



Métrologie des grandeurs électriques,
magnétiques et temporelles

LAB GTA 10 - Révision 04

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI





SOMMAIRE

1. OBJET DU DOCUMENT	4
2. REFERENCES et DEFINITIONS	4
2.1 Références : Normes, guides, recommandations	4
2.2 Abréviations et Définitions	5
2.2.1 Définitions	5
2.2.2 Abréviations	9
2.3 Bibliographie	9
3. DOMAINE D'APPLICATION	9
4. MODIFICATIONS APORTEES A L'EDITION PRECEDENTE	9
5. SYNTHESE DES MODIFICATIONS	10
6. CONTEXTE NORMATIF ET RECOMMANDATIONS	10
6.1 Organisation – Système de management	10
6.2 Installations et conditions ambiantes	10
6.3 Equipements	11
6.4 Traçabilité métrologique	12
6.5 Revue des demandes, appels d'offres et contrats	12
6.6 Sélection, vérification et validation des méthodes	13
6.6.1 Sélection des méthodes	13
6.6.2 Vérification des méthodes	14
6.7 Enregistrements techniques	16
6.8 Evaluation de l'incertitude de mesure	17
6.8.1 Les incertitudes-types	17
6.8.2 Exemples d'évaluation d'incertitudes-types	18
6.8.3 Exemples d'évaluation d'incertitudes d'étalonnage	25
6.8.4 Présentation des incertitudes et du bilan d'incertitudes	25
6.8.5 Remarques particulières	26
6.9 Assurer la validité des résultats	27
6.10 Rapport sur les résultats	29
6.11 Déclaration de conformité	31
6.12 Risques et opportunités	32
7. RECOMMANDATIONS POUR LES ETALONNAGES SUR SITE	32
7.1 Personnel	32
7.2 Conditions environnementales	32
7.3 Traçabilité des étalonnages	32
7.3.1 Equipements	32
7.3.2 Méthodes et incertitudes	33
8. RECOMMANDATIONS POUR L'ETALONNAGE EN SIMULATION ELECTRIQUE ...	33



9. RECOMMANDATIONS POUR LA REALISATION DE LA METROLOGIE INTERNE .	33
10. NOMENCLATURE DES ETALONNAGES ET EXPRESSION DES PORTEES D'ACCREDITATION.....	34
Annexe 1 : Tableau récapitulatif des raccordements.....	35
Annexe 2 : Raccordement à distance aux étalons de fréquence et références de temps .	36
Annexe 3 : Liste non exhaustive des documents à transmettre pour les demandes d'accréditation initiale et d'extension	37
Annexe 4 : Estimateur pour un nombre réduit d'échantillons (application de la loi de Student).....	38
Annexe 5 : Exemples de détermination de la sensibilité d'un montage	39
Annexe 6 : Exemples de présentation d'un bilan d'incertitudes.....	41
Annexe 7 : Exemple de présentation du plan de participation aux comparaisons interlaboratoires.....	44
Annexe 8 : Exemple de critères permettant de prononcer ou non la conformité d'un équipement	49
Annexe 9 : Exemple de constat de vérification et de certificat d'étalonnage	54
Annexe 10 : Risques et opportunités	59
Annexe 11 : Exemple de présentation Portée générale / Portée détaillée.....	61

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI



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. Le présent Guide Technique d'Accréditation (GTA) établit les recommandations résultant de l'application de cette norme aux domaines de compétences recensés au chapitre correspondant.

Ces recommandations, 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 devra démontrer que les dispositions prises permettent de satisfaire pleinement le référentiel d'accréditation.

2. REFERENCES et DEFINITIONS

Ce guide correspond à l'état de la normalisation au jour de sa publication. Il est de la responsabilité du laboratoire utilisateur de prendre en compte les évolutions de la normalisation lors de l'utilisation du présent guide.

