

RECOMMANDATION  
INTERNATIONALE

**OIML R 111-1**

Édition 2004 (F)

---

Poids des classes  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $M_1$ ,  $M_{1-2}$ ,  $M_2$ ,  
 $M_{2-3}$  et  $M_3$ .

Partie 1: Exigences métrologiques et techniques

Weights of classes  $E_1$ ,  $E_2$ ,  $F_1$ ,  $F_2$ ,  $M_1$ ,  $M_{1-2}$ ,  $M_2$ ,  $M_{2-3}$  and  $M_3$ .

Part 1: Metrological and technical requirements

---



---

## SOMMAIRE

<b>AVANT-PROPOS</b> .....	3
<b>GENERALITES</b> .....	4
1.           Objet .....	4
2.           Terminologie .....	5
3.           symboles .....	9
4.           Unités et valeurs nominales des masses étalons .....	12
<b>EXIGENCES METROLOGIQUES</b> .....	12
5.           Erreurs maximales tolérées lors de la vérification.....	12
<b>EXIGENCES TECHNIQUES</b> .....	14
6.           Forme.....	14
8.           Matériau.....	17
9.           Magnétisme .....	18
10.          Densité.....	18
11.          Etat de surface .....	20
12.          Ajustage.....	20
13.          Marquages .....	21
14.          Présentation .....	22
<b>CONTROLES METROLOGIQUES</b> .....	23
15.          Soumission au contrôles métrologiques .....	23
16.          Marques de contrôle .....	24
<b>ANNEXE A    EXEMPLES DE DIMENSIONS ET FORMES DIVERSES</b> .....	26
<b>ANNEXE B    PROCEDURE D’ESSAI POUR LES MASSES ETALONS (OBLIGATOIRE)</b> .....	29
<b>ANNEXE C -  ETALONNAGE D’UNE MASSE ETALON OU D’UN JEU DE MASSES ETALONS (OBLIGATOIRE)</b> .....	61
<b>ANNEXE D -  CONTROLE STATISTIQUE (INFORMATIVE)</b> .....	70
<b>ANNEXE E -  FORMULE DU CIPM ET FORMULE D’APPROXIMATION (INFORMATIVE)</b> .....	73
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	76

## 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 :

- **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;
- **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

l'IEC, 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.

La présente publication – référence OIML R 111, édition 2004 (F) – a été élaborée par le sous-comité OIML TC 9/SC 3 «Poids». Elle a été approuvée directement par la Conférence Internationale de Métrologie Légale en 2004 pour publication.

Les publications de l'OIML peuvent être téléchargées à partir du site de l'OIML au format pdf. Des informations complémentaires sur 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 (0)1 48 78 12 82  
Fax: 33 (0)1 42 82 17 27  
E-mail: [biml@oiml.org](mailto:biml@oiml.org)  
Internet: [www.oiml.org](http://www.oiml.org)

---

## POIDS DES CLASSES E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>1-2</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>2-3</sub> ET M<sub>3</sub>

### GENERALITES

#### 1 OBJET

**1.1 La présente Recommandation contient des exigences techniques (par exemple principales caractéristiques physiques) et métrologiques pour les poids qui sont utilisés :**

- Comme étalons pour la vérification des instruments de pesage ;
- Comme étalons pour la vérification ou l'étalonnage de poids d'une classe d'exactitude inférieure ;
- Avec des instruments de pesage.

#### 1.2 Domaine d'application

Cette Recommandation s'applique aux poids de classes d'exactitude E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>1-2</sub>, M<sub>2</sub>, M<sub>2-3</sub> et M<sub>3</sub> pour des masses nominales allant de 1 mg à 5000 kg.

#### 1.3 Classe d'exactitude minimale des poids

La classe d'exactitude pour les poids utilisés comme étalons pour la vérification des poids ou des instruments de pesage devrait être conforme aux exigences des recommandations OIML applicables.

**1.3.1** Les classes d'exactitude OIML des poids sont définies de la manière suivante :

**Classe E<sub>1</sub>** : poids destinés à assurer la traçabilité entre les étalons de masse nationaux (dont les valeurs dérivent du Prototype International du kilogramme) et les poids de classes E<sub>2</sub> et inférieures. Les poids ou jeux de poids de classe E<sub>1</sub> doivent toujours être accompagnés d'un certificat d'étalonnage (voir 15.2.2.1).

**Classe E<sub>2</sub>** : poids destinés à être utilisés pour la vérification ou l'étalonnage des poids de classe F<sub>1</sub> et à être utilisés avec des instruments de pesage de classe d'exactitude spéciale I. Les poids ou jeux de poids de classe E<sub>2</sub> doivent toujours être accompagnés d'un certificat d'étalonnage (voir 15.2.2.2). Ils peuvent être utilisés comme des poids de classe E<sub>1</sub> s'ils satisfont aux prescriptions relatives à la rugosité, à la susceptibilité magnétique et à la magnétisation pour les poids de classe E<sub>1</sub> et si leur certificat d'étalonnage mentionne les données appropriées spécifiées en 15.2.2.1.

**Classe F<sub>1</sub>** : poids destinés à être utilisés pour la vérification ou l'étalonnage des poids de classe F<sub>2</sub> et à être utilisés avec des instruments de pesage de classe d'exactitude spéciale I et de classe d'exactitude fine II.

**Classe F<sub>2</sub>** : poids destinés à être utilisés pour la vérification ou l'étalonnage des poids de classe M<sub>1</sub> et potentiellement de classe M<sub>2</sub>. Egalement destinées à être utilisés pour les transactions commerciales importantes (par exemple métaux précieux et pierres précieuses) sur des instruments de pesage de classe d'exactitude fine II.

**Classe M<sub>1</sub>** : poids destinés à être utilisés pour la vérification ou l'étalonnage des poids de classe M<sub>2</sub> et à être utilisés avec des instruments de pesage de classe d'exactitude moyenne III.

**Classe M<sub>2</sub>** : poids destinés à être utilisés pour la vérification ou l'étalonnage des poids de classe M<sub>3</sub> pour une utilisation dans le cadre de transactions commerciales générales et à être utilisées avec des instruments de pesage de classe d'exactitude moyenne III.

**Classe M<sub>3</sub>** : poids destinés à être utilisés avec des instruments de pesage de classe d'exactitude moyenne III et de classe d'exactitude ordinaire III

**Classes M<sub>1-2</sub> et M<sub>2-3</sub>** : poids de 50 kg à 5000 kg de moindre exactitude destinés à être utilisés avec des instruments de pesage de classe d'exactitude moyenne III.

Note : l'erreur intrinsèque d'un poids utilisé pour la vérification d'un instrument de pesage ne doit pas dépasser 1/3 de l'erreur maximale tolérée pour un instrument. Ces valeurs sont listées dans la section 3.7.1 de la recommandation OIML R 76 *Instruments de pesage à fonctionnement non automatique* (1992).

## 2 TERMINOLOGIE

La terminologie utilisée dans la présente Recommandation est conforme au *Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie* (édition 1993) [1] et au *Vocabulaire International des Termes de Métrologie Légale* (édition 2000) [2]. En complément, pour le propos de cette recommandation, les définitions suivantes s'appliquent :

### 2.1 Classe d'exactitude

Désignation de la classe d'un poids ou d'un jeu de poids conformément à certaines exigences métrologiques destinées à maintenir les valeurs de la masse à l'intérieur de limites spécifiées.

### 2.2 Balance

Instrument indiquant la masse apparente qui est sensible aux forces suivantes :

$$F_g = m \times g \quad \text{Gravité}$$

$$F_b = V \times \rho_a \times g = \frac{m}{\rho} \rho_a \times g \quad \text{Poussée de l'air égale au poids de l'air déplacé}$$

$$F_z = \mu_0 \iiint_V (M + \chi H) \frac{\partial H}{\partial z} dV \quad \text{Composante verticale de l'interaction magnétique entre le poids et la balance et/ou l'environnement.}$$

Si les effets magnétiques sont négligeables, par exemple la magnétisation permanente ( $M$ ) du poids et la susceptibilité magnétique ( $\chi$ ) sont suffisamment petites et que la balance est étalonnée avec des poids de référence dont la valeur est bien connue, la balance peut être utilisée pour indiquer la masse conventionnelle,  $m_c$ , d'un corps sous des conditions choisies de manière conventionnelle.

### 2.3 Etalonnage

Ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs des grandeurs indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée ou par un matériau de référence, et les valeurs correspondantes réalisées par des étalons.

*Note 1* Le résultat d'un étalonnage permet soit d'attribuer aux indications les valeurs correspondantes du mesurande, soit de déterminer les corrections à appliquer aux indications.

*Note 2* Un étalonnage peut aussi servir à déterminer d'autres propriétés métrologiques telles que les effets de grandeurs d'influence.

*Note 3* Le résultat d'un étalonnage peut être consigné dans un document parfois appelé certificat d'étalonnage ou rapport d'étalonnage.

#### 2.3.1 Certificat d'étalonnage (rapport d'étalonnage)

Certificat délivré uniquement par des laboratoires autorisés ou accrédités faisant état des résultats d'étalonnage.

### 2.4 Certificat de conformité

Document fourni par l'organisme national responsable donnant confiance en la conformité d'un poids identifié ou d'un jeu de poids identifiés, ou des échantillons de ceux-ci avec les exigences applicables de cette Recommandation (voir *système de certificats OIML pour les instruments de mesure*).

### 2.5 Etalon de contrôle

Etalon utilisé dans un procédé statistique de contrôle pour fournir une vérification garantissant que les étalons, procédés de mesures et résultats sont à l'intérieur de limites statistiques acceptables.

## 2.6 Comparaison

Méthode de mesure basée sur la comparaison de la valeur d'une grandeur à mesurer avec une valeur connue de cette même grandeur.

## 2.7 Masse conventionnelle (aussi appelée valeur conventionnelle de masse)

Valeur conventionnelle du résultat d'une pesée dans l'air, conformément au document OIML D28 *Valeur conventionnelle du résultat des pesées dans l'air* [3]. Pour poids pris à la température de référence ( $t_{\text{ref}}$ ) de 20 °C, la masse conventionnelle est la masse d'un poids de référence d'une densité ( $\rho_{\text{ref}}$ ) de 8000 kg m<sup>-3</sup> qu'elle équilibre dans un air de masse volumique de 1,2 kg·m<sup>-3</sup>.

## 2.8 Densité d'un corps

Masse divisée par le volume, donné par la formule  $\rho = m / V$

## 2.9 Magnétisme

Effet qui génère une force attractive ou répulsive

### 2.9.1 Moment dipolaire magnétique

Paramètre d'un dipôle magnétique. L'intensité du champ magnétique générée par un dipôle et la force entre le dipôle et un échantillon magnétisé, sont proportionnelles à ce moment dipolaire. La force entre le dipôle et un échantillon ayant une susceptibilité magnétique est proportionnelle au carré du moment dipolaire.

### 2.9.2 Intensité du champ magnétique ( $H$ )

Intensité magnétique locale, générée par un matériau magnétique, comme un aimant permanent, ou par des circuits électriques.

### 2.9.3 Force magnétique ( $F_1, F_2, F_a, F_b, F_{\text{max}}$ et $F_z$ )

Force produite sur un matériau magnétique, ou ayant une susceptibilité magnétique, par des champs magnétiques externes.

### 2.9.4 Perméabilité magnétique ( $\mu$ )

Mesure de la capacité d'un milieu à modifier un champ magnétique.

### 2.9.5 Constante magnétique (perméabilité magnétique du vide ( $\mu_0$ ))

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ NA}^{-2}.$$

### 2.9.6 susceptibilité magnétique (volumique) ( $\chi$ )

Mesure de la capacité d'un milieu à modifier un champ magnétique. Elle est liée à la perméabilité magnétique par la relation  $\mu / \mu_0 = 1 + \chi$ . La quantité  $\mu / \mu_0$  est parfois appelée perméabilité relative  $\mu_r$ .

### 2.9.7 Magnétisation (permanente) ( $M$ )

Paramètre spécifiant l'état magnétique de corps tels que des poids, en l'absence de champ magnétique externe (dans la plupart des cas, la magnétisation est un vecteur dont la direction et la norme ne sont pas, nécessairement constants au sein du matériau).

## 2.10 Erreur maximale tolérée ( $\delta m$ ou EMT)

Valeur absolue maximale de la différence autorisée par la réglementation nationale, entre la masse conventionnelle mesurée et la valeur nominale d'un poids, déterminée au moyen des poids de référence correspondants.

## 2.11 Paramètre de rugosité ou paramètre-R ( $R_a$ ou $R_z$ )

Paramètre décrivant le profil de rugosité évalué d'un échantillon. La lettre R indique le type de profil évalué, dans ce cas R pour profil de rugosité. Le profil évalué d'un échantillon peut être de différents types de profil : un profil de rugosité ou paramètre-R, un profil primaire ou paramètre-P, un profil d'ondulation ou paramètre-W.[4]

## 2.12 Poids de seuil

Poids utilisé pour déterminer la sensibilité d'un instrument de pesage (voir T.4.1 dans OIML R 76-1).

## 2.13 Jeu de poids

Séries ou groupe de poids, habituellement présentés de manière à rendre possible n'importe quelle pesée de toutes les charges entre la masse avec la plus petite valeur nominale et la somme de tous les poids de la série, avec une progression dans laquelle le poids de plus petite valeur nominale constitue le pas le plus petit de la série. Les poids ont des caractéristiques métrologiques similaires et les mêmes valeurs nominales ou des valeurs nominales différentes, telles que définies à la section 4.3 de la présente Recommandation, et appartiennent à la même classe d'exactitude.

## 2.14 Température ( $t$ )

En degrés Celsius, est liée à l'échelle de température thermodynamique absolue, appelée l'échelle Kelvin par la relation  $t = T - 273,15$  K.

## 2.15 Essai

Opération technique qui consiste en la détermination d'une ou plusieurs caractéristiques ou performances d'un produit donné, matériel, équipement, organisme, phénomène physique, processus ou service selon un mode opératoire spécifié.

(Basé sur 13.1. Essai, ISO/IEC Guide 2:1996 Normalisation et activités connexes —Vocabulaire général)[5]

## 2.16 Poids à tester ( $m_i$ )

Poids qui est à tester conformément à cette Recommandation

## 2.17 Type

Modèle défini de poids ou de jeu de poids auquel ils sont conformes.

### 2.17.1 Examen de type

Examens et essais systématiques de la performance d'un type de poids ou de jeux de poids en application des exigences documentées de la présente recommandation, dont les résultats sont consignés dans un rapport d'essai.

### 2.17.2 Approbation de type

Processus de prise de décision par un organisme responsable, fondé sur l'examen d'un rapport d'essai d'examen de type pour les poids ou jeux de poids et le jugement professionnel visant à statuer sur la conformité du type aux exigences obligatoires de cette Recommandation pour des applications légales.

## 2.18 Vérification

Toutes les opérations mises en œuvre par un organe d'un service de métrologie légale national (ou autre organisation légalement autorisée) ayant pour objet de déterminer et confirmer que les poids satisfont entièrement les exigences réglementaires pour la vérification. La vérification inclut l'examen et le marquage. (Adapté de VIML 2.4 et 2.13)

### 2.18.1 Vérification primitive

Ensemble d'essais et d'examens visuels effectués avant que l'équipement/masse soit mis en service afin de déterminer si un poids ou un jeu de poids a été fabriqué en réplique d'un type donné et est conforme à ce type et aux réglementations et si ses caractéristiques métrologiques se situent à l'intérieur des limites fixées pour la vérification primitive des copies de ce type. Si le poids ou le jeu de poids passe avec succès tous les essais et examens, le caractère légal lui est donné par son acceptation, qui est mise en évidence par un poinçonnage et/ou la délivrance d'un certificat de vérification.

(Adapté de Vérifications primitive et ultérieure des instruments et processus de mesure OIML D 20 Edition 1988)

### 2.18.2 Vérification ultérieure ou contrôle en service

Ensemble d'essais et d'examens visuels, également réalisés par un agent du service de métrologie légale (inspecteur), pour déterminer si les poids ou jeux de poids, ayant été en service un certain temps depuis la vérification précédente, continuent d'être conformes ou sont à nouveau conformes aux réglementations et maintiennent leurs caractéristiques métrologiques dans les limites fixées. Si les poids ou jeux de poids passent

avec succès tous les essais et examens, leur caractère légal est soit maintenu soit rétabli par leur acceptation, qui est mise en évidence par un poinçonnage et/ou la délivrance d'un certificat de vérification. Lorsque le poinçonnage est utilisé pour vérifier un ensemble de poids, tous les éléments de l'ensemble sont considéré come vérifiés.

### **2.19 Poids**

Mesure matérialisée de masse, réglementée à l'égard de ces caractéristiques physiques et métrologiques : forme, dimensions, matériau, état de surface, valeur nominale, densité, propriétés magnétiques et erreur maximales tolérées.

### **2.20 Poids d'un corps ( $F_g$ )**

Force gravitationnelle par laquelle le corps est attiré par la Terre. Le mot poids désigne une grandeur de même nature qu'une force : le poids d'un corps est le produit de sa masse par l'accélération due à la gravité.



## 3 SYMBOLES

Symbole	Unité	Définition
$A$	$m^2$	Aire
$B$	T	Induction magnétique dans le milieu
$B_E$	T	Valeur de champ magnétique ambiant lue sur le gaussmètre en l'absence de poids
$B_0$	T	Induction magnétique dans le vide
$C$	–	Facteur de correction de la poussée de l'air
$C_a$	–	Facteur de correction de la poussée de l'air pour la densité de l'air lors du cycle de pesée dans l'air
$C_{al}$	–	Facteur de correction de la poussée de l'air pour la densité de l'air lors du cycle de pesée dans un liquide
$C_s$	–	Facteur de correction de la poussée de l'air pour la densité du poids de seuil
$D$	kg	Différence d'indications de la balance entre les valeurs minimum et maximum de l'essai d'excentration
$d$	kg	Echelon
$F_1$	N	Force moyenne calculée en utilisant la variation moyenne de masse sur le comparateur de masse pour la première série de lectures
$F_2$	N	Force moyenne calculée en utilisant la variation moyenne de masse sur le comparateur de masse pour la seconde série de lectures
$F_a$	N	Force moyenne utilisée pour la susceptibilité magnétique
$F_b$	N	Force moyenne utilisée pour la magnétisation
$F_g$	N	Force gravitationnelle
$F_{max}$	N	Force maximale pour la susceptibilité magnétique
$F_z$	N	Force magnétique entre le comparateur de masse et un poids dans la direction z ou verticale
$g$	$m\ s^{-2}$	Accélération gravitationnelle
$h$	mm or m	Hauteur
$H$	$A\ m^{-1}$	Intensité du champ magnétique
$H_{EZ}$	$A\ m^{-1}$	Composante verticale de l'intensité du champ magnétique terrestre
$hr$	%	Humidité relative
$\Delta I$	kg	Différence d'indication de la balance, où $\Delta I = I_t - I_r$
$\Delta I_a$	kg	Différence d'indication de la balance dans l'air, où $\Delta I_a = I_{ta} - I_{ra}$
$\Delta I_l$	kg	Différence d'indication de la balance dans un liquide, où $\Delta I_l = I_{tl} - I_{rl}$
$\Delta I_s$	kg	Variation de l'indication de la balance due au poids de seuil
$I$	kg	Indication des instruments de pesage (échelon)
$I_a$	–	Facteur de correction géométrique [6]
$I_b$	–	Facteur de correction géométrique [6]
$I_{dl}$	–	Indication de la balance pour la différence de liquide déplacé
$I_l$	–	Indication de la balance pour le récipient et le liquide contenu
$I_{l+t}$	–	Indication de la balance pour le récipient contenant le liquide et le poids
$I_{l+ta}$	–	Indication de la balance pour le poids à tester dans l'air (après tarage)
$I_{tl}$	–	Indication de la balance pour le poids à tester dans le liquide (après tarage)
$j$	–	Indice pour le nombre de poids à tester ou le nombre de séries de mesures
$k$	–	Facteur d'élargissement, typiquement 2 $\sigma$ ou 3 ( <i>Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure</i> (GUM) (1995))[7]
$m$	kg	Masse d'un corps solide (poids)
$M$	$A\ m^{-1}$	Magnétisation permanente (voir également $\mu_0 M$ )
$M_v$	$kg\ mol^{-1}$	Masse molaire de l'eau (équation E.1)
$M_a$	$kg\ mol^{-1}$	Masse molaire de l'air sec
$m_c$	kg	Masse conventionnelle du poids
$m_{cr}$	kg	Masse conventionnelle du poids de référence
$m_{ct}$	kg	Masse conventionnelle du poids à tester
$\Delta m_c$	–	Différence de pesée moyenne observée entre le poids à tester et le poids de référence, $\rho_{ref}$ étant la densité du poids de référence

<b>Symbole</b>	<b>Unité</b>	<b>Définition</b>
$m_d$	A m <sup>2</sup>	Moment magnétique (des aimants utilisés dans le susceptomètre)
$m_0$	kg	masse, valeur nominale du poids (ex. 1 kg)
$m_r$	kg	Masse du poids de référence pour les comparaisons avec le poids à tester, les 2 étant dans l'air ou les 2 dans un liquide
$m_{ra}$	kg	Masse du poids de référence pour les comparaisons avec le poids à tester, les 2 étant dans l'air
$m_{rl}$	kg	Masse d'une combinaison de poids de référence pour la comparaison avec le poids à tester, les références étant dans l'air et le poids à tester dans un liquide
$m_s$	kg	Masse de la masse de seuil
$m_t$	kg	Masse du poids à tester
$m_{wa}$	kg	Masse du poids dans l'air
$m_{wl}$	kg	Masse du poids dans un liquide
$\Delta m$	kg	Différence de masse, généralement entre le poids à tester et le poids de référence. Valeur moyenne d'une série de mesurages, comprenant un nombre de cycles de pesées identiques, ou un nombre de séries, ayant approximativement le même écart type
$\overline{\Delta m}$	kg	Différence de masse conventionnelle
$\Delta m_c$	kg	Différence de masse conventionnelle
$n$	–	Indice pour le nombre de séquences de mesurage
$p$	Pa ou hPa	Pression
$p_{sv}$	Pa	Pression de vapeur saturante de l'air humide
$R$	J/(mol K)	Constante des gaz parfaits
$R_a$	µm	Hauteur moyenne du profil de rugosité (paramètre R) (voir chapitre 11)
$R_z$	µm	Hauteur maximum du profil de rugosité (paramètre R) (voir chapitre 11)
$r$	–	Indice pour le poids de référence
$s$	kg	Ecart type
$s$	–	Indice pour le poids de seuil
$T$	K	Température thermodynamique utilisant l'Echelle Internationale des Températures de 1990 (EIT-90)
$t$	–	Indice pour le poids à tester
$t$	°C	Température en degrés Celsius, avec $t = T - 273.15$ K
$t_{ref}$	°C	Température de référence
$U$	kg	incertitude, incertitude élargie
$u$	kg	incertitude, incertitude type
$u(m_r)$	kg	Incertitude du poids de référence
$u_b$	kg	Incertitude sur la correction de poussée de l'air
$u_{ba}$	kg	Incertitude due à la balance
$u_{ba}(\overline{\Delta m_c})$	kg	Incertitude type combinée de la balance
$u_c$	kg	Incertitude type combinée
$u_d$	kg	Incertitude due à la résolution d'affichage d'une balance numérique
$u_E$	kg	Incertitude due à l'excentration
$u_{inst}$	kg	Incertitude due à l'instabilité du poids de référence
$u_{ma}$	kg	Incertitude due au magnétisme
$u_s$	kg	Incertitude due to à la sensibilité de la balance
$u_w$	kg	Incertitude due au processus de pesage
$V$	m <sup>3</sup>	Volume d'un corps solide (poids)
$V_{rli}$	m <sup>3</sup>	volume du i-ème poids de référence d'une combinaison de poids
$x_v$	–	Fraction molaire de vapeur d'eau
$Z$	–	Facteur de compressibilité
$Z_1$	mm	Distance de la partie supérieure du poids au centre de l'aimant (Figure B.1)
$Z_0$	mm	Distance du centre de l'aimant à la partie inférieure du poids (Figure B.1)
$\rho_a$	kg m <sup>-3</sup>	Densité de l'air humide
$\rho_0$	kg m <sup>-3</sup>	Densité de l'air en tant que valeur de référence égale à 1,2 kg m <sup>-3</sup>
$\rho_r$	kg m <sup>-3</sup>	Densité d'un poids de référence de masse $m_r$
$\rho_{ra}$	kg m <sup>-3</sup>	Densité d'un poids de référence de masse $m_{ra}$
$\rho_{ref}$	kg m <sup>-3</sup>	Densité de référence (c'est-à-dire 8 000 kg m <sup>-3</sup> )
$\rho_{rl}$	kg m <sup>-3</sup>	Densité d'un poids de référence de masse $m_{rl}$
$\rho_s$	kg m <sup>-3</sup>	Densité du poids de seuil
$\rho_t$	kg m <sup>-3</sup>	Densité du poids à tester

---

<b>Symbole</b>	<b>Unité</b>	<b>Définition</b>
$\rho_x$	kg m <sup>-3</sup>	Densité de l'alliage (x)
$\rho_y$	kg m <sup>-3</sup>	Densité de l'alliage (y)
$\delta m/m_0$	–	Erreur maximale tolérée sur les poids
$\mu$	N A <sup>-2</sup>	Perméabilité magnétique
$\mu_r$	–	Perméabilité magnétique relative ( $\mu/\mu_0$ )
$\mu_0$	N A <sup>-2</sup>	Constante magnétique (perméabilité magnétique du vide), $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ N A <sup>-2</sup>
$\mu_0 M$	T	Polarisation magnétique
$\chi$	–	Susceptibilité magnétique (volume)

## 4 UNITES ET VALEURS NOMINALES DES POIDS

### 4.1 Unités

Les unités utilisées sont :

- \* Pour la masse, le milligramme (mg), le gramme (g) et le kilogramme (kg)
- \* Pour la densité, le kilogramme par mètre cube ( $\text{kg m}^{-3}$ ).

### 4.2 Valeurs nominales

Les valeurs nominales des masses pour les poids ou les jeux de poids doivent être égales à  $1 \times 10^n$  kg,  $2 \times 10^n$  kg or  $5 \times 10^n$  kg, où « n » représente un nombre entier positif, ou négatif ou zéro.

### 4.3 Séquences de poids

**4.3.1** Un jeu de poids peut être composé de différentes séquences de valeurs nominales. Si les séquences de poids sont utilisées dans un jeu de poids, les séquences individuelles suivantes doivent être utilisées :

- (1; 1; 2; 5)  $\times 10^n$  kg;
- (1; 1; 1; 2; 5)  $\times 10^n$  kg;
- (1; 2; 2; 5)  $\times 10^n$  kg; or
- (1; 1; 2; 2; 5)  $\times 10^n$  kg

où « n » représente un nombre entier positif, ou négatif ou zéro.

**4.3.2** Un jeu de poids peut aussi comprendre de multiples poids ayant tous la même valeur nominale (par exemple 10 pièces ou membres du jeu, chaque pièce ou membre ayant une capacité nominale de  $5 \times 10^n$  kg).

## EXIGENCES METROLOGIQUES

## 5 ERREURS MAXIMALES TOLEREES LORS DE LA VERIFICATION

### 5.1 Erreurs maximales tolérées lors de la vérification primitive, ultérieure ou du contrôle en service

**5.1.1** Les erreurs maximales tolérées pour la vérification primitive de poids individuels sont données au Tableau 1 et se rapportent à la masse conventionnelle.

**5.1.2** Les erreurs maximales tolérées pour la vérification primitive, ultérieure ou le contrôle en service sont du ressort de chaque état. Si cependant, les erreurs maximales tolérées autorisées sont plus grandes que celles données au Tableau 1, le poids ne peut être déclaré comme appartenant la classe OIML correspondante.

### 5.2 Incertitude élargie

Pour chaque poids, l'incertitude élargie, U, pour  $k = 2$ , de la masse conventionnelle doit être inférieure ou égale à un tiers de l'erreur maximale tolérée donnée au Tableau 1.

$$U \leq 1/3 \delta m \quad (5.2-1)$$

### 5.3 Masse conventionnelle

**5.3.1** Pour chaque poids, la masse conventionnelle  $m_c$  (déterminée avec une incertitude élargie U conformément au 5.2) ne doit pas différer de la valeur nominale,  $m_0$ , de plus que l'erreur maximale tolérée moins l'incertitude élargie :

$$m_0 - (\delta m - U) \leq m_c \leq m_0 + (\delta m - U) \quad (5.3-1)$$

**5.3.2** Pour les poids de classes E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub>, qui sont toujours accompagnés de certificats fournissant les données appropriées (spécifiées en 15.2.1), l'écart à la valeur nominale,  $m_c - m_0$ , devra être pris en compte par l'utilisateur.

Tableau 1 Erreurs maximales tolérées pour les poids ( $\pm \delta m$  en mg)

Valeur nominale*	Classe E <sub>1</sub>	Classe E <sub>2</sub>	Classe F <sub>1</sub>	Classe F <sub>2</sub>	Classe M <sub>1</sub>	Classe M <sub>1,2</sub>	Classe M <sub>2</sub>	Classe M <sub>2,3</sub>	Classe M <sub>3</sub>
5 000 kg			25 000	80 000	250 000	500 000	800 000	1 600 000	2 500 000
2 000 kg			10 000	30 000	100 000	200 000	300 000	600 000	1 000 000
1 000 kg		1 600	5 000	16 000	50 000	100 000	160 000	300 000	500 000
500 kg		800	2 500	8 000	25 000	50 000	80 000	160 000	250 000
200 kg		300	1 000	3 000	10 000	20 000	30 000	60 000	100 000
100 kg		160	500	1 600	5 000	10 000	16 000	30 000	50 000
50 kg	25	80	250	800	2 500	5 000	8 000	16 000	25 000
20 kg	10	30	100	300	1 000		3 000		10 000
10 kg	5.0	16	50	160	500		1 600		5 000
5 kg	2.5	8.0	25	80	250		800		2 500
2 kg	1.0	3.0	10	30	100		300		1 000
1 kg	0.5	1.6	5.0	16	50		160		500
500 g	0.25	0.8	2.5	8.0	25		80		250
200 g	0.10	0.3	1.0	3.0	10		30		100
100 g	0.05	0.16	0.5	1.6	5.0		16		50
50 g	0.03	0.10	0.3	1.0	3.0		10		30
20 g	0.025	0.08	0.25	0.8	2.5		8.0		25
10 g	0.020	0.06	0.20	0.6	2.0		6.0		20
5 g	0.016	0.05	0.16	0.5	1.6		5.0		16
2 g	0.012	0.04	0.12	0.4	1.2		4.0		12
1 g	0.010	0.03	0.10	0.3	1.0		3.0		10
500 mg	0.008	0.025	0.08	0.25	0.8		2.5		
200 mg	0.006	0.020	0.06	0.20	0.6		2.0		
100 mg	0.005	0.016	0.05	0.16	0.5		1.6		
50 mg	0.004	0.012	0.04	0.12	0.4				
20 mg	0.003	0.010	0.03	0.10	0.3				
10 mg	0.003	0.008	0.025	0.08	0.25				
5 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20				
2 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20				
1 mg	0.003	0.006	0.020	0.06	0.20				

\* Le Tableau 1 spécifie les plus petites et les plus grandes valeurs nominales admises dans une classe de la R 111 et les erreurs maximales tolérées et dénomination ne devront pas être extrapolées à des valeurs plus grandes ou plus faibles. Par exemple, la plus petite valeur nominale pour un poids en classe M<sub>2</sub> est 100 mg et la plus grande est 5000 kg. Un poids de 50 mg ne devrait pas être accepté dans la classe M<sub>2</sub> de la R 111 mais devrait être conforme aux erreurs maximales tolérées de la classe M<sub>1</sub> et aux autres exigences (forme et marquages par exemple) pour cette classe de poids. Autrement le poids ne peut être déclaré conforme à la R 111.

