

## MÉTROLOGIE

### ▪ **Étalonnage**

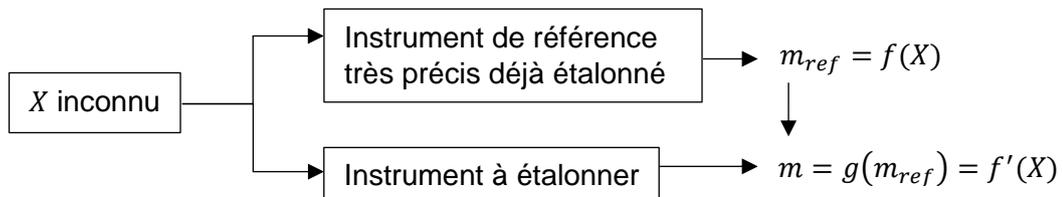
L'étalonnage d'un capteur ou d'un instrument de mesure consiste à établir la relation entre le signal interne de mesure  $m$  (tension, courant, impédance) et la grandeur physique qu'il doit mesurer (le mesurande  $X$ ). Le résultat est fourni soit par la relation mathématique  $m = f(X)$  soit par le graphique correspondant en précisant les conditions environnementales susceptibles d'influencer la procédure : température, humidité, pression, etc.

On peut étalonner soit :

- Directement avec des étalons (laboratoires spécialisés) ou des éléments de référence dont la valeur  $X$  est connue : températures de changement d'état, masses marquées, solutions tampons, etc. ;



- Par comparaison avec un instrument utilisé dans les mêmes conditions et dont la précision est nettement supérieure à celle de l'appareil à étalonner :



Il ne faut pas confondre l'étalonnage d'un appareil de mesure qui donne lieu à une certification avec sa conformité qui permet uniquement de vérifier s'il est toujours apte à fournir des résultats justes dans la limite de sa précision.

Un appareil non conforme devra être soit réétalonné soit « mis au rebut ». La conformité doit être vérifiée régulièrement pour les mesures sensibles des procédés.

### ▪ **Erreurs de mesure et précision**

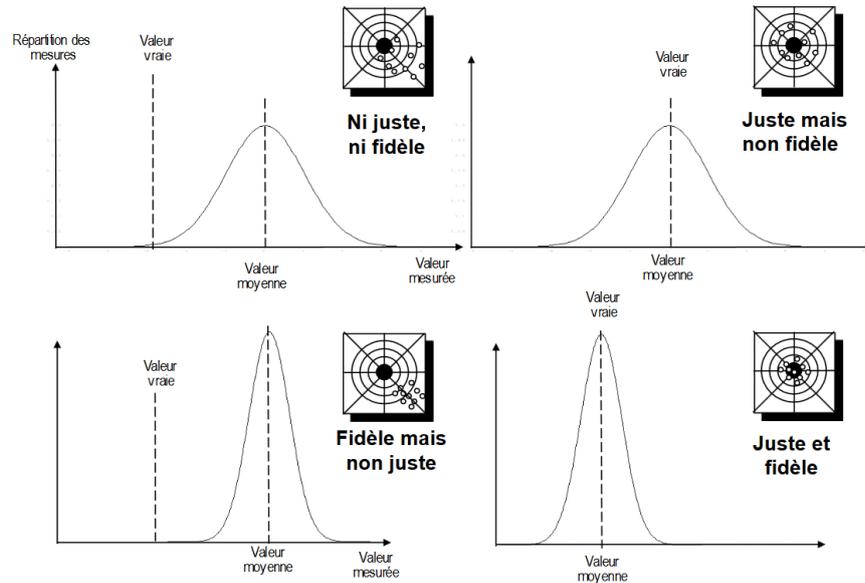
Quelle que soit la qualité d'une chaîne de mesure, il y aura toujours un écart entre la valeur effectivement mesurée  $x$ , déduite de  $m$ , et le mesurande  $X$ . Pour quantifier cet écart, on définit :

- L'erreur absolue  $\varepsilon$  par l'écart entre  $x$  et  $X$  :  $\varepsilon = x - X$ . L'erreur absolue à la même unité que  $X$  ou  $x$  ;
- L'erreur relative  $\varepsilon_r$  en rapportant l'erreur absolue à  $X$  :  $\varepsilon_r = \frac{(x-X)}{X}$ . Elle n'a pas d'unité et on l'exprime généralement en pourcentage :  $\varepsilon_{r\%} = \frac{(x-X)}{X} \times 100$ .

