

# Comprendre les performances de mesure et les spécifications

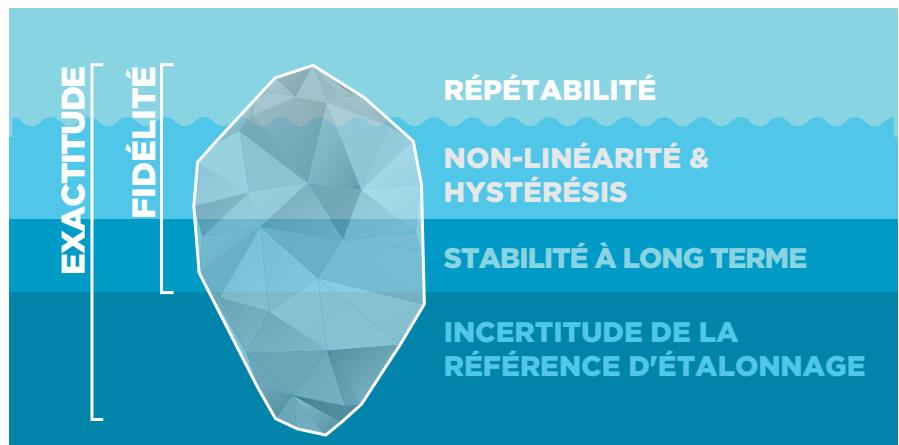
*La qualité d'un instrument de mesure peut-être évaluée à l'aide d'une question simple : la mesure est-elle précise ? Cette question est très simple certes, mais la réponse l'est souvent beaucoup moins. Pour choisir l'instrument de mesure le mieux adapté, il faut bien comprendre les facteurs qui contribuent à l'inexactitude d'une mesure. Le fait de comprendre cela nous permet de savoir ce qui est indiqué dans les spécifications - et ce qui ne l'est pas.*

La performance d'une mesure se définit par sa dynamique (plage de mesure, temps de réponse), son exactitude (répétabilité, fidélité et sensibilité) et sa stabilité (tolérance au vieillissement et aux environnements extrêmes). Parmi ces facteurs, l'exactitude est souvent considérée comme la qualité la plus importante ; mais c'est aussi l'une des plus difficiles à définir.

## Sensibilité et exactitude

La relation entre la modification de la valeur mesurée et la modification de la valeur de référence est appelée la sensibilité. Dans l'idéal, cette relation est parfaitement linéaire, mais dans la pratique, toutes les mesures impliquent quelques imperfections ou incertitudes.

La concordance entre la valeur mesurée et la valeur de référence



est souvent appelée « exactitude », bien que ce terme soit quelque peu vague. L'exactitude spécifiée inclut souvent la répétabilité, qui est la capacité de l'instrument à fournir un résultat similaire lorsque la mesure est renouvelée dans des conditions constantes. (Figure 1) Toutefois, cela peut ou non inclure l'hystéresis, la dépendance à la température, la non-linéarité et la stabilité à long terme. La répétabilité seule représente souvent une source mineure d'incertitude et, si la spécification de l'exactitude n'inclut pas d'autres incertitudes, cela peut donner une fausse impression du résultat réel de la mesure.

La relation entre les valeurs mesurées et une référence connue est souvent appelée la fonction de transfert. (Figure 2) Lorsqu'une mesure est ajustée, cette relation est affinée par rapport à une référence d'étalonnage connue. Dans l'idéal, la fonction de transfert est parfaitement linéaire sur toute la plage de mesure, mais dans la pratique, la

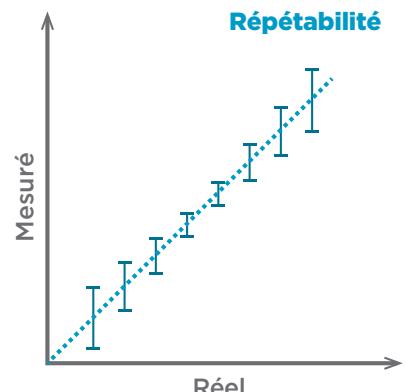


Figure 1 : Répétabilité

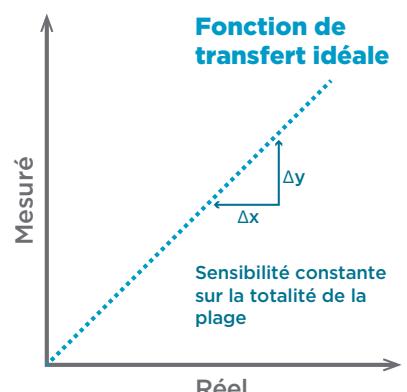


Figure 2 : Fonction de transfert

plupart des mesures impliquent des modifications au niveau de la sensibilité, en fonction de la magnitude du mesurande.

