

ORGANISATION INTERNATIONALE  
DE MÉTROLOGIE LÉGALE

---



RECOMMANDATION INTERNATIONALE

---

Manomètres à piston

Pressure balances

OIML R 110

Édition 1994 (F)

## SOMMAIRE

Avant-propos .....	3
1    Domaine d'application .....	4
2    Terminologie .....	4
3    Description de l'instrument .....	6
4    Exigences métrologiques .....	7
5    Exigences techniques .....	11
6    Contrôles métrologiques .....	13
Annexe A Méthodes d'essais .....	15
Annexe B Calcul de la masse exigée des poids .....	23
Annexe C Détermination du coefficient de déformation de l'ensemble piston-cylindre en fonction de la pression .....	24
Annexe D Format du rapport d'essai .....	27

## AVANT-PROPOS

L'Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) est une organisation intergouvernementale mondiale dont l'objectif premier est d'harmoniser les réglementations et les contrôles métrologiques appliqués par les services nationaux de métrologie, ou organismes apparentés, de ses États Membres.

Les deux principales catégories de publications OIML sont:

- 1) les **Recommandations Internationales (OIML R)**, qui sont des modèles de réglementations fixant les caractéristiques métrologiques d'instruments de mesure et les méthodes et moyens de contrôle de leur conformité; les États Membres de l'OIML doivent mettre ces Recommandations en application dans toute la mesure du possible;
- 2) les **Documents Internationaux (OIML D)**, qui sont de nature informative et destinés à améliorer l'activité des services de métrologie.

Les projets de Recommandations et Documents OIML sont élaborés par des comités techniques ou sous-comités composés d'États Membres. Certaines institutions internationales et régionales y participent aussi sur une base consultative.

Des accords de coopération ont été conclus entre l'OIML et certaines institutions, comme l'ISO et la CEI, pour éviter des prescriptions contradictoires; en conséquence les fabricants et utilisateurs d'instruments de mesure, les laboratoires d'essais, etc. peuvent appliquer simultanément les publications OIML et celles d'autres institutions.

Les Recommandations Internationales et Documents Internationaux sont publiés en français (F) et en anglais (E) et sont périodiquement soumis à révision.

Les publications de l'OIML peuvent être obtenues au siège de l'Organisation:

Bureau International de Métrologie Légale  
11, rue Turgot - 75009 Paris - France  
Téléphone: 33 (1) 48 78 12 82 et 42 85 27 11  
Télécopie: 33 (1) 42 82 17 27

\*  
\* \*

La présente publication – référence OIML R 110, édition 1994 (F) – a été élaborée par le sous-comité OIML TC 10/SC 1 "*Balances manométriques*". Elle a été approuvée par le Comité International de Métrologie Légale en 1993 pour publication définitive et sera présentée à la sanction formelle de la Conférence Internationale de Métrologie Légale en 1996.

# MANOMÈTRES À PISTON

## 1 Domaine d'application

La présente Recommandation s'applique aux manomètres à piston équipés d'un ensemble piston-cylindre simple ou à contre-pression, à charge directe, et utilisés pour le mesurage de la pression relative dans l'étendue de 0,1 MPa à 500 MPa. La présente Recommandation spécifie les exigences métrologiques et techniques qui s'appliquent à ces instruments, leurs méthodes d'essai, et le format du rapport d'essai. Elle s'applique également à l'ajustement des poids utilisés avec les manomètres à piston ainsi qu'à l'étalonnage des manomètres à piston dans les cas où une exactitude supérieure est exigée.

La présente Recommandation ne s'applique ni aux manomètres à piston comportant un multiplicateur hydraulique, ni aux manomètres à piston indicateurs, ni aux manomètres à piston dont le piston est chargé au moyen d'un mécanisme à levier, ni aux manomètres à piston à jeu contrôlé, ni aux manomètres à piston à équilibrage électromagnétique. Elle ne s'applique pas non plus aux instruments mesurant la pression absolue.

## 2 Terminologie

La terminologie utilisée dans la présente Recommandation correspond au "Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie" (édition 1993) et au "Vocabulaire de métrologie légale" (édition 1978). De plus, pour les besoins de la présente Recommandation, les termes et définitions suivants s'appliquent.

### 2.1 Caractéristiques métrologiques des instruments

#### 2.1.1 Étendue de mesure

Étendue des pressions mesurées par le manomètre à piston.

##### 2.1.1.1 Limite supérieure de l'étendue de mesure ( $P_{\max}$ )

Pression maximale pouvant être mesurée.

##### 2.1.1.2 Limite inférieure de l'étendue de mesure ( $P_{\min}$ )

Pression minimale pouvant être mesurée.

##### 2.1.1.3 Équation de conversion

Équation exprimant la relation entre la pression générée et la masse des poids utilisés, en tenant compte des autres grandeurs d'entrée.

#### 2.1.2 Section efficace

Aire déterminée pour l'ensemble piston-cylindre et utilisée dans l'équation de conversion pour le calcul de la pression mesurée.

#### 2.1.3 Course de travail du piston

Course du piston pour laquelle le manomètre à piston maintient ses caractéristiques métrologiques.

- 2.1.4 Vitesse de descente du piston  
Vitesse de descente du piston à sa position de travail et dans les conditions assignées de fonctionnement spécifiées pour l'instrument.
- 2.1.5 Durée de rotation libre du piston  
Intervalle de temps pendant lequel le piston tourne librement, à partir d'une vitesse de rotation spécifiée, jusqu'à l'arrêt de la rotation.
- 2.2 Qualités métrologiques des instruments
  - 2.2.1 Seuil de mobilité  
Plus petite variation de pression mesurée qui provoque une variation perceptible de la réponse du manomètre à piston.
  - 2.2.2 Répétabilité du manomètre à piston  
Aptitude du manomètre à indiquer des résultats identiques de la pression mesurée lors de l'application d'une même charge à plusieurs reprises, dans les mêmes conditions de mesure.
- 2.3 Méthodes d'indication de la pression
  - 2.3.1 Indication par addition des valeurs de pression  
Indication obtenue en additionnant les valeurs de pression marquées sur les poids empilés.
  - 2.3.2 Indication par addition des valeurs de masses et par calcul  
Indication obtenue en additionnant les valeurs de masses des poids empilés et en calculant la valeur de pression mesurée correspondante.
- 2.4 Termes généraux du mesurage de la pression
  - 2.4.1 Valeur vraie de la pression  
Valeur de la pression parfaitement compatible avec la définition de la pression.
  - 2.4.2 Valeur conventionnellement vraie de la pression  
Valeur de la pression considérée comme suffisamment proche de sa valeur vraie pour pouvoir être substituée à la valeur vraie lors de la détermination des erreurs.
  - 2.4.3 Incertitude sur la mesure de la pression  
Paramètre associé au résultat d'un mesurage de la pression, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées à la pression mesurée.
  - 2.4.4 Erreur de mesure de la pression  
Résultat de mesure de la pression moins valeur conventionnellement vraie de la pression mesurée.
  - 2.4.5 Erreurs maximales tolérées  
Valeur maximale de la différence, en plus ou en moins, autorisée par la réglementation, entre l'indication d'un manomètre à piston et la valeur vraie (conventionnelle) correspondante de la pression mesurée.

- 2.4.6 Classe d'exactitude  
Classe de manomètres à piston qui satisfont à certaines exigences métrologiques destinées à conserver les erreurs dans des limites spécifiées.
- 2.4.7 Étalonnage  
Ensemble des opérations qui établissent, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de pression indiquées par le manomètre à piston et les valeurs de pression correspondantes réalisées par l'étalon de référence.
- 2.4.8 Sensibilité croisée  
Lors de l'essai d'un manomètre à piston par comparaison avec un manomètre à piston étalon, la variation minimale de charge qui provoque une variation perceptible de l'état d'équilibre du manomètre à piston à l'essai et de l'étalon.
- 2.5 Conditions générales
  - 2.5.1 Conditions assignées de fonctionnement  
Conditions d'utilisation du manomètre à piston pour lesquelles ses caractéristiques métrologiques sont supposées respecter les exigences sur les erreurs maximales tolérées.
  - 2.5.2 Conditions de référence  
Conditions d'utilisation prescrites pour les essais de performance d'un manomètre à piston ou pour l'intercomparaison de résultats de mesures.
- 2.6 Niveaux de référence
  - 2.6.1 Position de travail du piston  
Position du piston par rapport à une partie clairement définie de la colonne support ou à la base du manomètre à piston.
  - 2.6.2 Niveau de référence de pression  
Niveau vertical, par rapport à une partie clairement définie de la colonne support ou à la base du manomètre à piston, auquel se rapporte la pression mesurée lorsque le piston est dans une position de travail spécifiée.