## EXIGENCES TECHNIQUES

### 6 FORME

#### 6.1 Généralités

**6.1.1** Les poids doivent avoir une forme géométrique simple pour faciliter leur fabrication. Ils ne doivent pas avoir d'arêtes vives ou de coins afin d'éviter leur détérioration et aucun creux prononcé pour éviter les dépôts à leur surface (par exemple de poussière).

**6.1.2** Les poids d'un jeu donné doivent avoir la même forme, excepté pour ceux de 1 g ou moins.

#### 6.2 Poids inférieurs ou égaux à un gramme

**6.2.1** Les poids de moins de 1 g doivent être des feuilles polygonales plates ou des fils, dont les formes sont celles spécifiées au tableau 2, permettant une manipulation facile.

**6.2.2** Les poids de 1 g doivent être des feuilles polygonales plates ou des fils (voir 6.3.1). La forme des poids ne portant pas le marquage de leur valeur nominale, doit être conforme aux valeurs données au Tableau 2.

Tableau 2 forme des poids inférieurs ou égaux à 1 g

Valeurs nominales	Feuilles polygonales	Fils		
5, 50, 500 mg	Pentagone	Pentagone	} ou }	5 segments
2, 20, 200 mg	Carré	Carré		2 segments
1, 10, 100, 1 000 mg	Triangle	Triangle		1 segment

**6.2.3** Un jeu de poids peut comprendre plus d'une séquence de formes, qui diffèrent d'une séquence à une autre. Dans une série de séquences, cependant, une séquence de poids de formes différentes ne doit pas être insérée entre deux séquences de poids qui ont la même forme.

#### 6.3 Poids de 1 g à 50 kg

**6.3.1** Un poids de 1 g peut avoir la forme de multiples de poids de 1 g ou la forme de sous-multiples de poids de 1g.

**6.3.2** Les poids de valeurs nominales de 1g à 50 kg doivent avoir les dimensions externes spécifiées dans les tableaux et illustrations de l'annexe A.

**6.3.2.1** Ces poids peuvent aussi avoir un corps cylindrique ou légèrement tronconique (voir exemple de la figure A.1) La hauteur du corps doit être entre 3/4 et 5/4 de son diamètre moyen.

**6.3.2.2** Ces poids peuvent aussi être fournis avec un bouton de préhension qui a une hauteur entre  $0,5 \times$  et  $1 \times$  le diamètre moyen du corps.

**6.3.3** En plus des formes ci-dessus (6.3.2) les poids de 5 kg à 50 kg peuvent avoir une forme différente, appropriée à leur méthode de préhension. Au lieu d'un bouton de préhension, il peut y avoir des dispositifs de préhension rigides incorporés aux poids, comme des axes, poignées, crochets œilletons, etc.

**6.3.4** Les poids de classe M avec des valeurs nominales de 5 kg à 50 kg peuvent aussi avoir la forme de parallélépipèdes rectangles avec des bords arrondis et une poignée rigide. Des exemples typiques de dimensions pour ces poids sont donnés dans les Figures A.2 et A.3.

## 6.4 Poids de 50 kg et plus

**6.4.1** Les poids de 50 kg et plus peuvent avoir des formes cylindriques, rectangulaires ou autres formes appropriées. La forme doit permettre un stockage et une manipulation sûrs.

**6.4.2** Les poids de 50 kg et plus peuvent être fournis avec des dispositifs de préhension rigides comme des axes, poignées, crochets œillets, etc.

**6.4.3** Si des poids de classe M sont destinés à rouler sur un sol plat (ou sur des rails), ils doivent être équipés de chemins de roulement ou de rainures de surface limitée.

## 7 CONSTRUCTION

### 7.1 Poids de classe E

#### 7.1.1 Poids de classe E de 1 mg à 50 kg

Les poids de classe E de 1 mg à 50 kg doivent être pleins et ne pas avoir de cavité ouverte à l'atmosphère. Ils doivent être faits d'un seul morceau de matière.

#### 7.1.2 Poids de classe E<sub>2</sub> supérieurs à 50 kg

**7.1.2.1** Les poids de classe E<sub>2</sub> supérieurs à 50 kg peuvent avoir une cavité pour l'ajustage. Le volume de cette cavité ne doit pas excéder le 1/1000 du volume total du poids. La cavité doit pouvoir être scellée et doit être étanche à l'eau et à l'air (par exemple au moyen d'un joint). Un bouchon fileté avec soit une tête de vis soit un dispositif de préhension comme un bouton, une poignée, un œillette, etc..., doit fermer la cavité d'ajustage. Le matériau du bouchon doit être le même que celui du corps du poids et doit être conforme aux exigences d'état de surface de la classe E<sub>2</sub>.

**7.1.2.2** Après l'ajustage initial, approximativement la moitié du volume total de la cavité d'ajustage doit être vide.

### 7.2 Poids de classe F

Les poids de classe F peuvent être constitués d'une ou plusieurs pièces d'un même matériau.

#### 7.2.1 Poids de classe F de 1 g à 50 kg

**7.2.1.1** Les poids de classe F de 1 g à 50 kg peuvent avoir une cavité d'ajustage. Le volume de cette cavité ne doit pas excéder ¼ du volume total du poids. La cavité d'ajustage doit être fermée au moyen d'un bouton de préhension ou de tout autre moyen approprié.

**7.2.1.2** Après l'ajustage initial, approximativement la moitié du volume total de la cavité d'ajustage doit être vide.

#### 7.2.2 Poids de classe F de plus de 50 kg

Les poids de classe F de plus de 50 kg peuvent aussi être constitués d'une boîte assemblée à partir de plusieurs pièces, fermée et soudée de manière qu'elle soit étanche à l'eau et à l'air. Le contenu de la boîte peut être constitué d'un matériau différent de celui de celle-ci et doit être conforme aux exigences relatives aux propriétés magnétiques des classes F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub>. Les parois de la boîte doivent être suffisamment rigides afin que des déformations dues aux variations de pression de l'air ambiant, la manipulation, les chocs, etc. ne puissent pas se produire. Le rapport entre la masse et le volume doit être conforme aux exigences relatives à la densité du Tableau 5.

**7.2.2.1** Les poids de classe F de plus de 50 kg peuvent avoir une cavité d'ajustage. Le volume de cette cavité ne doit pas excéder 1/20 du volume total du poids. La cavité d'ajustage doit pouvoir être scellée et doit être étanche à l'eau et à l'air (par exemple au moyen d'un joint). Un bouchon fileté avec soit une tête de vis soit un dispositif de préhension comme un bouton, une poignée, un œilleton, etc..., doit fermer la cavité d'ajustage.

**7.2.2.2** Après l'ajustage initial, approximativement la moitié du volume total de la cavité d'ajustage doit être vide.

### **7.3 Poids de classe M**

#### **7.3.1 Poids de classes M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de 1 g à 50 kg**

**7.3.1.1** Les poids de classes M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de 1 g à 10 g doivent être pleins, sans cavité d'ajustage. Pour les poids de classe M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de 20 g à 50 g la cavité d'ajustage est optionnelle. Les poids de classes M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de 100 g à 50 kg doivent avoir une cavité d'ajustage. Cependant, la cavité d'ajustage est optionnelle pour les poids de classes M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de 20 g à 200 g qui sont faits d'acier inoxydable. La cavité d'ajustage doit être conçue de manière à éviter l'accumulation de matière étrangère ou de débris, de manière à permettre une fermeture sûre de la cavité ainsi que l'ouverture de la cavité pour des ajustements complémentaires. Le volume de la cavité ne doit pas excéder ¼ du volume total du poids.

**7.3.1.2** Après l'ajustage initial, approximativement la moitié du volume total de la cavité d'ajustage doit être vide.

**7.3.2** Les poids de classes M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de 100 g à 50 kg de type cylindrique (voir Figure A.1) doivent avoir une cavité d'ajustage coaxiale avec l'axe vertical du poids, débouchant sur la face supérieure du bouton et comprenant un élargissement du diamètre à l'entrée. La cavité doit être fermée soit par un bouchon fileté soit par une tête de vis (voir Figure A.1, variante 1) ou par un disque équipé d'un orifice central permettant sa préhension. Le bouchon ou le disque doivent être en laiton ou autre matériau métallique approprié et doivent être scellés avec une pastille de plomb ou un matériau similaire repoussé dans une rainure circulaire interne prévue dans la partie élargie du diamètre.

**7.3.3** Les poids de classes M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de 5 kg à 50 kg en forme de parallélépipède rectangle doivent avoir une cavité d'ajustage formée par l'intérieur de la poignée tubulaire. Dans le cas où la poignée est massive, une cavité d'ajustage doit être moulée dans un des montants du poids, ouvrant sur le côté ou la face supérieure du poids (voir figures A.2 et A.3).

**7.3.3.1** Si la cavité d'ajustage est une poignée tubulaire (voir Figure A.2), la cavité doit être fermée soit par un bouchon fileté avec tête de vis ou par un disque avec un trou de préhension. Le bouchon ou le disque doivent être en laiton ou autre matériau métallique approprié et doivent être scellés avec une pastille de plomb (ou d'un matériau similaire), repoussée dans une rainure circulaire interne ou dans le filetage du tube.

**7.3.3.2** Si la cavité d'ajustage est moulée à l'intérieur d'un montant et débouche sur le côté ou sur la face supérieure du montant (voir figure A.3), la cavité doit être fermée par une plaque faite d'acier doux ou autre matériau approprié, scellée par une pastille de plomb ou matériau similaire enfoncée dans un logement à section conique.

#### **7.3.4 Poids de 50 kg et plus**

Les poids ne doivent pas avoir de cavités susceptibles d'entraîner l'accumulation rapide de poussière ou de débris.

**7.3.4.1** Les poids doivent comprendre une ou plusieurs cavités d'ajustage. Le volume total de l'ensemble des cavités ne doit pas dépasser 1/10 du volume total du poids. Les cavités doivent pouvoir être scellées et doivent être étanches à l'eau et à l'air (par exemple au moyen d'un joint). Les cavités doivent pouvoir être scellées avec un bouchon fileté muni soit d'une tête de vis soit d'un dispositif de préhension (par exemple un bouton ou une poignée).

**7.3.4.2** Après l'ajustage initial, au moins le 1/3 du volume total de la cavité d'ajustage doit être vide.



## **8 MATERIAU**

### **8.1 Généralités**

Les poids doivent être résistants à la corrosion. La qualité du matériau doit être telle que l'altération de la masse des poids soit négligeable par rapport aux erreurs maximales permises dans leur classe d'exactitude, dans des conditions normales d'utilisation et en fonction de leur usage prévu. (voir Tableau 1)

### **8.2 Poids de classes E<sub>1</sub> et E<sub>2</sub>**

**8.2.1** Pour les poids de 1 g ou plus, la dureté du matériau et sa résistance à l'usure doivent être similaires à ou meilleures que celles de l'acier inoxydable austénitique.

### **8.3 Poids de classe F**

La surface des poids de classe F de 1 g ou plus, peut être traitée avec un revêtement métallique adapté, afin d'améliorer leur résistance à la corrosion et leur dureté.

**8.3.1** Pour les poids de classe F de 1 g ou plus, la dureté et la friabilité des matériaux utilisés doit au moins être égale à celles du laiton étiré.

**8.3.2** Pour les poids de classe F de 50 kg ou plus, la dureté et la friabilité des matériaux utilisés pour le corps entier ou pour les surfaces externes doivent au moins être égales à celles de l'acier inoxydable.

### **8.4 Poids de classes M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de 50 kg ou moins**

La surface des poids de 1 g et plus peut être traitée avec un revêtement adapté afin d'améliorer leur résistance à la corrosion et leur dureté.

**8.4.1** Les poids de classe M de moins de 1 g doivent être faits d'un matériau suffisamment résistant à la corrosion et à l'oxydation.

**8.4.2** Les poids cylindriques de classe M<sub>1</sub> de moins de 5 kg et ceux des classes M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de moins de 100 g doivent être faits de laiton ou d'un matériau dont la dureté et la résistance à la corrosion est similaire ou meilleure. Les autres poids cylindriques de classes M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de 50 kg ou moins, doivent être faits de fonte grise ou d'un autre matériau dont la friabilité et la résistance à la corrosion est similaire ou meilleure.

**8.4.3** Les poids en forme de parallélépipède rectangle de 5 kg à 50 kg doivent être faits d'un matériau dont la résistance à la corrosion est au moins égale à celle de la fonte grise. Sa friabilité ne doit pas excéder celle de la fonte grise.

**8.4.4** Les poignées des poids en forme de parallélépipède rectangle doivent être faites d'acier sans soudure ou de fonte, solidaires du corps du poids.

### **8.5 Poids de classe M de plus de 50 kg**

**8.5.1** La surface des poids peut être traitée avec un revêtement métallique adapté, afin d'améliorer leur résistance à la corrosion et leur dureté. Ce revêtement doit résister aux chocs et aux conditions climatiques extérieures.

**8.5.2** Les poids doivent être faits d'un ou plusieurs matériaux ayant une résistance à la corrosion étant égales à ou meilleures que celles de la fonte grise.

**8.5.3** Le matériau doit être d'une dureté et d'une résistance telle qu'il peut supporter les charges et chocs inhérents aux conditions normales d'utilisation.

**8.5.4** Les poignées des poids en forme de parallélépipède rectangle doivent être faites de tubes d'acier non soudé ou de fonte, solidaires du corps du poids.

## 9 MAGNETISME

### 9.1 Limites de polarisation

La magnétisation,  $M$ , exprimée en termes de polarisation,  $\mu_0 M$ , ne devrait pas excéder les valeurs données au Tableau 3.

Tableau 3 Polarisation maximum,  $\mu_0 M$ , ( $\mu T$ )

Classe d'exactitude des poids	$E_1$	$E_2$	$F_1$	$F_2$	$M_1$	$M_{1-2}$	$M_2$	$M_{2-3}$	$M_3$
Polarisation maximale, $\mu_0 M$ , ( $\mu T$ )	2,5	8	25	80	250	500	800	1 600	2 500

### 9.2 Limites de susceptibilité magnétique

La susceptibilité magnétique d'un poids ne devrait pas excéder les valeurs données au Tableau 4.

Tableau 4 Susceptibilité maximale,  $\chi$

Classe d'exactitude des poids	$E_1$	$E_2$	$F_1$	$F_2$
$m \leq 1$ g	0,25	0,9	10	-
$2$ g $\leq m \leq 10$ g	0,06	0,18	0,7	4
$20$ g $\leq m$	0,02	0,07	0,2	0,8

9.3 Si les valeurs de toutes les mesures locales de magnétisation et de susceptibilité sont inférieures à ces limites, alors il peut être supposé que les composantes de l'incertitude due au magnétisme du poids sont négligeables. Les maxima de magnétisation permanente et de susceptibilité magnétique données aux Tableaux 3 et 4 sont tels que, pour des champs magnétiques et des gradients de champs magnétiques potentiellement présents sur les plateaux de la balance, ils entraînent une variation de la masse conventionnelle de moins de 1/10 des erreurs maximales tolérées du poids à tester [8] [9].

## 10 DENSITE

### 10.1 Généralités

La densité du matériau utilisé pour les poids est spécifiée au Tableau 5 et doit être telle qu'un écart de 10% par rapport à la densité de l'air spécifiée ( $1,2$  kg m<sup>-3</sup>) n'entraîne pas une erreur excédant le quart de la valeur absolue de l'erreur maximale tolérée du Tableau 1.

Tableau 5 Limites minimale et maximale de densité ( $\rho_{\min}$ ,  $\rho_{\max}$ )

Valeur nominale	$\rho_{\min}, \rho_{\max}, (10^3 \text{ kg m}^{-3})$							
	Classe d'exactitude des poids (pas de valeur spécifiée pour la classe M <sub>3</sub> )							
	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	M <sub>1</sub>	M <sub>1-2</sub>	M <sub>2</sub>	M <sub>2-3</sub>
≥100g	7,934 – 8,067	7,81 – 8,21	7,39 – 8,73	6,4 – 10,7	≥4,4	> 3,0	≥2,3	≥1,5
50 g	7,92 – 8,08	7,74 – 8,28	7,27 – 8,89	6,0 – 12,0	≥4,0			
20 g	7,84 – 8,17	7,50 – 8,57	6,6 – 10,1	4,8 – 24,0	≥2,6			
10 g	7,74 – 8,28	7,27 – 8,89	6,0 – 12,0	≥4,0	≥2,0			
5 g	7,62 – 8,42	6,9 – 9,6	5,3 – 16,0	≥3,0				
2 g	7,27 – 8,89	6,0 – 12,0	≥4,0	≥2,0				
1 g	6,9 – 9,6	5,3 – 16,0	≥3,0					
500 mg	6,3 – 10,9	≥4,4	≥2,2					
200 mg	5,3 – 16,0	≥3,0						
100 mg	≥4,4							
50 mg	≥3,4							
20 mg	≥2,3							

Note 1 : Loi de densité des poids. Soit  $\delta m/m_0$  la valeur de l'erreur maximale tolérée sur les poids. La densité,  $\rho$ , du poids doit satisfaire aux conditions suivantes :

$$8\,000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1+10^5 \left( \frac{\delta m/m_0}{6} \right)} \leq \rho \leq 8\,000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1-10^5 \left( \frac{\delta m/m_0}{6} \right)} \quad \text{if } \delta m/m_0 < 6 \times 10^{-5} \quad (10.1-1)$$

$$8\,000 \text{ kg m}^{-3} \times \frac{1}{1+10^5 \left( \frac{\delta m/m_0}{6} \right)} \leq \rho \quad \text{if } \delta m/m_0 \geq 6 \times 10^{-5} \quad (10.1-2)$$

Note 2 : Indépendamment des exigences concernant la densité des poids, il est souhaitable d'obtenir, particulièrement pour les poids de référence ou de valeur nominale élevée, une densité de  $8\,000 \text{ kg m}^{-3}$ . Par exemple, un corps en fonte peut être utilisé, intégrant une cavité spéciale dans laquelle un noyau de plomb peut être coulé, avec une masse d'approximativement 30 % de la masse nominale de l'étalon.

## 10.2 Correction des variations de densité de l'air

10.2.1 Si la densité de l'air,  $\rho_a$ , diffère de  $\rho_0 = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$  de plus de  $\pm 10 \%$  et que la densité du poids,  $\rho_t$  diffère de la densité du poids de référence,  $\rho_r$ , la masse conventionnelle peut être corrigée d'un facteur C comme suit :

$$m_{ct} = m_{cr} (1 + C) + \overline{\Delta m_c} \quad (10.2-1)$$

$$\text{avec : } C = (\rho_a - \rho_0) \left[ \frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right] \quad (10.2-2)$$

où :  $\overline{\Delta m_c}$  est la moyenne des différences de pesées entre le poids à tester et le poids de référence.

$\rho_r$  est la densité du poids de référence ; et

$m_{ct}$  et  $m_{cr}$  sont respectivement les masses conventionnelles du poids à tester et du poids de référence.

### 10.2.2 Poids utilisés pour l'étalonnage / la vérification des balances

L'altitude et les changement correspondants de la densité de l'air peuvent affecter l'erreur de mesurage lorsqu'on utilise la masse conventionnelle des poids ; pour cette raison, la correction de poussée de 10.2.1 doit être appliquée, ce qui nécessite de connaître la densité de l'air. S'il est prévu d'utiliser des poids de classe E au dessus de 330 m, la densité des poids doit être fournie avec son incertitude associée. Pour la classe F<sub>1</sub>, ces

dispositions s'appliquent au dessus de 800 m. Dans les autres cas, le fabricant doit considérer la minimisation de la poussée à une altitude supérieure, lorsqu'il spécifie la classe du poids pour des étalons de masse conventionnelle.

## 11 ETAT DE SURFACE

### 11.1 Généralités

Dans les conditions normales d'utilisation, la qualité de l'état de surface doit être telle que toute altération de la masse des poids soit négligeable devant les erreurs maximales tolérées.

**11.1.1** La surface des poids (base et coins inclus) doit être lisse et les bords doivent être arrondis.

**11.1.2** La surface des poids de classes E et F ne doit pas être poreuse et doit présenter un aspect brillant lorsque examinée visuellement. Un examen visuel peut suffire excepté en cas de doute ou de désaccord. Dans ce cas, les valeurs données au Tableau 6 doivent être utilisées. La rugosité maximale de la surface, permise pour les poids de plus de 50 kg, doit être le double des valeurs spécifiées au Tableau 6.

Tableau 6 Valeurs maximales de rugosité de la surface

Classe	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>
R <sub>z</sub> (µm)	0,5	1	2	5
R <sub>a</sub> (µm)	0,1	0,2	0,4	1

**11.1.3** La surface des poids cylindriques de classe M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de 1 g à 50 kg doit être lisse et ne pas être poreuse lorsque examinée visuellement. La finition des poids moulés de classes M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> de 100 g à 50 kg et de tous les poids de classe M de plus de 50 kg, doit être similaire à celle de la fonte grise soigneusement coulée en moule de sable fin. Ceci peut être obtenu par des méthodes appropriées de protection de surface.

## 12 AJUSTAGE

Un poids d'une valeur nominale donnée, doit être ajusté de telle sorte que la masse conventionnelle résultant d'une pesée de ce poids dans l'air soit égale à cette valeur nominale donnée, dans les limites des erreurs maximales tolérées fixées pour la classe d'exactitude à laquelle il appartient. Les exigences relatives aux incertitudes du paragraphe 5.3.1 doivent être appliquées.

### 12.1 Poids de classe E

Les poids doivent être ajustés par abrasion, polissage ou toute autre méthode appropriée. A la fin du procédé, l'état de surface doit être conforme aux exigences correspondantes. Les poids de plus de 50 kg avec une cavité d'ajustage, peuvent être ajustés avec le même matériau que celui les constituant.

### 12.2 Poids de classe F

Les poids pleins doivent être ajustés par abrasion, polissage ou toute autre méthode appropriée n'altérant pas la surface. Les poids disposant d'une cavité d'ajustage doivent être ajustés avec le même matériau que celui qui les constitue ou avec de l'acier inoxydable, du laiton, de l'étain, du molybdène ou du tungstène.

### 12.3 Poids de classe M

**12.3.1** Les poids de 1 mg à 1 g faits d'une fine feuille et ceux faits d'un fil, doivent être ajustés par coupage, abrasion ou polissage.

**12.3.2** Les poids cylindriques n'ayant pas de cavité d'ajustage sont ajustés par polissage.

**12.3.3** Les poids disposant d'une cavité d'ajustage doivent être ajustés en ajoutant ou en retirant un matériau métallique et dense tel qu'un plomb de chasse. Dans le cas où il n'est plus possible de retirer du matériau, l'ajustage se fait par polissage.

## 12.4 Conditions de référence

Les conditions de référence applicables à l'ajustage de poids étalons sont les suivantes :

- Densité de référence de l'étalon :  $8000 \text{ kg m}^{-3}$
- Densité de l'air ambiant :  $1,2 \text{ kg m}^{-3}$
- A l'équilibre dans de l'air à  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , sans correction de la poussée de l'air.

## 13 MARQUAGES

### 13.1 Généralités

Excepté pour les poids de classe E et ceux de 1 g décrits au 6.2.2, les poids de 1 g et les multiples de ceux-ci doivent être marqués clairement pour indiquer leur valeur nominale, sous réserve que la qualité de l'état de surface et la stabilité du poids ne soient pas affectés par les marquages ou par le procédé utilisé pour marquer le poids.

**13.1.1** Les chiffres indiquant la valeur nominale de la masse des poids doivent représenter des :

- Kilogrammes pour les poids de 1 kg et plus ; ou
- Grammes pour les poids de 1 g à 500 g.

**13.1.2** Les poids dupliqués ou triplés dans un jeu doivent pouvoir être clairement distingués au moyen d'une ou deux astérisques ou points au centre de la surface, sauf pour les poids constitués par un fil qui devront être distingués au moyen d'une ou deux encoches.

### 13.2 Poids de classe E

La classe doit être indiquée sur le couvercle de la boîte (voir 14.1) pour les poids de classe E. Un poids de classe E ne devrait pas être marqué à moins que la marquage vise à le distinguer d'un autre poids de classe E et sous réserve que la qualité de l'état de surface et la stabilité du poids ne soient pas affectés par les marquages ou par le procédé utilisé pour marquer le poids. Le nombre maximum de marques utilisateur est donné en Tableau 7.

Les poids de classe  $E_2$  peuvent porter un point excentré sur la surface supérieure afin de les distinguer des poids de classe  $E_1$ .

### 13.3 Poids de classe F

Les poids de 1 g ou plus doivent porter, par brunissage ou gravure, l'indication de leur valeur nominale exprimée conformément au 13.1 (non suivi du nom ou du symbole de l'unité)

**13.3.1** Les poids de classe  $F_1$  ne doivent porter aucune référence de classe.

**13.3.2** Les poids de classe  $F_2$  de 1 g et plus doivent porter la référence de leur classe sous la forme d'un « F » avec l'indication de leur valeur nominale.

### 13.4 Poids de classes $M_1$ , $M_2$ et $M_3$

**13.4.1** Les poids rectangulaires de 5 kg à 5000 kg, doivent porter la mention de leur valeur nominale, suivi du symbole « kg » en creux ou en relief sur le corps du poids, comme l'illustrent les Figures A.2 et A.3.

**13.4.2** Les poids cylindriques de 1 g à 5000 kg doivent indiquer leur valeur nominale, suivie par le symbole « g » ou « kg », en creux ou en relief sur le bouton, comme l'illustre la figure A.1. Sur les poids cylindriques de 500 g à 5000 kg, l'indication peut être reproduite sur la surface cylindrique du corps du poids.

**13.4.3** Les poids de classe  $M_1$  doivent porter le signe «  $M_1$  » ou « M », en creux ou en relief, avec l'indication de leur valeur nominale dans la position illustrée par les Figures A.2 et A.3. Les poids  $M_1$  de forme rectangulaire peuvent porter la marque du fabricant en creux ou en relief sur la partie centrale du poids, comme illustré par les Figures A.2 et A.3.

**13.4.4** Les poids  $M_2$  de forme rectangulaire, doivent porter l'indication de leur valeur nominale, et peuvent aussi porter le signe «  $M_2$  » en creux ou en relief, comme illustré par les Figures A.2 et A.3.

**13.4.5** Les poids  $M_3$  de forme rectangulaire doivent porter le signe «  $M_3$  » ou « X », en creux ou en relief, avec l'indication de la valeur nominale dans la position illustrée par les Figures A.2 et A.3.

**13.4.6** Les poids de classes  $M_2$  et  $M_3$  (sauf pour les poids sous forme de fils) peuvent porter la marque du fabricant en creux ou en relief :

- Sur la portion centrale d'un poids rectangulaire
- Sur la face supérieure du bouton pour les poids cylindriques ; ou
- Sur la face supérieure du cylindre pour les poids cylindriques de classe  $M_3$  qui sont équipées d'une poignée,

comme illustré par les Figures A.1, A.2 et A.3

**13.4.7** Poids de classe  $M_3$  de 50 kg et plus

Le poids doit porter sa valeur nominale en chiffres suivie du symbole de l'unité.

### 13.5 Poids de classes $M_{1,2}$ et $M_{2,3}$

Les poids de classe  $M_{1,2}$  doivent porter le signe «  $M_{1,2}$  » et ceux de classe  $M_{2,3}$  le signe «  $M_{2,3}$  » en creux ou en relief, avec la valeur nominale suivie du symbole « kg ». Les poids de classe  $M_{1,2}$  et  $M_{2,3}$  peuvent porter la marque du fabricant en creux ou en relief sur la face supérieure de la surface et avec une taille similaire à celle illustrée par les Figures A.1, A.2 ou A.3 pour les autres poids de classe M.

### 13.6 Marque utilisateur

Du fait que cela permet de relier le poids à son certificat d'étalonnage ou document de vérification, une bonne pratique pour un utilisateur consiste à clairement identifier les poids individuellement. Le nombre maximum de valeurs acceptables pour les marques utilisateurs sont données au Tableau 7.

Tableau 7 Nombre maximum de marques utilisateur

Classe	Valeur nominale	Hauteur du lettrage	Nombre maximum de signes, chiffres ou lettres
<b>E, F, <math>M_1</math> et <math>M_2</math></b>	< 1 g	1 mm	2
<b><math>E_1</math></b>	$\geq 1$ g	2 mm	3
<b><math>E_2</math></b>	$\geq 1$ g	3 mm	5
<b><math>F_1</math> à <math>M_2</math></b>	1 g à 100 g	3 mm	5
<b><math>F_1</math> à <math>M_2</math></b>	200 g à 10 kg	5 mm	5
<b><math>F_1</math> à <math>M_2</math></b>	$\geq 20$ kg	7 mm	5

Les marques utilisateurs doivent être des signes, chiffres ou lettres, ne portant pas confusion avec les indications de valeur nominale ou de classe.

## 14 PRESENTATION

### 14.1 Généralités

Excepté pour les poids de classes  $M_{1,2}$ ,  $M_2$ ,  $M_{2,3}$  et  $M_3$ , les poids doivent se présenter conformément aux exigences suivantes.

**14.1.1** Le couvercle de la boîte contenant les poids doit être marqué afin d'indiquer leur classe sous la forme «  $E_1$  », «  $E_2$  », «  $F_1$  », «  $F_2$  » ou «  $M_1$  »

**14.1.2** Les poids appartenant à un même jeu doivent être de même classe d'exactitude.

### 14.2 Poids de classes E et F

**14.2.1** Les poids individuels et les jeux de poids doivent être protégés contre les détériorations et dommages dus aux chocs ou aux vibrations. Ils doivent être contenus dans des boîtes faites de bois, plastique ou tout matériau approprié, ayant des logements individuels.

**14.2.2** Les moyens de préhension des poids de classes E et F devraient être fabriqués de manière à ne pas rayer ni modifier la surface du poids.

### 14.3 Poids de classe M<sub>1</sub>

**14.3.1** Les poids cylindriques de classe M<sub>1</sub> de 500 g et moins (individuels ou inclus dans des jeux), doivent être contenus dans des boîtes disposant de logements individuels.

