



Evaluation des dispositifs de mesurage par comparaison pour cales étalons

Document N° 208.fw

Edition février 2013, rév. 03

Document établie par le "Comité Sectoriel Etalonnage" pour harmoniser les procédures dans les laboratoires d'étalonnage.

TABLE DES MATIERES

1.	Généralités	3
1.1	Domaine d'application	3
1.2	Exigences	3
1.3	Moyens	3
1.4	Rappel des principaux paramètres d'une cale étalon	4
2.	Méthodes d'évaluation	5
2.1	Mesurage comparatif des cotes centrales des cales étalons, TEST 1	5
2.2	Mesurage en 5 points, TEST 2.....	5
3.	Evaluations des résultats	6
3.1	Evaluation TEST 1	6
3.2	Evaluation TEST 2.....	7
3.3	Appréciation générale.....	7
4.	Signification des expressions employées	8

1. Généralités

1.1 Domaine d'application

La présente directive d'évaluation s'applique aux dispositifs de mesurage par comparaison pour cales étalons ayant des longueurs nominales comprises entre 0.5 mm et 100 mm (EN ISO 3650, DIN 861).

Ce contrôle s'exécute, lors de la mise en service, lors des vérifications périodiques, lors d'un déplacement du dispositif de mesurage, lorsqu'une modification a été apportée à ce dernier, ainsi que, chaque fois qu'un évènement nécessite un contrôle de vérification.

1.2 Exigences

Le contrôle selon cette directive ne s'applique qu'une fois que toutes les exigences du fabricant en ce qui concerne le dispositif de mesurage ont été satisfaites.

En conséquence, ce contrôle se pratique **sur le lieu d'utilisation** du dispositif de mesurage. On vérifie que cet endroit est exempt de courants d'air, de vibrations ou encore que le dispositif ne soit pas soumis à l'exposition directe des rayons du soleil. Le local où est situé le dispositif de mesurage des cales étalons est en règle générale climatisé à $(20 \pm 0.5)^\circ\text{C}$.

1.3 Moyens

Les cales étalons qui servent de référence pour le contrôle sont de la même matière, de la classe 00 ou K et, elles sont repérables individuellement (numéro d'identification individuel ou numéro d'identification commun et marquage A et B). Les 5 paires de cales étalons (fig. 1) qui sont utilisées, possèdent un certificat d'étalonnage établi à la suite d'un mesurage effectué par un institut national de métrologie (par la méthode interférométrique, incertitude de mesurage $U < 20 \text{ nm} + 0.08 \cdot 10^{-6}L$ ou, par la méthode des 5 points, incertitude de mesurage $U < 40 \text{ nm} + 0.25 \cdot 10^{-6}L$, L en m, selon l'incertitude de mesurage pour laquelle le laboratoire SCS veut être accrédité). Il est nécessaire que le certificat mentionne que les cales étalons respectent les normes déjà citées en ce qui concerne les critères de géométrie et de planéité (voir tableau fig. 3).

Paire de cales No	Cotes nominales (mm)	
	A	B
1	0.5	0.5
2	1.0	1.005
3	1.0	1.010
4	6.0	6.0
5	100	100

fig. 1 : Paires de cales étalons pour le contrôle

Remarque :

Le jeu de cales étalons défini par le service allemand de calibration (DKD) est également utilisable pour ce contrôle.

1.4 Rappel des principaux paramètres d'une cale étalon

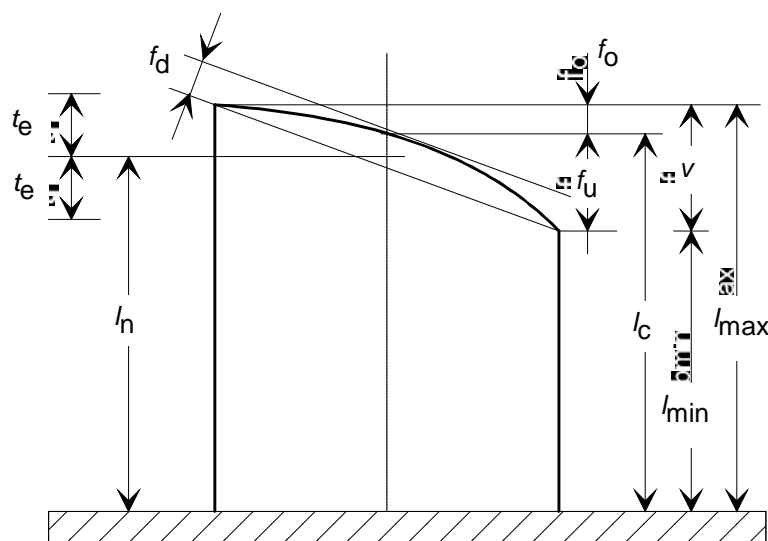


fig. 2 : Paramètres d'une cale étalon selon EN ISO 3650.

