



# L'ABC du Delta-P

## La mesure de niveau, la théorie

Livre 2

Pour longtemps **VEGA**





## Table des matières

Préface	4
1. Les basiques $P = h \cdot \rho \cdot g$	5
2. Influence de la densité et de la température	6
3. Influence des variations de l'accélération de la pesanteur $g$	8
4. Les questions à se poser pour choisir son capteur de pression	9
5. Est-ce que le Delta-P convient pour mon application ?	13
Index	14

# Préface

## **Aide-mémoire pratique pour les utilisateurs de transmetteurs de pression différentielle**

La pression est incontestablement le paramètre physique le plus mesuré dans l'industrie. Trois grandes catégories d'équipements existent sur ce segment : les capteurs de pression relative, absolue et différentielle.

Après le livret N°1 consacré au capteur de pression différentielle et ses accessoires, nous allons traiter dans ce deuxième livret d'une application couramment réalisée avec les capteurs delta-P : la mesure de niveau d'un liquide dans un contenant.

Utilisée depuis de nombreuses années en mesure de niveau, la mesure de pression hydrostatique offre de multiples possibilités d'application : que ce soit sous des températures et pressions élevées, tout comme avec des produits agressifs, chargés, voire moussants... Parmi les

mesures traditionnellement réalisées par ce moyen, beaucoup pourraient être remplacées aujourd'hui par des mesures radar à émission libre ou radar guidé (TDR). Mais la technologie delta-p bénéficie de la confiance de nombreux exploitants car celle-ci est utilisée depuis longtemps et est plutôt bien maîtrisée. Néanmoins la mise en œuvre d'une telle mesure demande certaines connaissances et le respect stricte de règles de montage.

A la lumière de son expérience de fabricant, VEGA vous transmet au travers de ce deuxième livret les connaissances de base autour de la mesure de niveau par pression hydrostatique et les règles de base pour la mise en œuvre d'un capteur delta-P sur ces applications.

A suivre dans le livret N°3 : étude de cas pratiques de mesure de niveau par DP.

Bonne lecture !

### **D'autres questions ? Plus de détails ?**

Alors consultez notre équipe de spécialistes au 03 88 59 01 50 ou inscrivez-vous sur le forum des instrumentistes [www.instrumexpert.com](http://www.instrumexpert.com), vous y retrouverez plus de 4000 techniciens et ingénieurs pour partager et échanger sur des thématiques variées de l'instrumentation.

# 1. Les basiques $P = h \cdot \rho \cdot g$

## Les basiques $P = h \cdot \rho \cdot g$

La mesure de pression hydrostatique peut s'assimiler à une mesure de différence de pression entre le fond de la cuve et la surface du liquide. Cela correspond à la pression totale en fond de cuve déduction faite de la pression statique dans la cuve.

$P$  hydrostatique =  $P$  totale -  $P$  statique

cela équivaut à mesurer le poids exercé par la colonne d'un liquide qui s'exprime selon le principe de Pascal :

$P$  hydrostatique =  $h \cdot \rho \cdot g$

$P$  hydrostatique : Pression (Pa)

$h$  : hauteur du liquide (m)

$\rho$  : masse volumique du liquide ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$g$  :  $9,81 \text{ m}/\text{s}^2$

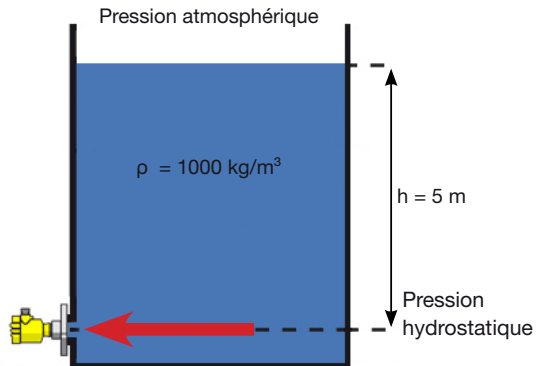
A densité constante et pression atmosphérique, la pression hydrostatique est donc directement proportionnelle au niveau dans la cuve.

