

Instruments de mesurage de longueur
Comparateurs mécaniques à cadran,
à tige rentrante radiale

Spécifications — Méthodes d'essai

E : Length measuring instruments — Mechanical dial gauges with radial retractable stem — Specifications and test methods
D : Längenmeßgeräte — Mechanische Meßuhren mit einziehbarer radialer Stange/Lieferbedingungen und Prüfung —

Norme française homologuée par décision du Directeur Général de l'afnor le 20 novembre 1990 pour prendre effet le 20 décembre 1990.

Remplace les normes enregistrées NF E 11-050 de janvier 1984 et homologuées NF E 11-055 et NF E 11-204 de mai 1986.

correspondance

La présente norme n'est pas en concordance technique avec le projet de norme internationale ISO/DIS 463.

analyse

La présente norme définit complètement le produit-Comparateurs mécaniques à cadran à tige rentrante radiale- puisqu'elle en fixe les caractéristiques de fabrication, les caractéristiques de précision et les méthodes permettant de contrôler ces caractéristiques en qualification, en réception et en vérification périodique.

descripteurs

Thésaurus International Technique : métrologie, instrument de mesure, comparateur à cadran, spécification, caractéristique de fabrication, précision, contrôle de réception, contrôle métrologique, qualification, essai, vérification périodique, marquage.

modifications

Par rapport à la précédente édition :
— regroupement des normes NF E 11-050, NF E 11-055 et NF E 11-204 ;
— prise en compte des comparateurs à grande course ;
— modification des écarts maximaux tolérés ;
— adjonction de l'essai d'endurance ;
— adjonction d'une méthode d'exploitation des résultats d'une vérification.

corrections

éditée et diffusée par l'association française de normalisation (afnor), tour europe cedex 7 92049 paris la défense — tél. : (1) 42 91 55 55

afnor 1990

© afnor 1990

1^{er} tirage 90-12

Membres de la commission de normalisation
chargée de l'élaboration de la présente norme

Président : M PRIEL

Secrétaire : MME KOPLEWICZ — UNMI

M	ACREMAN	M	CREMAN
M	BONJUS	M	CSTB
M	BOUCHAREINE	M	CIMI
M	BOURHIS	M	CHAM
M	BOXBERGER	M	RENAULT AUTOMOBILES
M	BRACHET	M	MFO
M	CAILLET	M	PRECISION MECANIQUE
M	CARPENTIER	M	SULZER
M	CHATAING	M	FIVES CAIL BABCOCK
M	CHEVALIER	M	ETCA
M	CLAUSTRE	M	MIN EDUCATION
M	DENIAU	M	CITROEN CNOMO
M	DESJONQUIERES	M	PHYTRANS
M	DUMESY	M	CHAMBRE SYNDICALE MECANIQUE
M	FAURE	M	DE HAUTE PRECISION
M	GOUDENAND	M	RENAULT AUTOMOBILES
M	HABERT	M	RENAULT AUTOMATION
M	LAFOND	M	CETIM
M	LAVILLE	M	CITROEN
M	MAJOUR	M	CREUSOT LOIRE INDUSTRIE
M	MATEO	M	TRT
M	MICHAUD	M	CITROEN INDUSTRIE
M	MORCEL	M	ROCH
M	MULLER	M	CETIM
M	NOGARET	M	SIAR
M	PREBET	M	MORCEL
M	PRIEL	M	MULLER
M	AFNOR	M	LORRAIN ALSACE QUALITE
M	CECOMEL	M	PEUGEOT
M	DRIR	M	CETIM
M	SCHATZ	M	LNE
M	SUPPLIGEON	M	PRIESTER
M	THERON	M	AFNOR
M	VITRE	M	CECOMEL
M		M	RENAULT
M		M	DRIR
M		M	LNE
M		M	AMD/BA
M		M	LE CALIBRE
M		M	CEMAN

La présente norme fixe les caractéristiques dimensionnelles et qualitatives les plus importantes des comparateurs mécaniques à cadran à tige rentrante radiale, tels que définis au chapitre 4. Elle précise en outre les méthodes de contrôle destinées à vérifier ces caractéristiques pour les opérations de qualification, de réception et de vérification périodique.

2 DOMAINE D'APPLICATION

La présente norme s'applique aux comparateurs mécaniques à cadran dits :
 — à course normale (jusqu'à 10 mm) de valeur d'échelon 1/10 mm, 1/100 mm et 1/1 000 mm ;
 — à grande course de valeur d'échelon 1/10 mm et 1/100 mm ;
 — à faible course de valeur d'échelon \leq 1/1 000 mm ;
 — à course limitée de valeur d'échelon 1/100 mm et au 1/1 000 mm.