Ce type d'imperfection est appelé non-linéarité. (Figure 3) Cet effet est le plus souvent constaté aux points extrêmes de la plage de mesure. Il est donc utile de vérifier si la spécification d'exactitude inclut la non-linéarité, et si l'exactitude est spécifiée pour la totalité de la plage de mesure. Si tel n'est pas le cas, il y a de quoi douter de l'exactitude de la mesure près des extrêmes.

L'hystérésis est le changement de la sensibilité de la mesure en fonction du sens de la modification de la variable mesurée. (Figure 4) Cela peut être une cause importante de l'incertitude de mesure dans le cas de certains capteurs d'humidité, fabriqués à partir de matériaux qui retiennent fortement les molécules d'eau. Si l'exactitude n'indique pas si l'hystérésis est incluse, cette source d'incertitude au niveau de la mesure demeurera non-spécifiée. En outre, si la séquence d'étalonnage ne s'effectue que dans un sens, l'effet de l'hystérésis ne sera pas visible au cours de l'étalonnage, et si l'on oublie l'hystérésis dans la spécification, il est également impossible de connaître le niveau d'hystérésis de la mesure. Les capteurs polymère à couche mince de Vaisala ont une hystérésis négligeable, qui est systématiquement incluse dans l'exactitude spécifiée.

Les conditions ambiantes telles que la température et la pression ont aussi une influence sur l'exactitude de mesure. Si la dépendance à la température n'est pas spécifiée et que la température de fonctionnement change de manière significative, la répétabilité peut s'en trouver compromise. Les spécifications peuvent être données pour la plage de température de fonctionnement complète ou sur une plage de fonctionnement spécifique, limitée ou « typique ». Les spécifications qui

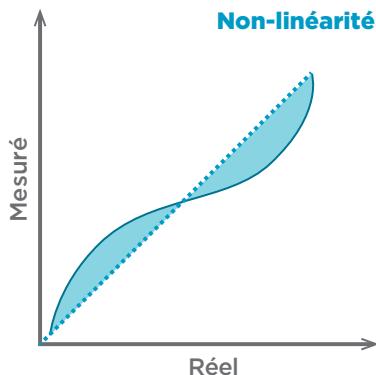


Figure 3 : Non-linéarité

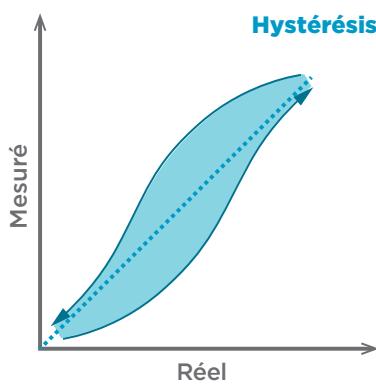


Figure 4 : Hystérésis

s'expriment de la sorte laissent les autres plages de températures non-spécifiées.

### Stabilité et sélectivité

La sensibilité d'un instrument de mesure peut changer au cours du temps et à cause du vieillissement. Dans certains cas, cet effet peut être accéléré par la présence de produits chimiques ou par d'autres facteurs environnementaux. Si la stabilité à long terme n'est pas spécifiée, ou si le fabricant n'est pas en mesure de fournir les recommandations pour l'intervalle d'étalonnage, la spécification indique en réalité uniquement la précision au moment de l'étalonnage. Un léger changement de la sensibilité (parfois appelé dérive ou flouage) est néfaste car il peut être difficile à observer et peut entraîner des problèmes latents au niveau de la régulation.

La sélectivité se définit comme l'insensibilité d'un instrument aux changements de facteurs autres que le mesurande réel. Par exemple, une mesure de l'humidité effectuée dans une atmosphère contenant certains produits chimiques peut être erronée du fait de la présence de ces produits chimiques. Cet effet peut être réversible ou irréversible. La réaction à ces produits chimiques peut être extrêmement lente, et cette sensibilité croisée aux produits chimiques peut facilement se confondre avec une dérive.

Un instrument doté d'une bonne sélectivité n'est pas affecté par des changements résultants de facteurs autres que le mesurande réel.

### Étalonnage et incertitude

Si les résultats des mesures diffèrent de la référence, la sensibilité de l'instrument peut être corrigée. Cela s'appelle le réglage. Le réglage en un point s'appelle la correction de dérive ; le réglage en deux points s'appelle la correction linéaire, à la fois pour la dérive et le gain (sensibilité). Si la mesure doit être réglée en plusieurs points, cela peut signifier une faible linéarité dans la mesure, qui doit être compensée par une correction non-linéaire en plusieurs points. En outre, si les points de réglage sont les mêmes que les points d'étalonnage, la qualité de la mesure entre les points de réglage demeure non-vérifiée.