Longueur nominale :	l_n
Longueur médiane :	l_c
Tolérance sur la longueur nominale :	$\pm t_e$
Variation de longueur :	$v = f_u + f_o = l_{max} - l_{min}$
Tolérance de variation de longueur :	t_v
Ecart supérieur par rapport à la longueur médiane :	$f_o = l_{max} - l_c$
Ecart inférieur par rapport à la longueur médiane :	$f_u = l_c - l_{min}$
Ecart de planéité :	f_d
Tolérance de planéité :	t_f

Longueurs nominales (mm)		Tolérances admissibles (μm)					
		Classe 00			Classe K		
>	\leq	t_e	t_v	t_f	t_e	t_v	t_f
-	10	± 0.06	0.05	0.05	± 0.20	0.05	0.05
10	25	± 0.07	0.05	0.05	± 0.30	0.05	0.05
25	50	± 0.10	0.06	0.05	± 0.40	0.06	0.05
50	75	± 0.12	0.06	0.05	± 0.50	0.06	0.05
75	100	± 0.14	0.07	0.05	± 0.60	0.07	0.05

fig. 3 : Tolérances des cales étalons

2. Méthodes d'évaluation

Le résultat de chaque mesure est noté dans la case blanche adéquate des feuilles de résultats de **TEST 1** ou de **TEST 2**.

Lors d'un mesurage avec les cales étalons de 100 mm, il faut prendre garde à ce que celles-ci aient des températures égales, voisines de celle du local, afin de ne pas influencer le résultat du mesurage. Notons que l'équilibre des températures sera observé tout au long de l'évaluation aussi, celle-ci se fera en plusieurs étapes.

2.1 Mesurage comparatif des cotes centrales des cales étalons, TEST 1

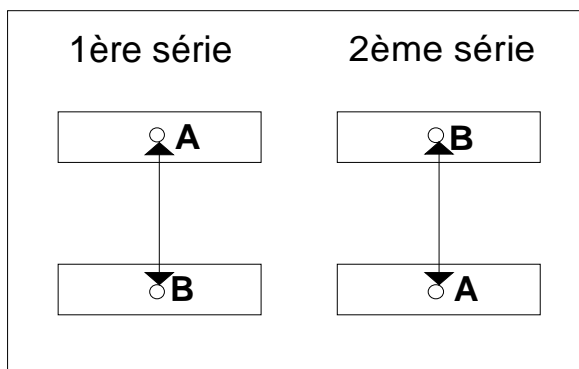


fig. 4 Schéma des mesures pour le TEST 1

Avec chaque paire de cales étalons mentionnée dans le tableau de la fig. 1, on effectue deux séries de cinq mesurages des cotes centrales. La première série est faite avec la cale A située à l'arrière de la table du dispositif de mesure, alors que la cale B est située à l'avant. La seconde série est faite après inversion des positions respectives des dites cales étalons (fig. 4).

2.2 Mesurage en 5 points, TEST 2

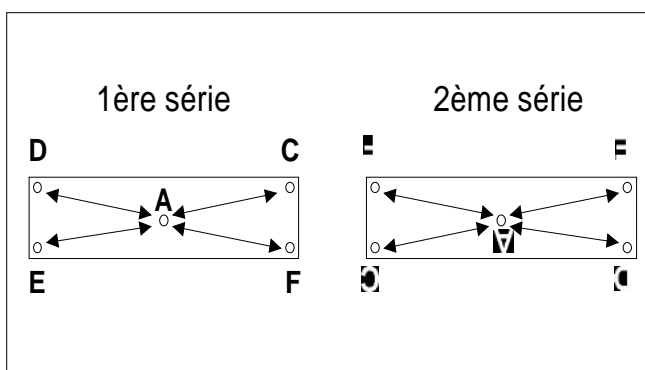


fig. 5 : Schéma des mesures pour le TEST 2

Ecarts f_o et f_u donnés par le dispositif de mesure des cales étalons par comparaison. On fait un premier test avec la cale étalon de 6.0 mm (cale non marquée sur les faces mesurantes), qui est placée sur le dispositif de mesure à l'endroit réservé à la cale à contrôler.