3 RÉFÉRENCES

NF E 02-204 Vérification des tolérances des produits — Conditions d'acceptation.
 NF E 10-022 Instruments de mesurage en service — Modèles de fiches de vie.
 NF E 11-200 Instruments de mesurage de longueur en service — Vérification périodique et déclassement :
 — Règles générales,
 NF X 07-001 Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie.

4 DÉFINITIONS

4.1 Comparateur mécanique à cadran, à tige rentrante radiale

Un comparateur mécanique à cadran à tige rentrante radiale est un instrument de comparaison et/ou de mesure dans lequel les déplacements d'un palpeur sont transmis, par un système approprié, à une aiguille se déplaçant devant un cadran gradué en divisions égales. Pour les comparateurs à faible course et à course limitée, le déplacement du palpeur n'est transmis à l'aiguille que dans une zone limitée.

4.2 Erreur de justesse totale

Erreur de justesse déterminée sur la totalité de l'étendue de mesure du comparateur.

4.3 Erreur de justesse locale

Erreur de justesse déterminée sur une zone limitée de l'étendue de mesure du comparateur.

1	OBJET	4
2	DOMAINE D'APPLICATION	4
3	RÉFÉRENCES	4
4	DÉFINITIONS	4
4.1	Comparateur mécanique à cadran, à tige rentrante radiale	4
4.2	Erreur de justesse totale	4
4.3	Erreur de justesse locale	4
5	DÉSIGNATION	5
6	MARQUAGE	5
7	CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION	5
7.1	Nomenclature	5
7.2	Palpeur	7
7.3	Organes de fixation	7
7.4	Cadran	7
7.5	Aiguille	8
7.6	Index mobile	8
7.7	Mise à zéro	9
7.8	Totalisateur	9
7.9	Continuité de l'indication	9
8	CARACTÉRISTIQUES MÉTROLOGIQUES	9
8.1	Limites d'erreurs tolérées	9
8.2	Effort de mesurage	10
9	CARACTÉRISTIQUES A CONTROLER	11
10	MÉTHODES DE CONTRÔLE	12
10.1	Dispositions générales pour les contrôles	12
10.2	Examens préliminaires	12
10.3	Endurance mécanique	12
10.4	Caractéristiques métrologiques	13
11	VÉRIFICATION PÉRIODIQUE	14
11.1	Périodicité de vérification des comparateurs mécaniques	15
11.2	Classes de précision	15
	ANNEXE A — Exploitation des résultats d'un contrôle des erreurs de justesse, de fidélité et d'hystérésis	17

5 DÉSIGNATION

Exemple de désignation d'un comparateur mécanique à cadran au 1/1 000 mm, de course utile 1 mm :
 comparateur mécanique au 1/1 000 — 1 — NF E 11-050
 (préciser éventuellement l'organe de fixation)

Exemple de désignation d'un comparateur mécanique à course limitée au 1/100 mm, de course utile 1 mm :
 comparateur mécanique à course limitée au 1/100 — 1 — NF E 11-050
 (préciser éventuellement l'organe de fixation)

Exemple de désignation d'un comparateur mécanique à grande course au 1/10 mm, de course utile 30 mm :
 comparateur mécanique à grande course au 1/10 — 30 — NF E 11-050
 (préciser éventuellement l'organe de fixation)