### 3 Description de l'instrument

- 3.1 Généralités
  - 3.1.1 Un manomètre à piston est un instrument de mesure servant à mesurer la pression d'un milieu en utilisant le principe d'équilibre entre la force produite par la pression mesurée sur une surface connue et la force gravitationnelle produite par une charge de poids connue, au moyen d'un ensemble piston-cylindre.
  - 3.1.2 Dans un manomètre à piston à charge directe, les poids d'équilibrage sont directement appliqués sur le piston.
  - 3.1.3 Dans un manomètre à piston équipé d'un ensemble piston-cylindre simple, le système de mesure consiste en un piston cylindrique et un cylindre simple, la pression atmosphérique agissant sur la surface extérieure du cylindre.
  - 3.1.4 Dans un manomètre à piston équipé d'un ensemble piston-cylindre à contre-pression, la pression mesurée agit sur une partie de la surface extérieure du cylindre.

3.1.5 Dans un manomètre à piston à cylindre à jeu contrôlé, une pression réglée indépendamment agit sur la surface extérieure du cylindre ou sur une partie de celle-ci.

### 3.2 Parties principales

3.2.1 L'ensemble piston-cylindre est constitué d'un piston de forme cylindrique emmanché dans un cylindre. Un dispositif d'empilage des poids peut être placé à l'extrémité libre de ce piston.

3.2.2 Le support de l'ensemble piston-cylindre est la partie de l'instrument sur laquelle l'ensemble piston-cylindre est fixé et scellé.

3.2.3 Le châssis ou la base de l'instrument assure la stabilité de l'ensemble piston-cylindre et sa position verticale à l'aide d'un dispositif de mise à niveau. Elle sert aussi à fixer d'autres parties auxiliaires du manomètre, par exemple les tubulures sous pression, la presse, les soupapes, etc.

### 3.3 Composants auxiliaires

3.3.1 La presse est un dispositif ne faisant pas nécessairement partie du manomètre à piston lui-même, qui sert à la production et au réglage de la pression mesurée en modifiant le volume; d'habitude, ce dispositif consiste en un piston emmanché dans un cylindre.

3.3.2 Les conduites sont des tubulures qui connectent les différentes parties du système de pression de l'instrument et sont pourvues d'une ou de plusieurs soupapes.

3.3.3 Les poids de charge consistent en un jeu de disques en gradation adéquate pour le mesurage des valeurs de pression exigées.

### 3.4 Unité de mesure

L'unité de mesure à utiliser sur les manomètres est le pascal (Pa). Les fabricants doivent fournir les facteurs de conversion si d'autres unités sont utilisées.

## 4 Exigences métrologiques

### 4.1 Etendue de mesure

Il convient que la limite supérieure de l'étendue de mesure d'un manomètre à piston,  $P_{\max}$ , soit choisie dans l'une des séries suivantes:

- $1 \times 10^n$ ;  $1,6 \times 10^n$ ;  $2,5 \times 10^n$ ;  $4 \times 10^n$ ;  $6 \times 10^n$  (MPa)
- $1 \times 10^n$ ;  $2 \times 10^n$ ;  $5 \times 10^n$  (MPa)

où  $n$  est un nombre entier positif ou négatif, ou zéro.

### 4.2 Division de l'étendue de mesure

Pour l'application des erreurs maximales tolérées, l'étendue de mesure d'un manomètre à piston avec  $P_{\min} < 0,1 P_{\max}$  est divisée en deux parties:

- l'étendue de mesure principale de  $0,1 P_{\max}$  à  $P_{\max}$ , et
- l'étendue de mesure complémentaire de  $P_{\min}$  à  $0,1 P_{\max}$ .

Pour les manomètres à piston avec  $P_{\min} \geq 0,1 P_{\max}$ , il n'y a qu'une étendue de mesure principale de  $P_{\min}$  à  $P_{\max}$ .

### 4.3 Classes d'exactitude

Les manomètres à piston sont répartis dans les classes d'exactitude suivantes:

0,005 0,01 0,02 0,05 0,1 0,2

Des manomètres à piston de classes d'exactitude supérieures pourront être développés à l'avenir.

La classe d'exactitude d'un manomètre à piston doit être déterminée par étalonnage.

### 4.4 Erreurs maximales tolérées

Les erreurs maximales tolérées des manomètres à piston sont les mêmes pour l'essai de modèle et les vérifications primitives et ultérieures.

Les erreurs maximales tolérées des manomètres à piston dans les conditions de référence, c'est-à-dire à la température de  $22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$  et pour la valeur normale de l'accélération due à la pesanteur ( $9,80665\text{ m/s}^2$ ), sont données au Tableau 1 en fonction des différentes classes d'exactitude. Elles sont exprimées en pourcentage de la pression mesurée dans l'étendue de mesure principale, et en pourcentage de la limite inférieure de l'étendue de mesure principale ( $0,1 P_{\max}$ ) dans l'étendue de mesure complémentaire, si elle existe.

Tableau 1

Classe d'exactitude	Erreurs maximales tolérées	
	Dans l'étendue de mesure principale (en % de la pression mesurée)	Dans l'étendue de mesure complémentaire, si elle existe (en % de $0,1 P_{\max}$ )
0,005	0,005	0,005
0,01	0,01	0,01
0,02	0,02	0,02
0,05	0,05	0,05
0,1	0,1	0,1
0,2	0,2	0,2

### 4.5 Incertitude des manomètres à piston

L'incertitude d'un manomètre à piston doit être calculée sur la base de l'évaluation des incertitudes individuelles des grandeurs mesurées et de celles des grandeurs prédéterminées qui servent à calculer le résultat de mesure.

#### 4.5.1 Incertitudes individuelles

Les incertitudes relatives aux grandeurs mesurées et prédéterminées peuvent être divisées dans les groupes suivants:

- a) incertitude de détermination de la section efficace (donnée par l'incertitude du manomètre à piston étalon utilisé et par certaines incertitudes partielles relatives à la méthode) qui inclut:
  - l'incertitude sur le coefficient de déformation de l'ensemble piston-cylindre,
  - l'incertitude due à l'influence de la température (incertitude de mesure de la température de l'ensemble, détermination du coefficient de dilatation thermique du matériau de l'ensemble);



- b) incertitude sur les masses des poids (détermination des masses et leur ajustage, s'il est effectué);
- c) incertitudes résultant d'autres grandeurs d'influence:
- détermination de l'accélération de la pesanteur,
  - écart du piston par rapport à la verticale,
  - détermination de la différence des niveaux de référence,
  - détermination de la masse volumique du fluide de pression,
  - sensibilité croisée.

#### 4.5.2 Incertitudes résultant d'autres grandeurs d'influence

Les incertitudes données en 4.5.1 (c) ne sont pas habituellement évaluées par essai. Les instructions et constantes données dans le manuel d'utilisation du manomètre à piston doivent être présentées de façon à ce que l'effet global de ces incertitudes puisse être maintenu au niveau pratique minimal, par exemple à moins de 10 % de l'incertitude totale (voir 4.5.3).

#### 4.5.3 Incertitude totale du manomètre à piston

Chacun de ces groupes d'incertitudes doit être évalué individuellement.

La racine carrée de la somme des carrés de toutes les incertitudes, déterminées conformément à A.5.8 et après application de toutes les corrections, ne doit pas dépasser la moitié de l'erreur maximale tolérée du manomètre spécifiée en 4.4.

Note: Il est recommandé que les valeurs des différents groupes d'incertitudes, exprimées en pourcentage de l'incertitude totale, suivent la distribution:

- 4.5.1 (a): 50 %
- 4.5.1 (b): 40 %
- 4.5.1 (c): 10 %

#### 4.6 Durée de rotation libre du piston

La durée de rotation libre du piston doit être conforme aux spécifications du fabricant. En l'absence de spécification, la durée de rotation libre du piston ne doit pas être inférieure aux valeurs indiquées au Tableau 2 dans les conditions définies en A.5.1.1.