**14.3.2** Les poids sous forme de fine feuille ou de fil doivent être contenus dans des boîtes ayant des logements individuels; la référence à la classe (M<sub>1</sub>) doit être inscrite sur le couvercle de la boîte.

## CONTROLES METROLOGIQUES

### 15 SOUMISSION AUX CONTROLES METROLOGIQUES

Dans un pays où les poids sont soumis aux contrôles métrologiques de l'état, ces contrôles peuvent, en fonction de la législation nationale, comprendre une ou plusieurs des opérations suivantes : approbation de type, étalonnage, ré-étalonnage, vérification, vérification primitive et vérification ultérieure. Le tableau 8 fournit un guide pour déterminer à quelle étape de l'évaluation quel essai doit être réalisé.

Tableau 8 Guide pour la détermination des essais à réaliser pour l'examen de type et suggestions d'essais pour la vérification primitive et la vérification ultérieure.

Essai	Densité $\rho$			Rugosité de la surface			Susceptibilité magnétique $\chi$			Magnétisation permanente $M$			Masse conventionnelle $m_0$		
	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M	E	F	M
<b>ET</b>	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>VP</b>	✓+			V	V	V	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
<b>V</b>				V	V	V				*	*	*	✓	✓	✓

Légende :

ET	Approbation de type
VP	Vérification primitive réalisée à la première mise en service du poids
VU	Vérification périodique ou ultérieure
	Essai non applicable
V	Inspection visuelle seulement
✓	Essai requis
*	En cas de doute la magnétisation permanente peut être testée au cours de la vérification ultérieure
+	Applicable seulement pour la classe E <sub>1</sub> , pas E <sub>2</sub>

## 15.1 Approbation de type

**15.1.1** Chaque fabricant ou représentant autorisé peut soumettre un modèle ou un type de poids destinés à être fabriqués à l'organisme responsable d'assurer que ce modèle ou ce type est conforme aux exigences réglementaires. Les procédures d'essai obligatoires sont données aux Annexes B et C de la présente Recommandation. Pour l'approbation de type, le format obligatoire de rapport d'essai est donné dans R 111-2. Le Tableau 8 donne les essais obligatoires pour l'approbation de type.

**15.1.2** Un modèle ou un type approuvé ne doit pas être modifié sans autorisation spéciale dès qu'il a fait l'objet d'une approbation de type. (voir OIML B 3 OIML *Système de Certificats pour les Instruments de Mesure*)

## 15.2 Etalonnage et vérification

L'étalonnage et la vérification des poids ou des jeux de poids doit être de la responsabilité de l'organisme national responsable ou de l'utilisateur en fonction de la réglementation nationale et de l'usage prévu. Les certificats d'étalonnage et de vérification doivent être émis par un laboratoire autorisé ou accrédité. La traçabilité aux étalons nationaux doit être assurée.

### 15.2.1 Certificats d'étalonnage et de vérification

Un certificat d'étalonnage ou de vérification doit indiquer au minimum : la masse conventionnelle de chaque poids,  $m_c$ , une indication mentionnant si un ajustage a eut lieu avant étalonnage, l'incertitude élargie,  $U$ , et le facteur d'élargissement,  $k$ .

**15.2.2** Les poids de classe  $E_1$  doivent être accompagnés d'un certificat d'étalonnage.

**15.2.2.1** Le certificat pour les poids de classe  $E_1$  doit indiquer au minimum, les valeurs de masse conventionnelle,  $m_c$ , d'incertitude élargie,  $U$ , de facteur d'élargissement,  $k$ , et de densité ou de volume pour chaque poids. De plus, le certificat doit indiquer si la densité ou le volume ont été calculés ou estimés.

**15.2.2.2** Le certificat des poids de classe  $E_2$  doit indiquer au minimum les informations suivantes :

- a) la valeur de la masse conventionnelle,  $m_c$ , pour chaque poids, l'incertitude élargie,  $U$ , et le facteur d'élargissement,  $k$  ; ou
- b) les informations requises pour les certificats d'étalonnage des poids de classe  $E_1$  (sous les conditions fixées au 1.3.1.a)

## 15.3 Ré-étalonnage, vérification primitive et ultérieure

**15.3.1** Le Tableau 8 donne les essais suggérés pour la vérification primitive et ultérieure. Les catégories de poids sujettes à étalonnage ou à vérification primitive devraient également être sujettes à ré-étalonnage ou à vérification ultérieure, permettant de vérifier qu'elles ont maintenu leurs caractéristiques métrologiques. Tous les poids jugés défectueux au moment du ré-étalonnage ou de la vérification ultérieure doivent être écartés ou réajustés.

**15.3.2** Pour la vérification ultérieure, la conception et l'état de surface des poids doit au minimum faire l'objet d'un examen visuel, et le poids être comparé à son certificat et à son certificat OIML de conformité.

## 16 MARQUES DE CONTROLES

### 16.1 Généralités

Les marques de contrôles ne sont pas requises sur les poids lorsqu'un certificat est émis.



## **16.2 Poids de classe E**

**16.2.1** Les marques de contrôles peuvent être apposées sur la boîte.

**16.2.2** Un certificat d'étalonnage doit être délivré par les autorités métrologiques (par exemple services ou laboratoires d'étalonnage accrédités) pour chaque poids ou jeu de poids.

## **16.3 Poids-de classe F**

### **16.3.1 Poids de classe F<sub>1</sub>**

Si les poids sont sujets à des contrôles métrologiques, les marques de ces contrôles doivent être apposées sur la boîte les contenant.

### **16.3.2 Poids de classe F<sub>2</sub>**

Si des poids cylindriques de classe F<sub>2</sub> sont sujets à des contrôles métrologiques, les marques de contrôle appropriées doivent être apposée sur le scellement de la cavité d'ajustage. Pour les poids sans cavité d'ajustage, les marques de contrôle doivent être apposées à leur base ou sur la boîte les contenant.

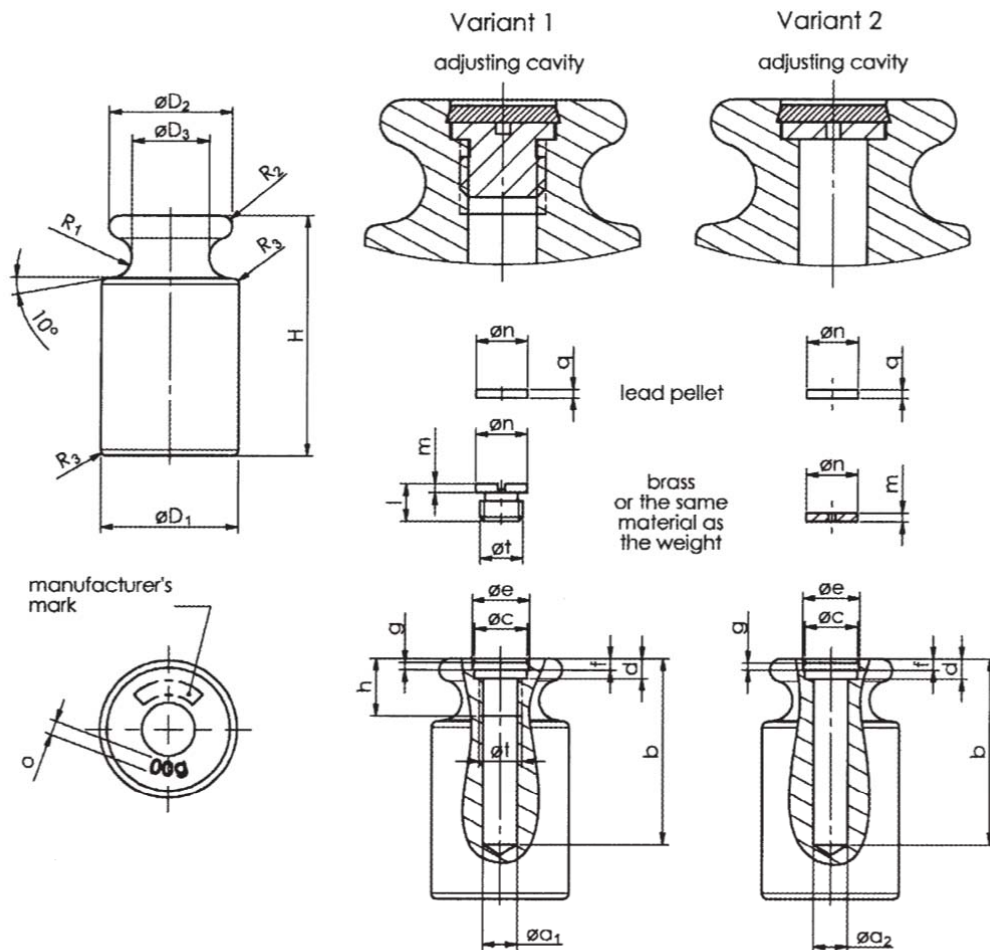
## **16.4 Poids de classe M**

**16.4.1** Si des poids de classes M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub> sont sujets à des contrôles métrologiques, les marques de contrôle appropriées doivent être apposées sur le scellement de la cavité d'ajustage. Pour les poids-sans cavité d'ajustage, les marques de contrôle doivent être apposées à leur base.

**16.4.2** Si les poids de type fine plaque ou fil, de classe M<sub>1</sub>, sont sujets à des contrôles métrologiques, les marques de contrôle appropriées doivent être apposées sur la boîte.

## Annexe A Exemples de dimensions et formes diverses

Figure A.1 Exemples de poids cylindriques



Annex A. Examples of different shapes and dimensions  
A.1 Table of dimensions (in millimeters)

Nominal value	$D_1$	$D_2$	$D_3$	H	$R_1$	$R_2$	$R_3$	$\phi$	$a_1$	$a_2$	$b$ Ⓛ	c	d	e	f	g	h	i	m	n	q	t
1 g	6	5,5	3		0,9	0,5	0,5	1														
2 g	6	5,5	3		0,9	0,5	0,5	1														
5 g	8	7	4,5		1,25	0,7	0,5	1														
10 g	10	9	6		1,5	0,8	0,5	1														
20 g	13	11,5	7,5		1,8	1	0,5	1,5														
50 g	18	16	10		2,5	1,5	1	2														
20 g	13	11,5	7,5		1,8	1	0,5	1,5	3,5	3	18	5,5	2,5	6,5	1,5	1	9	5	1	5	1	M4 x 0,5
50 g	18	16	10		2,5	1,5	1	2	5,5	4,5	25	7,5	3,5	9	2	1	10	5	1,5	7	1,5	M6 x 0,5
100 g	22	20	13		3,5	2	1	2	5,5	4,5	30	7,5	3,5	9	2	1	10	5	1,5	7	1,5	M6 x 0,5
200 g	28	25	16		4	2,25	1,5	3,2	6,9	7	40	10,5	4,5	12	2,5	1,5	15	8	2	10	2	M8 x 1
500 g	38	34	22		5,5	3	1,5	3,2	6,9	7	50	10,5	4,5	12	2,5	1,5	15	8	2	10	2	M8 x 1
1 kg	48	43	27		7	4	2	5	12,4	12	65	18,5	7	20	4	2,5	20	13	3	18	3	M14 x 1,5
2 kg	60	54	36		9	5	2	5	12,4	12	80	18,5	7	20	4	2,5	20	13	3	18	3	M14 x 1,5
5 kg	80	72	46		12	6,5	2	10	18,4	18	120	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5
10 kg	100	90	58		15	8,5	3	10	18,4	18	160	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5
20 kg	128	112	74		18	11	3	10	18,4	18	160	24,5	8	26,5	4	2,5	35	18	4	24	3	M20 x 1,5

Ⓛ The depth of the adjusting cavities is given only as an indication

Figure A.2 Exemples de poids en barre rectangulaire (type 1)

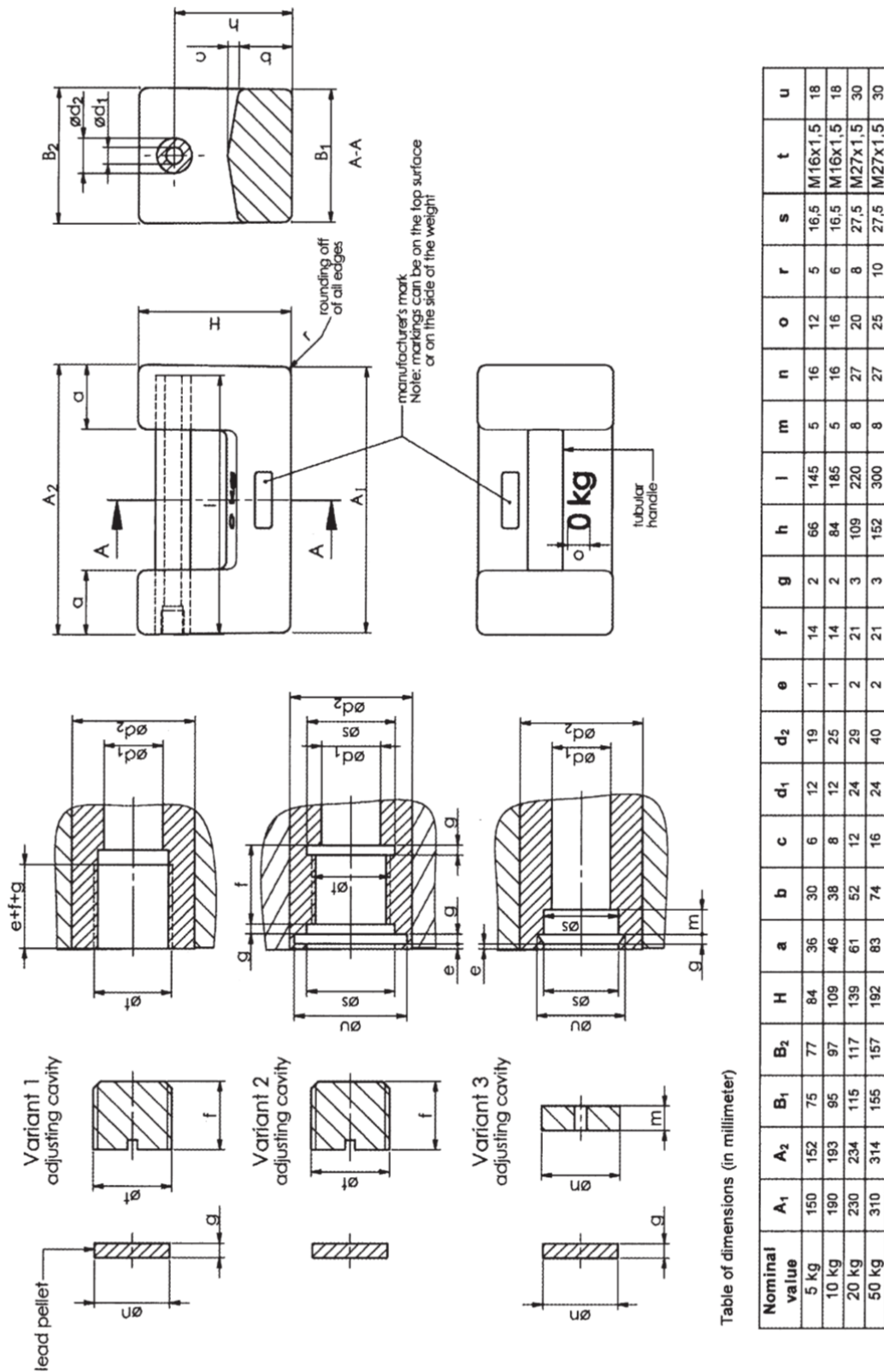


Table of dimensions (in millimeter)

Nominal value	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	H	a	b	c	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	e	f	g	h	i	l	m	n	o	r	s	t	u
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	12	19	1	14	2	66	145	5	16	12	5	16,5	16,5	M16x1,5	18
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	12	25	1	14	2	84	185	5	16	16	6	16,5	16,5	M16x1,5	18
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	24	29	2	21	3	109	220	8	27	20	8	27,5	27,5	M27x1,5	30
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	24	40	2	21	3	152	300	8	27	25	10	27,5	27,5	M27x1,5	30

Dimensions A and A' as well as B and B' can be reversed.

Figure A.3 Exemples de poids en barre rectangulaire (type 2)

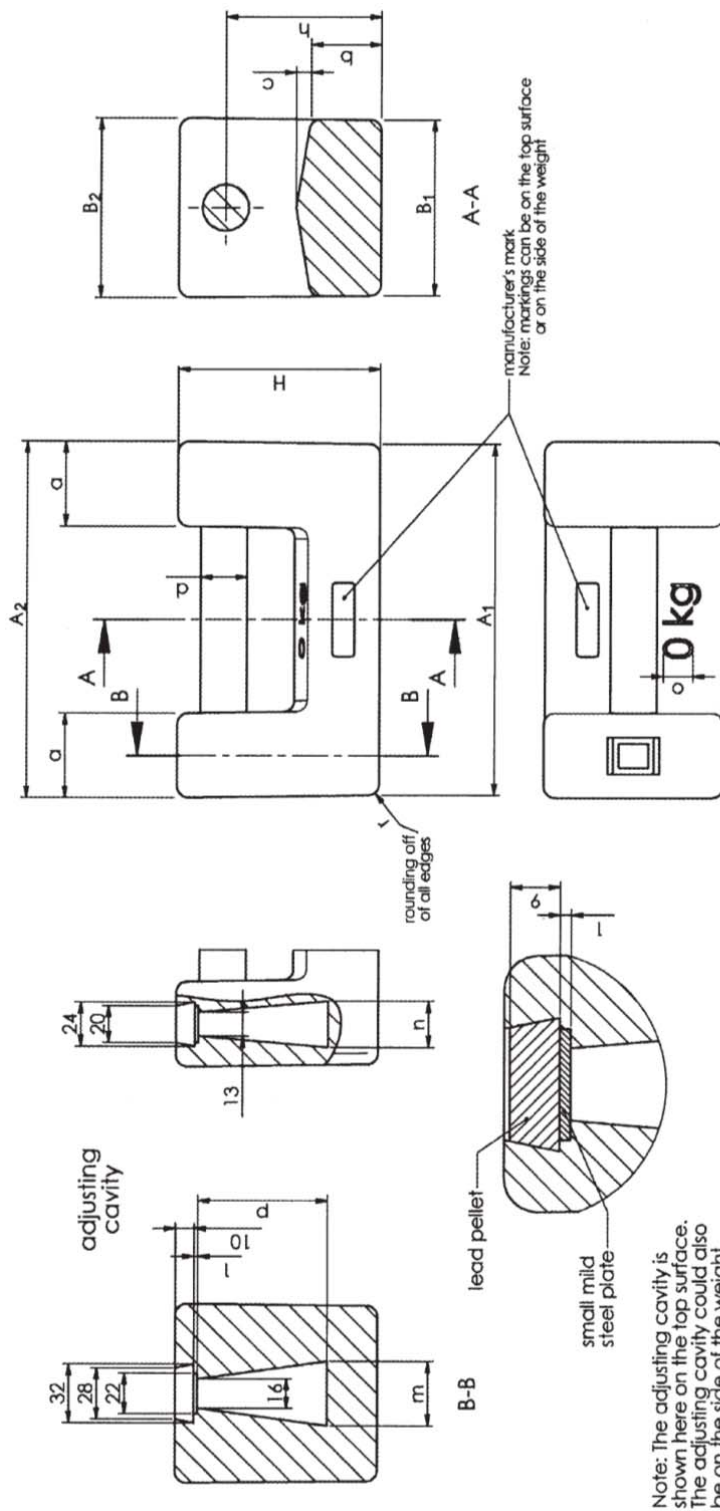


Table of dimensions (in millimeter)

Nominal value	$A_1$	$A_2$	$B_1$	$B_2$	$H$	$a$	$b$	$c$	$d$	$h$	$m$	$n$	$o$	$p$	$r$
5 kg	150	152	75	77	84	36	30	6	19	66	16	13	12	55	5
10 kg	190	193	95	97	109	46	38	8	25	84	35	25	16	70	6
20 kg	230	234	115	117	139	61	52	12	28	109	50	30	20	95	8
50 kg	310	314	155	157	192	83	74	16	40	152	70	40	25	148	10

Dimensions  $A$  and  $A'$  as well as  $B$  and  $B'$  can be reversed. The internal dimensions  $m$ ,  $n$ ,  $p$  of the adjusting cavities are given only as an indication.

## **Annexe B**

### **Procédures d'essai pour les poids (Obligatoire)**

#### **B.1 Introduction**

Cette annexe présente les méthodes acceptées pour déterminer certaines propriétés des poids. Ces méthodes s'appliquent aux poids individuellement ou aux jeux.

**B.1.1** Les rapports d'essais doivent indiquer clairement la méthode utilisée pour réaliser chaque essai. Les méthodes contenues dans cette annexe peuvent être référencées par leurs numéros de chapitres respectifs. Si d'autres méthodes sont employées, alors la validité de la méthode doit être justifiée et documentée.

**B.1.2** Le terme « masse conventionnelle » est utilisé dans tous les cas, excepté dans le chapitre densité dans lequel le terme « masse réelle » est utilisé (voir 2.6).

#### **B.2 Séquence d'essais**

Les évaluations préliminaires et les essais sont à réaliser dans l'ordre suivant (si applicable) :

- a) Revue documentaire et inspection visuelle selon la liste de contrôle (voir R 111-2 Format du Rapport d'Essais) ;
- b) Nettoyage des poids (B.4)
- c) Rugosité de la surface (B.5)
- d) Magnétisme (B.6)
- e) Densité (B.7)

*Note :* le nettoyage doit être répété après la mesure de densité si le fluide utilisé n'est pas de l'eau (autres fluides typiquement utilisés [ex. fluorocarbones ] laissent un résidu qui doit être enlevé avec un solvant tel que l'alcool)

- f) Mesure de la masse conventionnelle (Annexe C).

#### **B.3 Revue documentaire et inspection visuelle**

##### **B.3.1 Examen administratif**

Réaliser une revue, selon 15.1, de la documentation soumise, incluant, photographies, plans, spécifications techniques pertinentes, etc. pour déterminer si la documentation est adéquate et correcte.

##### **B.3.2 Comparer la construction à la documentation**

Examiner l'apparence physique du poids et de la boîte de poids pour s'assurer de la conformité à la documentation (selon 6, 7, 8, 14 et 15.1 de cette recommandation)

##### **B.3.3 Examen initial**

###### **B.3.3.1 Caractéristiques métrologiques**

Noter les caractéristiques métrologiques selon R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*

###### **B.3.3.2 Marquages** (selon 13 et 16 de cette recommandation)

Vérifier les marquages selon R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*

#### **B.4 Nettoyage des poids**

**B.4.1** Comme le procédé de nettoyage peut changer la masse du poids, il est important de nettoyer celle-ci avant tout mesurage. Le nettoyage ne devrait pas retirer de quantité significative du matériau constituant le poids. Les poids devraient être manipulés et stockés de telle sorte qu'ils restent propres. Avant l'étalonnage, les poussières et particules étrangères doivent être enlevées. Une attention particulière doit être portée à ne pas modifier les propriétés de la surface du poids (en rayant le poids par exemple).

Si un poids présente des quantités significatives d'impuretés qui ne peuvent être retirées au moyen des méthodes citées ci dessus, le poids ou une partie de celui-ci peut être nettoyé avec de l'alcool propre, de l'eau distillée ou un autre solvant. Les poids possédant une cavité interne, ne devraient normalement pas être immergés dans le solvant, afin d'éviter que le fluide ne pénètre dans l'ouverture. Si il est nécessaire de surveiller la stabilité d'un poids en service, la masse de ce poids devrait, si possible, être déterminée avant nettoyage.

**B.4.2** Après que les poids ont été nettoyés avec des solvants, ils doivent être stabilisés pendant les durées données au Tableau B.1

Tableau B.1 Temps de stabilisation après nettoyage.

Classe du poids	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub> à M <sub>3</sub>
Après nettoyage à l'alcool	7–10 jours	3–6 jours	1–2 jours	1 heure
Après nettoyage à l'eau distillée	4–6 jours	2–3 jours	1 jour	1 heure

### B.4.3 Stabilisation thermique

Préalablement à la réalisation de tout essai d'étalonnage, les poids doivent être acclimatés aux conditions ambiantes du laboratoire. En particulier, les poids de classes E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> et F<sub>1</sub> devraient être proches de la température dans la zone de pesée.

**B.4.3.1** Les temps minima obligatoires requis pour la stabilisation en température (en fonction de la taille du poids, de sa classe et de la différence entre la température initiale du poids et la température de la salle dans le laboratoire) sont donnés par le Tableau B.2. A titre de règle pratique, une durée d'attente de 24 heures est recommandée.

Tableau B.2 [11] Stabilisation thermique en heures

$\Delta T^*$	Valeur nominale	Classe E <sub>1</sub>	Classe E <sub>2</sub>	Classe F <sub>1</sub>	Classe F <sub>2</sub>
±20 °C	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	79	5
	100, 200, 500 kg	-	70	33	4
	10, 20, 50 kg	45	27	12	3
	1, 2, 5 kg	18	12	6	2
	100, 200, 500 g	8	5	3	1
	10, 20, 50 g	2	2	1	1
	< 10 g		1		0,5
±5 °C	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	1	1
	100, 200, 500 kg	-	40	2	1
	10, 20, 50 kg	36	18	4	1
	1, 2, 5 kg	15	8	3	1
	100, 200, 500 g	6	4	2	0,5
	10, 20, 50 g	2	1	1	0,5
	< 10 g		0,5		
±2 °C	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	1	0,5
	100, 200, 500 kg	-	16	1	0,5
	10, 20, 50 kg	27	10	1	0,5
	1, 2, 5 kg	12	5	1	0,5
	100, 200, 500 g	5	3	1	0,5
	< 100 g	2	1		0,5
±0,5 °C	1 000, 2 000, 5 000 kg	-	-	-	-
	100, 200, 500 kg	-	1	0,5	0,5
	10, 20, 50 kg	11	1	0,5	0,5
	1, 2, 5 kg	7	1	0,5	0,5
	100, 200, 500 g	3	1	0,5	0,5
	< 100 g	1		0,5	

\*  $\Delta T$  = différence initiale entre la température du poids et la température du laboratoire.

## **B.5 Rugosité de la surface**

### **B.5.1 Introduction**

La stabilité de la masse d'un poids dépend fortement de la structure de la surface de celui-ci. Les autres paramètres étant identiques, un poids à surface lisse est supposé être plus stable qu'un poids à surface rugueuse. Lors de l'évaluation de la rugosité de la surface, il est important que le poids soit propre.

**B.5.1.1** Pour les poids neufs, sans rayures visibles, la rugosité de la surface peut être quantifiée de manière bien définie. Ceci est plus difficile pour les surfaces comportant beaucoup de rayures. En métrologie dimensionnelle, la rugosité d'une surface est clairement distincte des défauts de surface tels que les rayures. Cependant, les rayures vont collecter les impuretés si le poids y est exposé, par conséquent la quantité de rayures devrait être évaluée parallèlement à la rugosité de la partie non rayée de la surface. L'évaluation de la rugosité de la surface ne s'applique qu'aux poids de 1 g et plus.

### **B.5.2 Evaluation générale**

L'évaluation de la rugosité d'un poids est d'abord réalisée par inspection visuelle. Cependant, pour les poids de classes E et F, l'évaluation devrait aussi être réalisée avec un spécimen de comparaison de rugosité (SC), utilisant un instrument à palpeur (IP) ou tout autre instrument conventionnel.

*Attention : l'utilisation du palpeur peut endommager ou rayer la surface du poids.*

#### **B.5.2.1 Spécimen de comparaison (méthode SC)**

Si la valeur vraie de la rugosité de la surface n'est pas requise mais doit seulement être conforme à une certaine spécification, la surface peut être comparée visuellement à un spécimen de comparaison de rugosité. Un tel spécimen est constitué d'un quadrillage de sections dont la rugosité spécifiée augmente. Le spécimen est considéré comme certifié s'il a été étalonné par un laboratoire accrédité et est accompagné d'un certificat. La certification doit inclure les paramètres de rugosité  $R_z$  ou  $R_a$ . Le spécimen de comparaison doit avoir une surface de pose similaire à celle du poids et doit avoir été produit par des méthodes d'usinage similaires à celles utilisées pour la surface des poids. Dès lors que des poids ont des surfaces planes et aussi cylindriques, deux jeux de spécimen doivent être utilisés, un avec des surface planes, l'autre avec des surfaces cylindriques.

#### **B.5.2.2 Instrument à palpeur (méthode IP)**

Classiquement, un instrument à palpeur mesure la rugosité des surfaces. Avec cet instrument, un stylet pointu est déplacé doucement le long d'une ligne sur la surface et le mouvement vertical de la pointe de lecture est enregistré en fonction de la position le long de la ligne. De cette manière un profil de la surface est enregistré.

*Attention : l'utilisation du palpeur peut endommager ou rayer la surface du poids.*

#### **B.5.2.3 Autres instruments**

Des instruments pour mesurer la rugosité autres que les instruments traditionnels existent, tels que ceux utilisant la mesure de la lumière diffusée [12].

### **B.5.3 Procédures d'essais**

#### **B.5.3.1 Inspection visuelle (poids de classes E, F et M)**

##### **B.5.3.1.1 Equipements**

- a) Une pièce bien éclairée
- b) Des gants de laboratoire
- c) Des chiffons non pelucheux

##### **B.5.3.1.2 Procédure de mesurage**

###### **B.5.3.1.2.1 Poids neufs**

- a) Pour toute les classes, inspecter visuellement la surface du poids :
  - 1) Noter tout « coup », bosse ou rayure profonde su sa surface ;
  - 2) Les surfaces doivent être lisses (voir 11.1.1) ;

- 3) Les bords doivent être arrondis ;
- 4) Pour les poids de 1 g à 10 kg la surface ne doit pas être poreuse.
- b) Pour les classes E et F, inspecter visuellement la surface du poids :
  - 1) les surfaces ne doivent pas être poreuses (voir 11.1.2)
  - 2) les surfaces doivent être brillantes
- c) Pour les poids cylindriques de classe M de 1 g à 50 kg, la surface doit être lisse et non poreuse.
- d) Pour les poids rectangulaires de classe M (5 kg, 10 kg, 20 kg et 50 kg), la finition doit être celle de la fonte grise (11.1.3).
- e) Pour les poids de classe M<sub>3</sub> de 50 kg ou plus, la surface doit être revêtue d'un matériau rendant la surface imperméable, approprié à la protection contre la corrosion. Ce revêtement doit pouvoir supporter les chocs et les conditions atmosphériques (8.5.1).

#### **B.5.3.1.2.2 Poids utilisés**

En plus des inspections visées au B.5.3.1.2.1, inspecter la surface du poids en cherchant les marques suivantes, dues à l'utilisation.