Une fois l'instrument réglé, il faut l'étalonner pour vérifier sa précision. L'étalonnage, parfois confondu avec le réglage, est le fait de comparer la valeur mesurée avec une référence connue, appelée un étalon de travail. L'étalon de travail est le premier élément de la chaîne de traçabilité qui fera le lien par une succession d'étalonnages et de références jusqu'à l'étalon primaire. Si un certain nombre d'instruments étalonnés en fonction d'une référence peuvent être justes les uns par rapport aux autres (haute précision), la justesse absolue

par rapport à l'étalon primaire ne peut pas être vérifiée si l'incertitude d'étalonnage n'est pas spécifiée.

La traçabilité de l'étalonnage signifie que la chaîne de mesure, de références, ainsi que les incertitudes qui y sont liées jusqu'à l'étalon primaire sont connues et documentées de manière professionnelle. Cela permet de calculer l'incertitude de la référence d'étalonnage et de déterminer la justesse de l'instrument.

### Que signifie « être suffisamment juste » ?

En choisissant un instrument de mesure, il faut prendre en compte le niveau de justesse souhaité. Par exemple, pour des applications standards de contrôle de la ventilation où l'humidité relative (HR) est réglée en fonction du confort humain, une fluctuation de  $\pm 5\%$  d'HR est tolérée. En revanche, pour une application telle que la commande d'une tour de refroidissement, un contrôle plus précis et des marges réduites sont nécessaires pour

accroître l'efficacité opérationnelle. Lorsque la mesure est utilisée comme signal de contrôle, la répétabilité et la stabilité à long terme sont importantes, mais la justesse absolue par rapport à une référence traçable est moins significative. C'est notamment le cas dans un process dynamique, où les variations de température et d'humidité sont importantes et où la stabilité de la mesure, plus que la justesse absolue, est cruciale.

D'autre part, si la mesure est par exemple utilisée pour vérifier que les conditions de test en laboratoire sont comparables à d'autres laboratoires, la justesse absolue et la traçabilité de l'étalonnage sont de la plus haute importance. La norme TAPPI/ANSI T402 – *conditionnement standard et atmosphère d'essai pour le papier, les planches de bois, la pâte à papier et les produits connexes* est un exemple de ce besoin de justesse. Elle définit les conditions de test du papier en laboratoire comme devant être de  $23\text{ }^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) et de  $50\%$  d'HR ( $\pm 2\%$ ). Si la justesse de la mesure était de

$\pm 1,5\%$  d'HR mais que l'incertitude de l'étalonnage était de  $\pm 1,6\%$  d'HR, l'incertitude totale par rapport à l'étalonnage standard primaire dépasserait la spécification, et les analyses effectuées – qui dépendent fortement de l'humidité ambiante dans le lieu où est effectué le test – ne seraient pas comparables. Il serait par conséquent impossible de confirmer que les analyses ont été effectuées dans des conditions normales.

La spécification de la justesse à elle seule, sans information sur l'incertitude de la référence d'étalonnage, laisse la justesse absolue de l'instrument indéfinie.

Vaisala se félicite de pouvoir fournir des spécifications professionnelles et complètes, qui se fondent sur des normes internationales, des méthodes de tests scientifiques et des données empiriques. Pour nos clients, cela se traduit en informations complètes et fiables, qui permettent les bonnes décisions lors de choix de produits.

Produit	Vaisala HMT330	Marque A	Marque B
Précision à température ambiante	$\pm 1,0\%$ HR (0 ... 15 % HR) $\pm 1,7\%$ HR (90 ... 100 % HR) à $+15\text{ ... }+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ( $59\text{ ... }77\text{ }^{\circ}\text{F}$ )	$\pm 0,8\%$ HR, à $23\text{ }^{\circ}\text{C}$	$\pm 1,3\%$ HR, à $23\text{ }^{\circ}\text{C}$
Précision sur toute la plage de température	$\pm(1,5 + 0,015 \times \text{valeur indiquée})\%$ HR	Données inconnues	Données inconnues
Répétabilité	Données incluses dans la figure ci-dessus	Données inconnues	Données inconnues
Hystérésis	Données incluses dans la figure ci-dessus	Données inconnues	Données inconnues
Non-linéarité	Données incluses dans la figure ci-dessus	Données inconnues	Données inconnues
Incertitude d'étalonnage	$\pm 0,6\%$ HR (0 ... 40 % HR) $\pm 1,0\%$ HR (40 ... 97 % HR) Température $\pm 0,10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ( $\pm 0,18\text{ }^{\circ}\text{F}$ )	Données inconnues	Données inconnues

Figure 5 : Comparaison des informations de justesse dans les spécifications de trois différentes marques de transmetteurs d'humidité de haute précision.