### Astuce :

Pour simplifier, 10 m de colonne d'eau exerce une pression d'environ 1 bar (en réalité 0,981 bar)

Un exemple :

quelle est la pression hydrostatique au fond du bassin de plongeon de la piscine olympique de Londres avec ses 5 m de profondeur?



$$P = h \cdot \rho \cdot g$$

avec  $h = 5 \text{ m}$

$$\rho = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$$

$$g = 9,81 \text{ m}/\text{s}^2$$

$$P = 5 \times 1000 \times 9,81 = 49050 \text{ Pa}$$

C'est-à-dire 490,5 mbar, soit environ 0,5 bar !

## 2. Influence de la densité et de la température

La masse volumique du fluide mesuré et sa variabilité est l'une des limites physiques de la mesure de niveau par pression hydrostatique. En effet, la pression hydrostatique est directement proportionnelle à la masse volumique  $\rho$  du fluide. En pratique, cette mesure n'est donc pas adaptée aux cuves de mélange ou pouvant recevoir différents produits.

Et lorsque l'on recherche un maximum de précision, il faut aussi tenir compte du fait que la masse volumique des liquides est sensible aux variations de température.

Exemple : variation de la masse volumique de l'eau en fonction de la température

Masse volumique à 4°C : 1000 kg/m<sup>3</sup>

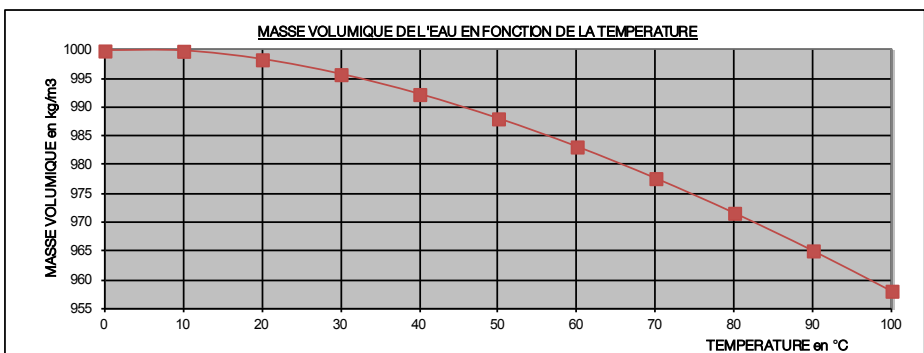
20°C : 998 kg/m<sup>3</sup>

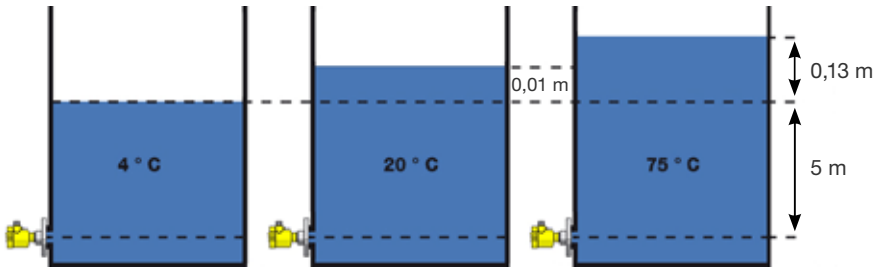
75°C : 975 kg/m<sup>3</sup>

Si nous reprenons notre bassin de plongeon de la piscine olympique de Londres, on imagine bien que l'eau doit plutôt être autour de 20°C que de 4°C !

Faisons une comparaison simple : le capteur a été étalonné pour mesurer une eau à température de 4°C, donc de masse volumique 1000 kg/m<sup>3</sup>. Sous 5 m de colonne d'eau le capteur enregistre une pression de 490,5 mbar.

Que donne cet étalonnage pour de l'eau à différente température ?