Tableau 2

Limite supérieure de l'étendue de mesure (MPa)	Durée de rotation (min) pour les classes d'exactitude					
	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2
de 0,1 à 6 inclus	4	4	3	2	2	2
de 6 à 500 inclus	6	6	5	3	3	3

Note: Un manomètre à piston dont la rotation du piston est assurée par un moteur doit satisfaire à ces exigences avec le moteur arrêté et déconnecté.

#### 4.7 Vitesse de descente du piston

La vitesse de descente du piston doit être conforme aux spécifications du fabricant. En l'absence de spécification, la vitesse de descente du piston ne doit pas dépasser les valeurs indiquées au Tableau 3 dans les conditions définies en A.5.2.2.

Tableau 3

Type de fluide de pression	Limite supérieure de l'étendue de mesure (MPa)	Vitesse maximale de descente du piston (mm/min) pour les classes d'exactitude					
		0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2
gaz	0,1 à 1 inclus	1	1	1	2	2	–
gaz	plus de 1	2	2	2	3	3	–
liquide	0,6 à 6 inclus	0,4	0,4	0,4	1	2	3
liquide	de 6 à 500 inclus	1,5	1,5	1,5	1,5	3	3

#### 4.8 Ajustage de la masse des poids

Si possible, les poids des manomètres à piston neufs doivent être ajustés par le fabricant pour utilisation dans des conditions particulières. La différence entre les valeurs de ces poids et les valeurs obtenues par calcul (Annexe B) ne doit pas être supérieure aux valeurs indiquées au Tableau 4. Dans le cas de manomètres à piston d'exactitude supérieure, il n'est pas nécessaire d'ajuster les poids suivant le Tableau 4 si leur masse vraie est utilisée pour le calcul de la pression mesurée.

Tableau 4

Classe d'exactitude	Erreurs maximales tolérées (valeurs relatives) pour l'ajustage de la masse des poids
0,005	$0,5 \times 10^{-5}$
0,01	$1,5 \times 10^{-5}$
0,02	$1,5 \times 10^{-5}$
0,05	$5 \times 10^{-5}$
0,1	$16 \times 10^{-5}$
0,2	$16 \times 10^{-5}$

#### 4.9 Calcul de la pression (indication du manomètre à piston)

La pression mesurée est calculée selon l'équation de conversion indiquée dans les instructions du manuel d'utilisation ou est déterminée par sommation des valeurs de pression indiquées sur les poids utilisés. Si l'équation de conversion est utilisée, les incertitudes des données utilisées dans le calcul doivent être telles que l'incertitude totale ne dépasse pas la moitié de l'erreur maximale tolérée du manomètre à piston.

#### 4.10 Seuil de mobilité

La valeur du seuil de mobilité d'un manomètre à piston, mesurée à une pression égale à la limite inférieure de l'étendue de mesure principale, ne doit pas dépasser 10 % de l'erreur maximale tolérée indiquée en 4.4.

## 5 Exigences techniques

### 5.1 Exigences concernant le milieu ambiant

Les manomètres à piston sont habituellement destinés à une utilisation dans les conditions ambiantes suivantes:

- température comprise entre + 15 °C et + 30 °C,
- humidité relative de l'air de 80 % au maximum.

Le fabricant peut spécifier des conditions ambiantes différentes pour l'utilisation des manomètres à piston.

### 5.2 Etat du manomètre à piston

Un manomètre à piston ne doit pas présenter de traces de corrosion ou de détérioration susceptibles d'influencer ses caractéristiques métrologiques.

### 5.3 Dispositif permettant l'observation et la détermination du niveau du piston

Un manomètre à piston doit comporter un dispositif permettant d'observer et de déterminer le niveau du piston lors des mesures, dans l'étendue de sa course de travail. La sensibilité de ce dispositif doit permettre de détecter toute variation de position du piston correspondant à une variation de pression égale à 10 % de l'erreur maximale tolérée du manomètre à piston à la limite inférieure de l'étendue de mesure principale, comme spécifiée en 4.4.

### 5.4 Dispositif indicateur de niveau

Un manomètre à piston doit être pourvu d'un dispositif permettant le réglage de la verticalité de l'axe de l'ensemble piston-cylindre et indiquant que celle-ci est atteinte avec un écart maximal toléré égal à 5 arcminutes.

### 5.5 Positions réciproques de la face de chargement du dispositif d'empilage des poids et du piston

Si la face de chargement du dispositif d'empilage des poids est fixée au piston, elle doit être perpendiculaire à l'axe du piston de telle manière que la composante de l'incertitude due à l'écart de verticalité ne dépasse pas les exigences données en 5.4.

### 5.6 Exigences relatives aux poids

#### 5.6.1 Masse totale des poids

La masse totale des poids livrés avec le manomètre à piston doit permettre d'atteindre la limite supérieure de l'étendue de mesure.

#### 5.6.2 Gradation des poids

Il convient que les masses des poids correspondent aux valeurs nominales de pression de la série  $(1, 2, 5) \times 10^n$  unités de pression, où  $n$  est un nombre entier. Pour des cas spéciaux (en particulier, voir 5.6.3 et 5.6.4) d'autres valeurs peuvent être utilisées.

#### 5.6.3 Masse du premier poids

Il n'est pas nécessaire que la masse du premier poids, nécessaire pour obtenir la pression correspondant à la limite inférieure de l'étendue de mesure, produise une pression correspondant à une valeur comme spécifié en 5.6.2.

#### 5.6.4 Poids des manomètres à piston d'exactitude supérieure

Aucune restriction ne doit être imposée pour les valeurs des poids des manomètres à piston des classes d'exactitude 0,005, 0,01 et 0,02, utilisés habituellement à des fins spéciales ou d'étalonnage.

#### 5.6.5 Forme et dimensions des poids de même masse

Il convient que les poids de masses nominales égales appartenant au même manomètre à piston aient des formes et dimensions identiques.

#### 5.6.6 Empilage des poids

Il convient que les poids du manomètre à piston soient empilés sur le dispositif d'empilage en alignement avec l'axe de rotation et d'une manière qui facilite leur chargement et déchargement.

#### 5.6.7 Matériaux des poids

Il convient que les poids soient fabriqués avec des matériaux résistant à l'abrasion et à la corrosion, ou soient pourvus d'une couche protectrice assurant la stabilité de la masse lors de leur utilisation. La stabilité doit être telle que la variation de masse dans les conditions normales d'utilisation soit négligeable par rapport aux erreurs maximales tolérées. Les poids des manomètres à piston des classes 0,005, 0,01 et 0,02 doivent être fabriqués en matériaux amagnétiques.

#### 5.7 Matériaux de l'ensemble piston-cylindre

Les matériaux avec lesquels l'ensemble piston-cylindre est fabriqué doivent satisfaire aux exigences relatives aux matériaux des poids et doivent également avoir une stabilité de forme et de volume assurant la stabilité à long terme de la section efficace du manomètre à piston. Il convient que le fabricant fournisse des informations concernant la stabilité et les qualités des matériaux utilisés.

#### 5.8 Étanchéité du système de pression d'un manomètre à piston

L'étanchéité doit être essayée par la mesure de la vitesse de descente du piston qui doit satisfaire aux exigences de 4.7.

#### 5.9 Inscriptions

##### 5.9.1 Un manomètre à piston doit porter les indications suivantes:

- nom ou marque du fabricant,
- numéro de série et de modèle,
- année de fabrication,
- classe d'exactitude,
- étendue(s) de mesure de pression, et
- numéro d'approbation de modèle, si exigé par les réglementations nationales.

##### 5.9.2 Chaque partie de l'ensemble piston-cylindre, c'est-à-dire le cylindre, le piston ou le dispositif d'empilage des poids si celui-ci est fixé au piston, doit porter ou être accompagnée des indications suivantes:

- numéro de série (identification) ou marque unique, et
- valeur nominale de la pression générée par l'ensemble dans les conditions normales, si la masse du piston et celle du dispositif d'empilage sont ajustées.

5.9.3 Chaque poids d'un manomètre à piston doit porter les indications suivantes:

- numéro de série (identification) ou marque unique du jeu,
- numéro d'identification de chaque poids, si les masses des poids sont ajustées pour un ensemble piston-cylindre déterminé,
- pression nominale en MPa (kPa) générée par le poids pour la valeur normale de l'accélération due à la pesanteur, ou masse nominale du poids.

