

Balances

Partie III. Incertitude de mesure d'une balance

Commission SFSTP, D. Louvel

C. Barbier, M.-D. Blanchin, M.-C. Bonenfant, X. Chavatte, C. Chmieliewski, X. Dua, R. Dybiak,
C. Imbernon, C. Lebranchu, L. Louvet, M. Vandenhende

Cet article est le résultat des travaux de la commission SFSTP « Petit matériel » et a pour but d'éclairer l'utilisateur sur les méthodes existantes et le traitement des données pour déterminer l'incertitude de mesure d'une balance. Il complète l'article « Balances, Partie II. Confirmation métrologique d'une balance ». Le lecteur pourra s'inspirer du présent document pour adapter et mettre à jour ses procédures internes et intégrer l'incertitude des balances de son parc tout en maîtrisant les incertitudes du processus. Du certificat d'étalonnage, il sera possible de déterminer leur aptitude à satisfaire le besoin de l'utilisateur.

Mots clefs : Métrologie – Instrument de pesage à fonctionnement non automatique – Balance d'analyse – Pesage – Étalonnage – Incertitude de mesure – Formation – Performance.

I PROTOCOLE APPLIQUÉ

Le protocole de ce chapitre est différent de celui appliqué pour la vérification complète et la vérification simplifiée :

- 1) réaliser les essais métrologiques ;
- 2) déterminer les incertitudes de mesure (étalonnage) ;
- 3) confronter les erreurs de mesure augmentées des incertitudes avec les *emt* (vérification) ;
- 4) juger de la conformité (décision) ;
- 5) agir en conséquence (action).

II PRINCIPE DE LA MÉTHODE

L'objectif est d'apprécier la performance de la pesée obtenue avec une balance. Suivant le guide Cofrac 2089 [1], la méthode d'étalonnage comprend plusieurs étapes :

- 1) réaliser les essais métrologiques : justesse (E_p), excentration et répétabilité
- 2) déterminer les incertitudes des erreurs d'indication $U(E_p)$;

Balances Part III. Measurement uncertainty of a balance

This paper is the result of the SFSTP commission "Petit matériel". Its goal is to clarify the equipment to implement and the data process in order to carry out a calibration. The reader may find in this document a basis for adapting its internal procedures in order to include the uncertainty of his analytical balances of a same plant while controlling process uncertainties. From the calibration certificate, it will be possible to determine their ability to satisfy user's requirement.

Keys words: Metrology – Non automatic weighing instrument – Analytical balance – Weighing – Calibration – Uncertainty of measurement – Training – Performance.

I PROTOCOL

The protocol described in this chapter is different compared to the one used for the complete and simplified verification:

- 1) carry out metrological tests;
- 2) assess the measurement uncertainty (calibration);
- 3) compare measurement errors increased by the uncertainties to *mpe* (verification);
- 4) declare conformity (decision);
- 5) act accordingly (action).

II METHOD PRINCIPLE

The objective is to assess the weighing performance with a balance. According to Cofrac guide 2089 [1], the calibration method includes several steps:

- 1) carry out metrological tests: accuracy (E_p), eccentricity and repeatability;
- 2) assess uncertainties of the indication errors $U(E_p)$;

- 3) déterminer l'incertitude de la balance $U(IP)$. Cette opération consiste à exploiter les résultats de l'étape 2 et prendre en compte les conditions d'utilisation et de travail de la balance ;
- 4) déterminer le résultat de la pesée d'un corps (x), de sa masse conventionnelle (M) et de l'incertitude associée $U(M)$.

Le point 4 n'est pas traité dans cet article. Cette dernière opération prend en compte l'incertitude de la balance et les paramètres d'influence liés au corps pesé. Le lecteur trouvera les explications pour le traiter dans le guide Cofrac.

III MESURANDE

Lorsqu'une balance est ajustée avec des poids étalons, les deux équilibres réalisés pour peser un corps (à vide puis en charge) conduisent à la relation suivante :

$$M \cdot [1 - (a/r)] = (x - E_i) \cdot [1 - (a/r_0)]$$

avec M la masse du corps pesé, x le résultat de la pesée, r la masse volumique du corps pesé, a la masse volumique de l'air ambiant lors de la pesée, E_i l'erreur d'indication de la balance pour x dans les conditions a et r_0 , et r_0 la masse volumique conventionnelle de l'étalon utilisé pour déterminer l'erreur d'indication de la balance ($8\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

La masse conventionnelle M_C du corps pesé se déduit de l'expression suivante :

$$M_C \cong x - E_i + (a - a_0) \cdot [(1/r) - (1/r_0)] \cdot x$$

avec $a_0 = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Lors de la pesée d'un corps, pour pouvoir associer au résultat de la pesée l'incertitude du résultat de la pesée, il est nécessaire d'avoir l'erreur de justesse (ou la correction) de la balance et son incertitude.

On l'obtient avec l'étalonnage de la balance, en partie, car elle intervient sur le résultat de la pesée, ainsi que les conditions ambiantes durant la pesée et la nature du corps à peser.

IV ÉTAPE N° 1 : ESSAIS MÉTROLOGIQUES

1. MÉTHODE D'ÉTALONNAGE

La méthode consiste à comparer, sur le lieu d'utilisation habituel, les indications de la balance aux valeurs conventionnellement vraies des étalons.

2. CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT ET D'INSTALLATION

- La balance est sous tension avant le début des essais, depuis au moins une demi-heure, plus suivant les données du constructeur.
- La balance doit être installée de façon à ce que les perturbations électriques ou magnétiques, les vibra-

- 3) assess the balance uncertainty $U(IP)$. This operation is to evaluate the results of step 2 and to take into account the balance conditions of use and work;
- 4) determine the result of weighing a body (x), its conventional mass (M) and the associated uncertainty $U(M)$.

Point 4 is not described in this article. The latter takes into account the uncertainty of the balance and parameters of influence related to weighed body. The reader will find explanations to evaluate it in the Cofrac guide.

III MEASURAND

When a balance is adjusted with standards weights, the two equilibriums carried out to weigh a body (at zero then in charge), lead to the following relation:

$$M \cdot [1 - (a/r)] = (x - E_i) \cdot [1 - (a/r_0)]$$

where M is the mass of the weighed body, x the result of the body weighing, R the density of the weighed body, a the density of the ambient air during weighing, E_i the error of indication of the weighing instrument for x under a and r_0 conditions, and r_0 the conventional value of the density of the standard used to determine the error of indication of the weighing instrument ($8,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$).

Conventional mass M_C of the weighed body is deduced from this formula:

$$M_C \cong x - E_i + (a - a_0) \cdot [(1/r) - (1/r_0)] \cdot x$$

with $a_0 = 1.2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

During the body weighing, to associate the weighing uncertainty to the weighing result, it is necessary to know the accuracy error (or the correction) of the balance and its uncertainty.

It is calculated with the balance calibration, partly because it operates on the outcome of the weighing result and ambient conditions during the weighing as the nature of the body to be weighed.

IV STEP 1: METROLOGICAL TESTS

1. CALIBRATION METHOD

The method is to compare at the usual place of use, the balance indications to conventionally true values of standards.

2. INSTALLATION AND ENVIRONMENT CONDITIONS

- The balance is switched on before the beginning of the tests, since at least half an hour, more according the manufacturer's data.
- The balance must be installed so that electric or magnetic disturbances, vibrations, draughts are

tions, les courants d'air soient minimaux et ne gênent pas son bon fonctionnement.

- L'environnement (température, humidité) des essais doit être stable, si possible, durant les essais.
- Les moyens et la balance à étalonner sont à la température de la pièce où s'effectue l'étalonnage.

3. OPÉRATIONS PRÉLIMINAIRES

- La balance est de niveau.
- Une charge équivalente à la portée maximale est déposée sur le plateau de la balance puis retirée.
- L'affichage à zéro est réglé, si nécessaire au début de chaque essai.
- La balance est ajustée avant l'étalonnage pour limiter ses composantes d'incertitude.
- S'assurer de l'identification de la balance à étalonner.
- S'assurer de l'absence de défaut visible (exemple : plateau sale, instabilité du zéro, dérive du zéro, etc.).
- Vérifier la validité du certificat d'étalonnage des moyens.
- Noter la température, pression et humidité relative avant et après les essais métrologiques.

4. POIDS ÉTALONS

4.1. Raccordement

Les poids utilisés doivent être raccordés aux étalons nationaux avec un certificat d'étalonnage émis par un laboratoire d'étalonnage accrédité Cofrac ou équivalent européen.

4.2. Masse conventionnelle

Conformément au document OIML D28 [7], les poids sont étalonnés en masse conventionnelle avec des incertitudes élargies du tiers des *emt* sur les étalons (pour rendre négligeable les corrections de poussée aérostatique dues aux étalons).

4.3. Classe de précision

Pour minimiser l'incidence de l'incertitude des poids, la classe de précision des poids pour étalonner une balance d'analyse doit être la classe E_2 . Pour étalonner une balance de précision, la classe de précision F_1 suffit.

5. AUTRES MOYENS

Ils sont utilisés pour mesurer les conditions ambiantes au début et à la fin des mesures.

5.1. Thermomètre

Le thermomètre sert à mesurer la température au début et à la fin des essais.

Il n'est pas nécessaire de l'étalonner périodiquement ; nous ne sommes intéressés que par la diffé-

minimal and do not obstruct its correct operation.

- The tests environment (temperature, humidity) has to be stable as far as possible, during the tests.
- Equipments and balance to calibrate are at the same temperature as the room where the calibration is carried out.

3. PRELIMINARY ACTIONS

- The balance is levelled.
- A load close to the maximal capacity is placed on the balance pan and then removed.
- The display is reset to zero, if necessary at the beginning of each test.
- The balance is adjusted before the calibration in order to limit its uncertainty components.
- Check the balance ID to calibrate.
- Check the lack of any visible failure (e.g. dirty pan, unstable zero, zero drift, etc.).
- Check the validity of the calibration certificate of the equipments.
- Record the temperature, pressure and relative humidity before and after the metrological tests.

4. STANDARDS WEIGHTS

4.1. Traceability

The weights used for the calibration, must be traceable to the national standards with a calibration certificate issued by a calibration laboratory accredited by the Cofrac or European equivalent.

4.2. Conventional mass

According to OIML document D28 [7], weights are calibrated as conventional mass with the expanded uncertainties three times smaller than the standards *mpe* (in order to neglect the density corrections of the standards).

4.3. Accuracy class

In order to limit the incidence of the weights uncertainty, the accuracy class of the weights for an analytical balance has to be E_2 . To calibrate a precision balance, the accuracy class F_1 is enough.

5. OTHER EQUIPMENTS

There are used to measure the ambient conditions at the beginning and at the end of the measurements.

5.1. Thermometer

The thermometer is used to measure the temperature at the beginning and at the end of the measurements.

It is not necessary to calibrate it periodically; we are only interested par the temperature deviation

rence de température avant et après et non par une valeur juste de la température.

Note : il est préférable de mesurer la température de l'air à l'intérieur de la chambre de pesée, ou de déterminer l'écart entre la cage et la salle de mesure.

5.2. Baromètre/hygromètre

La pression atmosphérique et l'humidité relative de l'air ne sont pas mesurées mais surveillées. On prend en compte leur étendue sur une période d'une année.

6. ESSAIS MÉTROLOGIQUES

Les essais réalisés pour la détermination de l'incertitude de l'erreur d'indication de la balance sont les suivants :

- essai de répétabilité,
- essai de justesse,
- essai d'excentration.

Ils sont préparés et réalisés de la même façon que les essais principaux de la Partie II du présent article (chapitre III.2. [11]).

6.1. Essai de répétabilité

La répétabilité est déterminée en réalisant au moins cinq pesées successives en au moins un point significatif lié à l'utilisation de la balance, ou à défaut à la moitié de la plage d'étalonnage.

6.2. Essai de justesse

Quand la balance est utilisée sur toute son étendue de mesure, l'erreur d'indication est déterminée à plusieurs charges depuis sa pesée minimale à sa portée maximale.

Si elle n'est utilisée que sur une partie de son étendue de mesure, l'erreur d'indication est déterminée à des charges représentatives des quantités pesées habituellement (exemple : balance utilisée pour contrôler le volume de micropipettes).

Si elle n'est utilisée qu'en un point, l'erreur d'indication est déterminée à la charge habituellement pesée (exemple : balance utilisée pour contrôler la masse spécifique de médicaments, ou la quantité nominale de préemballés).

Il faut veiller à limiter la quantité de poids utilisés en même temps pour simuler le point de mesure, cela dans le but de réduire la composante d'incertitude associée.

6.3. Essai d'excentration

La position centrale du plateau est choisie comme position de référence. La valeur nominale du poids est proche du tiers de la portée maximale. Le poids est placé au centre du plateau (position C) et l'indication I_c qui en résulte est relevée. Puis le poids est déplacé successivement en excentrant celle-ci de part et d'autre du centre du plateau (voir figure 1).

before and after and not the true value of the temperature.

Nota: it's better to measure the air temperature inside weighing chamber; or to measure the deviation between the chamber and the measurement room.

5.2. Barometer/hygrometer

Atmospheric pressure and air humidity are not measured. One takes into account their range during one year.

6. METROLOGICAL TESTS

Tests to carry out for the determination of the uncertainty of the balance indication error are:

- repeatability test;
- accuracy test;
- eccentricity test.

They are prepared and carried out by the same as main tests in Part II of the article (chapter III.2. [11]).

6.1. Repeatability test

Repeatability is determined by carrying out at least five successive weighing for one significant point dictated by the use of the balance, or failing this, at the midpoint of the calibration range.

6.2. Accuracy test

When the balance is used on all its weighing range, the indication error is determined for several loads from the minimum weight to the maximum capacity.

When the balance is partially used on its weighing range, the indication error is determined for loads representing usual weighing amounts (e.g. balance used to control micropipettes volume).

When the balance is used on one point of the weighing range, the indication error is determined for the loads usually weighed (e.g. balance used to control specific mass of drugs, or nominal value of pre-packages).

Make sure to limit the weights number used at the same time to simulate the measuring point in order to reduce the related uncertainty component.

6.3. Eccentricity test

The center position on the pan is chosen as a reference position. The weight about the third of the maximal capacity is placed at the center of the pan (position C) and the indication I_c resulting from is taken. Then, the weight is successively placed in several other eccentric positions on both sides of the center of the pan of a given quantity (see Figure 1).

Les indications correspondantes (I_i) sont relevées et corrigées de l'erreur à 0. Il n'est pas nécessaire de placer le poids systématiquement au centre de chaque portion. Il suffit de le déplacer de 1 ou 2 cm. Ce déplacement représente l'éventuelle erreur d'excentration commise par l'opérateur au cours d'une pesée courante.

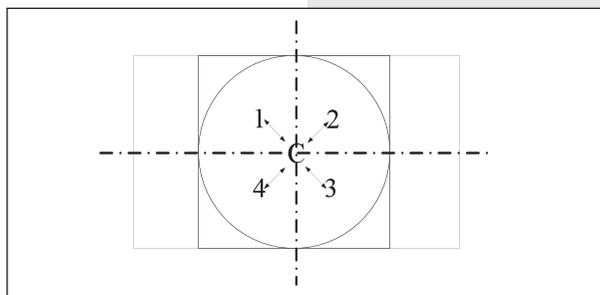


Figure 1. Position des charges sur le plateau rectangulaire/circulaire/carré.

Figure 1. Position of loads on a rectangular/square/circular pan.

Corresponding indications (I_i) are recorded and corrected by the error at zero. It's not necessary to place the weight systematically in the centre of each portion. It's enough to move it of 1 to 2 cm. this move represents the eventual eccentricity error created by the operator during a current weighing.