6 MARQUAGE

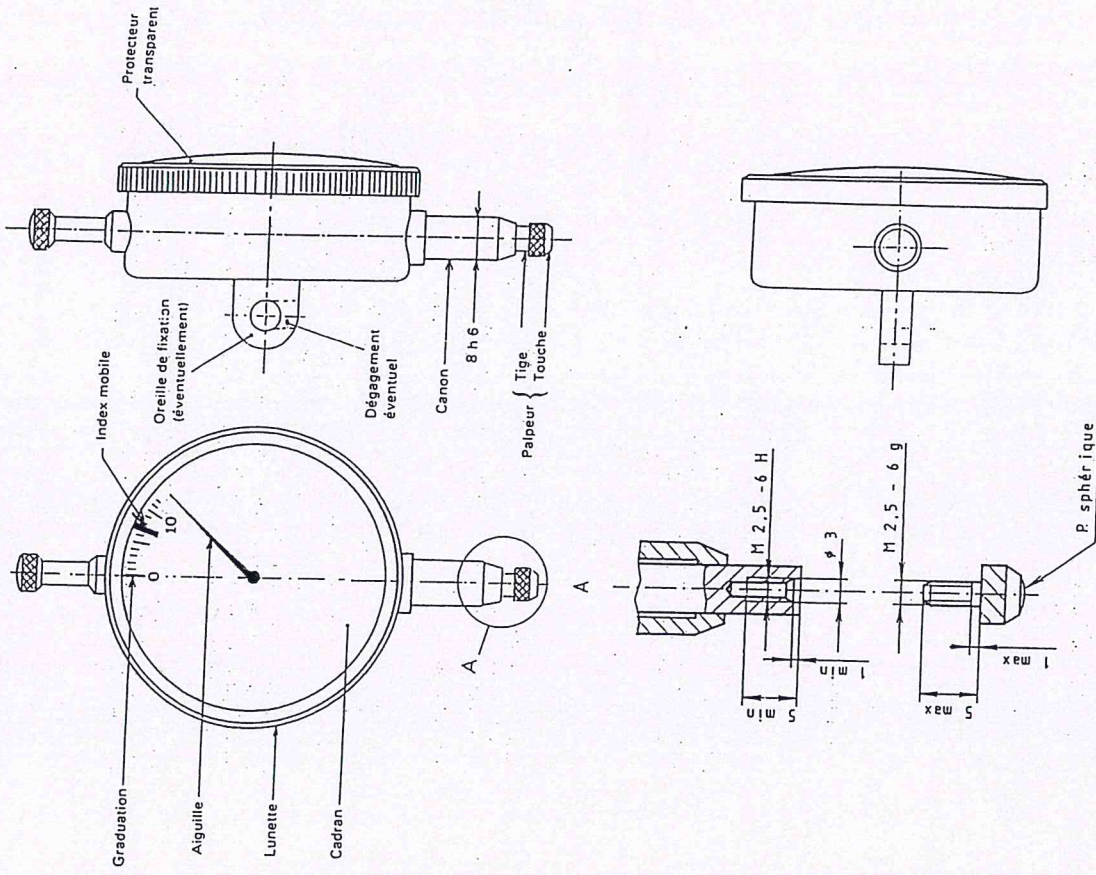
L'instrument doit porter les indications suivantes :

- le nom ou la marque du fabricant ;
- la valeur de l'échelon : (exemple : 0,01 mm) ;
- un numéro d'identification individuel.

7 CARACTÉRISTIQUES DE FABRICATION

7.1 Nomenclature

La nomenclature et les dimensions les plus courantes sont indiquées à la figure 1.



7.7 Mise à zéro

Les comparateurs mécaniques (à l'exception de ceux à faible course) doivent comporter un dispositif de mise à zéro :

- comparateurs à course normale et à grande course : le zéro doit pouvoir être placé en toute position de la circonférence du cadran ;
- comparateurs à course limitée : le zéro doit pouvoir être placé dans une zone située de part et d'autre du point du cadran le plus éloigné de la touche du palpeur, telle que — le palpeur étant au repos ou en fin de course — l'aiguille soit dans la zone non graduée.

7.8 Totalisateur

Les comparateurs mécaniques à course normale et à grande course doivent comporter, sur leur cadran, un dispositif permettant la lecture soit de la distance parcourue par le palpeur (mm), soit du nombre de tours parcourus par l'aiguille.

Quand cette fonction est assurée par la rotation d'une aiguille, il est préférable que celle-ci tourne dans le même sens que celui de l'aiguille principale.

7.9 Continuité de l'indication

Les comparateurs mécaniques doivent être équipés d'un dispositif dit « antichocs », assurant la continuité de l'indication lors du déplacement du palpeur.

8 CARACTÉRISTIQUES MÉTROLOGIQUES

8.1 Limites d'erreurs tolérées

Pour un comparateur mécanique en réception, les erreurs maximales de justesse (totale et locale), de fidélité et d'hystérésis, déterminées comme défini aux paragraphes 10.4.3 à 10.4.5, sont données dans les tableaux 1, 2 et 3, et définissent la classe 0 (voir norme NF E 11-200).

Tableau 1 — Comparateurs à faible course à valeur d'échelon $\leq 1/1\ 000$ mm

Valeur de l'échelon (mm)	Erreur de justesse totale (unités de graduation)	Erreur de fidélité (unités de graduation)	Erreur d'hystérésis (unités de graduation)
$\leq 1/1000$	1,5	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$

Tableau 2 — Comparateurs à course limitée

Valeur de l'échelon (mm)	Erreur de justesse totale (μm)	Erreur de fidélité (μm)	Erreur d'hystérésis (μm)
0,001	2	$\pm 0,5$	$\pm 0,3$
0,01	10	± 3	± 2

Tableau 3 — Comparateurs à course normale et à grande course

Valeur de l'échelon (mm)	Course (mm)	Erreur de justesse (μm)		Erreur de fidélité (μm)	Erreur d'hystérésis (μm)
		totale	locale		
0,001	jusqu'à 1	6	3	$\pm 0,5$	± 1
	jusqu'à 5	10	3	$\pm 0,5$	± 1
	jusqu'à 10	15	10	± 3	± 2
0,01	jusqu'à 10	15	10	± 5	± 5
	jusqu'à 30	20	10	± 10	± 5
	jusqu'à 50	25	10	± 10	± 5
0,1	jusqu'à 100	30	15	± 10	± 10
	jusqu'à 150	150	100	± 30	± 20
	jusqu'à 200	200	150	± 30	± 20

8.2 Effort de mesurage

L'effort de mesurage pour les différents modèles de comparateurs ne doit pas excéder 1,5 N.

