



## Métrologie des pressions

LAB GTA 11 – Révision 03

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI





## SOMMAIRE

<b>1. OBJET DU DOCUMENT</b> .....	<b>3</b>
<b>2. REFERENCES</b> .....	<b>3</b>
<b>3. DOMAINE D'APPLICATION</b> .....	<b>4</b>
<b>4. MODALITES D'APPLICATION</b> .....	<b>5</b>
<b>5. MODIFICATIONS APORTEES A L'EDITION PRECEDENTE</b> .....	<b>5</b>
<b>6. EXPRESSION DE LA PORTEE D'ACCREDITATION</b> .....	<b>6</b>
<b>7. GUIDE DE LECTURE DES EXIGENCES NORMATIVES ET RECOMMANDATIONS</b> .....	<b>6</b>
7.1. DEFINITION DES PROGRAMMES D'ETALONNAGE .....	6
7.1.1. <i>Etalonnage des balances de pression utilisées en pression relative</i> .....	7
7.1.2. <i>Etalonnage des balances de pression utilisées en pression absolue</i> .....	7
7.1.3. <i>Etalonnage d'autres types d'appareils pour des pressions relatives, ou des pressions absolues supérieures à 1000 Pa</i> .....	8
7.1.4. <i>Etalonnage d'autres types d'appareils pour des pressions absolues inférieures à 1000 Pa</i> .....	9
7.1.5. <i>Cas des prestations de vérification</i> .....	9
<b>8. EVALUATION DES INCERTITUDES D'ETALONNAGE</b> .....	<b>9</b>
8.1. CAS GENERAL .....	9
8.2. PARTICULARITES POUR LES BALANCES DE PRESSION .....	11
<b>9. PRESENTATION DU BILAN DES INCERTITUDES</b> .....	<b>12</b>
<b>10. IDENTIFICATION ET INFORMATIONS RELATIVES AUX ETALONS</b> .....	<b>12</b>
<b>11. ASSURANCE DE LA VALIDITE DES RESULTATS</b> .....	<b>12</b>
<b>12. RECOMMANDATIONS POUR LES ETALONNAGES SUR SITE</b> .....	<b>13</b>
12.1. INSTALLATIONS ET CONDITIONS AMBIANTES .....	13
12.2. EVALUATION DES INCERTITUDES SUR SITE .....	13
12.3. LE PERSONNEL .....	13
12.4. TRAÇABILITE DES ETALONNAGES SUR SITE .....	13
12.4.1. <i>Paramètres d'influence</i> .....	13
12.4.2. <i>Etalons</i> .....	13
12.5. MEILLEURES POSSIBILITES D'ETALONNAGE SUR SITE .....	14
<b>13. PRESENTATION DES RESULTATS</b> .....	<b>14</b>
<b>14. PRESENTATION DES DOCUMENTS EN VUE DE L'ACCREDITATION</b> .....	<b>15</b>



## 1. OBJET DU DOCUMENT

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, ...) 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.

Le présent Guide Technique d'Accréditation (GTA) vise à établir des recommandations issues des bonnes pratiques admises dans le domaine de la vérification des machines d'essais mécaniques. Il constitue un guide de lecture des exigences de ladite norme pour ce domaine.

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

## 2. REFERENCES

Le présent guide prend en compte les exigences des documents suivants :

- 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 ;
- GEN REF 10 – Traçabilité des résultats de mesure – Politique du Cofrac et modalités d'évaluation ;
- JCGM 100 (G.U.M) – Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure ;
- JCGM 200 (V.I.M) – Vocabulaire International de Métrologie Concepts fondamentaux et généraux et termes associés ;
- Document EA-4/02 – Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration;
- ILAC G 17 – ILAC guidelines for measurements uncertainty in testing ;
- ILAC P 14 – ILAC Policy for uncertainty in calibration ;

En complément des documents d'exigences précités, ci-dessous est fournie une liste non exhaustive de documents et guides dont l'utilisation peut s'avérer nécessaire ou appropriée. Le laboratoire 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.

- LAB GTA 10 – Guide technique d'accréditation – métrologie des grandeurs électriques, magnétiques et temporelles ;