Remarque :

Si la manipulation du dispositif de mesure le demande, on peut placer dans la case vide, l'autre cale de même dimension et, faire le contrôle en passant chaque fois par le mesurage de son point central sans en relever la valeur.

Une première série de quatre cycles (cycles 1.1 à 4.1) de 5 mesurages du point central et, des quatre points extérieurs (C, D, E, F) selon le schéma (fig. 5) est effectuée. Une deuxième série (cycles 1.2 à 4.2) est effectuée identiquement après avoir fait faire à la cale étalon une rotation de 180° dans le plan horizontal.

Ce premier test est à compléter par deux autres tests semblables, faits avec les cales étalons de 1.0 mm et de 100 mm. On obtient ainsi, des renseignements plus précis quant aux influences des capteurs (alignement, forces de mesure) et, de la table du dispositif de mesurage (gauchissement, positionnement).

3. Evaluations des résultats

Toutes les feuilles de résultats du TEST 1 (2 pages) et du TEST 2 (3 pages), ont été remplies avec les valeurs des mesurages. On effectue alors les calculs prévus, dont les résultats comparés aux valeurs indiquées dans le tableau de la fig. 7 permettent de faire une évaluation du dispositif de mesurage. Les résultats ainsi obtenus ont été notés dans les cases ombrées.

Dans ce qui suit, les expressions écrites en *italique* spécifient celles que l'on traite dans les cases des feuilles de résultats des tests.

Les feuilles de résultats sont réalisées sous la forme de fichiers EXCEL qui peuvent être obtenus auprès du METAS. Ainsi, les calculs sont automatiques dès l'entrée des résultats de mesurage.

3.1 Evaluation TEST 1

Calculer l'ensemble des différences **B-A** dans les séries 1 respectivement 2 pour les 5 paires de cales étalons.

- Calculer les moyennes **Moyenne1** et **Moyenne2** pour les 5 différences **B-A** de chaque série.
- Calculer **Max-Min** des 5 répétitions des mesurages aux points A respectivement B des cales étalons (différence entre la plus grande et la plus petite valeur mesurée dans chaque colonne de 5 mesurages).
- Calculer la **Dispersion** des différences de mesure pour chaque paire de cales étalons (écart entre les valeurs maximale et minimale des 10 différences **B-A** des séries correspondantes).
- Calculer les valeurs exprimant la **Justesse** pour les paires de cales étalons 1, 4 et 5, données par les différences entre les différentes moyennes trouvées (**B-A**) par rapport aux valeurs des différences certifiées. $Justesse = (B-A)_{certif.} - (Moyenne1 + Moyenne2)/2$. La **Justesse** définit l'aptitude de l'instrument de mesure, exprimée par les valeurs mesurées sans l'erreur systématique.
- Le calcul de la **Linéarité** des capteurs est identique à celui fait pour la **Justesse** mais, cette fois, pour les paires de cales étalons 2 et 3 (avec +5 µm respectivement +10 µm de différence nominale).
- $Linéarité[\%] = \{(B-A)_{certif.} - (Moyenne1 + Moyenne2)/2\} * 100 / (B-A)_{certif.}$
- La **Réversibilité** est une mesure de l'asymétrie de la linéarité des capteurs et se démontre lors des mesurages des paires de cales étalons 2 et 3 par la différence entre les **Moyenne1** et **Moyenne2** des séries correspondantes.
- La **Répétition** ou reproductibilité s'exprime enfin par le calcul de la moyenne de l'ensemble des 20 valeurs des différences calculées **Max-Min** dans le TEST 1.

3.2 Evaluation TEST 2

- L'évaluation pour les trois tests 2.1, 2.2 et 2.3 est réalisée de manière identique.
- Calculer l'ensemble des différences **C-A**, **D-A**, **E-A** et **F-A** pour les séries correspondantes.
- Calculer les moyennes **Moyenne1** et **Moyenne2** pour les 5 différences **X-A** de chaque série (X représente C, D, E ou F).
- Calculer **Max-Min** de chaque série de 5 répétitions des mesurages aux points X et B des cales étalons (différence entre la plus grande et la plus petite valeur mesurée dans chaque colonne de 5 mesurages).
- Calculer la **Dispersion** des différences de mesure pour chaque position (écart entre les valeurs maximale et minimale des 10 différences **X-A** des séries correspondantes).
- Estimer la justesse de positionnement ou **Géométrie** par la différence, en valeur absolue, entre les **Moyenne1** et les **Moyenne2** pour chaque position C, D, E et F.
- L'écart f_o correspond à la **plus grande valeur positive** relevée parmi les 8 moyennes **Moyenne1** et **Moyenne2** calculées pour chaque cale ($f_o = l_{\max} - l_c$).
- Remarque : si $l_{\max} = l_c$, on a $f_o = 0$
- L'écart f_u correspond à la **plus petite valeur négative** relevée parmi les 8 moyennes **Moyenne1** et **Moyenne2** calculées pour chaque cale ($f_u = l_c - l_{\min}$).
- Remarque : si $l_{\min} = l_c$, on a $f_u = 0$

