



Etalonnage d'Instruments de Pesage à Fonctionnement Non-Automatique

LAB GTA 95 - Révision 02

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI





SOMMAIRE

1. OBJET	3
2. REFERENCES ET DEFINITIONS	3
2.1. REFERENCES	3
2.2. DEFINITIONS	4
3. DOMAINE D'APPLICATION	5
4. MODALITES D'APPLICATION	6
5. MODIFICATIONS APORTEES A L'EDITION PRECEDENTE	6
6. PORTEE D'ACCREDITATION	6
6.1. PRESENTATION DE LA PORTEE	6
6.2. PRINCIPE DE LA METHODE	7
6.3. OBJETS SOUMIS A ETALONNAGE	9
6.4. DEGRADATION DES INCERTITUDES DE LA PORTEE D'ACCREDITATION	9
7. EXPLICATIONS DE POINTS PARTICULIERS DU REFERENTIEL	9
7.1. PERSONNEL	9
7.2. CONDITIONS D'ENVIRONNEMENT ET D'INSTALLATION	10
7.3. METHODES D'ETALONNAGE	10
7.3.1. Phase 1 de l'étape A : détermination des erreurs d'indication de l'instrument de pesage et des incertitudes associées	10
7.3.2. Phase 2 de l'étape A : évaluation de l'incertitude de l'instrument de pesage (prise en compte des composantes liées à l'instrument de pesage seul)	16
7.3.3. Composantes d'incertitude	17
7.3.4. Composition des incertitudes	20
8. CARACTERISATION DES MOYENS D'ETALONNAGE	23
8.1. MASSES ETALONS	23
8.1.1. Raccordement aux étalons nationaux	23
8.1.2. Périodicité des raccordements	24
8.1.3. Surveillance et contrôle de cohérence	24
8.2. INSTRUMENTS DE MESURE DES FACTEURS D'INFLUENCE	24
8.3. MASSES DE SUBSTITUTION	25
9. COMPARAISONS INTERLABORATOIRES	25
10. PRESENTATION DES RESULTATS	25
11. ANNEXE A	26
12. ANNEXE B	30
13. ANNEXE C	33
14. ANNEXE D	42



1. OBJET

La norme NF EN ISO/IEC 17025 définit les exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais.

Au regard de certains documents internationaux (par exemple, EA-4/02, ILAC P9, etc.), le Cofrac s'attache à développer dans des guides techniques d'accréditation (GTA) qu'il publie, des recommandations spécifiques au(x) domaine(s) technique(s) considéré(s), en vue de guider les organismes dans la mise en œuvre des exigences du référentiel d'accréditation et en vue d'harmoniser les approches.

Ce document vise à établir les recommandations issues des bonnes pratiques admises dans le domaine et de la normalisation en vigueur. Il constitue un guide de lecture des exigences de ladite norme pour l'étalonnage des Instruments de Pesage à Fonctionnement Non Automatique.

Ce guide ne se substitue pas aux exigences réglementaires et/ou normes applicables au sein du laboratoire. Les recommandations qu'il contient et que le laboratoire est libre d'appliquer, sont celles reconnues comme étant les plus appropriées par le Cofrac pour répondre notamment aux exigences du document LAB REF 02 et de la norme NF EN ISO/IEC 17025. Dans tous les cas, le laboratoire doit démontrer que les dispositions prises permettent de satisfaire pleinement la norme citée ci-dessus.

2. REFERENCES ET DEFINITIONS

2.1. Références

En complément des documents contractuels Cofrac (NF EN ISO/IEC 17025, LAB REF 02, LAB REF 05, LAB REF 08, GEN REF 11) est fournie une liste non exhaustive des documents dont l'utilisation de certains peut s'avérer nécessaire. Les dernières versions de ces documents sont à appliquer, sauf obligation réglementaire. Le laboratoire, s'il le souhaite, peut utiliser d'autres méthodes dérivées ou d'autres références, ou appliquer ses propres méthodes dès lors qu'il justifie son choix et qu'il valide les méthodes et les performances métrologiques associées.

- Norme NF EN ISO/IEC 17025 :2017 « Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais ».
- LAB REF 02 : Exigences pour l'accréditation des laboratoires selon la norme NF EN ISO/IEC 17025:2017
- LAB REF 05 : Règlement d'accréditation,
- LAB REF 08 : Expression et évaluation des portées d'accréditation,
- GEN REF 11 : Règles générales pour la référence à l'accréditation et aux accords de reconnaissance internationaux,
- GUM (JCGM 100) : « Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure »,
- V.I.M (JCGM 200) : « Vocabulaire International de Métrologie Concepts fondamentaux et généraux et termes associés »,
- Décret n° 75-312 du 9 avril 1975 réglementant la catégorie d'instruments de mesurage : mesure de masse,
- Recommandation OIML R111 (édition 2004) « Poids des classes E₁, E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃, M₃ » Partie 1 : Exigences métrologiques et techniques et Partie 2 : Format du rapport d'essai,
- Décision n° 10.00.600.001.1 du 28 Juin 2010
- Recommandation OIML R76-1 (édition de 2006) « Instruments de pesage à fonctionnement non automatique. Partie 1 : Exigences métrologiques et techniques - Essais »,



- NF EN 45501 : Aspects métrologiques des instruments de pesage à fonctionnement non automatique,
- NF X 07011 : Métrologie dans l'entreprise – Constat de vérification des moyens mesure
- Document EA-4/02 : « Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration »,
- Document ILAC G 17 : ILAC Guideline for measurement uncertainty in testing.

2.2. Définitions

- **Instruments de pesage à fonctionnement non automatique (IPFNA)** (NF EN 45501 de novembre 1993) : Instruments de pesage nécessitant l'intervention d'un opérateur au cours de la pesée, par exemple pour le dépôt ou le retrait des charges à peser sur le dispositif récepteur de charge ainsi que pour l'obtention du résultat.
Ces instruments permettent l'observation directe du résultat de pesage, soit par affichage, soit par impression ; les deux possibilités sont couvertes par le mot "indication".

NOTE : Des termes comme "indiquer", "élément indicateur" et leurs dérivés n'incluent pas l'impression.

Les instruments de pesage à fonctionnement non automatique peuvent être :

- gradués ou non gradués,
- à équilibre automatique, semi-automatique ou non automatique.
- **Instruments à équilibre automatique** (NF EN 45501 de novembre 1993) : Instruments pour lesquels la position d'équilibre est atteinte sans intervention de l'opérateur.
- **Instruments à équilibre semi-automatique** (NF EN 45501 de novembre 1993) : Instruments comportant une étendue de pesage à équilibre automatique et pour lesquels l'opérateur intervient pour modifier les limites de cette étendue.
- **Instruments à équilibre non automatique** (NF EN 45501 de novembre 1993) : Instruments pour lesquels la position d'équilibre est atteinte entièrement par [l'intervention de] l'opérateur.
- **Masse conventionnelle** (décret n° 75-312 du 9 avril 1975) : La masse conventionnelle d'un poids est égale à la masse totale des poids de référence réalisés dans une matière de masse volumique 8 000 kilogrammes par mètre cube, qui équilibre la masse de ce poids, dans l'air de masse volumique 1,2 kilogramme par mètre cube, l'opération étant effectuée à 20 °C.
- **Etalonnage** (VIM, rev.03 de 2008) : Opération qui, dans des conditions spécifiées, établit en une première étape une relation entre les valeurs et les incertitudes de mesure associées qui sont fournies par des étalons et les indications correspondantes avec les incertitudes associées, puis utilise en une seconde étape cette information pour établir une relation permettant d'obtenir un résultat de mesure à partir d'une indication.

NOTE 1 : Un étalonnage peut être exprimé sous la forme d'un énoncé, d'une fonction d'étalonnage, d'un diagramme d'étalonnage, d'une courbe d'étalonnage ou d'une table d'étalonnage. Dans certains cas, il peut consister en une correction additive ou multiplicative de l'indication avec une incertitude de mesure associée.

NOTE 2 : Il convient de ne pas confondre l'étalonnage avec l'ajustage d'un système de mesure, souvent appelé improprement « auto-étalonnage », ni avec la vérification de l'étalonnage.

NOTE 3 : La seule première étape dans la définition est souvent perçue comme étant l'étalonnage.

- **Vérification** (VIM, rev.03 de 2008) : fourniture de preuves tangibles qu'une entité donnée satisfait à des exigences spécifiées.



- **Ajustage** (VIM, rev.03 de 2008) : Ensemble d'opérations réalisées sur un système de mesure pour qu'il fournisse des indications prescrites correspondant à des valeurs données des grandeurs à mesurer.

NOTE 1 : Divers types d'ajustage d'un système de mesure sont le réglage à zéro, le réglage de décalage, le réglage d'étendue (appelé aussi le réglage de gain).

NOTE 2 : Il convient de ne pas confondre l'ajustage d'un système de mesure avec son étalonnage, qui est un préalable à l'ajustage

NOTE 3 : Après un ajustage d'un système de mesure, le système demande généralement à être réétalonné.

- **Erreur d'indication** : Différence entre l'indication de l'instrument de pesage chargé et la valeur retenue de l'étalon de masse (valeur de la masse conventionnelle ou valeur nominale selon le cas).

NOTE : Cette erreur caractérise la justesse d'un instrument de pesage.

- **Echelon réel** (NF EN 45501 de novembre 1993) : Valeur exprimée en unités de masse :
 - de la différence entre les valeurs correspondant à deux repères consécutifs, pour une indication analogique, ou
 - de la différence entre deux indications consécutives, pour une indication numérique.

NOTE : Pour un instrument numérique, l'échelon réel (d) peut être supérieur au pas de quantification (voir § 10.1.4.1).

- **Erreur maximale tolérée (EMT)** (VIM, rev.03 de 2008) : valeur extrême de l'erreur de mesure, par rapport à une valeur de référence connue, qui est tolérée par les spécifications ou règlements pour un mesurage, un instrument de mesure ou un système de mesure donné
- **Méthode des seuils** : Méthode d'évaluation de l'erreur d'indication d'un instrument de pesage à indication discontinue.

Pour plus de renseignements concernant l'application de cette méthode, se reporter au § A.4.4.3., « Evaluation des erreurs » de la norme NF EN 45501 de novembre 1993.

3. DOMAINE D'APPLICATION

Ce guide s'adresse :

- aux laboratoires d'étalonnage accrédités ou candidats à l'accréditation selon la norme NF EN ISO/IEC 17025 pour le domaine IPFNA,
- aux évaluateurs du Cofrac, et constitue en outre une base d'harmonisation pour l'évaluation,
- aux membres des instances décisionnelles du Cofrac (Comité de Section, Commission d'Accréditation Physique – Mécanique) et de la structure permanente du Cofrac,
- aux clients des laboratoires d'essais accrédités sur ce domaine.

Au titre du présent document sont délivrées des accréditations aux organismes réalisant hors du contexte réglementaire de la Métrologie Légale des opérations d'étalonnage d'instruments de pesage. Ces opérations peuvent être réalisées dans les locaux de l'organisme ou à l'extérieur.

Les instruments de pesage concernés par le présent document sont des I.P.F.N.A. à équilibre automatique. Pour les instruments à équilibre non-automatique ou semi-automatique, l'organisme documente sa propre méthodologie.

Le présent document ne couvre pas les aspects réglementaires applicables le cas échéant aux I.P.F.N.A.



4. MODALITES D'APPLICATION

Ce document est applicable à compter du **30 janvier 2023**.

Ce document contient à la fois des exigences et des recommandations.

Le terme « **doit** » est utilisé pour exprimer une exigence. Les exigences correspondent à la retranscription des exigences de la norme d'accréditation, du prescripteur ou de la réglementation, ou relèvent des règles d'évaluation et d'accréditation du Cofrac. Ainsi, dès lors que le texte reprend des exigences, elles sont surlignées en gris.

Le terme « **devrait** » exprime une recommandation de bonne pratique. L'organisme est libre de ne pas suivre la recommandation s'il peut démontrer que les dispositions alternatives qu'il met en œuvre satisfont les exigences d'accréditation.

Le terme « **peut** » exprime une permission ou une possibilité. La possibilité est généralement employée pour indiquer des moyens de satisfaire une exigence donnée, que l'organisme est libre d'appliquer ou non.

5. MODIFICATIONS APPORTEES A L'EDITION PRECEDENTE

Les modifications de fond sont marquées par un trait vertical dans la marge.

Les principaux changements visent à :

- aligner le contenu de ce guide aux exigences de la nouvelle version 2017 de la norme NF EN ISO/IEC 17025 et à supprimer la table de références croisées des versions 2017 et 2005 de la norme NF EN ISO/IEC 17025 ;
- préciser l'objet et les modalités d'application du document ;
- supprimer la référence au document EA-4/16 ;
- apporter une clarification pour les variables utilisées dans la formule de calculs de la répétabilité des pesées ;
- corriger les références citées dans certains paragraphes du document ;
- clarifier le fait que les qualifications ne sont pas délivrées uniquement par le responsable technique.