La variation maximale de l'effort de mesurage, entre deux points quelconques à l'intérieur de l'échelle de mesure, palpeur rentrant et sortant, doit être inférieure à 0,6 N.

9 CARACTÉRISTIQUES À CONTRÔLER

Le tableau 4 présente — pour les opérations de qualification, de réception et de vérification périodique dans le cas général d'utilisation — les caractéristiques à contrôler et les conditions d'acceptation correspondantes.

Tableau 4

Caractéristiques à contrôler	Qualification	Réception	Vérification périodique	Conditions d'acceptation
Identification (vérification du marquage)	•	•	•	Conforme à la commande ou à la fiche de vie
Examen visuel et tactile	•	•	•	Bon fonctionnement
Dimensions générales	•	•	•	Conforme à la norme (voir annexe A)
Endurance mécanique	•	•	•	Conforme à la norme (voir en 10.3)
Échelles	•	•	•	Conforme à la norme (voir en 10.3)
Justesse totale	•	•	•	Conforme à la norme (voir en 8.1 et 10.4.3)
Justesse locale	•	•	•	Conforme à la norme (voir en 8.1 et 10.4.3)
Fidélité	•	•	•	Conforme à la norme (voir en 8.1 et 10.4.4)
Hystérésis	•	•	•	Conforme à la norme (voir en 8.1 et 10.4.5)
Effort de mesurage	•	•	•	Conforme à la norme (voir en 8.2 et 10.4.6)

Note : le comparateur mécanique à cadran peut être utilisé pour différents types de mesure :

- mesure de déplacement quelconque à l'intérieur de l'étendue de mesure ;
- mesure de petits déplacements sur une étendue de mesure partielle (intérieure au tour) ;
- mesure par la méthode du zéro.

Si l'utilisation du comparateur est connue, il est possible de limiter l'étalonnage aux seules caractéristiques métrologiques indispensables à cette utilisation (par exemple : erreur de fidélité pour une mesure par la méthode du zéro).

10 MÉTHODES DE CONTRÔLE

10.1 Dispositions générales pour les contrôles

Toutes les mesures doivent se rapporter à une température de référence de 20 °C.

10.2 Examens préliminaires

10.2.1 En qualification et en réception

Les opérations consistent à vérifier :

- l'identification (marquage),
- l'étendue de mesure,
- le bon fonctionnement (en particulier, absence de « point dur » et de « gommage » dans le déplacement du palpeur).

10.2.2 En vérification périodique

Les opérations consistent à effectuer :

- un nettoyage extérieur,
- un contrôle de l'état des touches,
- une vérification de bon fonctionnement.

10.3 Endurance mécanique

10.3.1 Principe

Faire subir au comparateur un certain nombre de cycles, en utilisant un dispositif mécanique adapté, n'introduit pas d'efforts radiaux sur le palpeur.

L'essai porte sur la totalité de l'étendue de mesure, sauf accord particulier client fournisseur.

10.3.2 Appareillage

Pour les comparateurs d'étendue de mesure intérieure ou égale à 10 mm, une came de dimension adaptée peut être utilisée (voir figure 4 et tableau 5).

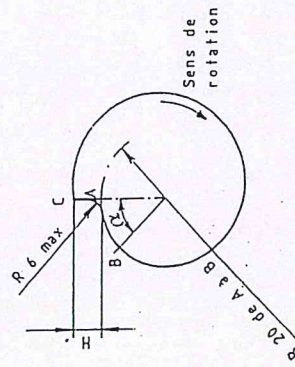


Tableau 5

Étendue de mesurage totale EM (mm)	H (mm)	c (°)
EM < 10	EM - 0,2	30°
EM = 10	EM - 0,2	45°

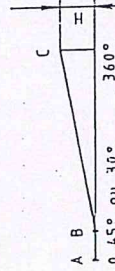


Figure 4

10.3.3 Essai

Pour les comparateurs d'étendue de mesure jusqu'à 10 mm, l'essai est effectué à raison de 60 cycles par minute. Au-delà, la vitesse de déplacement doit être telle que la touche reste toujours en contact avec le dispositif.