- NF EN 837-1 – Manomètres - Partie 1 : manomètres à tube de Bourdon. Dimensions, métrologie, prescriptions et essais ;
- NF EN 837-2 – Manomètres - Partie 2 : Recommandations sur le choix et l'installation des manomètres ;
- NF EN 837-3 – Manomètres - Partie 3 : manomètres à membrane et manomètres à capsule. Dimensions, métrologie, prescriptions et essais.
- RM.Aéro 800 01 – Définitions et calculs d'erreurs - Incertitude de mesure ;
- RM.Aéro 802 01 – Guide de choix des instruments de mesure de pression ;
- RM.Aéro 802 02 – Évaluation des incertitudes sur les mesures de pression ;
- RM.Aéro 802 10 – Manomètres à colonne de liquide ;
- RM.Aéro 802 10 – Vérification et étalonnage des instruments de mesurage - Mesures de pression - Manomètres à mercure (Pressions altimétriques, anémométriques, et applications similaires) ;
- RM.Aéro 802 11 – Procédures d'étalonnage et de vérification périodique sur site d'une chaîne de mesurage des pressions ;
- RM.Aéro 802 12 – Étalonnage et utilisation des balances de pression à piston tournant à huile ;
- RM.Aéro 802 20 – Vérifications et étalonnage des instruments de mesurage - Mesures de pression - Balances à piston (Pressions altimétriques, anémométriques, et applications similaires) ;
- RM.Aéro 802 21 – Étalonnage et utilisation des balances manométriques - Balance à application de masses ;
- RM.Aéro 802 30 – Vérification et étalonnage des instruments de mesurage - Mesures de pression - Manomètres de précision à éléments déformables - (Gammes des pressions altimétriques, anémométriques et applications similaires) ;
- RM.Aéro 802 41 – Etalonnage et utilisation des manomètres électromécaniques ;
- RM.Aéro 802 42 – Générateurs et générateurs-mesureurs de pression ;
- EURAMET cg-3 – Calibration of Pressure Balances ;
- EURAMET Calibration Guide No. 17 – Guidelines on the Calibration of Electromechanical and Mechanical Manometers

### 3. DOMAINE D'APPLICATION

Ce guide s'applique au domaine de la métrologie des pressions. Il s'adresse :

- aux laboratoires accrédités ou candidats à l'accréditation dans le domaine de la vérification des machines d'essais mécaniques ;
- aux laboratoires d'essais accrédités réalisant des prestations dans ce domaine pour leur propre usage dans le cadre de leur métrologie interne ;
- aux évaluateurs du Cofrac, il constitue en outre une base d'harmonisation à leur usage ;
- aux membres des instances décisionnelles du Cofrac (Comité de Section, Commission d'Accréditation "Physique-Mécanique") ;
- aux membres de la structure permanente du Cofrac.

La liste, non exhaustive, des principales familles d'instruments de mesure sur lesquelles le Cofrac établit l'accréditation en étalonnage dans le domaine pression est présentée ci-dessous :



- balance manométrique, diviseur ou multiplicateur de pression,
- capteur<sup>1</sup> ou transmetteur de pression<sup>2(2)</sup>,
- manomètre à lecture directe (chaîne de mesure de pression numérique ou à aiguille, vacuomètre, transmetteur intelligent),
- manomètre numérique à piston,
- manomètre à colonne de liquide,
- manomètre à vide,
- manomètre à viscosité,
- baromètre,
- fuite de référence,
- générateur de pression.

**Note** : Les recommandations relatives à l'étalonnage d'un indicateur de pression par simulation électrique ne sont pas traitées dans ce guide. Cependant le laboratoire est invité à consulter le guide technique d'accréditation en métrologie des grandeurs électriques, magnétiques et temporelles LAB GTA 10.

#### 4. MODALITES D'APPLICATION

Le présent document est applicable à compter du **16 janvier 2023**.

Dans ce document, les formes verbales suivantes sont utilisées.

Le terme « **doit** » exprime 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 apportées sont indiquées par une marque de révision en marge gauche du document.

La révision du document vise principalement à :

- aligner le contenu de ce guide aux exigences de la nouvelle version 2017 de la norme NF EN ISO/IEC 17025 et supprimer les références à la norme NF EN ISO/CEI 17025 : 2005 ;
- préciser l'objet du document et son domaine d'application ;

<sup>1</sup> Un capteur de pression transforme la pression en signal électrique « bas niveau » issu directement du corps d'épreuve

<sup>2</sup> Un transmetteur de pression est généralement de nature électronique ou numérique, il traite la mesure recueillie par le corps d'épreuve afin de le transformer en un signal électrique « haut niveau » de valeur conventionnelle (4-20 mA, 0-10 V, ...). Les transmetteurs « intelligents » délivrent également une information numérique en unité de pression. Ils sont considérés dans ce cas comme des manomètres numériques.



- mettre à jour les références documentaires et supprimer la référence au document EA-4/16 ;
- tenir compte des documents ILAC G17, ILAC P14 et du document EURAMET Calibration Guide No. 17 ;
- supprimer le § 7.1.6 relatif à la dégradation des incertitudes accréditées ;
- supprimer les exemples de portées d'accréditation qui ont été intégrés dans le document LAB INF 39.

## 6. EXPRESSION DE LA PORTEE D'ACCREDITATION

L'expression de la compétence d'un organisme est décrite dans sa portée d'accréditation conformément au LAB REF 08. Les incertitudes exprimées dans la portée correspondent aux meilleures incertitudes d'étalonnage que le laboratoire revendique, conformément au document ILAC P14.