7. MODE OPÉRATOIRE

L'étalonnage est réalisé en prenant en compte les éléments suivants :

- charge centrée et répartie le plus uniformément possible ;
- température, pression et humidité stables et relevées au début et à la fin des mesures ;
- durée d'application de la charge limitée au nécessaire ;
- respect d'un intervalle de temps suffisant et constant avant le relevé des indications ; si un intervalle de temps spécifique est défini, le respecter (exemple : durée nécessaire pour obtenir une indication stable).

8. TRAITEMENT DES DONNÉES DE MESURE

Les données issues des mesures sont traitées d'une façon différente à celle de la vérification complète (voir chapitre II.2. de la Partie II [11]) :

- la répétabilité est calculée à partir de l'écart type des pesées,
- l'erreur d'indication correspond à la différence entre la valeur lue après pesée de l'étalon et sa valeur vraie,
- pour l'excentration, c'est la différence entre la valeur obtenue au centre du plateau et la plus grande valeur obtenue pour une charge excentrée qui est retenue pour le calcul d'incertitude.

Un exemple de traitement des données des mesures est proposé à l'annexe 1.

V ÉTAPE N° 2 : INCERTITUDE DE L'ERREUR D'INDICATION $U(E_i)$

Les paramètres de la *figure 2* sont retenus pour la détermination de l'incertitude de l'erreur d'indication $U(E_i)$:

- répétabilité des pesées ;
- résolution de la balance (à vide et en charge) ;
- excentration des charges ;
- température ambiante durant les mesures (coefficient de sensibilité la balance à la température) ;
- poids étalons (incertitude + pérennité).

7. OPERATING MODE

The following points must be taken into account during calibration:

- load centered and distributed as uniformly as possible;
- temperature, pressure and relative humidity stable and recorded at the beginning and at the end of the measurements;
- load applied only as long as is necessary;
- time before recording the reading adequate and constant; if a specific time is defined, it must be observed (e.g. necessary duration to get a stable reading).

8. MEASUREMENT DATA PROCESSING

Measurement data are processed by a different way than for a complete verification (see chapter II.2. of Part II [11]):

- repeatability is evaluated with the standard deviation,
- the indication error corresponds to the difference between the reading after weighing of the standard and its true value,
- for the eccentricity, it is the difference between value in the center and the greatest value for an eccentric load that is used for the uncertainty calculation.

An example of measurement data processing is given in appendix 1.

V STEP 2: UNCERTAINTY OF THE INDICATION ERROR $U(E_i)$

Parameters in *Figure 2* are taken into account for the determination of the indication error uncertainty $U(E_i)$:

- repeatability of the weighing;
- resolution of the balance (on zero and on load);
- load eccentricity;
- ambient temperature during test (sensitivity coefficient of the balance to temperature);
- standards weights (uncertainty + durability).

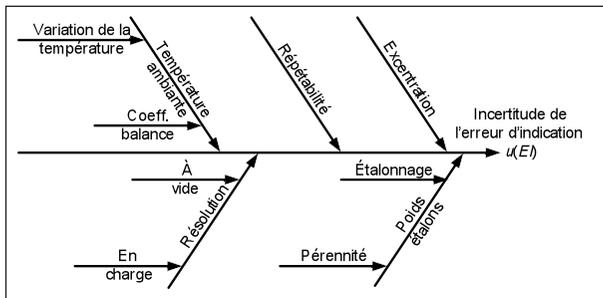


Figure 2. Diagramme des composantes d'incertitude retenues pour l'étape 2.

1. ESTIMATION DES COMPOSANTES DE TYPE A

Tout résultat de pesée est affecté d'une incertitude liée à la répétabilité du processus de pesée.

Cette composante (u_{x_e}) est évaluée grâce à l'écart type expérimental s des résultats de pesée de la même charge effectuée dans les conditions usuelles :

$$(u_{x_e})_e = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

avec s l'écart type des pesées, n le nombre de pesées, x_i la pesée individuelle et \bar{x} la moyenne des pesées.

Note : pour la méthode réglementaire, la répétabilité de la balance (appelée « fidélité ») est égale à la différence entre la plus grande et la plus petite indication ; cette évaluation donne un résultat plus grand que l'écart type.

§ manquant ?

2. ESTIMATION DES COMPOSANTES DE TYPE B

2.1. Résolution

La lecture de chaque pesée est affectée d'une incertitude type (u_{d_e}) fonction de l'échelon réel d . Pour l'affichage numérique d'une balance, on retient une distribution triangulaire centrée sur le domaine borné par $\pm d$. La composante d'incertitude type est égale à :

$$(u_{d_e})_e = d/\sqrt{6}$$

Cette composante intervient deux fois pour un résultat de pesée simple : pour l'équilibre à vide d_0 et en charge d . Le fait de répéter n fois une même pesée n'améliore pas cette composante. Elle est indépendante du nombre de pesées effectuées.

Si l'indication présente des instabilités de plusieurs échelons, on remplace d par l'étendue de cette instabilité.

Cas particulier : pour les balances possédant plusieurs échelons d (exemples : balances DeltaRange, DualRange, MultiRange et PolyRange), il est nécessaire de faire les calculs pour chaque étendue de mesure.

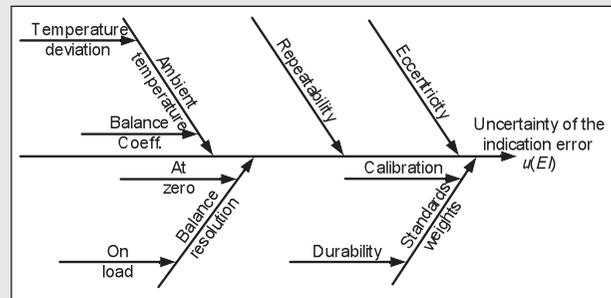


Figure 2. Flowchart of the uncertainty components used for step 2.

1. ASSESSMENT OF THE TYPE A COMPONENTS

Any weighing result is affected by an uncertainty linked to the repeatability of the weighing process.

This component (u_{x_e}) is assessed with the experimental standard deviation s of weighing results for the same load carried out under normal conditions:

$$(u_{x_e})_e = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

with s the weighing standard deviation, n the number of weighing, x_i the individual weighing and \bar{x} the average of the weighing.

Note: with the method defined in the regulation, the balance repeatability is equal to the difference between the greatest and smallest indication, which gives a larger result.

Particular case: for balances with more than one interval d (e.g. DeltaRange, DualRange, MultiRange and PolyRange balances), it is necessary to evaluate repeatability for each measuring range. This will reduce the final uncertainty.

2. ASSESSMENT OF THE TYPE B COMPONENTS

2.1. Resolution

Each reading is affected by a standard uncertainty, (u_{d_e}), as a function of the actual scale interval d . For digital indication of a balance, a triangular distribution is adopted centered on the range limited by $\pm d$. The corresponding standard uncertainty is equal to:

$$(u_{d_e})_e = d/\sqrt{6}$$

Resolution is used twice for determining a single weighing result: at zero indication d_0 and loaded balance d . Repeat n times the same weighing do not improve this uncertainty component. It is therefore independent of the number of weighings carried out.

If the indication shows instabilities of several actual scale interval, d should be replaced in the formula above by the range of this instability.

Particular case: for balances with more than one interval (d) (e.g. DeltaRange, DualRange, MultiRange and PolyRange balances), it is necessary to calculate this component for each measuring range. This will reduce the final uncertainty.

2.2. Poids étalons

2.2.1. Incertitude

Trois cas peuvent se présenter :

- 1) ils sont étalonnés et utilisés en valeur nominale ;
- 2) ils sont étalonnés et utilisés en valeur conventionnelle ;
- 3) ils sont classés (on ne prend en compte ni leur valeur conventionnelle ni les incertitudes d'étalonnage).

Cas 1 et 2 – Les poids sont étalonnés. Pour ces deux cas, la composante d'incertitude relative à l'étalonnage d'un poids est donnée par la formule suivante :

$$u_{Et1} = \sum u_e(Et_i)/2$$

où u_e est l'incertitude élargie d'étalonnage du poids concerné.

Cas 3 – Les poids sont classés et on ne prend en compte ni leur valeur conventionnelle ni leurs incertitudes d'étalonnage. Dans ce cas, la composante d'incertitude relative à l'étalonnage d'un poids classé est donnée par la formule suivante :

$$u_{Et2} = \sum emt(Et_i)/2$$

avec *emt* l'erreur maximale tolérée (en \pm) de la classe du poids utilisée (voir recommandation OIML R111 [9]).

Combinaison de poids – La résultante de l'incertitude est la somme arithmétique de l'incertitude sur chaque poids si une corrélation est supposée (exemple : cas de poids de valeur nominale identique étalonnés dans le même laboratoire). Sinon la résultante de l'incertitude sera la somme quadratique de l'incertitude sur chaque poids.

2.2.2. Pérennité

En l'absence d'information sur la pérennité, cette composante est estimée égale à l'incertitude type d'étalonnage (u_{Et}). Dans tous les cas, l'incertitude de pérennité d'un poids ne peut pas être inférieure à son incertitude d'étalonnage.

Quand on connaît l'historique des poids, l'incertitude type due à la pérennité est donnée par la formule :

$$u_{Et p} = \sum u_p(Et_i)$$

2.3. Température

Les paramètres qui interviennent sont :

- *C* : coefficient de variation de pente en fonction de la température,
- $(\Delta T)_e$: variation de température au cours de l'étalonnage.

L'incertitude type due à l'effet de la température sur la balance, (u_T)_e, est estimée par :

$$(u_T)_e = C \cdot [(\Delta T)_e/\sqrt{3}]_e \cdot x$$

2.2. Standards weights

2.2.1. Uncertainty

Three cases can arise:

- 1) they are calibrated and used in nominal value;
- 2) they are calibrated and used in conventional value;
- 3) they are classified (one takes into account neither their conventional value nor calibration uncertainties).

Case 1 and 2 – The weights are calibrated. For these two cases; the component of uncertainty relating to the calibration of a weight is given by the following formula:

$$u_{Et1} = \sum u_e(Et_i)/2$$

where u_e is the expanded uncertainty of calibration for the concerned weight.

Case 3 – Weights are classified and one takes into account neither their conventional value nor their calibration uncertainties. In this case, the component of uncertainty linked to the calibration of a classified weight is given by the following formula:

$$u_{Et2} = \sum mpe(Et_i)/2$$

with *mpe* maximum permissible error (in \pm) of the class of the weight used (see OIML R111 [9]).

Combinaison de poids – The resultant of uncertainty is the arithmetic sum of uncertainty on each weight if a correlation is supposed (e.g. case of weights of identical nominal value calibrated in the same laboratory). If not, the resultant of uncertainty will be the quadratic sum of uncertainty on each weight.

2.2.2. Durability

If this information is not available, this component is considered to be equal to the standard uncertainty of calibration (u_{Et}). Standard uncertainty of durability can never be less than its standard uncertainty.

When the history of the weights is known, standard uncertainty linked to the durability is given by the formula:

$$u_{Et p} = \sum u_p(Et_i)$$

2.3. Temperature

The parameters involved are:

- *C*: sensitivity variation coefficient of the balance according to temperature,
- $(\Delta T)_e$: temperature variation during the calibration.

The standard uncertainty due to the temperature effect on the balance (u_T)_e is assessed by:

$$(u_T)_e = C \cdot [(\Delta T)_e/\sqrt{3}]_e \cdot x$$

Le coefficient C correspond principalement au coefficient de dilatation du métal constituant la cellule de mesure (capteur à jauges de contrainte, cellule à compensation électromagnétique de la force). Il varie d'une balance à l'autre mais est toujours indiqué dans le mode d'emploi de la balance. Le *tableau 1* résume les valeurs existantes pour ces coefficients.

Tableau 1. Exemples de coefficient de sensibilité.

| Type de balance | Coefficient de sensibilité |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Balance d'analyse (Classe I) | 0,5 à 2 ppm/°C |
| Balance de précision (Classe II) | 2 à 20 ppm/°C |
| Balance industrielle (Classe III) | 2 à 20 ppm/°C |

2.4. Excentration

Quand l'étalonnage fait intervenir plusieurs poids étalons pour cet essai, leur position sur le plateau de la balance peut affecter l'indication.

Quand, au cours de l'étalonnage, les étalons sont régulièrement répartis de façon à ce que le centre de gravité soit à la verticale du centre du plateau, on considère cet effet négligeable comme son incertitude type.

3. ESTIMATION DE L'INCERTITUDE

3.1. Incertitude composée $u(E)$

Elle correspond à la somme quadratique de toutes les composantes d'incertitude retenues (voir *tableau 2*).

3.2. Incertitude élargie $U(E)$

Elle est calculée en multipliant l'incertitude type composée $u(E)$ par le facteur d'élargissement k . La valeur $k = 2$ est prise car cela signifie que pour une distribution normale des valeurs de mesure, la valeur de mesure est couverte par l'intervalle donné avec un niveau de confiance de 95% (voir *tableau 2*).

Un exemple de calcul pour la détermination de l'incertitude élargie de l'erreur d'indication $U(E)$ d'une balance est proposé à l'annexe 2.

Tableau 2. Estimation de l'incertitude élargie de l'erreur d'indication $U(E)$.

Table 2. Assessment of the expanded uncertainty for the indication error $U(E)$.

| Composante/Component | Incetitude type/Standard uncertainty |
|--|---|
| Répétabilité/Repeatability | $(u_r)_e = s$ |
| Résolution à vide/Resolution (unloaded) | $(u_{d0})_e = d_0/\sqrt{6}$ |
| Résolution en charge/Resolution (loaded) | $(u_d)_e = d/\sqrt{6}$ |
| Poids étalons Standard weights | Étalonnés seulement/Only calibrated Étalonnage/Calibration : $u_{Et1} = \sum u_p(Et)/2$ - Pérennité/Durability : $u_{Et2} = \sum u_p(Et)$ Classés uniquement/Only classified : $u_{Et3} = \sum emt(Et)/2$ |
| Influence de la temp./Temp. influence | $(u_T)_e = C \cdot [(\Delta_T)_e/\sqrt{3}]_e \cdot X$ |
| Excentration de charge/Load eccentricity | $(u_{exd})_e$ |
| Incetitude combinée/Combined uncertainty | $u(E)_e = \sqrt{(u_r)_e^2 + (u_{d0})_e^2 + (u_d)_e^2 + (u_{Et})_e^2 + (u_T)_e^2 + (u_{exd})_e^2}$ |
| Incetitude élargie/Expanded uncertainty | $U(E) = 2 \cdot u(E)_e$ |

Coefficient C corresponds mainly to the metal dilation coefficient composing the measuring cell (strain gauges cell, electromagnetic force compensation cell). It varies from one balance to another; it is indicated in the balance user's manual. *Table 1* gives a list of the current values for these coefficients.

Table 1. Examples of sensitivity coefficients.

| Type of balance | Sensitivity coefficient |
|------------------------------|-------------------------|
| Analytical balance (Class I) | 0.5 to 2 ppm/°C |
| Precision balance (Class II) | 2 to 20 ppm/°C |
| Industrial scale (Class III) | 2 to 20 ppm/°C |

2.4. Eccentricity

If the calibration involves the use of several standards weights for this test, their position on the balance pan may effect the indication.

As during calibration, standards are distributed regularly, so that the center of gravity is vertical to the center of the pan, this effect may be considered negligible, as its standard uncertainty.

3. ASSESSMENT OF THE UNCERTAINTY

3.1. Combined uncertainty $u(E)$

It is calculated with the quadratic sum of the standard uncertainty components (see *Table 2*).

3.2. Expanded uncertainty $U(E)$

It is calculated by multiplying the combined standard uncertainty $u(E)$ by the coverage factor k . The value $k = 2$ is chosen because in the case of a normal distribution of the measurement values, the measurement value is covered by the interval given for a coverage distribution probability of approximately 95% (see *Table 2*).

An example of calculation for the assessment of the expanded uncertainty for the indication error $U(E)$ of a balance is provided in appendix 2.

