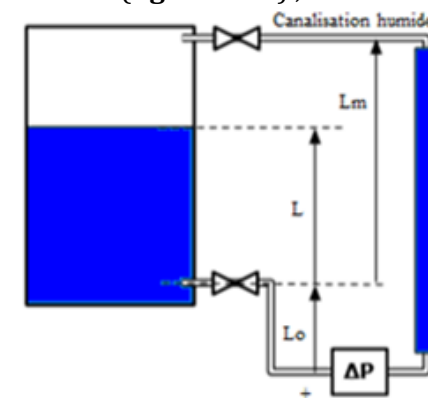


Figure 4.19 Réservoir avec condensation $\Delta P < 0$; $L = L_m + \frac{\Delta P}{\rho g}$

- **Si l'atmosphère est sans condensation**, on utilisera un montage avec une canalisation sèche (figure 4.20).

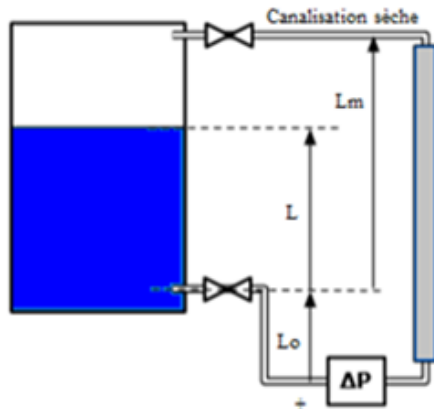


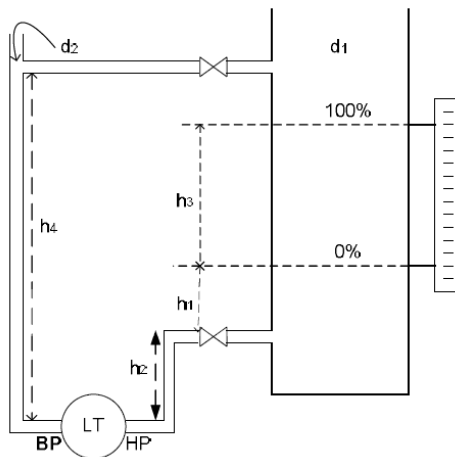
Figure 4.20 Réservoir avec condensation $\Delta P > 0$; $L = Lm + \frac{\Delta P}{\rho g} - L0$

Exercice résolu

Sachant que :

$h_1 = 0,4 \text{ m}$, $h_2 = 0,5 \text{ m}$, $h_3 = 1,2 \text{ m}$ et $h_4 = 2,4 \text{ m}$ et la densité $d_2 = 0,8$ et la densité $d_1 = 1,15$

1. Déterminer l'équation : $h(\%) = f(\Delta P)$.
2. Calculer l'étendue d'échelle du transmetteur LT.
3. Calculer le décalage du zéro du LT.
4. pour $h(\%) = 30$ calculer ΔP .



Correction

1. Pour un hauteur h qui varie entre 0 et h_3

On a : $HP = d_1(h + h_1 + h_2) + Patm$

$BP = d_2h_4 + Patm$

$\Delta P = HP - BP = d_1(h + h_1 + h_2) - d_2h_4$

$$\frac{\Delta P + d_2h_4}{d_1} - h_1 - h_2 = h$$

\Rightarrow

$$h = \frac{\Delta P}{d_1} + \frac{d_2h_4}{d_1} - h_1 - h_2$$

AN :

$$h = \frac{\Delta P}{1,15} + \frac{0,8 \times 2,4}{1,15} - 0,4 - 0,5$$

$$h = \frac{\Delta P}{1,15} + 0,77$$

$$\frac{h}{h_3} = \frac{\frac{\Delta P}{1,15} + 0,77}{1,2} = 0,72 \Delta P + 0,64$$

$$\left(\frac{h}{h_3}\right) \% = 0,72 \% \Delta P + 0,64 \%$$

$$\begin{aligned} 2. \Delta P &= d_1(h_1 + h_2 + h) - d_2h_4 \\ &= 1,15h + 0,9 \times 1,15 - 0,8 \times 2,4 \\ &= 1,15h - 0,885 \end{aligned}$$

$$h = 0 \Rightarrow \Delta P = -0,885 \text{ m d'eau}$$

$$h = 1,2 \text{ m} \Rightarrow \Delta P = 1,15 \times 1,2 - 0,885 = 0,495 \text{ m d'eau}$$