Le document LAB INF 39 présente la nomenclature des portées d'accréditation dans le domaine. Lors d'une demande d'accréditation (initiale ou extension), le laboratoire se reporte aux tableaux figurant dans ce document pour établir sa portée d'accréditation.

Il convient que les laboratoires accrédités en étalonnage, réalisant le raccordement d'étalons de travail selon la voie 3 interne définie dans le GEN REF 10, enregistrent également, pour un usage interne, leurs meilleures possibilités d'étalonnage suivant les modèles de portée présentés dans le document précité.

## 7. GUIDE DE LECTURE DES EXIGENCES NORMATIVES ET RECOMMANDATIONS

### 7.1. Définition des programmes d'étalonnage

Afin d'homogénéiser les pratiques des différents laboratoires et de garantir une cohérence entre les programmes d'étalonnage et l'incertitude d'étalonnage recherchée, les laboratoires postulant à une accréditation sont invités à observer et documenter les prestations minimales ci-dessous. Ces programmes d'étalonnage ont pour but d'acquérir les informations nécessaires à l'évaluation de l'incertitude d'étalonnage.

Dans les recommandations décrites ci-après, on entend par incertitude d'étalonnage, l'incertitude élargie recherchée correspondant à deux fois l'incertitude-type composée. Une méthode d'évaluation de cette dernière est précisée au chapitre 7.2.

Des minima portant sur le nombre de cycles et le nombre de points de pression sont proposés.

Pour information, les meilleures incertitudes de mesure obtenues avec les principaux types d'instruments sont généralement comprises dans les limites suivantes :

- balance manométrique :  $1 \cdot 10^{-5} \cdot P$  à  $5 \cdot 10^{-4} \cdot P$ ,
- manomètre numérique à piston tournant :  $2 \cdot 10^{-5} \cdot P$  à  $5 \cdot 10^{-4} \cdot P$ ,
- capteur à quartz :  $5 \cdot 10^{-5} \cdot P$  à  $1 \cdot 10^{-3} \cdot P$ ,
- capteur à jauge de contrainte :  $5 \cdot 10^{-4} \cdot P$  à  $1 \cdot 10^{-2} \cdot P$ ,
- manomètre métallique :  $1 \cdot 10^{-3} \cdot P$  à  $1 \cdot 10^{-1} \cdot P$ ....

Avec  $P$  la pression mesurée (absolue ou relative)

Ces recommandations s'appliquent dans le cas d'étalonnages d'instruments sur une plage correspondant à leur étendue de mesure. Si la plage d'étalonnage est plus restreinte que l'étendue de mesure dans une demande particulière d'un client (tracée dans la revue de contrat), le laboratoire



peut ajuster sa procédure en fonction du domaine évalué. De la même manière, la procédure peut être ajustée selon la technologie du capteur (cas des manomètres numériques utilisés en pression relative et absolue, cas de manomètres multi gammes).

Si le laboratoire n'utilise pas ces recommandations, validées et largement répandues dans les laboratoires accrédités, il peut proposer ses propres méthodes sous réserve d'une validation de celles-ci.

Conformément au § 7.2.2 de la norme NF EN ISO/IEC 17025, le laboratoire doit justifier son choix et valider les méthodes et les performances métrologiques associées.

### 7.1.1. Etalonnage des balances de pression utilisées en pression relative

Deux méthodes sont proposées, la méthode 1 n'est généralement pas employée quand la plus faible incertitude d'étalonnage est exigée par le client :

- méthode 1 : réaliser au moins 3 séries, par pression croissante et/ou décroissante, comportant au moins 5 points de pression répartis régulièrement sur l'étendue de mesure. Pour les balances possédant une double étendue de mesure, réaliser au moins 5 points de pression sur chaque étendue de mesure ; le résultat de l'étalonnage est la pression équivalente à la masse appliquée ;
- méthode 2 : réaliser de 3 à 5 séries, par pression croissante et/ou décroissante, comportant au moins 6 points de pression, le premier point étant la valeur minimale ou maximale de l'étendue de mesure et les autres points étant répartis sur la totalité de l'étendue ; le résultat de l'étalonnage est la section effective de l'ensemble piston-cylindre.

### 7.1.2. Etalonnage des balances de pression utilisées en pression absolue

Deux solutions sont envisageables :

- effectuer l'étalonnage en pression relative, puis réaliser, en pression absolue, 3 séries comportant 3 points de pression afin de déterminer la justesse et confirmer la répétabilité obtenue en pression relative ;
- étalonner en pression absolue :
  - incertitude d'étalonnage  $\geq 5 \cdot 10^{-5} \cdot P$  : réaliser au moins 3 séries, par pression croissante et/ou décroissante, comportant au moins 5 points de pression ;
  - incertitude d'étalonnage  $< 5 \cdot 10^{-5} \cdot P$  : réaliser au moins 3 séries, par pression croissante et/ou décroissante, comportant au moins 8 points de pression.