6. PORTEE D'ACCREDITATION

L'expression de la compétence d'un organisme est décrite dans sa portée d'accréditation. Le mode retenu pour exprimer la portée d'accréditation des laboratoires permet de préciser, par domaine de compétence technique, le niveau de flexibilité de l'accréditation auquel le laboratoire concerné postule. Les éléments nécessaires pour l'expression des portées d'accréditation ainsi que les définitions des niveaux de flexibilité sont décrits dans le document LAB REF 08.

6.1. Présentation de la portée

Il convient que les laboratoires accrédités pour les étalonnages des IPFNA enregistrent, dans leur documentation interne, les meilleures possibilités d'étalonnage suivant les modèles de portée présentés dans ce paragraphe.

Le laboratoire présente sa portée selon le modèle présenté dans le tableau ci-après en précisant les éléments suivants :

- type d'objet soumis à l'étalonnage ;



- grandeur physique mesurée ou mesurande : il s'agit de définir très précisément le mesurande définie par le VIM en vigueur ;
- méthode d'étalonnage ;
- référence à la méthode ;
- moyens utilisés ;
- étendue de mesure ;
- meilleure incertitude d'étalonnage :

remarque : Les incertitudes élargies proposées sont égales à deux fois les incertitudes types composées. Par ailleurs, pour exprimer celles-ci, la virgule et non pas le point, est employée pour séparer la partie entière de la partie décimale.

- lieu de la prestation.

EXEMPLE DE PORTEE FIXE

ETALONNAGE DE L'INSTRUMENT DE PESAGE (Etape A du guide technique LAB GTA 95)

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Principe de la méthode	Référence de la Méthode*	Principaux moyens utilisés	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Lieu de réalisation
Instrument de pesage à fonctionnement non automatique	Masse conventionnelle	Par pesée d'étalons de masse	Méthode interne (référence à préciser)	Etalons de masse de classe égale ou supérieure à M1 ou de qualité équivalente avec possibilité d'utiliser des charges de substitution	Jusqu'à 500 kg	50.10 ⁻⁶	Site

***Portée FIXE :** Le laboratoire est accrédité pour pratiquer les étalonnages décrits en respectant strictement les méthodes mentionnées dans sa portée. Les modifications techniques du mode opératoire ne sont pas autorisées.

NOTE : Par « Site », on entend étalonnage à l'emplacement d'utilisation.

6.2. Principe de la méthode

Lorsqu'un instrument de pesage est étalonné avec des étalons de masse conformes à la recommandation R 111 de l'OIML, et, pour les étalons de masse qui n'y sont pas définis, éventuellement par les textes réglementaires applicables, les deux équilibres réalisés - respectivement à vide et en charge - pour peser un corps conduisent à la relation :

$$M \cdot \left(1 - \frac{a}{r}\right) = (x - E_I) \cdot \left(1 - \frac{a}{r_0}\right)$$

avec :



M : masse du corps pesé ;

r : masse volumique du corps pesé ;

a : masse volumique de l'air ambiant lors de la pesée ;

x : résultat de la pesée ;

E_I : erreur d'indication de l'instrument de pesage pour x , pour les conditions a et r_0 ;

$r_0 = 8\,000 \text{ kg.m}^{-3}$, masse volumique conventionnelle de l'étalon utilisé pour déterminer l'erreur d'indication de l'instrument de pesage.

Les deux mesurandes – masse (M) et masse conventionnelle (M_C) – du corps pesé s'en déduisent selon les deux expressions suivantes, dans lesquelles les termes du second ordre sont négligés :

$$M \cong x - E_I + a \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right) \cdot x$$

$$M_C \cong x - E_I + (a - a_0) \cdot \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right) \cdot x$$

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

Les termes négligés dans l'expression de la masse valent $\frac{a^2}{r^2} - \frac{a^2}{r \cdot r_0}$ et sont pratiquement toujours

négligeables dans les conditions habituelles des pesées dans l'air dont la masse volumique varie de 10 % autour de $1,2 \text{ kg.m}^{-3}$.

Les termes négligés dans l'expression de la masse conventionnelle sont toujours négligeables devant les autres composantes d'incertitude.

L'utilisateur d'un instrument de pesage a besoin de connaître l'aptitude à l'emploi de son instrument pour la pesée d'un corps. Autrement dit, il souhaite connaître l'exactitude avec laquelle il réalise la pesée d'un corps.

Cette exactitude est, en partie, obtenue par le raccordement (étalonnage) de l'instrument. En partie seulement, car l'instrument intervient sur le résultat de la pesée, tout comme les conditions environnementales au moment de la pesée ou la nature du corps pesé.

Le présent document technique permet d'assurer la traçabilité d'un résultat de pesée, et ce en distinguant 2 étapes successives :

Étape	Opération	Données obtenues	Commentaire	
A	Etalonnage de l'instrument	Phase 1 : Détermination des erreurs d'indication de l'instrument de pesage et des incertitudes associées.	• Erreur d'indication : E_I • Incertitude élargie (k = 2) associée : $U(E)$	Opération obligatoire de l' « étalonnage »
	Phase 2 : Détermination de l'incertitude de l'instrument de pesage.	• Incertitude élargie (k = 2) de l'instrument de pesage : $U(IP)$	Opération facultative de l' « étalonnage »	
B	Pesage d'un corps	Détermination du résultat de la pesée d'un corps, de sa masse (ou de sa masse conventionnelle) et de l'incertitude associée.	• Résultat de la pesée du corps : x • Masse (ou masse conventionnelle) du corps pesé : M • Incertitude élargie (k = 2) associée : $U(M)$	Prise en compte de l'incertitude de l'instrument de pesage et des paramètres liés au corps pesé.



E_I , $U(E_I)$, $U(IP)$, x , M et $U(M)$ sont définis respectivement aux § 7.3.3.1., § 7.3.1.4., § 7.3.1.4.1. , § 7.3.1.3.1., § 6.2., et § 3.3.

L'utilisateur peut réaliser toutes ces opérations. Dans le cas où il les sous-traite (à un organisme extérieur, à une structure métrologique interne à son entreprise, ...), il ne peut sous-traiter que l'étape A, l'étape B ne pouvant être accomplie que par lui seul. C'est pourquoi l'accréditation Cofrac délivrée au titre de ce document ne porte que sur la phase 1 de l'étape A plus de manière facultative sur la phase 2 de l'étape A. Cependant, le certificat d'étalonnage délivré à l'issue de la prestation comporte, en sus des résultats d'étalonnage proprement dits, les éléments nécessaires pour la réalisation, par l'utilisateur, de l'application au pesage d'un corps.

Des exemples d'applications donnés en annexe illustrent ces notions.

6.3. Objets soumis à étalonnage

Les catégories d'instruments de pesage étalonnés soumises à l'accréditation sont à établir par l'organisme. Cette définition se fait sur la base :

- du mode d'équilibrage (équilibre automatique ou non-automatique) ;
- du mode d'indication (numérique ou analogique) ;
- du domaine de mesure couvert.

Tous les moyens et méthodes mis en œuvre par l'organisme sont donnés pour chaque catégorie ainsi définie.

6.4. Dégradation des incertitudes de la portée d'accréditation

Lorsque les meilleures possibilités d'étalonnage ne peuvent pas être réalisées, le laboratoire « dégrade » les incertitudes (de la portée d'accréditation) sans que ceci soit considéré comme de l'adaptation de méthode.

La procédure utilisée, en interne, lorsque ces incertitudes sont amenées à être « dégradées », est intégrée à la documentation technique du laboratoire.

7. EXPLICATIONS DE POINTS PARTICULIERS DU REFERENTIEL

7.1. Personnel

L'organisme doit disposer d'un personnel en nombre suffisant pour assurer les opérations objets du présent document conformément au § 6.1 de la norme ISO/IEC 17025. Le personnel intervenant sur site fait l'objet d'une procédure de qualification détaillée avec des critères de validation. Les tâches spécifiques aux prestations sur site sont explicitement détaillées.

Il convient que les opérateurs sur site aient la compétence technique nécessaire pour la prise en compte des conditions environnementales ou de tout autre paramètre ayant ou pouvant avoir une influence sur le résultat de l'étalonnage et son incertitude associée.

Il est impératif que les enregistrements relatifs à la qualification correspondent à des prestations représentatives de l'activité habituelle du laboratoire.

La personne qui assure et valide la qualification du personnel dans le cadre de l'accréditation, par exemple en réalisant en binôme l'étalonnage d'au moins 10 instruments, a des compétences techniques liées au domaine.

Compte tenu de la spécificité des activités sur site, le laboratoire met en place un processus de suivi des opérations effectuées sur site (personnel, moyen, procédure, etc.).



7.2. Conditions d'environnement et d'installation

Le présent document ne traite que des étalonnages réalisés à l'endroit où l'instrument de pesage est utilisé.

Avant toute opération d'étalonnage, l'opérateur enregistre :

- le dispositif sur lequel sont relevées les indications de l'instrument de pesage (à définir avec l'utilisateur) ;
- le temps de mise sous tension préconisé par le constructeur ;
- les conditions d'environnement de l'instrument de pesage au moment de l'étalonnage ;
- la localisation précise (salle, paillasse, ...) de l'instrument de pesage lors de l'étalonnage ;
- les facteurs d'influence particuliers pouvant avoir une incidence sur l'opération d'étalonnage (conditionnement d'air, hotte aspirante, boîte à gant ...)
- la description de l'instrument de pesage y compris les équipements spéciaux, modifications, etc. (récepteur de charge d'un type particulier, ...).

Ces enregistrements sont reportés sur le certificat d'étalonnage.

7.3. Méthodes d'étalonnage

7.3.1. Phase 1 de l'étape A : détermination des erreurs d'indication de l'instrument de pesage et des incertitudes associées

Le laboratoire établit un document décrivant les modalités d'étalonnage et reprenant les éléments suivants :

7.3.1.1. Opérations préliminaires

Les opérations préliminaires listées ci-après sont à effectuer :

- s'assurer qu'il est possible de réaliser l'étalonnage ;
- procéder au relevé de l'identification de l'instrument de pesage ;
- s'assurer de l'absence de défauts évidents ;
- s'assurer de la propreté et du bon état du récepteur de charge (plateau, crochet, etc.) de l'instrument de pesage ;
- assurer que l'instrument de pesage est dans sa position de référence et éventuellement l'y remettre (par exemple : mis à niveau sur un support stable) ;
- faire le réglage de l'instrument de pesage le cas échéant ;
- mettre sous tension l'instrument de pesage et attendre le temps de stabilisation indiqué sur la notice du constructeur ;
- sauf indication contraire de l'utilisateur, la traçabilité des mesures précédemment effectuées par l'utilisateur est assurée en déterminant l'erreur d'indication pour au moins une charge représentative des pesées habituelles. Ceci est effectué avant toute intervention pouvant avoir une incidence sur les performances métrologiques.
- réaliser, préalablement à l'étalonnage, l'ajustage de la pente par action du dispositif ad hoc de l'instrument de pesage s'il est équipé (opération parfois appelée calibrage), sauf cas particulier à documenter ou spécification contraire de l'utilisateur. Si cette opération nécessite l'emploi d'un étalon de masse, celui-ci est celui habituellement utilisé pour cette opération et affecté à l'instrument de pesage.



7.3.1.2. Mode opératoire

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

- points d'étalonnage définis en fonction du besoin de l'utilisateur dans une ou plusieurs plages d'utilisation de l'instrument de pesage ;
- charge centrée et répartie le plus uniformément possible ;
- température de l'instrument de pesage stable et relevée ;
- température des étalons de masse compatible avec l'étalonnage à venir (approchant la température ambiante) ;
- durée et 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 ;
- exactitude de la mise à zéro nette ou brute.

7.3.1.2.1. *Détermination de la répétabilité*

La répétabilité est déterminée en réalisant au moins 5 pesées successives en au moins un point significatif dicté par l'utilisation de l'instrument de pesage, ou à défaut à la moitié de l'étendue de mesure utilisée.

Dans le cas spécifique où le chargement de l'instrument est dangereux ou présente des difficultés techniques rédhibitoires, l'organisme peut se limiter à 3 pesées successives en au moins un point significatif dicté par l'utilisation de l'instrument de pesage, ou à défaut à la moitié de l'étendue de mesure utilisée.

Pour les Instruments de Pesage à Fonctionnement Non Automatiques ayant plusieurs valeurs d'échelons, le laboratoire détermine la répétabilité pour chaque valeur d'échelon réel.

7.3.1.2.2. *Détermination de l'erreur d'indication*

L'erreur d'indication est déterminée à une ou plusieurs valeurs de charge appartenant à l'étendue de mesure utilisée (le relevé peut être effectué à 5 valeurs de charge lorsque l'étendue de mesure utilisée est identique à l'étendue de mesure de l'instrument de pesage). L'erreur d'indication pour la valeur de la charge s'obtient par la différence entre le résultat de la pesée de l'étalon et la valeur retenue de l'étalon (valeur de masse conventionnelle ou valeur nominale selon le cas).