VI ÉTAPE 3 : INCERTITUDE DE LA BALANCE $U(IP)$

1. DÉFINITION

L'utilisateur doit connaître l'incertitude de mesure de sa balance dans des conditions définies d'utilisation et s'assurer qu'elle satisfait à son besoin. De plus, les erreurs d'indication sont généralement faibles, et l'utilisateur ne les corrige pas. Ces considérations conduisent à définir l'incertitude de la balance lui permettant de déterminer l'exactitude de la pesée réalisée.

2. MÉTHODE DE DÉTERMINATION

Cette étape consiste à exploiter les résultats précédents en tenant compte du mode d'utilisation de la balance, comme par exemple :

- l'utilisation du calibrage de la balance ;
- la correction ou non des erreurs d'indication E_I pour établir le résultat de la pesée ;
- l'étendue de la température dans la pièce où est installée la balance et le coefficient de sensibilité à la température de la balance ;
- la valeur de l'excentration de charge.

Toutes ces situations permettent de définir l'incertitude de la balance à partir de laquelle l'utilisateur peut obtenir l'incertitude sur chaque pesée qu'il réalise.

L'incertitude type de la balance, $u(IP)$, est égale à l'incertitude type composée en tenant compte des composantes citées plus haut relatives à la balance, pour une utilisation définie avec l'utilisateur, en faisant abstraction de la correction de poussée de l'air propre à chaque pesée (figure 3).

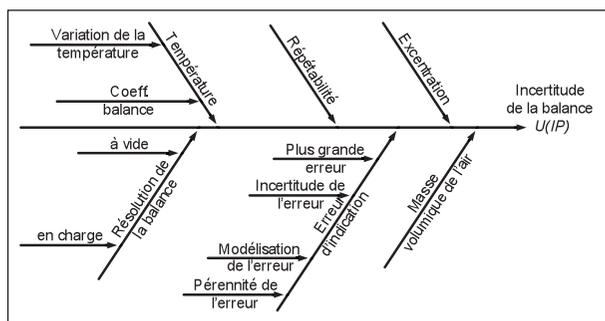


Figure 3. Diagramme des composantes d'incertitude retenues pour l'étape 3.

3. ESTIMATION DES COMPOSANTES DE TYPE A

L'incertitude type de répétabilité, u_x , du processus de mesure est prise égale à l'écart-type expérimental d'une détermination du mesurand. Elle est considérée comme constante sur le domaine spécifié.

VI STEP 3: BALANCE UNCERTAINTY $U(IP)$

1. DEFINITION

The user needs to know the measurement uncertainty of his balance for defined conditions of use and ensure it meets his needs. Moreover, indication errors are generally low and the user does not correct them. These considerations lead to define the balance uncertainty from which the user can determine the uncertainty on each weighing he carries out.

2. METHOD

This step is to assess the previous results, taking into account how the balance is used, such as:

- the use of the internal adjustment device;
- either the indication errors E_I are corrected or not to establish the weighing result;
- the temperature range in the room where the balance is used and the sensitivity coefficient to temperature of the balance;
- the value of the off-load.

With these situations, we can define the balance uncertainty from which the user obtains the uncertainty for each weighing he carries out.

The balance standard uncertainty, $u(IP)$, is equal to the combined uncertainty taking into account the components mentioned above linked to the balance for use with user-defined, disregarding the correction of air buoyancy for each weighing (see Figure 3).

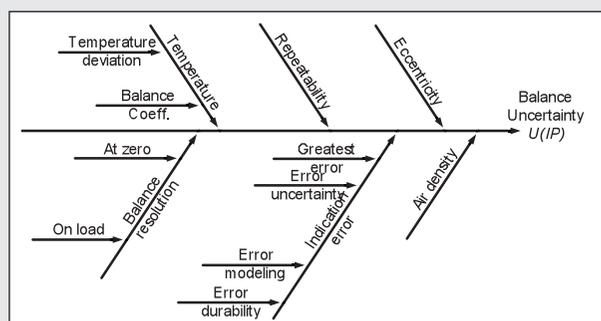


Figure 3. Flowchart of uncertainty components used for step 3.

3. TYPE A COMPONENTS

The standard uncertainty of the repeatability, u_x , for the measurement process is taken as the standard deviation of the measurand determination. It is regarded as constant on the specified range.

4. ESTIMATION DES COMPOSANTES DE TYPE B

4.1. Résolution

Chaque pesée est affectée d'une incertitude type (u_d) fonction de l'échelon réel d . Pour l'affichage numérique d'une balance, on retient une distribution triangulaire. La composante d'incertitude type relative au pas de quantification est estimée à :

$$(u_d) = d/\sqrt{6}$$

Cette composante intervient deux fois pour un résultat de pesée simple : à l'équilibre à vide d_0 et à l'équilibre en charge d .

Le fait de répéter n fois une même pesée n'améliore pas cette composante. Elle est indépendante du nombre de pesées effectuées.

Quand l'indication présente des instabilités de plusieurs échelons réels, on remplacera d dans la formule ci-dessus par l'étendue de cette instabilité.

Cas particulier : pour les balances avec plus d'un échelon réel (d) (exemples : balance DeltaRange, DualRange, MultiRange et PolyRange), il est nécessaire de calculer ce composant pour chaque étendue de mesure. Cela réduira l'incertitude finale.

4.2. Erreur d'indication

Deux cas se présentent :

- soit l'utilisateur corrige ses mesures des erreurs d'indication évaluées durant l'étalonnage ;
- soit il ne les corrige pas.

4.2.1. Avec correction des erreurs

Si l'utilisateur applique les corrections aux erreurs d'indication évaluées durant l'étalonnage :

- les erreurs d'indication (E_i) sont déterminées pour une quantité limitée de charges. Les erreurs pour les charges intermédiaires sont calculées par une modélisation en fonction de la charge à l'aide d'une régression linéaire. C'est la composante d'incertitude type issue de la modélisation, $u_m(E_i)$, qui est à évaluer. On l'estime en calculant l'écart absolu de l'erreur d'indication issue de la modélisation avec les erreurs d'indication mesurées ;
- la composante liée à la modélisation $u_m(E_i)$ correspondra au plus grand écart absolu de l'erreur d'indication.

Un exemple de modélisation est proposé dans l'annexe 3.

4.2.2. Sans correction des erreurs

Quand l'utilisateur n'applique pas les corrections aux erreurs d'indication évaluées durant l'étalonnage, il est admis que la correction d'erreur est de moyenne nulle. L'incertitude type relative (uE_i) qui en résulte est estimée égale à la somme de ces deux termes :

- l'incertitude type maximale sur la détermination des erreurs d'indications : $(u(E_i))_{max}$,

4. TYPE B COMPONENTS

4.1. Resolution

Each reading is affected by a standard uncertainty, (u_d) as a function of the actual scale interval d . For digital indication of a balance, a triangular distribution is adopted centred on the range limited by $\pm d$. The corresponding standard uncertainty is equal to:

$$(u_d) = d/\sqrt{6}$$

Resolution is used twice for determining a single weighing result: at zero indication (d_0) and loaded balance (d).

Repeat n times the same weighing do not improve this uncertainty component. It is therefore independent of the number of weighings carried out.

If the indication shows instabilities of several actual scale interval, d should be replaced in the formula above by the range of this instability.

Particular case: for balances with more than one interval d (e.g. DeltaRange, DualRange, MultiRange and PolyRange balances), it is necessary to calculate this component for each measuring range. This will reduce the final uncertainty.

4.2. Indication error

Two cases:

- either the user corrects his measurements with the indication errors evaluated during calibration;
- or, he doesn't correct them.

4.2.1. With errors correction

If the user applies the corrections to indication errors evaluated during calibration:

- indication errors (E_i) are determined for a limited amount of loads. The errors for intermediate loads are calculated by a modelling according to the load with a linear regression. The component of standard uncertainty after modelling, $u_m(E_i)$, has to be evaluated. It is estimated by calculating the absolute deviation of indication error after modelling with measured indication errors;
- the component related to the modelling $u_m(E_i)$ will correspond to the largest absolute deviation of indication error.

An example of modelling is proposed in appendix 3.

4.2.2. Without errors correction

When the user doesn't apply corrections to indication errors evaluated during calibration, it is recognized that average is equal to zero. The standard uncertainty (uE_i) is estimated to be equal to the sum of these two terms:

- the maximum standard uncertainty on the determination of indication errors: $(u(E_i))_{max}$,

- le maximum de la moitié des erreurs d'indication : $((E_i/2))_{i \max}$.

4.3. Pérennité des erreurs d'indication

La composante d'incertitude relative à la pérennité, $u_p(E_i)$, prend en compte une éventuelle variation des erreurs d'indication E_i entre deux étalonnages.

Cette incertitude type est estimée à partir de l'enregistrement des valeurs d'étalonnage obtenues sur une longue période.

Sans cette information, cette composante est prise égale à celle de l'étalonnage $u(E)$. Dans tous les cas, cette incertitude ne peut être inférieure à celle de la détermination des erreurs d'indication.

4.4. Température

On remplacera la variation de température mesurée durant l'étalonnage $(\Delta T)_e$ par celle correspondant à celle de l'utilisation de la balance (ΔT) .

Quand la balance est équipée d'un réglage interne, l'activer au préalable a pour effet de diminuer de façon importante la dérive en fonction de la température.

Quand la balance est équipée d'un réglage interne se déclenchant automatiquement en cas de variation de température (ΔT déclenchant le réglage), c'est ce paramètre qui sera pris en compte dans le calcul de l'incertitude type.

4.5. Excentration

La balance peut être affectée par la position du corps déposé sur son plateau. Si cette position est changée, l'indication l'est aussi. La valeur de l'excentration est choisie :

- soit selon de l'utilisation de la balance ;
- soit selon des critères normalisés.

L'effet d'excentration de charge induit sur le résultat d'une pesée une incertitude type, u_{exc} (distribution triangulaire), estimée par :

$$u_{exc} = |I_i - I_{C \max}| / \sqrt{6}$$

où $|I_i - I_{C \max}|$ est la plus grande des valeurs $|I_i - I_C|$ obtenues.

4.6. Masse volumique de l'air

4.6.1. Détermination

La formule la plus précise est celle du CIPM (2007). Une formule approchée proposée dans la recommandation OIML R111 [4] peut aussi être utilisée :

$$\rho_a = [0,34848p - 0,009(hr) \times \exp(0,061t)] / (273,15 + t)$$

où ρ_a , la masse volumique de l'air, est donnée en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, la pression p est donnée en mbar ou en hPa, l'humidité relative hr est exprimée comme un pourcentage, et la température t est en $^{\circ}\text{C}$.

- maximum of half of the errors indication : $((E_i/2))_{i \max}$.

4.3. Durability of the indication errors

The component of uncertainty linked to the durability, $u_p(E_i)$, takes into account a possible variation of indication errors E_i between two calibrations.

This standard uncertainty is estimated from the recording of calibration values obtained over a long period.

Without this information, this component is equal to the one of the calibration $u(E)$. In all cases, this uncertainty can not be lower than the determination of indication errors.

4.4. Temperature

One replaces the temperature deviation during calibration $(\Delta T)_e$ by the one corresponding to the balance ambient conditions (ΔT) (temperature deviation during use).

If the balance is fitted with a built-in adjustment device, enabling it before use reduces the drift according the temperature.

If the balance is fitted with a built-in adjustment device automatically activated for a temperature deviation (ΔT triggering an adjustment), it's this setting that will be taken into account for the calculation of the standard uncertainty.

4.5. Eccentricity

The use of the balance can be affected by the position of the body being weighed on the pan. If this position is changed, the indication is also changed. The value of the load eccentricity is chosen:

- either according the way the balance is used;
- or using standardized criteria.

The off-load centre effect leads to a standard uncertainty on the weighing result, u_{exc} (triangular distribution), estimated by:

$$u_{exc} = |I_i - I_{C \max}| / \sqrt{6}$$

where $|I_i - I_{C \max}|$ is the greatest of $|I_i - I_C|$ values obtained.

4.6. Air density

4.6.1. Determination

The most accurate formula is provided by CIPM (2007). An approximate formula given in the OIML R111 [4] may also be used:

$$\rho_a = [0,34848p - 0,009(hr) \times \exp(0,061t)] / (273,15 + t)$$

where ρ_a , air density, is given in $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$, pressure p is given in mbar or in hPa, relative humidity hr is expressed as percentage, and temperature t is in $^{\circ}\text{C}$.

4.6.2. Incertitude type

La détermination de l'erreur d'indication prend en compte la poussée de l'air sur les étalons utilisés. Si la balance est utilisée dans un air de masse volumique différent, l'erreur d'indication n'est plus rigoureusement la même. La modification de l'indication de la balance est estimée à :

$$(\Delta a/r_0) \cdot x$$

avec $\Delta a = a_u - a_c$ (où a_u est la masse volumique de l'air ambiant lors de l'utilisation de la balance et a_c la masse volumique de l'air ambiant lors de l'étalonnage la balance), $r_0 = 8\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, et x le résultat de la pesée.

En condition normale de pesée, l'influence de la masse volumique de l'air au moment de la pesée n'est pas prise en compte dans le résultat. Dans ce cas, l'incertitude type associée à cette non-corrrection, notée u_A , est estimée à :

$$u_A = (1/\sqrt{3}) \cdot (\Delta a/r_0) \cdot x$$

En prenant en compte un écart maximal de 5% de la masse volumique de l'air, il en résulte une variation maximale de l'indication de $7,5^{E-6} \cdot x$. L'incertitude type u_A qui y correspond est de l'ordre de $4^{E-6} \cdot x$.

Important : les balances disposant d'un système d'ajustage à masse incorporée, mis en œuvre avant l'étalonnage et avant son utilisation, permettent de s'affranchir de cette influence. Dans ce cas, $\Delta a = 0$.

5. ESTIMATION DE L'INCERTITUDE

5.1. Incertitude composée

La composition des incertitudes est réalisée comme indiqué dans le *tableau 3* selon que la correction de l'erreur d'indication est effectuée ou pas.

5.1.1. Méthode de référence

- La répétabilité et la résolution sont sommées quadratiquement.
- Les composantes définies en valeurs relatives sont sommées entre elles quadratiquement.

L'incertitude composée de la balance, $u(IP)$, se présente sous la forme : $u(IP) = \alpha \cdot x + \beta$, avec α terme proportionnel au mesurand et β terme constant.

5.1.2. Méthode alternative

La méthode alternative trouve son intérêt quand l'utilisateur ne souhaite connaître que l'incertitude en différents points de mesure et non sur toute l'étendue.

Les composantes d'incertitude sont sommées quadratiquement pour former l'incertitude type composée de la balance, $u(IP)$, pour chaque charge.

Comme avec la méthode de référence, l'incerti-

4.6.2. Standard uncertainty

The air buoyancy of the standard weights used is taken into account when determining the error of indication. If the balance is used in air of a different density, the error of indication is not longer exactly the same. The balance indication therefore needs to be modified by:

$$(\Delta a/r_0) \cdot x$$

with $\Delta a = a_u - a_c$ (where a_u is the density of the ambient air while the balance is being used, and a_c the density of the ambient air while the balance is being calibrated, $r_0 = 8,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, and x the weighing result.

Under usual weighing condition, the influence of the air density at the time of weighing is neglected in the expression of the result. In this case, the standard uncertainty associated with this non-corrrection, quoted u_A , is equal to:

$$u_A = (1/\sqrt{3}) \cdot (\Delta a/r_0) \cdot x$$

Allowing for a maximum deviation of 5% of the air density, the resulting maximum variation of the indication is $7.5^{E-6} \cdot x$. The standard uncertainty u_A corresponding to this is about $4^{E-6} \cdot x$.

Important: with some instruments, this influence can be offset, particularly with balances fitted with a built-in adjustment device enabled before calibration and before its use. In this case, $\Delta a = 0$.

5. UNCERTAINTY ASSESSMENT

5.1. Combined uncertainty

The combination of uncertainties is carried out as indicated in the *Table 3* if the correction of indication error is carried out or not.