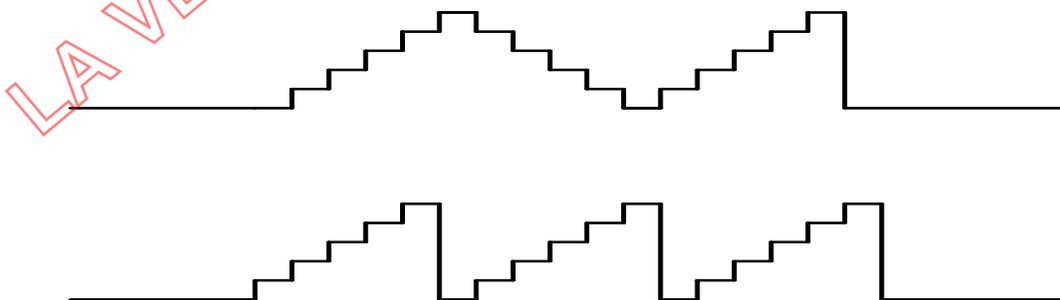


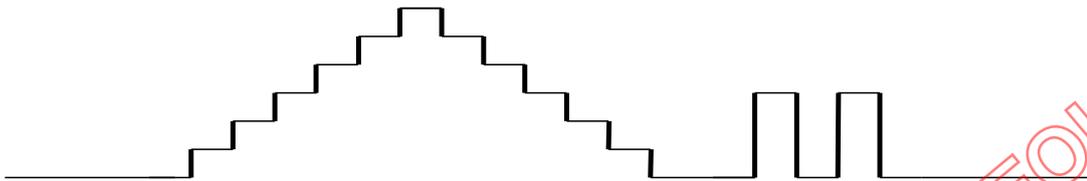
Figure 1 : Exemples d'étalonnage d'une balance manométrique en pression relative suivant une prestation de 3 séries de 5 points de pression.



### 7.1.3. Etalonnage d'autres types d'appareils pour des pressions relatives, ou des pressions absolues supérieures à 1000 Pa

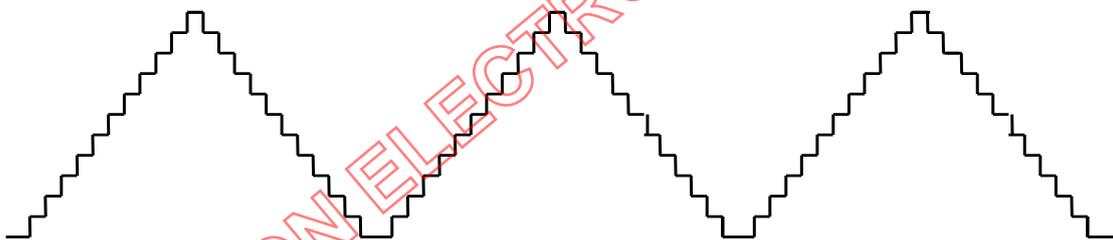
Cas des manomètres numériques, métalliques, capteurs avec chaîne de mesure associée, capteurs à sortie électrique, colonnes de liquide...

- incertitude d'étalonnage  $\geq 0,2\%$  de l'étendue de mesure (EM) : réaliser au minimum 1 cycle montée-descente de 6 points de pression et évaluer la répétabilité sur 1 point de pression répété 3 fois ;



**Figure 2 :** Exemple d'étalonnage d'un manomètre métallique en pression absolue suivant une prestation d'un cycle montée-descente de 6 points de pression, suivi de deux mises à la pression au point considéré pour déterminer la répétabilité.

- $0,2\%$  de l'EM) > incertitude d'étalonnage  $\geq 0,05\%$  de l'EM : réaliser au minimum 1 cycle montée-descente de 11 points de pression et évaluer la répétabilité sur au moins 3 points de pression (par exemple à 20, 50 et 80 % de l'étendue de mesure (EM)) à la montée répétés 3 fois ;
- incertitude d'étalonnage  $< 0,05\%$  de l'EM : réaliser au minimum 3 cycles montée-descente de 11 points de pression.



**Figure 3 :** Exemple d'étalonnage d'un manomètre numérique en pression absolue suivant une prestation de 3 cycles montée-descente de 11 points de pression.

Lorsque les informations concernant les qualités métrologiques de l'instrument de mesure sont incomplètes, le programme d'étalonnage est déterminé en fonction de l'incertitude d'étalonnage recherchée (correspondant à la demande du client).

Conformément au § 7.1 de la norme NF EN ISO/IEC 17025, le laboratoire doit proposer la méthode appropriée à l'étalonnage du matériel du client. En aucun cas, le laboratoire ne peut délivrer dans le certificat d'étalonnage une incertitude d'étalonnage inférieure à celle du programme mis en œuvre. Par exemple, dans le cas d'étalonnage d'un manomètre dont l'incertitude d'étalonnage recherchée est supérieure à 0,2 % de l'étendue de mesure : l'application du programme d'étalonnage d'un cycle montée-descente de 6 points de pression peut révéler une incertitude d'étalonnage inférieure à 0,2 % de l'étendue de mesure. Dans ce cas, l'incertitude d'étalonnage est dégradée à la valeur de l'incertitude recherchée, soit 0,2 % de l'étendue de mesure. Par ailleurs, si le zéro est mesurable, ce point fait partie du programme d'étalonnage.



