

Estimer les incertitudes de mesures

Loïc Guérin
HBM France

Loïc Guérin

- Formation Instrumentation / Mécanique
- Plus de 20 ans d'expérience dans l'instrumentation mécanique et connexes
- **E-Mail:** loic.guerin@hbkworld.com



1. Définitions / lexique
2. Erreurs systématiques
3. Estimation de l'incertitude de mesure
4. Exemple
5. Trop d'incertitude ?



Le postulat : toute mesure est fausse !!

Citation:

„Un résultat de mesures sans calcul d'incertitude est si discutable qu'il ne devrait pas en être fait mention.



HBM

Ce qui est important

- Qu'est ce que je peux annoncer à mon client ?
- Comment je peux améliorer l'incertitude ?

Définitions / lexique

Résolution



Précision

Classe de précision

Définitions / lexique

Résolution



Cet appareil de mesure a une résolution de 1mm



Un DMP41 peut afficher 2 Mio digits.
Résolution: 2,5mV/V pour / 2 Mio
Donc 0,00125 μ V/V

Définitions / lexique

Classe de précision?

Strain gauge full bridge, 5 or 10 mV/V measuring range, bridge excitation AC / carrier frequency		
Accuracy class		0.05
Carrier frequency (sine)	Hz	4800 ± 1.5
Bridge excitation voltage (effective)	V	1 and 2.5 (± 5 %)
Transducers that can be connected		strain gauge full bridges
Permissible cable length between MX840B and transducer	m	< 100



Type			S2M						
Nominal (rated) force	F_{nom}	N	10	20	50	100	200	500	1000
Accuracy									
Accuracy class			0.02						
Relative reproducibility and repeatability errors without rotation	b_{rg}	%	0.02						
Relative reversibility error	v		0.02						
Non-linearity	d_{lin}		0.02						
Relative creep over 30 min	d_{creep}		0.02						

Définitions / lexique

Classe de précision?

Chacun peut faire ce qu'il veut!

- Il n'y a pas de standard
- % de la pleine échelle
- Ne pas confondre avec
 - L'incertitude de mesure
 - La classe de precision selon ISO376