Selon le mode d'utilisation de l'instrument de pesage, les charges peuvent être appliquées soit par augmentation et/ou diminution des valeurs de masse, soit par application de valeurs discrètes de charges successives.

Il n'y a pas d'ordre préétabli pour réaliser ces opérations.

Les détails du mode opératoire et les formules de calcul utilisées sont documentés.

Compte tenu de l'utilisation faite, l'organisme utilise des étalons de masse avec :

- les valeurs d'étalonnage données dans les certificats d'étalonnage ;
- les valeurs nominales s'ils sont classés (classe attestée par un constat de vérification).

Pour l'étalonnage des instruments de pesage de forte portée (en général, portée supérieure à 1 t), l'utilisation de masses de substitution est admise. Dans ce cas, l'organisme détermine l'incertitude due à cette substitution.

Des modes d'évaluation d'incertitude d'une charge composée d'étalons de masses et d'une charge de substitution sont présentés en annexe.



7.3.1.3. Expression du résultat

L'erreur d'indication d'un instrument de pesage pour une valeur donnée de son échelle de mesure est déterminée par la pesée simple d'un étalon de masse de même valeur.

7.3.1.3.1. *Résultat de pesée*

La pesée simple d'un corps fait intervenir deux relevés de l'indication de l'instrument de pesage, un relevé avant la mise en place de la charge sur le plateau de l'instrument de pesage, et un second relevé après l'application de cette charge sur le plateau. Le résultat, x , d'une telle pesée dite "pesée simple" est donné par :

$$x = I - I_0$$

avec :

- I : indication AVEC la charge sur le plateau (avant arrondissement si la méthode des seuils est mise en œuvre),
- I_0 : indication SANS la charge sur le plateau (avant arrondissement si la méthode des seuils est mise en œuvre).

7.3.1.3.2. *Erreur d'indication*

L'erreur d'indication, E_I , égale à la différence entre le résultat de la pesée de l'étalon de masse et la valeur retenue de l'étalon de masse (valeur de la masse conventionnelle ou valeur nominale selon le cas) est donnée par :

$$E_I = x_{Et} - V_{Et}$$

avec :

- E_I : erreur d'indication de l'instrument de pesage pour la valeur de l'étalon de masse,
- x_{Et} : résultat de la pesée de l'étalon de masse,
- V_{Et} : valeur retenue de l'étalon de masse (valeur de la masse conventionnelle ou valeur nominale selon le cas).

7.3.1.4. Evaluation de l'incertitude sur la détermination de l'erreur d'indication

L'évaluation de l'incertitude sur la détermination de l'erreur d'indication, $u(E_I)$, est établie et documentée pour toutes les catégories d'instrument de pesage définies au §6.2. Le principe en est donné ci-après.

7.3.1.4.1. *Composantes d'incertitude*

a) Composantes évaluées par une méthode de type A

Répétabilité des pesées

Chaque résultat de pesée est affecté d'une incertitude due à la répétabilité du processus de pesée. Cette incertitude, $(u_x)_e$, est donnée par l'écart-type expérimental (noté s) de plusieurs résultats de pesées de la même charge effectuées dans les conditions usuelles.

$$(u_x)_e^2 = s^2 = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n-1}$$

où :



n est le nombre de résultats de pesée simple ;

x_i est le résultat de la $i^{\text{ème}}$ pesée simple ;

\bar{x} est la moyenne des n résultats de pesée simple.

Si, en un même point d'étalonnage, moins de 5 pesées successives sont effectuées, alors :

$$(u_x)_e = \max\left(s, \frac{d}{2}\right)$$

où d est l'échelon réel.

b) Composantes évaluées par une méthode de type B

Résolution

Chaque lecture est affectée d'une incertitude-type, $(u_d)_e$, fonction de l'échelon réel (d).

Pour les instruments de pesage à indication analogique, l'incertitude-type retenue est égale à :

$$(u_d)_e = \frac{d}{2}$$

Pour les instruments de pesage à indication numérique, il est choisi de retenir une distribution triangulaire centrée sur le domaine borné par $\pm d$. L'incertitude-type correspondante est égale à :

$$(u_d)_e = \frac{d}{\sqrt{6}}$$

Dans le cas où, lors de l'étalonnage d'un instrument de pesage avec indication numérique,

- le dispositif d'affichage de l'indication utilisé est un dispositif avec un échelon inférieur à d ,
- ou
- la méthode des seuils (cf. §2.2.) est employée, et seulement dans ces cas, l'incertitude-type est égale à :

$$(u_d)_e = \frac{\left(\frac{d}{5}\right)}{2\sqrt{3}}$$

Celle-ci intervient deux fois pour la détermination d'un résultat de pesée simple : à l'équilibre à vide (d_0) et à l'équilibre avec la charge (d). Les deux valeurs peuvent être différentes par exemple pour les instruments de pesage à échelons multiples.

Le fait de répéter n fois une même pesée ne peut pas améliorer la composante d'incertitude due à la résolution. Elle est donc indépendante du nombre de pesées effectuées.

Lorsque l'indication présente des instabilités de plusieurs d , il convient de remplacer d dans les formules ci-dessus par l'étendue de cette instabilité.



Étalons de masse

L'évaluation de l'incertitude-type d'un étalon de masse, u_{Et} , comprend deux composantes à sommer quadratiquement :

- l'incertitude-type d'étalonnage de l'étalon : $u_e(Et)$
- une incertitude-type de pérennité $u_p(Et)$ de la valeur de l'étalon.

Si l'on dispose d'un certificat d'étalonnage dans lequel l'incertitude élargie d'étalonnage de l'étalon est indiquée avec un facteur d'élargissement de $k = 2$, cette incertitude élargie est divisée par 2 pour obtenir l'incertitude-type correspondante. Si plusieurs étalons de masse sont sommés pour réaliser une charge donnée, l'incertitude-type sur la somme est prise égale à la somme arithmétique des incertitudes-types de chacun, afin de prendre en compte les inévitables covariances entre les valeurs des étalons.

L'incertitude-type de pérennité a pour objet de prendre en compte une variation éventuelle de la valeur de l'étalon entre deux étalonnages. Celle-ci est évaluée à partir de l'enregistrement des valeurs d'étalonnage obtenues sur une longue période. En l'absence de telles informations, cette composante est considérée au moins égale à l'incertitude-type d'étalonnage. Dans tous les cas, l'incertitude de pérennité d'un étalon de masse ne peut pas être inférieure à son incertitude d'étalonnage.

Le résultat de l'étalonnage de l'étalon peut également être donné sous la forme d'un document établissant uniquement la classe de l'étalon (constat de vérification) par rapport à la recommandation R 111 de l'OIML ou aux textes réglementaires applicables. Dans ce cas, on dispose de l'erreur maximale tolérée sur le poids, notée $EMT(Et)$, définie par ces textes. L'incertitude-type correspondante, $u_e(Et)$, est égale à la somme quadratique de $\frac{EMT(Et)}{6}$ (avec $k=2$) et de l'incertitude-type due à la pérennité $u_p(Et)$.

Dans le cas où plusieurs étalons sont utilisés, les EMT de chacun des étalons sont sommés arithmétiquement pour tenir compte des corrélations entre les valeurs des étalons.

L'utilisation de masses de substitution introduit une incertitude sur la connaissance de la valeur de la charge appliquée (étalons de masses et masse de substitution). Cette incertitude est évaluée. Des exemples de modes d'évaluation sont donnés en annexe A. Si l'organisme effectue plusieurs substitutions, il développe et adapte le contenu de cette annexe.

Facteurs d'influence de l'instrument de pesage au moment de son étalonnage

La justesse d'un instrument de pesage peut être affectée par des paramètres comme la température de l'instrument et l'effet d'excentration de la charge sur son plateau. Ces effets ne peuvent normalement pas être corrigés par des corrections spécifiques, et l'on en tient compte par des composantes d'incertitudes spécifiques.

- Effet de la température

Les paramètres qui interviennent sont :

- C : coefficient de variation de la pente de l'instrument de pesage en fonction de la température,
- $(\Delta T)_e$: variation de température durant l'étalonnage.

L'incertitude-type due à l'effet de température sur l'instrument de pesage, $(u_T)_e$, est donnée par :

$$(u_T)_e = C \cdot \frac{(\Delta T)_e}{\sqrt{3}} \cdot x.$$

Le coefficient C est variable d'un type d'instrument de pesage à l'autre. Il est souvent donné par le constructeur. En l'absence de données, le tableau 1 ci-après donne des valeurs recommandées.



Nombre maximal d'échelons de l'instrument de pesage	Coefficient de variation maximale de la pente en fonction de la température d'un instrument de pesage ayant fait l'objet d'une qualification initiale (cf. note) ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Coefficient de variation maximale de la pente en fonction de la température pour les autres instruments de pesage ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
1 000	250×10^{-6}	$2\,500 \times 10^{-6}$
10 000	25×10^{-6}	250×10^{-6}
100 000	5×10^{-6}	50×10^{-6}
Au-delà	$1,5 \times 10^{-6}$	15×10^{-6}

Note : dans ce cas, le coefficient à prendre en compte dépend du nombre maximal d'échelons de l'instrument tel qu'indiqué dans la qualification initiale et non en fonction de la résolution choisie pour l'utilisation concernée.

Tableau 1 : valeurs recommandées pour le coefficient de variation

- Effet de l'excentration de charge (étalons de masse)

Si l'étalonnage fait intervenir plusieurs étalons de masse, leur position sur le plateau de l'instrument de pesage peut en affecter l'indication. Il convient donc que l'organisme estime cet effet et son incertitude-type (u_{exc})_e (cf. § 7.3.3.2).

Cependant, si, lors de l'étalonnage, les étalons de masse sont régulièrement répartis de telle manière que le centre de gravité se trouve sur la verticale du centre du plateau, cet effet peut être considéré négligeable de même que son incertitude-type.

La méthode de composition des incertitudes est développée dans le GUM (JCGM 100) dans le cas de variables indépendantes ou corrélées.

L'incertitude élargie $U(E)$ est obtenue en multipliant l'incertitude-type composée $u(E)$ par un facteur d'élargissement $k=2$:

$$U(E_1) = 2.u(E_1)$$



7.3.1.4.2. Bilan des incertitudes

Le tableau 2 ci-après présente la liste des composantes d'incertitude intervenant lors de la détermination de l'erreur d'indication.

ORIGINE	COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE	
Détermination de l'erreur d'indication	Répétabilité des pesées de l'étalon de masse	$(u_x)_e = s$ ou $(u_x)_e = \max(s, \frac{d}{2})$	
	Résolution à vide	$(u_{d_0})_e = \frac{d_0}{\sqrt{6}}$ ou $(u_{d_0})_e = \frac{\left(\frac{d_0}{5}\right)}{2\sqrt{3}}$ (numérique)	$(u_{d_0})_e = \frac{d_0}{2}$ (analogique)
	Résolution en charge (charge = étalon de masse)	$(u_d)_e = \frac{d}{\sqrt{6}}$ ou $(u_d)_e = \frac{\left(\frac{d}{5}\right)}{2\sqrt{3}}$ (numérique)	$(u_d)_e = \frac{d}{2}$ (analogique)
	Etalons de masse étalonnés Etalons uniquement classés <i>Le cas où des masses de substitution sont utilisées n'est pas présenté dans ce tableau.</i>	$u_{Et} = \sqrt{(\sum u_e(Et_i))^2 + \sum u_p^2(Et_i)}$	$u_{Et} = \sqrt{\left(\sum \frac{EMT(Et_i)}{6}\right)^2 + \sum u_p^2(Et_i)}$
	Influence de la température	$(u_T)_e = C \cdot \frac{(\Delta T)_e}{\sqrt{3}} \cdot x$	
	Excentration de la charge (étalons de masse)	$(u_{exc})_e$	
Incertitude – Type Composée		$u(E_I) = \sqrt{(u_x)_e^2 + (u_{d_0})_e^2 + (u_d)_e^2 + u_{Et}^2 + (u_T)_e^2 + (u_{exc})_e^2}$	
Incertitude Elargie (k=2)		$U(E_I) = 2 \cdot u(E_I)$	

Tableau 2 : composantes d'incertitude pour la détermination de l'erreur d'indication

7.3.2. Phase 2 de l'étape A : évaluation de l'incertitude de l'instrument de pesage (prise en compte des composantes liées à l'instrument de pesage seul)

7.3.2.1. Définition et modalités de détermination

En général, l'utilisateur d'un instrument de pesage a besoin de savoir quelle incertitude de mesure il peut obtenir avec son instrument dans des conditions définies d'utilisation et pouvoir assurer qu'il satisfait son besoin. De plus, les erreurs d'indication sont généralement faibles, et l'utilisateur de l'instrument de pesage ne les corrige pas. Ces considérations conduisent à définir l'incertitude de l'instrument de pesage à partir de laquelle l'utilisateur peut obtenir l'incertitude sur chaque pesée qu'il réalise.