**p = 490,5 mbar**

$$\frac{49050}{1000 \times 9,81} = 5 \text{ m}$$

**p = 490,5 mbar**

$$\frac{49050}{998 \times 9,81} = 5,01 \text{ m}$$

**p = 490,5 mbar**

$$\frac{49050}{975 \times 9,81} = 5,13 \text{ m}$$

### Possibilités de compensation :

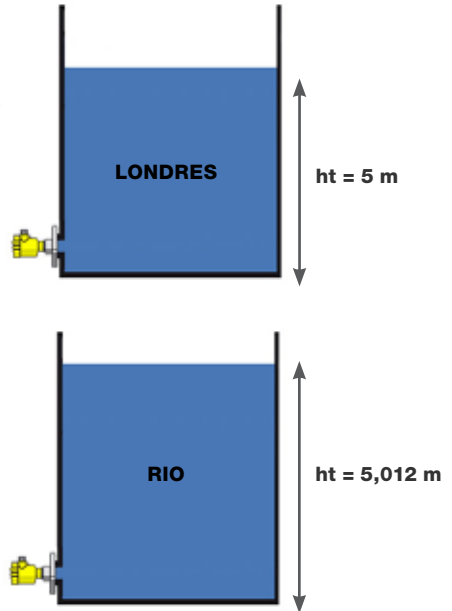
L'influence de la température peut être compensée par un calculateur ou un automate via une mesure de température du fluide.

En alternative et pour les mélanges de produits, un deuxième capteur de niveau permet la compensation de la variation de masse volumique. Ce point sera développé dans le livre N°5.

# 3. Influence des variations de l'accélération de la pesanteur g

Dans le principe de Pascal nous retrouvons aussi l'accélération de la pesanteur g, qui vaut globalement sur la terre 9.806 m/s<sup>2</sup>. Elle varie cependant selon l'endroit (9.83 m/s<sup>2</sup> aux pôles contre 9.78 m/s<sup>2</sup> à l'équateur) en raison de la rotation de la terre, de l'aplatissement du globe terrestre aux pôles, et, enfin en raison de la répartition hétérogène des différentes masses avoisinantes (montagnes, fosses...).

Cette variation peut dans certains cas, influencer la précision d'une mesure hydrostatique. Pour illustrer cela, reprenons l'exemple de du bassin de plongeon de la piscine olympique de Londres. Les JO 2012 étant terminés, imaginons que le capteur hydrostatique utilisé à Londres sur le bassin de 5 m, soit démonté et envoyé à Rio de Janeiro pour être installé sur la future piscine olympique de 2016... Sans réétalonnage, ce capteur, délivrera une mesure légèrement erronée du fait de la variation de l'accélération de la pesanteur g.



Londres :  $g = 9,812 \text{ m/s}^2$

Rio de Janeiro :  $g = 9,788 \text{ m/s}^2$

Pour une mesure indiquée de 5 m à Londres :

$$h = \frac{P}{\rho \cdot g} = \frac{48962}{998 \times 9,812} = 5 \text{ m}$$

On aura avec ce même capteur à Rio :

$$h = \frac{P}{\rho \cdot g} = \frac{48962}{998 \times 9,788} = 5,012 \text{ m}$$

soit une erreur de 1,2 cm !

## A retenir :

Pour avoir une mesure la plus précise possible, il est recommandé d'étalonner toute mesure hydrostatique sur site avec le produit à mesurer et dans la configuration de l'installation.



# 4. Les questions à se poser pour choisir son capteur de pression

Nous avons découvert dans les chapitres précédents, le principe de fonctionnement d'un capteur de pression utilisé en mesure de niveau hydrostatique. Les paramètres densité et accélération de la pesanteur ont une influence sur la mesure, mais d'autres paramètres ont une influence sur la définition du capteur...

On trouve ainsi 5 grandes familles de questions qui vous aideront dans la définition du bon instrument de mesure

## 1. Les caractéristiques du produit à mesurer

La connaissance des caractéristiques du produit à mesurer permet de sélectionner les matériaux du capteur entrant en contact avec celui-ci.