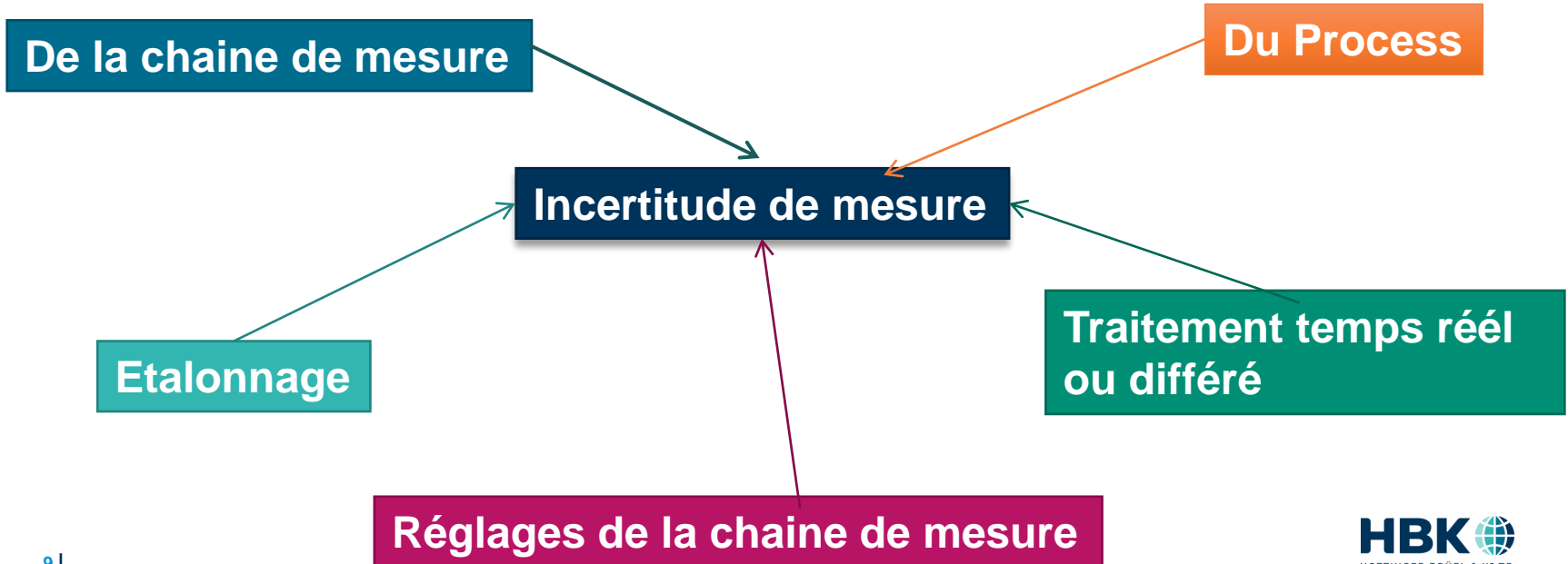


- **Vous ne pouvez pas comparer les spécifications des différents constructeurs**
- **Vous ne pouvez pas calculer des erreurs ou des incertitudes de mesure avec la classe de précision**

Définitions / lexique

Quelle précision pour ma chaine de mesure

Cela dépend de



Erreurs Systématiques

Différence systématique

Elle est connue, cette différence est positive ou négative et toujours de même valeur

→ Elle peut être compensée



Exemple

La masse des outillages d'étalonnage
=> Tarage de la chaîne de mesure

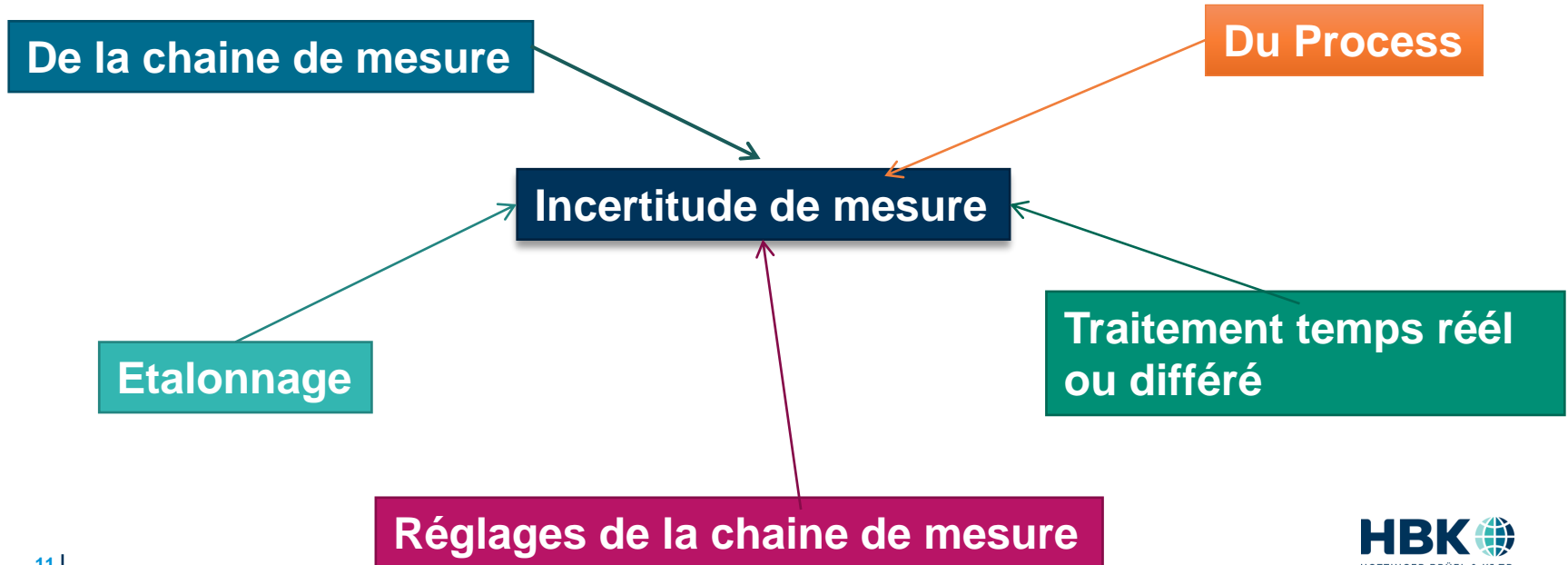


Estimation de l'incertitude de mesure

Autres erreurs de mesures (non systématiques)