L'incertitude-type de l'instrument de pesage, **u(IP)**, est égale à l'incertitude-type composée en prenant en compte les composantes liées à l'instrument de pesage, dans un contexte d'utilisation défini et en faisant abstraction de la correction de poussée de l'air spécifique à chaque pesée. Cette incertitude-type est déterminée sur un ou plusieurs domaine(s) spécifié(s) de l'étendue de mesure de l'instrument de pesage, y compris en tenant compte des dispositifs annexes (additif de tare, etc.) ou des fonctions



particulières. Ces domaines sont définis également en fonction des textes normatifs ou réglementaires.

Les conditions de détermination seront spécifiées, notamment :

- la mise en œuvre du système d'ajustage de la pente (calibrage) de l'instrument de pesage ;
- la prise en compte ou non des EI pour établir le résultat de la pesée ;
- le domaine de température et son coefficient de variation thermique ;
- la valeur de l'excentration de charge ;
- la dérive sous charge ;
- les modalités de prise en compte des dispositifs ou fonctions annexes ;
- etc...

Un exemple de ces conditions est donné dans les chapitres 12.1 et 13.1 de ce document.

7.3.3. Composantes d'incertitude

7.3.3.1. Composantes évaluées par une méthode de type A

Répétabilité des pesées (cf. § 7.3.1.4.1 a) :

L'incertitude-type de répétabilité, u_x , du processus de mesure est prise égale à l'écart-type expérimental d'une détermination du mesurande. Elle est exprimée pour chaque valeur de masse.

7.3.3.2. Composantes évaluées par une méthode de type B

Résolution (cf. § 7.3.1.4.1 b) :

La composante d'incertitude-type due à la résolution, u_d , est constante sur le domaine considéré. La méthode des seuils n'étant utilisée, si elle est utilisée, que lors de la phase 1 de l'étalonnage, l'échelon à considérer est toujours l'échelon à disposition de l'utilisateur. Si l'échelon de l'instrument de pesage peut varier, plusieurs domaines sur l'échelle de mesure sont spécifiés, correspondant chacun à une même valeur de l'échelon d'indication. Cette composante est exprimée en masse.

De même, lorsque l'indication présente des instabilités de plusieurs d, il convient de remplacer d dans les formules par l'étendue de cette instabilité.

Erreur d'indication : cas où l'utilisateur applique les corrections correspondantes

Les erreurs d'indication d'un instrument de pesage, EI , sont déterminées pour des charges en nombre limité. Les valeurs des erreurs d'indication pour les charges intermédiaires sont calculées par une modélisation de ces erreurs **en fonction de la charge**¹. Cette modélisation peut être réalisée par une droite des moindres carrés ou un polynôme de degré ad hoc. L'incertitude-type résultant de cette modélisation, $u_m(EI)$, est établie et son évaluation documentée dans les procédures de l'organisme.

Erreur d'indication : cas où l'utilisateur n'applique pas les corrections correspondantes

Aucune correction d'erreur d'indication n'étant effectuée par l'utilisateur, on admet que celle-ci est de moyenne nulle. L'incertitude-type pour chacun des points d'étalonnage, $(u_{EI})_i$ qui en résulte est évaluée égale à la somme quadratique de deux termes :

- incertitude-type sur la détermination des erreurs d'indications déterminée à la phase 1 de l'étape A :

¹ Si les erreurs sont représentées par une modélisation en fonction de la charge, cela ne signifie pas que l'erreur est directement proportionnelle à la charge



$$u(E_1)_i$$

- la moitié de l'erreur d'indication maximale pour chaque point d'étalonnage :

$$\left(\left(\frac{E_I}{2} \right)_i \right)$$

Soit :

$$(u_{E_1})_i = \sqrt{u(E_1)_i^2 + \left(\left(\frac{E_I}{2} \right)_i \right)^2}$$

Pérennité sur les E_I

L'incertitude-type de pérennité, $u_p(E_I)$, a pour objet de prendre en compte une variation éventuelle de la valeur des erreurs d'indication E_I entre deux étalonnages de l'instrument de pesage. Cette incertitude-type est évaluée à partir de l'enregistrement des valeurs d'étalonnage obtenues sur une longue période. En l'absence de telles informations, cette composante est considérée au moins égale à l'incertitude-type d'étalonnage. Dans tous les cas, l'incertitude-type de pérennité ne peut pas être inférieure à l'incertitude-type de détermination des erreurs d'indication.

Cette composante est exprimée pour chaque valeur de masse.

Facteurs d'influence de l'instrument de pesage au moment de son utilisation

Les incertitudes-types correspondant aux facteurs d'influence sont exprimés pour chaque valeur de masse. Lorsque la valeur n'a pas été déterminée, la composante est calculée par interpolation

linéaire : $\frac{u}{x} \cdot m_i$

- Effet de la température

Cf. § 7.3.1.4.1.b) en remplaçant $(\Delta T)_e$ (variation de température durant l'étalonnage) par ΔT (variation de température durant l'utilisation).

Si l'instrument de pesage est muni d'un système d'ajustage de la pente (calibrage interne), le fait de l'activer préalablement à une pesée a normalement pour effet de diminuer de façon importante l'influence de ce facteur.

- Effet de l'excentration de charge (corps)

L'utilisation d'un instrument de pesage peut être affectée par la position du corps pesé sur le plateau de cet instrument. Si cette position est changée, l'indication délivrée par l'instrument de pesage l'est aussi.

Les opérations permettant de déterminer cette influence sont documentées dans les procédures de l'organisme.

La valeur de l'excentration est choisie :

- soit de façon réaliste vis-à-vis de l'utilisation de l'instrument de pesage,
- soit selon des critères normalisés.

La procédure suivante peut être utilisée.

La position centrale du plateau est choisie comme position de référence. L'étalon de masse M est placé au centre du plateau (position C) et l'indication I_C qui en résulte est relevée. Plusieurs applications de la charge d'essai sont effectuées successivement en excentrant celle-ci de part et



d'autre du centre du plateau d'une distance donnée. Les indications correspondantes (I_i) sont relevées et corrigées de l'erreur à 0.

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

$$u_{exc} = \frac{|I_i - I_C|_{\max}}{\sqrt{6}}$$

Où $|I_i - I_C|_{\max}$ est la plus grande des valeurs $|I_i - I_C|$ obtenues.

Remarques :

- Le fabricant peut indiquer des conditions d'excentration à ne pas dépasser en fonction de la charge ;
- La conception de certains types d'instruments de pesage ou leur mode d'utilisation ne justifient pas de déterminer cet effet (exemple : plateau suspendu).
- Effet de la masse volumique de l'air

La détermination de l'erreur d'indication d'un instrument de pesage prend en compte la poussée de l'air sur les étalons de masse utilisés. Si l'instrument est utilisé dans un air de masse volumique différente, l'erreur d'indication n'est plus rigoureusement la même. La modification de l'indication de l'instrument est alors égale à : $\frac{\Delta a}{r_0} \cdot x$, dans laquelle :

- $\Delta a = a_u - a_e$, avec :
- a_u : masse volumique de l'air ambiant lors de l'utilisation de l'instrument,
- a_e : masse volumique de l'air ambiant lors de l'étalonnage de l'instrument,
- $r_0 = 8\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
- x : résultat de la pesée.

En général, dans les conditions habituelles de pesées, l'influence de la masse volumique de l'air au moment de la pesée est négligée dans l'expression du résultat. Dans ce cas, l'incertitude-type associée à cette non-correction, notée u_A , est prise égale à :

$$u_A = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta a}{r_0} \cdot x$$

En prenant en compte un écart maximal Δa de 10 % de la masse volumique de l'air, il en résulte une variation maximale de l'indication de $15 \cdot 10^{-6} \cdot x$. L'incertitude-type u_A qui y correspond est de l'ordre de $8,7 \cdot 10^{-6} \cdot x$.

Certains instruments permettent de s'affranchir de cette influence, en particulier les balances monoplateau munies de poids de substitution internes et les instruments de pesage disposant d'un système d'ajustage de la pente (calibrage) mis en œuvre avant l'étalonnage de l'instrument et avant son utilisation.

Dans ce cas, $\Delta a = 0$.



7.3.4. Composition des incertitudes

Les tableaux 3 et 4 présentent le bilan des composantes d'incertitude selon que la correction relevant de l'erreur d'indication est effectuée ou pas. La méthode de composition des incertitudes est développée dans le GUM (JCGM 100) dans le cas de variables indépendantes ou corrélées.

L'incertitude type composée u_c est calculée pour chacune des charges m_i utilisée pour l'étalonnage de la balance par la sommation quadratique des composantes d'incertitude.

Une incertitude type composée pour tout le domaine d'étalonnage peut être obtenue en linéarisant ces incertitudes composées en fonction de la masse par une formule du type :

$u_c(IP) = \alpha + \beta.m$, avec α , terme constant, et β , terme proportionnel à la masse.

Cette expression pouvant conduire à des valeurs très faibles pour des petites masses et il convient de retenir une valeur toujours au moins égale à d_0 .

L'incertitude élargie $U(IP)$ est obtenue en multipliant l'incertitude-type composée u_c par un facteur d'élargissement $k=2$:

$$U(IP) = 2. u_c$$

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI



7.3.4.1. L'utilisateur effectue les corrections d'indication

ORIGINE	COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE				
		m_1	...	m_i	...	m_n
Charges d'étalonnage appliquées						
Résultat de la pesée d'un corps	Répétabilité des pesées : $u_x = s$	$(u_x)_1$		$(u_x)_i$ $(u_x)_i$		$(u_x)_1$ $(u_x)_n$
	Résolution à vide	$u_{d_0} = \frac{d_0}{\sqrt{6}}$ (numérique)		$u_{d_0} = \frac{d_0}{2}$ (analogique)		
	Résolution en charge (charge = corps à peser)	$u_d = \frac{d}{\sqrt{6}}$ (numérique)		$u_d = \frac{d}{2}$ (analogique)		
Erreur d'indication	AVEC CORRECTION $(u_{E_i})_r$	$(u(E_I))_1$	...	$(u(E_I))_i$	...	$(u(E_I))_n$
	Pérennité des erreurs d'indication E_i	$(u_p(E_I))_1$	...	$(u_p(E_I))_i$	...	$(u_p(E_I))_n$
	Erreur de modélisation (interpolation ou régression)	$u_m(E_i)$				
Influence de la température	Au moment de la pesée : $u_T = C \cdot \frac{\Delta T}{\sqrt{3}} \cdot x$	$(u_T)_1$	...	$(u_T)_i$	...	$(u_T)_n$
Excentration de la charge	$u_{exc} = \frac{|I_i - I_c|_{\max}}{\sqrt{6}}$	$(u_{exc})_1$	...	$(u_{exc})_i$	...	$(u_{exc})_n$
Influence de la masse volumique de l'air	Instruments de pesage sans poids internes de substitution ou sans effectuer le <i>calibrage</i> avant utilisation : $u_A = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta \alpha}{\rho_0} \cdot x$	$(u_A)_1$	...	$(u_A)_i$	...	$(u_A)_n$
Incertitude Type Composée	pour chaque charge m_i : $(u_c)_i = \sqrt{(u_x)_i^2 + u_{d_0}^2 + u_d^2 + (u(E_I))_i^2 + (u_p(E_I))_i^2 + u_m^2(E_I) + (u_T)_i^2 + (u_{exc})_i^2 + (u_A)_i^2}$ qui peut être linéarisée sous la forme $u(IP) = \alpha + \beta \cdot m$					
Incertitude élargie	$U(IP) = 2 \cdot u(IP)$					

Tableau 3 : Bilan des composantes d'incertitude de l'instrument de pesage AVEC CORRECTION des erreurs d'indication



7.3.4.2. L'utilisateur n'effectue pas les corrections d'indication

ORIGINE	COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE				
Charges d'étalonnage appliquées		m_1	...	m_i	...	m_n
Résultat de la pesée d'un corps	Répétabilité des pesées : $u_x = s$	$(u_x)_1$		$(u_x)_i$ $(u_x)_i$		$(u_x)_1$ $(u_x)_n$
	Résolution à vide	$u_{d_0} = \frac{d_0}{\sqrt{6}}$ (numérique)		$u_{d_0} = \frac{d_0}{2}$ (analogique)		
	Résolution en charge (charge = corps à peser)	$u_d = \frac{d}{\sqrt{6}}$ (numérique)		$u_d = \frac{d}{2}$ (analogique)		
Erreur d'indication	SANS CORRECTION $(u_{E_i}) = \sqrt{u(E_i)^2 + \left(\frac{E_i}{2}\right)^2}$	$(u(E_i))_1$	...	$(u(E_i))_i$	...	$(u(E_i))_n$
	Pérennité des erreurs d'indication E_i	$(u_p(E_i))_1$	...	$(u_p(E_i))_i$	...	$(u_p(E_i))_n$
	Erreur de modélisation (interpolation ou régression)	$u_m(E_i)$				
Influence de la température	Au moment de la pesée : $u_T = C \cdot \frac{\Delta T}{\sqrt{3}} \cdot x$	$(u_T)_1$	...	$(u_T)_i$	...	$(u_T)_n$
Excentration de la charge	$u_{exc} = \frac{|I_i - I_c|_{\max}}{\sqrt{6}}$	$(u_{exc})_1$	...	$(u_{exc})_i$	...	$(u_{exc})_n$
Influence de la masse volumique de l'air	Instruments de pesage sans poids internes de substitution ou sans effectuer le <i>calibrage</i> avant utilisation : $u_A = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\Delta \alpha}{\rho_0} \cdot x$	$(u_A)_1$	...	$(u_A)_i$	...	$(u_A)_n$
Incertitude Type Composée	pour chaque charge m_i : $(u_c)_i = \sqrt{(u_x)_i^2 + u_{d_0}^2 + u_d^2 + (u(E_i))_i^2 + (u_p(E_i))_i^2 + u_m^2(E_i) + (u_T)_i^2 + (u_{exc})_i^2 + (u_A)_i^2}$ qui peut être linéarisée sous la forme $u(IP) = \alpha + \beta \cdot m$					
Incertitude élargie	$U(IP) = 2 \cdot u(IP)$					