2.1 Références : Normes, guides, recommandations

Le présent document fait référence aux documents suivants :

- NF EN ISO/IEC 17025 : Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais
- GEN REF 10 : Traçabilité des résultats de mesure – Politique du Cofrac et modalités d'évaluation
- GEN REF 11 : Règles générales pour la référence à l'accréditation et aux accords de reconnaissance internationaux
- LAB REF 02 : Exigences pour l'accréditation des laboratoires selon la norme NF EN ISO/IEC 17025:2017
- NF EN ISO/IEC 17043 : Évaluation de la conformité — Exigences générales concernant les essais d'aptitude
- LAB REF 08 : Expression et évaluation des portées d'accréditation
- LAB INF 28 : Exemple d'expressions de portées en fonction du type de flexibilité
- LAB GTA 07 : Guide technique d'accréditation – Traçabilité du mesurage dans le domaine des essais de CEM, radiofréquence et mesures de DAS, EMF et les champs électromagnétiques sur site
- LAB GTA 08 : Guide Technique d'Accréditation en température
- LAB INF 26 : Métrologie des grandeurs électriques, magnétiques et temporelles - Nomenclature
- VIM (NF ISO/IEC GUIDE 99) : Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés
- GUM (NF ISO/IEC GUIDE 98-3) : Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure et ses suppléments
- La brochure « Le Système international d'unités (SI) » du Bureau international des poids et mesures (BIPM)
- EA-4/02 : Expression of the uncertainty of measurement in calibration



- 27 exemples d'évaluation d'incertitudes d'étalonnage (Collège Français de Métrologie)
- ISO/IEC Guide 98-4 (JCGM 106) Incertitude de mesure - Partie 4 : Rôle de l'incertitude de mesure dans l'évaluation de la conformité
- FD X 02-003 : Normes fondamentales - Principes de l'écriture des nombres, des grandeurs, des unités et des symboles
- X 07-011 : Métrologie - Essais - Métrologie dans l'entreprise - Constat de vérification des moyens de mesure.
- FD X 07-019 : Métrologie – Relations clients/fournisseurs en métrologie
- FD X 07-022 : Métrologie et applications de la statistique - Utilisation des incertitudes de mesures : Présentation de quelques cas et pratiques usuelles
- FD X 07-025-1 : Métrologie – Programme technique de vérification des équipements de mesure - Partie 1 : principes généraux - Démarche commune et générale pour élaborer un programme technique de vérification
- FD X 07-025-2 : Métrologie – Programmes techniques minimaux de vérification métrologique des équipements de mesure – Partie 2 : domaines électricité/magnétisme et temps/fréquence.
- FD X 07-039 : Rôle de l'incertitude de mesure dans l'évaluation de la conformité — Mise en œuvre de la norme NF ISO/IEC Guide 98-4 — Illustration au travers d'études de cas industriels
- NF EN ISO 10012 : Systèmes de management de la mesure – Exigences pour les processus et les équipements de mesure
- NF EN ISO 80000-1 : Grandeurs et unités – Partie 1 : Généralités
- NF EN ISO 80000-6 : Grandeurs et unités – Partie 6 : Electromagnétisme
- NF ISO 13528 ; Méthodes statistiques utilisées dans les essais d'aptitude par comparaisons interlaboratoires
- Recommandation UIT-R TF.538 : Mesures de l'instabilité aléatoire de fréquence et de temps (phase)
- EURAMET Technical Guide No. 3 : Guidelines on the Use of GPS Disciplined Oscillators for Frequency or Time Traceability
- EURAMET Calibration Guide cg-11 : Guidelines on the Calibration of Temperature Indicators and Simulators by Electrical Simulation and Measurement
- NIST Technical Note 1318, J.A. Barnes, D.W. Allan, Variances based on data with dead time between the measurements, 1990
- NIST Special Publication 1065, W.J. Riley, Handbook of frequency stability analysis, 2008
- The Stable32 : Program for Frequency Stability Analysis, Hamilton Technical Services
- SigmaTheta Software : logiciel de calculs numériques pour la métrologie Temps-Fréquence de l'Observatoire de Besançon

2.2 Abréviations et Définitions

2.2.1 Définitions

Pour les besoins du présent document les termes et définitions ci-après s'appliquent :

- **Comparaison interlaboratoires** (NF EN ISO/IEC 17043) : organisation, exécution et évaluation de mesurages ou d'essais sur la même entité ou sur des entités similaires par deux laboratoires ou plus selon des conditions prédéterminées.