Le sens (positif ou négatif) & la valeur ne sont pas connus

→ Incertitude de mesure



Estimation de l'incertitude de mesure

GUM = „*Guide to the Expression of **U**ncertainty in **M**asurement*“

- Pour les demandes scientifiques
- Complexe à mettre en oeuvre
- Consommateur de temps

„La détermination d'une incertitude de mesure n'est pas une routine mathématiques quelconque, il faut une connaissance détaillé de la chaîne de mesure et de l'application “

Estimation de l'incertitude de mesure

Chaine de mesure

Hysteresis
Linearité
TCZero
TCSpan
Moment de flexion Sensibilité
transverse...

Process

Temperature
Charge axiale, radiale
Humidité...

Post process ou temps réel

Utilisation de filtre
Erreur d'arrondi...

Incertitude de mesure

Réglage de la chaine de mesure

Selon la feuille de spécification?
Selon le certificat d'essai?
Selon un étalonnage particulier?
...

Etalonnage

Etalonnage Daks, Cofrac?
Etalonnage dans la position
d'utilisation?

Estimation de l'incertitude de mesure

Méthode selon le standard GUM

Méthode A

- Obtenir un nombre significatif de mesures individuelles
- Calculer la valeur Moyenne
- L'incertitude de mesure peut être calculée à l'aide de mathématiques et notamment l'écart type

Méthode B

- Lister les sources d'influence par ordre d'importance qui auront une influence sur l'incertitude de mesure
- Calcul de l'incertitude de mesure en utilisant les hypothèses ci-dessus.

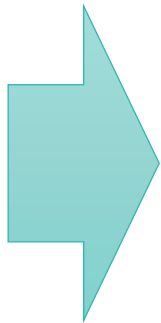
La Méthode B est le meilleur choix dans la plupart des cas

Estimation de l'incertitude de mesure

Startégie adoptée pour les incertitudes de mesure

- ~~Calcul (estimation) des erreurs individuelles~~
- Statistiques accumulées sur chacune des propriétés
- ~~Addition algébrique~~
- Prendre en compte l'étendue de l'incertitude

Un choix doit être fait : pas d'erreur dépendant d'une autre !



C'est plus ou moins une estimation à "la louche"

Naissance du Séminaire "Incertain des chaînes de mesures"

Exemple

Mesure de traction sur un process fin de ligne

Capteur U2B/5KN

- Etendu de mesure (Sinus)
- Gamme de température
- Fréquence
- Durée du test
- Réglage du Zéro
- Réglage selon la datasheet

Capacité 5 kN

entre 0 and 1 kN

23°C à 45°C

15 Hz

30 min

avant chaque test

5 kN = 2 mV/V



Exemple

Feuille de spécification U2B:

- Tolérance sur la sensibilité: $\pm 0.2\%$ (MV)
- Linéarité: $\pm 0,1\%$ (FS)
- Hystérésis: 0,15 % (FS)
- TCSpan: $\pm 0,1\%$ (MV)
- TCZero: $\pm 0,05\%$ (FS)
- Fluage (30 min): $\pm 0,06\%$ (MV)

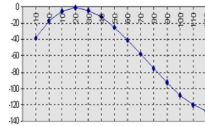
MV = Relatif à la valeur mesurée // FS = relative à la pleine échelle