Inspecter visuellement la surface du poids. Les poids utilisés auront normalement des rayures, particulièrement sur la surface inférieure :

- 1) Si le nombre et la profondeur des rayures est compatible avec la stabilité appropriée du poids, celui-ci peut être accepté ;
- 2) Pendant l'évaluation de la rugosité de la surface, les rayures individuelles et autres défauts ne doivent pas être pris en compte ; ou
- 3) Si les rayures sont trop nombreuses pour permettre l'évaluation de la rugosité de la surface, le poids ne doit pas être accepté.

#### **B.5.3.1.3 Consignation des résultats**

Enregistrer l'évaluation sur les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*, en indiquant « inspection visuelle » comme méthode d'évaluation.

#### **B.5.3.2 Comparaison de spécimens de rugosité (méthode SC) (poids de classe E et F)**

La rugosité de la surface peut être comparée visuellement aux spécimens de comparaison de rugosité.

##### **B.5.3.2.1 Equipements**

- a) Un spécimen de comparaison de rugosité certifié propre (voir B.5.2.1)
- b) Une pièce bien éclairée
- c) Des gants de laboratoire
- d) Des chiffons non pelucheux

##### **B.5.3.2.2 Procédure de mesurage**

- a) nettoyer la surface du spécimen de comparaison avec un chiffon non pelucheux trempé dans de l'alcool. Si la surface du poids ne semble pas propre, la nettoyer également.  
*Note* : le nettoyage est susceptible de modifier significativement la masse du poids. Voir B.4 au sujet du nettoyage des poids.
- b) Maintenir le poids contre une section du spécimen de comparaison, les surfaces de pose étant parallèles.
- c) Observer simultanément les deux surfaces sous différents angles.
- d) Evaluer si la rugosité du poids semble plus importante ou plus faible que la section particulière du spécimen de comparaison.
- e) Répéter avec différents échantillons sur le spécimen de comparaison et déterminer la limite supérieure.

##### **B.5.3.2.3 Consignation des résultats**

Enregistrer les valeurs de  $R_a$  et  $R_z$  les plus représentatives du poids testé en utilisant les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*, en indiquant « SC » comme méthode d'évaluation. Si l'examen visuel indique clairement que la rugosité,  $R_z$  ou  $R_a$ , de la surface du poids est inférieure à la valeur maximum spécifiée en 11.1.2, des mesurages de rugosité supplémentaires ne sont pas nécessaires. Si un doute existe, la rugosité,  $R_z$  ou  $R_a$ , doit être mesurée avec un instrument à palpeur.



**B.5.3.3 Mesurage de rugosité au moyen d'un instrument à palpeur (méthode IP) (classes E et F)**

Ce paragraphe s'applique seulement aux poids pour lesquels la conformité aux exigences de rugosité ne peut être évaluée de manière sûre par un examen visuel. Avant utilisation, l'instrument à palpeur doit être correctement étalonné en utilisant des spécimens pour l'étalonnage certifiés selon ISO 5436 [13]. D'autres instruments peuvent être utilisés uniquement si la traçabilité aux unités de longueur est documentée.

**B.5.3.3.1 Equipements**

- a) Instrument à palpeur comme défini dans ISO 3274 [14] ;
- b) Gants de laboratoire.

**B.5.3.3.2 Procédure de mesurage (conformément à ISO 4288 [15])**

- a) Réaliser au moins 6 mesurages
  - 1) Deux sur le plan de la surface supérieure
  - 2) Quatre sur la surface cylindrique
- b) Ne pas inclure les rayures et les défauts sur le tracé des profils
- c) Toutes les valeurs de mesurage de rugosité des surfaces,  $R_z$  ou  $R_a$ , doivent être inférieures aux valeurs maximales spécifiées au Tableau 6 dans 11.1.2.

**B.5.3.3.3 Consignation des résultats**

Enregistrer les valeurs de  $R_a$  et  $R_z$  les plus représentatives du poids en utilisant les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*, en indiquant « IP » comme méthode d'évaluation.

**B.6 Magnétisme****B.6.1 Introduction**

Les forces magnétiques peuvent affecter le processus de pesée, car sans investigation systématique, ces forces parasites ne peuvent pas être distinguées des forces gravitationnelles lors de la détermination de la masse. Les forces magnétiques peuvent résulter de l'interaction réciproque de deux étalons de masse, ainsi qu'entre un étalon de masse, le comparateur de masse utilisé pour la pesée, et d'autres objets magnétiques avoisinants.

**B.6.1.1 Considérations générales**

Les propriétés magnétiques (magnétisation et susceptibilité) des étalons de masse devraient être déterminées avant l'étalonnage du poids (annexe C) afin de s'assurer que les interactions magnétiques sont négligeables. Un poids qui échoue au test de magnétisme ne devrait pas être étalonné.

**B.6.1.1.1** Comme ils sont connus pour être non-magnétiques et ont une susceptibilité magnétique,  $\chi$ , bien inférieure à 0,01, il n'est pas nécessaire de mesurer les propriétés magnétiques des poids en aluminium. En outre, pour les petits poids (<2 g) et pour les classes d'exactitudes inférieures (F1 et au-dessous, <20 g), il suffit de se référer aux spécifications du fabricant sur les propriétés magnétiques du matériau constituant les poids (voir B.6.3).

**B.6.1.1.2** Beaucoup des poids de classe M sont en fonte ou en simple alliage d'acier. Par conséquent les poids de classe M ont, plus souvent que ceux des classes E et F, des erreurs relatives élevées dues aux interactions magnétiques entre le poids et l'instrument de pesage. Tous les métaux ont une certaine susceptibilité magnétique. Cependant, les alliages contenant des impuretés magnétiques ont une susceptibilité accrue et peuvent devenir magnétisés.

*Note* : les forces magnétiques s'appliquant sur les côtés des poids nécessitent également d'être prises en compte, mais ne sont pas traitées dans cette édition de la R 111.

**B.6.1.2 Aperçu des procédures d'essais**

Les chapitres B.6.2 à B.6.6 décrivent deux méthodes reconnues pour la détermination de la magnétisation des poids (B.6.2 et B.6.4) et quatre méthodes reconnues pour la détermination de la susceptibilité magnétique (B.6.3, B.6.4, B.6.5, B.6.6), comprenant une formule de calcul de la magnétisation et de la susceptibilité magnétique. Les limites pour la magnétisation permanente et la susceptibilité magnétique sont données en 9.1 et 9.2. Les méthodes recommandées pour les différentes classes d'exactitudes et masses nominales sont données dans les

Tableaux B.3(a), B.3(b) et B.3(c). Des méthodes alternatives peuvent être employées sous réserve que leur validité soit justifiée dans la documentation appropriée qui sera jointe au rapport d'essais.

*Note* : Une caractérisation complète de la magnétisation d'un poids est techniquement impossible. Les méthodes présentées ici reposent sur des approximations qui se sont avérées utiles. Dans les cas où les différentes méthodes présentées ici donnent des résultats contradictoires, l'ordre de préférence est le suivant: B.6.4, B.6.2 (sonde de Hall), B.6.2 (sonde magnétométrique).

## **B.6.2 Méthode pour déterminer la magnétisation permanente, Gaussmètre**

La magnétisation permanente d'un poids peut être estimée à partir du mesurage, au moyen d'un Gaussmètre, du champ magnétique à proximité de ce poids. Cette méthode peut être utilisée pour toutes les classe d'exactitudes listées en Tableau B.3(c).

### **B.6.2.1 Considérations générales**

- a) La direction du champ magnétique ambiant dans la pièce où ont lieu les essais doit être vérifiée avec un Gaussmètre avant le début des essais. L'essai doit être réalisé dans une zone sans objets ferromagnétiques. L'opérateur ne doit pas porter d'objets ou de nature ferrique.
- b) Mesurer le champ magnétique dû au poids, avec par exemple une sonde de hall (instrument à utiliser de préférence) ou une sonde magnétométrique. Une sonde magnétométrique ne doit pas être utilisée pour des poids de moins de 100 g. Aligner la sonde de manière à ce que l'axe selon lequel elle est sensible soit perpendiculaire à la surface du poids.
- c) Le mesurage devrait être réalisé dans la direction dans laquelle le champ magnétique ambiant détecté par la sonde est proche de zéro.
- d) Alternativement, la valeur de l'induction ambiante devrait être soustraite de la valeur d'induction mesurée en présence du poids.

### **B.6.2.2 Equipements**

- a) Un Gaussmètre tel qu'une sonde de Hall ou une sonde magnétométrique
- b) Des outils pour manipuler les poids (ex. gants de laboratoire, chiffon non pelucheux, pinces de laboratoire) ; et
- c) Une pièce bien éclairée

### **B.6.2.3 Procédure de mesurage**

- a) Mettre à zéro l'instrument
- b) Placer la sonde sur une surface non magnétique.
- c) Réaliser une lecture de la valeur du champ magnétique avec une orientation particulière de la sonde. La valeur est une mesure du champ magnétique ambiant. Cette valeur sera soustraite de toute autre valeur de mesurage réalisée sur ou à proximité du poids.
- d) Placer le poids sur la sonde tout en maintenant l'orientation de la sonde. Le centre de la face inférieure du poids doit être placé au-dessus de la sonde. Vérifier l'homogénéité de la magnétisation en bougeant le poids du centre au bord de la surface inférieure et observer les changements de l'indication. Si elle ne décroît pas doucement, le poids peut être aimanté de manière non homogène.
- e) Si le poids est aimanté de manière homogène, les mesurages peuvent être effectués au centre de la surface inférieure, près de la surface du poids, sans contact et conformément aux spécifications du Gaussmètre.

*Note* : Pour certaines sondes, comme la sonde magnétométrique, le capteur est situé à une certaine distance de l'extrémité de la sonde [16]. Ceci aboutit généralement à des forces de champ magnétique d'intensité plus faible que celles obtenues avec une sonde de Hall placée aussi près que possible du poids. Si le poids est aimanté de manière non homogène, les mesurages doivent être effectués le long de l'axe central du poids, à une distance de la surface au moins égale à la moitié du diamètre d'un poids cylindrique, ou au moins égale à la moitié de la plus grande dimension d'un poids rectangulaire. Les lectures de l'indication de la sonde doivent être corrigées avec la formule donnée ci dessous.

- f) Lire l'indication (pouvant être donnée en mT), l'enregistrer en  $\mu\text{T}$ .
- g) Retourner le poids pour réaliser un mesurage sur la partie supérieure (seulement pour les poids à surface supérieure plate), puis répéter les étapes d-f ci dessus.

h) Corriger la lecture de l'indication de la sonde et estimer la polarisation en utilisant l'équation suivante :

$$\mu_0 M = \frac{2B}{\frac{d+h}{\sqrt{R^2 + (d+h)^2}} - \frac{d}{\sqrt{R^2 + d^2}}} - f(B_E) \quad (B.6.2-1)$$

avec  $f(B_E) = 5.4 B_E$  pour les poids de classe M (B.6.2-2)

et  $f(B_E) = \frac{\chi}{1 + 0.23 \chi} B_E$  pour les poids E et F (B.6.2-3)

où  $B$  = Indication du gaussmètre en présence du poids (champ ambiant soustrait, voir c);  
 $B_E$  = Indication du gaussmètre en l'absence du poids;  
 $d$  = Distance entre le centre de l'élément sensible (incorporé à la sonde) et la surface du poids ;  
 $h$  = Hauteur du poids ;  
 $R$  = Rayon d'un poids cylindrique ou, dans le cas d'un poids rectangulaire, le rayon d'un cercle ayant la même aire que le plan du poids mesuré.

Note :  $B$  et  $B_E$  peuvent, dans certains cas, avoir des signes différents

i) L'équipement utilisé et la distance doivent dans tous les cas être notés dans le rapport d'essais

#### B.6.2.4 Incertitude

Ces dispositifs doivent être étalonnés avec une incertitude en rapport avec l'exigence concernant la magnétisation qui doit être déterminée avec une limite d'incertitude inférieure au tiers des limites d'erreurs données au Tableau 3. Cette procédure aboutit à une incertitude élargie,  $U$  ( $k=2$ ), de la magnétisation d'environ 30% (en incluant l'incertitude d'étalonnage du Gaussmètre). Toutefois, des simplifications dans la méthode ne peuvent pas être prises en compte dans cette incertitude. Par conséquent, la magnétisation ainsi déterminée est une valeur conventionnelle quand même utile.

#### B.6.2.5 Consignation des résultats

Enregistrer les résultats de mesure en utilisant les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*

#### B.6.3 Spécifications matériaux

Le mesurage de la susceptibilité magnétique peut être réalisé en utilisant la procédure B.6.4 sur un échantillon d'essai provenant d'un morceau du métal utilisé pour fabriquer le poids. Dans ce cas l'incertitude élargie,  $U$  ( $k=2$ ), associée au mesurage doit être augmentée de 20% afin de prendre en compte les possibles variations de ce paramètre au sein du morceau de métal. Cependant, tous les poids finis doivent être conformes aux exigences du Tableau 3. En raison de l'effet de saturation dans le mesurage de la susceptibilité magnétique, le champ magnétique appliqué au poids doit être suffisamment petit ( $< 4 \text{ kAm}^{-1}$  pour un alliage d'acier typique).

**B.6.3.1** Les poids réalisés en aluminium ont une susceptibilité magnétique,  $\chi \ll 0.01$ .

**B.6.3.2** Pour les petits poids de moins de 2 g, se référer au spécifications du fabricant sur les propriétés magnétiques du matériau utilisé pour la fabrication.

**B.6.3.3** Pour les poids de classe F de moins de 20 g, se référer au spécifications du fabricant sur les propriétés magnétiques du matériau utilisé pour leur fabrication.

#### B.6.4 Susceptibilité magnétique et magnétisation permanente, méthode du susceptomètre

##### B.6.4.1 Principes de l'essai

Cette méthode peut être utilisée pour déterminer la susceptibilité magnétique et la magnétisation permanente d'un poids faiblement magnétisé, via la mesure de la force exercée sur un étalon de masse, dans le gradient de champ magnétique exercé par un aimant permanent puissant [voir figure B.1].

Cette méthode n'est applicable que pour les poids dont la susceptibilité magnétique,  $\chi < 1$ . La méthode du susceptomètre n'est pas recommandée pour les poids multi-pièces. Pour utiliser cette méthode, la familiarisation

avec la référence [6] est requise. Dans un dispositif classique, le susceptomètre a un volume de mesure qui est limité en ampleur (de l'ordre de  $10 \text{ cm}^3$ ) sur la table, à proximité et verticalement au-dessus de l'aimant. Pour les poids de plus de 2 kg réaliser le mesurage au milieu de la base du poids (s'il est jugé nécessaire de mesurer la magnétisation permanente à différents endroits le long de la base, utiliser un Gaussmètre en lieu et place du susceptomètre). Normalement, le poids doit être en position verticale. Pour la mesure des propriétés magnétiques des côtés ou de la partie supérieure, des méthodes plus élaborées [6] sont requises.

#### B.6.4.2 Considérations générales

Il y a un risque significatif que la **procédure puisse causer une magnétisation permanente** du poids s'il est exposé à des valeurs de champs magnétiques trop élevées ( $> 2 \text{ kA m}^{-1}$  pour un alliage d'acier en classe  $E_1$ ). Il est recommandé, par exemple, que les essais des poids de classe  $E_1$  soient réalisés d'abord à une distance  $Z_0$  d'environ 20 mm entre la mi-hauteur de l'aimant et la base du poids (voir Figure B.1). Alors seulement, diminuer  $Z_0$  si la susceptibilité de l'échantillon est trop faible pour produire un signal raisonnable [6]. Des précautions supplémentaires peuvent être nécessaires lors de l'essai de poids d'une susceptibilité plus grande (voir B.6.4.5.c)

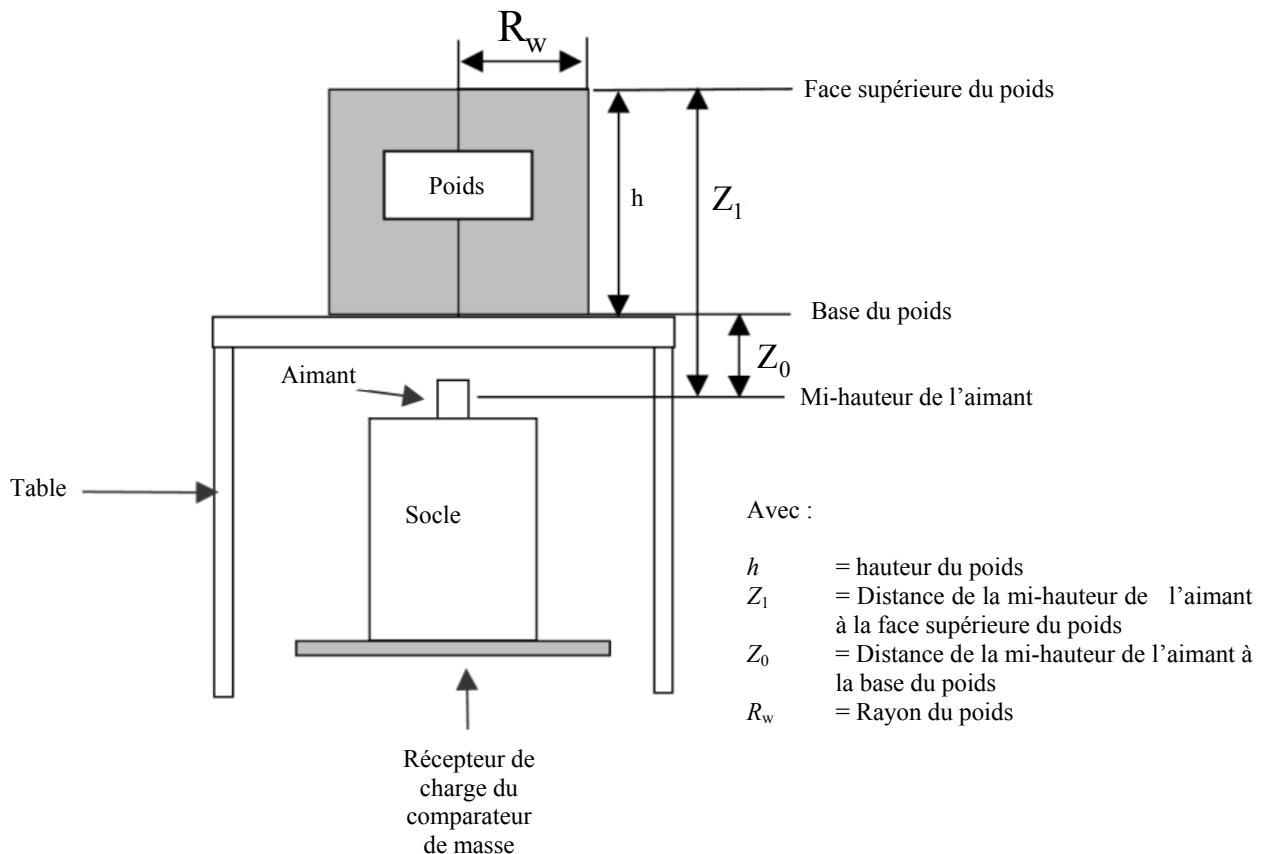
#### B.6.4.3 Equipements

- Un instrument de pesage disposant d'un échelon de vérification  $10 \mu\text{g}$  maximum ;
- Une table amagnétique pour y placer les poids ;
- Un cylindre pour y placer les aimants
- Des aimants cylindriques ayant un moment magnétique,  $m_d$ , de l'ordre de  $0,1 \text{ A m}^2$  (ce moment est typique des aimants samarium-cobalt ou néodyme-fer-bore de  $100 \text{ mm}^3$  de volume environ) [6].

#### B.6.4.4 Illustration des équipements

La hauteur de l'aimant devrait idéalement être égale à 0,87 fois son diamètre [6] bien qu'un rapport hauteur diamètre de 1 soit acceptable.  $Z_0$  est la distance de la base de l'aimant à sa mi-hauteur.

Figure B.1 dispositif pour susceptibilité magnétique et magnétisation, méthode du susceptomètre



**B.6.4.5 Procédure de mesurage**

Ces essais devraient être menés dans une zone sans gros objets ferriques. L'opérateur ne doit pas porter ou être vêtu d'objets ferriques.

- a) Mesurer les différents paramètres ( $Z_0$ ,  $R_w$ ,  $h$ ), voir illustration des équipements, Figure B.1, voir aussi [6] pour le mesurage de  $Z_0$ .
- b) La valeur de l'accélération gravitationnelle doit être connue à 1% près environ.
- c) Placer l'aimant avec son pôle nord vers le bas (le pôle nord d'un aimant cylindrique est l'extrémité qui repousse l'aiguille indiquant le pôle nord d'une boussole). Le moment dipolaire,  $m_d$ , sera nécessaire.

L'aimant produit un champ maximum à la surface supérieure de la table d'une valeur de :

$$H = \frac{m_d}{2\pi \times Z_0^3} \quad (B.6.4-1)$$

Où  $H$  est donné en  $A\ m^{-1}$ ,  $m_d$  en  $Am^2$  et  $Z_0$  en m.

Il est important qu'initialement,  $H$  ne devrait pas excéder  $2000\ A\ m^{-1}$  lors de l'essai de poids de classe  $E_1$ ,  $800\ A\ m^{-1}$  lors de l'essai de poids de classe  $E_2$  et  $200\ Am^{-1}$  lors de l'essai de poids d'autres classes. Le champ,  $H$ , peut être augmenté seulement si le signal délivré par le susceptomètre est trop faible. Dans ce cas, le champ,  $H$ , est augmenté en réduisant la hauteur,  $Z_0$ .

- d) Effectuer la mise à zéro de l'instrument.
- e) Placer le poids sur la table de telle sorte que son axe coïncide avec l'axe vertical de l'aimant et effectuer une lecture. Tourner le poids sur lui-même autour de son axe vertical de manière répétitive en augmentant les angles et effectuer les lectures pour chaque position. Pour les procédures suivantes, tourner le poids à l'angle où la valeur lue présente l'écart maximum par rapport à zéro.
- f) Placer le poids sur la table, normalement trois fois, directement au dessus de l'aimant. Bien s'assurer que le poids est centré.
  - 1) Enregistrer l'heure à laquelle la charge est placée, l'heure à laquelle une lecture est effectuée et l'heure à laquelle la charge est ôtée.
  - 2) Calculer  $\Delta m_1$  à partir des lectures répétées. Normalement la valeur de  $\Delta m_1$  sera négative, indiquant que l'aimant est légèrement attiré par le poids.
  - 3) La force  $F_1$ , est déterminée par la relation  $F_1 = -\Delta m_1 \times g$  (B.6.4-2)
- g) Le mesurage devrait être répété avec l'aimant retourné (de haut en bas)
  - 1) la distance  $Z_0$  doit rester constante
  - 2) Effectuer la mise à zéro de l'instrument.
  - 3) De nouveau, placer le poids sur la table, normalement trois fois, directement au dessus des aimants. Bien s'assurer que le poids est centré.
  - 4) Enregistrer l'heure à laquelle la charge est placée, l'heure à laquelle une lecture est effectuée et l'heure à laquelle la charge est ôtée.
  - 5) Calculer  $\Delta m_2$  à partir des lectures répétées. Normalement la valeur sera négative mais peut différer significativement de  $\Delta m_1$ .
  - 6) La force  $F_2$ , est déterminée par la relation  $F_2 = -\Delta m_2 \times g$  (B.6.4-3)
- h) Répéter les étapes d-g ci dessus.

**B.6.4.6 Calculs**

Calculer la susceptibilité magnétique,  $\chi$ , et la magnétisation permanente,  $M_z$  du poids en insérant les différents paramètres dans les équations données ci-dessous, en supposant que la susceptibilité de l'air est toujours suffisamment faible pour être négligée.

**B.6.4.6.1** Si  $F_1$  et  $F_2$  sont mesurées, l'expression de la susceptibilité magnétique est donnée par :

$$\chi = \frac{F_a}{I_a \times F_{\max} - 0.4F_a} \quad (B.6.4-4)$$

avec 
$$F_{\max} = \frac{3\mu_0}{64\pi} \times \frac{m_d^2}{Z_0^4} \quad (B.6.4-5)$$

$$F_a = \frac{F_1 + F_2}{2} \quad (B.6.4-6)$$

et pour la polarisation magnétique par :

$$\mu_0 M_Z = \frac{F_b}{\frac{m_d}{Z_0} \times \frac{1}{4\pi} \times I_b} - \frac{\chi}{1 + 0.23\chi} B_{EZ} \quad (B.6.4-7)$$

$$\text{avec : } F_b = \frac{F_1 - F_2}{2} \quad (B.6.4-8)$$

$B_{EZ}$  est la composante verticale de l'induction magnétique ambiante du laboratoire. Habituellement,  $B_{EZ}$  peut être prise comme la composante verticale de l'induction magnétique terrestre à l'endroit du laboratoire, auquel cas  $-48 \mu\text{T} < B_{EZ} < 60 \mu\text{T}$  en fonction de la latitude. La magnitude de  $B_{EZ}$  est zéro à l'équateur terrestre et maximale aux pôles. Le signe de  $B_{EZ}$  est positif dans l'hémisphère Nord et négatif dans l'hémisphère Sud.

**B.6.4.6.2** Dans les équations ci-dessus, les facteurs de correction géométrique,  $I_a$ , et  $I_b$ , sont respectivement donnés par :

$$I_a = 1 - \left[ \frac{Z_0}{Z_1} \right]^4 - \frac{1 + \left( \frac{R_w}{Z_0} \right)^2}{3} \left[ \frac{Z_0}{Z_1} \right]^4 + \left[ \frac{Z_0}{Z_1} \right]^4 \times \frac{1 + \left( \frac{R_w}{Z_1} \right)^2}{3} \left[ 1 + \left( \frac{R_w}{Z_1} \right)^2 \right]^3 \quad (B.6.4-9)$$

et

$$I_b = 2\pi \left[ \frac{\left( \frac{R_w}{Z_0} \right)^2}{\left( 1 + \left( \frac{R_w}{Z_0} \right)^2 \right)^{3/2}} - \frac{\left( \frac{R_w}{Z_0} \right)^2 \left( \frac{Z_1}{Z_0} \right)^3}{\left( 1 + \left( \frac{R_w}{Z_1} \right)^2 \right)^{3/2}} \right] \quad (B.6.4-10)$$

Pour plus d'informations sur  $I_a$  et  $I_b$  voir [6]. La susceptibilité magnétique de l'air peut être négligée pour toute raison pratique

**B.6.4.6.3** Les formules données ci-dessus sont valables pour un poids cylindrique. Si celui-ci n'a pas la forme d'un cylindre parfait, des corrections additionnelles ou une plus grande incertitude peuvent être requises. Par exemple, des calculs complémentaires sont nécessaires pour prendre en compte une base en retrait, un bouton, etc. comme détaillé en [6]. Les corrections pour ces effets de formes sont les plus grandes pour les poids les plus faibles (2 g) où elles s'élèvent à 10% environ.

#### B.6.4.7 Incertitude

De cette procédure résulte une incertitude pour la susceptibilité magnétique de valeur comprise dans l'étendue de 10 % à 20 %. L'incertitude associée à cette méthode est plus grande pour les petits poids [17, 18, 40].

#### B.6.4.8 Consignation des résultats

Enregistrer les résultats de mesure en utilisant les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*.

### B.6.5 Susceptibilité magnétique, méthode de l'attraction

#### B.6.5.1 Principes de l'essai

La quantité à mesurer par cette méthode, est la perméabilité magnétique relative, déterminée en comparant la force magnétique exercée par un aimant permanent sur la l'étalon de masse avec une force correspondante sur l'étalon de perméabilité (voir Figure B.2). La susceptibilité magnétique,  $\chi$ , est calculée en utilisant l'équation mettant en relation la perméabilité magnétique relative de l'air et la susceptibilité magnétique ( $\mu_r = 1 + \chi$ ).

Cette méthode peut être utilisée sur les poids de 20 g et plus et pour les poids de classes E<sub>2</sub>–F<sub>2</sub> [18 et 19] (voir aussi Tableau B.3(b)). Normalement, les instruments disponibles pour cette méthode ne peuvent être utilisés que pour déterminer la perméabilité magnétique dans l'intervalle  $1,01 \leq \mu_r \leq 2,5$  ( $0,01 \leq \chi \leq 1,5$ ).

#### B.6.5.2 Considérations générales

Un désavantage de cette méthode est que les instruments disponibles sont difficiles à étalonner.

**Attention :** Il y a également un risque que la procédure entraîne la magnétisation permanente du poids soumis à essai.

L'aimant permanent est attiré par le poids ou le matériau de référence, en fonction de celui des deux qui possède la perméabilité magnétique la plus élevée.

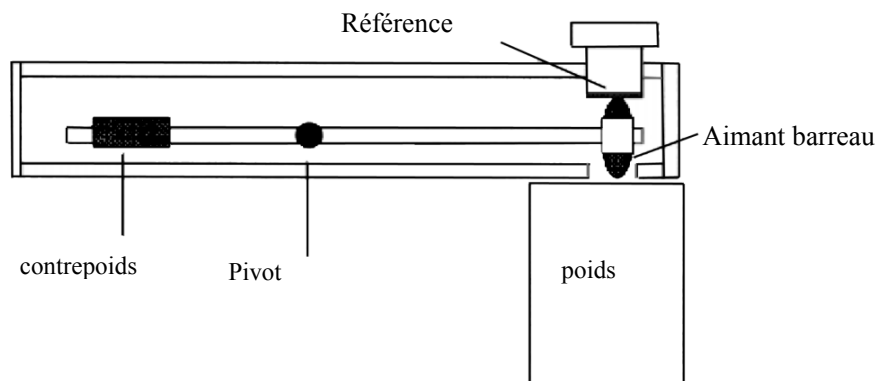
#### B.6.5.3 Equipements

- Un aimant en équilibre sur un pivot avec un contrepoids (Figure B.2)
- Un matériau de référence de perméabilité magnétique connue
- Des outils pour manipuler les poids (ex. gants de laboratoire, chiffon non pelucheux, pince de laboratoire)
- Une pièce bien éclairée

#### B.6.5.4 Illustration des équipements

La Figure B.2 illustre le dispositif. Normalement l'instrument comprend un jeu d'inserts (matériaux de référence) qui peuvent être utilisés.

Figure B.2 équipement pour la susceptibilité magnétique, méthode de l'attraction



#### B.6.5.5 Procédure de mesurage

- Insérer dans l'instrument, un matériau de référence approprié dont la perméabilité magnétique relative est connue.
- Installer l'instrument dans une position stable, l'aimant pointant vers le bas.
- Déplacer le poids vers l'instrument (aimant barreau avec le matériau de référence connu) jusqu'à ce qu'elle touche l'instrument.
- Puis éloigner très doucement le poids de l'instrument.

- e) Si l'aimant barreau est attiré vers le poids, alors la perméabilité relative de celui-ci est supérieure à celle du matériau de référence.
- f) Cet essai doit être réalisé en différents endroits, en partie supérieure et en partie inférieure du poids.