Tableau 4 : bilan des composantes d'incertitude de l'instrument de pesage SANS CORRECTION des erreurs d'indication



8. CARACTERISATION DES MOYENS D'ETALONNAGE

Le laboratoire établit et gère une liste de tous ses moyens d'étalonnage, suivant l'exemple présenté ci-après, en y précisant les informations relatives aux étalons, en particulier :

- Identification
- Caractéristiques physiques et métrologiques
- Suivi des résultats d'étalonnage et des comparaisons internes / externes
- Interventions effectuées sur les étalons (nettoyage, ajustage ...)
- Conditions de conservation et d'utilisation

Désignation - Constructeur	Type et N° de série de l'étalon	Périodicité	Date de l'avant dernier raccordement	Date du dernier raccordement	Numéro du certificat	Interne ou externe (+Nom de l'organisme ayant effectué l'étalonnage)

Date d'enregistrement

Tableau 5 : Modèle de tableau de raccordements internes/externes

S'agissant d'étalonnages sur site, le laboratoire doit prévoir et formaliser, (conformément aux chapitres 6.3.5 et 6.4.2 de la norme ISO/IEC 17205) les précautions à prendre pour assurer la constance de ces moyens d'étalonnage (en particulier lors du transport).

8.1. Masses étalons

8.1.1. Raccordement aux étalons nationaux

L'organisme dispose d'étalons de masse, masses-étalons ou poids-étalons, conformes à la recommandation R111 de l'OIML et, pour les étalons de masse qui n'y sont pas définis, à la décision n° 10.00.600.001.1 du 28 Juin 2010. D'autres formes que celles définies dans la R111 ou dans la décision du 28 Juin 2010 peuvent être utilisées, sous réserve que toutes les autres caractéristiques y satisfassent.

Si le laboratoire utilise des étalons de travail dont il ne dispose pas en permanence, il doit démontrer qu'il en garde la maîtrise totale (cf. paragraphe 6.4.2. de la norme NF EN ISO/IEC 17025).

Tous les étalons de masse sont raccordés au système SI en masse conventionnelle, avec des incertitudes élargies inférieures ou égales au tiers des EMT sur les étalons (de façon à rendre négligeables les corrections de poussée de l'air des étalons conformes à la recommandation R111 de l'OIML ou à la décision n°10.00.600.001.1 du 28 Juin 2010). Toutefois, il n'est pas exigé de documents d'étalonnage pour les masses qui servent exclusivement à la détermination de l'excentration ou des seuils. Ces masses font l'objet d'une procédure d'identification et de vérification interne.

L'organisme met en place des dispositions lui permettant de démontrer qu'il maîtrise la pérennité de chaque étalon de masse utilisé. Le suivi des étalons (masse par masse ou masses de mêmes caractéristiques regroupées par valeur nominale) peut être réalisé sous forme graphique. L'organisme dispose d'une procédure de traitement de l'incidence qu'une dérive anormale d'un étalon de masse peut avoir sur les instruments de pesage étalonnés depuis le précédent étalonnage de cet étalon de masse.

Les dispositions prises permettant d'assurer la propreté des étalons de masse et leur aptitude à l'emploi sont documentées.



8.1.2. Périodicité des raccordements

La périodicité de raccordement des étalons de masse est déterminée en compatibilité avec leur condition de stockage, d'utilisation et de dérive. La périodicité nominale est de 12 mois.

Lorsque l'organisme peut apporter des preuves factuelles de pérennité suffisante de ces étalons, la périodicité des raccordements peut être modifiée sans a priori dépasser 2 ans.

Les périodicités définies ont vocation à être respectées avec une tolérance de 2 mois.

- Cas d'une masse ou poids étalon traité à l'unité

Si des écarts constatés entre deux raccordements successifs (cf. ci-après en cas d'ajustage) sont supérieurs à l'incertitude de pérennité établie et documentée par le laboratoire, celui-ci modifie la périodicité de raccordement de façon à ce que la nouvelle durée ne dépasse pas la moitié du temps depuis le précédent raccordement.

En cas d'ajustage effectué l'année N, l'organisme prend en compte l'écart entre la valeur obtenue avant l'ajustage de l'année N et celle délivrée à l'issue du précédent raccordement (année N - 2 au maximum). S'il y a eu ajustage lors du précédent raccordement, c'est la valeur après cet ajustage qui est retenue.

- Cas d'un groupe de masses ou poids étalons de mêmes caractéristiques et valeurs nominales

Avant toute rénovation d'un lot de masses, l'organisme établit la pérennité de ce lot. Une quantité de masses correspondant au moins à la plus grande des 2 valeurs suivantes, 10 % de masses ou 5 masses, est prélevée au hasard, et ces masses sont étalonnées avant cette rénovation. Le résultat de l'étalonnage de ce lot est utilisé pour examiner la modification éventuelle de périodicité.

Pour un groupe d'étalons de mêmes caractéristiques, de mêmes valeurs nominales et de mêmes incertitudes d'étalonnage, l'organisme détermine l'écart-type (s) de la distribution des dérives des étalons du groupe.

Lorsque l'inégalité suivante n'est pas respectée :

$$s < \text{incertitude de pérennité}$$

la périodicité de raccordement est modifiée de façon à ce que la nouvelle durée ne dépasse pas la moitié du temps depuis le précédent raccordement.

8.1.3. Surveillance et contrôle de cohérence

Afin d'éviter d'avoir des reprises à faire sur une longue durée, il est préconisé de mettre en place des procédures, documentées, de surveillance et de cohérence interne avec des moyens adaptés. Par exemple, entre deux raccordements aux étalons nationaux, des contrôles à intervalles réguliers peuvent être effectués en comparant les étalons entre eux à l'aide d'un instrument de pesage dont l'échelon réel et l'écart-type de répétabilité soit de l'ordre de l'incertitude d'étalonnage de l'étalon.

Dans tous les cas, les écarts relevés sont consignés sous une forme permettant d'assurer la traçabilité de ces informations.

8.2. Instruments de mesure des facteurs d'influence

L'étalonnage des instruments de pesage s'effectue dans des conditions environnementales stabilisées en température, pression et hygrométrie. Les informations (identifications, raccordements au SI et incertitudes) relatives aux instruments de mesure des conditions ambiantes sont documentées.



8.3. Masses de substitution

Si l'organisme a recours à des masses de substitution, il s'assure qu'elles restent stables durant leur utilisation.

9. COMPARAISONS INTERLABORATOIRES

Conformément au §7.7.2 b) du document LAB REF 02, les laboratoires doivent participer aux comparaisons bilatérales ou multilatérales existantes au niveau national ou international de manière ponctuelle ou périodique.

Le laboratoire met à disposition de l'organisateur de la comparaison ses masses étalons et son personnel pour réaliser l'étalonnage de l'instrument de pesage mis à disposition par l'organisateur de la comparaison sur son site.

Lorsque l'écart normalisé est strictement supérieur à 1, les laboratoires doivent en rechercher les causes et mettre en œuvre les actions pour remédier à cette situation.

10. PRESENTATION DES RESULTATS

Le certificat d'étalonnage délivré fait apparaître les domaines sur lesquels ont porté l'étalonnage, et le (ou les) échelon(s) utilisé(s) pour chacun de ces domaines.

A l'issue de l'étalonnage d'un instrument de pesage, l'organisme établit un certificat d'étalonnage conforme au GEN REF 11. Il est rédigé de telle sorte que les différentes étapes nécessaires à son établissement apparaissent clairement. Le certificat d'étalonnage délivré à l'issue de la prestation comporte, en sus des résultats d'étalonnage proprement dits [Phase 1 de l'étape A + de manière facultative la Phase 2 de l'étape A], les éléments permettant d'établir l'incertitude sur le résultat de la pesée [étape B].

C'est pourquoi il convient que tout certificat d'étalonnage COFRAC comporte une annexe reprenant, dans son intégralité, l'annexe D du présent guide.

L'établissement de constat de vérification est autorisé, conformément à la NF EN ISO/IEC 17025 sous réserve que les EMT correspondantes à l'instrument aient été spécifiées et définies lors de la revue de contrat. Il appartient au laboratoire de s'assurer de la cohérence de la déclaration de conformité avec la prestation d'étalonnage réalisée (étapes A ou B de ce document). Ces déclarations ne mentionnent pas, le cas échéant, la conformité à la norme NF EN 45501 ou à la recommandation OIML R76, mais par rapport aux EMT spécifiées dans les paragraphes appropriés de ces documents.

A ces dispositions s'ajoutent celles définies ci-après.

Dans le cas des organismes accrédités pour effectuer des étalonnages d'instruments de pesage mais effectuant aussi d'autres interventions non couvertes par l'accréditation, dont la maintenance de tout ou partie de l'instrument de pesage, le document d'étalonnage mentionne toutes les opérations effectuées sur l'instrument de pesage avant son étalonnage. Pour garantir la traçabilité des mesures effectuées, il est recommandé de déterminer l'erreur d'indication pour au moins une charge définie avant de procéder à toute intervention pouvant avoir une incidence sur les performances métrologiques. La valeur obtenue est consignée dans le certificat d'étalonnage.

La situation de l'instrument de pesage chez l'utilisateur fait l'objet d'une analyse rapportée dans le certificat d'étalonnage. Sa description figure également dans le document d'étalonnage. Notamment, l'installation au moment de l'étalonnage de l'instrument de pesage et les conditions environnementales (cf. § 9.) sont explicitement spécifiées dans le certificat d'étalonnage.

L'organisme informe l'utilisateur de manière claire et non ambiguë de la nature du document qu'il délivre. Il lui précise que les résultats figurant dans ce document ne sont valables que dans les conditions de référence qui y sont reportées.

Note : L'étalonnage des instruments de pesage a pour objet d'examiner la qualité (raccordement) des pesées réalisées, et intervient donc après les opérations de maintenance.



11. ANNEXE A

Exemples d'évaluation de l'incertitude sur une charge composée d'étalons de masse et d'une charge de substitution

Lorsque la quantité de masses-étalons disponible n'est pas suffisante pour effectuer un relevé sur un instrument de forte portée (en général, portée supérieure à 1000 kg), il est possible d'utiliser n'importe quelle charge constante en complément des masses-étalons disponibles. Cette charge constante est appelée "charge de substitution".

La masse de la charge de substitution (masse conventionnelle et incertitude associée) est évaluée. L'évaluation peut être effectuée de 2 manières :

- remplacement à l'identique ;
- évaluation par interpolation.

L'opération consistant à utiliser une charge constante en complément des masses-étalons disponibles est appelée "raccordement". Cette opération peut être renouvelée n fois lors de l'étalonnage d'un instrument. L'incertitude-type correspondante est alors égale à n fois l'incertitude-type due à une substitution.

A.1. Remplacement à l'identique

A.1.1. Principe

Les masses-étalons disponibles sont remplacées (en totalité ou en partie) à l'identique par la charge de substitution. L'instrument de pesage à étalonner (ou éventuellement un autre instrument) est utilisé en tant que comparateur. La charge de substitution est ajustée jusqu'à obtenir la même indication que celle obtenue avec les masses-étalons disponibles. Pour ce faire, il faut comparer les indications fournies par l'instrument de pesage lorsqu'il mesure les étalons de masse, et lorsqu'il mesure la charge de substitution.

Exemple :

Quantité de masses-étalons : 17 000 kg disponibles

Résolution de l'instrument utilisé (avec la méthode des seuils) : 4 kg

Raccordement n° 1 : Remplacement à l'identique par ajustage de la valeur de la charge de substitution à 17 000 kg avec une erreur d'indication inférieure à 4 kg.

Raccordement n° 2 : Remplacement à l'identique par ajustage de la valeur de la charge de substitution à $2 \times 17\ 000$ kg avec une erreur d'indication inférieure à 4 kg.

Etc.