5.10 Documentation d'un manomètre à piston

5.10.1 Le manuel d'utilisation des manomètres doit comporter:

- a) des instructions détaillées pour le transport, le stockage, le montage, l'utilisation et l'entretien, ainsi qu'une méthode pour contrôler si la magnétisation de l'ensemble piston-cylindre n'est pas significative et, si nécessaire, une méthode de démagnétisation de ses composants; et
- b) la relation mathématique utilisée pour le calcul de la pression en fonction des valeurs des poids utilisés, de la température, de l'accélération locale de la pesanteur, etc.

5.10.2 Un certificat d'étalonnage qui doit comporter les indications suivantes, en plus des données et des résultats d'essais indiqués à l'Annexe D:

- a) la relation mathématique utilisée pour le calcul de la pression lors de l'étalonnage; et
- b) l'incertitude totale du manomètre à piston dans les conditions de référence.

## 6 Contrôles métrologiques

6.1 Approbation de modèle

6.1.1 En fonction des législations nationales, l'approbation de modèle des manomètres à piston soumis aux contrôles métrologiques doit être délivrée après des examens et essais effectués par un laboratoire autorisé. Les essais d'approbation de modèle doivent être réalisés sur au plus trois échantillons du modèle, présentés par le fabricant, son représentant, ou son distributeur.

6.1.2 Le demandeur doit fournir, avec chaque échantillon du manomètre à piston présenté à l'approbation de modèle, la documentation exigée en 5.10. En outre, les informations suivantes doivent être fournies:

- dessins d'ensemble de l'instrument et d'autres parties importantes du point de vue métrologique, et spécifications relatives aux types de matériaux utilisés pour la construction de l'ensemble piston-cylindre, avec les constantes physiques applicables,
- brève description du fonctionnement du manomètre à piston,
- brève description technique des méthodes de mesure et d'essai utilisées lors de la fabrication et spécification de la procédure de calcul de la section efficace, des valeurs de pression et de tout coefficient de correction,
- toutes autres informations qui démontreraient que l'échantillon satisfait aux exigences.

6.1.3 Le manuel d'utilisation de l'instrument doit être examiné et reconnu complet. L'instrument doit être inspecté visuellement pour s'assurer qu'il satisfait aux exigences de 5.2.

6.1.4 Le laboratoire autorisé doit effectuer les essais conformément à l'Annexe A ou peut accepter les données d'essai du fabricant confirmant les performances acceptables de l'instrument:

- sensibilité du dispositif d'observation de la position du piston (5.3),
- alignement de l'axe du piston avec la force de pesanteur locale (5.4 et A.4.1, A.4.3),
- perpendicularité de l'axe du piston par rapport à la face d'appui du dispositif d'empilage des poids (5.5 et A.4.4),
- étanchéité de l'instrument (5.8 et A.4.5),
- durée de rotation libre du piston (4.6 et A.5.1),
- vitesse de descente du piston (4.7 et A.5.2),
- seuil de mobilité (4.10 et A.5.3),
- détermination des masses du piston et des poids (4.8, 5.6, A.5.6 et Annexe B),
- détermination de la section efficace (A.5.5),
- essai des masses du piston avec le dispositif d'empilage des poids et essai d'autres poids (A.5.4, A.5.6, et Annexe B),
- coefficient de déformation à la pression (A.5.7 et Annexe C),
- incertitude totale du manomètre à piston (4.5 et A.5.8).

6.1.5 Il convient que les résultats des essais réalisés lors de l'approbation de modèle soient présentés suivant le format indiqué à l'Annexe D.

6.1.6 Si les examens et essais sont concluants, un certificat d'approbation de modèle doit être délivré au demandeur comme spécifié dans les réglementations nationales.

## 6.2 Vérifications primitive et ultérieures

6.2.1 Conformément aux réglementations nationales, il convient que les vérifications primitive et ultérieures des manomètres à piston ne soient effectuées que dans un laboratoire autorisé et pour des manomètres à piston fabriqués selon le modèle approuvé.

6.2.2 Les manomètres à piston présentés à la vérification doivent satisfaire aux mêmes exigences que pour l'essai de modèle.

6.2.3 Les manomètres à piston qui satisfont aux exigences de la vérification peuvent obtenir une marque de vérification ou un certificat. Ce certificat doit comporter les mêmes informations que celles spécifiées pour l'approbation de modèle.

6.2.4 Si un manomètre à piston n'a pas satisfait aux exigences de la classe d'exactitude pour laquelle il a été soumis, mais s'il satisfait aux exigences d'une classe d'exactitude inférieure, un certificat de vérification pour la classe d'exactitude inférieure peut être délivré si le demandeur en fait la requête.

ANNEXE A  
MÉTHODES D'ESSAIS  
(Obligatoire)

### A.1 Équipement d'essai

L'équipement d'essai suivant est utilisé:

- un manomètre à piston étalon d'une étendue de mesure et d'une classe d'exactitude appropriées, selon A.5.5.2.1,
- une balance étalon avec masses associées, ou des poids fournis par le demandeur, pour déterminer les masses des poids de l'instrument et de son piston avec dispositif d'empilage, avec une erreur maximale tolérée comme spécifié en 4.8,
- des équipements auxiliaires tels que niveau, thermomètre, indicateur de position, etc.

Note 1: Une balance étalon n'est pas nécessaire si le demandeur présente un certificat d'étalonnage des poids de l'instrument et de son piston avec dispositif d'empilage, délivré par un laboratoire autorisé.

Note 2: Dans des cas spéciaux, des manomètres étalons autres que des manomètres à piston peuvent être utilisés lors de l'essai d'un manomètre à piston, mais les méthodes d'essai utilisant de tels manomètres étalons ne sont pas l'objet de la présente Recommandation.

### A.2 Conditions d'essai et de référence

L'essai doit être effectué dans des laboratoires dont l'air est conditionné dans les conditions suivantes:

- température ambiante:  $22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ ; humidité relative:  $60\% \pm 20\%$ ,
- stabilité de la température ambiante autour de l'instrument lors de l'essai meilleure que  $1\text{ °C}$  par heure,
- vitesse de circulation de l'air inférieure à  $1\text{ m/s}$ ,
- installation dans le laboratoire du manomètre à piston et de l'équipement d'essai au moins 6 heures avant l'essai,
- manomètre à piston mis à niveau suivant les indications du manuel d'utilisation fourni par le fabricant,
- température du manomètre à piston mesurée avec un thermomètre approprié avec une incertitude de  $0,1\text{ °C}$ .

Les conditions de référence sont:

- température:  $22\text{ °C} \pm 3\text{ °C}$ ,
  - accélération normale de la pesanteur ( $9,80665\text{ m/s}^2$ ),
- et le rapport d'essai doit être établi pour ces conditions de référence.

### A.3 Examen administratif externe

#### A.3.1 Documentation

Contrôler la documentation soumise, y compris le manuel d'utilisation, pour déterminer si celle-ci est complète.

#### A.3.2 Documentation relative à la construction (exclusivement pour l'approbation de modèle)

Contrôler la documentation relative à la construction pour s'assurer qu'elle décrit de manière adéquate l'(les) échantillon(s) du modèle de manomètre à piston.

### A.3.3 Manomètre à piston

Contrôler le manomètre à piston pour vérifier si les exigences techniques de l'article 5 qui ne nécessitent pas d'essai sont satisfaites.

## A.4 Essais de conformité aux exigences techniques

### A.4.1 Mise en place initiale

Le manomètre à piston doit être monté conformément aux spécifications du fabricant, en utilisant les outils et les instruments de mesure fournis en tant qu'accessoires du manomètre à piston ou recommandés par le fabricant. Il convient d'accorder une attention particulière à la propreté du système, notamment du piston et du cylindre, et à la verticalité de l'axe du piston.

### A.4.2 Dispositif d'observation du niveau vertical du piston

Le dispositif d'observation du niveau vertical du piston doit être essayé par comparaison à un cathétomètre ou à un autre instrument équivalent.

### A.4.3 Essai du dispositif de mise à niveau

L'essai est réalisé avant l'empilage des poids. La verticalité de l'axe du piston est contrôlée au moyen d'un niveau à bulle étalonné.

Si le fabricant ne décrit pas de procédure spécifique pour le contrôle de la verticalité de l'axe du piston, il faut procéder comme suit:

- ajuster le dispositif de mise à niveau incorporé dans le manomètre à piston de manière que le dispositif d'indication indique une verticalité de l'axe du piston conforme aux spécifications du fabricant;
- faire flotter le piston dans sa position de travail;
- installer le niveau à bulle étalonné sur la surface supérieure du piston ou sur une fixation spéciale conçue à cet effet; l'incertitude du niveau à bulle étalonné doit être de 1 arcminute au maximum;
- le piston est aligné correctement si les exigences en 5.4 sont satisfaites.