- **Conditions de répétabilité** (VIM) : condition de mesurage dans un ensemble de conditions qui comprennent la même procédure de mesure, les mêmes opérateurs, le même système de mesure, les mêmes conditions de fonctionnement et le même lieu, ainsi que des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires pendant une courte période de temps.

Note :

- Une condition de mesurage n'est une condition de répétabilité que par rapport à un ensemble donné de conditions de répétabilité.

- **Conditions de reproductibilité** (VIM) : condition de mesurage dans un ensemble de conditions qui comprennent des lieux, des opérateurs et des systèmes de mesure différents, ainsi que des mesurages répétés sur le même objet ou des objets similaires.

Notes :

- Les différents systèmes de mesure peuvent utiliser des procédures de mesure différentes.
- Il convient qu'une spécification relative aux conditions contienne, dans la mesure du possible, les conditions que l'on fait varier et celles qui restent inchangées.

- **Confirmation métrologique** (NF EN ISO 10012) : ensemble d'opérations nécessaires pour assurer qu'un équipement de mesure répond aux exigences correspondant à l'utilisation prévue.

- **Critères d'acceptation** (FD X 07-025-1) : critères permettant de prononcer ou pas la confirmation métrologique d'un équipement de mesure vis à vis d'une prescription d'emploi. Ces critères devraient être spécifiés dans le cadre d'une relation contractuelle client/fournisseur.

- **Dérive instrumentale** (VIM) : variation continue ou incrémentale dans le temps d'une indication, due à des variations des propriétés métrologiques d'un instrument de mesure.

- **Erreur maximale tolérée** (VIM) : 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.

Notes :

- Les termes « erreurs maximales tolérées » ou « limites d'erreur » sont généralement utilisés lorsqu'il y a deux valeurs extrêmes.
- Il convient de ne pas utiliser le terme « tolérance » pour désigner l'erreur maximale tolérée.

- **Étalonnage** (VIM) : 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.

Notes :

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

- **Etendue de mesure** (VIM) : valeur absolue de la différence entre les valeurs extrêmes d'un intervalle nominal des indications.



- **Exactitude de mesure (VIM)** : étroitesse de l'accord entre une valeur mesurée et une valeur vraie d'un mesurande.

Notes :

- L'exactitude de mesure n'est pas une grandeur et ne s'exprime pas numériquement. Un mesurage est quelquefois dit plus exact s'il fournit une plus petite incertitude de mesure.
 - Il convient de ne pas utiliser le terme « exactitude de mesure » pour la justesse de mesure et le terme « fidélité de mesure » pour l'exactitude de mesure. Celle-ci est toutefois liée aux concepts de justesse et de fidélité.
 - L'exactitude de mesure est quelquefois interprétée comme l'étroitesse de l'accord entre les valeurs mesurées qui sont attribuées au mesurande.
- **Facteur d'élargissement k (GUM)** : facteur numérique utilisé comme multiplicateur de l'incertitude-type composée pour obtenir l'incertitude élargie.
 - **Incertitude élargie (GUM)** : grandeur définissant un intervalle, autour du résultat d'un mesurage, dont on puisse s'attendre à ce qu'il comprenne une fraction élevée de la distribution des valeurs qui pourraient être attribuées raisonnablement au mesurande.
 - **Incertitude-type (GUM)** : incertitude de mesure exprimée sous la forme d'un écart-type.
 - **Incertitude-type composée (GUM)** : incertitude-type du résultat d'un mesurage, lorsque ce résultat est obtenu à partir des valeurs d'autres grandeurs, égale à la racine carrée d'une somme de termes, ces termes étant les variances ou covariances de ces autres grandeurs, pondérées selon la variation du résultat de mesure en fonction de celle de ces grandeurs.
 - **Linéarité** : la linéarité d'un instrument de mesure est sa capacité à respecter une loi linéaire entre la grandeur mesurée et l'affichage.
 - **Mesurande (VIM)** : grandeur que l'on veut mesurer.
 - **Mesurage (VIM)** : processus consistant à obtenir expérimentalement une ou plusieurs valeurs que l'on peut raisonnablement attribuer à une grandeur.