Pour assurer la traçabilité de ces déterminations de susceptibilité, la procédure devrait être répétée avec des mesurages réalisés sur un échantillon de susceptibilité connue (ex. comme déterminée au moyen du susceptomètre en B.6.4)

#### **B.6.5.6 Incertitude**

L'instrument a une incertitude associée à la perméabilité d'environ 0,3% (30% en susceptibilité) pour la valeur de perméabilité la plus faible ( $\mu_r = 1,01$ ) et 8 % (13 % en susceptibilité) pour la perméabilité la plus haute ( $\mu_r = 2,5$ ). La procédure de mesurage peut avoir des incertitudes associées importantes.

#### **B.6.5.7 Enregistrement des résultats**

Enregistrer les résultats de mesure en utilisant les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*.

### **B.6.6 Susceptibilité magnétique, méthode de la sonde**

#### **B.6.6.1 Principes de l'essai**

La méthode détermine la perméabilité magnétique relative d'un objet au moyen d'une sonde magnétométrique équipée d'une sonde de perméabilité contenant un aimant permanent placé près de l'objet [20].

*Attention : Il y a également un risque que la procédure puisse entraîner la magnétisation permanente du poids soumis à essai.*

#### **B.6.6.2 Considérations générales**

Normalement, les instruments disponibles pour cette méthode devraient être utilisés pour déterminer la perméabilité magnétique dans l'intervalle  $1,0001 \leq \mu_r \leq 2,00$  ( $0,0001 \leq \chi \leq 1,00$ ). Pour assurer la traçabilité de ces déterminations, la procédure devrait être répétée avec des mesurages sur un échantillon de susceptibilité connue (ex. un matériau de référence approprié, certifié par un laboratoire accrédité).

#### **B.6.6.3 Equipements**

- a) Une sonde magnétométrique équipée d'une sonde de perméabilité contenant un aimant permanent ;
- b) Un matériau de référence de perméabilité magnétique connue ;
- c) Des outils pour manipuler les poids (ex. gants de laboratoire, chiffon non pelucheux, pince de laboratoire)
- d) Une pièce bien éclairée

#### **B.6.6.4 Procédure de mesurage**

Se référer aux spécifications du fabricant.

#### **B.6.6.5 Incertitude**

L'instrument a une incertitude associée pour la perméabilité d'approximativement 0,2% (de 40 % à 4 % en susceptibilité) dans l'intervalle  $1,005 \leq \mu_r \leq 1,05$  ( $0,005 \leq \chi \leq 0,05$ ) [20]. Se référer aux spécifications du fabricant.

#### **B.6.6.6 Enregistrement des résultats**

Enregistrer les résultats de mesure en utilisant les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*.



### B.6.7 Méthodes recommandées pour la détermination de la magnétisation et de la susceptibilité par classe d'exactitude et taille des poids.

**B.6.7.1** Les mesurages doivent être réalisés sur des poids finis.

**B.6.7.2** Le Gaussmètre (B.6.2) peut être utilisé pour déterminer la magnétisation pour toutes les classes d'exactitudes, la sonde de Hall pour les valeur nominales  $\geq 1$  g, et la sonde magnétométrique pour les valeurs nominales  $\geq 100$  g

**B.6.7.3** Les Tableaux B.3 (a), (b) et (c) donnent les procédures recommandées pour les différentes classes de poids.

Tableau B.3(a) Magnétisation permanente, méthode du susceptomètre (B.6.4)

Taille du poids	Classe
$\geq 20$ g	Poids E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> , F <sub>1</sub> et F <sub>2</sub> sans cavité d'ajustage
$2 \text{ g} \leq m \leq 20 \text{ g}$	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> et F <sub>1</sub>
$\leq 2$ g	E <sub>1</sub> et E <sub>2</sub>

Tableau B.3(b) Susceptibilité

Taille du poids	Classe E <sub>1</sub>	Classe E <sub>2</sub>	Classe F <sub>1</sub>	Classe F <sub>2</sub>		
5 000 kg			F A S*	F A S*		
2 000 kg						
1 000 kg						
500 kg						
200 kg						
100 kg						
50 kg	S F	F A S	F A S	F A S		
20 kg						
10 kg						
5 kg						
2 kg						
1 kg						
500 g						
200 g						
100 g						
50 g					S	S
20 g	S	S				
10 g	Sp	Sp	Sp	Sp		
5 g						
2 g						
1 g						
500 mg						
200 mg						
100 mg						
50 mg						
20 mg						
10 mg						
5 mg						
2 mg						
1 mg						

- Sp Spécification matériau (B.6.3)  
 S Susceptomètre pour les poids sans cavité d'ajustage (B.6.4)  
 A Méthode par attraction (B.6.5)  
 F Sonde + aimant permanent (B.6.6)

S\* Les méthodes F et A sont préférées pour les poids de classe E<sub>2</sub> de 100 kg à 1000 kg. Ceci est dû au fait que l'effort requis pour construire un dispositif approprié et réaliser les mesurages au susceptomètre, dépasse les bénéfices apportés lorsque comparé aux méthodes F et A pour les poids de classe E<sub>2</sub> de 100 kg à 1000 kg. La méthode du susceptomètre n'est pas recommandée pour les poids multi-pièces.

Tableau B.3 ( c) Magnétisation permanente, Gaussmètre (B.6.2)

Taille du poids	Classe d'exactitude
≥ 1 g (sonde de Hall)	E <sub>1</sub> , E <sub>2</sub> , F <sub>1</sub> , F <sub>2</sub> , M <sub>1</sub> , M <sub>1-2</sub> , M <sub>2</sub> , M <sub>2-3</sub> , M <sub>3</sub>
≥ 100 g (sonde magnétométrique)	

## B.7 Densité

### B.7.1 Introduction

Le tableau 5 donne les limites de densité pour les poids. Sont présentées ci après, six méthodes acceptées pour la détermination de la densité des poids. Des méthodes alternatives, par exemple la pesée avec une balance immergée dans un fluide à base de fluorocarbonate [21], ou l'utilisation un instrument acoustique de mesure de volume [22, 23], peuvent être employées si leur validité est justifiée dans une documentation appropriée qui doit être jointe au rapport d'essai. Les méthodes d'essai A, B, C et D utilisent l'eau ou tout autre liquide approprié comme référence de densité. Les méthodes E et F sont appropriées pour une classe inférieure de poids, ou si l'immersion dans un liquide n'est pas une solution acceptable. Le Tableau B.4 résume les méthodes de détermination de la densité. Le Tableau B.8 (à la fin de B.7) donne la méthode recommandée de détermination de la densité par classe.

Tableau B.4 Méthode de détermination de la densité

Méthode	Description
A	Méthode la plus exacte. Technique hydrostatique comparant le poids à tester avec un poids de référence dans l'air et dans un liquide de densité connue.
B	Méthode la plus rapide et la plus appropriée. Pesée du poids dans l'eau et vérification que l'indication de la balance est à l'intérieure des valeurs limites, ou calcul de la densité à partir de l'indication de la balance et de la masse vraie connue du poids à tester.
C	Séparation de la détermination de la masse et du volume du poids à tester. Le volume est déterminé à partir de l'augmentation de la valeur lue sur la balance lorsque le poids est suspendu dans un bain d'eau placé sur un plateau de la balance.
D	Cette technique est appropriée pour les poids > 1 kg. Pesée d'un contenant rempli de liquide de capacité volumique bien connue, avec et sans le poids à l'intérieur.
E	Cette technique est appropriée pour les poids possédant une cavité qui ne doit pas être immergée dans l'eau. Calcul du volume à partir des dimensions du poids.
F	Estimation de la densité basée sur la composition connue de l'alliage avec lequel le poids est fabriqué.

**B.7.1.1** La vérification des limites de densité doit prendre en compte l'incertitude intrinsèquement liée à la méthode employée. Le Tableau B.5 donne une estimation générale de l'incertitude associée à chaque méthode. Pour chaque poids, l'incertitude élargie,  $U$  (pour  $k=2$ ), de la densité doit être dans les limites :

$$\rho_{\min} + U \leq \rho \leq \rho_{\max} - U \quad (B.7.1-1)$$

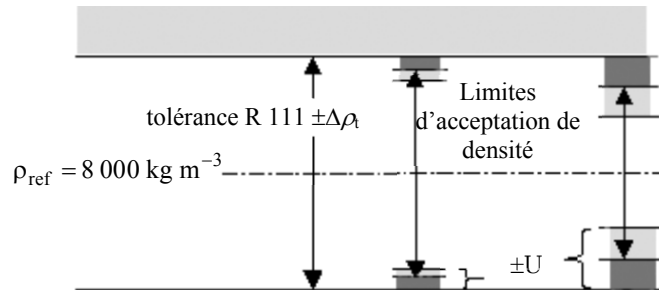
Toutefois, si l'incertitude de l'essai de densité peut être maintenue à une valeur basse, un intervalle accru de résultats peut être accepté lors de la vérification, comme illustré par la Figure B.3. Des incertitudes plus faibles peuvent être atteintes en travaillant avec soin.

Tableau B.5 Incertitudes typiques estimées,  $U$  (pour  $k=2$ ) par méthode et taille de poids (en kg m<sup>-3</sup>)

Méthode	50 kg	1 kg	1 g
A1	-	1.5	60
A2/A3	-	3	60
B1	5	5	60

<b>B2</b>	20	20	60
<b>C</b>	10	10	100
<b>D</b>	5	10	-
<b>E</b>	30	40	600
<b>F</b>	130 à 600		

Figure B.3 Tolérance sur la densité et limites de vérification dues à l'incertitude de mesurage.



## B.7.2 Considérations générales

### B.7.2.1 Température de référence

La température de référence pour la détermination de densité est de 20 °C. Si le mesurage est réalisé à une autre température (les autres températures normalisées de laboratoire sont 23 °C ou 27 °C), la densité devrait être recalculée pour 20 °C en utilisant le coefficient de dilatation volumique,  $\gamma$ , du matériau. Si  $\gamma$  n'est pas explicitement connu, il est suggéré pour l'acier inoxydable d'utiliser  $\gamma = 50 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .

$$\rho(t_{\text{ref}}) = \rho(t_{\text{mes}}) \times [1 + \gamma(t_{\text{mes}} - t_{\text{ref}})] \quad (\text{B.7.2-1})$$

Incertitude de mesurage :

$$u^2(\rho(t_{\text{ref}})) = u^2(\rho(t_{\text{mes}})) \left[ \frac{\rho(t_{\text{ref}})}{\rho(t_{\text{mes}})} \right]^2 + u^2(\gamma) \rho^2(t_{\text{mes}}) (t_{\text{mes}} - t_{\text{ref}})^2 + u^2(t_{\text{mes}}) \rho^2(t_{\text{mes}}) \gamma^2 \quad (\text{B.7.2-2})$$

### B.7.2.2 Exigences de vérification pour les petits poids

La densité des petits poids, pour lesquelles le Tableau 5 ne donne pas de valeurs limites, ne nécessite pas d'être vérifiée. La densité des poids ayant une masse de moins de 1 g devrait être estimée selon la méthode F (voir ci dessous) en se référant aux informations du fabricant sur le matériau constituant les poids.

### B.7.2.3 Liquide d'immersion

Le liquide d'immersion ne doit pas avoir d'effet sur les poids. Comme sa densité est une fonction bien connue de la température [24] [25]<sup>1</sup>, et que sa pureté est facile à contrôler [26]<sup>2</sup>, l'eau distillée et dégazée est préférable. Les équations de ce paragraphe font l'hypothèse d'une valeur constante de la densité du liquide. Pour les calculs manuels effectués au moyen d'une calculatrice, le Tableau B.6 liste quelques valeurs de densité pour l'eau. La densité de l'air peut être calculée en utilisant la formule d'approximation (E.3-1).

<sup>1</sup> Un poids qui n'a pas été nettoyé avant essai, peut présenter une valeur de masse inférieure après immersion dans l'eau pure et suite à la stabilisation.

<sup>2</sup> D'autres liquides de densités stables et bien connues peuvent être utilisés. Il est essentiel pour de faibles incertitudes de mesurage, de travailler à des conditions de température stables et bien connues. Ceci est d'autant plus important lorsque le liquide utilisé a un coefficient de dilatation volumique supérieure à celui de l'eau.

Tableau B.6 Densité de l'eau

$t_1$ [°C]	$\rho$ [kg m <sup>-3</sup> ]	$\Delta\rho/\Delta t_1$ [kg m <sup>-3</sup> °C <sup>-1</sup> ]
18,0	998,593	
18,5	998,499	- 0,190
19,0	998,402	
19,5	998,303	- 0,201
20,0	998,201	
20,5	998,096	- 0,212
21,0	997,989	
21,5	997,879	- 0,222
22,0	997,767	
22,5	997,652	- 0,232
23,0	997,535	
23,5	997,415	- 0,242
24,0	997,293	

#### B.7.2.4 Pénétration d'eau dans la cavité d'ajustage

Comme l'eau peut entrer dans la cavité d'ajustage durant le mesurage, les poids en comportant une ne devraient pas être immergés dans l'eau. Ceci affecterait la densité et la masse du poids et serait dommageable pour la stabilité du poids. Pour les poids avec cavité, la méthode de détermination géométrique du volume est la préférée. Toutefois, si toute l'eau peut être enlevée après l'opération, la pesée hydrostatique devrait être réalisée avec une cavité ouverte, l'air piégé étant soigneusement retiré.

#### B.7.2.5 Evacuation de l'air

Pour des mesurages exacts dans l'eau, il est très important d'évacuer les bulles du poids et de son support. C'est également vrai pour les parois du bain de liquide pour les méthodes C et D, spécialement si des petits poids sont concernés<sup>3</sup>. Un moyen pratique de réduire le risque de bulles d'eau est de dégazer l'eau et le poids dans l'eau en appliquant une pression inférieure à la pression atmosphérique au contenant pendant 10 à 15 minutes<sup>4</sup>.

#### B.7.2.6 Support de poids et fil de suspension

Placer le poids sur le support de poids sous l'eau peut accidentellement conduire à endommager le poids et le bain (verre). Il est avantageux d'immerger le poids et son support ensemble. Les bulles d'air peuvent toutefois être mieux détectées si le poids et son support sont immergés séparément. Utiliser un support de poids pouvant permettre d'éviter la chute du poids. Si une faible incertitude de mesurage est requise, le fil de suspension devrait être fin, propre et traverser l'interface air/eau avec le bon angle<sup>5</sup>.

#### B.7.2.7 Masse ou masse conventionnelle

Considérant l'incertitude obtenue et requise pour la densité d'un poids, la différence entre la valeur de sa masse et celle de sa masse conventionnelle est négligeable ; par conséquent, dans les formules données ci dessous, la masse peut être prise pour la masse conventionnelle et vice versa. Pour cette même raison, la valeur nominale peut être utilisée pour la masse ou la masse conventionnelle d'un poids, sous réserve qu'il puisse être supposé que sa masse conventionnelle soit conforme aux erreurs maximales tolérées données au Tableau 1.

<sup>3</sup> Par exemple, dans le cas d'un poids de 20 mg, une variation de 20 µg sur la lecture de l'indication de la balance conduirait à une différence de la densité résultante de 80 kg m<sup>-3</sup>.

<sup>4</sup> La densité de l'air saturé en eau est d'environ 0,0025 kg m<sup>-3</sup> plus basse que celle de l'eau désaérée.

<sup>5</sup> Une méthode de comparaison prend en compte le fait que le support de poids aussi bien que le fil de suspension déplacent de l'eau. En outre, ceci compense la force supplémentaire due à la formation d'un ménisque à l'interface air/eau, ce qui n'est pas reflété dans les équations qui suivent. Un fil de diamètre,  $\varnothing$ , de 0,1 à 0,3 mm pour des poids jusqu'à 2 kg est approprié dans la plupart des cas.

**B.7.2.8 Séchage du poids**

Après l'avoir retiré du bain, la plupart de l'eau ruissellera immédiatement à la surface du poids. Les gouttelettes restantes devraient être ôtées au moyen d'un tissu fin. Pour la stabilisation, le poids peut être couvert de manière adaptée (bêcher retourné sur des entretoises pour permettre la ventilation).

**B.7.3 Mesurage d'une éprouvette**

Le mesurage de la densité peut être réalisé sur une éprouvette unique provenant d'un morceau du métal utilisé pour fabriquer le poids. L'éprouvette doit être aussi proche que possible du poids et avoir un volume et une forme adaptée au mesurage de sa densité. La rugosité de l'éprouvette est inférieure ou égale à celle du poids. La densité de celui-ci est supposée égale à celle de l'éprouvette. L'incertitude standard de cette valeur est obtenue en combinant une composante d'incertitude relative standard, égale à  $5 \times 10^{-5}$ , avec l'incertitude standard de la densité de l'éprouvette.

**B.7.4 Méthode d'essai A (comparaison hydrostatique)**

Cette méthode peut être réalisée de trois manières différentes :

**Méthode A1 (deux poids différents pesés dans l'air) :**

Comparaison entre le poids à tester et le poids de référence dans l'air et comparaison entre le poids à tester dans un liquide et un second poids de référence dans l'air ;

**Méthode A2 (poids de référence pesé dans l'air et dans un liquide) :**

Comparaison entre le poids à tester et le poids de référence dans l'air et comparaison entre le poids à tester et un poids de référence (le même ou un autre) tous 2 dans un liquide ; ou

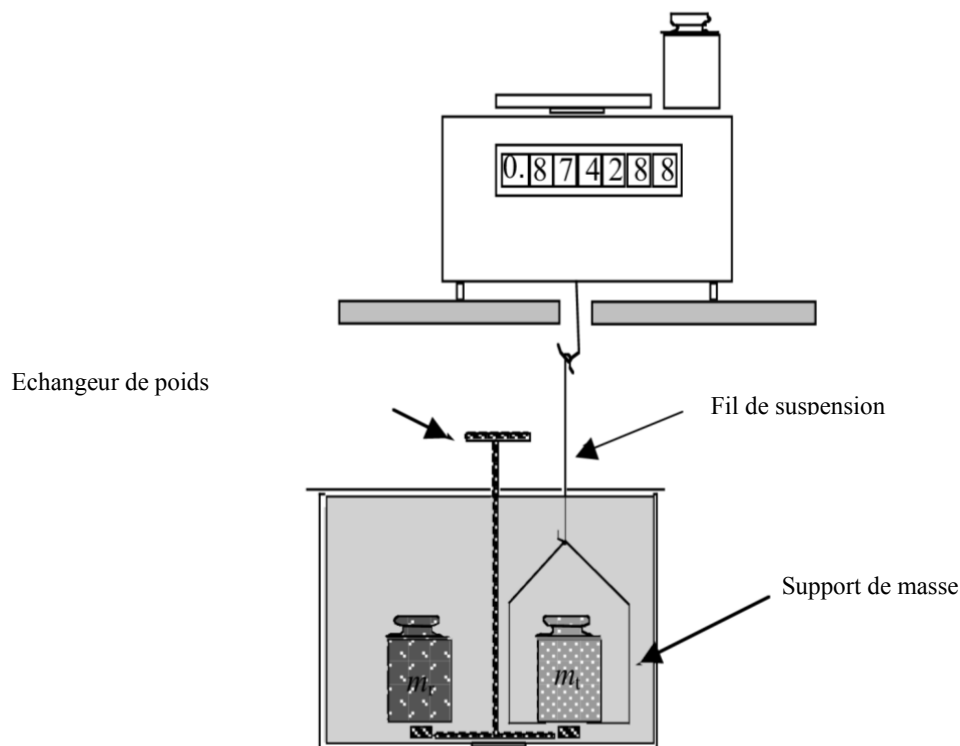
**Méthode A3 (pesée directe) :**

Pesée du poids à tester dans l'air et dans un liquide en utilisant l'indication de la balance au lieu des masses des poids de référence.

**B.7.4.1 Equipements**

- a) Balance(s) de laboratoire d'une capacité suffisante et de haute résolution (typiquement  $2 \times 10^{-6}$  de la résolution relative), équipée pour peser une charge sous la balance ;
- b) Un bain d'eau régulé en température à  $20 \text{ °C} \pm 0,2 \text{ °C}$  ;
- c) Des fils de suspension et des supports pour les différentes tailles de poids ;
- d) Un mécanisme pour charger et décharger le support de poids dans l'eau ;
- e) Des étalons de masse de densité connue ;
- f) Des outils pour manipuler les poids (ex. gants de laboratoire, chiffon non pelucheux, pinces de laboratoire) ;
- g) Une pièce bien éclairée

Figure B.4 Illustration de la méthode A



#### B.7.4.2 Méthode d'essai A1 (deux poids différents pesés dans l'air)

##### B.7.4.2.1 Procédure de mesurage

Déterminer la densité du liquide,  $\rho_l$ , et de l'air,  $\rho_a$ , au moment de l'essai :

- a) Première pesée (poids à tester dans l'air) :
  - 1) Peser le poids à tester ( $m_{ta}$ ) dans l'air (de densité  $\rho_a$ ) ;
  - 2) Enregistrer la valeur indiquée ( $I_{ta}$ ) ;
  - 3) Retirer le poids ( $m_{ta}$ ) avec précaution ;
- b) Seconde pesée (poids de référence dans l'air) :
  - 1) Peser le poids de référence ( $m_{ra}$ ) dans l'air (de densité  $\rho_a$ )
  - 2) Enregistrer la valeur indiquée ( $I_{ra}$ ) ;
  - 3) Retirer le poids ( $m_{ra}$ ) avec précaution ;
- c) Troisième pesée (poids à tester dans un liquide) :
  - 1) Peser le poids à tester dans le bain de liquide (de densité  $\rho_l$ ) ;
  - 2) Enregistrer la valeur indiquée ( $I_l$ ) ;
  - 3) Retirer le poids ( $m_{tl}$ ) avec précaution ;
- d) Quatrième pesée (second poids de référence dans l'air) :
  - 1) Peser le poids de référence ( $m_{rl}$ ) dans l'air (de densité  $\rho_a$ )
  - 2) Enregistrer la valeur indiquée ( $I_{rl}$ ) ;
  - 3) Retirer le poids ( $m_{rl}$ ) avec précaution ;

Le second poids de référence ( $m_{rl}$ ) est généralement une combinaison de poids pour lesquels l'indication de la balance est proche de son indication obtenue avec le poids submergé.

**B.7.4.2.2 Calculs**

Le symbole  $m_H$  représente la masse totale de la combinaison et  $\rho_H$  La densité effective. La densité effective est calculée comme suit :

$$\rho_{rl} = \frac{\sum_i m_{rli}}{\sum_i V_{rli}} \quad (B.7.4-1)$$

Où  $V_{rli}$  est sont les volumes des poids. La densité du poids testé,  $\rho_t$  est alors calculée de la manière suivante :

$$\rho_t = \frac{\rho_l (C_a m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a (C_{al} m_{rl} + \Delta m_{wl})}{C_a m_{ra} + \Delta m_{wa} - C_{al} m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (B.7.4-2)$$

avec :

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ra}} \quad (B.7.4-3) \quad C_{al} = 1 - \frac{\rho_{al}}{\rho_{rl}} \quad (B.7.4-4)$$

$$\Delta m_{wa} = (I_{ta} - I_{ra}) C_s \quad (B.7.4-5) \quad \Delta m_{wl} = (I_{tl} - I_{rl}) C_s \quad (B.7.4-6)$$

$$C_s = 1 - \frac{\rho_{as}}{\rho_s} \quad (B.7.4-7)$$

Le symbole  $\rho_s$  représente la densité du poids de seuil et  $\rho_{as}$  représente la densité de l'air au moment de l'étalonnage de la balance.

Incertitude relative :

$$\begin{aligned} \left( \frac{u(\rho_t)}{\rho_t} \right)^2 &= \left( c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} \right)^2 + \left( c(\rho_{al}) \frac{u(\rho_{al})}{\rho_{al}} \right)^2 + \left( \frac{u(\rho_l)}{\rho_l} \right)^2 + \left( c(\rho_{ra}) \frac{u(\rho_{ra})}{\rho_{ra}} \right)^2 + \left( c(\rho_{rl}) \frac{u(\rho_{rl})}{\rho_{rl}} \right)^2 + \\ &c^2(m_r) \left[ \left( 2 \frac{u(m_r)}{m_r} \right)^2 + \left( \frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}} \right)^2 + \left( \frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{rl}} \right)^2 + \left( \frac{u(m_{cap})}{m_{rl}} \right)^2 \right] \end{aligned} \quad (B.7.4-8)$$

avec:

$$c(\rho_a) = -\frac{\rho_a}{\rho_t} \left( 1 - \frac{\rho_t}{\rho_{ra}} \right) \left( 1 - \frac{\rho_t}{\rho_l} \right) \quad (\text{suffisamment petit pour être négligé dans la plupart des cas}) \quad (B.7.4-9)$$

$$c(\rho_{al}) = \frac{\rho_{al}}{\rho_l \rho_{rl}} (\rho_l - \rho_t) \quad (B.7.4-10) \quad c(\rho_{ra}) = \frac{\rho_a}{\rho_l \rho_{ra}} (\rho_t - \rho_l) \quad (B.7.4-11)$$

$$c(\rho_{rl}) = -c(\rho_{al}) = \frac{\rho_{al}}{\rho_l \rho_{rl}} (\rho_t - \rho_l) \quad (B.7.4-12) \quad |c(m_r)| = \frac{(\rho_t - \rho_l)}{\rho_l} \quad (B.7.4-13)$$

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left( \frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right) \quad (B.7.4-14)$$

Les masses et densités des poids de référence sont supposées être corrélées.

$u(m_{cap})$  est l'incertitude due à l'effet de tension de surface du fil de suspension (pour un fil d'un diamètre de 1 mm, l'effet maximum peut être de 23 mg, si le fil a un diamètre de 0,1 mm, l'effet doit être de 2,3 mg).

Aux alentours de 20 °C, l'incertitude sur la densité de l'eau est approximativement liée à l'incertitude sur la température de l'eau,  $t_1$ , en °C, comme suit :

$$\left( \frac{u(\rho_l)}{\rho_l} \right)^2 = \left( -4.1 \times 10^{-3} \frac{u(t_1)}{t_1} \right)^2 \quad (B.7.4-15)$$

Les incertitudes jusqu'à 0,05 kg m<sup>-3</sup> peuvent être obtenues avec l'équation (B.7.4-2).

Dans la plupart des cas, les facteurs de correction de la poussée de l'air  $C_a$ ,  $C_{al}$  et  $C_s$  ne diffèrent pas significativement les uns des autres et peuvent alors être pris égaux à 1, ce qui simplifie l'équation (B.7.4-2) comme suit :

$$\rho_t = \frac{\rho_l(m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a(m_{rl} + \Delta m_{wl})}{m_{ra} + \Delta m_{wa} - m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (B.7.4-16)$$

Incertitude relative:

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + c^2(m_r) \left[ \left(2\frac{u(m_r)}{m_r}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{rl}}\right)^2 + \left(\frac{u(m_{cap})}{m_{rl}}\right)^2 + u_C^2 \right] \quad (B.7.4-17)$$

avec :

$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left( \frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right)$	(B.7.4-18)	$c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} \left( \frac{\rho_t}{\rho_l} - 1 \right)$	(B.7.4-19)
$ c(m_r)  = \frac{(\rho_t - \rho_l)}{\rho_l}$	(B.7.4-20)	$u_C = \left( \frac{\rho_t}{\rho_l} - 1 \right) \left( \frac{\rho_a}{\rho_{ra}} - \frac{\rho_{al}}{\rho_{rl}} \right)$	(B.7.4-21)

Des incertitudes jusqu'à 0,2 kg m<sup>-3</sup> peuvent être obtenues avec l'équation (B.7.4-16)

#### B.7.4.3 Méthode A2 (masse de référence pesée dans l'air et dans un liquide) :

##### B.7.4.3.1 Procédure de mesurage

De même manière qu'en B.7.4.2.1, excepté :

- d) Quatrième pesée (poids de référence dans le liquide)
- 1) poids de référence ( $m_{rl}$ ) dans un liquide
  - 2) Enregistrer la valeur indiquée ( $I_{rl}$ ) ;
  - 3) Retirer le poids ( $m_{rl}$ ) avec précaution ;

Le poids de référence ( $m_{rl}$ ) peut être le même que celui utilisé dans l'air ( $m_{ra}$ ) ou bien un autre.

##### B.7.4.3.2 Calculs

La densité du poids à tester,  $\rho_t$  est alors calculée au moyen de l'équation (B.7.4-22) ou de l'équation (B.7.4-31).

- i) Lorsque le même poids de référence est utilisé pour le mesurage dans l'air et dans le liquide,  $m_{ra} = m_{rl} = m_r$  et  $\rho_{ra} = \rho_{rk} = \rho_r$ , alors

$$\rho_t = \frac{\rho_l(C_a m_r + \Delta m_{wa}) - \rho_a(C_l m_r + \Delta m_{wl})}{m_r \frac{\rho_l - \rho_a}{\rho_r} + \Delta m_{wa} - \Delta m_{wl}} \quad (B.7.4-22)$$

avec:

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_r} \quad (B.7.4-23)$$

$$C_l = 1 - \frac{\rho_l}{\rho_r} \quad (B.7.4-24)$$

$\Delta m_{wa}$  et  $\Delta m_{wl}$  sont définies comme dans l'équation (B.7.4-2).