### A.4.4 Perpendicularité de l'axe du piston et du dispositif d'empilage des poids

Cet essai s'applique quand le dispositif d'empilage des poids et le piston sont assemblés en permanence. Il doit être réalisé avant l'empilage des poids. Après avoir réglé la verticalité de l'axe du piston, le niveau à bulle étalonné est posé sur la surface supérieure du dispositif d'empilage des poids dans deux directions perpendiculaires entre elles. L'écart des indications du niveau à bulle dans ces deux directions doit satisfaire aux exigences de 5.5.

### A.4.5 Essai d'étanchéité du système de pression du manomètre

La pression dans l'instrument est augmentée jusqu'à la limite supérieure de l'étendue de mesure du manomètre à piston, et est maintenue pendant une durée suffisante pour que le système atteigne l'équilibre thermique (5–30 min). L'instrument est alors déconnecté de la source de pression, et son étanchéité est observée en mesurant la vitesse de descente du piston, celui-ci étant en rotation. Les exigences de 4.7 doivent être satisfaites.



## A.5 Essais de conformité aux exigences métrologiques

### A.5.1 Durée de rotation libre du piston

A.5.1.1 La durée de rotation libre du piston doit être déterminée dans les conditions suivantes:

- a) le système de mesure de l'instrument doit contenir un fluide de pression conforme aux spécifications du fabricant,
- b) la pression doit être égale à 20 % de la limite supérieure de l'étendue de mesure,
- c) la rotation initiale du piston ne doit pas dépasser la valeur indiquée par le fabricant, ou  $(2 \pm 0,15) \text{ s}^{-1}$  si aucune valeur n'est spécifiée,
- d) l'ensemble piston-cylindre doit être à la température de référence ou à une température à l'intérieur de l'étendue des températures de travail spécifiée par le fabricant (voir A.5.1.2),
- e) deux essais successifs doivent être effectués, le piston tournant en sens opposés.

A.5.1.2 Si la température de l'ensemble piston-cylindre lors de l'essai diffère de la température de référence de plus de 2 °C, la durée de rotation libre est calculée selon la relation:

$$\tau_r = \tau \cdot \frac{\eta}{\eta_r} \quad (1)$$

où:

$\tau_r$  est la durée de rotation libre du piston à la température de référence,

$\tau$  est la durée de rotation du piston à la température de mesure,

$\eta_r$  est la viscosité dynamique du fluide de pression à la température de référence, et

$\eta$  est la viscosité dynamique du fluide de pression à la température de mesure.

Note: L'équation n'est valable qu'à condition que le piston et le cylindre soient constitués du même matériau.

A.5.1.3 L'exactitude des mesures du temps, de rotation et de température doit être la suivante:

- la durée de rotation libre du piston doit être mesurée avec une incertitude ne dépassant pas  $\pm 10 \text{ s}$ ,
- la température de l'ensemble piston-cylindre doit être mesurée avec une incertitude ne dépassant pas  $\pm 0,5 \text{ °C}$ ,
- la vitesse initiale de rotation du piston doit être mesurée avec une incertitude ne dépassant pas  $\pm 0,15 \text{ s}^{-1}$ .

A.5.1.4 Les exigences de 4.6 doivent être satisfaites.

### A.5.2 Vitesse de descente du piston

A.5.2.1 La vitesse de descente du piston est déterminée dans les conditions suivantes:

- a) le système de mesure de l'instrument doit contenir un fluide de pression conforme aux spécifications du fabricant,
- b) la pression doit être égale à la limite supérieure de l'étendue de mesure,
- c) l'ensemble piston-cylindre doit être à une température proche de la température de référence ou à une température à l'intérieur de l'étendue des températures de travail spécifiée par le fabricant (voir A.5.2.2),
- d) l'instrument doit dans toute la mesure du possible être isolé de toute canalisation.

A.5.2.2 Si la température de l'ensemble piston-cylindre, lors de l'essai, diffère de la température de référence de plus de 1 °C, la vitesse de descente du piston est calculée selon l'équation:

$$V_r = V \cdot \frac{\eta}{\eta_r} \quad (2)$$

où:

$V_r$  est la vitesse de descente du piston à la température de référence,

$V$  est la vitesse de descente du piston à la température de mesure,

$\eta$  est la viscosité dynamique du fluide de pression à la température de mesure, et

$\eta_r$  est la viscosité dynamique du fluide de pression à la température de référence.

A.5.2.3 La vitesse de descente du piston doit être mesurée avec une incertitude relative ne dépassant pas 5 % et la mesure ne doit commencer qu'après avoir atteint l'équilibre thermique.

A.5.2.4 L'essai doit être répété trois fois et la valeur moyenne de ces trois mesures est considérée comme résultat d'essai.

A.5.2.5 Les exigences de 4.7 doivent être satisfaites.

### A.5.3 Seuil de mobilité

A.5.3.1 L'essai du seuil de mobilité doit être effectué à une pression qui correspond à la limite supérieure de l'étendue de mesure.

A.5.3.2 Cet essai doit être effectué par comparaison à un manomètre à piston étalon. Un poids correspondant à une variation de pression de 10 % de l'erreur maximale tolérée doit être ajouté au manomètre à piston essayé.

A.5.3.3 L'exigence de 4.10 doit être satisfaite c'est-à-dire qu'une modification mesurable de la vitesse de descente du piston ou de l'indication de pression différentielle doit être observée.

### A.5.4 Détermination des masses du piston avec dispositif d'empilage des poids, et des poids individuels

A.5.4.1 La masse du piston avec dispositif d'empilage des poids et les masses des poids individuels doivent être déterminées à l'aide d'une balance étalon et de poids étalons, si applicable.

Note: Cette détermination de la masse n'est pas nécessaire, si le demandeur présente un certificat d'étalonnage délivré par un laboratoire autorisé.

A.5.4.2 L'exactitude de la détermination de la masse du piston avec le dispositif d'empilage des poids et de la masse des poids individuels doit satisfaire aux exigences de 4.8.

### A.5.5 Détermination de la section efficace

#### A.5.5.1 Méthode de détermination

A.5.5.1.1 La détermination de la section efficace d'un manomètre à piston doit être effectuée par comparaison à un manomètre à piston étalon dans les conditions indiquées en A.5.5.3.

A.5.5.1.2 La comparaison hydrostatique avec le manomètre à piston étalon doit être effectuée d'une des manières suivantes:

- a) équilibrage direct:  
la comparaison des manomètres à piston doit être effectuée à certaines pressions d'essai, par l'empilage des poids adéquats et par l'adjonction de petits poids, habituellement sur le manomètre étalon;
- b) équilibrage direct avec équilibrage préalable:  
avant l'équilibrage aux différentes pressions d'essai, le manomètre à piston à l'essai est ajusté à la limite inférieure de l'étendue de mesure par adjonction de petits poids dont il n'est pas tenu compte par la suite; seuls les poids nécessaires pour l'obtention des autres points de pression sont considérés.

#### A.5.5.2 Exigences générales

A.5.5.2.1 Le manomètre à piston étalon utilisé pour l'essai d'un manomètre à piston de classe d'exactitude 0,05, 0,1 ou 0,2, doit être d'une classe d'exactitude au moins deux fois supérieure à celle du manomètre à piston essayé.

Le manomètre à piston étalon utilisé pour l'essai d'un manomètre de classe d'exactitude 0,005, 0,01 ou 0,02, doit avoir une incertitude telle que, lorsque celle-ci est combinée à celle de la méthode d'essai, l'incertitude totale soit inférieure à 0,005 %, 0,01 %, ou 0,02 %, de la valeur de la pression d'essai.

A.5.5.2.2 L'essai est effectué par valeurs de pression croissant progressivement jusqu'à la limite supérieure de l'étendue de mesure du manomètre à piston, puis par valeurs décroissant progressivement. Le nombre de points de pression et leur distribution dans l'étendue de mesure de l'instrument sont déterminés suivant le Tableau 5.