Notes :

- Les mesurages ne s'appliquent pas aux propriétés qualitatives.
 - Un mesurage implique la comparaison de grandeurs ou le comptage d'entités.
 - Un mesurage suppose une description de la grandeur compatible avec l'usage prévu d'un résultat de mesure, une procédure de mesure et un système de mesure étalonné fonctionnant selon une procédure de mesure spécifiée, incluant les conditions de mesure.
- **Nombre E_n** (NF ISO 13528 et NF ISO 17043) : statistique de performance ou score calculé comme suit :

$$E_n = \frac{(x_i - x_{ref})}{\sqrt{U(x_i)^2 + U(x_{ref})^2}}$$

où

x_{ref} est la valeur déterminée par le laboratoire de référence ;

$U(x_{ref})$ est l'incertitude élargie de x_{ref} ;

$U(x_i)$ est l'incertitude élargie du résultat x_i d'un participant.

- **Opportunité (LAB REF 02)** : évènement ayant des conséquences positives potentielles pour l'atteinte des objectifs du laboratoire.
- **Répétabilité de mesure (VIM)** : fidélité de mesure selon un ensemble de conditions de répétabilité.



- **Reproductibilité de mesure** (VIM) : fidélité de mesure selon un ensemble de conditions de reproductibilité.
- **Résolution d'un dispositif afficheur** (VIM) : plus petite différence entre indications affichées qui peut être perçue de manière significative.
- **Résolution** (VIM) : plus petite variation de la grandeur mesurée qui produit une variation perceptible de l'indication correspondante.

Note :

- La résolution peut dépendre, par exemple, du bruit (interne ou externe) ou du frottement. Elle peut aussi dépendre de la valeur de la grandeur mesurée.

- **Risque** (LAB REF 02) : ce qui rend l'atteinte d'un objectif incertaine ;
- **Seuil de discrimination** (VIM) : variation la plus grande de la valeur d'une grandeur mesurée qui ne produit aucune variation détectable de l'indication correspondante

Note :

- Le seuil de discrimination peut dépendre, par exemple, du bruit (interne ou externe) ou du frottement. Il peut aussi dépendre de la valeur de la grandeur mesurée et de la manière dont la variation est appliquée.

- **Système international d'unités, SI** (VIM) : système d'unités, fondé sur le Système international de grandeurs, comportant les noms et symboles des unités, une série de préfixes avec leurs noms et symboles, ainsi que des règles pour leur emploi, adopté par la Conférence générale des poids et mesures (CGPM) et décrit dans la brochure « Le Système international d'unités (SI) ». En complément, des notes sont disponibles dans le VIM.
- **Traçabilité métrologique** (VIM) : Propriété d'un résultat de mesure selon laquelle ce résultat peut être relié à une référence par l'intermédiaire d'une chaîne ininterrompue et documentée d'étalonnages dont chacun contribue à l'incertitude de mesure.
- En complément, des notes sont disponibles dans le VIM.
- **Valeur nominale** (VIM) : valeur arrondie ou approximative d'une grandeur caractéristique d'un instrument de mesure ou d'un système de mesure, qui sert de guide pour son utilisation appropriée.
- **Valeur résiduelle** : biais de mesure pour une sollicitation à 0. Par exemple, pour une boîte à décades de résistances, c'est la valeur de la résistance lorsque toutes les décades affichent 0 ; pour un voltmètre, c'est la valeur affichée lorsqu'une sollicitation nulle est appliquée.
- **Vérification** (VIM) : fourniture de preuves tangibles qu'une entité donnée satisfait à des exigences spécifiées.
- En complément, des notes sont disponibles dans le VIM.
- **Zone morte** (VIM) : intervalle maximal à l'intérieur duquel on peut faire varier la valeur de la grandeur mesurée dans les deux sens sans provoquer de variation détectable de l'indication correspondante

Note :

- La zone morte peut dépendre de la vitesse de la variation.