#### 7.1.4. Etalonnage d'autres types d'appareils pour des pressions absolues inférieures à 1000 Pa

*Cas des manomètres numériques, métalliques, capteurs avec chaîne de mesure associée, capteurs à sortie électrique, colonnes de liquide, dans le domaine du vide.*

En lien avec NF EN ISO/IEC 17025 § 7.8.4.1.b), l'indication du vide limite donné par l'étalon et atteint avant le début de l'étalonnage, ainsi que la pression délivrée de l'instrument sous test, doivent être mentionnées dans le certificat.

Le laboratoire devrait réaliser au minimum de trois points par décade avec un minimum de six points sur l'étendue de mesure du manomètre concerné.

La répétabilité des instruments devrait être évaluée à partir d'au moins deux points obtenus par pression croissante.

Dans le cas des capteurs capacitifs, si le capteur est utilisé en pressions décroissantes alors que l'étalonnage est réalisé en pressions croissantes, il est recommandé de caractériser l'hystérésis du capteur ou d'alerter le client, au niveau de la revue de la demande et dans le certificat, sur le mode d'étalonnage et le risque lié à un mode d'étalonnage différent du mode d'utilisation.

#### 7.1.5. Cas des prestations de vérification

Avant toute prestation de vérification, l'instrument est étalonné. La prestation d'étalonnage devrait être conforme aux préconisations minimales prescrites précédemment, ou définies par le client.

Le § 7.8.6 du document LAB REF 02 précise certaines exigences de la norme NF EN ISO/IEC 17025 pour les règles de déclaration de conformité.

## 8. EVALUATION DES INCERTITUDES D'ETALONNAGE

L'incertitude d'étalonnage comprend des composantes liées à la pression délivrée par l'étalon, à l'opérateur, à l'environnement, à la méthode et à l'équipement à étalonner.

Conformément au § 4.3 de l'ILAC P14, la meilleure incertitude présentée dans la portée d'accréditation tient compte de la contribution du meilleur équipement susceptible d'être soumis à étalonnage.

Conformément au § 5.4 de l'ILAC P14, lors de l'étalonnage d'un instrument, le laboratoire doit évaluer l'incertitude d'étalonnage tenant compte des conditions particulières d'étalonnage et de la contribution de l'instrument étalonné.

Dans la suite de ce chapitre ne seront détaillées que les composantes autres que celles liées à l'instrument à étalonner.

Cette aide à l'évaluation des incertitudes s'inspire du GUM, « guide pour l'expression de l'incertitude de mesure » et de la démarche présentée dans le document EA-4/02 et ses compléments.

### 8.1. Cas général

Lors de la détermination des incertitudes élémentaires, il convient d'évaluer tous les paramètres pouvant avoir une influence sur les mesures. Les principales causes d'incertitude sont indiquées ci-après (il est évident qu'en fonction des technologies mises en œuvre, d'autres causes peuvent apparaître : les perturbations électromagnétiques par exemple) :

#### a) La répétabilité des mesures

La répétabilité des mesures est évaluée par la détermination de l'écart-type des écarts entre pression de référence et pression mesurée.



La répétabilité est déterminée à l'aide de l'écart-type expérimental sur la moyenne suivant les lois statistiques appropriées (coefficient de Student).

*b) La composante d'incertitude liée au raccordement*

L'incertitude-type d'étalonnage est égale à l'incertitude élargie d'étalonnage divisée par le facteur d'élargissement  $k$ , généralement pris égal à 2.

*c) La composante d'incertitude relative à la constance des étalons*

L'incertitude liée à la constance est calculée à partir de l'écart maximal observé entre deux étalonnages successifs si l'on dispose d'un historique suffisant.

Dans le cas général, l'incertitude-type est prise égale au plus grand écart divisé par  $\sqrt{3}$ .

Si le paramètre suivi évolue de manière aléatoire (variation indifféremment positive ou négative si l'on dispose d'un nombre statistiquement suffisant de valeurs), l'incertitude-type est égale à l'écart type de l'ensemble des valeurs observées.

En l'absence d'historique, toute autre méthode documentée, issue du retour d'expérience ou des données constructeur par exemple, peut être utilisée.

Dans le cas d'un matériel neuf en particulier, l'incertitude type de constance peut être estimée à partir des données fournies par le constructeur ou par toute autre méthode documentée.