5.1.1. Reference method

- A quadratic sum is calculated for the repeatability and the resolution.
- A quadratic sum is calculated for components defined as relative values.

The combined standard uncertainty of the balance, $u(IP)$, is presented in the form $u(IP) = \alpha \cdot x + \beta$, with α term proportional to measurand and β constant term.

5.1.2. Alternate method

The alternate method is interesting when user wants to know only the uncertainty for different points of measurements and not for the whole range.

A quadratic sum is calculated for all uncertainty components to get the balance combined uncertainty, $u(IP)$, for each load.

As for the reference method, the balance combined

Tableau 3. Estimation de l'incertitude élargie de la balance U(IP).
Table 3. Estimation expanded uncertainty of the balance U(IP).

| Composante/Component | Incertitude type/Standard uncertainty |
|---|---|
| Répétabilité/Repeatability | $u_x = s = (u_x)_e$ |
| Résolution à vide/Resolution (unloaded) | $u_{d_0} = d_0/\sqrt{6}$ |
| Résolution en charge/Resolution (loaded) | $u_d = d/\sqrt{6}$ |
| Erreur d'indication Indication error | Sans correction/Without correction : $(u_{E_i})_r = \{[u((E_i)/x)]_{\max} + \{[(E_i/2)]/x\}_{\max}$ Avec correction/With correction : $(u_{E_i})_r = u(E_i)/x$ Modélisation/Modelling : $u_m(E_i)$ |
| Pérennité erreurs d'indication Durability of the indication errors | $u_p(E_i)/x = u(E_i)$ |
| Température/Temperature | $u_T = C \cdot (\Delta T/\sqrt{3}) \cdot x$ |
| Excentration/Eccentricity | $u_{exc} = [(I_i - I_{C,max})/\sqrt{6}] \cdot x$ |
| Masse volumique de l'air/Air density | $u_A = (1/\sqrt{3}) \cdot (\Delta \rho/r_\rho) \cdot x$ |
| Incertitude combinée/Combined uncertainty | $u(IP)$ de la forme/as $u(IP) = \alpha + \beta \cdot x$ Sans correction/without correction $u(IP) = \sqrt{(u_x)^2 + (u_{d_0})^2 + (u_d)^2 + \left[\left(\frac{u((E_i)_i)}{x_i} \right)_{\max}^2 + \left(\frac{(E_i/2)_i}{x_i} \right)_{\max}^2 \right] + \left(\frac{u_p(E_i)}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_T}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_{exc}}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_A}{x} \right)^2}$ Avec correction/with correction $u(IP) = \sqrt{(u_x)^2 + (u_{d_0})^2 + (u_d)^2 + (u_m(E_i))^2 + \left(\frac{u_p(E_i)}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_T}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_{exc}}{x} \right)^2 + \left(\frac{u_A}{x} \right)^2}$ |
| Incertitude élargie/Expanded uncertainty | $U(IP) = 2 \cdot u(IP)$ |

tude combinée est indiquée sous la forme : $u(IP) = \alpha \cdot x + \beta$, avec α terme proportionnel au mesurande et β terme constant.

α correspond à la pente de la droite de régression linéaire. β correspond à l'ordonnée à l'origine de la régression linéaire.

5.2. Incertitude élargie

L'incertitude élargie de la balance, $U(IP)$, est calculée en multipliant l'incertitude type composée $u(IP)$ par le facteur d'élargissement k . La valeur $k = 2$ est recommandée pour les étalonnages. Cela signifie que, dans le cas de distribution normale des valeurs de mesure, la valeur de mesure est couverte par l'intervalle donné avec un niveau de confiance de 95%.

5.3. Exemple de calcul

Un exemple de calcul est donné dans l'annexe 3. Les deux méthodes de calcul sont proposées (référence et alternative). Avec des mesures indentiques, la méthode alternative propose des résultats plus favorables que celle de référence pour les charges proches de la portée maximale.

La raison de cette différence est liée au fait que la méthode de référence ne retient que les incertitudes types maximales de $u(E_i)$ pour la détermination du facteur α . Elle est donc plus contraignante.

uncertainty, $u(IP)$, is presented in the form $u(IP) = \alpha \cdot x + \beta$, with α term proportional to measurand and β constant term.

α corresponds to the slope of the linear regression and β corresponds to the y-coordinate of the linear regression.

5.2 Expanded uncertainty

The balance expanded uncertainty, $U(IP)$, is calculated by multiplying the combined uncertainty $u(IP)$ by the coverage factor k . The value $k = 2$ is recommended for the calibrations. This means that in the case of a normal distribution of the measurement values, the measurement value is covered by the interval given for a coverage distribution probability of approximately 95%.

5.3. Example of calculation

An example is given in appendix 3. Both calculation methods are indicated (reference and alternate). For identical measurements, the alternate method gives a smaller uncertainty than reference method for loads close to the maximum capacity.

This difference is linked to the fact that the reference method only takes into account the maximum standard uncertainties of $u(E_i)$ to calculate factor α . It is therefore no longer binding

6. LISTE DES COMPOSANTES

6. LIST OF THE COMPONENTS

| Identifi- cation | Composante | Component | Unité Unit | |
|---------------------|---|---|-------------------|-------------------|
| | | | SI | Usuelle Usual |
| M | Masse du corps pesé | mass of the weighed body | kg | g |
| r | Masse volumique du corps pesé | density of the weighed body | kg/m ³ | kg/m ³ |
| a | Masse volumique de l'air ambiant lors de la pesée | density of the ambient air during weighing | kg/m ³ | kg/m ³ |
| X | Résultat de la pesée | result of the body weighing | kg | g |
| E_i | Erreur d'indication de la balance pour x | error of indication of the weighing instrument for x | kg | g |
| r_o | Masse volumique conventionnelle de l'étalon utilisé pour déterminer l'erreur d'indication de la balance (8000 kg/m ³) | conventional value of the density of the standard used to de-terminer the error of indication of the weighing instrument (8,000 kg/m ³) | kg/m ³ | kg/m ³ |
| a_o | Masse volumique référence de l'air (1,2 kg/m ³) | reference density of the air (1.2 kg/m ³) | kg/m ³ | kg/m ³ |
| $U(E_i)$ | Incertitude élargie de l'erreur d'indication | expanded uncertainty of the indication error | kg | g |
| $u(E_i)$ | Incertitude combinée de l'erreur d'indication | combined uncertainty of the indication error | kg | g |
| $U(IP)$ | Incertitude élargie de l'instrument de pesage | expanded uncertainty of the weighing instrument | kg | g |
| $u(IP)$ | Incertitude combinée de l'instrument de pesage | combined uncertainty of the weighing instrument | kg | g |
| M_c | Masse conventionnelle du corps pesé | conventional mass of the weighed body | kg | g |
| l_c | Indication de la balance de la charge déposée au centre du plateau pour l'essai d'excentration | indication of the balance for the load placed in the centre of the pan for the eccentricity test | kg | g |
| l_i | Indication de la balance de la charge excentrée du centre du plateau pour l'essai d'excentration | indication of the balance for the load off-loaded for the eccentricity test | kg | g |
| u_{exc} | Incertitude type d'excentration | standard uncertainty of the eccentricity | kg | g |
| x | Moyenne des pesées individuelles pour la répétabilité | average of the individual weighing for the repeatability | kg | g |
| x_i | Pesée individuelle pour la répétabilité | individual weighing for the repeatability | kg | g |
| n | Nombre de pesées | number of weighing | - | - |
| s | Écart type des pesées | standard deviation of the weighing | kg | g |
| $(ux)e$ | Incertitude type de répétabilité | standard uncertainty of the repeatability | kg | g |
| $ue(E_{ti})$ | Incertitude d'étalonnage des poids utilisés | calibration uncertainty of the used weights | kg | g |
| $u_{E_{ti}}$ | Incertitude type d'étalonnage des poids utilisés | calibration standard uncertainty of the used weights | kg | g |
| $emt(E_{ti})$ | Erreur maximale tolérée des poids utilisés | maximal permissible error of the used weights | kg | g |
| $u_{E_{tz}}$ | Incertitude-type d'étalonnage des poids classés utilisés | calibration standard uncertainty of the used classified weights | kg | g |
| $u_p(E_{ti})$ | Pérennité des poids utilisés | durability of the used weights | kg | g |
| $u_{E_{tp}}$ | Incertitude-type de pérennité des poids classés utilisés | durability standard uncertainty of the used classified weights | kg | g |
| C | Coefficient de température de la balance | balance temperature coefficient | ppm/ | ppm/ |
| $(\Delta T)_e$ | Variation de la température durant l'étalonnage | temperature variation during the calibration | °C | °C |
| (ΔT) | Variation de la température durant l'utilisation de la balance | temperature variation during use of the balance | °C | °C |
| $(uT)_e$ | Incertitude type due à la température durant l'étalonnage | standard uncertainty of the temperature during the calibration | kg | g |
| d | Résolution de la balance | balance readability | kg | g |
| d_o | Résolution de la balance à vide | balance readability at zero | kg | g |
| $(u_{dc})_e$ | Incertitude type de la résolution de la balance à vide durant l'étalonnage | standard uncertainty of the balance readability at zero during the calibration | kg | g |
| $(ud)_e$ | Incertitude type de la résolution de la balance durant l'étalonnage | standard uncertainty of the balance readability during the calibration | kg | g |
| u_{do} | Incertitude type de la résolution de la balance à vide durant l'utilisation | standard uncertainty of the balance readability at zero in use | kg | g |
| U_d | Incertitude type de la résolution de la balance durant l'utilisation | standard uncertainty of the balance readability in use | kg | g |
| $u_m(E_i)$ | Incertitude type de la modélisation de l'erreur d'indication de la balance | standard uncertainty of the modelling error of the balance indication | kg | g |

| | | | | |
|-----------------|---|---|-------------------|-------------------|
| $(u_{E/r})$ | Incertitude type de l'erreur d'indication non corrigée | standard uncertainty of the indication error without correction | kg | g |
| $u_p(E)$ | Incertitude type de pérennité de l'erreur d'indication | standard uncertainty of the indication error durability | kg | g |
| $(u(E))_{max}$ | Incertitude type maximale combinée de l'erreur d'indication | maximal combined standard uncertainty of the indication error | kg | g |
| $((E/2))_{max}$ | Maximum de la moitié des erreurs d'indication | maximum of half indication errors | kg | g |
| Δa | Variation de masse volumique de l'air ambiant entre l'utilisation et l'étalonnage de la balance | ambient air density deviation between use and balance calibration | kg/m ³ | kg/m ³ |
| a_u | Masse volumique moyenne de l'air ambiant durant l'utilisation de la balance | average density of the ambient air during balance use | kg/m ³ | kg/m ³ |
| a_e | Masse volumique moyenne de l'air ambiant durant l'étalonnage de la balance | average density of the ambient air during balance calibration | kg/m ³ | kg/m ³ |
| u_a | Incertitude type liée à la non correction de la masse volumique de l'air | standard uncertainty related to the non-correction of the air density | kg | g |
| Alpha | Ordonnée à l'origine | y-axis value | kg | g |
| Beta | Pente de régression linéaire | slope of the linear regression | - | - |

VII CAS DES BALANCES À PLUSIEURS ÉTENDUES

Ces balances ont un échelon réel d qui varie selon la portée de la balance (exemples : balances DeltaRange, DualRange, MultiRange et PolyRange). Pour réduire l'incertitude finale, chaque étendue de mesure doit être considérée comme une balance individuelle.

Exemple de balance à échelons multiples :

- balance d'analyse DeltaRange :
 - étendue 1 : de 0 à 80 g, $d_1 = 0,01$ mg,
 - étendue 2 : de 80 à 220 g, $d_2 = 0,1$ mg ;
- bascule industrielle MultiRange :
 - étendue 1 : de 0 à 15 kg, $d_1 = 5$ g,
 - étendue 2 : de 15 à 30 kg, $d_2 = 10$ g,
 - étendue 3 : de 30 à 60 kg, $d_3 = 20$ g.

1. ESSAI DE REPETABILITÉ

Il est recommandé de réaliser un essai de répétabilité pour chaque étendue de mesure de la balance.

2. EXCENTRATION

Il est recommandé de réaliser un essai de répétabilité pour chaque étendue de mesure de la balance sans jamais sélectionner une charge d'essai supérieure à $Max/3$ sous peine de détériorer de l'instrument.

3. CALCUL D'INCERTITUDE

Chaque étendue de mesure aura sa propre incertitude élargie. Exemple pour une balance d'analyse DeltaRange :

- étendue 1 : $U_1(IP) = \alpha_1 + \beta_1 \cdot x$,
- étendue 2 : $U_2(IP) = \alpha_2 + \beta_2 \cdot x$.

VII CASE OF BALANCES WITH MULTIPLE RANGES

These balances have an actual scale interval d that depends of the balance capacity (e.g. DeltaRange, DualRange, MultiRange and PolyRange balances). In order to reduce the final uncertainty, each measurement range has to be considered as an individual balance. Examples of balance with multiple ranges:

- analytical balance DeltaRange:
 - range 1: from 0 to 80 g, $d_1 = 0.01$ mg,
 - range 2: from 80 to 220 g, $d_2 = 0.1$ mg;
- industrial scale MultiRange:
 - range 1: from 0 to 15 kg, $d_1 = 5$ g,
 - range 2: from 15 to 30 kg, $d_2 = 10$ g,
 - range 3: from 30 to 60 kg, $d_3 = 20$ g.

1. REPEATABILITY TEST

It is recommended to carry out a repeatability test for each weighing range.

2. ECCENTRICITY TEST

It is recommended to carry out an eccentricity test for each weighing range with a load test not greater than $Max/3$ in order to reduce the risk to damage the balance.

3. UNCERTAINTY CALCULATION

Each measurement range will have its own expanded uncertainty. Example for an analytical balance DeltaRange:

- range 1 : $U_1(IP) = \alpha_1 + \beta_1 \cdot x$,
- range 2 : $U_2(IP) = \alpha_2 + \beta_2 \cdot x$.

VIII L'INCERTITUDE D'UNE BALANCE SELON LE DKD (ANCIEN REFERENTIEL)

Le DKD est l'équivalent allemand du Cofrac et propose aussi une accréditation pour l'étalonnage de balances. Le DKD a publié un référentiel [8-10] pour l'étalonnage de balances et son calcul d'incertitude. Ce référentiel est remplacé depuis le 30 juin 2008 par celui de l'Euramet [2].

1. ESSAIS À RÉALISER ET TRAITEMENT DU RÉSULTAT DE MESURE

Les essais à réaliser sont différents de ceux demandés par le Cofrac. Pour mettre en œuvre les essais, prendre connaissance du contenu des documents [8-10] selon les balances à étalonner.

2. TABLEAU DES FORMULES

Tableau 4. Estimation de l'incertitude élargie de la balance U.
Table 4. Evaluation of the expanded uncertainty of the balance U.

| Composante/Component | Incertain type/Standard uncertainty |
|---|---|
| Répétabilité Repeatability | $v_w = s^2$ avec, with $s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i - \bar{W})^2}{n-1}}$ et, and $\bar{W} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n W_i$ |
| Résolution/Resolution | $v_r = d^2/6$ |
| Linéarité Linearity | $v_a = s_a^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=0}^n (a_i - \bar{a})^2$ |
| Étalons/Standards | Poids classés : $v_k = (1/4) \cdot (\sum \delta_i / P_o)^2$ Poids étalonnés : $v_k = (\sum U_i / 2 \cdot P_o)^2$ |
| Température/Temperature | $v_T = (1/12) \cdot (\Delta T \cdot TK)^2$ |
| Excentration/Eccentricity | $v_e = (1/3) \cdot (E_i / Max)^2$ |
| Incertain élargie Expanded uncertainty | $U = 2 \cdot \sqrt{v_w + v_r + v_a \cdot m_w^2 + v_a \cdot m_w^2 + v_T \cdot m_w^2 + v_k \cdot W^2 + a \cdot W}$ |
| L'incertitude à vide vaut/at zero, the uncertainty is: $U_0 = U(W = 0) = 2 \cdot \sqrt{v_w + v_r}$ L'incertitude à Max vaut/at Max, the uncertainty is: $U_{Max} = U(W = Max)$ L'incertitude à une charge W valant/the uncertainty for a load W is: $U \approx U_0 + [(U_{Max} - U_0) / Max] \cdot W$ | |

3. COMMENTAIRE

Comme le nombre de composantes d'incertitude retenues est moindre que celui du Cofrac, l'incertitude finale sera moins importante avec l'ancien référentiel du DKD. D'autre part l'incertitude type due à la température est minimisée par le calcul.