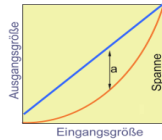
Exemple

Relatif à la pleine échelle

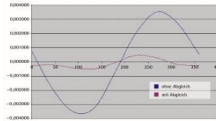
TCZéro



Linearité

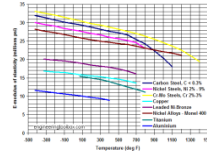


Moment de flexion

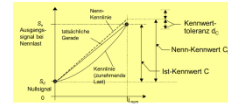


Relatif à la valeur mesurée

TCSpan

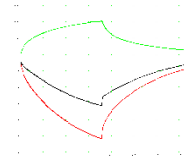


Tolérance étalonnage

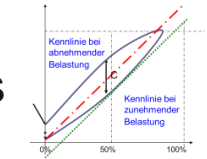


Relatif à la valeur mesurée
ET
f(historique) capteur

Fluage



Hysteresis



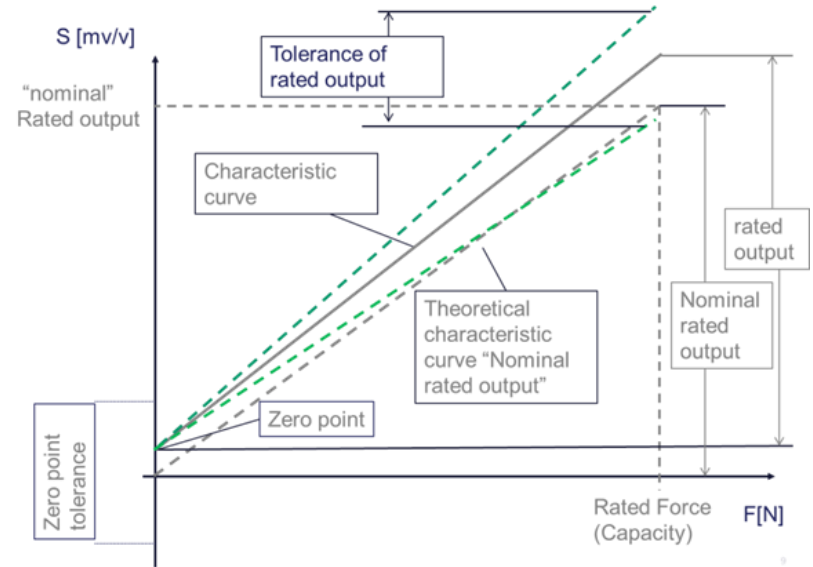
Toute erreur relative à la pleine échelle a un impact important sur les faibles forces

Exemple: S9M/1kn, 100N sont mesurés :
TCZero: 200ppm/10K relatif à 1000N. Extrapolé cela donne 2000ppm/10K pour les 100N avec le même capteur et la même variation de température.

Exemple

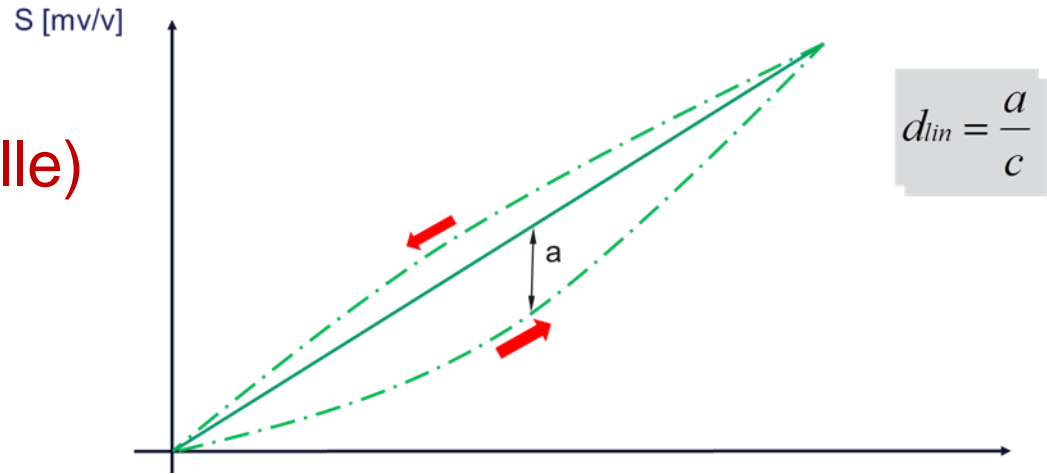
Tolérance sur le signal de sortie (relatif à la valeur mesurée)

$$\Delta_{dC} = 0.2 \% \text{ de } 1 \text{ kN} = \underline{\underline{2 \text{ N}}}$$