## Questions à poser au moment du choix d'un instrument

- La justesse spécifiée inclut-elle toutes les incertitudes possibles : répétabilité, non-linéarité, hystérésis et stabilité à long terme ?
- La justesse spécifiée couvre-t-elle la plage de mesure complète, ou s'agit-il d'une plage limitée ? La dépendance à la température est-elle donnée dans la spécification, ou bien la gamme de température est-elle définie dans la spécification de justesse ?
- Le fabricant est-il en mesure de fournir un certificat d'étalonnage ? Ce certificat inclut-il les informations relatives à la méthode d'étalonnage, aux références utilisées et à l'incertitude de référence calculée de façon professionnelle ? Ce certificat inclut-il plus d'un ou deux points d'étalonnage, et la plage de mesure complète est-elle couverte ?
- La recommandation pour l'intervalle d'étalonnage est-elle donnée, ou la stabilité à long terme est-elle incluse dans la spécification de la précision ? Quel est le niveau de sélectivité requis dans l'environnement de fonctionnement ? Le fabricant est-il en mesure de fournir des informations ou des références sur la capacité de l'instrument à fonctionner dans l'environnement de fonctionnement ?

### Glossaire

<b>Exactitude de la mesure :</b>	Correspondance entre la valeur mesurée et la valeur réelle d'un mesurande.
<b>Justesse de la mesure :</b>	Correspondance entre les indications ou les valeurs mesurées obtenues par des mesures répétitives. Parfois utilisée à tort pour signifier la <b>précision</b> .
<b>Hystérésis :</b>	Variation de la mesure induite par un changement de direction.
<b>Non-linéarité :</b>	Modification de la sensibilité de la mesure en fonction de la magnitude du mesurande.
<b>Étalonnage :</b>	Comparaison d'une valeur mesurée avec une valeur de référence ou d'un étalon de référence.
<b>Incertitude de l'étalonnage :</b>	La somme de l'incertitude de la référence de l'étalonnage au long du processus de traçabilité de la référence d'étalonnage (étalon de travail) jusqu'à la référence de niveau supérieur (étalon primaire).
<b>Réglage :</b>	L'ajustage de la fonction de transfert par rapport à un étalon primaire. La nécessité d'ajustage en plus de deux points sur la gamme de mesure est le signe d'une mauvaise linéarité de l'instrument de mesure.
<b>Traçabilité métrologique :</b>	Propriété d'une mesure dans laquelle le résultat peut être lié à une référence via une chaîne <b>d'étalonnages</b> documentée et ininterrompue, chacun contribuant à l'incertitude de la mesure.
<b>Sensibilité :</b>	Relation entre ce qu'indique un instrument et la variation de la valeur de la quantité mesurée.
<b>Sélectivité :</b>	Indépendance d'un système de mesure aux changements de facteurs autres que le mesurande (variables environnementales, produits chimiques, etc.)
<b>Résolution :</b>	La plus petite variation de la quantité mesurée qui cause un changement perceptible dans l'indication de la mesure. Sur les instruments électroniques, la résolution peut être affectée par la résolution de la sortie analogique et par l'échelle.
<b>Stabilité :</b>	Propriété d'un instrument de mesure pour lequel les propriétés métrologiques demeurent constantes dans le temps.

# VAISALA

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

Merci de nous contacter  
à l'adresse  
[www.vaisala.com/requestinfo](http://www.vaisala.com/requestinfo)



Pour plus  
d'informations  
scanner le code

Ref. B211482FR-A ©Vaisala 2016

Le présent matériel est soumis à la protection du copyright, tous les droits étant conservés par Vaisala et chacun de ses partenaires. Tous droits réservés. Tous les logos et/ou noms de produits constituent des marques de Vaisala ou de ses partenaires. Il est strictement interdit de reproduire, transférer, distribuer ou stocker les informations contenues dans la présente brochure, sous quelque forme que ce soit, sans le consentement écrit préalable de Vaisala. Toutes les spécifications — y compris techniques — sont susceptibles d'être modifiées sans préavis. Cette version est une traduction de l'original en anglais. En cas d'ambiguïté, c'est la version anglaise de ce document qui prévaldra.