4. EXEMPLE

Un exemple de calcul d'incertitude est proposé en annexe 4.

VIII BALANCE UNCERTAINTY ACCORDING TO DKD (FORMER STANDARD)

DKD is the German equivalent of the Cofrac and offers also accreditation for the balances calibration. DKD has issued a standard [8-10] for the balances calibration and its uncertainty calculation. This standard has been replaced since June 30th, 2008 by the standard issued by Euramet [2].

1. TEST TO CARRY OUT AND ASSESSMENT OF THE MEASUREMENT RESULT

The tests to carry out are not the same as the one requested by Cofrac. To implement the tests, read the content of the documents [8-10] according the balances to calibrate.

2. TABLE OF THE FORMULAS

3. COMMENT

As the number of components of uncertainty is used fewer than Cofrac, the final uncertainty will be less important with the former DKD standard. The standard uncertainty related to temperature is reduced by calculation.

4. EXAMPLE

An example of uncertainty calculation is given in appendix 4.

5. LISTE DES COMPOSANTES

5. LIST OF THE COMPONENTS

| Identifi- cation | Composante | Component |
|---------------------|---|--|
| v_w | Variance de répétabilité | Square of the standard deviation s |
| n | Nombre de mesures | Number of measurements in a set |
| m_n | Masse conventionnelle du poids étalon | Conventional mass of a standard weight |
| A, A_i | Erreur | Error |
| a, a_i | Erreur relative | Relative error |
| i | Indice des mesures individuelles d'une série de mesurage | Index of individual measurements in a measurement set |
| u | Incertitude type | Standard uncertainty |
| TL, TL_i | Valeur de la tare en général | Tare value, general |
| P, P_i | Charge d'essai en général | Test load, general |
| P_o | Charge d'essai pour la justesse | Test load for characteristic indication |
| k | Facteur d'élargissement pour l'incertitude élargie du mesurage (pour le DKD : $k = 2$) | Coverage factor for the expanded uncertainty of measurement (for DKD: $k = 2$) |
| Max | Portée maximale de l'instrument, portée maximale d'utilisation pour cas particulier | Maximum capacity of the instrument, in particular cases the maximum user capacity |
| Max_i | Portée maximale de l'étendue partielle avec le plus petit échelon pour les instruments à étendues et échelons multiples | Maximum capacity of the partial range with the smallest scale interval for multiple range and multi-interval instruments |
| Max_j | Portée maximale de l'étendue partielle appropriée des instruments à étendues et échelons multiples | Maximum capacity of the appropriate partial range for multiple range and multi-interval instruments |
| d | Échelon réel | Scale interval |
| d_1 | Plus petit échelon réel des instruments à étendues et échelons multiples | Smallest scale interval for multiple range and multi-interval instruments |
| d_j | Échelon réel de l'étendue partielle appropriée des instruments à étendues et échelons multiples | Scale interval of the appropriate partial range for multiple range and multi-interval instruments |
| d_{Max} | Plus grand échelon réel des instruments à étendues et échelons multiples | Maximum scale interval for multiple range and multi-interval instruments |
| Δ_i | Erreur maximale tolérée du poids utilisé | Maximum permissible error of the weights used |
| v_r | Variance due au pas de quantification | Variance of rounding to the respective scale interval |
| v_e | Variance relative due à l'excentration | Variance of the error for off-centre loading |
| v_a | Variance relative due à l'erreur de justesse | Variance of the linearity error |
| v_T | Variance relative due à la dérive en temp. durant l'utilisation | Variance of the temperature effect on the characteristic |
| v_k | Variance relative due aux étalons | Variance of the conventional mass of the calibration load |
| a | Moyenne des erreurs relatives de justesse | |
| s | Écart type expérimental | Standard deviation of a measurement set |
| U_o | Ordonnée de l'erreur à charge nulle | Uncertainty for $m_w = 0$ |
| U | $U \approx U_o + [(U_{Max} - U_o)/W_{Max}] \cdot W$ $U \approx U_o + [(U_{Max} - U_o)/I_{Max}] \cdot I$ | Uncertainty of the weight value |
| U_1 | Incertitude pour Max_i avec l'échelon d_1 des instruments à échelons multiples | Uncertainty for Max_i with the scale interval d_1 for multi-interval weighing instruments |
| U_2 | Incertitude pour Max_i avec l'échelon d_2 des instruments à échelons multiples | Uncertainty for Max_i with the scale interval d_2 for multi-interval weighing instruments |
| U_{Max} | Incertitude à la charge maximale | Uncertainty for $m_w = Max$ |
| W | Valeur du poids indiquée par la balance pour la charge appliquée | Weight value of the applied load |
| W_o | Valeur du poids indiquée par la balance pour la charge d'essai P_o | Weight value of the test load P_o |
| m_w | Charge arbitraire déposée sur le récepteur de charge | Arbitrary load on the load receptor |
| E | Écart d'excentration maximum à la charge P_n | Greatest difference between off-centre and central loading indications |
| $E1$ | Écart d'excentration maximum à Max | Maximum off-load deviation at Max |
| Pn | Charge d'essai d'excentration | Off-centre test load |
| T | Température | Temperature |
| ΔT | Variation de température entre deux ajustages | $\Delta T = T_{max} - T_{min}$ = width of temperature interval |
| TK | Coefficient de dérive en temp. en ppm. $^{\circ}C^{-1}$ | Effect of temperature on the mean characteristic in ppm/K |

IX L'INCERTITUDE D'UNE BALANCE SELON DKD (NOUVEAU RÉFÉRENTIEL)

Comme indiqué dans le chapitre précédent, le DKD a remplacé son guide par celui de l'Euramet [2] (téléchargeable sur www.euramet.org) depuis le 30 juin 2008. Avec ce guide, l'Euramet souhaite harmoniser l'étalonnage d'IPFNA au sein de l'EA. Le guide de l'Euramet n'est pas obligatoire ; il sert de promotion pour l'accréditation des laboratoires d'étalonnage.

Seul le DKD a remplacé son référentiel par celui de l'Euramet. Le mode opératoire de l'Euramet est très proche de celui du Cofrac.

1. ESSAIS À RÉALISER ET TRAITEMENT DU RÉSULTAT DE MESURE

Les essais à réaliser sont identiques à ceux demandés par le Cofrac : répétabilité, excentration et justesse.

Le choix des points de mesure et le traitement des données sont très proches de ceux demandés par le Cofrac.

2. INCERTITUDE DE L'ERREUR D'INDICATION

Tableau 5. Estimation de l'incertitude élargie de l'erreur d'indication $U(E)$.
Table 5. Estimation of the expanded uncertainty for the indication error $U(E)$.

| Composante/Component | Incertitude type/Standard uncertainty | |
|--|--|--|
| Répétabilité Repeatability | $u(\delta I_{rep}) = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} / \sqrt{n}$ | |
| Résolution à vide Resolution (unloaded) | $u(\delta I_{dig0}) = d_o / 2\sqrt{3}$ | |
| Résolution en charge Resolution (loaded) | $u(\delta I_{digL}) = d_l / 2\sqrt{3}$ | |
| Charge excentrée Load eccentricity | $u(\delta I_{ecc}) = [(\Delta I_{ecc} _{max}) / (L_{ecc} \cdot \sqrt{3})]$ | |
| Poids étalons Standards weights | Étalonnés seulement/Only calibrated | |
| | Étalonnage/Calibration : $u(\delta m_c) = U(mc)/2$ | Pérennité/Durability : $u(\delta m_D) = k_D U(mc)$ |
| | Classés uniquement/Only classified | |
| | $u(\delta m_c) = mpe/4\sqrt{3}$ | Pérennité/Durability : $u(\delta m_D) = mpe/4\sqrt{3}$ |
| | Poussée de l'air/Air buoyancy : $u(\delta m_B) = emt/4\sqrt{3}$ | |
| Convection : $u(\delta m_{conv}) = \Delta m_{conv}/\sqrt{3}$ | | |
| Incertitude combinée Combined uncertainty | $u(E) = \sqrt{u^2(\delta I_{rep}) + u^2(\delta I_{digL}) + u^2(\delta I_{dig0}) + u^2(\delta I_{ecc}) + u^2(\delta m_c) + u^2(\delta m_D) + u^2(\delta m_B) + u^2(\delta m_{conv})}$ | |
| Incertitude élargie Expanded uncertainty | $U(E) = 2 \cdot u(E)$ | |

Pour les composantes dues à la résolution (à vide et en charge), Euramet retient une distribution rectangulaire alors que le Cofrac retient une distribution triangulaire.

Comparés au Cofrac, deux composantes supplémentaires sont retenues pour les poids étalons :
- poussée de l'air : elle prend en compte la variation de masse volumique de l'air au moment de l'étalon-

IX THE BALANCE UNCERTAINTY ACCORDING TO DKD (NEW STANDARD)

As indicated in the previous chapter, DKD has replaced its guide by the Euramet standard [2] (download at www.euramet.org) since June 30th, 2008. With this guide, Euramet wishes to harmonize the Nawi calibration within EA. This guide is not mandatory; it is used to promote the accreditation of calibration laboratories.

Only DKD has replaced its guide by the Euramet standard. The operating mode defined by Euramet is very close to the Cofrac guide.

1. TESTS TO CARRY OUT AND ASSESSMENT OF THE MEASUREMENT RESULTS

The tests to carry out are identical to those requested by Cofrac: repeatability, accuracy and eccentricity.

The choice of measurement points and data assessment are very close to those requested by Cofrac.

2. UNCERTAINTY OF THE INDICATION ERROR

For the components linked to resolution (at zero and on load), Euramet retains a rectangular distribution as Cofrac retains a triangular distribution.

Compared to Cofrac, two additional components are retained for standards weights:
- air buoyancy: it takes into account the air density deviation during the weights calibration and the bal-

nage des poids et de l'étalonnage de la balance,
- convection : elle prend en compte la variation de température entre le poids et la balance. Cette composante est nécessaire pour l'étalonnage de bascule ou de pont-basculé, mais n'est pas retenue pour les balances d'analyse et de précision.

ance calibration,
- convection: it takes into account the temperature deviation between weight and balance. This component is necessary for the calibration of an industrial scale or a weighing bridge, but it is not retained for analytical and precision balances.

3. INCERTITUDE DE L'INSTRUMENT EN UTILISATION

3. UNCERTAINTY OF THE INSTRUMENT IN USE

Tableau 6. Estimation de l'incertitude élargie de l'erreur d'indication $U(W)$.
Table 6. Evaluation of the expanded uncertainty of the indication error $U(W)$.

| Composante/Component | | | Incertitude type/Standard uncertainty |
|--|-----------------------|---|--|
| Erreur d'indication Indication error | $u(E)$ | | $u(E) = \sqrt{\beta^2 \cdot u^2(I) + I^2 \cdot u^2(\beta)}$ |
| Approximation de l'erreur E Approximation of the error E | E_{appr} | | |
| Incertitude type de l'erreur d'approximation Standard uncertainty for the approximation error | $u(E_{appr})$ | | $u(E_{appr}) = \sqrt{\beta^2 \cdot u^2(I) + I^2 \cdot u^2(\beta)}$ |
| Répétabilité Repeatability | | | $u(\delta I_{rep}) = s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2}{n-1}} / \sqrt{n}$ |
| Résolution à vide Resolution (unloaded) | | | $u(\delta R_{digo}) = d_o / \sqrt{12}$ |
| Résolution en charge Resolution (loaded) | | | $u(\delta R_{digi}) = d_l / \sqrt{12}$ |
| Excentration Eccentricity | | | $u(\delta R_{ecc}) = [(\Delta R_{ecc} i)_{max} / (L_{ecc} \cdot \sqrt{3})]$ |
| Dérive de l'ajustage de la balance/Drift of the balance adjustment | | ΔE_{max} : donnée constructeur $u(R_{adj}) = [\Delta E_{max} / (Max \cdot \sqrt{3})] \cdot R$ | ΔE_{max} : instrument approuvé $u(R_{adj}) = [(\Delta E_{max} = mpe) / (Max \cdot \sqrt{3})] \cdot R$ |
| Température/Temperature | | | $u(\delta R_{temp}) = (TC \cdot \Delta T / \sqrt{12}) \cdot R$ |
| Tare | | | $u(\delta R_{tare}) = [(q_{Emax} - q_{Emin}) / \sqrt{12}] \cdot R$ avec $qE = (E_{i+1} - E_i) / (I_{i+1} - I_i)$ |
| Dérive (fluage, hystérésis ou retour à zéro)/Drift (creep, hysteresis or return to zero) | $w(R_{time}) \cdot R$ | Tests effectués : (a) $u(\delta R_{temps}) = [\Delta E_j / (m \cdot \sqrt{12})] \cdot R$ (b) $u(\delta R_{temps}) = [E_o / (max \cdot \sqrt{3})] \cdot R$ | Tests non effectués : instrument approuvé $u(\delta R_{temps}) = [mpe_{max} / (max \cdot \sqrt{3})] \cdot R$ |
| Incertitude type composée avec corrections d'erreur de justesse E_{appr} /Combined uncertainty with error accuracy corrections | $u(W)$ | | $u(W) = \sqrt{u^2(E_{appr}) + u^2(\bar{E}_i) + u^2(d_o) + u^2(d_l) + [u^2(\delta R_{adj}) + u^2(\delta R_{temp}) + u^2(\delta R_{ecc}) + u^2(\delta R_{tare}) + u^2(\delta R_{temps})] \cdot R^2}$ |
| Incertitude élargie Expanded uncertainty | $U(W)$ | | $U(W) = 2 \cdot u(W)$ |

4. EXEMPLE

Un exemple de calcul d'incertitude selon l'Euramet est proposé en annexe 5.

4. EXAMPLE

An example of uncertainty calculation according to Euramet is given in appendix 5.