Exemple

- **Linearité**
(Relatif à la pleine échelle)

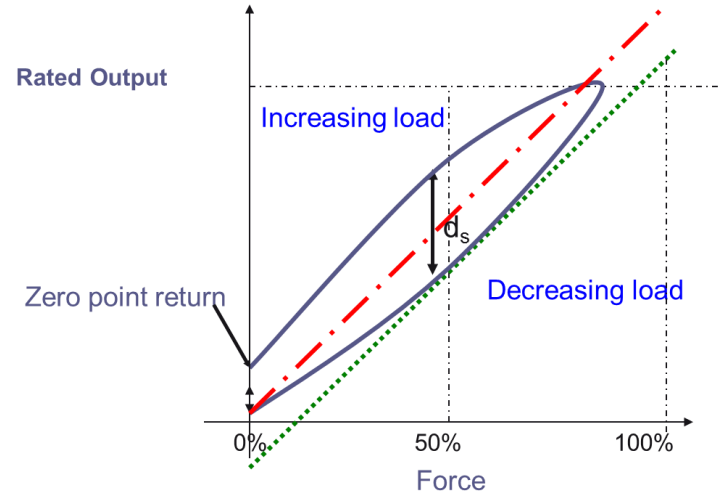


$$\Delta_{dlin} = 0,1 \% \text{ de } 5 \text{ kN} = \underline{\underline{5 \text{ N}}}$$

Exemple

- **Hystéresis**

(Relatif à la pleine échelle)



$$v = \frac{d_s}{C}$$

Typical values:

- S2M: 0,02%
- U10M: 0,02...0.05%
- C9c: 0,2%

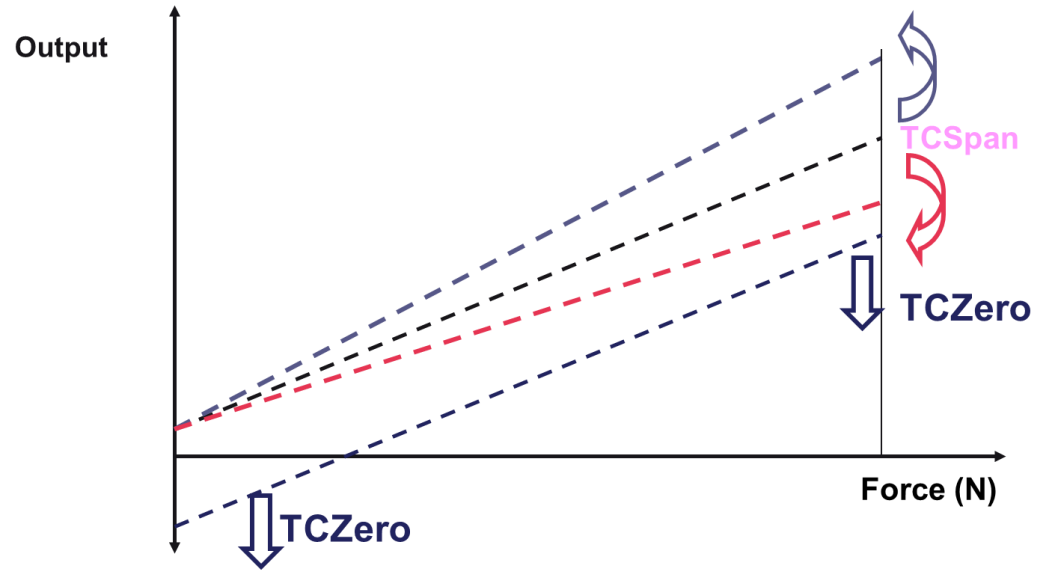
$$\Delta_{\text{hys}} = 0.15 \% \text{ de } 5 \text{ kN} = \underline{\underline{7,5 \text{ N}}}$$

Exemple

• TCZero

(Relatif à la pleine échelle)