L'essai porte sur le nombre de cycles spécifié par le fabricant pour le comparateur considéré. Aucune intervention d'entretien n'est admise pendant l'essai, à l'exception du changement éventuel de la touche du palpeur.

À la fin de l'essai, il est vérifié que toutes les caractéristiques métrologiques du comparateur restent dans les limites spécifiées.

10.4 Caractéristiques métrologiques

10.4.1 Échelles

La largeur et l'espacement des traits sont vérifiés par visée optique (microscope de mesure, loupe graduée, projecteur de profil).

10.4.2 Étalonnage

Le comparateur est placé sur un banc de mesure, la tige du palpeur étant alignée avec l'axe de mesure du banc.

10.4.2.1 Nombre de points relevés

Le nombre minimal de points à relever est de 11, répartis sur l'étendue de mesure, totale ou partielle. Pour les comparateurs dont l'aiguille parcourt plus de 10 tours, les points sont relevés à raison de 1 par tour, de préférence non régulièrement répartis, afin de mettre en évidence des variations cycliques éventuelles.

10.4.2.2 Courbe d'étalonnage

Les relevés sont effectués en chaque point, successivement pour les valeurs strictement croissantes (courbe montante) et décroissantes (courbe descendante) du déplacement du palpeur.

Note : en fin de course montante, le palpeur sera amené dans une position dépassant si possible sa course utile de cinq valeurs d'échelon

Cette opération doit être répétée plusieurs fois afin d'obtenir une incertitude de mesure compatible avec les tolérances.

Note : il est recommandé d'effectuer cinq séries de mesures.

La courbe d'étalonnage est obtenue en portant :

- en abscisses, la position des points à l'intérieur de l'étendue de mesure (totale ou partielle),
- en ordonnées, la différence entre la moyenne des cinq valeurs relevées en chaque point et la valeur conventionnellement vraie correspondante.

Notes 1 : la position de l'appareil pendant l'étalonnage (verticale ou horizontale) peut influencer sur le résultat et doit être indiquée sur le document d'étalonnage.

2 : une méthode permettant de réduire l'incertitude sur la détermination des erreurs, en s'affranchissant en partie de l'erreur de lecture, consiste à amener l'aiguille en coïncidence avec un repère du cadran, la lecture étant faite sur l'indicateur du banc de mesure.

3 : si la courbe d'étalonnage présente de grandes variations, il est recommandé de s'assurer qu'il n'y a pas d'écarts encore plus importants autour des points extrêmes, en effectuant quelques relevés supplémentaires de part et d'autre de ces points.

10.4.3 Erreur de justesse

10.4.3.1 Erreur de justesse totale

Elle est calculée en effectuant la différence algébrique des ordonnées maximale et minimale de la courbe d'étalonnage. Cette différence doit être au plus égale à la valeur correspondante donnée dans les tableaux 1, 2 et 3.

10.4.3.2 Erreur de justesse locale

C'est la plus grande différence des ordonnées de deux points successifs de la courbe d'étalonnage. Cette différence doit être au plus égale à la valeur correspondante donnée dans le tableau 3.

10.4.4 Erreur de fidélité

À chacun des deux points ordonnées extrêmes ayant permis de déterminer l'erreur de justesse totale, effectuer 10 mesures successives dans le même sens.

Pour les comparateurs utilisés en méthode de zéro, effectuer 10 mesures dans le même sens au point zéro retenu.

Pour les comparateurs à course normale et à grande course, l'aiguille doit parcourir au moins un demi-tour entre chaque mesure.

Pour les comparateurs à faible course et à course limitée, l'aiguille doit revenir dans la zone morte entre chaque mesure.

Pour chacune des séries de mesures, l'erreur de fidélité E_f est définie par la formule

$$E_f = V_{max} - V_{moy}$$

où :

V_{moy} est la moyenne des écarts relevés,

V_{max} est l'écart maximal constaté par rapport à V_{moy} .

Toutes les valeurs ainsi calculées doivent rester inférieures aux valeurs correspondantes données dans les tableaux 1, 2 et 3.

10.4.5 Erreur d'hystérésis

À partir de la courbe d'étalonnage, noter la plus grande différence algébrique des ordonnées d'un même point relevées respectivement sur les courses montante et descendante. L'erreur d'hystérésis est la moitié de cette différence.

10.4.6 Effort de mesurage

Cet effort est contrôlé en continu à l'aide d'un ressort étalonné ou d'un dynamomètre.

11 VÉRIFICATION PÉRIODIQUE

La vérification périodique des instruments nécessite la mise en place d'une fonction de repérage et ceci dès que la réception des instruments neufs intervient.

Il est donc important, pour permettre la surveillance régulière de l'instrument, que celui-ci soit immatriculé (identification de l'appareil).