Incertitude relative :



$$\begin{aligned} \left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 &= \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(\rho_l)\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_r)}{\rho_r}\right)^2 + \\ &\quad \left(c(m_r)\frac{u(m_r)}{m_r}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wa})\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wl})\frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wl})\frac{u(m_{cap})}{m_{ra}}\right)^2 \end{aligned} \quad (B.7.4-25)$$

avec:  $c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} \left( \frac{\rho_t - \rho_r}{\rho_l} \right)$  (suffisamment faible pour être négligée dans la plupart des cas)

(B.7.4-26)

$$c(\rho_t) = \frac{1}{\rho_t} (\rho_r (1 + \Delta m_{wa} / m_r) - \rho_t) \quad (\text{suffisamment faible pour être négligée dans la plupart des cas}) \quad (B.7.4-27)$$

$$c(m_r) = \frac{\rho_r - \rho_t}{\rho_t} \quad (B.7.4-28) \quad c(\Delta m_{wa}) = \frac{\rho_r}{\rho_t} \left( \frac{\rho_l - \rho_t}{\rho_l} \right) \quad (B.7.4-29)$$

$$c(\Delta m_{wl}) = \frac{\rho_r}{\rho_l} \quad (B.7.4-30)$$

Des incertitudes jusqu'à 0,1 kg m<sup>-3</sup> peuvent être obtenues avec l'équation (B.7.4-22)

- ii) Lorsque des poids de référence différents sont utilisés pour le mesurage dans l'air et dans le liquide,  $m_{ra} \neq m_{rl}$ , et  $\rho_{ra} \neq \rho_{rl}$ , alors :

$$\rho_t = \frac{\rho_l (C_a m_{ra} + \Delta m_{wa}) - \rho_a (C_l m_{rl} + \Delta m_{wl})}{C_a m_{ra} + \Delta m_{wa} - C_l m_{rl} - \Delta m_{wl}} \quad (B.7.4-31)$$

avec:

$$C_a = 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ra}} \quad (B.7.4-32) \quad C_l = 1 - \frac{\rho_l}{\rho_{rl}} \quad (B.7.4-33)$$

Incertitude relative:

$$\begin{aligned} \left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 &= \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(\rho_l)\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + \left(c(\rho_{ra})\frac{u(\rho_{ra})}{\rho_{ra}}\right)^2 + \left(c(\rho_{rl})\frac{u(\rho_{rl})}{\rho_{rl}}\right)^2 + \\ &\quad c^2(m_r) \left[ \left(2\frac{u(m_r)}{m_r}\right)^2 + \left(\frac{u(\Delta m_{wa})}{m_{ra}}\right)^2 \right] + \left(c(\Delta m_{wl})\frac{u(\Delta m_{wl})}{m_{ra}}\right)^2 + \left(c(\Delta m_{wl})\frac{u(m_{cap})}{m_{ra}}\right)^2 \end{aligned} \quad (B.7.4-34)$$

avec :

$$\frac{u(m_r)}{m_r} = \frac{1}{2} \left( \frac{u(m_{ra})}{m_{ra}} + \frac{u(m_{rl})}{m_{rl}} \right) \quad (B.7.4-35)$$

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a}{\rho_t} \left[ 1 - \frac{\rho_{rl}}{\rho_{ra} \rho_l} (\rho_{ra} - \rho_t + \rho_l) \right] \quad (\text{suffisamment faible pour être négligée dans la plupart des cas}) \quad (B.7.4-36)$$

$$c(\rho_l) = \frac{1}{\rho_t} (\rho_{rl} - \rho_t) \quad (\text{suffisamment faible pour être négligée dans la plupart des cas}) \quad (B.7.4-37)$$

$$c(\rho_{ra}) = \frac{\rho_{rl}\rho_a}{\rho_l\rho_{ra}\rho_t}(\rho_l - \rho_t) \quad (B.7.4-38) \quad c(\rho_{rl}) = \frac{\rho_t}{\rho_{rl}} \quad (B.7.4-39)$$

$$c(m_r) = \frac{\rho_{rl}}{\rho_l} \frac{\rho_l - \rho_t}{\rho_t} \quad (B.7.4-40) \quad c(\Delta m_{wl}) = \frac{\rho_{rl}}{\rho_l} \quad (B.7.4-41)$$

Les masses des poids de référence sont supposées être corrélées. Pour  $u(m_{cap})$  voir B.7.4.2.2

Des incertitudes jusqu'à  $0,1 \text{ kg m}^{-3}$  peuvent être obtenues avec l'équation (B.7.4-31)

#### B.7.4.4 Méthode A3 (pesée directe)

Au lieu d'employer une comparaison technique, la procédure peut être simplifiée en lisant directement l'indication de la balance.

##### B.7.4.4.1 Procédure de mesurage

De même manière qu'en B.7.4.2.1, excepté que les procédures b) et d) sont omises.

##### B.7.4.4.2 Calculs

L'équation correspondante régissant cette situation est :

$$\rho_t = \frac{I_{ta} \times \rho_l - I_{tl} \times \rho_a}{I_{ta} - I_{tl}} \quad (B.7.4-42)$$

La condition préalable à cette simplification est de disposer d'une balance bien étalonnée.  $I_{ta}$  et  $I_{tl}$  sont les valeurs indiquées par la balance respectivement pour la pesée dans l'air (indice « a ») et dans le liquide (indice « l »), après que la balance ait été tarée sans le poids sur le plateau ou le support immergé.

Incertitude relative :

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + \left(c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(I_{ta}) \frac{u(I_{ta})}{I_{ta}}\right)^2 + \left(c(I_{tl}) \frac{u(I_{tl})}{I_{tl}}\right)^2 + \left(c(I_{tl}) \frac{u(m_{cap})}{I_{tl}}\right)^2 + u_C^2 \quad (B.7.4-43)$$

avec :

$$c(\rho_a) = \rho_a \frac{\rho_t - \rho_l}{\rho_t \rho_l} \quad (B.7.4-44) \quad c(I_{ta}) = \frac{\rho_l - \rho_t}{\rho_l} \quad (B.7.4-45)$$

$$c(I_{tl}) = \frac{\rho_t - \rho_l}{\rho_l} \quad (B.7.4-46) \quad u_C = \left(\frac{\rho_t}{\rho_l} - 1\right) \frac{\rho_a - \rho_{al}}{\rho_{ref}} \quad (B.7.4-47)$$

Des incertitudes jusqu'à  $0,2 \text{ kg m}^{-3}$  peuvent être obtenues avec l'équation (B.7.4-42)

#### B.7.5 Méthode d'essai B (vérification de la densité)

##### B.7.5.1 Principes

La méthode B est une simplification de la technique hydrostatique et implique uniquement une pesée dans un liquide. Le poids à tester est suspendu par un fil fin de résistance suffisante, dans de l'eau de densité  $\rho_l$ . L'afficheur de la balance indique une valeur de masse  $I_{tl}$

Cette méthode peut être réalisée de deux manières différentes :

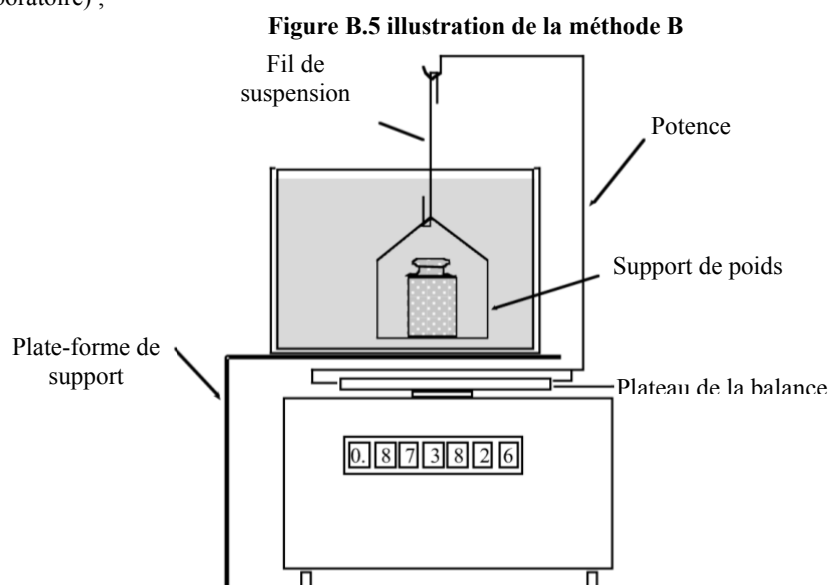
Méthode B1 : Calcul de la densité en utilisant (B.7.5-1) et l'équation de l'incertitude associée (B.7.5-2) (obligatoire pour la classe E<sub>1</sub>).

Méthode B2 : Vérification que la densité est à l'intérieur d'un intervalle prescrit. Les valeurs limites de l'indication de la balance (R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*) sont calculées à partir des valeurs minimum et maximum des limites de densité données au Tableau 5 de la présente Recommandation. Une estimation de l'incertitude de mesurage de la méthode de détermination de la densité est prise en compte en fonction de la taille du poids. Par mesure de sécurité

complémentaire, les limites minimum sont basées sur une température supposée de 24 °C, et les limites maximum sont basées sur une température de 18 °C.

### B.7.5.2 Equipements

- Une ou plusieurs balances de laboratoire d'étendue de mesure adaptée. Une résolution relative de  $10^{-6}$  avec un niveau de répétabilité correspondant est recommandée ;
- Un bain de liquide stable en température sur la plage allant de 18 °C à 24 °C. Si la balance est équipée pour les pesées au-dessous de la balance, celle-ci peut être surélevée au moyen d'un support au dessus du bain (voir Figure B.4) ou le bain peut être placé sur une plate-forme de support comme l'illustre la Figure B.5 ;
- Une potence pouvant être liée au plateau de la balance ;
- Un ou plusieurs supports de poids de différentes tailles avec le ou les fils appropriés ;
- Les poids de référence pour l'étalonnage de la balance ;
- Des outils pour manipuler les poids (ex. gants de laboratoire, chiffon non pelucheux, pinces de laboratoire) ;



### B.7.5.3 Procédure de mesurage

- Immerger le poids (ou le jeu de poids) dans un bain d'eau distillée à une température comprise entre 18 °C et 24 °C. Le bain peut être placé sur une plate-forme de support conformément à la Figure B.5.
- Relier la potence au plateau de la balance et y suspendre le support de poids au moyen d'un fin fil de suspension suffisamment résistant, de telle sorte que le support de poids soit totalement immergé. L'interface eau/air au niveau du fil de suspension doit être bien définie.
- Tarer la balance afin d'obtenir une indication égale à zéro<sup>6</sup>.
- Enlever les bulles d'air du poids et placer celui-ci sur le support ;
- Ne pas perturber le fil de suspension afin d'éviter de briser le ménisque à la surface de l'eau.
- Lorsqu'elle est stable, lire et enregistrer l'indication de la balance,  $I_{II}$
- Remplacer le poids dans son lieu de stockage en utilisant des pinces.
- Enregistrer les conditions environnementales du laboratoire (température de l'air, pression et humidité) et la température du liquide.

<sup>6</sup> Note : Si la balance ne dispose pas d'une fonction de tarage,  $I_{II}$  est la différence entre la seconde et la première pesée.

## B.7.5.4 Résultats

### B.7.5.4.1 Méthode B1

Calcul de la densité utilisant la masse nominale,  $m_0$ , du poids. La densité est calculée conformément à :

$$\rho_t = \frac{\rho_1 m_t}{m_t - I_{tl} \left( 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{\text{ref}}} \right)} \quad (\text{B.7.5-1})$$

Incertitude de mesure associée à la méthode B1:

$$\left( \frac{u(\rho_t)}{\rho_t} \right)^2 = \left( \frac{u(\rho_1)}{\rho_1} \right)^2 + \left( c(\rho_a) \frac{u(\rho_a)}{\rho_a} \right)^2 + \left( c(I_{tl}) \frac{u(I_{tl})}{I_{tl}} \right)^2 + \left( c(m_t) \frac{u(m_t)}{m_t} \right)^2 + \left( c(I_{tl}) \frac{u(m_{\text{cap}})}{I_{tl}} \right)^2 \quad (\text{B.7.5-2})$$

avec :

$$c(m_t) = \frac{m_t (\rho_1 - \rho_t)}{\rho_t (m_t - I_{tl})} \quad (\text{B.7.5-3})$$

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a I_{tl}}{\rho_{\text{ref}} (I_{tl} - m_t)} \quad (\text{B.7.5-4})$$

$$c(I_{tl}) = \frac{I_{tl}}{m_t - I_{tl}} \quad (\text{B.7.5-5})$$

$u(m_{\text{cap}})$  est l'incertitude due à la tension de surface sur le fil de suspension (voir aussi B.7.4.2.2).

L'incertitude de mesure pour la méthode B1 est typiquement de  $\pm 5 \text{ kg m}^{-3}$  ou mieux pour les poids plus grands et jusqu'à  $\pm 60 \text{ kg m}^{-3}$  pour un poids de 1 g, en fonction de la taille du poids et du soin pris pendant la manipulation. L'incertitude de mesure augmente lorsque la taille des poids diminue.

### B.7.5.4.2 Méthode B2

La densité,  $\rho_t$ , du poids est vérifiée en comparant la valeur de  $I_{tl}$  au deux valeurs limites  $I_{tl(\text{min})}$  et  $I_{tl(\text{max})}$ , pour la taille de poids correspondante. Ces valeurs limites sont données dans R 111-2 *Format du Rapport d'Essais* pour les classes  $E_1$  à  $F_1$ .

### B.7.5.5 Enregistrement des résultats

Enregistrer les résultats de mesure en utilisant les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*, Vérification de densité – Méthode B et Valeurs limites de densité.

## B.7.6 Méthode d'essai C (Détermination du volume par pesée du liquide déplacé)

Cette méthode n'est pas pratique pour les poids de moins de 1 g.

### B.7.6.1 Principes

Cette méthode peut être réalisée de deux manières :

- 1) la masse du poids à tester n'est pas connue ; ou
- 2) la masse du poids à tester est connue ;

### B.7.6.2 Considérations générales

Au lieu de mesurer la force de la poussée de l'eau agissant sur le poids, il est possible de mesurer le volume de liquide déplacé par celui-ci. Connaissant la masse du poids à tester,  $m_t$ , sa densité peut être calculée.

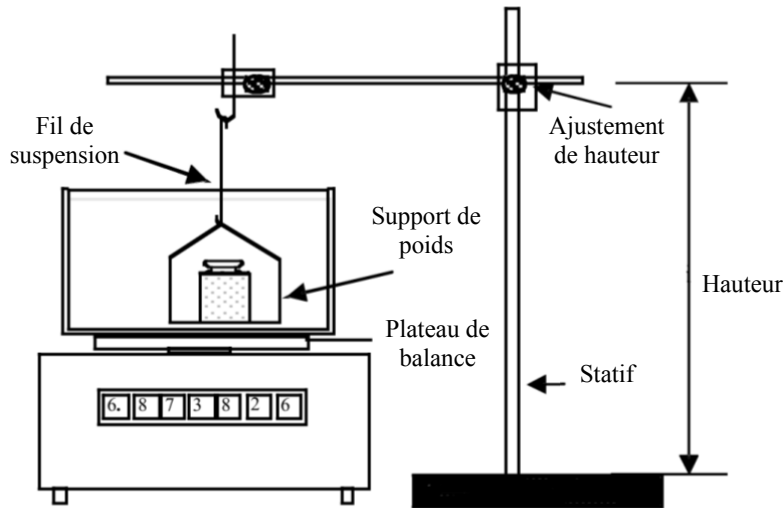
### B.7.6.3 Equipements

- a) Une ou plusieurs balances de laboratoire d'une étendue de 200 g à 100 kg, une résolution relative de  $10^{-5}$  ou mieux, avec un niveau de répétabilité correspondant ;
- b) Un ou des bains de liquide de taille(s) appropriée(s) ;
- c) Un statif ajustable en hauteur pour maintenir les poids suspendus dans l'eau ;
- d) Un ou plusieurs fils de suspension et un ou plusieurs supports de poids de taille(s) adaptée(s) ;

- e) Des outils pour manipuler les poids (ex. gants de laboratoire, chiffon non pelucheux, pinces de laboratoire)
- f) Une pièce bien éclairée

#### B.7.6.4 Procédure de mesurage

Figure B.6 Illustration de la méthode C



- a) Placer un récipient avec de l'eau sur le plateau de la balance.
- b) Suspendre le support de poids et le fil de suspension à partir d'un statif séparé.
- c) Tarer la balance si la fonctionnalité existe, sinon lire l'indication  $I_1$ .
- d) Soulever le support au-dessus de la surface de l'eau, placer le poids sur le support et l'immerger de nouveau.
- e) Ajuster la hauteur de telle sorte que le fil de suspension traverse l'interface air/eau à la même hauteur qu'auparavant.
- f) Lire l'indication,  $I_{dl}$ , (ou  $I_2$  si la balance n'a pas de fonction de tarage,  $I_{dl} = I_2 - I_1$ ).
- g) Enregistrer les conditions environnementales du laboratoire, température de l'air, pression, humidité et température du liquide.
- h) Déterminer la densité de l'air du laboratoire,  $\rho_a$ , et la densité de l'eau du bain  $\rho_l$  en utilisant l'équation (E.3-1) et le Tableau B.6.

La masse d'eau déplacée,  $V_t \rho_l$ , est indiquée par la valeur de la pesée,  $I_{dl}$ . Si nécessaire, extrapoler pour l'évaporation survenue durant la période écoulée depuis le dernier tarage<sup>7</sup>.

#### B.7.6.5 Calculs

La différence,  $I_{dl}$ , entre les deux lectures est égale à la quantité de liquide déplacé pesée dans l'air. Si la masse,  $m_t$ , du poids à tester est déjà connue, les valeurs de  $I_{dl}$  et  $m_t$  sont entrées dans l'équation (B.7.6.1) pour calculer la densité,  $\rho_t$ , du poids à tester.

$$\rho_t = \frac{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_l}\right) m_t \times \rho_l}{\left(1 - \frac{\rho_a}{\rho_{ref}}\right) \times I_{dl}} \quad (B.7.6-1)$$

Si  $m_t$  n'est pas déjà connue, alors le poids à tester est pesé sur une balance, et la valeur,  $I_{ta}$ , dans l'air est utilisée avec  $I_{dl}$ , dans l'équation (B.7.6-2) pour calculer la densité,  $\rho_t$ .

<sup>7</sup> Procéder à plusieurs lectures pour estimer le taux d'évaporation en fonction de la durée entre le tarage et la lecture. Noter qu'il n'est pas pratique de répéter la méthode C du fait que le poids doit être séché avant d'être ré-immersé dans l'eau

$$\rho_t = \rho_a + (\rho_1 - \rho_a) \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (B.7.6-2)$$

### B.7.6.6 Incertitude de mesurage de la méthode C

Pour l'équation (B.7.6-1) :

$$u^2(\rho_t) = c^2(\rho_a)u^2(\rho_a) + c^2(\rho_1)u^2(\rho_1) + c^2(m_t)u^2(m_t) + c^2(I_{dl})u^2(I_{dl}) + c^2(I_{dl})u_{\text{cap}}^2 \quad (B.7.6-3)$$

avec :

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_t}{\rho_{\text{ref}}} - \frac{m_t}{I_{dl}} \quad (B.7.6-4) \quad c(\rho_1) = \frac{m_t}{I_{dl}} \quad (B.7.6-5)$$

$$c(m_t) = \frac{\rho_1}{I_{dl}} \quad (B.7.6-6) \quad c(I_{dl}) = \frac{m_t \rho_1}{I_{dl}^2} \quad (B.7.6-7)$$

Pour l'équation (B.7.6-2):

$$u^2(\rho_t) = c^2(\rho_a)u^2(\rho_a) + c^2(\rho_1)u^2(\rho_1) + c^2(I_{ta})u^2(I_{ta}) + c^2(I_{dl})u^2(I_{dl}) + c^2(I_{dl})u_{\text{cap}}^2 \quad (B.7.6-8)$$

avec :

$$c(\rho_a) = 1 - \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (B.7.6-9) \quad c(\rho_1) = \frac{I_{ta}}{I_{dl}} \quad (B.7.6-10)$$

$$c(I_{ta}) = \frac{\rho_1}{I_{dl}} \quad (B.7.6-11) \quad c(I_{dl}) = -\frac{I_{ta} \rho_1}{I_{dl}^2} \quad (B.7.6-12)$$

Au sein de l'intervalle  $1 \text{ g} \leq m_t \leq 1 \text{ kg}$ , l'incertitude de mesurage est de  $\pm 100 \text{ kg m}^{-3}$  à  $\pm 10 \text{ kg m}^{-3}$ , en fonction de la taille du poids et des précautions prises pour la manipulation. Avant de comparer la valeur de densité calculée,  $\rho_s$ , avec les valeurs de limites maximum et minimum de densité du Tableau 5, la valeur de  $\rho_t$  doit être associée avec l'incertitude attendue pour cette méthode ou avec une marge d'incertitude estimée.

### B.7.6.7 Enregistrement des résultats

Enregistrer les résultats des mesurages en utilisant les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*, Détermination de la densité – Méthode C

## B.7.7 Méthode d'essai D (Détermination du liquide déplacé dans un récipient de volume constant)

### B.7.7.1 Principe

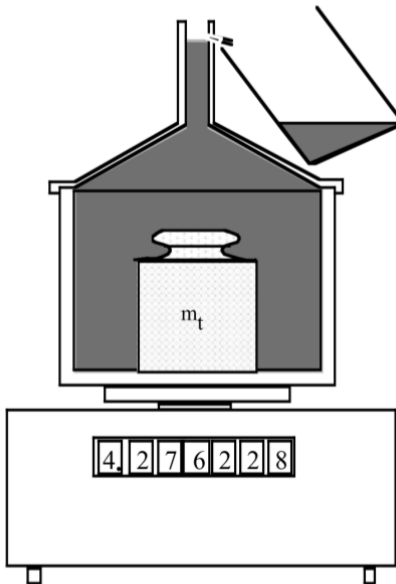
Les poids de taille importante sont difficiles à manipuler en pesée hydrostatique. Une façon alternative de déterminer leur volume est de peser le liquide qu'ils déplacent, de manière indirecte, en utilisant un récipient de volume ajustable constant.

**B.7.7.1.1** Le récipient est rempli d'eau à un niveau bien défini et pesé deux fois, une fois avec et une fois sans le poids dans l'eau. Les indications correspondantes de la balance sont  $I_{1+t}$  et  $I_1$ . Le col du récipient ne doit pas être plus large que 1 cm, l'eau étant gardée à une température uniforme et stable à  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . L'attention devrait être portée sur le fait que le volume du poids ne soit pas trop petit au regard de la capacité du récipient, que les joints du récipient ne fuient pas, et qu'il n'y ait pas d'air piégé. Etant donné une densité de liquide constante,  $\rho_s$ , la densité du poids,  $\rho_t$ , est calculée à partir de la différence ( $I_{1+t} - I_1$ ) selon l'équation (B.7.7-1), analogue à l'équation (B.7.5-1).

$$\rho_t = \frac{m_0 \rho_1}{m_0 - (I_{1+t} - I_1) \left( 1 - \frac{\rho_a}{\rho_{\text{ref}}} \right)} \quad (B.7.7-1)$$

**B.7.7.2 Equipements**

- Une ou plusieurs balances de laboratoire avec une étendue de 5 kg à 100 kg et une résolution relative de  $10^{-6}$  ou mieux ;
- Un ou plusieurs récipients d'essais transparents de conception appropriée avec un niveau de remplissage contrôlable avec précision ;
- Des outils pour manipuler les poids (ex. gants de laboratoire, chiffon non pelucheux, pince de laboratoire) ;
- Une pièce bien éclairée ;

**B.7.7.3 Procédure de mesurage****Figure B.7 Illustration de la méthode D**

- Placer le poids dans le récipient est le remplir précautionneusement avec de l'eau jusqu'à un niveau bien défini. (par exemple jusqu'à ce qu'il s'écoule par un orifice d'évacuation).
- Peser le récipient avec le poids et le liquide.
- Lire et enregistrer l'indication  $I_{t+t}$ .
- Retirer le poids et ajouter de l'eau à la même température jusqu'au même niveau. Il n'est pas nécessaire de connaître le volume si la température de l'eau est maintenue constante.
- Peser le récipient contenant le liquide.
- Lire et enregistrer l'indication,  $I_t$ .
- La différence entre lectures ( $I_{t+t} - I_t$ ) correspond à la masse du poids moins la masse d'eau déplacée<sup>8</sup>.
- Enregistrer les conditions environnementales du laboratoire (température de l'air, pression, humidité) et la température du liquide.
- Déterminer la densité de l'air du laboratoire,  $\rho_a$ , et la densité du bain d'eau,  $\rho_w$ , en utilisant l'équation (E.3-1) et le tableau B.6.

**B7.7.4 Incertitude de mesurage de la méthode D**

$$\left(\frac{u(\rho_t)}{\rho_t}\right)^2 = \left(c(\rho_a)\frac{u(\rho_a)}{\rho_a}\right)^2 + \left(c(m_t)\frac{u(m_t)}{m_t}\right)^2 + \left(\frac{u(\rho_l)}{\rho_l}\right)^2 + 2(c_1 u_l)^2 + (c_1 u_w)^2 \quad (B.7.7-2)$$

avec:

<sup>8</sup> Si la méthode D est répétée il n'y a pas nécessité de sécher le poids avant de l'immerger de nouveau.

$$c(\rho_a) = \frac{\rho_a \rho_t (I_{t+1} - I_1)}{\rho_{\text{ref}} \rho_1 m_t} \quad (\text{B.7.7-3}) \quad c(m_t) = \frac{\rho_t - \rho_1}{\rho_1} \quad (\text{B.7.7-4}) \quad c_1 = \frac{\rho_t}{m_t \rho_1} \quad (\text{B.7.7-5})$$

$u_w$  est la contribution à l'incertitude due à la différence de niveau d'eau avec et sans le poids.

L'incertitude de cette méthode est de l'ordre de  $\pm 15 \text{ kg m}^{-3}$  ou mieux pour un poids de 1 kg mais diminue pour les poids plus importants, sous réserve que le col du récipient soit très étroit, que la température de l'eau conserve une température uniforme et stable à  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ , que le volume du poids ne soit pas trop petit au regard de la capacité du récipient, que le joint de celui-ci ne fuie pas et qu'il n'y ait pas d'air piégé.

#### B.7.7.5 Enregistrement des résultats

Enregistrer les résultats de mesurage en utilisant les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*, Détermination de la densité, Méthode D.

### B.7.8 Méthode d'essai E (Détermination du volume par mesure géométrique)

#### B.7.8.1 Principe

Le volume d'un poids peut être calculé à partir de ses dimensions et de la formule appropriée. Le volume peut être divisé en plusieurs composants élémentaires pouvant également inclure une cavité [27]. Par la suite, les poids considérés sont ceux dont la forme est conforme à la figure A.1 (ici sans cavité, voir Figure B.8). Les formules standards pour les trois formes géométriques relativement simples du bouton, A, de l'anneau, B, et du corps principal, C, sont données en [27]. Dans certains cas le poids peut présenter un retrait, D, à sa base. Le calcul des portions de volume est aisé.

**B.7.8.1.1** La méthode E rend l'immersion du poids inutile, ce qui est avantageux pour ceux ayant une cavité. Toutefois, il y a un risque de rayer la surface pendant le mesurage, et par conséquent, la méthode E ne devrait pas être utilisée pour les poids de classes E et F.

#### B.7.8.2 Equipements

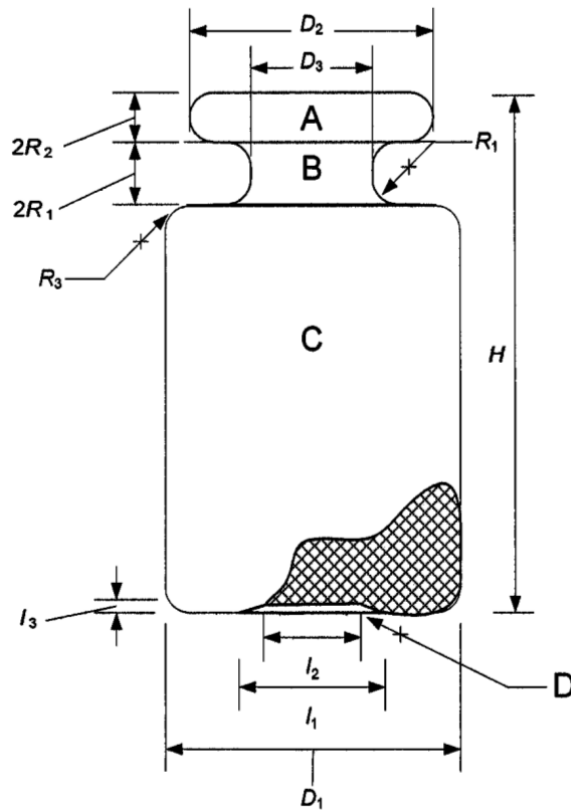
- Des pieds à coulisses, de préférence avec une résolution de 0,01 mm.
- Des micromètres (pour les petits poids)
- Une jauge d'angle (sinon utiliser les valeurs du tableau A.1)
- Des outils pour manipuler les poids (ex. gants de laboratoire, chiffons non pelucheux, pinces de laboratoire)
- Une pièce bien éclairée

#### B.7.8.3 Procédure de mesurage

- Mesurer les hauteurs, diamètres et angles et les dimensions de toute cavité ou échancrure conformément à la figure B.8.
- Calculer et ajouter les volumes pour les parties A, B, C et D selon les équations (B.7.8-1) à (B.7.8-5).
- Calculer la densité à partir de la masse et du volume



Figure B.8 Illustration de la détermination du volume d'un poids cylindrique (voir Tableau A.1)



$$V_A = 2\pi R_2 \left( \frac{D_2^2}{4} - R_2 D_2 + R_2^2 + \frac{\pi R_2 D_2}{4} - \frac{\pi R_2^2}{2} + \frac{2R_2^2}{3} \right) \quad (B.7.8-1)$$

$$V_B = \pi R_1 \left( \frac{D_3^2}{2} + 2R_1 D_3 - \frac{\pi R_1 D_3}{2} - \pi R_1^2 + \frac{10R_1^2}{3} \right) \quad (B.7.8-2)$$

$$V_C = \pi \frac{D_1^2}{4} (H - 2(R_1 + R_2)) - \pi R_3^2 \left( 2D_1 - \frac{10R_3}{3} - \frac{\pi D_1}{2} + \pi R_3 \right) \quad (B.7.8-3)$$

$$V_D = \frac{1}{12} l_3 (l_1^2 + l_1 l_2 + l_2^2) \quad (B.7.8-4)$$

$$V_{\text{weight}} = V_A + V_B + V_C \{-V_D\} \quad (B.7.8-5)$$

#### B.7.8.4 Incertitude de mesure de la méthode E

La plus grande contribution à l'incertitude est due à la différence de la forme réelle par rapport au modèle mathématique. Pour les poids dont les formes sont celles décrites en Annexe A, l'incertitude est de l'ordre de  $30 \text{ kg m}^{-3}$  pour les gros poids à  $600 \text{ kg m}^{-3}$  pour les petits. Pour les masses avec cavités ou les autres formes, l'incertitude peut être doublée [25].

#### B.7.8.5 Enregistrement des résultats

Enregistrer les résultats des mesurages en utilisant les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*, Détermination de la densité – Méthode E.

## B.7.9 Méthode d'essai F (estimation basée sur une composition connue)

### B.7.9.1 Principe

La plupart des poids sont produits à partir d'un nombre limité d'alliages. La valeur précise de la densité dépend des proportions relatives de constituants de chaque alliage. Les gammes de densité typiques sont données au Tableau B.7.

### B.7.9.2 Méthode F1

Si l'on sait que le fournisseur utilise toujours le même alliage pour une classe particulière de poids, et que sa densité est connue à partir d'essais antérieurs, alors la densité connue devrait être appliquée en utilisant une incertitude égale au tiers de celle du Tableau 7 pour le même alliage.

### B.7.9.3 Méthode F2

Obtenir du fournisseur la composition de l'alliage du poids en question. Trouver la valeur de densité à partir d'un manuel de physique/chimie qui contient des tables de densité en fonction de la concentration des éléments de l'alliage. Utiliser les valeurs de densité du manuel et appliquer la valeur d'incertitude du Tableau B.7. Pour les poids des classes E<sub>2</sub> à M<sub>2</sub> la valeur de « densité supposée » du Tableau B.7. ci dessous est adéquate. La densité des poids de classe M<sub>3</sub> n'a généralement pas d'intérêt.