L'étendue d'échelle du transmetteur LT est :

$$0,495 \text{ m d'eau} + 0,885 \text{ m d'eau} = 1,38 \text{ m d'eau}$$

3. le décalage du zéro du LT est :

$$\Delta P = -0,885 \text{ m d'eau}$$

$$4. h(\%) = 30 \% = 0,64\% + 0,72\% \Delta P$$

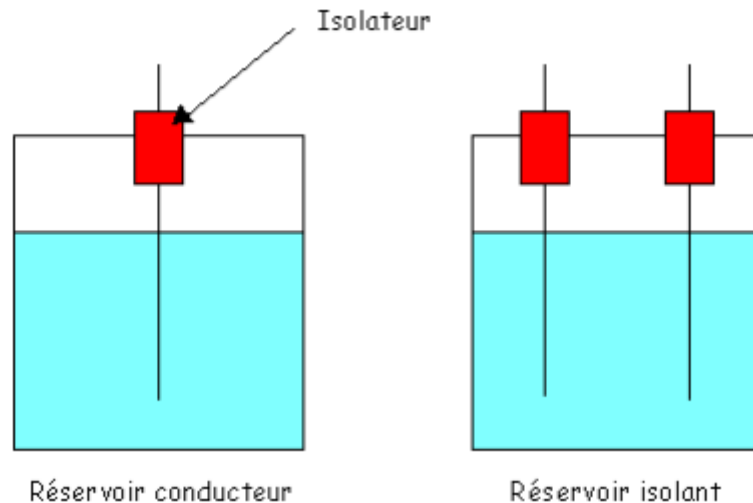
$$\Rightarrow \Delta P = (30 \% - 0,64\%) / 0,72\% = 40,77 \text{ m d'eau}$$

V.2. Méthodes électriques de mesure de niveau

Elles utilisent les propriétés électriques des liquides dont on veut mesurer ou contrôler le niveau et sont les seules à utiliser des capteurs traduisant directement le niveau en signal électrique.

a. Sondes conductives

Elles ne conviennent que pour les produits conducteurs (liquides, pâtes, granuleux...), ne sont pas sujettes à l'usure et permettent la détection d'un niveau haut, bas ou intermédiaire. Ces sondes sont dotées d'une ou plusieurs électrodes selon les modèles.



Chaque électrode est installée par un passage étanche de telle sorte que leur extrémité inférieure se situe au niveau à détecter. Elle doit être isolée électriquement de la masse du réservoir quand il est métallique.

Dès que le liquide touche une électrode, il met à la masse un circuit alternatif basse tension. La masse est constituée soit par le réservoir métallique, soit par une deuxième électrode quand le réservoir n'est pas métallique.

Le faible courant parcourant l'électrode est d'amplitude proportionnelle à la longueur d'électrode immergée et suffit à actionner un

relais. On utilise une basse tension alternative afin d'éliminer tout risque d'électrolyse du liquide.

- **Domaine d'utilisation :** liquides conducteurs de conductance minimale $25 \mu\text{A/V}$ entre électrode et masse. Les températures sont comprises entre -200 et 250°C au niveau de l'électrode. La pression de service peut être élevée jusqu'à 160 bars.

Ce principe est déconseillé dans les milieux agressifs et pour les fluides contenant des graisses ou des huiles qui peuvent former des dépôts non conducteurs sur les tiges des électrodes.

b. Sondes capacitives

Elles sont d'un emploi plus répandu que les précédentes et fonctionnent à l'aide d'une électrode plongeante dans le réservoir.