3.3 Appréciation générale

Dans le tableau de la figure 8, sont données les valeurs correspondantes aux écarts admissibles pour les différents critères de jugement pour garantir l'incertitude de mesure indiquée avec un niveau de confiance de 95%.

l_{95} = incertitude de mesure qui caractérise l'étendue dans laquelle se situe la valeur vraie de la grandeur mesurée avec un niveau de confiance de 95%.

Paramètres	TEST	Limites admissibles (en μm) et incertitudes de mesure L en m	
		$U \leq (0.05 + 0.5 \cdot L) \mu\text{m},$	$U \leq (0.1 + 1.0 \cdot L) \mu\text{m},$
Dispersion	1 + 2	0.03	0.04
Répétition	1 + 2	0.015	0.04
Justesse	1	$\pm(0.02 + 0.2 \cdot L)$	$\pm(0.05 + 0.5 \cdot L)$
Réversibilité	1	0.01	0.02
Géométrie	2	0.015	0.03
Linéarité	1	0.4 % cas $5\mu\text{m}$ 0.2 % cas $10\mu\text{m}$	0.8 % cas $5\mu\text{m}$ 0.4 % cas $10\mu\text{m}$

fig. 8 : Valeurs limites admissibles

Les valeurs des résultats obtenus sont comparées à celles du tableau ci-dessus ainsi, on peut juger quelle incertitude de mesure peut être acceptée pour le dispositif ainsi testé.

Il se peut que la dispersion des résultats demande que le test soit refait afin de pouvoir confirmer ou infirmer les valeurs obtenues. Ceci est réalisé après avoir pris soin d'analyser les causes possibles de ces dispersions. Il est entendu que le nouveau test ne sera refait que lorsque la température de tous les éléments sera à nouveau stabilisée à une même valeur, et située dans les conditions requises.

La finalité est que le paramètre qui a le plus mauvais résultat détermine "la classe d'incertitude" dans laquelle il faut considérer le dispositif de mesure.

4. Signification des expressions employées

- B-A :** Différence des cotes centrales mesurées sur les cales étalons A et B
- C-A :** Différence de mesure entre la cote du point extérieur et la cote centrale de la cale étalon A.
- D-A :**
- E-A :**
- F-A :**
- Moyenne1,**
- Moyenne2 :** Moyennes arithmétiques des 5 différences pour les séries 1 et 2.
- Max-Min :** Différence entre la valeur la plus grande et la valeur la plus petite obtenues dans une série de 5 mesurages.
- Dispersion :** Différence entre la plus grande valeur et la plus petite valeur trouvées dans les 10 valeurs des différences (**B-A**) calculées dans les séries 1 et 2.
- Justesse :** Différence entre les valeurs certifiées (**B-A**) et la moyenne des valeurs moyennes correspondantes mesurées.
- Justesse** = $(\mathbf{B-A})_{\text{certif.}} - (\mathbf{Moyenne1} + \mathbf{Moyenne2})/2$
- Linéarité :** Linéarité des capteurs (pour les paires de cales étalons 2 et 3) :
- Linéarité**[%] = $\{(\mathbf{B-A})_{\text{certif.}} - (\mathbf{Moyenne1} + \mathbf{Moyenne2})/2\} * 100 / (\mathbf{B-A})_{\text{certif.}}$
- Réversibilité :** Asymétrie de la linéarité des capteurs (pour les paires de cales étalons 2 et 3) :
- Réversibilité** = $\mathbf{Moyenne1} - \mathbf{Moyenne2}$
- Répétition :** Moyenne de l'ensemble des 20 différences **Max - Min**
- Géométrie :** Justesse de positionnement de l'instrument dans les positions déterminées sur la cale étalon C, D, E et F.
- Géométrie** = $|\mathbf{Moyenne1} - \mathbf{Moyenne2}|$ pour chaque position.