Tableau B.7 Méthode F2 – liste des alliages communément utilisés pour les poids

Alliage/matériau	Densité supposée	Incertitude (k = 2)
Platine	21 400 kg m <sup>-3</sup>	± 150 kg m <sup>-3</sup>
Maillechort	8 600 kg m <sup>-3</sup>	± 170 kg m <sup>-3</sup>
Laiton	8 400 kg m <sup>-3</sup>	± 170 kg m <sup>-3</sup>
Acier inoxydable	7 950 kg m <sup>-3</sup>	± 140 kg m <sup>-3</sup>
Acier au carbone	7 700 kg m <sup>-3</sup>	± 200 kg m <sup>-3</sup>
Fer	7 800 kg m <sup>-3</sup>	± 200 kg m <sup>-3</sup>
Fonte blanche	7 700 kg m <sup>-3</sup>	± 400 kg m <sup>-3</sup>
Fonte grise	7 100 kg m <sup>-3</sup>	± 600 kg m <sup>-3</sup>
Aluminium	2 700 kg m <sup>-3</sup>	± 130 kg m <sup>-3</sup>

### B.7.9.4 Calculs

#### B.7.9.4.1 Densité des masses avec cavité d'ajustage

L'ajustage d'un poids avec un matériau dense au sein d'une cavité peut également influencer la densité du poids. Si la quantité d'alliage X (de densité  $\rho_x$ ) s'élève à x pour cent, et si la quantité de matériau d'ajustage Y (de densité  $\rho_y$ ) s'élève à y pour cent de la masse finale, alors la densité,  $\rho_t$ , peut être calculée à l'aide de l'équation suivante :

$$\rho_t = \frac{100}{\frac{x}{\rho_x} + \frac{y}{\rho_y}} \quad (B.7.9-1)$$

#### B.7.9.4.2 Densité d'un poids composite

La même équation peut également être utilisée pour déterminer la densité résultante si deux constituants différents composent le poids ou si deux poids de différentes densités sont utilisés comme référence. Les métaux préférés pour l'ajustage des poids sont le tungstène (18800 kg m<sup>-3</sup> ± 200 kg m<sup>-3</sup>), le plomb (11300 kg m<sup>-3</sup> ± 150 kg m<sup>-3</sup>), le molybdène (10000 kg m<sup>-3</sup> ± 150 kg m<sup>-3</sup>) et l'étain (7000 kg m<sup>-3</sup> ± 100 kg m<sup>-3</sup>).

### B.7.9.5 Enregistrement des résultats

Enregistrer les résultats des mesurages en utilisant les fiches de R 111-2 *Format du Rapport d'Essais*, Détermination de la densité – Méthode F.

**B.7.10 Méthodes recommandées pour la détermination de la densité**

Tableau B.8 Méthodes recommandées pour la détermination de la densité par classe de poids

Poids	Classe E <sub>1</sub>	Classe E <sub>2</sub>	Classe F <sub>1</sub>	Classes F <sub>2</sub> , M <sub>1</sub> , M <sub>2</sub>
5 000 kg			E, F	
2 000 kg				
1 000 kg				
500 kg				
200 kg				
100 kg				
50 kg	A, C, D	D, E, F	D, E, F	F
20 kg				
10 kg	A, B1*, C, D			
5 kg				
2 kg				
1 kg	A, B*, C	B, F	B, C, F	
500 g				
200 g				
100 g				
50 g	A, B1*	B, C, F		
20 g				
10 g				
5 g	B*, F1	F		
2 g				
1 g	F1	F		
500 mg				
200 mg				
100 mg				
50 mg				
20 mg				

\* Lorsque la méthode B est utilisée pour les poids de classe E<sub>1</sub>, la valeur de la densité doit être calculée à partir de l'équation (B.7.5-1)

*Note 1 :* la densité ne présente généralement pas d'intérêt pour les poids de classe M<sub>3</sub>.

*Note 2 :* Le nettoyage doit être répété après le mesurage de la densité si le fluide utilisé dans le système n'était pas de l'eau (les autres fluides typiquement utilisés [par ex. fluorocarbones] laissent un résidu qui doit être enlevé par nettoyage avec un solvant tel que l'alcool).

**B.8 Assignment d'une classe OIML R 111 (2004) à des poids vieux et/ou spéciaux****B.8.1 Objet**

Ce chapitre s'applique aux poids fabriqués avant 1994 (à l'entrée en vigueur de OIML R 111 (1994)) (poids « pré 94 ») ou à ceux de conception spéciale ou de valeur nominale non standard parce que faits pour une application unique.

**B.8.1.1** Pour les poids « pré 94 » et/ou spéciales, certaines exceptions concernant la forme et la rugosité de la surface sont admissibles, mais sont sujettes aux directives données en B.8.2 et B.8.3. Une attention particulière doit être portée aux vieux poids, particulièrement dans les cas où une ample documentation sur la stabilité de ceux-ci est disponible. Néanmoins, à par les exceptions spécifiques autorisées sous les conditions en B.8.2 et B.8.3 ci dessous, toutes les autres exigences de la R 111 restent applicables.

**B.8.1.2** Dans ce chapitre, des désignations de classes allant de E<sub>1</sub> à M<sub>3</sub> peuvent être assignées à des poids vieux et/ou spéciaux. Il est généralement suffisant de classer un poids seulement une fois. Les ré-étalonnages ultérieurs sont soumis aux tolérances et conditions respectivement à la classe.

### **B.8.2 Exceptions concernant la rugosité de la surface**

Le paragraphe 11.1.2 de cette Recommandation stipule que :

*« Un examen visuel peut suffire excepté en cas de doute ou de désaccord. Dans ce cas, les valeurs données au Tableau 6 doivent être utilisées. La rugosité maximum de la surface, permise pour les poids de plus de 50 kg, doit être le double des valeurs spécifiées au Tableau 6. »*

Conformément à B.5.3.1.2.2 2), les rayures individuelles sont à écarter lors du mesurage de la rugosité.

Pour les poids « pré 94 » et/ou spéciaux, la rugosité doit être jugée acceptable si il y a une documentation adéquate montrant que les masses de ceux-ci sont stables, et si la rugosité de la surface ne dépasse pas deux fois la limite fixée dans le tableau 6 respectivement à la classe .

### **B.8.3 Présentation**

Pour les poids « pré 94 » et/ou spéciales, les exigences de la clause 14 de cette Recommandation sont couvertes si la classe est marquée sur la boîte. Ceci s'applique aux classes E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub>, F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub> et M<sub>1</sub>. Conformément à 13.4.3, les poids de classe « M<sub>1</sub> » doivent être marqués soit « M<sub>1</sub> » soit « M ».

## Annexe C

### Étalonnage d'un poids ou d'un jeu de poids

#### (Obligatoire)

#### C.1 Objet

Ce chapitre décrit deux méthodes pour la détermination de la masse conventionnelle de poids dans un jeu :

- 1) la méthode de comparaison directe
- 2) La méthode de subdivision/multiplication qui ne s'applique qu'à un jeu de poids.

Trois différents cycles de pesée sont décrits, qui sont tous des formes de pesées par substitution destinées, mais non exclusivement, aux balances mono-plateau.

Préalablement à la détermination de la masse, la densité des poids doit être connue avec une exactitude suffisante. De plus, les conditions environnementales et les caractéristiques métrologiques des instruments de pesage utilisés dans la détermination de la masse doivent être connues avec une exactitude suffisante. Les formules pour la détermination de la masse conventionnelle et son incertitude sont données.

#### C2 Exigences générales

##### C.2.1 Conditions environnementales

L'étalonnage des poids devrait être réalisé à des conditions ambiantes stables, à pression atmosphérique ambiante et à des températures proches de la température de la pièce<sup>(1)</sup>. Les valeurs typiques recommandées sont données au Tableau C.1.

Tableau C.1 Conditions ambiantes durant l'étalonnage (valeurs typiques recommandées pour obtenir de bons résultats)

Classe du poids	Variation de température pendant l'étalonnage <sup>(2)</sup>
E <sub>1</sub>	± 0.3 °C par heure avec un maximum de ± 0.5 °C par 12 heures
E <sub>2</sub>	± 0.7 °C par heure avec un maximum de ± 1 °C par 12 heures
F <sub>1</sub>	± 1.5 °C par heure avec un maximum de ± 2 °C par 12 heures
F <sub>2</sub>	± 2 °C par heure avec un maximum de ± 3.5 °C par 12 heures
M <sub>1</sub>	± 3 °C par heure avec un maximum de ± 5 °C par 12 heures

Classe du poids	Etendue d'humidité relative de l'air ( <i>hr</i> ) <sup>(3)</sup>
E <sub>1</sub>	40 % to 60 % avec un maximum de ± 5 % par 4 heures
E <sub>2</sub>	40 % to 60 % avec un maximum de ± 10 % par 4 heures
F	40 % to 60 % avec un maximum de ± 15 % par 4 heures

Note 1 : Il est également important que la différence de température entre les poids et l'air au sein du comparateur de masse soit aussi petite que possible. Conserver le poids de référence et le poids à tester à l'intérieur du comparateur avant et pendant l'étalonnage peut réduire cette différence de température.

Note 2 : Ceci représente le changement de la température de l'air du laboratoire. La stabilisation thermique des balances et des poids (voir B.4.3) requiert également une stabilité de la température appropriée du laboratoire pendant 24 heures avant l'étalonnage.

Note 3 : La limite supérieure est surtout importante pour le stockage des poids.

**C.2.1.1** Pour les poids de classes  $E_1$  et  $E_2$ , la température devrait être entre 18 °C et 27 °C. Les conditions environnementales devraient être à l'intérieur des spécifications de l'instrument de pesage.

**C.2.1.2** Si la densité de l'air diffère de 1,2 kg m<sup>-3</sup> de plus de 10 %, les valeurs de masses devraient être utilisées pour les calculs et la masse conventionnelle devrait être calculée à partir de la masse.

### **C.2.2 Instrument de pesage**

Les caractéristiques métrologiques de l'instrument de pesage utilisé devraient être connues à partir de mesurages antérieurs et sa résolution, sa linéarité, sa répétabilité et les effets de l'excentration (voir C.6.4) devraient être tels que l'incertitude requise soit atteinte.

### **C.2.3 Poids de référence**

Le poids de référence devrait généralement être de classe d'exactitude meilleure (voir 1.3.1) que celle du poids à étalonner. Pour l'étalonnage des poids de classe  $E_1$ , le poids de référence devrait avoir des caractéristiques métrologiques similaires ou meilleures (propriétés magnétiques, rugosité de la surface) que celles du poids à étalonner.

**C.2.3.1** Les exigences de 5.2 et 5.3 doivent être satisfaites

## **C.3 Configurations de pesées**

### **C.3.1 Comparaison directe**

Généralement, le poids à tester devrait être étalonné par comparaison à un ou plusieurs poids de référence. Pour chaque comparaison, les masses nominales du poids à tester et du poids de référence devraient être égales. Une vérification standard (voir 2.5) peut être utilisée pour surveiller le procédé de mesurage [28].

Note : **Des problèmes spéciaux peuvent survenir lors de l'étalonnage des poids de classe  $E_1$  de moins d'un gramme.** Ceci est partiellement dû à une incertitude relativement grande des poids de référence dans cette gamme. De plus, l'instabilité des instruments de pesage et une large surface sont des facteurs qui influencent négativement l'incertitude du mesurage. Par conséquent, la méthode de subdivision est fortement recommandée pour de tels poids.

### **C.3.2 Subdivision**

Un jeu complet de poids peut être étalonné au moyen de un ou plusieurs poids de référence [29, 30, 31, 32] Cette méthode exige plusieurs pesées dans chaque décade du jeu. Dans ces pesées, différentes combinaisons de poids de masses nominales totales égales sont comparées. Cette méthode est principalement utilisée pour l'étalonnage des jeux de poids de classe  $E_1$  lorsque la plus haute exactitude est requise. Si avec cette méthode, un seul poids de référence est utilisé, le nombre d'équations de pesées devrait être plus grand que le nombre de poids inconnus et un calcul d'ajustage approprié devrait être réalisé de manière à éviter la propagation des erreurs. Si plusieurs poids de références sont utilisés, le nombre d'équations peut être égal au nombre de poids inconnus. Dans ce cas, aucun calcul d'ajustement n'est nécessaire. L'avantage de telles méthodes réside dans le fait qu'elles comportent une certaine redondance qui offre une plus grande confiance dans les résultats. Toutefois, ces méthodes, particulièrement le calcul d'ajustement, font appel à des mathématiques plus avancées [29, 30].

Une configuration de pesée typique pour un jeu de poids de 5, 2, 2\*, 1, 1\* ( $\times 10^n$  g) est donnée par [30, 31]:

Tableau C.2 Configuration de pesée typique

Poids de référence	Par rapport à	5 + 2 + 2* + 1
Poids de référence	Par rapport à	5 + 2 + 2* + 1*
5	Par rapport à	2 + 2* + 1
5	Par rapport à	2 + 2* + 1*
2 + 1	Par rapport à	2* + 1*
2 + 1	Par rapport à	2* + 1*
2 + 1*	Par rapport à	2* + 1
2 + 1*	Par rapport à	2* + 1
2	Par rapport à	1 + 1*
2	Par rapport à	1 + 1*
2*	Par rapport à	1 + 1*
2*	Par rapport à	1 + 1*

Dans cet exemple, le poids de référence devrait avoir une valeur nominale de 10 ( $\times 10^n$  g). Où 2\* peut être n'importe quelle combinaison de poids pour avoir une valeur nominale de 2. La masse 1\* peut être une combinaison de poids de 0,5 + 0,2 + 0,2\* + 0,1 ( $\times 10^n$  g) ou elle peut être un poids de contrôle (voir 2.5) Certaines comparaisons ont été dupliquées pour simplifier les calculs. La configuration de pesée ci dessus n'est normalement appliquée que si le même instrument de pesage est utilisé pour toutes les comparaisons.

#### C.4 Cycles de pesées

Les procédures acceptées pour trois cycles de pesées différents pour une pesée de comparaison unique sont décrites ci dessous en C.4.1 et C.4.2

*Note* : D'autres procédures et cycles de pesées peuvent être utilisés. Si en particulier, les cycles de pesées ne sont pas indépendants les uns des autres, tel que A1 B2 A2, A2 B2 A3, ..., l'incertitude doit être évaluée en considérant les termes de covariance et la formule donnée en C.6.1 doit être modifiée en conséquence [33].

Dans les cycles de pesées, « A » représente la pesée du poids de référence et « B » représente la pesée du poids à tester. Les cycles ABBA et ABA sont normalement utilisés lors de l'étalonnage des poids de classe E et F.

Le cycle AB1...B<sub>n</sub>A est souvent utilisé pour l'étalonnage des poids de classe M, mais généralement non recommandé pour celles de classes E et F. Toutefois, si un comparateur de masse avec un mécanisme d'échange de masses automatique est utilisé et si le système est installé dans un boîtier protecteur, ce cycle peut aussi être accepté pour l'étalonnage des poids de classes E et F.

Seuls les cycles ABBA et ABA sont utiles à la pesée par subdivision. Plusieurs poids de référence peuvent être utilisés, dans ce cas le cycle de pesée peut être appliqué séparément à chacun. Les poids de référence doivent alors être comparés les uns aux autres.

##### C.4.1 Comparaison du poids à tester avec un poids de référence (recommandé pour les classes E et F)

Une diversité de cycles de pesée peut être utilisée [34]. Pour deux poids les cycles suivants, mieux connus par les désignations ABBA et ABA sont possibles. Ces cycles éliminent la dérive linéaire.

Cycle ABBA ( $r_1 t_1 t_2 r_2$ ):  $I_{r1\ 1}, I_{t1\ 1}, I_{t2\ 1}, I_{r2\ 1}, \dots, I_{r1\ n}, I_{t1\ n}, I_{t2\ n}, I_{r2\ n}$

$$\Delta I_i = (I_{t1\ i} - I_{r1\ i} - I_{r2\ i} + I_{t2\ i})/2 \quad (C.4.1-1)$$

avec  $i = 1, \dots, n$

Cycle ABA ( $r_1 t_1 r_2$ ):  $I_{r1\ 1}, I_{t1\ 1}, I_{r2\ 1}, \dots, I_{r1\ n}, I_{t1\ n}, I_{r2\ n}$

$$\Delta I_i = I_{t1\ i} - (I_{r1\ i} + I_{r2\ i})/2 \quad (C.4.1-2)$$

avec  $i = 1, \dots, n$

Dans les cycles ABBA et ABA,  $n$ , est le nombre de séquences. Les valeurs de  $i$  sont données dans l'ordre dans lequel les poids devraient être placés sur la plateau de pesée. Ici les indices « r » et « t » représentent le poids de référence et le poids à tester.  $\Delta I_i$  est la différence d'indication des mesurages de la séquence  $i$ .

**C.4.1.1** L'intervalle de temps entre pesées devrait être maintenu constant.

**C.4.1.2** Si il y a nécessité de déterminer la sensibilité de l'instrument de pesage durant le procédé de pesage, la séquence ABBA peut être modifiée en  $I_r, I_t, I_{t+m_s}, I_{r+m_s}$ , où  $m_s$  est le poids de seuil.

**C.4.2** Comparaison de plusieurs poids à tester de même valeur nominale au moyen d'un poids de référence (cycle  $AB_1 \dots B_n A$ ). Si plusieurs poids à tester  $t(j)$  ( $j = 1, \dots, J$ ) de même masse nominale sont à étalonner simultanément, le cycle de pesée ABA peut être modifié en  $AB_1 \dots B_n A$  comme suit :

Cycle  $AB_1 \dots B_n A$ :  $I_{r1\ 1}, I_{t(1)\ 1}, I_{t(2)\ 1}, \dots, I_{t(J)\ 1}, I_{r2\ 1}, I_{r1\ 2}, I_{t(J)\ 2}, I_{t(J-1)\ 2}, \dots, I_{t(1)\ 2}, I_{r2\ 2}, \dots$

$$\{I_{r1\ i-1}, I_{t(1)\ i-1}, I_{t(2)\ i-1}, \dots, I_{t(J)\ i-1}, I_{r2\ i-1}, I_{r1\ i}, I_{t(J)\ i}, I_{t(J-1)\ i}, \dots, I_{t(1)\ i}, I_{r2\ i}\}$$

avec  $i = 1, \dots, n$

$$\Delta I_{i(j)} = I_{t(j)\ i} - (I_{r1\ i} + I_{r2\ i})/2$$

avec  $i = 1, \dots, n$

Si la dérive de l'indication de pesée est négligeable, c'est-à-dire inférieure ou égale au tiers de l'incertitude requise, il n'est pas nécessaire d'inverser l'ordre des masses à essayer dans  $AB_1 \dots B_n A$  lorsque la séquence est répétée.

Le nombre de poids ne devrait normalement pas être de plus de 5 ( $J \leq 5$ ).

### C.4.3 Nombre de cycles de pesées

Le nombre de cycles de pesées,  $n$ , devrait être basé sur l'incertitude requise, la répétabilité et la reproductibilité des mesurages. Le nombre minimum de mesurages à réaliser pour les classes allant de  $E_1$  à  $M_3$  est donnée par le Tableau C.3.

Tableau C.3 Nombre minimum de cycles de pesées

Classe	$E_1$	$E_2$	$F_1$	$F_2$	$M_1, M_2, M_3$
Nombre minimum de ABBA	3	2	1	1	1
Nombre minimum de ABA	5	3	2	1	1
Nombre minimum de $AB_1 \dots B_n A$	5	3	2	1	1

## C.5 Analyse des données

### C.5.1 Différence moyenne de masse conventionnelle – un poids à tester

Pour les cycles ABBA et ABA, la différence de masse conventionnelle,  $\Delta m_c$ , entre le poids à tester et le poids de référence d'un cycle,  $i$ , est :

$$\Delta m_c = m_{ct} - m_{cr} \quad (C.5.1-1)$$

$$\Delta m_{ci} = \Delta I_i + m_{cr} C_i \quad (C.5.1-2)$$

$$\text{où : } C_i = (\rho_{ai} - \rho_0) \times \left( \frac{1}{\rho_t} - \frac{1}{\rho_r} \right) \quad (C.5.1-3)$$

La différence moyenne de masse conventionnelle pour  $n$  cycles est:

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta m_{ci} \quad (C.5.1-4)$$



**C.5.1.1** Si la densité  $\rho_l$  ou  $\rho_r$  d'un poids n'est pas connue, mais que le matériau l'est, la densité appropriée supposée du Tableau B.7 devrait être utilisée. Si seul le fait que la densité est à l'intérieur des limites autorisées est connu, alors la valeur de  $8000 \text{ kg m}^{-3}$  devrait être utilisée.

**C.5.1.2** Dans les cas où la correction de la poussée de l'air est estimée négligeable, par exemple si :

$$|C_i| \leq \frac{1}{3} \frac{U}{m_0} \quad (\text{C.5.1-5})$$

Le terme  $m_0 C_i$  peut être omis. Toutefois la contribution de  $C$  à l'incertitude peut ne pas être négligeable (voir ci-dessous au C.6.3.1). Si seule une valeur unique ou moyennée de la densité de l'air est disponible, la correction de la poussée de l'air,  $m_{\text{cr}} C$ , peut être appliquée après moyennage.

### C.5.2 Différence moyenne de masse conventionnelle – plusieurs poids à tester

Si plusieurs poids à tester sont étalonnés selon le cycle AB1...B<sub>n</sub>A, la moyenne de différence de masse pour le poids  $j$  est obtenue à partir de l'équation (C.5.1-4) en remplaçant  $\Delta l_i$  par  $\Delta l_{i(j)}$  dans l'équation (C.5.1.2).

### C.5.3 Différence moyenne de masse conventionnelle – plusieurs séries de mesurages

Si il y a plusieurs séries ( $J$ ) identiques de mesurages avec des valeurs moyennes  $\overline{\Delta m_{c_j}}$  et avec des écarts types approximativement égaux, la valeur moyenne de tous les mesurages est :

$$\overline{\Delta m_c} = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J \overline{\Delta m_{c_j}} \quad (\text{C.5.3-1})$$

**C.5.3.1** plusieurs séries de mesurages sont habituellement uniquement réalisées pour l'étalonnage des poids de classe E, lorsque la reproductibilité des pesées doit être investiguée.

### C.5.4 Masse conventionnelle du poids à tester

La masse conventionnelle du poids à tester peut être calculée à partir de la formule suivante :

$$m_{\text{ct}} = m_{\text{cr}} + \overline{\Delta m_c} \quad (\text{C.5.4-1})$$

**C.5.4.1** En vérification, la masse conventionnelle du poids de référence n'est pas toujours connue. Dans ce cas, sa valeur nominale devrait être utilisée.

## C.6 Calculs d'incertitudes

Les calculs d'incertitude sont basés sur le *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* 1993(F) [7] et le document correspondant de l'EA (coopération Européenne pour l'Accréditation) [35]. Dans les références [28, 29, 30, 31 et 36] les calculs d'incertitude sont appliqués aux comparaisons de masses. L'incertitude est évaluée soit par la méthode de type A soit par celle de type B. L'évaluation de type A est basée sur une analyse statistique d'une série de mesurages tandis que l'évaluation de type B est basée sur d'autres connaissances.

### C.6.1 Incertitude type du procédé de pesée, $u_w$ (type A)

L'incertitude type du processus de pesée,  $u_w(\overline{\Delta m_c})$ , est l'écart type de la différence de masse. Pour  $n$  cycles de mesurages :

$$u_w(\overline{\Delta m_c}) = \frac{s(\Delta m_{ci})}{\sqrt{n}} \quad (\text{C.6.1-1})$$

où  $s(\Delta m_{ci})$  est défini ci-dessous pour les différentes classes de poids.

**C.6.1.1** Pour les poids de classes F<sub>2</sub>, M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub>, les cycles ABBA, ABA ou AB1...B<sub>n</sub>A sont souvent appliqués. Pour ces classes de poids, si l'écart type sur les mesurages de différence de masse n'est pas connu à partir d'un historique de données, il peut être estimé de la manière suivante :

$$s(\Delta m_c) = \frac{\max(\Delta m_{ci}) - \min(\Delta m_{ci})}{2 \times \sqrt{3}} \quad (C.6.1-2)$$

A partir de  $n \geq 3$  cycles de mesurages.

L'écart type peut également être calculé comme décrit au C.6.1.2.

**C.6.1.2** Pour les poids des classes E<sub>1</sub>, E<sub>2</sub> et F<sub>1</sub>, la variance de la différence de masse,  $\Delta m_c$ , du procédé de pesage,  $s^2(\Delta m_c)$ , est estimé à partir de  $n$  cycles de mesurages par :

$$s^2(\Delta m_c) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta m_{ci} - \overline{\Delta m_c})^2 \quad (C.6.1-3)$$

avec  $n-1$  degrés de liberté.

**C.6.1.3** Si seulement peu de mesurages sont réalisés, l'estimation de  $s(\Delta m_c)$  peut ne pas être fiable. Une estimation globale, obtenue de précédents mesurages effectués dans des conditions similaires, devrait être utilisée (voir D.1.2). Si ce n'est pas possible,  $n$  ne devrait pas être inférieur à 5.

**C.6.1.4** Dans le cas de  $J$  séries de mesurages (avec  $J > 1$ ), la variance de  $\Delta m_c$  est calculée en mettant en commun les séries  $J$  de telle sorte que :

$$s^2(\Delta m_c) = \frac{1}{J} \sum_{j=1}^J s_j^2(\Delta m_{ci}) \quad (C.6.1-4)$$

avec  $J(n-1)$  degrés de liberté (D.2)

*Note* : l'indice «  $j$  » est annexé à  $s^2(\Delta m_c)$  pour différencier les écarts types de chaque série.

### C.6.2 Incertitude du poids de référence, $u(m_{cr})$ (Type B)

L'incertitude standard,  $u(m_{cr})$ , de la masse du poids de référence devrait être calculée à partir du certificat d'étalonnage en divisant l'incertitude élargie mentionnée,  $U$ , par le facteur d'élargissement  $k$  (généralement  $k=2$ ), et devrait être combiné avec l'incertitude due à l'instabilité de la masse du poids de référence,  $u_{inst}(m_{cr})$

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\left(\frac{U}{k}\right)^2 + u_{inst}^2(m_{cr})} \quad (C.6.2-1)$$

L'incertitude due à l'instabilité de la masse du poids de référence,  $u_{inst}(m_{cr})$ , peut être estimée à partir des variations de masse après que le poids ait été étalonné plusieurs fois. Si des valeurs d'étalonnage antérieures ne sont pas disponibles, l'estimation de l'incertitude doit être basée sur l'expérience.

**C.6.2.1** Si un poids vérifié de classe F1 ou d'une classe d'exactitude inférieure est utilisé comme poids de référence et possède un certificat de conformité OIML R 111 qui ne précise pas sa masse et son incertitude, l'incertitude peut être estimée à partir des erreurs maximales tolérées,  $\delta m$  de cette classe spécifique :

$$u(m_{cr}) = \sqrt{\frac{\delta m^2}{3} + u_{inst}^2(m_{cr})} \quad (C.6.2-2)$$

**C.6.2.2** Si une combinaison de poids de références est utilisée pour une comparaison de masse et que leurs covariances ne sont pas connues, on peut faire l'hypothèse d'un coefficient de corrélation de 1 [37]. Ce qui conduira à une somme linéaire des incertitudes :

$$u(m_{cr}) = \sum_i u(m_{cr i}) \quad (C.6.2-3)$$

où  $u(m_{cr i})$  est l'incertitude standard d'un poids de référence  $i$ . Ceci constitue une limite supérieure pour l'incertitude.

### C.6.3 Incertitude sur la correction de la poussée de l'air, $u_b$ (Type B)

L'incertitude sur la correction de la poussée de l'air peut être calculée à partir de l'équation (C.6.3-1) [38].

$$u_b^2 = \left[ m_{cr} \frac{(\rho_r - \rho_t)}{\rho_r \rho_t} u(\rho_a) \right]^2 + [m_{cr}(\rho_a - \rho_0)]^2 \frac{u^2(\rho_t)}{\rho_t^4} + m_{cr}^2(\rho_a - \rho_0)[(\rho_a - \rho_0) - 2(\rho_{al} - \rho_0)] \frac{u^2(\rho_r)}{\rho_r^4} \quad (C.6.3-1)$$

où  $\rho_{al}$  est la densité de l'air durant le (précédent) étalonnage du poids de référence au moyen d'un poids d'un ordre de classe supérieur. En utilisant l'équation (C.6.3-1) bien s'assurer d'utiliser la même valeur d'incertitude sur la densité du poids de référence,  $u(\rho_r)$ , que celle qui a été utilisée dans le calcul d'incertitude de l'étalonnage précédent. Une incertitude plus grande ne peut être choisie arbitrairement.

**C.6.3.1** Même si la correction de la poussée de l'air est négligeable (voir C.5.1.2), la contribution de celle-ci sur l'incertitude peut ne pas être négligeable et doit être prise en compte si  $u_b \geq u_c / 3$  (voir équation (C.6.3-1)).

**C.6.3.2** Pour les classes M<sub>1</sub>, M<sub>2</sub> et M<sub>3</sub>, l'incertitude due à la correction de la poussée de l'air est négligeable et peut généralement être omise.

**C.6.3.3** Pour les classes F<sub>1</sub> et F<sub>2</sub>, les densités des poids doivent être connues de manière suffisamment exacte (voir Tableau 5).

**C.6.3.4** Si la densité de l'air n'est pas mesurée et si la densité moyenne de l'air du site est utilisée, alors l'incertitude sur la densité doit être estimée de la manière suivante :

$$u(\rho_a) = \frac{0,12}{\sqrt{3}} \text{ [kg m}^{-3}\text{]} \quad (C.6.3-2)$$

Une valeur d'incertitude inférieure peut être utilisée si des données le justifiant peuvent être fournies.

Au niveau de la mer, la densité de l'air devrait être supposée égale à 1,2 kg m<sup>-3</sup>.

**C.6.3.5** Pour les poids de classe E, la densité de l'air devrait être déterminée. Son incertitude est habituellement estimée à partir des incertitudes sur la température, la pression, et l'humidité de l'air. Pour la classe E<sub>1</sub>, la formule du CIPM (1981/91) [3] ou une approximation peut être utilisée pour le calcul de la densité de l'air (voir Annexe E).

**C.6.3.6** La variance pour la densité de l'air est

$$u^2(\rho_a) = u_F^2 + \left( \frac{\partial \rho_a}{\partial p} u_p \right)^2 + \left( \frac{\partial \rho_a}{\partial t} u_t \right)^2 + \left( \frac{\partial \rho_a}{\partial hr} u_{hr} \right)^2 \quad (C.6.3-3)$$

Avec une humidité relative de l'air de  $hr = 0,5$  (50 %), une température de 20 °C et une pression de 101325 Pa, les valeurs numériques suivantes s'appliquent approximativement :

$$u_F = [\text{incertitude de la formule utilisée}] \text{ (pour la formule du CIPM : } u_F = 10^{-4} \rho_a)$$

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial p} = 10^{-5} \rho_a \text{ Pa}^{-1}$$

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial t} = -3,4 \times 10^{-3} \text{ K}^{-1} \rho_a$$

$$\frac{\partial \rho_a}{\partial hr} = -10^{-2} \rho_a$$

où  $hr$  = humidité relative, en fraction.