Composition chimique du produit / nom

Densité

Viscosité (au delà de 10000 cp la mesure hydrostatique est délicate)

Concentration (en complément à la composition chimique du produit, sa concentration peut influencer l'agressivité du produit)

Produit colmatant : oui / non

## 2. Les conditions de process

Les conditions de process sont importantes pour sélectionner la plage d'utilisation du capteur par rapport à la température et par rapport à la pression. Dans le cas d'une utilisation en atmosphère explosible l'agrément doit être adapté à l'environnement.

Température : normale / mini / maxi

Pression : normale / mini / maxi

Type d'atmosphère : saine / explosible

Type d'agrément EX requis

Certification SIL : oui / non



### 3. Le contenant et son environnement extérieur

Plus que la forme du contenant, ce sont surtout les matériaux et les dimensions du réservoir qui entrent en jeu pour définir la plage de travail du capteur.

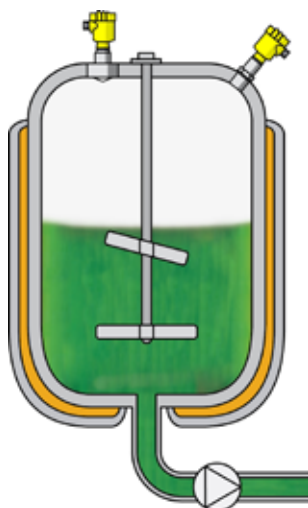
Matériau\*

Forme :

- cylindrique horizontale
- cylindrique verticale
- parallépipédique
- sphérique

Hauteur

Diamètre



#### A retenir :

En plus de la hauteur de liquide à mesurer, il faut tenir compte de la densité pour définir la bonne échelle de mesure. Ainsi, si nous devons mesurer sur une hauteur de 2 m un fluide de densité 1,2, nous aurons en réalité une plage de travail de 2,4 m. Un calibre de 2 m sera donc insuffisant pour cette application !

#### \*Attention :

Certaines cuves peuvent avoir un revêtement intérieur qui ne permet pas l'installation d'un capteur de pression.

Si aucun espace de montage n'a été prévu lors de la réalisation d'une cuve à double enveloppe, le montage d'un capteur de pression ne sera pas possible.

#### 4. Les conditions d'installation et de montage

Les conditions d'installations et de montage permettent de choisir le capteur avec la bonne interface au process

Montage :

- Déporté
- Latéral
- Par dessous

Raccordement process :

- Bride
- Fileté
- Aseptique

Caractéristique du piquage \*

Protection capteur : IP nécessaire



\*Dans le cas d'une bride, se référer à la norme, en général ANSI ou DIN, ainsi qu'au DN et PN de celle-ci. Exemple : une bride norme DIN en DN 50 PN40 a un diamètre extérieur de 165 mm et possède 4 trous de fixation de diamètre 18 mm alors qu'une bride norme ANSI en 2" 300lbs a un diamètre extérieur de 165,1 mm et possède 8 trous de fixation de diamètre 19,1 mm



En raccord fileté, il faudra tenir compte du pas du filet. Est-ce un filetage gaz ou un filetage NPT ? Le filetage est-il droit ou conique ?



En alimentaire ou milieu pharmaceutique, il conviendra en plus de tenir compte de l'état de surface du raccord, autrement dit de sa rugosité. La protection du capteur par rapport aux aspersion extérieures est aussi à prendre en compte. Dans le cas de nettoyage haute pression, il convient de choisir une protection IP69K !

## 5. L'alimentation électrique et le signal de mesure

Coté alimentation et signal de mesure, la norme industrielle s'oriente plutôt vers des capteurs de pression qui travaillent en boucle de courant 4 ... 20 mA ou 4 ... 20 mA HART®. Le protocole HART® permet de programmer à distance le capteur ou d'accéder à des fonctions de diagnostic.

Les bus de terrain profibus® ou fieldbus foundation™ permettent de réduire les coûts de câblage. Par rapport au 4 ... 20 mA, ils gagnent du terrain, mais le parc installé reste faible.