La création d'une fiche de vie permet de suivre l'évolution de l'instrument dans le temps (voir tableaux NF E 10-022).

Éventuellement, l'instrument peut être repéré par une marque de surveillance.

11.1 Périodicité de vérification des comparateurs mécaniques

La périodicité des vérifications doit être déterminée notamment en tenant compte :

- de l'expérience du taux d'usure et de la dérive des caractéristiques dans le temps ;
- de la fréquence d'utilisation ;
- des conditions préjugées d'emploi.

Les périodicités suivantes sont données à titre indicatif :

- usage modéré : 1 an ;
- usage intensif ou permanent : 6 mois.

En outre, un contrôle systématique doit être effectué dès qu'un incident de fonctionnement ou une détérioration est constaté ou présumé.

11.2 Classes de précision

Dans le cadre des comparateurs mécaniques à cadran, les deux classes 0 et 1, définies dans la norme NF E 11-200 sont retenues.

Les limites d'usure pour ces classes sont données dans les tableaux 6, 7 et 8.

Un comparateur ne peut appartenir à l'une des deux classes que si chacune de ses caractéristiques reste dans les limites fixées.

Tout comparateur ayant dépassé les limites d'usure de la classe i sera réformé, soit à titre définitif, soit à titre temporaire. Dans ce cas, il pourra, après réparation, être remis en service sous réserve de pouvoir être reclassé dans l'une des deux classes précédentes.

Note : si les besoins de l'entreprise peuvent permettre l'utilisation d'un comparateur au-delà de la classe i, il convient de définir les autres classes en respectant la règle de déclassement (150 %), sous réserve que l'instrument soit identifié d'une façon propre à l'entreprise.

Tableau 6 — Comparateurs à faible course

Valeur de l'échelon (mm)	Classes	Limites d'usure (unités de graduation)		
		Justesse totale	Fidélité	Hystérésis
≤ 1/1000	0	1,5	± 0,5	± 0,3
	1	2,2	± 0,7	± 0,4

Tableau 7 — Comparateurs à course limitée

Valeur de l'échelon (mm)	Classes	Limites d'usure (µm)		
		Justesse totale	Fidélité	Hystérésis
0,001	0	2	± 0,5	± 0,3
		3	± 0,7	± 0,4
0,01	1	10	± 3	± 2
		15	± 4	± 3

Tableau 8 — Comparateurs à course normale et à grande course

Valeur de l'échelon (mm)	Course (mm)	Classes	Limites d'usure (µm)			
			Justesse totale	Justesse locale	Fidélité	Hystérésis
0,001	jusqu'à 1	0	5	3	± 0,5	± 1
		1	7	4	± 0,7	± 1,5
	jusqu'à 5	0	10	3	± 0,5	± 1
		1	15	4	± 0,7	± 1,5
0,01	jusqu'à 5	0	15	10	± 3	± 3
		1	22	15	± 4	± 4
	jusqu'à 10	0	15	10	± 5	± 5
		1	22	15	± 7	± 7
0,01	jusqu'à 30	0	30	15	± 15	± 7
		1	45	22	± 15	± 15
	jusqu'à 50	0	25	10	± 10	± 5
		1	37	15	± 15	± 7
0,1	jusqu'à 100	0	30	15	± 10	± 10
		1	45	22	± 15	± 15
	jusqu'à 30	0	150	100	± 30	± 30
		1	220	150	± 45	± 45

ANNEXE A

(ne fait pas partie intégrante de la norme)

EXPLOITATION DES RÉSULTATS D'UN CONTRÔLE DES ERREURS DE JUSTESSE, DE FIDÉLITÉ ET D'HYSTÉRÉSIS

Soit un comparateur à course normale de 10 mm, au 1/100 mm, soumis à une vérification périodique. Les mesurages ont donné les résultats suivants :

Points de mesure	Écarts relevés en μm (1) pour les courbes n°					Moyenne (e_H)
	1	2	3	4	5	
Course montante						
1 (0 mm)	0	0	0	0	0	0
2 (0,9 mm)	2	3	2	3	2	2,4
3 (2,1 mm)	2	2	1	3	2	2
4 (3 mm)	3	5	4	3	3	3,6
5 (4,1 mm)	0	1	2	1	1	1
6 (4,8 mm)	0	1	-1	0	1	0,2
7 (6 mm)	-3	-2	-3	-3	-2	-2,6
8 (7,1 mm)	0	1	1	0	0	0,5
9 (7,8 mm)	1	0	1	1	2	1
10 (9 mm)	1	2	3	2	2	2
11 (10 mm)	0	2	1	1	1	1
Course descendante						
1 (0 mm)	1	0	1	1	0	0,6
2 (0,9 mm)	4	3	4	3	2	3,2
3 (2,1 mm)	3	2	3	3	3	2,8
4 (3 mm)	6	5	4	5	5	5
5 (4,1 mm)	2	3	2	2	2	2,2
6 (4,8 mm)	0	1	0	1	1	0,6
7 (6 mm)	-2	-1	-1	-1	-1	-1,2
8 (7,1 mm)	1	1	2	1	1	1,2
9 (7,8 mm)	2	2	3	1	1	1,8
10 (9 mm)	3	2	3	2	2	2,4
11 (10 mm)	1	2	2	1	1	1,4

(1) la valeur la moins valeur conventionnellement vraie.