5. LISTE DE COMPOSANTES

5. LIST OF THE COMPONENTS

| Identifi- cation | Composante | Component | Unité Unit |
|------------------------|---|---|-------------------|
| <i>C</i> | Correction | Correction | |
| <i>D</i> | Dérive, variation d'une valeur avec le temps | Drift, variation of a value with time | |
| <i>E</i> | Erreur (d'indication) | Error (of an indication) | g, kg, t |
| <i>I</i> | Indication d'un instrument | Indication of an instrument | g, kg, t |
| <i>L</i> | Charge sur l'instrument | Load on an instrument | g, kg, t |
| <i>Max</i> | Portée maximale de pesage | Maximum weighing capacity | g, kg, t |
| <i>Max'</i> | Limite supérieure de l'étendue de pesage spécifiée, $Max' < Max$ | Upper limit of specified weighing range, $Max' < Max$ | g, kg, t |
| <i>Min</i> | Valeur de la charge en dessous de laquelle le résultat de pesée peut être entaché d'une erreur relative trop importante | Value of the load below which the weighing result may be subject to an excessive relative error | g, kg, t |
| <i>Min'</i> | Limite inférieure de l'étendue de pesage spécifiée, $Min' > Min$ | Lower limit of specified weighing range, $Min' > Min$ | g, kg, t |
| <i>R</i> | Indication (lecture) d'un instrument indépendante de la charge d'essai | Indication (reading) of an instrument not related to a test load | g, kg, t |
| <i>T</i> | Température | Temperature | °C, K |
| <i>Tol</i> | Valeur spécifiée de tolérance | Specified tolerance value | |
| <i>U</i> | Incertitude élargie | Expanded uncertainty | g, kg, t |
| <i>W</i> | Résultat de pesage, poids dans l'air | Weighing result, weight in air | g, kg, t |
| <i>m</i> | Échelon réel, la différence entre deux indications consécutives d'un dispositif indicateur | Scale interval, the difference in mass between two consecutive indications of the indicating device | g, kg, t |
| <i>d_r</i> | Échelon réel effectif < <i>d</i> , utilisé pour les essais d'éta- lonnage | Effective scale interval < <i>d</i> , used in calibration tests | g, kg, t |
| <i>k_x</i> | Nombre d'items <i>x</i> | Number of items <i>x</i> , as indicated in each case | |
| <i>K</i> | Facteur d'élargissement | Coverage factor | |
| <i>M</i> | Masse d'un objet | Mass of an object | g, kg, t |
| <i>m_c</i> | Valeur conventionnelle de la masse, plus particuliè- rement de celle du poids étalon | Conventional value of mass, preferably of a standard weight | g, kg, t |
| <i>m_N</i> | Valeur nominale conventionnelle de la masse d'un poids étalon | Nominal conventional value of mass of a standard weight | g, kg, t |
| <i>m_{ref}</i> | Poids de référence ("valeur vraie") de la charge d'essai | Reference weight ("true value") of a test load | g, kg, t |
| <i>emt/mpe</i> | Erreur maximale tolérée (d'une indication, d'un poids étalon etc.) dans un contexte donné | Maximum permissible error (of an indication, a stan- dard weight etc.) in a given context | g, kg, t |
| <i>n</i> | Nombre d'items, comme indiqué dans chaque cas | Number of items, as indicated in each case | |
| <i>s</i> | Écart type | Standard deviation | |
| <i>t</i> | Temps | Time | h, min |
| <i>u</i> | Incertitude type | Standard uncertainty | |
| <i>w</i> | Incertitude type relative à une grandeur de base | Standard uncertainty related to a base quantity | |
| <i>v</i> | Nombre de degrés de liberté | Number of degrees of freedom | |
| <i>ρ</i> | Masse volumique | Density | kg/m ³ |
| <i>ρ_o</i> | Masse volumique de référence de l'air (= 1.2 kg/m ³) | Reference density of air (= 1.2 kg/m ³) | kg/m ³ |
| <i>ρ_a</i> | Masse volumique de l'air | Density of air | kg/m ³ |
| <i>ρ_c</i> | Masse volumique d'un poids étalon (= 8 000 kg/m ³) | Reference density of a standard weight (= 8,000 kg/m ³) | kg/m ³ |
| -Suffix | Relative à | Related to | |
| <i>B</i> | Poussée de l'air | Air buoyancy | |
| <i>D</i> | Dérive | Drift | |
| <i>n</i> | Valeur nominale | Nominal value | |
| <i>T</i> | Essai | Test | |
| <i>'adj</i> | Ajustage | Adjustment | |
| <i>'appr</i> | Approximation | Approximation | |
| <i>'cal</i> | Étalonnage | Calibration | |

| | | | |
|--------|--|---|--|
| 'conv | Convection | Convection | |
| 'dig | Numérisation | Digitalisation | |
| 'ecc | Charge excentrée | Eccentric load | |
| 'gl | Global | Global, overall | |
| 'i | Numération | Numbering | |
| 'instr | Instrument de pesage | Weighing instrument | |
| 'j | Numération | Numbering | |
| 'max | Valeur maximale d'une population donnée | Maximum value from a given population | |
| 'min | Valeur minimale d'une population donnée | Minimal value from a given population | |
| 'proc | Procédure de pesage | Weighing procedure | |
| 'ref | Référence | Reference | |
| 'rep | Répétabilité | Repeatability | |
| 's | Étalon (masse); actuelle, au moment de l'ajustage | Standard (mass); actual at time of adjustment | |
| 'sub | Charge de substitution | Substitution load | |
| 'tare | Fonctionnement du dispositif d'équilibrage de tare | Tare balancing operation | |
| 'temp | Température | Temperature | |
| 'time | Temps | Time | |
| o | Zéro, charge nulle | Zero, no load | |

Annexe 1 – Étape 1 : traitement des données issues des mesures Appendix 1 – Step 1: measurements data processing

1. Caractéristiques de la balance/Balance features

| | |
|--|---|
| Portée maximale/Maximum capacity | 220 g |
| Résolution à vide/Resolution at zero | 0,1 mg |
| Résolution en charge/Resolution on load | 0,1 mg |
| Plage d'étalonnage/Calibration range | 10 g to 200 g |
| Ajustage autom. active/Autom. adjustment activated | Déclenché automatiquement quand $\Delta T \geq 1$ K Triggered automatically when $\Delta T \geq 1$ K |
| Classe de précision des poids/Weights accuracy class | E_2 avec certificat d'étalonnage/ E_2 with calibration certificate |
| Variation temp. (en étalonnage)/Temp. deviation (during calibration) | $\Delta T = 0,1$ °C |
| Variation température (en utilisation)/Temperature deviation (in use) | $\Delta T = 1$ °C |
| Coefficient de sensibilité de la balance/Balance sensitivity coefficient | $1,5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ |
| Charge excentrée/Off-centre load | 100 g |

2. Incertitude des poids étalons/Standard weights uncertainty

| Étalons/Standards | 10 g | 50 g | 100 g | 150 g | 200 g |
|-------------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| emt/mpe (E_t) | $\pm 0,06$ mg | $\pm 0,10$ mg | $\pm 0,15$ mg | $\pm 0,25$ mg | $\pm 0,30$ mg |

3. Essai de répétabilité, mesures et traitement/Repeatability test, measurements and processing

| Charge appliquée/Load applied | 100 g | | | | | |
|--------------------------------|--------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| N° pesée/Weighing No. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| $x_i - 100$ g $(u_x)_c = s$ | 0,0 mg 0,041 mg | 0,0 mg | 0,0 mg | 0,0 mg | 0,0 mg | 0,1 mg |

4. Essai d'excentration, mesures et traitement/Off-centre load test, measurements and processing

| Charge appliquée/Load applied | 100 g | | | | |
|---|----------------------------|---------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Position de la charge/Load position | C | 1 | 2 | 3 | 4 |
| $I_i - 100$ g $I_i - I_C$ Plus grande inc. type relative (valeur absolue) Greatest relative standard unc. (absolute value) | 0,0 mg - u_{exc}/x | 0,0 mg 0,0 mg $4,1^{E-7}$ | 0,0 mg 0,0 mg | 0,0 mg 0,0 mg | 0,1 mg 0,1 mg |

5. Essai de justesse, mesures et traitement/Accuracy test, measurements and processing

| | | | | | | | |
|--|-----------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
| Charge appliquée/Load applied | x_i | 0 g | 10 g | 50 g | 100 g | 150 g | 200 g |
| Erreur d'indication/Indication error | E_i | 0,0 mg | 0,0 mg | 0,0 mg | 0,0 mg | 0,1 mg | 0,2 mg |
| Moitié de l'erreur/Half of the error | $E_i/2$ | 0,0 mg | 0,0 mg | 0,0 mg | 0,0 mg | 0,1 mg | 0,2 mg |
| Moitié de l'erreur relative Half of the relative error | $(E_i/2)/x_i$ | - | $0,0^{E-40}$ | $0,0^{E-40}$ | $0,0^{E-40}$ | $3,3^{E-7}$ | $5,0^{E-7}$ |
| Max. moitié de l'erreur relative d'indication (valeur absolue) Max of half relative indication error (absolute value) | $((E_i/2)/x_i)_{Max}$ | $5,0^{E-7}$ | | | | | |

6. Masse volumique de l'air, mesures et traitement/Air density, measurements and processing

| Conditions ambiantes en utilisation/Ranges for the ambient conditions in use | | | | |
|--|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| Température de l'air/Air temperature | 20°C | 21°C | 20°C | 21°C |
| Humidité relative/Relative humidity | 20% | 20% | 80% | 80% |
| Pression/Pressure | 961 hPa | 961 hPa | 961 hPa | 961 hPa |
| CIPM : masse volumique de l'air/Air density | 1,142 kg/m ³ | 1,138 kg/m ³ | 1,142 kg/m ³ | 1,138 kg/m ³ |
| Température de l'air/Air temperature | 20°C | 21°C | 20°C | 21°C |
| Humidité relative/Relative humidity | 20% | 20% | 80% | 80% |
| Pression/Pressure | 1019 hPa | 1019 hPa | 1019 hPa | 1019 hPa |
| CIPM : masse volumique de l'air/Air density | 1,211 kg/m ³ | 1,207 kg/m ³ | 1,211 kg/m ³ | 1,207 kg/m ³ |
| a_u | 1,175 kg/m ³ | | | |
| Conditions ambiantes durant l'étalonnage/Ambient conditions during calibration | | | | |
| Température de l'air/Air temperature | 20°C | 20,1°C | 20°C | 20,1°C |
| Humidité relative/Relative humidity | 20% | 20% | 80% | 80% |
| Pression/Pressure | 961 hPa | 961 hPa | 961 hPa | 961 hPa |
| CIPM : masse volumique de l'air/Air density | 1,142 kg/m ³ | 1,142 kg/m ³ | 1,142 kg/m ³ | 1,142 kg/m ³ |
| Température de l'air/Air temperature | 20°C | 20,1°C | 20°C | 20,1°C |
| Humidité relative/Relative humidity | 20% | 20% | 80% | 80% |
| Pression/Pressure | 1019 hPa | 1019 hPa | 1019 hPa | 1019 hPa |
| CIPM : masse volumique de l'air/Air density | 1,211 kg/m ³ | 1,211 kg/m ³ | 1,211 kg/m ³ | 1,211 kg/m ³ |
| a_u | 1,177 kg/m ³ | | | |

$\Delta a = -0,002 \text{ kg/m}^3$ $r_o = 8 \text{ 000 kg/m}^3$ $u_A = -1,3^{E-7} \cdot x$

Annexe 2 – Étape 2 : incertitude de l'erreur d'indication $U(E)$
Appendix 2 – Step 2: uncertainty of the indication error $U(E)$

| Composante/Component | | Incertitude type/Standard uncertainty | | | | |
|---|------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Charge d'étalonnage appliquée Calibration load applied | x_i | 10 g | 50 g | 100 g | 150 g | 200 g |
| Répétabilité/Repeatability | $(u_{x_e})_e$ | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg |
| Résolution à vide/Resolution at zero | $(u_{d0_e})_e$ | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg |
| Résolution en charge/Resolution on load | $(u_{d_e})_e$ | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg |
| Étalonnage des étalons/Standards calibration | u_{Et} | 0,030 mg | 0,050 mg | 0,075 mg | 0,125 mg | 0,150 mg |
| Influence de la temp./Temp. influence | $(u_{T_e})_e$ | 0,001 mg | 0,004 mg | 0,009 mg | 0,013 mg | 0,017 mg |
| Excentration de la charge/Load eccentricity | $(u_{exc_e})_e$ | Neglected/Négligée* | | | | |
| Inc. composée/Combined uncertainty | $u(E)$ | 0,08 mg | 0,09 mg | 0,10 mg | 0,14 mg | 0,17 mg |
| Inc. composée relative/Relative combined unc. | $u(E)/x_i$ | $7,7^{E-6}$ | $1,7^{E-6}$ | $1,0^{E-6}$ | $9,6^{E-7}$ | $8,3^{E-7}$ |
| Incertitude composée relative maximale Maximum relative combined uncertainty | $(u(E)/x)_{Max}$ | $7,7^{E-6}$ | | | | |
| Incertitude élargie/Expanded uncertainty ($k = 2$) | $U(E)$ | $\pm 0,15 \text{ mg}$ | $\pm 0,17 \text{ mg}$ | $\pm 0,21 \text{ mg}$ | $\pm 0,29 \text{ mg}$ | $\pm 0,33 \text{ mg}$ |

*Le centre de gravité de l'étalon étant placé à la verticale du centre du plateau, l'excentration en cours d'étalonnage est négligeable/As the standard gravity centre is placed in the same vertical as the pan centre, eccentricity during calibration is negligible.

Annexe 3 – Étape 3 : incertitude de la balance U(IP) Appendix 3: Step 3: balance uncertainty U(IP)

1. Sans correction des erreurs d'indication/Without correction of the indication errors

1.1. Incertitude u(IP), méthode de référence/Uncertainty u(IP), reference method

| Composante/Component | Incertitude type/Standard uncertainty | |
|--|---------------------------------------|--|
| Charge/Load | x_i | 10 - 50 - 100 - 150 - 200 g |
| Répétabilité/Repeatability | u_x | 0,04 mg |
| Résolution à vide/Resolution at no load | u_{do} | 0,04 mg |
| Résolution en charge/Resolution in load | u_d | 0,04 mg |
| Incertitude composée relative maximale/Maximum relative combined uncertainty | $u(E_f/x)_{max}$ | $7,7^{E-6} \cdot x$ |
| Max de la moitié de l'erreur relative d'indication/Max of half relative indication error | $(E_f/2/x)_{max}$ | $5,0^{E-7} \cdot x$ |
| Erreur d'indication non corrigée/Error of indication non-corrected | u_{EI} | $8,2^{E-6} \cdot x$ |
| Pérennité de l'erreur d'indication/Durability of the indication error | $u_p(E_f)/x$ | $7,7^{E-6} \cdot x$ |
| Influence de la température/Temperature influence | u_T/x | $8,7^{E-7} \cdot x$ |
| Excentration/Eccentricity | u_{exc}/x | $4,1^{E-7} \cdot x$ |
| Masse volumique de l'air/Air density | u_A/x | $-1,3^{E-7} \cdot x$ |
| Incertitude combinée/Combined uncertainty | $u(IP)$ | alpha = 0,071 mg beta = $1,1^{E-5} \cdot x$ |

1.2. Incertitude u(IP), méthode alternative/Uncertainty u(IP), alternate method

| Composante/Component | Incertitude type/Standard uncertainty | | | | | |
|--|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| | x_i | 10 g | 50 g | 100 g | 150 g | 200 g |
| Charge/Load | x_i | 10 g | 50 g | 100 g | 150 g | 200 g |
| Répétabilité/Repeatability | u_x | 0,041 mg |
| Résolution à vide/Resolution at no load | u_{do} | 0,041 mg |
| Résolution en charge/Resolution in load | u_d | 0,041 mg |
| Inc. composée/Combined unc. | $u(E_f)$ | 0,077 mg | 0,087 mg | 0,103 mg | 0,144 mg | 0,167 mg |
| Moitié de l'erreur d'indication/Half of indication error | $(E_f/2)$ | 0,000 mg | 0,000 mg | 0,000 mg | 0,050 mg | 0,100 mg |
| Erreur d'indication non corrigée Error of indication non-corrected | u_{EI} | 0,077 mg | 0,087 mg | 0,103 mg | 0,194 mg | 0,267 mg |
| Pérennité de l'erreur d'indication Durability of the indication error | $u_p(E_f)$ | 0,077 mg | 0,087 mg | 0,103 mg | 0,144 mg | 0,167 mg |
| Influence de la temp./Temp. influence | u_T | 0,009 mg | 0,043 mg | 0,087 mg | 0,130 mg | 0,173 mg |
| Excentration/Eccentricity | u_{exc} | 0,004 mg | 0,020 mg | 0,041 mg | 0,061 mg | 0,082 mg |
| Masse volumique de l'air/Air density | u_A | -0,001 mg | -0,007 mg | -0,013 mg | -0,020 mg | -0,026 mg |
| Incertitude combinée/Combined uncertainty | $u(IP)$ | 0,13 mg | 0,15 mg | 0,19 mg | 0,29 mg | 0,38 mg |
| Incertitude élargie/Expanded uncertainty | $U(IP)$ | 0,26 mg | 0,30 mg | 0,38 mg | 0,58 mg | 0,75 mg |
| Modélisation de U(IP)/Modelling of U(IP) : alpha = 0,1829 mg, beta = 0,0027x | | | | | | |

1.3. Comparaison des deux méthodes/Comparison between the two methods

Avec des mesures identiques, la méthode alternative propose des résultats plus favorables que celle de référence pour les charges proches de la portée maximale. La raison de cette différence est liée au fait que la méthode de référence ne retient que les incertitudes types maximales de $u(E_f)$ pour la détermination du facteur β . Elle est donc plus contraignante.