Les erreurs de mesures peuvent être systématiques (toujours dans le même sens et souvent liées à un défaut intrinsèque ou une mauvaise procédure de mesurage) ou totalement aléatoires.

En réalisant plusieurs séries de mesures étalons identiques et ce dans les mêmes conditions environnementales, on peut rendre compte de la fidélité et de la justesse de l'appareil de mesure utilisé :

- Un appareil sera d'autant plus fidèle que les mesures seront centrées sur leur moyenne ;
- Un appareil sera d'autant plus juste que la moyenne des mesures sera proche du mesurande.



La moyenne  $\langle x \rangle$  d'une série de  $N$  mesures  $\langle x \rangle = \frac{\sum x_i}{N}$  est la meilleure estimation de  $X$ .

L'écart type  $\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \langle x \rangle)^2}{N-1}}$  est une mesure de la dispersion des mesures autour de la moyenne.

Un appareil précis est un appareil fidèle et juste.

### ▪ **Précision fournie par les fabricants**

Les erreurs de mesure limitent la précision avec laquelle on peut espérer obtenir la valeur vraie du mesurande : les fabricants d'appareils industriels (instruments de mesure, capteurs) renseignent tous la précision des mesures obtenues sous la forme soit d'une incertitude (relative ou absolue) sur la valeur mesurée soit par une valeur de précision normalement associée à une norme. Lorsque les sources d'incertitude sont connues, elles peuvent être spécifiées : non linéarité, hystérésis, paramètre d'environnement (température, humidité, pression).

Un résultat de mesure ponctuelle  $x$  doit toujours être accompagné de son incertitude sous la forme :  $x \pm \Delta x$ . La valeur de  $\Delta x$  est issue de la notice technique du fabricant de l'appareil.

### ▪ **Exemples**

Capteur de pression « Cerabar PMC\_\_ » d'Endress Hauser :

Incertitude de mesure pour les petites gammes de mesure de pression absolue	<p>La plus petite incertitude de mesure étendue est la suivante :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ dans la gamme 1 ... 30 mbar (0,0145 ... 0,435 psi) : 0,4 % de la valeur mesurée</li> <li>▪ dans la gamme &lt; 1 mbar (0,0145 psi) : 1 % de la valeur mesurée</li> </ul>
---	--

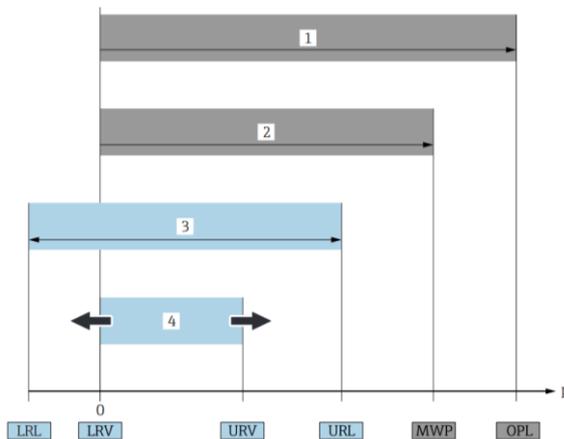
Précision de référence



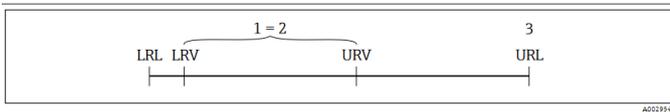
La précision de référence comprend la non-linéarité [DIN EN 61298-2 3.11] y compris l'hystérésis [DIN EN 61298-23.13] et la non-répétabilité [DIN EN 61298-2 3.11] selon la méthode des points limites conformément à [DIN EN 60770].