A.1.2. Valeur de la charge composée d'étalons de masse et d'une charge de substitution

La valeur de la charge appliquée à l'instrument de pesage à étalonner, composée pour partie d'étalons de masse et pour partie d'une charge de substitution ajustée, est égale à la somme :

- des valeurs des étalons de masse (valeurs d'étalonnage données dans les certificats d'étalonnage ou valeurs nominales s'ils sont classés, attesté par un constat de vérification) ;
- du résultat du raccordement de la charge de substitution.

A.1.3. Evaluation d'incertitudes



L'incertitude sur la valeur de la charge composée obtenue telle que décrite ci-dessus est basée sur les considérations suivantes. Pour l'ajustage, l'erreur d'indication de l'instrument à la charge à laquelle on l'utilise importe peu puisque l'on effectue en fait une double pesée. Le défaut d'excentration peut pratiquement ne pas être pris en compte si l'on prend la précaution de placer les charges de telle façon que, au moins le centre de gravité de la charge reste positionné de la même façon sur le récepteur de charge. La formation de l'indication dépend donc des défauts de fonctionnement propres à l'instrument qui ne peuvent être annulés.

L'incertitude sur la valeur de la charge composée comprend donc une composante liée à la répétabilité des pesées, à la résolution de l'instrument, à l'ajustage de la charge de substitution et aux étalons de masses disponibles.

A.1.3.1. Composantes évaluées par une méthode de type A

Répétabilité des pesées

La répétabilité des pesées, u_x , s'obtient comme décrit au § 7.3.1.4.1. a). Cette répétabilité intervient deux fois, lors des pesées des étalons de masse et de la charge de substitution.

A.1.3.2. Composantes évaluées par une méthode de type B

Résolution

L'évaluation de l'incertitude-type due à la résolution, u_d , est décrite au § 7.3.1.4.1.b) en relevant que la méthode par remplacement à l'identique recourt à la méthode des seuils.

La quantification intervient deux fois pour la détermination du résultat : à l'équilibre avec les étalons de masses et à l'équilibre avec la charge de substitution.

Étalons de masse

L'évaluation de l'incertitude-type due aux étalons de masse, u_{Et} , est décrite au § 7.3.1.4.1.b).

Ajustage de la charge de substitution

Lorsque l'on procède à la substitution des étalons de masse par une charge qui est ajustée, on s'efforce d'annuler la différence de masse entre les étalons, à la valeur à laquelle est fait le raccordement, et la masse de substitution. Cependant, les conditions de mesure, les paramètres de fonctionnement et les défauts de l'instrument perturbent l'ajustage et provoquent une incertitude sur l'exactitude du raccordement effectué.

En l'absence d'information, on considère que l'incertitude-type due à l'ajustage de la charge de substitution, u_j , est au moins égale au cinquième de l'échelon d , soit : $u_j \geq \frac{d}{5}$.

Dans l'esprit des rédacteurs du présent guide technique, cette incertitude due à l'ajustage de la charge de substitution englobe l'incertitude due à la mobilité.

A.1.3.3. Composition des incertitudes

Compte tenu de la corrélation existant entre la valeur de la masse de la charge de substitution et celle des étalons de masses, l'incertitude-type composée sur la valeur de la charge composée, u_{Et+s} est :

$$u_{Et+s} = \sqrt{2.u_x^2 + 2.u_d^2 + 4.u_{Et}^2 + u_j^2}$$

Quand une substitution est réalisée, il y a lieu de remplacer u_{Et} du tableau 2 (§ 7.3.1.4.2) par u_{Et+s} ainsi défini.



A.2. Evaluation par interpolation

A.2.1. Principe

La charge de substitution est évaluée par interpolation linéaire entre 2 valeurs connues représentées par des masses-étalons. Il convient que ces 2 valeurs encadrent la valeur de la charge de substitution. L'intervalle entre ces 2 valeurs ne devrait pas dépasser 100 d. La valeur de la charge de substitution elle-même et les valeurs des masses-étalons sont déterminées en utilisant l'instrument à étalonner (ou éventuellement un autre instrument).

Exemple :

Quantité de masses-étalons	17 000 kg disponibles
Résolution de l'instrument utilisé (avec la méthode des seuils)	20 kg (relevés effectués par la méthode des seuils, au 1/5 d soit 4 kg)
Raccordement n° 1	<p>Evaluation par interpolation avec une erreur d'indication inférieure à 4 kg de l'indication de l'instrument (sans ordre chronologique) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 16 000 kg de masses-étalons, • 17 000 kg de masses-étalons, • charge de substitution n° 1.
Raccordement n° 2	<p>Evaluation par interpolation avec une erreur d'indication inférieure à 4 kg de l'indication de l'instrument (sans ordre chronologique) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • 16 000 kg de masses-étalons, • 17 000 kg de masses-étalons, • charge de substitution n° 2.
Etc.	

A.2.2. Valeur de la charge composée d'étalons de masse et d'une charge de substitution

La valeur de la charge appliquée à l'instrument de pesage à étalonner, composée pour partie d'étalons de masse et pour partie d'une charge de substitution évaluée par interpolation, est égale à la somme :

- des valeurs des étalons de masse (valeurs d'étalonnage données dans les certificats d'étalonnage ou valeurs nominales s'ils sont classés, attesté par un constat de vérification) du résultat du raccordement de la charge de substitution.

A.2.3. Evaluation d'incertitudes

L'évaluation de l'incertitude de la masse de la charge de substitution prend essentiellement en compte la résolution et la répétabilité de l'instrument utilisé, appliquée aux 2 mesurages d'encadrement, et l'incertitude sur les masses-étalons disponibles.

A.2.3.1. Composantes évaluées par une méthode de type A

Répétabilité des pesées

La répétabilité des pesées, u_x , s'obtient comme décrit aux § 7.3.1.4.1.a). Cette répétabilité intervient trois fois, lors des pesées de la charge de substitution et des étalons de masses (de valeur inférieure et supérieure à celle de la charge de substitution).

A.2.3.2. Composantes évaluées par une méthode de type B



Résolution

L'évaluation de l'incertitude-type due à la résolution, u_d , est décrit au § 7.3.1.4.1.b).

La quantification intervient trois fois pour la détermination du résultat : à l'équilibre avec la charge constituée d'étalons de masse et de valeur inférieure à la charge de substitution, à l'équilibre avec la charge de substitution, et à l'équilibre avec la charge constituée d'étalons de masse et de valeur supérieure à la charge de substitution.

Etalons de masse

L'évaluation de l'incertitude-type due aux étalons de masse, u_{Et} , est décrit au § 7.3.1.4.1.b).

Interpolation

Lorsque l'on procède à l'interpolation de la valeur de la charge de substitution à l'aide des valeurs des étalons de masse, on introduit une incertitude due à cette interpolation.

En l'absence d'information, on considère que l'incertitude-type due à l'interpolation, $u_{interpol.}$, est au moins égale au cinquième de l'échelon d , soit : $u_{interpol.} \geq \frac{d}{5}$.

A.2.3.3. Composition des incertitudes

Compte tenu de la corrélation existant entre la valeur de la masse de la charge de substitution et celle des étalons de masses, l'incertitude-type composée sur la valeur de la charge composée, u_{Et+S} est :

$$u_{Et+S} = \sqrt{3.u_x^2 + 3.u_d^2 + 4.u_{Et}^2 + u_{interpol.}^2}$$

Quand une substitution est réalisée, il y a lieu de remplacer u_{Et} du tableau 2 (§ 7.3.1.4.2) par u_{Et+S} ainsi défini.

Note : l'incertitude u_{Et} prise en compte est celle des masses étalons ayant permis l'encadrement supérieur.



12. ANNEXE B

Exemple d'application au cas d'une balance analytique de portée 200 g et de résolution 0,1 mg sur toute sa plage de pesée

Est présenté ci-après un exemple d'évaluation d'incertitude illustrant les notions développées dans ce présent guide technique étant entendu que les incertitudes évaluées et proposées à la suite ne sont que des exemples réalistes mais dépendant de la procédure d'étalonnage et des caractéristiques du matériel utilisé et propres à chaque organisme.

B.1. PHASE 1 DE L'ETAPE A : étalonnage

B.1.1 Conditions de définition de $u(E_i)$

Domaine spécifié	50 g à 200 g
Résolution	0,1 mg
Mise en œuvre du système d'ajustage de la pente (calibrage)	oui
Classe des étalons de masses	E ₂ avec certificat d'étalonnage COFRAC ou équivalent EA
Variation de température	$\Delta T = 1 \text{ }^\circ\text{C}$ (en étalonnage et en utilisation)
Coefficient de température de l'instrument de pesage	$1,5 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$
Excentration (par rapport à la position centrale du récepteur de charge)	100 g à 20 mm
Dispositifs ou fonctions annexes	aucun
Corrections des erreurs d'indication	non

B.1.2 Détermination de la répétabilité

Application du § 7.3.1.4.1.a).

Charge appliquée	100 g				
N° de la pesée	1	2	3	4	5
$x - 100 \text{ g}$	0,2 mg	0,4 mg	0,6 mg	0,1 mg	0,2 mg
$(u_x)_e$	0,2 mg				

B.1.3 Détermination de l'erreur d'indication, E_i

Application du § 7.3.1.4.1.b)

Indication à charge nulle : 0,0 mg					
Charge d'étalonnage appliquée	x_i	50 g	100 g	150 g	200 g
Erreur d'indication relevée	E_i	0,2 mg	0,3 mg	0,8 mg	1,2 mg

**B.1.4. Évaluation de l'incertitude sur la détermination de l'erreur d'indication, $u(EI)$**

Application du § 7.3.1.4.2., tableau 2

COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE				
	x_i	50 g	100 g	150 g	200 g
Charges d'étalonnage appliquées	x_i	50 g	100 g	150 g	200 g
Répétabilité	$(u_x)_e$	0,2 mg			
Résolution à vide : 0,1 mg	$(u_{d0})_e$	0,04 mg			
Résolution en charge (charge = étalon de masse) : 0,1 mg	$(u_d)_e$	0,04 mg			
Etalonnage des étalons	u_{Et}	0,05 mg	0,075 mg	0,125 mg	0,15 mg
Influence de la température	$(u_T)_e$	0,043 mg	0,087 mg	0,130 mg	0,173 mg
Excentration de la charge	$(u_{exc})_e$	négligée*	négligée*	négligée*	négligée*
Incertitude-type composée	$u(EI)$	0,21 mg	0,23 mg	0,25 mg	0,28 mg
Incertitude élargie ($k = 2$)	$U(EI)$	0,43 mg	0,46 mg	0,50 mg	0,56 mg

* Si, lors de l'étalonnage, les étalons de masse sont régulièrement répartis de telle manière que le centre de gravité se trouve sur la verticale du centre du plateau, cet effet peut être considéré négligeable de même que son incertitude-type. (Rappel du § 7.3.4.1.b.)

B.2. PHASE 2 DE L'ETAPE A : évaluation de l'incertitude de la balance (prise en compte des composantes liées à l'instrument de pesage SEUL)**B.2.1. Détermination de l'effet de l'excentration de charge**

Application du § 7.3.3.2.

Charge appliquée	100 g				
Position de la charge	C	1	2	3	4
l_i	0	0,2 mg	0,3 mg	0,4 mg	0,3 mg
$l_i - l_c$	\	0,2 mg	0,3 mg	0,4 mg	0,3 mg
Incertitude type		0,16 mg			



B.2.2. Évaluation de l'incertitude de l'instrument de pesage SANS CORRECTION des erreurs d'indication

Application du § 7.3.4.2., tableau 4

COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE				
CHARGES D'ETALONNAGE APPLIQUEES	x_i	50 g	100 g	150 g	200 g
Répétabilité	u_x	0,2 mg			
Résolution à vide : 0,1 mg	u_{d0}	0,04 mg			
Résolution en charge (charge = corps à peser) : 0,1 mg	u_d	0,04 mg			
Erreur d'indication non corrigée	u_{EI}	0,24 mg	0,28 mg	0,49 mg	0,68 mg
Pérennité des erreurs d'indication	$u_p(E_i)$	0,22 mg	0,24 mg	0,28 mg	0,32 mg
Influence de la température	u_T	0,043 mg	0,087 mg	0,130 mg	0,173 mg
Excentration de la charge	u_{exc}	0,16 mg			
Influence de la masse volumique de l'air	u_A	0			
Incetitude-type composée	u_c	0,42 mg	0,46 mg	0,64 mg	0,82 mg
Incetitude élargie (k = 2)	U_c	0,85 mg	0,93 mg	1,3 mg	1,7 mg

Equation d'interpolation linéaire de l'incertitude élargie :

$$U(IP) = 0,465 \text{ mg} + 5,84 \cdot 10^{-6} \cdot m$$

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI



13. ANNEXE C

Exemple d'application au cas d'un pont-bascule de portée 4 000 kg avec différentes valeurs de résolution

Est présenté ci-après un exemple d'évaluation d'incertitude illustrant les notions développées dans ce présent guide technique étant entendu que les incertitudes évaluées et proposées à la suite ne sont que des exemples réalistes mais dépendant de la procédure d'étalonnage et des caractéristiques du matériel utilisé et propres à chaque organisme.