**C.6.3.7** La densité du poids de référence,  $\rho_r$ , et son incertitude devrait être connue à partir de son certificat d'étalonnage.

**C.6.3.8** Pour les poids de classe E<sub>2</sub>, la densité,  $\rho_r$ , n'est pas toujours connue, il faut alors la mesurer ou la choisir à partir du Tableau 7 de B.7.9.3.

## C.6.4 Incertitude de la balance $u_{ba}$ (Type B)

### C.6.4.1 Incertitude due à l'essai des balances et des comparateurs de masse.

L'approche recommandée pour déterminer cette composante est de réaliser les essais des balances et des comparateurs de masse à des intervalles de temps raisonnables et d'utiliser les résultats d'essai dans les calculs d'incertitude. Lors de l'étalonnage de poids de classe E<sub>1</sub>, il est recommandé de réaliser plusieurs mesurages d'essai à des moments différents, afin de s'assurer qu'il y a assez d'information sur l'incertitude au moment du mesurage.

### C.6.4.2 Incertitude due à la sensibilité de la balance

Si la balance est étalonnée avec un poids de seuil (ou plusieurs) de masse  $m_s$ , et d'incertitude standard  $u(ms)$ , la contribution de la sensibilité à l'incertitude est :

$$u_s^2 = (\overline{\Delta m_c})^2 \left( \frac{u^2(m_s)}{m_s^2} + \frac{u^2(\Delta I_s)}{\Delta I_s^2} \right) \quad (C.6.4-1)$$

où :  $\Delta I_s$  est la variation de l'indication de la balance due au poids de seuil ;  
 $u(\Delta I_s)$  est l'incertitude sur  $\Delta I_s$  ; et  
 $\overline{\Delta m_c}$  est la moyenne de différence de masse entre le poids à tester et le poids de référence.

Si la sensibilité n'est pas constante avec le temps, la température et la charge, sa variation doit être incluse dans l'incertitude.

### C.6.4.3 Incertitude due à la résolution d'affichage d'une balance numérique

Pour une balance numérique avec l'échelon de vérification,  $d$ , l'incertitude due à la résolution est :

$$u_d = \left( \frac{d/2}{\sqrt{3}} \right) \times \sqrt{2} \quad (C.6.4-2)$$

Le facteur  $\sqrt{2}$  provient des deux lectures, un avec le poids de référence, l'autre avec le poids à tester.

### C.6.4.4 Incertitude due à l'excentration de la charge

Si cette contribution est connue comme étant significative, sa magnitude doit être estimée et si nécessaire la contribution doit être incluse dans le budget d'incertitude.

#### C.6.4.4.1 Solution acceptable pour l'incertitude due à l'excentration de la charge :

$$u_E = \frac{\frac{d_1}{d_2} \times D}{2 \times \sqrt{3}} \quad (C.6.4-3)$$

Où :  $D$  est la différence entre les valeurs minimum et maximum de l'essai d'excentration réalisé selon OIML R 76-2 ;  
 $d_1$  est la distance estimée entre les centres des poids ; et  
 $d_2$  est la distance du centre du récepteur de charge à un des coins.

Dans la plupart des cas, la contribution à l'incertitude  $u_E$  est déjà couverte par l'incertitude  $u_w$  du procédé de pesée (voir 6.1) et peut être négligée.

**C.6.4.4.2** Lorsqu'on utilise des balances avec un mécanisme automatique d'échange de masses, la différence d'indication,  $\Delta I$ , entre deux poids peut être différente lorsque les positions sont inter-changées :  $\Delta I_1 \neq \Delta I_2$ . Ceci peut être interprété comme une erreur de charge excentrée et l'incertitude correspondante devrait être estimée en utilisant l'équation (C.6.4-4). Cette contribution à l'incertitude est applicable, si elle est connue à partir de mesurages antérieurs inter-changés avec des masses de même valeur nominale. Dans les cas où l'inter-changement est réalisé durant une procédure d'étalonnage, la moyenne des deux différences d'indications doit être considérée comme le résultat de la pesée et  $u_E$  peut être négligée.

$$u_E = \frac{|\Delta I_1 - \Delta I_2|}{2} \quad (C.6.4-4)$$

*Note :* L'équation (C.6.4-4) est basée sur le même principe mathématique que l'équation (15) et la Note 6 de l'OIML D 28.

#### C.6.4.5 Incertitude due au magnétisme, $u_{ma}$

Si un poids a une haute susceptibilité magnétique et/ou est magnétisé, l'interaction magnétique peut souvent être réduite en plaçant une entretoise non magnétique entre le poids et le récepteur de charge. Si les poids satisfont les exigences de cette Recommandation, l'incertitude due au magnétisme,  $u_{ma}$ , peut être supposée égale à zéro.

#### C.6.4.6 Incertitude standard combinée de la balance, $u_{ba}$

Les composantes d'incertitudes sont sommées quadratiquement comme suit :

$$u_{ba} = \sqrt{u_s^2 + u_d^2 + u_E^2 + u_{ma}^2} \quad (C.6.4-5)$$

#### C.6.5 Incertitude élargie, $U(m_{ct})$

L'incertitude standard combinée de la masse conventionnelle du poids à tester est donnée par :

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\overline{\Delta m_c}) + u^2(m_{cr}) + u_b^2 + u_{ba}^2} \quad (C.6.5-1)$$

Si la correction de la poussée,  $m_{cr}C$ , n'est pas appliquée (C.5.1.2), une contribution correspondante doit être ajoutée à l'incertitude combinée en plus de  $u_b$  (voir équation (15) et la Note 6 dans [3]) :

$$u_c(m_{ct}) = \sqrt{u_w^2(\overline{\Delta m_c}) + u^2(m_{cr}) + u_b^2 + (m_{cr}C)^2 + u_{ba}^2} \quad (C.6.5-2)$$

L'incertitude élargie,  $U$ , de la masse conventionnelle du poids à tester est la suivante :

$$U(m_{ct}) = k u_c(m_{ct}) \quad (C.6.5-3)$$

**C.6.5.1** Généralement le facteur d'élargissement,  $k = 2$ , devrait être utilisé. Toutefois, si un écart type commun du procédé de pesée n'est pas connu et que le nombre de mesurages ne peut raisonnablement pas être augmenté jusqu'à 10 (comme pour les très gros poids et les longues procédures de pesage), et que l'incertitude,  $u_w(\overline{\Delta m_c})$ , est la composante dominante de l'analyse de l'incertitude, c'est-à-dire  $u_w(\overline{\Delta m_c}) > u(m_t)/2$ , alors le facteur d'élargissement,  $k$ , devrait être calculé à partir de la distribution de Student supposant un niveau de confiance de 95,5 % et des degrés de liberté effectifs,  $v_{eff}$ , (comme calculé à partir de la formule de Welch-Satterthwaite [35]). Le facteur d'élargissement,  $k$ , pour différents degrés de liberté,  $v_{eff}$ , est donné au Tableau C.4 ci dessous. Si l'hypothèse peut être faite que l'estimation de l'incertitude de type B est conservative avec des degrés de libertés infinis, la formule a la forme suivante :

$$v_{eff} = (n-1) \times \frac{u_c^4(m_{ct})}{u_w^4(\overline{\Delta m_c})} \quad (C.6.5-4)$$

Pour plus de détails voir [8].

Tableau C.4 facteur d'élargissement,  $k$ , pour différents degrés de liberté effectifs,  $v_{eff}$

$v_{eff}$	1	2	3	4	5	6	8	10	20	$\infty$
$k$	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,37	2,28	2,13	2,00

## Annexe D

### Contrôle statistique (Informative)

#### D.1 Étalon de contrôle

**D.1.1** Un étalon de contrôle est généralement un poids de même type et de même masse nominale que le poids à étalonner et est inclus dans la configuration de pesée en tant que poids « inconnu ». La procédure de contrôle fonctionne mieux avec des configurations de pesées dans lesquelles l'étalon de contrôle peut être aisément incorporé en tant que poids inconnu. Par exemple, pour les poids à tester de valeurs 5, 2, 2, 1, un étalon de contrôle de valeur 1 serait inclus dans la configuration de pesée de manière à ce que les poids à étalonner soient de valeurs 5, 2, 2, 1, 1. Pour les poids de 1 kilogramme qui sont étalonnées par rapport à deux poids de référence de un kilogramme dans une configuration de pesée 1, 1, 1, 1, l'étalon de contrôle (voir 2.5) peut être la différence entre les deux poids de référence de 1 kilogramme.

**D.1.2** Le but de l'étalon de contrôle est d'assurer la bonne qualité des étalonnages individuels. Un historique de valeurs concernant l'étalon de contrôle est requis dans ce but. La valeur admise de différence de masse,  $\overline{m}_{diff}$ , pour l'étalon de contrôle (généralement une moyenne) est calculée de l'historique des données et est basée sur au moins 10 à 15 mesurages. La valeur de l'étalon de contrôle pour tout nouvel étalonnage,  $m_{diff}$ , est testée pour accord avec la valeur admise en utilisant une technique de contrôle statistique (Le test est basé sur la loi de Student).

$$t = \frac{|m_{diff} - \overline{m}_{diff}|}{S} \quad (D.1.2-1)$$

Où :  $S$  est l'écart type de  $n$  valeurs de l'historique de la différence de masse, qui est estimée avec  $\nu = n-1$  degrés de liberté par :

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (m_{diff_i} - \overline{m}_{diff})^2} \quad (D.1.2-2)$$

Le processus d'étalonnage est jugé sous contrôle si :

$t \leq$  valeur critique de la distribution  $t$  de Student avec  $\nu$  degrés de liberté.

**D.1.3** Les valeurs critiques qui dépendent des degrés de liberté de  $S$ , sont données au Tableau D.1 pour un test bilatéral au seuil de confiance  $\alpha = 0,05$ . Si les degrés de liberté sont grands ( $> 15$ ), il est acceptable d'utiliser un facteur 2 au lieu de la valeur critique du tableau. Si l'étalonnage est jugé hors de contrôle par le test  $t$  de Student, alors la cause doit être investiguée et corrigée avant que les résultats d'étalonnage puissent être rapportés. Ce test est puissant pour repérer des anomalies ou des changements brusques dans la moyenne du processus, y compris des changements dans la valeur du poids de référence, de l'ordre de deux écarts types ou plus. Il n'est pas efficace pour se prémunir contre de petits changements de l'ordre de la moitié d'un écart-type, ni contre une dérive progressive.

**D.1.4** La valeur admise de l'étalon de contrôle est mise à jour au fur et à mesure que les données la concernant sont accumulées. Plusieurs approches peuvent être suivies, toutefois les données devraient toujours être tracées et examinées pour détecter des dérives ou des changements. La valeur de l'étalon de contrôle a changé de son « ancienne » valeur,  $\overline{m}_{diff}$  à une « nouvelle » valeur,  $\overline{m}'_{diff}$ , basée sur les 10 à 15 mesurages les plus récents, si :

$$t = \frac{|\overline{m}_{diff} - \overline{m}'_{diff}|}{\sqrt{\frac{S_{old}^2}{J} - \frac{S_{new}^2}{K}}} > t_{\alpha/2}(\nu) \quad (D.1.4-1)$$

Où  $J$  et  $K$  sont respectivement le nombre d'« anciennes » valeurs et de « nouvelles valeurs » et  $\nu = J + K - 2$ .

## D.2 Précision de la balance

La précision de la balance peut également être surveillée en utilisant une technique de contrôle statistique. L'écart type résiduel d'une configuration de pesée ou l'écart type de mesurages répétés sur un poids unique est la base du test. Encore une fois, le test s'appuie sur un historique d'écart types obtenus sur une même balance. S'il y a  $m$  écart types,  $s_1, \dots, s_m$ , issus des données historiques, un écart type commun :

$$s_p = \sqrt{\frac{1}{m} \sum s_i^2} \quad (D.2-1)$$

est le meilleur estimateur de l'écart type de la balance. L'équation ci dessus fait l'hypothèse que chaque écart type a  $\nu$  degrés de libertés, auquel cas l'écart type commun en a  $m \nu$ . Pour chaque nouvelle configuration ou série de mesurages, l'écart type résiduel,  $s_{new}$ , peut être testé par rapport à la valeur commune. Le test statistique est :

$$F = \frac{s_{new}^2}{s_p^2} \quad (D.2-2)$$

**D.2.1** Normalement seule la dégradation de précision est testée. La précision de la balance est jugée sous contrôle si :

$$F \leq \text{valeur critique de la distribution } F$$

Avec  $\nu$  degrés de libertés pour  $s_{new}$  et  $m \cdot \nu$  pour  $s_p$ . Les valeurs critiques de  $F$  pour un test unilatéral au seuil de confiance  $\alpha = 0,05$  sont listées au Tableau D.2. Si il est jugé que l'écart type s'est dégradé, alors la cause doit être investiguée et corrigée.

Tableau D.1 Valeur critiques de la distribution t de Student pour un test bilatéral avec  $\alpha = 0,05$

Note :  $\nu$  = degrés de liberté

$\nu$	Valeur critique	$\nu$	Valeur critique	$\nu$	Valeur critique	$\nu$	Valeur critique	$\nu$	Valeur critique
1	12,706	11	2,201	21	2,080	31	2,040	41	2,020
2	4,303	12	2,179	22	2,074	32	2,037	42	2,018
3	3,182	13	2,160	23	2,069	33	2,035	43	2,017
4	2,776	14	2,145	24	2,064	34	2,032	44	2,015
5	2,571	15	2,131	25	2,060	35	2,030	45	2,014
6	2,447	16	2,120	26	2,056	36	2,028	46	2,013
7	2,365	17	2,110	27	2,052	37	2,026	47	2,012
8	2,306	18	2,101	28	2,048	38	2,024	48	2,011
9	2,262	19	2,093	29	2,045	39	2,023	49	2,010
10	2,228	20	2,086	30	2,042	40	2,021	50	2,009

Tableau D2 Valeurs critiques de la distribution F pour un test unilatéral que  $s_{\text{new}}$  ( $v$  = degrés de libertés) ne dépasse pas  $s_p$  ( $m$ ,  $v$ ,  $v$ ) à un seuil de confiance  $\alpha = 0,05$ 

F ( $\alpha$ , $v$ , $v$ , $m$ ) $\alpha = 0,05$	v									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
m										
1	161,448	19,000	9,277	6,388	5,050	4,284	3,787	3,438	3,179	2,978
2	18,513	6,944	4,757	3,838	3,326	2,996	2,764	2,591	2,456	2,348
3	10,128	5,143	3,863	3,259	2,901	2,661	2,488	2,355	2,250	2,165
4	7,709	4,459	3,490	3,007	2,711	2,508	2,359	2,244	2,153	2,077
5	6,608	4,103	3,287	2,866	2,603	2,421	2,285	2,180	2,096	2,026
6	5,987	3,885	3,160	2,776	2,534	2,364	2,237	2,138	2,059	1,993
7	5,591	3,739	3,072	2,714	2,485	2,324	2,203	2,109	2,032	1,969
8	5,318	3,634	3,009	2,668	2,449	2,295	2,178	2,087	2,013	1,951
9	5,117	3,555	2,960	2,634	2,422	2,272	2,159	2,070	1,998	1,938
10	4,965	3,493	2,922	2,606	2,400	2,254	2,143	2,056	1,986	1,927
11	4,844	3,443	2,892	2,584	2,383	2,239	2,131	2,045	1,976	1,918
12	4,747	3,403	2,866	2,565	2,368	2,227	2,121	2,036	1,968	1,910
13	4,667	3,369	2,845	2,550	2,356	2,217	2,112	2,029	1,961	1,904
14	4,600	3,340	2,827	2,537	2,346	2,209	2,104	2,022	1,955	1,899
15	4,543	3,316	2,812	2,525	2,337	2,201	2,098	2,016	1,950	1,894
16	4,494	3,295	2,798	2,515	2,329	2,195	2,092	2,011	1,945	1,890
17	4,451	3,276	2,786	2,507	2,322	2,189	2,087	2,007	1,942	1,887
18	4,414	3,259	2,776	2,499	2,316	2,184	2,083	2,003	1,938	1,884
19	4,381	3,245	2,766	2,492	2,310	2,179	2,079	2,000	1,935	1,881
20	4,351	3,232	2,758	2,486	2,305	2,175	2,076	1,997	1,932	1,878
30	4,171	3,150	2,706	2,447	2,274	2,149	2,053	1,977	1,915	1,862
40	4,085	3,111	2,680	2,428	2,259	2,136	2,042	1,967	1,906	1,854
50	4,034	3,087	2,665	2,417	2,250	2,129	2,036	1,962	1,901	1,850
60	4,001	3,072	2,655	2,409	2,244	2,124	2,031	1,958	1,897	1,846
70	3,978	3,061	2,648	2,404	2,240	2,120	2,028	1,955	1,895	1,844
80	3,960	3,053	2,642	2,400	2,237	2,117	2,026	1,953	1,893	1,843
90	3,947	3,046	2,638	2,397	2,234	2,115	2,024	1,951	1,891	1,841
100	3,936	3,041	2,635	2,394	2,232	2,114	2,023	1,950	1,890	1,840
$\infty$	3,841	2,996	2,605	2,372	2,214	2,099	2,010	1,938	1,880	1,831



## Annexe E

### Formule du CIPM et formule d'approximation (Informative)

#### E.1 La formule du CIPM

En 1981, le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) [39] a recommandé que l'équation suivante soit utilisée pour déterminer,  $\rho_a$ , la densité de l'air :

$$\rho_a = \frac{pM_a}{ZRT} \left[ 1 - x_v \left( 1 - \frac{M_v}{M_a} \right) \right] \quad (E.1-1)$$

Où :

- $p$  = pression;
- $M_a$  = masse molaire de l'air sec;
- $Z$  = compressibilité;
- $R$  = constante des gaz parfaits;
- $T$  = température thermodynamique basée sur EIT-90;
- $x_v$  = fraction molaire de la vapeur d'eau; et
- $M_v$  = masse molaire de l'eau.

Cette formule a pris le nom d'équation CIPM-81 . Depuis sa publication en 1981, plusieurs changements des valeurs recommandées des constantes utilisées sont survenus. La formule est désormais désignée comme étant l'équation « 1981/91 pour la détermination de la densité de l'air humide » ou juste l'« équation 1981/91 » après que le Comité Consultatif pour la Masse (CCM) ait modifié plusieurs des constantes utilisées dans la formule.

#### E.2 Les constantes

##### E.2.1 Masse molaire de l'air sec, $M_a$

La masse molaire de l'air sec,  $M_a$ , peut être calculée en utilisant  $x_{CO_2}$  comme fraction molaire du dioxyde de carbone, comme suit :

$$M_a = [28,9635 + 12,011(x_{CO_2} - 0,0004)] \times 10^{-3} \text{ kg mol}^{-1} \quad (E.2.1-1)$$

Tableau E.1 Valeur recommandée pour  $M_a/R$  avec  $x_{CO_2} = 0,0004$

Constante	valeur recommandée de 1991	Unités
$M_a/R$	3,48349	$10^{-3} \text{ kg KJ}^{-1}$

##### E.2.2 Fraction molaire de vapeur, $x_v$

La fraction molaire de vapeur,  $x_v$ , qui est fonction de l'humidité relative,  $hr$ , ou de la température de rosée,  $t_r$ , d'un facteur d'accroissement,  $f$ , et de la pression de vapeur saturante,  $p_{sv}$ , est donnée par :

$$x_v = (hr) f(p, t) \frac{p_{sv}(t)}{p} = f(p, t_r) \frac{p_{sv}(t_r)}{p} \quad (E.2.2-1)$$

Où :

- $hr$  = humidité relative exprimée en fraction;
- $p$  = pression;
- $t$  = température en degrés Celsius;
- $p_{sv}(t)$  = pression de vapeur saturante de l'air humide; et
- $t_r$  = température de rosée

**E.2.2.1** La pression de vapeur saturante,  $p_{sv}$ , peut être calculée de la manière suivante :

$$p_{sv} = 1 \text{ Pa} \times \exp\left(AT^2 + BT + C + \frac{D}{T}\right) \quad (E.2.2-2)$$

Où A, B, C, D sont les constantes de la pression de vapeur à saturation. Les valeurs recommandées sont les suivantes :

Tableau E.2 Valeurs recommandées pour les constantes A, B, C, D

Constante	Valeur recommandée de 1991	Unités
A	1.237 884 7	$10^{-3} \text{ K}^{-2}$
B	- 1.912 131 6	$10^{-2} \text{ K}^{-1}$
C	33.937 110 47	
D	- 6.343 164 5	$10^3 \text{ K}$

### E.2.2.2 Facteur d'accroissement, $f$

Le facteur d'accroissement,  $f$ , est une fonction de trois constantes ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) et de la température,  $t$ , en degrés Celsius. Ce facteur peut être calculé comme suit :

$$f = \alpha + \beta p + \gamma^2$$

Tableau E.3 Valeurs recommandées pour les constantes ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ )

Constante	Valeurs recommandées de 1991	Unités
$\alpha$	1,00062	
$\beta$	3,14	$10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$
$\gamma$	5,6	$10^{-7} \text{ K}^{-2}$

### E.2.3 Le facteur de compressibilité, $Z$

Le facteur de compressibilité,  $Z$ , peut être calculé en utilisant l'équation suivante :

$$Z = 1 - \frac{p}{T} \left[ a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + (b_0 + b_1 t) x_v + (c_0 + c_1 t) x_v^2 \right] + \frac{p^2}{T^2} (d + e x_v^2) \quad (E.2.3-1)$$

Tableau E.4 Valeurs recommandées pour les constantes  $a_0$ ,  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $b_0$ ,  $b_1$ ,  $c_0$ ,  $c_1$ ,  $d$ ,  $e$

Constante	Valeurs recommandées de 1991	Unités
$a_0$	1,58123	$10^{-6} \text{ KPa}^{-1}$
$a_1$	- 2,9331	$10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$
$a_2$	1,1043	$10^{-10} \text{ K}^{-1} \text{ Pa}^{-1}$
$b_0$	5,707	$10^{-6} \text{ KPa}^{-1}$
$b_1$	- 2,051	$10^{-8} \text{ Pa}^{-1}$
$c_0$	1,989 8	$10^{-4} \text{ KPa}^{-1}$
$c_1$	- 2,376	$10^{-6} \text{ Pa}^{-1}$
$d$	1,83	$10^{-11} \text{ K}^2 \text{ Pa}^{-2}$
$e$	- 0,765	$10^{-8} \text{ K}^2 \text{ Pa}^{-2}$

### E.3 Formule d'approximation pour la densité de l'air

La formule la plus exacte pour la densité de l'air est la formule (1981/91) du CIPM [39].

Une formule d'approximation peut aussi être utilisée :

$$\rho_a = \frac{0.34848 p - 0.009 (hr) \times \exp(0.061 t)}{273.15 + t} \quad (E.3-1)$$

Où : la densité de l'air,  $\rho_a$ , est obtenue en  $\text{kg m}^{-3}$  ;  
la pression,  $p$ , est donnée en mbar ou hPa ;  
l'humidité relative,  $hr$ , est exprimée en pourcentage ; et  
la température,  $t$ , en  $^{\circ}\text{C}$

L'équation (E.3-1) a une incertitude relative de  $2 \times 10^{-4}$  dans le domaine  $900 \text{ hPa} < p < 1100 \text{ hPa}$ ,  
 $10 \text{ }^{\circ}\text{C} < t < 30 \text{ }^{\circ}\text{C}$  et  $hr < 80 \%$ .

Pour les poids de classe  $E_1$ , la densité de l'air devrait toujours être déterminée en se basant sur les mesurages correspondants. Toutefois, l'équation d'approximation suivante est une façon d'estimer la densité de l'air dans les laboratoires n'ayant pas de moyens pour la déterminer sur le site. La hauteur par rapport au niveau de la mer est toujours connue. Par conséquent, si la densité de l'air n'est pas mesurée, elle devrait être calculée comme valeur moyenne pour le site du laboratoire comme suit :

$$\rho_a = \rho_0 \times \exp\left(\frac{-\rho_0}{p_0} gh\right) \quad (E.3-2)$$

où :  $p_0 = 101\,325 \text{ Pa}$  ;  
 $\rho_0 = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$  ;  
 $g = 9,81 \text{ ms}^{-2}$  ; et  
 $h$  = hauteur par rapport au niveau de la mer.

## Bibliographie

- [1] Vocabulaire international des termes fondamentaux et généraux de métrologie (VIM) (1993), ISO
- [2] Vocabulaire international des termes de métrologie légale (VIML) (2000), OIML
- [3] OIML D 28 Valeur conventionnelle de la pesée dans l'air (2004) (D 28 a été auparavant publié en tant que OIML R 33)
- [4] ISO 4287:1997 Geometrical product specifications (GPS) - Surface texture: Profile method - Terms, definitions, and surface texture parameters
- [5] ISO/IEC Guide 2:1996 Normalisation et activités connexes - Vocabulaire général
- [6] Davis, R. S., "Determining the magnetic properties of 1 kg mass standards" J. Res. National Institute of Standards and Technology (USA), 100, 209-25, May-June 1995; Errata, 109, 303, March-April 2004
- [7] Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM), première édition, 1993, corrigé et re-imprimé 1995, ISO
- [8] Myklebust T, Källgren H, Lau P, Nielsen L and Riski K, "Testing of weights: Part 3 - Magnetism and convection", OIML Bulletin XXXVIII (1997), pp. 5-10
- [9] Gläser, M., "Magnetic interactions between weights and weighing instruments." Meas. Sci. Technol. 12 (2001), pp. 709-715
- [10] ISO 261:1998 – ISO general-purpose metric screw threads – General plan
- [11] Gläser, M., "Change of the apparent mass of weights arising from temperature differences," Metrologia 36 (1999), pp. 183–197
- [12] Jean M. Bennett and Lars Mattsson, "Introduction to Surface Roughness and Scattering" Optical Society of America (1989)
- [13] ISO 5436:1985, Calibration specimens - Stylus instruments - Types, calibration and use of specimens. (Ed. 1; 20 p; K)
- [14] ISO 3274:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Nominal characteristics of contact (stylus) instruments (Ed. 2; 13 p; G). ISO 3274:1996/Cor 1:1998 (Ed. 1; 1 p; \*)
- [15] ISO 4288:1996 Geometrical Product Specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Rules and procedures for the assessment of surface texture (Ed. 2; 8 p; D). ISO 4288:1996/Cor 1:1998 (Ed. 1; 1 p; \*)
- [16] Myklebust, T., "Methods to determine magnetic properties of weights and magnetic field and field gradients of weights." National Measurement Service, Norway (1995)
- [17] Myklebust, T. 1997 "Intercomparison: Measurement of the volume magnetic susceptibility and magnetisation of two cylindrical (kg) weights. EUROMET project 324", Justervesenet (NO)
- [18] Myklebust, T. and Davis, R.S., "Comparison between JV and BIPM to determine the volume susceptibility of one 20 g weight and two 1 g weights", Justervesenet (1996)
- [19] Myklebust, T. and Börjesson, L., "Comparison of two instruments based on the attracting method." National Measurement Service, Norway (1995)
- [20] Ueki, M., Nezu, Y. and Ooiwa, A., "New facility for weight calibration service", Proceedings of the 14th IMEKO World Congress and Bulletin of NRLM vol. 46, No 4, pp. 223–228 (1997)
- [21] Schoonover, R.M. and Davis, R.S., "Quick and Accurate Density Determination of Laboratory Weights". (Proceedings. 8th Conference. IMEKO Technical Committee TC3 on Measurement of Force and Mass, Krakow, Poland. September 9-10, 1980) (Paper in "Weighing Technology," pp. 1123–1127, (Druk, Zakład Poligraficzny Wydawnictwa SIGMA, Warsaw, Poland (1980)
- [22] Kobata, T., Ueki, M., Nezu, Y., Ooiwa, A. and Ishii, Y., "Characterization of an Acoustic Volumeter for Measuring the Volume of Weights", Proceedings of 15th IMEKO World Congress (1999)
- [23] Ueki, M., Kobata, T., Mizushima, S., Nezu, Y., Ooiwa, A. and Ishii, Y., "Application of an Acoustic Volume-ter to Standard Weights", Proceedings of 15th IMEKO World Congress (1999)
- [24] Bettin, H., Spieweck, F., "Die Dichte des Wassers als Funktion der Temperatur nach Einführung der Internationalen Temperaturskala von 1990", PTB-Mitt. 1003/90, pp. 195–196
- [25] Tanaka, M., Girard, G., Davis, R., Peuto, A., Bignell, N., [NMIJ, BIPM, IMGC, NML], "Recommended table for the density of water between 0 °C and 40 °C based on recent experimental reports", Metrologia, 2001, 38, n°4, pp. 301–309
- [26] Gorski, W., Toth, H.G., "Destilliertes Wasser als Dichtereferenzmaterial - Die elektrische Leitfähigkeit als Kriterium seiner Güte" - PTB-Mitt. 98 5/88, pp. 324–325
- [27] Lau, P., "Weight Volume and Centre of Gravity", SP-AR to be published. (Secretariat is updating this reference (9/6/02))
- [28] Croarkin, C., "An Extended Error Model for Comparison Calibration", Metrologia 26, 107 (1989)

- [29] Schwartz, R. "Guide to mass determination with high accuracy" PTB-Bericht MA-40, Braunschweig, (1995). See also Kochsiek, M., Gläser, M., "Comprehensive Mass Metrology", Wiley, New York, Sec.3.4, "Mass determination with balances" (Roman Schwartz) (2000)
- [30] Chapman, G.D., "Orthogonal designs for calibrating kilogram submultiples", NRCC25819. 27 April 1995, National Research Council Canada, Canada
- [31] Morris, E.C., "Decade Design for Weighings of Non-uniform Variance", Metrologia 29, 373 (1992)
- [32] Cameron, J.M., Croarkin, M.C., and Raybold, R. C.R., "Designs for the calibration of standards of mass", NBS TN 952 (1977)
- [33] Gläser, M., "Cycles of comparison measurements, uncertainties and efficiencies", Meas. Sci. Technol 11 (2000), pp. 20–24
- [34] Sutton, C.M. and Clarkson, M.T., "A general approach to comparisons in the presence of drift" Metrologia 30, 487 (1993/94)
- [35] Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, EA-4/02 (1999)
- [36] Bich, W., Cox, M.G., and Harris, P.M., "Uncertainty modelling in mass comparisons", Metrologia 30, 495 (1993/4)
- [37] Bich, W., "Covariances and restraints in mass metrology", Metrologia 27, 111 (1990)
- [38] Gläser, M., "Covariances in the determination of conventional mass." Metrologia 37, 249–251 (2000)
- [39] Davis, R.S., "Equation for the determination of the density of moist air" (1981/91), Metrologia 29, 67 (1992). Giacomo, P., "Equation for the determination of the density of moist air" (1981), Metrologia 18, 33 (1982)
- [40] Chung, J.W., Ryu, K.S., Davis, R.S. "Uncertainty analysis of the BIPM susceptometer", Metrologia 38 (2001), pp. 535-541