- **Pour les produits isolants (huile, pétrole...)** la sonde est constituée d'une tige métallique isolée du réservoir. Quand la sonde est découverte, le diélectrique est alors l'air ambiant (constante diélectrique = 1). En présence d'un produit isolant, la capacité du condensateur augmente sous l'effet de produits qui possèdent une constante diélectrique supérieure à 1. Cette variation de capacité est traitée pour actionner un relais ou fournir un signal de sortie proportionnel au niveau du produit.
- **Pour les produits conducteurs (eau, solutions salines...)** la constante diélectrique ne joue plus aucun rôle. La tige de la sonde est enrobée d'un matériau isolant, d'épaisseur constante, jouant le rôle de diélectrique.

Les armatures du condensateur sont alors constituées par la tige métallique de la sonde et le liquide conducteur. Si le réservoir est isolant, on immerge une armature. La capacité du condensateur dépend de la densité et de la température des produits, pour remédier à ce problème, on utilise une deuxième sonde capacitive, immergée en permanence et servant de référence.

- **Domaine d'utilisation** : tous types de produits conducteurs ou isolants, liquides, pâtes, granuleux en évitant les produits solides à granulométrie importante et les abrasifs
- **Gamme de mesure** : de l'ordre de 10 m, température de -20 à 85 °C, pression de l'ordre de 40 bars
- **Précision** : de l'ordre de 1 %

V.3 Méthodes fondées sur l'utilisation de rayonnements

Elles permettent notamment des mesures sans contact avec le produit ce qui constitue un gros avantage.

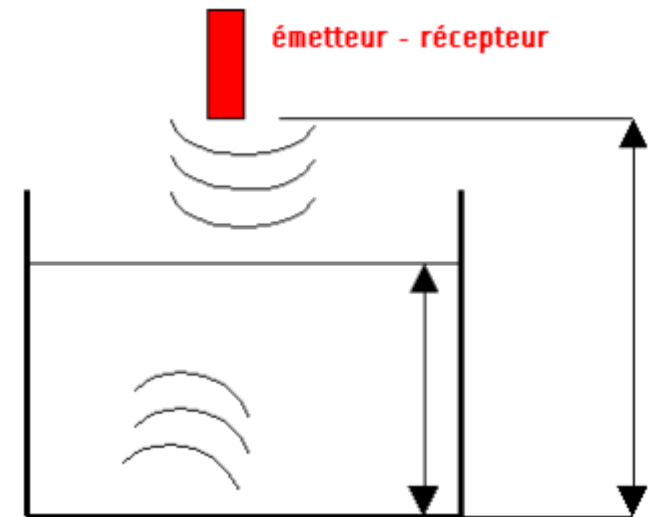
a. Sondes à ultrasons

Le principe est basé sur l'émission d'une onde ultrasonore réfléchi sur la surface de l'eau. On capte l'écho et on mesure le temps de parcours. Le temps de parcours est indépendant de la nature du fluide et de la pression. Il faut toutefois respecter une zone dite " morte " à proximité du capteur (30 à 60 cm selon les sondes).

- **Domaine d'utilisation** : Ils conviennent pratiquement pour tous les produits alimentaires ou chimiques, fluides liquides ou pâteux de toute température (-190 à 250°C) et pour des pressions jusqu'à 40 bars
- **Gamme de mesure** : jusqu'à 50 m
- **Précision** : dépend de la température (normalement correctement compensée), des turbulences de l'air, du taux d'humidité et des corps flottants et vaguelettes. De 1 à 9 mm selon les fournisseurs soit de l'ordre de 1%

b. Radars

Le principe est similaire à celui des ondes à ultrasons, on utilise une onde lumineuse infrarouge. L'avantage sur l'ultrason est que le procédé est indépendant de la température, du taux d'humidité et de poussière.