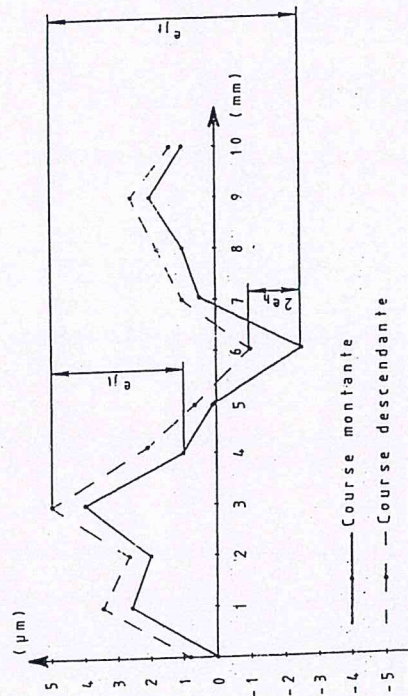


Figure 5

A.1 Erreurs de justesse (e_H et e_H)

L'erreur maximale de justesse totale est constatée entre les points 4 (course descendante) et 7 (course montante) : $e_H = 5 - (-2,6) = 7,6 \mu\text{m}$.

L'erreur maximale de justesse locale est constatée entre les points 4 (course descendante) et 5 (course montante) : $e_H = 5 - 1 = 4 \mu\text{m}$.

A.2 Erreur d'hystérésis (e_H)

L'erreur maximale d'hystérésis est constatée au point 7 : la valeur absolue de la différence d'ordonnées entre les courses montante et descendante est $2,6 - 1,2 = 1,4$; l'erreur d'hystérésis est donc égale à $0,7 \mu\text{m}$.

A.3 Erreur de fidélité (e_f)

Aux points 4 et 7 sont effectués 10 mesurages respectivement dans le sens descendant et montant.

Point n°	Écarts relevés										Moyenne
	6	6	5	4	5	4	7	6	5	3	
4 (3 mm)	6	6	5	4	5	4	7	6	5	3	5,1
7 (6 mm)	-2	-3	-1	-3	-4	-4	-1	-2	-2	-3	-2,4

Écart maximal par rapport à la moyenne :

— pour le point 4 : $V_{\text{max}} - V_{\text{moy}} = 6 - 5,1 = 0,9 \mu\text{m}$,
 — pour le point 7 : $V_{\text{max}} - V_{\text{moy}} = -1 - (-2,4) = 1,4 \mu\text{m}$.

L'erreur maximale de fidélité est donc $\pm 2,1 \mu\text{m}$.

A.4 Calcul de l'erreur intrinsèque (E_i)

L'erreur intrinsèque telle que définie dans la norme NF X 07-001 est l'erreur d'un instrument utilisé dans les conditions de référence. Elle regroupe des erreurs élémentaires (systématique et aléatoire) et est une des données essentielles du calcul de l'incertitude de mesure.

Par convention, l'erreur intrinsèque est définie par la somme quadratique des erreurs élémentaires. Pour un comparateur mécanique, avec e_{jt} et e_j les erreurs de justesse totale et de fidélité à l'intérieur de l'étendue de mesure, l'erreur intrinsèque E_i est telle que :

$$E_i = \sqrt{(e_{jt})^2 + (e_j)^2}$$

Toutefois, pour un mesurage donné, l'erreur sur le résultat peut être réduite en effectuant plusieurs mesures d'une même longueur et en retenant la moyenne car cette procédure permet de s'affranchir d'une partie des erreurs aléatoires.

Dans le cas des comparateurs, si n est le nombre de mesures, l'erreur sur le résultat est :

$$E_i = \sqrt{(e_{jt})^2 + \frac{(e_j)^2}{n}}$$

Pour l'instrument considéré, $e_{jt} = 7,5 \mu\text{m}$ et $e_j = 2,1 \mu\text{m}$.

On trouve alors :

- pour $n = 1$: $E = \pm 7,88 \mu\text{m}$,
- pour $n = 5$: $E = \pm 7,65 \mu\text{m}$,
- pour $n = 10$: $E = \pm 7,63 \mu\text{m}$.