C.1. 1er cas : résolution de 20 g (lecture directe "haute résolution")

C.1.1. PHASE 1 DE L'ETAPE A : étalonnage

C.1.1.1. Conditions de définition de $u(E_i)$

Application du § 7.3.2.1

Domaine spécifié	1 500 kg à 4 000 kg
Résolution	20 g (lecture directe "haute résolution")
Mise en œuvre du système d'ajustage de la pente (calibrage)	sans objet
Classe des étalons de masses	M' avec certificat d'étalonnage COFRAC ou équivalent EA
Variation de température	$\Delta T = 5\text{ }^\circ\text{C}$ ($\Delta T = 2\text{ }^\circ\text{C}$ lors de l'étalonnage)
Coefficient de température de l'instrument de pesage	$25 \cdot 10^{-6}\text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (instrument avec approbation de modèle jusqu'à 6 000 e)
Excentration (par rapport à la position centrale du récepteur de charge)	1 500 kg à 1 000 mm
Dispositifs ou fonctions annexes	aucun
Corrections des erreurs d'indication	non

C.1.1.2. Détermination de la répétabilité

Application du § 7.3.1.2.1

N° de la pesée	$(x - V_n)$ où V_n est la valeur nominale de la charge appliquée		
	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
1	0,06 kg	0,30 kg	0,42 kg
2	0,12 kg	0,18 kg	0,32 kg
3	0,08 kg	0,24 kg	0,28 kg
4	0,08 kg	0,18 kg	0,36 kg
5	0,10 kg	0,18 kg	0,30 kg
6	0,14 kg	0,28 kg	0,32 kg
7	0,02 kg	0,26 kg	0,44 kg
8	0,08 kg	0,24 kg	0,28 kg
9	0,08 kg	0,18 kg	0,28 kg
10	0,00 kg	0,20 kg	0,36 kg
$(u_x)_e$	0,042 kg	0,046 kg	0,058 kg



C.1.1.3. Détermination de l'erreur d'indication, E_i

Application du § 7.3.1.2.2.

Indication à charge nulle : 0,00 kg				
Charge d'étalonnage appliquée	x_i	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
Erreur d'indication relevée	E_i	0,10 kg	0,22 kg	0,36 kg

C.1.1.4. Évaluation de l'incertitude sur la détermination de l'erreur d'indication, $u(E_i)$

Application du § 7.3.1.4.2., tableau 2

COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE			
CHARGES D'ETALONNAGE APPLIQUEES	x_i	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
Répétabilité	$(u_x)_e$	0,042 kg	0,046 kg	0,058 kg
Résolution à vide : 20 g	$(u_{d0})_e$	0,008 kg		
Résolution en charge (charge = étalon de masse) : 20 g	$(u_d)_e$	0,008 kg		
Etalonnage des étalons (étalons classés)	u_{Et}	0,075 kg	0,150 kg	0,200 kg
Influence de la température ($\Delta T = 2 \text{ }^\circ\text{C}$)	$(u_T)_e$	0,043 kg	0,087 kg	0,115 kg
EXCENTRATION DE LA CHARGE	$(u_{exc})_e$	négligée*	négligée*	négligée*
Incertitude-type composée	$u(E_i)$	0,097 kg	0,180 kg	0,238 kg
Incertitude élargie ($k = 2$)	$U(E_i)$	0,194 kg	0,359 kg	0,477 kg

* Si, lors de l'étalonnage, les étalons de masse sont régulièrement répartis de telle manière que le centre de gravité se trouve sur la verticale du centre du plateau, cet effet peut être considéré négligeable de même que son incertitude-type. (Rappel du § 7.3.4.1.b.)



C.1.2. PHASE 2 DE L'ETAPE A : évaluation de l'incertitude du pont bascule (prise en compte des composantes liées à l'instrument de pesage SEUL)

C.1.2.1. Détermination de l'effet de l'excentration de charge

Application du § 7.3.3.2.

Charge appliquée	1 500 kg				
Position de la charge	C	1	2	3	4
I_i	1 500,10 kg	1 500,88 kg	1 500,66 kg	1 500,02 kg	1 500,16 kg
$I_i - I_C$	\	0,78 kg	0,56 kg	- 0,08 kg	0,06 kg
Incertitude type	0,32 kg				

C.1.2.2. Évaluation de l'incertitude de l'instrument de pesage SANS CORRECTION des erreurs d'indication

Application du § 7.3.4.2., tableau 4

COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE			
CHARGES ETALONNEES APPLIQUEES	x_i	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
Répétabilité	u_x	0,042 kg	0,046 kg	0,058 kg
Résolution à vide : 20 g	u_{d0}	0,008 kg		
Résolution en charge (charge = corps à peser) : 20 g	u_d	0,008 kg		
Erreur d'indication non corrigée	u_{EI}	0,11 kg	0,22 kg	0,30 kg
Pérennité des erreurs d'indication	$u_p(E_I)$	0,098 kg	0,18 kg	0,24 kg
INFLUENCE DE LA TEMPERATURE ($\Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$)	u_T	0,11 kg	0,22 kg	0,29 kg
Excentration de la charge	u_{exc}	0,32 kg		
INFLUENCE DE LA MASSE VOLUMIQUE DE L'AIR	u_A	0,006 kg	0,012 kg	0,016 kg
Incertitude-type composée	u_c	0,37 kg	0,48 kg	0,58 kg
Incertitude élargie (k = 2)	U_c	0,74 kg	0,96 kg	1,2 kg

Equation d'interpolation linéaire de l'incertitude élargie :

$$U(IP) = 0,5 \text{ kg} + 1,8 \cdot 10^{-4} \cdot m$$



C.2. 2ème cas : résolution de 1 kg (lecture directe)

C.2.1. PHASE 1 DE L'ETAPE A : étalonnage

C.2.1.1. Conditions de définition de $u(E_i)$

Application du § 7.3.2.1

Domaine spécifié	1 500 kg à 4 000 kg
Résolution	1 kg (relevés effectués par lecture directe)
Mise en œuvre du système d'ajustage de la pente (calibrage)	sans objet
Classe des étalons de masses	M' avec certificat d'étalonnage COFRAC ou équivalent EA
Variation de température	$\Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$ ($\Delta T = 2 \text{ }^\circ\text{C}$ lors de l'étalonnage)
Coefficient de température de l'instrument de pesage	$25 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ (instrument avec approbation de modèle jusqu'à 6 000 e)
Excentration (par rapport à la position centrale du récepteur de charge)	1 500 kg à 1 000 mm
Dispositifs ou fonctions annexes	aucun
Corrections des erreurs d'indication	non

C2.1.2. Détermination de la répétabilité

Application du § 7.3.1.2.1

N° de la pesée	$(x - V_n)$ où V_n est la valeur nominale de la charge appliquée		
	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
1	0 kg	0 kg	0 kg
2	0 kg	0 kg	0 kg
3	0 kg	0 kg	0 kg
4	0 kg	0 kg	0 kg
5	0 kg	0 kg	0 kg
6	0 kg	0 kg	0 kg
7	0 kg	0 kg	0 kg
8	0 kg	0 kg	0 kg
9	0 kg	0 kg	0 kg
10	0 kg	0 kg	0 kg
$(u_x)_e$	0,0 kg	0,0 kg	0,0 kg

**C.2.1.3. Détermination de l'erreur d'indication, E_I**

Application du § 7.3.1.2.2

Indication à charge nulle : 0 kg				
Charge d'étalonnage appliquée	x_i	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
Erreur d'indication relevée	E_i	0 kg	0 kg	0 kg

C.2.1.4 Évaluation de l'incertitude sur la détermination de l'erreur d'indication, $u(E_I)$

Application du. § 7.3.1.4.2, tableau 2

COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE			
CHARGES D'ETALONNAGE APPLIQUEES	x_i	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
Répétabilité	$(u_x)_e$	0,0 kg	0,0 kg	0,0 kg
Résolution à vide : 1 kg	$(u_{d0})_e$	0,4 kg		
Résolution en charge (charge = étalon de masse) : 1 kg	$(u_d)_e$	0,4 kg		
Etalonnage des étalons (étalons classés)	u_{Et}	0,075 kg	0,150 kg	0,200 kg
Influence de la température ($\Delta T = 2 \text{ }^\circ\text{C}$)	$(u_T)_e$	0,043 kg	0,087 kg	0,115 kg
Excentration de la charge	$(u_{exc})_e$	négligée*	négligée*	négligée*
Incertitude-type composée	$u(E_I)$	0,6 kg	0,6 kg	0,6 kg
Incertitude élargie ($k = 2$)	$U(E_I)$	1,2 kg	1,2 kg	1,2 kg

* Si, lors de l'étalonnage, les étalons de masse sont régulièrement répartis de telle manière que le centre de gravité se trouve sur la verticale du centre du plateau, cet effet peut être considéré négligeable de même que son incertitude-type. (Rappel du. § 7.3.4.1.b).)



C.2.2. PHASE 2 DE L'ETAPE A : évaluation de l'incertitude du pont-bascule (prise en compte des composantes liées à l'instrument de pesage SEUL)

C.2.2.1. Détermination de l'effet de l'excentration de charge

Application du § 7.3.3.2.

Charge appliquée	1 500 kg				
Position de la charge	C	1	2	3	4
I_i	1 500 kg	1 501 kg	1 501 kg	1 500 kg	1 500 kg
$I_i - I_C$	\	1 kg	1 kg	0 kg	0 kg
Incertitude type	0,41 kg				

C.2.2.2. Évaluation de l'incertitude de l'instrument de pesage SANS CORRECTION des erreurs d'indication

Application du § 7.3.4.2., tableau 4

COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE			
CHARGES D'ETALONNAGE APPLIQUEES	x_i	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
Répétabilité	u_x	0,0 kg	0,0 kg	0,0 kg
Résolution à vide : 1 kg	u_{d0}	0,41 kg		
Résolution en charge (charge = corps à peser) : 1 kg	u_d	0,41 kg		
Erreur d'indication non corrigée	u_{EI}	0,58 kg	0,60 kg	0,62 kg
Pérennité des erreurs d'indication	$u_p(EI)$	0,58 kg	0,60 kg	0,62 kg
Influence de la température ($\Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$)	u_T	0,11 kg	0,22 kg	0,29 kg
Excentration de la charge	u_{exc}	0,41 kg		
Influence de la masse volumique de l'air	u_A	0,006 kg	0,012 kg	0,016 kg
Incertitude-type composée	u_c	1,1 kg	1,1 kg	1,2 kg
Incertitude élargie (k = 2)	U_c	2,2 kg	2,3 kg	2,4 kg

Equation d'interpolation linéaire de l'incertitude élargie pour l'étape A :

$$U(IP) = 2,1 \text{ kg} + 80 \cdot 10^{-6} \cdot m$$



C.3. 3ème cas : résolution de 1 kg (méthode des seuils)

C.3.1. PHASE 1 DE L'ETAPE A : étalonnage

C.3.1.1. Conditions de définition de $u(E_i)$

Application du § 7.3.2.1..

Domaine spécifié	1 500 kg à 4 000 kg
Résolution	1 kg (relevés effectués par la méthode des seuils, au 1/5 d soit 0,2 kg)
Mise en œuvre du système d'ajustage de la pente (calibrage)	sans objet
Classe des étalons de masses	M'avec certificat d'étalonnage COFRAC ou équivalent EA
Variation de température	$\Delta T = 5 \text{ °C}$ ($\Delta T = 2 \text{ °C}$ lors de l'étalonnage)
Coefficient de température de l'instrument de pesage	$25.10^{-6} \text{ °C}^{-1}$ (instrument avec approbation de modèle jusqu'à 6 000 e)
Excentration (par rapport à la position centrale du récepteur de charge)	1 500 kg à 1 000 mm
Dispositifs ou fonctions annexes	aucun
Corrections des erreurs d'indication	non

C.3.1.2. Détermination de la répétabilité

Application du § 7.3.1.2.1

N° de la pesée	$(x - V_n)$ où V_n est la valeur nominale de la charge appliquée		
	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
1	0,0 kg	0,4 kg	0,4 kg
2	0,2 kg	0,2 kg	0,4 kg
3	0,0 kg	0,2 kg	0,2 kg
4	0,0 kg	0,2 kg	0,4 kg
5	0,2 kg	0,2 kg	0,4 kg
6	0,2 kg	0,2 kg	0,4 kg
7	0,0 kg	0,2 kg	0,4 kg
8	0,0 kg	0,2 kg	0,4 kg
9	0,0 kg	0,2 kg	0,2 kg
10	0,0 kg	0,2 kg	0,4 kg
$(U_x)_e$	0,10 kg	0,06 kg	0,08 kg

**C.3.1.3. Détermination de l'erreur d'indication, E_I**

Application du § 7.3.1.2.2...