With identical measures, the alternate method offers lowest uncertainties than the reference method for loads close to the maximum capacity. The reason of this difference is linked to the fact that the reference method takes into account only the maximum standard uncertainties $u(E_f)$ for the evaluation of the factor β . It is therefore no longer binding.

| Méthode de référence/Reference method | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Charge/Load x_i | 0,1 g | 5 g | 20 g | 30 g | 50 g | 100 g | 150 g | 200 g |
| Inc. élargie/Expanded unc.* | ± 0,14 mg | ± 0,25 mg | ± 0,59 mg | ± 0,82 mg | ± 1,27 mg | ± 2,39 mg | ± 3,52 mg | ± 4,65 mg |
| Méthode alternative/Alternate method | | | | | | | | |
| Charge/Load x_i | 0,1 g | 5 g | 20 g | 30 g | 50 g | 100 g | 150 g | 200 g |
| Inc. élargie/Expanded unc. | ± 0,18 mg | ± 0,20 mg | ± 0,24 mg | ± 0,26 mg | ± 0,32 mg | ± 0,45 mg | ± 0,58 mg | ± 0,71 mg |

*Pour obtenir cette incertitude, il faut transformer la charge en mg./To get this uncertainty, the load has to be expressed in mg.

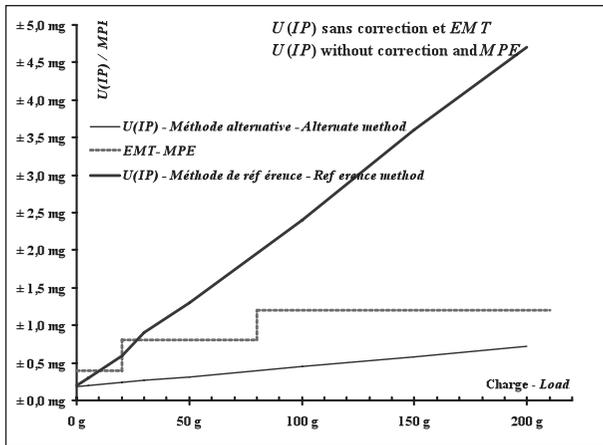


Figure 1. Tracé des $U(IP)$ sans correction et emt .
Figure 1. $U(IP)$ without correction vs mpe .

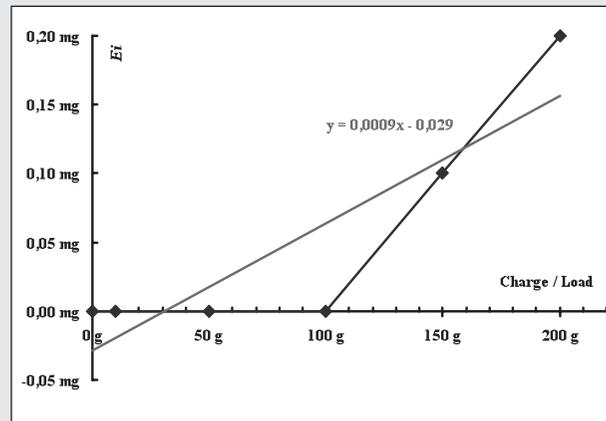


Figure 2. Modélisation de l'erreur d'indication.
Figure 2. Coordinates of the linear regression of the indication error.

2. Avec correction des erreurs d'indication/With correction of the indication errors

2.1. Modélisation de l'erreur d'indication/Modeling of the indication error

| Charge appliquée/Load applied Erreur d'indication/Indication error | x_i E_i | 0 g 0,0 mg | 10 g 0,0 mg | 50 g 0,0 mg | 100 g 0,0 mg | 150 g 0,1 mg | 200 g 0,2 mg |
|--|--------------------------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| Modélisation de l'erreur d'indication Indication error modelling: $Y = a + b \cdot x$ | $a = -0,029 \text{ mg}$ | $b = 0,0006 \cdot x$ | | | | | |
| Erreur recalculée/Error recalculated Écart absolu/ Δ absolute Plus grand écart de l'erreur Greatest deviation of the error | -0,03 mg 0,03 mg 0,06 mg | -0,02 mg 0,02 mg | 0,02 mg 0,02 mg | 0,06 mg 0,06 mg | 0,11 mg 0,01 mg | 0,16 mg 0,04 mg | |

2.2. Incertitude $u(IP)$, méthode de référence/Uncertainty $u(IP)$, reference method

| Composante/Component | Incertitude type/Standard uncertainty |
|--|--|
| Charge/Load | x_i 10 - 50 - 100 - 150 - 200 g |
| Répétabilité/Repeatability | u_x 0,04 mg |
| Résolution à vide/Resolution at no load | u_{do} 0,04 mg |
| Résolution en charge/Resolution in load | u_d 0,04 mg |
| Modélisation de l'erreur/Modelling error | $u_m(E_i)$ 0,06 mg |
| Incertitude max. de l'erreur d'indication/Max. uncertainty of the indication error | $u(E_i/x)_{max}$ $7,7^{E-6} \cdot x$ |
| Pérennité de l'erreur d'indication/Durability of the indication error | $u_p(E_i)/x$ $7,7^{E-6} \cdot x$ |
| Influence de la température/Temperature influence | u_T/x $8,7^{E-7} \cdot x$ |
| Excentration/Eccentricity | u_{exc}/x $4,1^{E-7} \cdot x$ |
| Masse volumique de l'air/Air density | u_A/x $-1,3^{E-7} \cdot x$ |
| Incertitude combinée/Combined uncertainty | $u(IP)$ $\alpha = 0,095 \text{ mg}$ $\beta = 1,1^{E-5} \cdot x$ |

2.2. Incertitude $u(IP)$, méthode alternative/Uncertainty $u(IP)$, alternate method

| Composante/Component | Incertitude type/Standard uncertainty | | | | | |
|--|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Charge/Load | x_i | 10 g | 50 g | 100 g | 150 g | 200 g |
| Répétabilité/Repeatability | u_x | 0,041 mg |
| Résolution à vide/Resolution at no load | u_{do} | 0,041 mg |
| Résolution en charge/Resolution in load | u_d | 0,041 mg |
| Modélisation de l'erreur/Modelling error | $u_m(E_i)$ | 0,020 mg | 0,017 mg | 0,064 mg | 0,010 mg | 0,043 mg |
| Incertitude de l'erreur d'indication/Uncertainty of the indication error | $u(E_i)$ | 0,077 mg | 0,087 mg | 0,103 mg | 0,144 mg | 0,167 mg |
| Pérennité de l'erreur d'indication Durability of the indication error | $u_p(E_i)$ | 0,077 mg | 0,087 mg | 0,103 mg | 0,144 mg | 0,167 mg |
| Influence de la temp./Temp. influence | u_T | 0,009 mg | 0,043 mg | 0,087 mg | 0,130 mg | 0,173 mg |
| Excentration/Eccentricity | u_{exc} | 0,004 mg | 0,020 mg | 0,041 mg | 0,061 mg | 0,082 mg |
| Masse volumique de l'air/Air density | u_A | -0,001 mg | -0,007 mg | -0,013 mg | -0,020 mg | -0,026 mg |
| Incertitude combinée/Combined uncertainty | $u(IP)$ | 0,13 mg | 0,15 mg | 0,20 mg | 0,26 mg | 0,32 mg |
| Incertitude élargie/Expanded uncertainty | $U(IP)$ | 0,26 mg | 0,30 mg | 0,40 mg | 0,52 mg | 0,63 mg |

Modélisation de $U(IP)$ /Modelling of $U(IP)$: $\alpha = 0,2187 \text{ mg}$, $\beta = 0,0020 \cdot x$

2.3. Comparaison des deux méthodes/Comparison between the two methods

Avec des mesures identiques, la méthode alternative propose des résultats plus favorables que la méthode de référence pour les charges proches de la portée maximale. La raison de cette différence est liée au fait que la méthode de référence ne retient que les incertitudes types maximales de $u(E_i)$ pour la détermination du facteur β . Elle est donc plus contraignante.

With identical measures, the alternate method offers lowest uncertainties than the reference method for loads close to the maximum capacity. The reason of this difference is linked to the fact that the reference method takes into account only the maximum standard uncertainties $u(E_i)$ for the evaluation of the factor β . It is therefore no longer binding.

| Méthode de référence/Reference method | | | | | | | | |
|--|--------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Charge/Load x_i Inc. élargie/Expanded unc.* | 0,1 g ± 0,19 mg | 5 g ± 0,30 mg | 20 g ± 0,63 mg | 30 g ± 0,85 mg | 50 g ± 1,28 mg | 100 g ± 2,37 mg | 150 g ± 3,46 mg | 200 g ± 4,55 mg |
| Méthode alternative/Alternate method | | | | | | | | |
| Charge/Load x_i Inc. élargie/Expanded unc. | 0,1 g ± 0,22 mg | 5 g ± 0,23 mg | 20 g ± 0,26 mg | 30 g ± 0,28 mg | 50 g ± 0,32 mg | 100 g ± 0,42 mg | 150 g ± 0,52 mg | 200 g ± 0,62 mg |

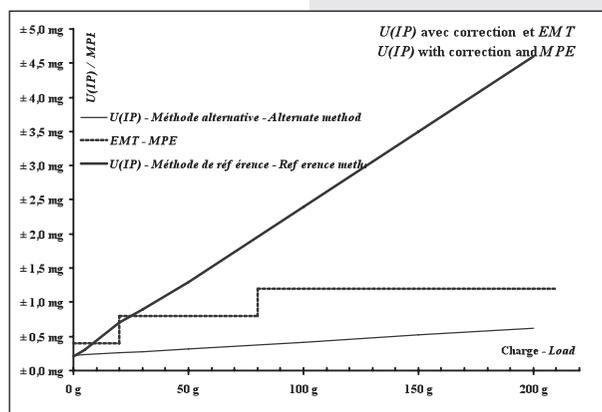


Figure 3. Tracé des $U(IP)$ avec correction et emt .
Figure 3. $U(IP)$ with correction vs mpe .

Annexe 4 – Incertitude d'une balance selon le DKD (ancien référentiel) Appendix 4 – Balance uncertainty according to DKD (old standard)

1. Caractéristiques de la balance/Balance features

Voir chapitre 1 de l'annexe 1.
See chapter 1 of the appendix 1.

2. Mesures/Measurements

| N° | Répétabilité/Repeatability 100 g | Excentration/Off-centre loading 100 g | Linéarité/Linearity | | |
|----|-------------------------------------|--|---------------------|-------------------|------------------|
| | Indication | Indication (after tare) | Tare T_L | Charge/Load P_i | Indication W_i |
| 1 | 100,0000 g | 0,0000 g | 0 g | 50 g | 50,0000 g |
| 2 | 100,0000 g | 0,0000 g | 50 g | 50 g | 50,0000 g |
| 3 | 100,0000 g | 0,0000 g | 100 g | 50 g | 50,0001 g |
| 4 | 100,0000 g | 0,0000 g | 150 g | 50 g | 50,0002 g |
| 5 | 100,0000 g | 0,0001 g | 50 g | 50 g | 50,0000 g |
| 6 | 100,0001 g | | | | |

| Étalons/Standards | Valeur/Value | Inc. E_2 /Uncert. E_2 |
|-------------------|--------------|---------------------------|
| 1 | 200 g | 0,00030 g |
| Sum | 200 g | 0,00030 g |

Exactitude/Accuracy

| Charge/Load | Indication |
|-------------|------------|
| 200 g | 200,0002 g |

3. Calculs/Calculations

| Arrondi/Rounding | Temp. |
|---------------------------------------|----------------------------|
| $v_r = 1,7 \cdot 10^{-9} \text{ g}^2$ | $v_T = 1,9 \cdot 10^{-15}$ |

| Étalons/Standards | Valeur/Value | Inc. E_2 /Uncert. E_2 |
|----------------------------|--------------|---------------------------|
| 1 | 200 g | 0,00030 g |
| Sum | 200 g | 0,00030 g |
| $v_k = 5,6 \cdot 10^{-13}$ | | |

| Exactitude Accuracy | | Excentration Off-centre loading | | Linéarité Linearity | Charge Load | Erreur relative Relative error | emt poids Weight mpe |
|--|-------------------|------------------------------------|-------------------------------|--|----------------|-----------------------------------|-------------------------|
| Charge/Load | 200 g | 100 g | | 0 | 200 g | 5 ^{E-7} | 0,0003 g |
| A _o | 0,0001 g | N° | _i - _c | 1 | 50 g | 0,0 ^{E+0} | 0,0001 g |
| a _o | 5 ^{E-07} | 1 | - | 2 | 50 g | 0,0 ^{E+0} | 0,0001 g |
| Répétabilité/Repeatability | | 2 | 0,0000 g | 3 | 50 g | 2 ^{E-6} | 0,0001 g |
| Charge/Load | 100 g | 3 | 0,0000 g | 4 | 50 g | 4 ^{E-6} | 0,0001 g |
| N° | Erreur/Error | 4 | 0,0000 g | 5 | 50 g | 0,0 ^{E+0} | 0,0001 g |
| 1 | 0,0000 g | 5 | 0,0001 g | a (moyen/average) | | 1,1 ^{E-6} | |
| 2 | 0,0000 g | max 0,0001 g | | v _a 2,6 ^{E-12} | | | |
| 3 | 0,0000 g | min 0,000 g | | (E _i /2)/x (max) 2 ^{E-6} | | | |
| 4 | 0,0000 g | E 0,1 mg | | | | | |
| 5 | 0,0000 g | E1 0,07 mg | | | | | |
| 6 | 0,0001 g | v _a 3,7 ^{E-14} | | | | | |
| s 0,000041 g v _w 1,7 ^{E-9} g ² | | | | | | | |

| Traitement des mesures/Measurements processing | | | | | |
|---|-------------------------------------|--------------------|--|-----------------------------------|---------------------|
| | | | | Variance à Max Variance at Max | u à Max u at Max |
| v _w | 1,7 ^{E-9} g ² | | | 1,7 ^{E-9} g ² | 0,000041 g |
| v _r | 1,7 ^{E-9} g ² | | | 1,7 ^{E-9} g ² | 0,00004 g |
| v _e | 3,7 ^{E-14} .W ² | 0,0000004 | | 1,8 ^{E-9} g ² | 0,00004 g |
| v _a | 2,6 ^{E-12} .W ² | 0,00010 | | 1,3 ^{E-7} g ² | 0,00036 g |
| v _T | 1,9 ^{E-15} .W ² | 0,0000019 | | 9,1 ^{E-9} g ² | 0,00010 g |
| v _k | 6 ^{E-13} .W ² | 0,0000014 | | 2,7 ^{E-8} g ² | 0,00017 g |
| a | 1,1 ^{E-6} .W | | | 0,00024 g | 0,00024 g |
| U _o | 0,00012 g | U _{max} = | | 0,00104 g | |
| U | 0,00012 g + 4,2 ^{E-6} .W | | | | |
| Pente/Slope : (U _{max} - U _o)/max = 4,2 ^{E-6} | | | | | |

Annexe 5 – Incertitude d'une balance selon le DKD (nouveau référentiel) Appendix 5 – Balance uncertainty according to DKD (new standard)

1. Caractéristiques de la balance/Balance features

Voir chapitre 1 de l'annexe 1.
See chapter 1 of the appendix 1.