Pour ce comparateur donné, la différence est peu significative car l'erreur de fidélité est relativement faible.

ANNEXE A

(ne fait pas partie intégrante de la norme)

EXPLOITATION DES RÉSULTATS D'UN CONTRÔLE DES ERREURS DE JUSTESSE, DE FIDÉLITÉ ET D'HYSTÉRÉSIS

Soit un comparateur à course normale de 10 mm, au 1/100 mm, soumis à une vérification périodique. Les mesurages ont donné les résultats suivants :

Points de mesure	Écart relevé en μm (1) pour les courbes n°					Moyenne (e_{ij})
	1	2	3	4	5	
Course montante						
1 (0 mm)	0	0	0	0	0	0
2 (0,9 mm)	2	3	2	3	2	2,4
3 (2,1 mm)	2	2	1	3	2	2
4 (3 mm)	3	5	4	3	3	3,6
5 (4,1 mm)	0	1	2	1	1	1
6 (4,8 mm)	0	1	-1	0	1	0,2
7 (6 mm)	-3	-2	-3	-3	-2	-2,6
8 (7,1 mm)	0	1	1	0	0	0,5
9 (7,8 mm)	1	0	1	1	2	1
10 (9 mm)	1	2	3	2	2	2
11 (10 mm)	0	2	1	1	1	1
Course descendante						
1 (0 mm)	1	0	1	1	0	0,6
2 (0,9 mm)	4	3	4	3	2	3,2
3 (2,1 mm)	3	2	3	3	3	2,8
4 (3 mm)	6	5	4	5	5	5
5 (4,1 mm)	2	3	2	2	2	2,2
6 (4,8 mm)	0	1	0	1	1	0,6
7 (6 mm)	-2	-1	-1	-1	-1	-1,2
8 (7,1 mm)	1	1	2	1	1	1,2
9 (7,8 mm)	2	2	3	1	1	1,8
10 (9 mm)	3	2	3	2	2	2,4
11 (10 mm)	1	2	2	1	1	1,4
(1) Valeur la moins valeur conventionnellement vraie.						

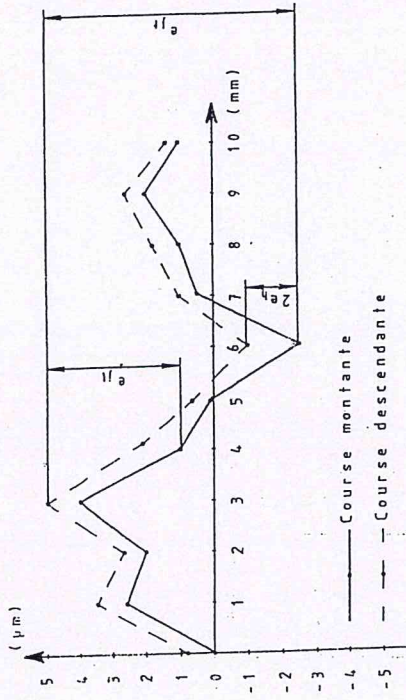


Figure 5

A.1 Erreurs de justesse (e_{ij} et e_{j1})

L'erreur maximale de justesse totale est constatée entre les points 4 (course descendante) et 7 (course montante): $e_{j1} = 5 - (-2,6) = 7,6 \mu\text{m}$.

L'erreur maximale de justesse locale est constatée entre les points 4 (course descendante) et 5 (course montante): $e_{ij} = 5 - 1 = 4 \mu\text{m}$.

A.2 Erreur d'hystérésis (e_h)

L'erreur maximale d'hystérésis est constatée au point 7: la valeur absolue de la différence d'ordonnées entre les courses montante et descendante est $2,6 - 1,2 = 1,4$; l'erreur d'hystérésis est donc égale à $\pm 0,7 \mu\text{m}$.

A.3 Erreur de fidélité (e_f)

Aux points 4 et 7 sont effectués 10 mesurages respectivement dans le sens descendant et montant.

Point n°	Écart relevé							Moyenne
	4 (3 mm)	6	5	4	5	4	7	
4 (3 mm)	6	6	5	4	5	4	7	5,1
7 (6 mm)	-2	-3	-1	-3	-4	-2	-1	-2,4

Écart maximal par rapport à la moyenne :

— pour le point 4 : $V_{\text{max}} - V_{\text{moy}} = 3 - 5,1 = -2,1 \mu\text{m}$,

— pour le point 7 : $V_{\text{max}} - V_{\text{moy}} = -4 - (-2,4) = -1,6 \mu\text{m}$.

L'erreur maximale de fidélité est donc $\pm 2,1 \mu\text{m}$.