TCZero and TCSpan



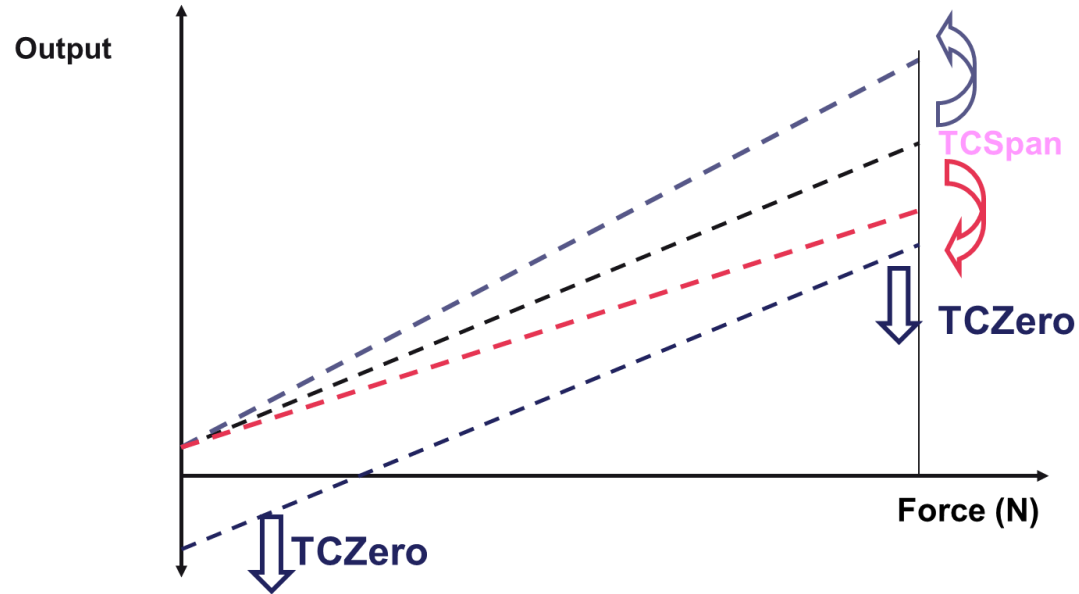
$$\Delta_{TK0} = 0,05 \% \text{ de } 5 \text{ kN} \cdot (45^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}) / 10\text{K} = \underline{\underline{5,5 \text{ N}}}$$

Exemple

- **TCSpan**

(relatif à la valeur mesurée)

TCZero and TCSpan

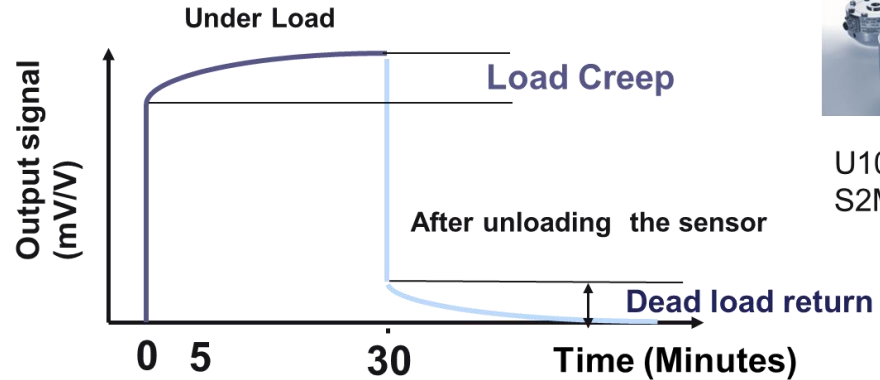


$$\Delta_{TKC} = 0,1 \% \text{ de } 1 \text{ kN} \cdot (45^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}) / 10\text{K} = \underline{\underline{2.2 \text{ N}}}$$

Exemple

- **Fluage**

(Relatif à la valeur mesurée)



U10M: 0,02 %
S2M: 0.02 %

$$\Delta_{cr} = 0,06 \% \text{ de } 1 \text{ kN} = \underline{\underline{0.6N}}$$

Exemple

- **Tolérance Signal de sortie (Relatif à la valeur mesurée)**

$$\Delta_{dC} = 0.2 \% \text{ de } 1 \text{ kN} = \underline{\underline{2 \text{ N}}}$$