*d) L'effet de la température ambiante du laboratoire où est réalisé l'étalonnage*

La température d'utilisation de l'étalon pouvant, d'une part, être différente de celle de l'étalonnage, et d'autre part fluctuer différemment de celle d'étalonnage, il convient d'en tenir compte et de la caractériser (ceci peut être réalisé au moyen d'un modèle linéaire en déterminant un coefficient de température).

*e) La composante d'incertitude liée à la hauteur de colonne de fluide correspondant à la différence de hauteur entre les niveaux de référence de l'étalon et de l'équipement de mesure à étalonner*

Les composantes f), g), h), i), j), k) et l) ne concernent pas les balances raccordées en section et en masse.

*f) L'erreur de justesse de l'étalon*

En l'absence de modélisation ou d'absence de correction, l'erreur de justesse de l'étalon est traitée comme une Correction Non Appliquée.

En cas de modélisation de la réponse de l'étalon, la pratique la plus simple et la plus courante dans les laboratoires d'étalonnage pour déterminer l'équation de la relation d'étalonnage est d'utiliser la méthode des moindres carrés, programmée dans de nombreux logiciels. Cette dernière repose sur l'hypothèse que les incertitudes d'étalonnage sont comparables en tous les points du domaine d'étalonnage (hypothèse d'homoscédasticité).

Si ce n'est pas le cas, d'autres méthodes plus complexes peuvent être mises en œuvre, telles que les moindres carrés pondérés.

Quelle que soit la méthode (moindres carrés, pondérés ou non, interpolation polynomiale, approximation par segment ...), l'observation des résidus est une étape indispensable pour juger de l'adéquation du modèle. Les résidus étant calculés, une méthode simple et robuste pour déterminer l'incertitude-type de modélisation est de quantifier la dispersion de ces résidus, soit par une méthode de type A (si le nombre de résidus le permet), soit par une méthode de type B, en associant une loi de distribution uniforme au résidu le plus grand (en valeur absolue).

*g) Dans le cas d'appareils à sortie électrique, la composante d'incertitude liée à l'utilisation de la chaîne de mesure électrique*

Le laboratoire peut dans ce cas s'appuyer sur le LAB GTA 10, Guide d'accréditation en métrologie des grandeurs électriques, magnétiques et temporelles.



- h) *Dans le cas de la prise en compte de la valeur de la pression atmosphérique, la composante d'incertitude liée à la mesure de la pression atmosphérique durant l'étalonnage*

Cela peut par exemple concerner une balance de pression étalonnée en pression relative et utilisée pour réaliser un étalonnage en pression absolue.

- i) *Pour les manomètres numériques, les composantes d'incertitude liées à la remise à zéro et/ou au calibrage*
- j) *La composante d'incertitude liée à la quantification (ou lecture du signal)*
- k) *La composante d'incertitude liée à l'hystérésis de l'étalon, s'il n'est pas déjà pris en compte lors de la modélisation,*

*correspondant à la différence de pression appliquée pour un même point d'indication ou à la différence d'indication de pression pour la même pression appliquée, à pression montante et à pression descendante,*

- l) *La composante d'incertitude liée à la stabilité de la pression générée.*

## 8.2. Particularités pour les balances de pression

Parmi les composantes d'incertitude à évaluer, il y a celles liées :

- a) *aux masses divisionnaires,*

L'influence des masses divisionnaires sur la pression équilibrée est faible et leur étalonnage individuel n'aurait pas de justification métrologique. Le risque réside dans une inversion des masses. Il convient donc de vérifier la masse totale des masses divisionnaires à chaque étalonnage des masses.

Le critère de vérification des masses devrait être cohérent avec la composante d'incertitude associée

- b) *à l'accélération de la pesanteur,*
- c) *La détermination de l'accélération de la pesanteur et de l'incertitude associée peut s'effectuer par mesure ou à défaut par calcul à la température des ensembles piston - cylindre*

Si la rotation de la partie mobile est assurée par un moteur interne et s'il n'y a pas de sonde de température, le laboratoire devrait évaluer et prendre en compte l'échauffement dû au fonctionnement de ce moteur.

Lorsque la balance est munie d'une sonde de température, le raccordement de cette grandeur peut être envisagé de l'une des manières suivantes :

- le client (c'est-à-dire l'utilisateur de la balance à raccorder) réalise un étalonnage séparé de la sonde de température ; il fournit le certificat d'étalonnage au laboratoire "pression" qui reporte dans le certificat d'étalonnage de la balance la méthode de calcul de la température, en respectant les exigences du § 7.8.2.2 de la norme NF EN ISO/IEC 17025 ;
- l'opération d'étalonnage de la sonde étant risquée, la valeur de la sonde de température fournie par le constructeur peut être utilisée ; une éventuelle dérive de la sonde se traduira par une dérive de la section effective, mais sera prise en compte ;
  - dans ces deux premiers cas, le client (c'est-à-dire l'utilisateur de la balance à raccorder) et le laboratoire de raccordement raccordent l'indicateur de température ;
- le client (c'est-à-dire l'utilisateur de la balance à raccorder) fournit au laboratoire de raccordement la chaîne complète de mesure de la température, ainsi que la correction éventuelle qu'il applique.