Alimentation

Sortie Analogique :  
- 4 ... 20 mA  
- 4 ... 20 mA HART®

Sortie Numérique :  
- Profibus® PA  
- Fieldbus foundation™

Affichage  
- Sans  
- Avec  
- Déporté



## 5. Est-ce que le Delta-P convient pour mon application ?

### Compatibilité en fonction des données du fluide

Agressif	Veillez à la comptabilité des matériaux
Propre	Pas de restrictions
Chargé en particules solides	Attention aux risques d'abrasion. Préférez une mesure sans contact
Visqueux	10 000 cp maximum
Colmatant	Prévoir un anneau de rinçage ou choisissez une mesure sans contact
Densité variable	Prévoir une compensation de la mesure ou préférez un autre principe de mesure
Diélectrique variable	Pas de restrictions
Présence de mousse	Pas de restrictions

### Compatibilité en fonction des données process

Agitation	Temporisez le signal de sortie
Variation de température	Calculez l'influence sur la précision de mesure (ABC de la DP N°1)
Température basse	-40°C (cette valeur est indicative et peut varier suivant les constructeurs)
Température haute	+400°C en montage sur séparateur (ABC de la DP N°1 page 11)
Vapeurs	Protégez le capteur de la température (ABC de la DP N°1 pages 16/17)
Basse pression	- 1 bar
Haute pression	+ 420 bar (cette valeur est indicative et peut varier suivant les constructeurs)

# Index

## **Principe de Pascal**

$$p = h.p.g$$

La pression exercée par une colonne de liquide s'exprime en fonction de la hauteur de liquide, de sa masse volumique et de l'accélération de la pesanteur.

► Voir page 5

## **Pression hydrostatique**

C'est la pression exercée par une colonne de liquide.

► voir page 5

## **Norme ANSI**

L'American National Standards Institute (ANSI) est un organisme qui supervise, aux États-Unis, le développement de normes pour les produits, les services et les procédés. Ces normes sont proposées à partir d'une démarche volontaire et consensuelle.

► voir page 11

## **Norme DIN**

Institution allemande en charge de la normalisation, affilié à l'ISO, son équivalent international.

► voir page 11

## **Diamètre nominal (DN)**

Le diamètre nominal (DN) correspond à la désignation de dimension commune à tous les éléments d'une même tuyauterie autre que ceux désignés par leur diamètre extérieur ou par la dimension du filetage. C'est un nombre entier utilisé aux fins de référence et qui n'est relié que de manière approximative aux dimensions de fabrication.

► voir page 11

## **Pression nominale (PN)**

Valeur exprimée en bar que l'élément de canalisation peut supporter sans défaillance avec une sécurité convenable pendant un temps et à une température donnée.

► voir page 11

[www.instrumexpert.com](http://www.instrumexpert.com)

### **Le forum de l'instrumentation en français**

Vous avez d'autres questions sur la mesure de pression différentielle? Ou bien, d'autres questions sur l'instrumentation de process en général?

Alors connectez-vous sur le seul forum instrumentation en français. Posez vos questions, et partagez votre expérience avec une communauté de plus de 4.000 techniciens francophones!

Sur [www.instrumexpert.com](http://www.instrumexpert.com), vous accédez gratuitement à de nombreux sujets, ressources et documents en téléchargements.



Livre 1 : Le capteur et ses accessoires  
Livre 2 : La mesure de niveau, la théorie



**A suivre le Livret 3 de l'ABC du Delta-P**  
**Sujet: La mesure de niveau dans les cuves à pression atmosphérique**

VEGA Technique S.A.S  
15, Rue du Ried, Z.A. Nordhouse  
67150 Erstein – France  
Tél. +33 3 88 59 01 50  
Hotline tech. 08 99 70 02 16 (1,35€ + 0,34€/mn)  
Fax +33 3 88 59 01 51  
E-mail [info.fr@vega.com](mailto:info.fr@vega.com)  
[www.vega.fr](http://www.vega.fr)

Pour longtemps **VEGA**