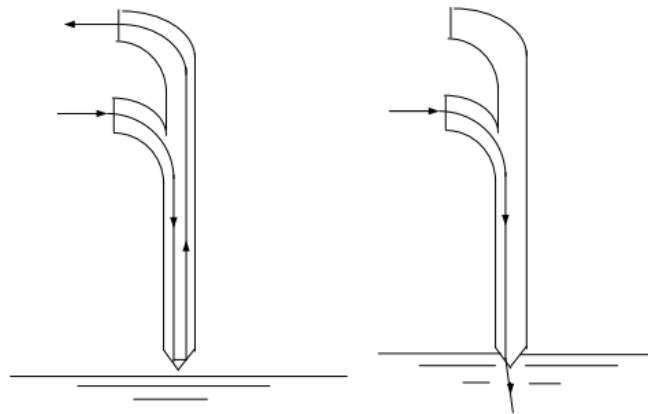
Le transducteur fonctionne successivement en émetteur et en récepteur. Il est placé au sommet du réservoir et émet dans un cône de faible ouverture l'onde qui après réflexion sur la surface du liquide retourne vers le transducteur qui les convertit en signal électrique.

- **Précision** : 0,5 % de la distance mesurée, soit 5 à 10 mm dans la plupart des cas.

c. Sonde optique

La sonde contient une diode électroluminescente (émetteur de lumière), un phototransistor (récepteur) et l'électronique correspondante. La sonde est constituée d'une pointe conique agissant comme un prisme.

- Le rayon émis par la diode située d'un côté de la tête de la sonde, est réfléchi vers le phototransistor situé de l'autre côté de la tête si le prisme est situé dans l'air.
- Le rayon est réfracté dans le liquide si la sonde est immergée.



- **Domaine d'utilisation** : liquide calme et non mousseux (huile, essence, pétrole, eau claire et boueuse, solutions aqueuses, alcool)
- **Gamme de mesure** : détection de niveau avec une précision de 2,5 mm, des pressions de 10 bars maxi et des températures de -20 à 80°C

d. Absorption de rayonnement gamma

d.1 Principe

Une source de rayon gamma et un détecteur qui peut être soit une chambre d'ionisation soit un ou plusieurs tubes Geiger-Muller sont placés à l'extérieur, de part et d'autre du réservoir.



Figure 4.21 Source



Figure 4.22 Récepteur

La source est orientée de façon à avoir une émission d'un faisceau qui couvre tout le réservoir.

Comme les rayons gamma sont affaiblis lorsqu'ils traversent la matière et à mesure qu'augmente le niveau, l'intensité de la dose reçue par le détecteur décroît et le signal électrique en sortie décroît proportionnellement.

Détection

Pour la détection du niveau, l'émetteur et le récepteur sont montés en face à face.

Le faisceau émis atteint directement le détecteur et forme le seuil de détection.

Si le niveau du liquide est supérieur ou inférieur au seuil, le faisceau est ou non atténué par le liquide, ce qui se traduit en un signal électrique binaire par le détecteur.

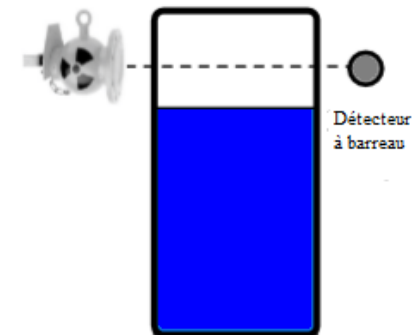


Figure 4.23 Montage de détection de niveau

V.4 Comparaison des différentes méthodes*Tableau : Comparaison des différentes méthodes*

	Flotteur	Plongeur	Mesure de pression	Sondes conductives	Sondes capacitives	Ondes acoustiques	Radar	Absorption de rayonnement gamma
Standard très bien connu	++	++	++	++	++	-	-	-
Utilisable sur cuve synthétique	++	++	++	-	+	+	-	+
Insensible à la mousse	+	+	++	-	-	-	-	-
Indépendant du diélectrique	++	++	++	+	-	+	+	+
Indépendant de la densité	-	-	-	+	+	+	+	-
Economique	+	+	+	+	+	-	-	-
Facilité d'étalonnage	+	+	+	-	-	+	+	-
Pas de risque de bouchage	-	-	-	-	-	+	+	+
Sans maintenance	-	-	-	-	-	+	+	+
Montage économique	-	+	-	+	+	++	++	++
Pression maxi (bar)	4	4	350	50	50	40	160	1000
Température maxi (°C)	100	100	250	500	500	250	400	600