Tableau 5  
Nombre de points de pression d'essai  
et leur distribution

Classe d'exactitude			Nombre de points	Valeurs nominales des points de pression en % de la limite supérieure de l'étendue de mesure de l'instrument										
0,005	0,01	0,02		10	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,05	0,1	0,2	6	10	20	40	60	80	100					

Note: Pour l'essai d'un manomètre à piston de classe d'exactitude 0,005, 0,01 ou 0,02, il est permis d'omettre au plus trois points de pression, à condition que ceux-ci ne soient pas consécutifs.

A.5.5.2.3 Lors de l'essai, les positions relatives verticales des niveaux de référence du manomètre à piston essayé et du baromètre à piston étalon doivent être déterminées avec une exactitude garantissant que la composante de l'incertitude de mesure de la pression, relative à cette grandeur d'influence, ne dépasse pas 10 % de l'erreur maximale tolérée spécifiée en 4.4.

A.5.5.2.4 Au cours de la comparaison et lorsque les pistons des deux manomètres à piston ont pris leur position de travail, les vitesses de rotation de ceux-ci à chaque point d'essai doivent être telles qu'elles assurent une sensibilité optimale comme spécifié dans les manuels d'utilisation.

A.5.5.2.5 Au cours de la comparaison, l'équilibre est considéré comme suffisant lorsqu'on n'observe pas de différences ou de variations perceptibles des vitesses de descente des pistons des deux manomètres à piston. Dans ces conditions, l'adjonction ou l'enlèvement d'un petit poids de valeur correspondant à une pression égale à 10 % de l'erreur maximale tolérée de l'instrument doit provoquer une variation perceptible de la vitesse de descente du piston.

Note: Pendant l'essai, le manomètre à piston essayé peut être séparé du manomètre à piston étalon par un indicateur de pression différentielle sensible capable de mesurer des petites différences de pression entre les deux manomètres à piston.

### A.5.5.3 Calcul de la section efficace

A.5.5.3.1 La valeur de la section efficace est déterminée comme moyenne des valeurs individuelles des résultats de la comparaison avec le manomètre à piston étalon, en utilisant l'équation suivante:

$$A_{i,o} = \frac{\left[ m \cdot \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho} \right) + m_i \cdot \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho_i} \right) + \frac{\gamma \cdot C}{g} \right] \cdot A_{et} \cdot (1 + \Phi_i + \Lambda_i)}{m_{et} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho_{et}} \right) + m_{et,i} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho_{et,i}} \right) + (\rho_F - \rho_b) \cdot A_{et} \cdot H + \frac{\gamma \cdot C_{et}}{g}} \quad (3)$$

où:

$A_{i,o}$  est la section efficace du manomètre à piston essayé, sous pression nulle et à la température de référence, pour le i-ème équilibre,

$A_{et}$  est la section efficace du manomètre à piston étalon, sous pression nulle et à la température de référence,

$m_{et}, m$  sont les masses des pistons et dispositifs d'empilage des manomètres à piston étalon et essayé;

$\rho_{et}, \rho$  sont les masses volumiques des pistons et dispositifs d'empilage des manomètres à piston étalon et essayé,

$m_{et,i}, m_i$  sont les masses des poids des manomètres à piston étalon et essayé, pour le i-ème équilibre,

$\rho_{et,i}, \rho_i$  sont les masses volumiques des poids des manomètres à piston étalon et essayé, pour le i-ème équilibre,

$\rho_F$  est la masse volumique du fluide de pression,

$H$  est la distance verticale entre les niveaux de référence des pistons des manomètres à piston étalon et essayé, déterminée au moyen de leurs niveaux de référence ( $H$  est positif si la base du piston du manomètre à piston étalon est plus haute que la base du piston du manomètre à piston essayé),

$\rho_b$  est la masse volumique de l'air ambiant pendant l'essai,

$g$  est l'accélération normale de la pesanteur,

$\gamma$  est la tension superficielle du fluide de pression utilisé pour l'essai, et

$C_{et}, C$  sont les circonférences des pistons des manomètres à piston étalon et essayé.

Note: Les expressions  $\gamma \cdot C/g$  et  $\gamma \cdot C_{et}/g$  dans l'équation (3) sont négligeables dans la plupart des cas.

A.5.5.3.2 Les coefficients auxiliaires  $\Phi_i$  et  $\Lambda_i$  dans l'équation (3) expriment des corrections de variation de la section efficace en relation avec, respectivement, la température et la pression:

$$\Phi_i = (\alpha_{1,et} + \alpha_{2,et}) \cdot (t_{et} - t_r) - (\alpha_1 + \alpha_2) \cdot (t - t_r) \quad (4)$$

$$\Lambda_i = (\lambda_{et} - \lambda) \cdot p_i \quad (5)$$

où:

$\alpha_{1,et}, \alpha_1$  sont les coefficients de dilatation thermique linéaire des matériaux des pistons des manomètres à piston étalon et essayé,

$\alpha_{2,et}, \alpha_2$  sont les coefficients de dilatation thermique linéaire des cylindres des manomètres à piston étalon et essayé,

$t_{et}, t$  sont les températures des manomètres à piston essayé et étalon

$t_r$  est la température de référence,

$\lambda_{et}, \lambda$  sont les coefficients de déformation des ensembles piston-cylindre des manomètres à piston étalon et essayé en fonction de la pression, et

$p_i$  est la valeur de pression mesurée au i-ème équilibre.

A.5.5.3.3 En vérification, les valeurs des coefficients de déformation en fonction de la pression doivent être reprises à partir des spécifications du fabricant ou du certificat d'approbation de modèle, mais pour les essais d'approbation de modèle, ces valeurs doivent être déterminées expérimentalement ou par calcul conformément à l'Annexe C.

A.5.5.3.4 A partir des n valeurs individuelles de la section efficace  $A_{i,o}$  selon la relation (3), on calcule:

a) la section efficace  $A_o$

$$A_o = \frac{1}{n} \cdot \sum A_{i,o} \quad (6)$$

où n est le nombre de mesures,

b) l'évaluation de l'écart-type de la valeur moyenne  $\sigma_A$

$$\sigma_A = \left[ \frac{\sum (A_{i,o} - A_o)^2}{n-1} \right]^{1/2} \quad (7)$$

A.5.5.3.5 La valeur de la section efficace  $A_o$  doit être comparée à la valeur indiquée par le fabricant. Si les deux valeurs diffèrent de plus de 50 % de l'erreur maximale tolérée du manomètre à piston comme spécifié en 4.4, la valeur déterminée pendant l'essai doit être considérée comme la section efficace du manomètre à piston et doit être indiquée dans le certificat du manomètre à piston.

A.5.5.3.6 L'incertitude relative à la section efficace est déterminée par la méthode suivante:

a) si la section efficace indiquée par le fabricant est conservée, l'incertitude est la somme des deux valeurs suivantes:

- incertitude déterminée comme différence entre la section efficace indiquée par le fabricant et la section efficace déterminée pendant l'essai, et
- incertitude de détermination de la section efficace pendant l'essai;

b) si la section efficace déterminée pendant l'essai est prise en considération, l'incertitude est celle de la détermination de cette section pendant l'essai.

#### A.5.6 Masse du piston avec dispositif d'empilage et masses des poids

A.5.6.1 Si approprié, les valeurs exigées des masses du piston avec dispositif d'empilage, et celles des poids doivent être calculées suivant l'Annexe B, en utilisant la section efficace  $A_o$  du manomètre à piston, déterminée conformément à A.5.5.

A.5.6.2 Si approprié, l'écart de masse doit être mesuré en comparant les valeurs des masses du piston avec dispositif d'empilage des poids, et celles des poids (déterminées selon A.5.4), aux valeurs des masses déterminées selon A.5.6.1.

A.5.6.3 L'incertitude de la masse est déterminée comme suit:

- a) si on utilise les valeurs nominales des masses, elle est égale à la somme de l'incertitude d'ajustement des poids et de l'incertitude de détermination de la masse pendant l'essai;
- b) si on prend en considération les masses des poids déterminées pendant l'essai, elle est égale à l'incertitude de détermination de la masse.

A.5.6.4 La composante de l'incertitude relative sur les mesures de pression due à l'incertitude sur la masse est numériquement égale à la valeur relative de l'incertitude sur la masse.

#### A.5.7 Coefficient de déformation en fonction de la pression de l'ensemble piston-cylindre

A.5.7.1 Le coefficient de déformation en fonction de la pression de l'ensemble piston-cylindre doit être déterminé selon la méthode indiquée en C.2 ou toute autre méthode équivalente.