Indication à charge nulle : 0,0 kg				
Charge d'étalonnage appliquée	x_i	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
Erreur d'indication relevée	E_i	0,2 kg	0,2 kg	0,4 kg

C.3.1.4. Évaluation de l'incertitude sur la détermination de l'erreur d'indication, $u(E_I)$

Application du § 7.3.1.4.2., tableau 2

COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE			
Charges d'étalonnage appliquées	x_i	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
Répétabilité	$(u_x)_e$	0,10 kg	0,06 kg	0,08 kg
Résolution à vide : 1 kg	$(u_{d0})_e$	0,06 kg		
Résolution en charge (charge = étalon de masse) : 1 kg	$(u_d)_e$	0,06 kg		
Étalonnage des étalons (étalons classés)	u_{Et}	0,075 kg	0,150 kg	0,200 kg
Influence de la température ($\Delta T = 2 \text{ }^\circ\text{C}$)	$(u_T)_e$	0,043 kg	0,087 kg	0,115 kg
Excentration de la charge	$(u_{exc})_e$	négligée*	négligée*	négligée*
Incertitude-type composée	$u(E_I)$	0,15 kg	0,20 kg	0,26 kg
Incertitude élargie ($k = 2$)	$U(E_I)$	0,31 kg	0,40 kg	0,52 kg

* Si, lors de l'étalonnage, les étalons de masse sont régulièrement répartis de telle manière que le centre de gravité se trouve sur la verticale du centre du plateau, cet effet peut être considéré négligeable de même que son incertitude-type. (Rappel du. § 7.3.4.1.b))

C.3.2. PHASE 2 DE L'ETAPE A : évaluation de l'incertitude du pont-bascule (prise en compte des composantes liées à l'instrument de pesage SEUL)**C.3.2.1. Détermination de l'effet de l'excentration de charge**

Application du § 7.3.3.2.

Charge appliquée	1 500 kg				
Position de la charge	C	1	2	3	4
l_i	1 500,2 kg	1 500,8 kg	1 500,6 kg	1 500,0 kg	1 500,2 kg
$l_i - l_c$	\	0,6 kg	0,4 kg	- 0,2 kg	0,0 kg
Incertitude type		0,25 kg			



C.3.2.2. Évaluation de l'incertitude de l'instrument de pesage SANS CORRECTION des erreurs d'indication

Application du § 7.3.4.2., tableau 4

COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE			
CHARGES D'ETALONNAGE APPLIQUEES	x_i	1 500 kg	3 000 kg	4 000 kg
Répétabilité	u_x	0,10 kg	0,06 kg	0,08 kg
Résolution à vide : 1 kg	u_{d0}	0,41 kg		
Résolution en charge (charge = corps à peser) : 1 kg	u_d	0,41 kg		
Erreur d'indication non corrigée	u_{EI}	0,25 kg	0,28 kg	0,33 kg
Pérennité des erreurs d'indication	$u_p(EI)$	0,16 kg	0,20 kg	0,26 kg
Influence de la température ($\Delta T = 5 \text{ }^\circ\text{C}$)	u_T	0,11 kg	0,22 kg	0,29 kg
Excentration de la charge	u_{exc}	0,25 kg		
Influence de la masse volumique de l'air	u_A	0,006 kg	0,012 kg	0,016 kg
Incetitude-type composée	u_c	0,71 kg	0,75 kg	0,81 kg
Incetitude élargie (k = 2)	U_c	1,5 kg	1,6 kg	1,7 kg

Equation d'interpolation linéaire de l'incertitude élargie pour l'étape A :

$$U(IP) = 1,4 \text{ kg} + 80 \cdot 10^{-6} \cdot m$$



14. ANNEXE D

Information à délivrer en annexe de tout certificat d'étalonnage émis (cf. § 10)

Il convient que tout certificat d'étalonnage COFRAC émis au titre du présent guide technique comporte une annexe reprenant le texte figurant dans les deux pages suivantes dans son intégralité.

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI



ANNEXE : Eléments pour le calcul de la masse conventionnelle d'un corps pesé et de son incertitude

1. Préambule

La traçabilité de la détermination de la masse (ou de la masse conventionnelle) d'un corps à l'aide d'un instrument de pesage est assurée par la réalisation des deux étapes suivantes :

Etape	Opération	Données obtenues	Commentaire
A	Etalonnage de l'instrument Phase 1 : Détermination des erreurs d'indication de l'instrument de pesage et des incertitudes associées.	<ul style="list-style-type: none"> Erreur d'indication : E_I Incertitude élargie ($k = 2$) associée : $U(E_I)$ 	Opération obligatoire de l'« étalonnage »
	Phase 2 : Détermination de l'incertitude de l'instrument de pesage.	<ul style="list-style-type: none"> Incertitude élargie ($k = 2$) de l'instrument de pesage : $U(IP)$ 	Opération facultative de l'« étalonnage »
B	Pesage d'un corps Détermination du résultat de la pesée d'un corps, de sa masse (ou de sa masse conventionnelle) et de l'incertitude associée.	<ul style="list-style-type: none"> Résultat de la pesée du corps : x Masse (ou masse conventionnelle) du corps pesé : M Incertitude élargie ($k = 2$) associée : $U(M)$ 	Prise en compte de l'incertitude de l'instrument de pesage et des paramètres liés au corps pesé.

L'utilisateur d'un instrument de pesage peut réaliser lui-même toutes ces opérations. Dans le cas où il les sous-traite (à un organisme extérieur, à une structure métrologique interne à son entreprise, ...), il ne peut sous-traiter que la première étape, la deuxième ne pouvant être accomplie que par lui seul. C'est pourquoi l'accréditation COFRAC délivrée au titre du document COFRAC LAB GTA 95 (Guide technique : étalonnage d'instruments de pesage à fonctionnement non-automatique) ne porte que sur la phase 1 de l'étape A plus de manière facultative sur la phase 2 de l'étape A. La présente annexe comporte les éléments nécessaires pour la réalisation, par l'utilisateur, de la deuxième étape.

2. Expression de la masse conventionnelle d'un corps

Lorsque les erreurs d'indication d'un instrument de pesage sont déterminées à l'aide d'étalons de masse conformes à la recommandation R 111 de l'OIML ou à la décision n°10.00.600.001.1 du 28 Juin 2010, la masse conventionnelle (M) du corps pesé est donnée par la relation approchée suivante, les termes du second ordre étant négligés :

$$M = x - E_I + C$$

dans laquelle :

- M est la **masse conventionnelle** du corps,
- x est le **résultat de la pesée** du corps, défini par :

$$x = I_c - I_o$$

avec : I_c : indication de l'instrument **après** avoir placé le corps sur son récepteur de charge,
 I_o : indication de l'instrument **avant** de placer le corps sur son récepteur de charge,

- E_I est l'**erreur d'indication** de l'instrument de pesage, donnée par l'étalonnage,
- C est une **correction de poussée de l'air** qui vaut :

$$\left(\frac{a}{r} - \frac{a_0}{r_0} \right) \cdot x \quad \text{lorsque la grandeur mesurée } (M) \text{ est la masse conventionnelle}$$

avec : a : masse volumique de l'air ambiant lors de la pesée, exprimée en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
 a_0 : masse volumique de l'air conventionnelle égale à $1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
 r : masse volumique du corps pesé, exprimée en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,
 r_0 : masse volumique conventionnelle égale à $8\,000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$.

Si la masse volumique de l'air n'est pas déterminée lors de la pesée, il est possible, dans les conditions habituelles de pesée, de prendre la valeur $1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ avec une incertitude-type associée de $0,06 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ et ceci jusqu'à une altitude de 600 mètres.

Il est fréquent qu'un instrument de pesage soit utilisé en considérant comme négligeable la correction de justesse ($- E_I$) ou la correction de poussée de l'air ($+ C$). Dans ce cas, il en sera tenu compte dans le calcul de l'incertitude sur (M) par des composantes appropriées.

3. Expression de l'incertitude de la masse conventionnelle du corps pesé

L'incertitude sur la masse (ou la masse conventionnelle) du corps pesé fait intervenir deux termes :

- l'incertitude de l'instrument de pesage $u(IP)$, qui regroupe les incertitudes sur x et sur E_I ,
- l'incertitude de la correction de poussée de l'air.

Il s'y ajoute également, si nécessaire, une composante relative aux conditions particulières de pesée u_{autre} à documenter (stabilité des indications, caractéristiques particulières du corps, ...).



3.1. Incertitude de l'instrument de pesage $u(IP)$

Lorsque l'incertitude de l'instrument de pesage a été établie dans le Certificat d'Etalonnage, elle est exprimée sous la forme $u(IP) = \alpha + \beta \cdot x$ et deux valeurs de cette expression peuvent être données : l'une pour le cas où la correction de justesse est appliquée au calcul de (M) et l'autre lorsque cette correction est négligée. La valeur de la composante d'incertitude est donc choisie en conséquence. Il faut par ailleurs veiller à ce que les conditions précisées dans le Certificat d'Etalonnage pour lesquelles ces valeurs sont établies sont respectées lors de la pesée du corps. Si l'incertitude de l'instrument de pesage n'a pas été établie lors de l'étalonnage de l'instrument, il est nécessaire de la déterminer conformément au guide COFRAC LAB GTA 95 disponible via le lien www.cofrac.fr.

3.2. Incertitude de la correction de poussée de l'air

L'incertitude de la correction de poussée de l'air fait intervenir deux composantes, celle, notée u_a relative à la détermination de la masse volumique de l'air, et celle notée u_r associée à la masse volumique du corps pesé.

Si la correction de poussée de l'air est négligée dans le calcul de (M), l'incertitude-type associée à cette non-corrrection, notée u_{ncpa} vaut, dans les conditions habituelles de pesée, l'une des valeurs définies dans le tableau 1. Elles y sont données sous forme relative obtenue en divisant u_{ncpa} par x et sont fonction de la grandeur mesurée (masse ou masse conventionnelle) pour 2 domaines de la masse volumique (r) du corps.

Tableau 1 : Incertitude-type relative u_{ncpa}/x due à la non correction de la poussée de l'air

Masse volumique (r) du corps pesé	Masse conventionnelle
$500 \text{ kg.m}^{-3} \leq r \leq 2\,500 \text{ kg.m}^{-3}$	$u_{ncpa}/x = 1,5 \cdot 10^{-4}$
$2\,500 \text{ kg.m}^{-3} < r \leq 9\,000 \text{ kg.m}^{-3}$	$u_{ncpa}/x = 2,1 \cdot 10^{-5}$

Les valeurs u_{ncpa}/x de ce tableau sont égales à la moitié de la correction maximale de poussée de l'air dans le domaine de masse volumique du corps considéré et pour les variations maximales de température t_{air} , de pression P_{atm} , et de taux d'humidité relative HR_{air} de l'air suivantes :

$$0 \text{ } ^\circ\text{C} \leq t_{\text{air}} \leq 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$963 \text{ hPa} \leq P_{\text{atm}} \leq 1\,063 \text{ hPa}$$

$$0 \% \text{ HR} \leq HR_{\text{air}} \leq 100 \% \text{ HR}$$

A ces conditions, il correspond une fourchette de masse volumique (a) de l'air donnée par : $1,072 \text{ kg.m}^{-3} \leq a \leq 1,356 \text{ kg.m}^{-3}$.

3.3. Incertitude $u(M)$ de la masse conventionnelle

Le tableau 2 ci-après récapitule les composantes de l'incertitude de (M). Ces composantes sont évaluées pour chaque charge d'étalonnage appliquée (m_i) par rapport au résultat de la pesée (x).

Tableau 2 : Composantes d'incertitude-type de la masse ou de la masse conventionnelle (M)

ORIGINE	COMPOSANTE	INCERTITUDE-TYPE
Instrument de pesage	Incertainde-type de l'instrument de pesage	$u(IP) = \alpha + \beta \cdot x$ Les coefficients α et β sont choisis en fonction de l'application ou non des corrections de justesse de l'instrument.
Correction de poussée de l'air (C)	appliquée	$\frac{u_a}{x} m_i = \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r_0} \right) u(a) m_i$
	à la masse volumique de l'air	
	à la masse volumique du corps	Calcul de (M) en masse conventionnelle $\frac{u_r}{x} m_i = \frac{a - a_0}{r^2} u(r) m_i$
ou négligée	Incertainde-type due à la non correction	$\frac{u_{ncpa}}{x} m_i$ La valeur est choisie dans le tableau 1.
Autres composantes	Conditions particulières de pesée	u_{autre} à documenter
Incertainde-type composée	Si correction (C) appliquée :	$u(M) = \sqrt{u(IP)^2 + \left(\frac{u_a}{x} m_i \right)^2 + \left(\frac{u_r}{x} m_i \right)^2 + u_{\text{autre}}^2}$
	Si correction (C) négligée :	$u(M) = \sqrt{u(IP)^2 + \left(\frac{u_{ncpa}}{x} m_i \right)^2 + u_{\text{autre}}^2}$
Incertainde élargie sur (M) ($k = 2$)	$U(M) = 2 \cdot u(M)$	

4. Suivi d'un instrument de pesage

Il est recommandé à l'utilisateur de réaliser un suivi métrologique de son instrument de pesage par exemple en contrôlant périodiquement :

- la répétabilité des résultats des pesées,
- l'erreur d'indication de l'instrument.