Le client (c'est-à-dire l'utilisateur de la balance à raccorder) doit impérativement avoir fixé ce point avec le laboratoire de raccordement, afin principalement de savoir si les données d'étalonnage sont ou non corrigées de la température et de quelle manière.



- d) à la poussée de l'air
- e) à la verticalité du piston
- f) le cas échéant, aux erreurs résiduelles inhérentes à la modélisation retenue,
- g) le cas échéant, à la tension superficielle du fluide de lubrification.

## 9. PRESENTATION DU BILAN DES INCERTITUDES

Il convient que le laboratoire fasse apparaître dans sa documentation technique, pour chaque programme d'étalonnage :

- les incertitudes identifiées et la méthode retenue pour quantifier l'incertitude type associée (avec loi de distribution choisie le cas échéant), ce pour la pression générée à l'entrée de l'instrument de mesure étalonné,
- l'incertitude d'étalonnage par famille d'instruments de mesure,
- la méthode de combinaison retenue pour l'expression de l'incertitude finale .
  - dans le cas de variables indépendantes, l'incertitude-type composée s'obtient en effectuant la somme quadratique des incertitudes-types (voir JCGM 100). Elle peut ensuite être modélisée sur l'ensemble de l'étendue de mesure en utilisant par exemple la méthode de la corde (Annexe 5 – RM Aéro 800 01B)
  - dans le cas de variables corrélées, la détermination de l'incertitude-type composée prend en compte les covariances entre chaque grandeur (voir JCGM 100).

Un modèle de tableau récapitulatif est présenté dans le document EA-4/02 (cf. table 4.1).

## 10. Identification et informations relatives aux étalons

Le laboratoire devrait distinguer, le cas échéant, **les étalons de référence des étalons de travail**, les étalons susceptibles d'être employés à l'extérieur du laboratoire, les étalons susceptibles d'être utilisés hors du cadre de l'accréditation.

En lien avec les § 6.4.3 et 6.4.13 de la norme NF EN ISO/IEC 17025, les informations suivantes relatives aux étalons doivent, entre autres, être documentées :

- Identification ;
- Suivi des caractéristiques physiques et métrologiques issues des résultats d'étalonnage et des comparaisons internes / externes ;
- Conditions de conservation et d'utilisation (moyen de contrôle de la température).

Il peut également être utile de documenter le principe physique et principe de la mesure (notamment électrique) de l'étalon.

## 11. Assurance de la validité des résultats

Conformément aux § 7.7.2 et 7.7.3 de la NF EN ISO/IEC 17025 et du LAB REF 02, le laboratoire doit participer à des comparaisons interlaboratoires pertinentes et en analyser les résultats.

En parallèle de cette démarche, et afin de répondre au § 7.7.1 de la norme, le laboratoire peut exploiter les possibilités de redondance interne qui sont à sa disposition.



## 12. RECOMMANDATIONS POUR LES ETALONNAGES SUR SITE

### 12.1. Installations et conditions ambiantes

Dans le cadre de prestations réalisées sur site, le laboratoire doit maîtriser les installations et conditions ambiantes, conformément au § 6.3.5 de la norme NF EN ISO/IEC 17025.

Une revue exhaustive des informations relatives aux installations et conditions ambiantes devrait être par conséquent menée lors de la revue de contrat.

### 12.2. Evaluation des incertitudes sur site

L'évaluation des incertitudes sur site doit notamment tenir compte de la dégradation en fonction des conditions environnementales. Il convient que cette évaluation soit rédigée dans une procédure et fournie dans la documentation technique. Cette procédure peut être complétée avec des exemples d'étalonnage-type représentatifs de l'activité du laboratoire que celui-ci souhaite inclure dans ses possibilités d'étalonnage sur site.

### 12.3. Le personnel

Le personnel intervenant sur site doit être qualifié suivant une procédure et des critères de validation définis.

Les tâches spécifiques aux prestations sur site devraient être explicitement détaillées dans cette procédure.

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

Compte tenu de la spécificité des activités sur site, le laboratoire devrait mettre en place un processus interne de surveillance technique (personnel, moyen, procédure, etc.) effectué sur site.

### 12.4. Traçabilité des étalonnages sur site

#### 12.4.1. Paramètres d'influence

Conformément au § 6.3 de la norme NF EN ISO/IEC 17025, le laboratoire doit documenter le domaine des conditions ambiantes dans lequel il est en capacité de réaliser des étalonnages. Il doit également démontrer qu'il a les possibilités de mesurer ces conditions ambiantes

L'influence des paramètres influant sur le comportement des étalons est prise en compte dans l'incertitude d'étalonnage (cf. chapitres 7.2.1 et 7.6.1 ci-avant).