- **Erreur Linéarité (Relatif à la pleine échelle)**

$$\Delta_{dlin} = 0,1 \% \text{ de } 5 \text{ kN} = \underline{\underline{5 \text{ N}}}$$

- **Hystérésis (Relatif à la pleine échelle)**

$$\Delta_{hys} = 0.15 \% \text{ de } 5 \text{ kN} = \underline{\underline{7,5 \text{ N}}}$$

- **TCSpan (Relatif à la valeur mesurée)**

$$\Delta_{TKC} = 0,1 \% \text{ de } 1 \text{ kN} \cdot (45^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}) / 10\text{K} = \underline{\underline{2.2 \text{ N}}}$$

- **TCZero (Relatif à la pleine échelle)**

$$\Delta_{TK0} = 0,05 \% \text{ de } 5 \text{ kN} \cdot (45^{\circ}\text{C} - 23^{\circ}\text{C}) / 10\text{K} = \underline{\underline{5,5 \text{ N}}}$$

- **Fluage (Relatif à la valeur mesurée)**

$$\Delta_{cr} = 0,06 \% \text{ de } 3 \text{ kN} = \underline{\underline{0.6\text{N}}}$$

Exemple / Comment améliorer

$$\begin{aligned}U_{\text{ges}} &\approx \sqrt{\Delta_{dC}^2 + \Delta_{dlin}^2 + \Delta_{hys}^2 + \Delta_{TKC}^2 + \Delta_{TK0}^2 + \Delta_{cr}^2} \\ &= \sqrt{(2\text{ N})^2 + (5\text{ N})^2 + (7.5\text{ N})^2 + (2.2\text{ N})^2 + (5.5\text{ N})^2 + (0.6\text{ N})^2} \\ &\approx \underline{\underline{10,98\text{ N}}}\end{aligned}$$

Erreur: 1,1% (K=1) ...trop élevée??

- **Réduire la pleine échelle**
(Reduction des influences des valeurs liées à la pleine échelle)
- **Conditions de température plus stable**
(Diminution de l'influence des TCZero/TCSpan)
- **Etalonnage en laboratoire**
(Diminution de la linéarité, Quasi-annulation de tolérance de sensibilité)

Comment améliorer



Comment améliorer

- **Tolérance Signal de sortie** (Relatif à la valeur mesurée)

$$\Delta_{dC} = 0.01 \% \text{ de } 1 \text{ kN} = \underline{\underline{0,1 \text{ N}}}$$

- **Erreur Linéarité** (Relatif à la pleine échelle)

$$\Delta_{d \text{ lin}} = 0.03 \% \text{ de } 5 \text{ kN} = \underline{\underline{1,5 \text{ N}}}$$

- **Hystérésis** (Related to full scale)

$$\Delta_{\text{hys}} = 0.03 \% \text{ de } 5 \text{ kN} = \underline{\underline{1,5 \text{ N}}}$$

- **TCSpan** (Relatif à la valeur mesurée)

$$\Delta_{\text{TKC}} = 0,015 \% \text{ de } 1 \text{ kN} \cdot (45^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) / 10\text{K} = \underline{\underline{0.33 \text{ N}}}$$

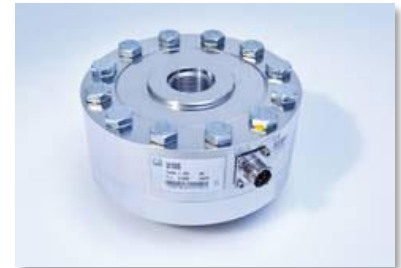
- **TCZero** (Relatif à la pleine échelle)

$$\Delta_{\text{TK0}} = 0,015 \% \text{ de } 5 \text{ kN} \cdot (45^\circ\text{C} - 23^\circ\text{C}) / 10\text{K} = \underline{\underline{0.825 \text{ N}}}$$

- **Fluage** (Relatif à la valeur mesurée)

$$\Delta_{\text{cr}} = 0,04 \% \text{ de } 3 \text{ kN} = \underline{\underline{0.4 \text{ N}}}$$

Error: 2,33 N (=0,233 %) for k=1



Thank You

Loïc Guérin
HBM France
loic.guerin@hbkworld.com