2. Mesures/Measurements

| Poids/Weight | Étalons/Standards E ₂ | | | | | |
|--|---|---|--|--|--|----------------------|
| Valeur nominale/Nominal value emt/mpe E ₂ (±) | 10 g ± 0,06 mg | 50 g ± 0,10 mg | 100 g ± 0,15 mg | 200 g ± 0,30 mg | | |
| Charge/Load emt/mpe (R111_2004) u(δm _e) = emt-mpe/√3 u(δm _p) = emt-mpe/(3√3) w(m _g) m _N = emt-mpe/(4√3) | 10 g 0,06 mg 0,035 mg 0,012 mg 0,009 mg | 50 g 0,10 mg 0,058 mg 0,019 mg 0,014 mg | 100 g 0,16 mg 0,092 mg 0,031 mg 0,023 mg | 150 g 0,26 mg 0,150 mg 0,050 mg 0,038 mg | 200 g 0,30 mg 0,173 mg 0,058 mg 0,043 mg | |
| Répétabilité/Repeatability | Charge d'essai/Test load 100 g | | | | | |
| Pesée n°/Weighing # Indication Moyenne/Average | 1 100,0000 g 100,00002 g | 2 100,0000 g | 3 100,0000 g s = | 4 100,0000 g 0,04 mg | 5 100,0000 g | 6 100,0001 g |
| Essai d'excentration/Off-centre test | Charge d'essai/Test load 100 g | | | | | |
| Position Indication Écart absolu/Absolute deviation Écart absolu max/Max absolute deviation | Centre 100,0000 g / 0,1 mg | 1 100,0000 g 0,0 mg | 2 100,0000 g 0,0 mg | 3 100,0000 g 0,0 mg | 4 100,0001 g 0,1 mg | |
| Indication Erreur d'indication/Indication error | l ≈ m _N E _{cal} | 10,0000 g 0,0 mg | 50,0000 g 0,0 mg | 100,0000 g 0,0 mg | 150,0001 g 0,1 mg | 200,0002 g 0,2 mg |
| Modélisation/Modelling : Y = a.x + b | a = 1,1 ^{E-3} | b = 0,05 mg | | | | |

| | | | | | | |
|---|-------------------------|--|---|--|----------------------|----------------------|
| Erreur recalculée/Error recalculated Δ absolu/absolute | | -0,037 mg 0,037 mg | 0,005 mg 0,005 mg | 0,058 mg 0,058 mg | 0,111 mg 0,111 mg | 0,164 mg 0,036 mg |
| Tare | qE qE _{max} | 0,0 ^{E+0} 2,0 ^{E-6} | 0,0 ^{E+0} qE _{min} | 2,0 ^{E-6} 0,0 ^{E+0} | | 2,0 ^{E-6} |

3. Calculs/Calculations

3.1. Incertitude de l'erreur d'indication/Uncertainty of the indication error

| | | | | | | |
|--|---|------------|---|------------|------------|--------------------------------|
| Charges d'essai/Test loads | m_N | 10 g | 50 g | 100 g | 150 g | 200 g |
| Répétabilité/Repeatability | $u(\delta l_{rep}) = s$ | 0,007 mg | 0,007 mg | 0,007 mg | 0,007 mg | 0,007 mg |
| Résolution à vide/Resolution at no load | $u(\delta l_{dig0}) = d_o/\sqrt{12}$ | 0,029 mg | 0,029 mg | 0,029 mg | 0,029 mg | 0,029 mg |
| Résolution en charge/Resolution in load | $u(\delta l_{digl}) = d_o/\sqrt{12}$ | 0,029 mg | 0,029 mg | 0,029 mg | 0,029 mg | 0,029 mg |
| Excentration/Eccentricity | $u(\delta l_{ecc})$ | NA | NA | NA | NA | NA |
| Inc. comp. indication/Indication comb. unc. | $u(l)$ | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg | 0,041 mg |
| Étalonnage/Calibration | $u(\delta m_c) = mpe/\sqrt{3}$ | 0,035 mg | 0,058 mg | 0,092 mg | 0,150 mg | 0,173 mg |
| Pérennité/Durability | $u(\delta m_c) = mpe/(3\sqrt{3})$ | 0,012 mg | 0,019 mg | 0,031 mg | 0,050 mg | 0,058 mg |
| Poussée de l'air/Buoyancy | $u(\delta m_{conv}) = mpe/(4\sqrt{3})$ | 0,009 mg | 0,014 mg | 0,023 mg | 0,038 mg | 0,043 mg |
| Convection | $u(m_{conv})$ | NA | NA | NA | NA | NA |
| Inc. comp. étalons/Standards comb. unc. | $u(m_{rep})$ | 0,038 mg | 0,063 mg | 0,100 mg | 0,163 mg | 0,188 mg |
| Inc. combinée/Combined unc. | $u(E) = \sqrt{(u(l))^2 + u(m_{rep})^2}$ | ± 0,056 mg | ± 0,075 mg | ± 0,108 mg | ± 0,168 mg | ± 0,192 mg |
| Inc. élargie/Expanded unc. | $U(E) = 2 \cdot u(E)$ | ± 0,12 mg | ± 0,16 mg | ± 0,22 mg | ± 0,34 mg | ± 0,39 mg |
| Approximation de l'erreur d'indication Approximation of the indication error | $E_{appr}(R) = 4,27^{E-6} \cdot R$ | | 4,9 ^{E-7} · R | | | Pente = 1,1 ^{E-6} · R |
| Inc. combinée de l'approximation de l'erreur Combined unc. of the error approximation | | | $u(E_{appr}) = \sqrt{(1,5^{E-15} \text{ mg}^2 + 5,5^{E-13} \cdot R^2)^*}$ | | | |
| Incertitude élargie/Expanded uncertainty | | | $U(E_{appr}) = 2\sqrt{(5,5^{E-13} \cdot R^2)} = 1,5^{E-6} \cdot R$ | | | |

NA : non applicable/not applicable.

*Le premier terme est négligeable/The first term is not significant.

3.1. Incertitude de l'instrument/Uncertainty of the instrument

| | | |
|--|---|---|
| Charges d'essai/Test loads | $l \approx m_N$ | 10 - 50 - 100 - 150 - 200 g |
| Erreur d'indication/Indication error | E_{appr} | 5,03 ^{E-7} · R |
| Inc. type de l'erreur d'approx./Approx. error standard unc. | $u(E_{appr})$ | 5,58 ^{E-7} · R |
| Répétabilité/Repeatability | S_R | 0,007 mg |
| Résolution à vide/Resolution at no load | $u(\delta l_{dig0}) = d_o/\sqrt{12}$ | 0,029 mg |
| Résolution en charge/Resolution in load | $u(\delta l_{digl}) = d_o/\sqrt{12}$ | 0,029 mg |
| Ajustage/Adjustment | $\hat{w}(R_{adj})$ | NA |
| Température/Temperature | $\hat{w}(R_{temp})$ | 8,66 ^{E-7} · R |
| Excentration/Eccentricity | $\hat{w}(R_{ecc})$ | 5,77 ^{E-7} · R |
| Tare | $\hat{w}(R_{tare})$ | 5,77 ^{E-7} · R |
| Durée de chargement/Loading time | $\hat{w}(R_{time})$ | NA |
| Avec correction/With correction | | |
| Inc. comp. avec corr. erreur/Combined unc. with error correction | $u(W)$ | $\sqrt{(0,002 \text{ mg}^2 + 1,73^{E-12} \cdot R^2)}$ |
| Inc. élargie avec corr. erreur/Expanded unc. with error correction | $U(W) = k \cdot u(W)$ $U(W)$ à zéro/at zero $U(W)$ à max/at max | $2 \cdot \sqrt{(0,002 \text{ mg}^2 + 1,73^{E-12} \cdot R^2)}$ 0,08 mg 0,53 mg |
| Simplifié au 1 ^{er} ordre/Simplified to the 1 st order : $U(W) = 0,08 \text{ mg} + 2,25^{E-6} \cdot R$ | | |
| Sans correction/Without correction | | |
| Inc. comp. sans corr. erreur/Combined unc. without error correction | $u(W)$ | $\sqrt{(0,002 \text{ mg}^2 + 1,98^{E-12} \cdot R^2)}$ |
| Inc. élargie sans corr. erreur/Expanded unc. without error correction | $U(W) = k \cdot u(W)$ $U(W)$ à zéro/at zero $U(W)$ à max/at max | $2 \cdot \sqrt{(0,002 \text{ mg}^2 + 1,98^{E-12} \cdot R^2)}$ 0,08 mg 0,57 mg |
| Simplifié au 1 ^{er} ordre/Simplified to the 1 st order : $U(W) = 0,08 \text{ mg} + 2,43^{E-6} \cdot R$ | | |

NA : non applicable/not applicable.

4. Comparaison entre les référentiels/Comparison between standards

Cette comparaison est basée sur les résultats proposés dans les chapitres précédents. Chaque résultat a été déterminé sur la base de mesures et de conditions ambiantes identiques :

- méthode Cofrac sans correction (méthode alternative) : $U(IP) = 0,1829 \text{ mg} + 0,0027 \cdot x$
- méthode Cofrac avec correction (méthode alternative) : $U(IP) = 0,2187 \text{ mg} + 0,0020 \cdot x$
- méthode DKD (ancien référentiel) : $U = 0,00012 \text{ g} + 4,2E-6 \cdot x$
- méthode DKD sans correction (nouveau référentiel) : $U(W) = 0,08 \text{ mg} + 2,25E-6 \cdot R$
- méthode DKD avec correction (nouveau référentiel) : $U(W) = 0,08 \text{ mg} + 2,43E-6 \cdot R$

This comparison is based on the results given in the previous chapters. Each result is based on identical measurements ambient conditions:

- Cofrac method without correction (alternate method) : $U(IP) = 0,1829 \text{ mg} + 0,0027 \cdot x$
- Cofrac method with correction (alternate method) : $U(IP) = 0,2187 \text{ mg} + 0,0020 \cdot x$
- DKD method (former standard) : $U = 0,00012 \text{ g} + 4,2E-6 \cdot x$
- DKD method without correction (new standard) : $U(W) = 0,08 \text{ mg} + 2,25E-6 \cdot R$
- DKD method with correction (new standard) : $U(W) = 0,08 \text{ mg} + 2,43E-6 \cdot R$

| Charge/Load | 0,1 g | 0,2 g | 0,5 g | 1 g | 2 g | 5 g | 10 g |
|-------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Cofrac sans/w/o correction | ± 0,18 mg | ± 0,18 mg | ± 0,18 mg | ± 0,18 mg | ± 0,19 mg | ± 0,20 mg | ± 0,22 mg |
| Cofrac avec/w correction | ± 0,20 mg | ± 0,20 mg | ± 0,20 mg | ± 0,20 mg | ± 0,21 mg | ± 0,22 mg | ± 0,24 mg |
| DKD ancien référentiel/old standard | ± 0,12 mg | ± 0,14 mg | ± 0,16 mg |
| DKD sans/w/o correction (Euramet) | ± 0,08 mg | ± 0,08 mg | ± 0,08 mg | ± 0,08 mg | ± 0,09 mg | ± 0,09 mg | ± 0,11 mg |
| DKD avec/w correction (Euramet) | ± 0,08 mg | ± 0,08 mg | ± 0,08 mg | ± 0,08 mg | ± 0,09 mg | ± 0,09 mg | ± 0,11 mg |
| Charge/Load | 20 g | 50 g | 100 g | 150 g | 200 g | 220 g | |
| Cofrac sans/w/o correction | ± 0,26 mg | ± 0,39 mg | ± 0,60 mg | ± 0,80 mg | ± 1,01 mg | ± 1,10 mg | |
| Cofrac avec/w correction | ± 0,27 mg | ± 0,38 mg | ± 0,57 mg | ± 0,75 mg | ± 0,94 mg | ± 1,01 mg | |
| DKD ancien référentiel/old standard | ± 0,20 mg | ± 0,33 mg | ± 0,54 mg | ± 0,75 mg | ± 0,96 mg | ± 1,04 mg | |
| DKD sans/w/o correction (Euramet) | ± 0,13 mg | ± 0,20 mg | ± 0,32 mg | ± 0,44 mg | ± 0,57 mg | ± 0,61 mg | |
| DKD avec/w correction (Euramet) | ± 0,13 mg | ± 0,19 mg | ± 0,31 mg | ± 0,42 mg | ± 0,53 mg | ± 0,57 mg | |

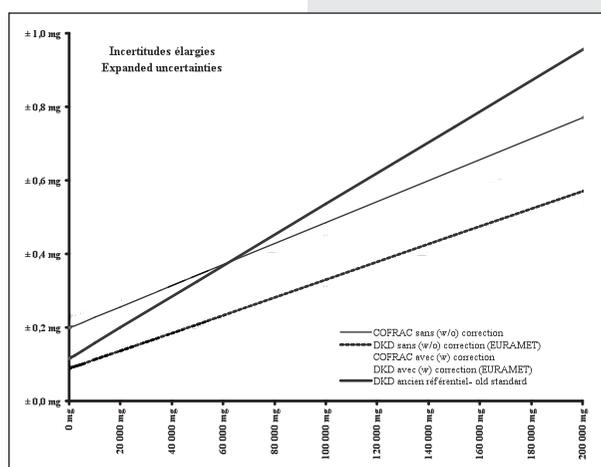


Figure 1. Comparaison entre les méthodes.
Figure 1. Comparison between methods.

Références/References

- 1/ Guide Cofrac n° 2089. – Exigences spécifiques relatives à l'étalonnage d'instruments de pesage à fonctionnement non automatique. Specific requirements relating to the calibration of non-automatic weighing instruments. – October 2000
- 2/ Euramet Guideline /cg-18/V.01 – Guidelines on the calibration of nonautomatic weighing instruments. – July 2007
- 3/ Norme Afnor NF EN ISO/CEI 17025 – Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais. General requirements for the competence of testing and calibration laboratories – September 2005
- 4/ Recommandation OIML n° R111 – Poids de classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 et M3. – Partie 1 : Exigences métrologiques et technique. Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3 and M3 – Part 1: Metrological and technical requirements. – 2004.
- 5/ Norme Afnor NF ENV 13005. - Normes fondamentales – Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure – 1999.
- 7/ Document OIML n° D28. – Valeur conventionnelle du résultat des pesées dans l'air – Conventional value of the result of weighing in air – 2004.
- 8/ Guide DKD – Richtlinie DKD-R 7-1 Blatt 1 – Kalibrierung elektronischer nichtselbsttätiger Waagen. Allgemeiner Teil.
- 9/ Guide DKD – Richtlinie DKD-R 7-1 Blatt 2 – Kalibrierung elektronischer nichtselbsttätiger Waagen. Ein- und Mehrbereichswaagen mit Schrittzahlen unter 1.000.000 und Teilungswerten größer 0,01 mg.

10/ Guide DKD – Richtlinie DKD-R 7-1 Blatt 3 – Kalibrierung elektronischer nichtselbsttätiger Waagen. Mehrbereichswaagen; Ein- und Mehrbereichswaagen mit Schrittzahlen über 1.000.000; Ein- und Mehrbereichswaagen mit Teilungswerten kleiner/gleich 0,01 mg.

Adresses des auteurs/Authors' addresses

- Denis Louvel, Mettler-Toledo SAS, 18-20, avenue de la Pépinière, 78222 Viroflay Cedex - denis.louvel@mt.com
- Catherine Barbier (Ethypharm)
- Marie-Dominique Blanchin (Faculté de pharmacie de Montpellier)
- Marie-Christine Bonenfant (Laboratoire central de la Préfecture de Police)
- Caroline Chmieliewski (Laboratoire central de la Préfecture de Police)
- Xavier Chavatte (GSK Biologicals France)
- Xavier Dua (Mettler-Toledo SAS)
- Richard Dybiak (Enstimd)
- Christine Imbernon (Theramex)
- Claude Lebranchu (Laboratoire d'Hygiène de la Ville de Paris)
- Luc Louvet (Centre International de Toxicologie)
- Michael Vandenhende (GSK Biologicals Belgique).