A.5.7.2 La valeur du coefficient de déformation en fonction de la pression, déterminée pendant l'essai, est comparée à la valeur indiquée par le fabricant. La différence entre ces valeurs ne doit pas dépasser 10 %. Autrement, la valeur déterminée pendant l'essai doit être utilisée.

#### A.5.8 Incertitude totale

L'incertitude totale du manomètre, exprimée en pourcentage de la pression mesurée, est la racine carrée de la somme des carrés des trois composantes suivantes:

- incertitude sur la section efficace, exprimée en % (A.5.5.3)
- incertitude sur la masse, exprimée en % (A.5.6.3)
- 10 % en tant que réserve pour d'autres incertitudes causées par les grandeurs d'influence (4.5.1.c).

ANNEXE B  
CALCUL DE LA MASSE EXIGÉE DES POIDS DU MANOMÈTRE  
(Informative)

Si approprié, la valeur exigée de la masse des poids individuels du jeu de poids d'un manomètre à piston est calculée à partir de la valeur de la section efficace déterminée selon A.5.5.3. Lorsqu'il n'est pas nécessaire de prendre en considération la dépendance de la valeur de la section efficace  $A$  par rapport à la pression  $p$ , l'équation (8) s'applique. Lorsqu'il est nécessaire de prendre en considération cette dépendance, le calcul est effectué suivant l'équation (9).

B.1 Calcul sans dépendance  $A = f(p)$

La valeur de la masse du piston et du dispositif d'empilage peut créer, partiellement ou complètement, la pression correspondant à la limite inférieure de l'étendue de mesure. La valeur de la masse du  $i$ -ème poids est calculée selon l'équation suivante:

$$m_i = \frac{A_o \cdot p_i}{g} \cdot \left( 1 + \frac{\rho_b}{\rho_m} \right) \quad (8)$$

où:

- $m_i$  est la valeur exigée de la masse du  $i$ -ème poids,
- $p_i$  est la pression produite par le  $i$ -ème poids à la température de référence et pour l'accélération normale de la pesanteur,
- $A_o$  est la section efficace du manomètre à piston, sous pression nulle et à la température de référence,
- $g$  est l'accélération normale de la pesanteur,
- $\rho_b$  est la masse volumique de l'air ambiant pendant l'essai, et
- $\rho_m$  est la masse volumique du matériau constitutif du poids.

B.2 Calcul avec dépendance  $A = f(p)$

Dans ce cas, la valeur de la masse des poids dépend de l'ordre dans lequel les poids individuels sont empilés les uns sur les autres; cet ordre doit être marqué sur les poids ( $j$ ). Le piston avec dispositif d'empilage des poids peut créer, partiellement ou complètement, la pression correspondant à la limite inférieure de l'étendue de mesure. La valeur de la masse du  $j$ -ème poids à empiler est calculée selon l'équation suivante:

$$m_j = \frac{A_o \cdot p_j}{g} \cdot \left( 1 + \frac{\rho_b}{\rho_m} \right) \cdot [1 + (2j - 1) \cdot \lambda \cdot p_j] \quad (9)$$

où:

- $m_j$  est la masse du poids empilé en  $j$ -ème position de la séquence,
- $p_j$  est la pression produite par le poids empilé en  $j$ -ème position de la séquence, à la température de référence et pour l'accélération normale de la pesanteur,
- $A_o$  est la section efficace de l'instrument, sous pression nulle et à la température de référence,
- $g$  est l'accélération normale de la pesanteur,
- $\rho_b$  est la masse volumique de l'air ambiant,
- $\rho_m$  est la masse volumique du matériau constitutif du poids, et
- $\lambda$  est le coefficient de déformation de l'ensemble piston-cylindre en fonction de la pression.

## ANNEXE C

### DÉTERMINATION DU COEFFICIENT DE DÉFORMATION EN FONCTION DE LA PRESSION DE L'ENSEMBLE PISTON-CYLINDRE (Informative)

#### C.1 Méthodes de détermination

Le coefficient de déformation en fonction de la pression de l'ensemble piston-cylindre,  $\lambda$ , est déterminé en général par une méthode expérimentale de comparaison avec un manomètre à piston étalon. Pour les manomètres à piston du type à ensemble piston-cylindre simple, il est possible de déterminer ce coefficient par calcul sur base de la théorie de l'élasticité et des constantes physiques connues du (des) matériau(x) de l'ensemble piston-cylindre.

#### C.2 Détermination de $\lambda$ par comparaison avec un manomètre à piston étalon

##### C.2.1 Principe

Le principe de la détermination expérimentale du coefficient de déformation de l'ensemble piston-cylindre consiste en la détermination de la relation entre la section efficace et la pression mesurée. Il est possible de déterminer soit  $\lambda$  soit la différence  $\lambda_{\text{et}} - \lambda$ , où  $\lambda_{\text{et}}$  est le coefficient de déformation de l'ensemble piston-cylindre du manomètre à piston étalon.

##### C.2.2 Détermination directe de $\lambda$

C.2.2.1 La dépendance entre la section efficace et la pression mesurée est donnée par l'équation:

$$A = A_o \cdot (1 + \lambda \cdot p) \quad (10)$$

où

$A$  est la section efficace de l'ensemble piston-cylindre d'un instrument sous pression  $p$  et à la température de référence  $t_r$ ,

$A_o$  est la section efficace de l'ensemble piston-cylindre d'un instrument sous pression nulle et à la température de référence  $t_r$ , et

$\lambda$  est le coefficient de déformation de l'ensemble piston-cylindre de l'instrument.

C.2.2.2 La section efficace de l'ensemble piston-cylindre du manomètre à piston essayé à une pression donnée mais sans correction pour  $\Lambda$ , quand on la compare avec le manomètre à piston étalon, est donnée par l'équation suivante, dérivée de l'équation (3):

$$A_i = \frac{\left[ m \cdot \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho} \right) + m_i \cdot \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho_i} \right) + \frac{\gamma \cdot C}{g} \right] \cdot A_{\text{et}} \cdot (1 + \Phi_i + \lambda_{\text{et}} \cdot p_i)}{m_{\text{et}} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho_{\text{et}}} \right) + m_{\text{et},i} \cdot \left( 1 - \frac{\rho_b}{\rho_{\text{et},i}} \right) + (\rho_F - \rho_b) \cdot A_{\text{et}} \cdot H + \frac{\gamma \cdot C_{\text{et}}}{g}} \quad (11)$$

où

$A_i$  est la section efficace du manomètre à piston essayé, à la température de référence, pour le  $i$ -ème équilibre,

$A_{\text{et}}$  est la section efficace du manomètre à piston étalon, sous pression nulle et à la température de référence,



$m_{et}, m$  sont les masses des pistons et dispositifs d'empilage des manomètres à piston étalon et essayé;  
 $\rho_{et}, \rho$  sont les masses volumiques des pistons et dispositifs d'empilage des manomètres à piston étalon et essayé,  
 $m_{et,i}, m_i$  sont les masses des poids des manomètres à piston étalon et essayé, pour le i-ème équilibre,  
 $\rho_{et,i}, \rho_i$  sont les masses volumiques des poids des manomètres à piston étalon et essayé, pour le i-ème équilibre,  
 $\rho_F$  est la masse volumique du fluide de pression,  
 $H$  est la distance verticale entre les niveaux de référence des pistons des manomètres à piston étalon et essayé, déterminée au moyen de leurs niveaux de référence ( $H$  est positif si la base du piston du manomètre à piston étalon est plus haute que la base du piston du manomètre à piston essayé),  
 $\rho_b$  est la masse volumique de l'air ambiant pendant l'essai,  
 $\gamma$  est la tension superficielle du fluide de pression utilisé pour l'essai,  
 $g$  est l'accélération normale de la pesanteur,  
 $C_{et}, C$  sont les circonférences des pistons des manomètres à piston étalon et essayé, et  
 $\lambda_{et}$  est le coefficient de déformation de l'ensemble piston-cylindre du manomètre à piston étalon en fonction de la pression.

C.2.2.3 Le coefficient de déformation de l'ensemble piston-cylindre en fonction de la pression peut être calculé à partir des valeurs déterminées des sections efficaces de l'instrument,  $A_i$ , pour les points de pression particuliers, par la méthode des moindres carrés, et l'équation (10), selon l'équation suivante:

$$\lambda = \frac{n \sum_1^n A_i \cdot P_i - \sum_1^n A_i \cdot \sum_1^n p_i}{\sum_1^n A_i \cdot \sum_1^n p_i^2 - \sum_1^n p_i \cdot \sum_1^n A_i \cdot p_i} \quad (12)$$

où  $n$  est le nombre de points de pression mesurés.