#### 12.4.2. Etalons

En lien avec les exigences des § 6.4.4, 6.4.5 et 6.4.10 de la norme NF EN ISO/IEC 17025, les instruments utilisés dans le cadre d'un étalonnage sur site doivent faire l'objet d'une confirmation métrologique.

Une bonne pratique consiste à réaliser un étalonnage avant et après une campagne sur site.

Les périodicités de raccordement des étalons susceptibles d'être employés à l'extérieur du laboratoire devraient être adaptées en fonction du type et de la technologie de l'étalon, du volume d'instruments à étalonner et des incertitudes de raccordement et d'étalonnage recherchées. Une fiche suiveuse



(par exemple une fiche de vie) de ces étalons devrait faire état des dates et fréquences d'utilisation sur site entre deux raccordements.

Lors d'un étalonnage sur site, la sensibilité de l'étalon à la température devient souvent une cause d'incertitude prépondérante. C'est pourquoi, il est recommandé que chaque étalon utilisé pour des étalonnages sur site soit caractérisé en température individuellement dans la gamme de température d'utilisation sur site.

Conformément au § 6.4.3 de la norme NF EN ISO/IEC 17025, les conditions particulières de transport doivent être décrites.

## 12.5. Meilleures possibilités d'étalonnage sur site

Le tableau des meilleures possibilités d'étalonnage sur site est présenté de manière similaire aux autres tableaux, en incluant une mention précisant que l'étalonnage concerné est réalisé sur site (cf. LAB INF 39).

## 13. PRESENTATION DES RESULTATS

Le constat de vérification et le certificat d'étalonnage peuvent être édités sur un même document ou de manière disjointe.

Lorsque la présentation des résultats d'étalonnage fait clairement apparaître les valeurs de pression croissante et décroissante, l'incertitude d'étalonnage ne devrait pas tenir compte de la composante associée à l'hystérésis et cela devrait être indiqué clairement dans le certificat.

Afin de faciliter la compréhension et l'exploitation du certificat d'étalonnage par le client, il est recommandé que soient indiquées dans le rapport d'étalonnage :

- la liste des composantes prises en compte dans l'incertitude d'étalonnage ;
- la composante d'incertitude liée à la répétabilité par une mention claire et précise de ce qui est mesuré ;
- la composante d'incertitude liée à l'étalon afin d'identifier quel est le poids de l'étalon dans la prestation ;
- l'écart de modélisation le cas échéant;
- l'incertitude sur la modélisation le cas échéant.

Dans le cas d'établissement de constats de vérification, le laboratoire devrait mettre en place une procédure relative à la délivrance des constats de vérification assurant la traçabilité aux éléments suivants :

- la liste des normes et textes de référence,
- la liste des étalons et moyens d'étalonnage utilisés,
- la procédure d'étalonnage, faisant clairement apparaître que l'opération d'étalonnage est effectuée préalablement à l'opération de vérification.



## 14. PRESENTATION DES DOCUMENTS EN VUE DE L'ACCREDITATION

En préalable à l'accréditation, il est recommandé au laboratoire de fournir parmi les documents techniques (plan qualité, procédures) :

- Une présentation de la qualification (formation, expérience) du personnel pour les postes ayant un impact sur l'activité du laboratoire ;
- Une description des conditions limites d'environnement prises en compte pour le calcul d'incertitude ;
- Un enregistrement des conditions environnementales des locaux en été et en hiver ;
- Pour chaque famille d'instruments susceptibles d'être étalonnés sans distinction :
  - l'extrait de la procédure d'utilisation ;
  - la méthode de génération de la pression de référence ;
  - le calcul de la pression de référence se rapportant à la méthode ;
  - la présentation et la justification des incertitudes-types composant l'incertitude de la portée d'accréditation et leur mode de combinaison.
- Le calcul de l'incertitude due à l'utilisation de moyens de mesure et de génération de grandeurs électriques pour chacun de ces moyens ;
- La méthode de détermination de l'accélération de la pesanteur ( $g$ ), si nécessaire ;
- La liste des familles d'instruments susceptibles d'être étalonnés dans le cadre de l'accréditation parmi la liste présentée dans le LAB INF 39 .
- Pour chaque famille d'instruments susceptibles d'être étalonnés (y compris les étalons de travail et les étalons destinés à être employés à l'extérieur du laboratoire) :
  - les modes opératoires, incluant la méthode de génération de la pression de référence ;
  - les procédures d'estimations des incertitudes, avec les résultats des calculs, la manière de les dégrader le cas échéant et les informations permettant d'identifier l'origine des valeurs obtenues.
- un exemple de certificat d'étalonnage de chaque famille d'appareil que le laboratoire est susceptible d'étalonner,
- dans l'hypothèse où le laboratoire souhaite émettre des constats de vérification, un exemple de constat de vérification de chaque famille d'appareil que le laboratoire est susceptible de vérifier, les constats étant associés aux certificats mentionnés ci-dessus.