Appareil	% de l'étendue étalonnée par rapport à la rangeabilité maximale		
	Précision de référence	Non-linéarité <sup>1)</sup>	Non-répétabilité
PMC11 <sup>2)</sup>	±0,5	±0,1	±0,1
PMC21	±0,3	±0,1	±0,1

- 1) La non-linéarité pour le capteur 40 bar (600 psi) peut aller jusqu'à ± 0,15% de l'étendue étalonnée jusqu'à la rangeabilité maximale.
- 2) Pour les appareils avec sortie 0 à 10 V, une non-linéarité de max. 0,3 V peut se produire pour des valeurs de signal inférieures à 0,03 V.



- 1 OPL : L'OPL (Over pressure limit = limite de surpression du capteur) de l'appareil de mesure dépend de l'élément le moins résistant à la pression parmi les composants sélectionnés, c'est-à-dire qu'il faut tenir compte non seulement de la cellule de mesure mais également du raccord process. Tenir compte de la dépendance pression-température. L'OPL ne peut être appliquée que sur une courte durée.
  - 2 MWP : La MWP (Maximum working pressure/pression de service maximale) pour les différents capteurs dépend de l'élément le moins résistant à la pression parmi les composants sélectionnés, c'est-à-dire qu'il faut tenir compte non seulement de la cellule de mesure mais également du raccord process. Tenir compte de la dépendance pression-température. La MWP peut être appliquée à l'appareil sur une durée illimitée. La MWP figure sur la plaque signalétique.
  - 3 La gamme de mesure maximale du capteur correspond à l'étendue entre la LRL et l'URL. Cette gamme de mesure du capteur est équivalente à l'étendue de mesure maximale étalonnée/ajustable.
  - 4 L'étendue de mesure étalonnée/ajustée correspond à l'étendue entre la LRV et l'URV. Réglage usine : 0 à URL. D'autres étendues de mesure étalonnées peuvent être commandées comme étendues de mesure personnalisées.
- p Pression  
 LRL Lower Range Limit = limite de mesure inférieure  
 URL Upper Range Limit = limite de mesure supérieure  
 LRV Lower Range Value = début d'échelle  
 URV Upper Range Value = fin d'échelle  
 TD Rangeabilité. Exemple - voir le chapitre suivant.



- 1 Étendue de mesure étalonnée/ajustée
- 2 Étendue basée sur le zéro
- 3 Upper range limit = limite de mesure supérieure

**Exemple**

- Capteur : 10 bar (150 psi)
- Fin d'échelle (URL) = 10 bar (150 psi)
- Début d'échelle (LRV) = 0 bar (0 psi)
- Fin d'échelle (URV) = 5 bar (75 psi)

Rangeabilité (TD) :

$$TD = \frac{URL}{|URV - LRV|}$$

$$TD = \frac{10 \text{ bar (150 psi)}}{|5 \text{ bar (75 psi)} - 0 \text{ bar (0 psi)}|} = 2$$

Dans cet exemple, la TD est 2:1.  
 Cette étendue de mesure est basée sur le zéro.

Capteur de niveau « Vegapuls 21 » de Vega :

Caractéristiques techniques	
Plage de mesure - Distance	15 m [Meter - Foot]
Température process	-40 ... 80 °C [°C - °F]
Pression process	-1 ... 3 bar [Bar - kPa - psi]
Précision de mesure	± 2 mm
Fréquence	80 GHz
Angle d'émission	8°
Matériaux en contact du produit	PVDF
Raccord fileté	G1½, 1½ NPT, R1½
Matériau du joint	FKM
Matériau du boîtier	Plastique
Protection	IP66/IP67, Type 4X
Sortie	4 ... 20 mA/HART
Température ambiante	-40 ... 70 °C