C.2.2.4 Le calcul du coefficient de déformation en fonction de la pression selon C.2.2.3 peut être remplacé par une régression linéaire de dépendance des sections efficaces  $A_i$  par rapport aux pressions mesurées  $p_i$  aux points de mesure particuliers, la détermination du coefficient de dépendance linéaire  $A_i = k \cdot p_i$ , et le calcul du coefficient en utilisant l'équation (10).

C.2.3 Détermination différentielle de  $\lambda$

C.2.3.1 L'application de l'équation (10) aux manomètres à piston étalon et essayé, donne:

$$R_i = R_o \cdot [1 + (\lambda_{et} - \lambda) \cdot p_i] \quad (13)$$

où

$R$  est le rapport des sections efficaces de l'ensemble piston-cylindre des manomètres à piston étalon et essayé, à la pression  $p$ ,

$R_o$  est le rapport des sections efficaces de l'ensemble piston-cylindre des manomètres à piston étalon et essayé, sous pression nulle, et

$\lambda_{et}, \lambda$  sont les coefficients de déformation des instruments étalon et essayé.

C.2.3.2 La différence des coefficients de déformation des manomètres à piston étalon et essayé en fonction de la pression, peut être calculée selon l'équation suivante:

$$\lambda_{et} - \lambda = \frac{R/R_o - 1}{p} \quad (14)$$

### C.3 Calcul de $\lambda$

C.3.1 Le coefficient de déformation de l'ensemble piston-cylindre en fonction de la pression, pour un manomètre à piston muni d'un piston du type simple dans un cylindre sans contre-pression, est calculé selon l'équation suivante:

$$\lambda = \frac{1}{2E_2} \cdot \left[ \frac{\left(\frac{r}{b}\right)^2 + 1}{\left(\frac{r}{b}\right)^2 - 1} + \mu_2 \right] - \frac{1}{2E_1} \cdot (1 - 3\mu_1) \quad (15)$$

Si le piston et le cylindre sont fabriqués dans le même matériau, le coefficient est calculé selon l'équation suivante:

$$\lambda = \frac{1}{E} \cdot \left[ \frac{1}{\left(\frac{r}{b}\right)^2 - 1} + 2\mu \right] \quad (16)$$

C.3.2 Le coefficient de déformation de l'ensemble piston-cylindre en fonction de la pression, pour un manomètre à piston muni d'un piston à type simple dans un cylindre à contre-pression sur toute la surface extérieure et à chargement en extrémité, est calculé selon l'équation suivante:

$$\lambda = \frac{1}{2E_2} \cdot \left[ \frac{3\left(\frac{r}{b}\right)^2 - 1}{\left(\frac{r}{b}\right)^2 - 1} - 3\mu_2 \right] - \frac{1}{2E_1} \cdot (1 - 3\mu_1) \quad (17)$$

Si le piston et le cylindre sont fabriqués dans le même matériau, le coefficient est calculé suivant l'équation:

$$\lambda = -\frac{1}{E} \cdot \left[ \frac{2\left(\frac{r}{b}\right)^2 - 1}{\left(\frac{r}{b}\right)^2 - 1} - 3\mu \right] \quad (18)$$

Les symboles utilisés dans les équations (14–18) ont les significations suivantes:

- $E_1$  est le module d'élasticité du matériau du piston,
- $E_2$  est le module d'élasticité du matériau du cylindre,
- $\mu_1$  est le coefficient de Poisson du matériau du piston,
- $\mu_2$  est le coefficient de Poisson du matériau du cylindre,
- $r$  est le rayon extérieur du cylindre, et
- $b$  est le rayon du piston.

Ce calcul n'est pas applicable pour des formes plus compliquées de piston et de cylindre.

ANNEXE D  
FORMAT DU RAPPORT D'ESSAI

Note: La présente Annexe a un caractère informatif en ce qui concerne la mise en application de la présente Recommandation dans les réglementations nationales; cependant, l'utilisation du format de rapport d'essai est obligatoire pour l'application de cette Recommandation dans le cadre du Système de Certificats OIML.

Un rapport d'essai destiné à servir dans le cadre du Système de Certificats OIML ou pour d'autres buts doit inclure les renseignements suivants.

D.1 Nom et adresse du(des) laboratoire(s) d'essai

D.2 Référence (numéro et année de l'édition) à la présente Recommandation

D.3 Informations générales relatives au manomètre à piston essayé:

- Demande N°:
- Fabricant:
- Classe d'exactitude:
- Désignation de modèle:
- Etendue de mesure:

D.4 Essai de sensibilité du dispositif de contrôle de la position du piston (5.3, A.4.2)

Mesure numéro	Lecture du dispositif de contrôle du piston	Lecture du cathétomètre (ou instrument équivalent)	Différence
1			
2			
3			

Succès \_\_\_\_\_ Échec \_\_\_\_\_

Remarques: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

D.5 Essai de mise à niveau et dispositif indicateur (5.4, A.4.3)

Mesure numéro	Angle du piston par rapport à la position initiale	Déviations angulaires par rapport à la verticale
1	0 °	
2	90 °	
3	180 °	
4	270 °	
5	0 °	

Succès \_\_\_\_\_ Échec \_\_\_\_\_

Remarques: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

D.6 Essai de perpendicularité de l'axe du piston et du dispositif d'empilage des poids (5.5, A.4.4)

Position du niveau	Écart par rapport à la position zéro	Différence des écarts entre directions A et B
Direction A		
Direction B		

Succès \_\_\_\_\_ Échec \_\_\_\_\_

Remarques: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

D.7 Essai d'étanchéité (5.8, A.4.5)

Temps	Valeur de descente du piston
1	
2	
3	
4	
5	

Succès \_\_\_\_\_ Échec \_\_\_\_\_

Remarques: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

D.8 Essai de rotation libre du piston (4.6, A.5.1)

Mesure numéro	Vitesse de rotation initiale	Température	Temps jusqu'à arrêt du piston
1			
2			
3			

Succès \_\_\_\_\_ Échec \_\_\_\_\_

Remarques: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

D.9 Essai de la vitesse de descente du piston (4.7, A.5.2)

Mesure numéro	Distance de descente	Température	Temps	Vitesse de descente
1				
2				
3				

Succès \_\_\_\_\_ Échec \_\_\_\_\_

Remarques: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

D.10 Détermination des masses du piston, du dispositif d'empilage des poids, et des poids (A.5.4, A.5.6, Annexe B)

	Masse nominale	Masse vraie
Piston		
Disp. d'empil.		
Poids 1		
Poids 2		

Succès \_\_\_\_\_ Échec \_\_\_\_\_

Remarques: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

D.11 Détermination de la section efficace (A.5.5)

Mesure numéro	Point de pression	Poids étalon	Poids essayé	Température	Section effic. $A_{i,o}$
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
				$A_o =$	
				$\sigma_A =$	

Remarques: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

D.12 Détermination du coefficient de déformation en fonction de la pression par comparaison à un manomètre à piston étalon (Annexe C)

Mesure numéro	Point de pression	Poids étalon	Poids essayé	Température	Section effic. $A_{i,0}$	Section effic. $A_i$	Coefficient de déform.
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							
11							
12							
13							
14							
15							
16							
17							
18							
19							
20							

Remarques: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

D.13 Écart des masses par rapport aux valeurs exigées (A.5.4, A.5.6 et Annexe B)

Poids numéro	Masse vraie	Masse exigée	Écart vrai – exigé
1			
2			
3			

Succès \_\_\_\_\_ Échec \_\_\_\_\_

Remarques: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

D.14 Essai du seuil de mobilité (A.5.3)

Mesure numéro	Poids ajouté (%)	Variation dans vitesse de descente du piston ou indication de pression différentielle ( <i>oui ou non</i> )
1		
2		
3		
4		
5		

Succès \_\_\_\_\_ Échec \_\_\_\_\_

Remarques: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

D.15 Incertitude totale du manomètre à piston: \_\_\_\_\_

D.16 Bref énoncé des conclusions stipulant si le(s) modèle(s) essayé(s) satisfait(font) aux exigences de la présente Recommandation pour la classe d'exactitude spécifiée

D.17 Signature du(des) responsable(s), date et numéro unique du rapport d'essai