2.2.2 Abréviations

- BF : Basse Fréquence
- CMCs : Aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (Calibration and Measurement Capabilities)
- EMT : Erreurs Maximales Tolérées
- GNSS : Global Navigation Satellite System
- GPS : Système de positionnement par satellite (Global Positioning System)
- GPSDO : GPS Disciplined Oscillator
- LNM : Laboratoire National de Métrologie
- NTP : Network Time Protocol
- RF : Radio-Fréquence et micro-ondes
- SCPTIME : Secure Certified Precise Traceable Time
- SI : Système international d'unités
- TWSTFT : Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer

2.3 Bibliographie

En complément du présent document, sont listés ci-dessous des documents ou site internet pouvant apporter des compléments d'informations :

- EURAMET Calibration Guide cg-7 : Calibration of Measuring Devices for Electrical Quantities Calibration of Oscilloscopes
- EURAMET Calibration Guide cg-12 : Guidelines on the Evaluation of Vector Network Analysers (VNA)
- EURAMET Calibration Guide cg-15 : Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters

3. DOMAINE D'APPLICATION

Ce guide, résultat d'un travail collaboratif, s'applique aux domaines de la métrologie électrique, magnétique et temporelle. Il s'adresse aux :

- laboratoires d'étalonnage accrédités ou candidats à l'accréditation dans les domaines "Electricité-Magnétisme" et "Temps-Fréquence", ainsi qu'aux laboratoires d'essais accrédités réalisant des prestations d'étalonnage dans ces domaines pour leur propre usage dans le cadre de leur métrologie interne ;
- évaluateurs du Cofrac, et constitue en outre une base d'harmonisation à leur usage ;
- membres des instances décisionnelles du Cofrac (Comité de Section, Commission d'Accréditation "Electricité - Rayonnements - Technologies de l'Information") ;
- membres de la structure permanente du Cofrac ;
- clients des laboratoires accrédités dans ce domaine ;

4. MODIFICATIONS APPORTEES A L'EDITION PRECEDENTE

Ce document est applicable à compter du **02 décembre 2019**.



5. SYNTHÈSE DES MODIFICATIONS

Du fait de la refonte du document et par souci de lisibilité, les modifications n'y sont pas repérées.

Cette révision prend en compte la parution de la norme NF EN ISO/IEC 17025:2017, la nouvelle version du LAB REF 02 et les évolutions techniques (en termes de bonnes pratiques) des domaines concernés par ce guide.

Plusieurs annexes ont été rajoutées afin de fournir des exemples d'application des recommandations indiquées dans ce guide.

Les principaux changements concernent :

- la prise en compte des évolutions normatives ;
- la prise en compte des évolutions du document LAB REF 08 ;
- des précisions et des ajouts de recommandations des domaines techniques ;
- l'ajout d'un paragraphe relatif à la métrologie interne, aux risques et opportunités ;
- l'intégration de plusieurs annexes illustrant la mise en œuvre de la nouvelle version de la norme NF EN ISO/IEC 17025:2017 : analyses de risques, exemple de certificat d'étalonnage, exemple de tableau de suivi des CILs, exemple de présentation des calculs d'incertitude, etc.

Les exemples de programmes de vérifications des appareils de mesure ont été exclus de ce document, étant donné qu'ils sont dorénavant intégrés au fascicule de documentation AFNOR FD X 07-025-2 « Métrologie — Programmes techniques minimaux de vérification métrologique des équipements de mesure — Partie 2 : Domaines électricité-magnétisme et temps-fréquence ».

6. CONTEXTE NORMATIF ET RECOMMANDATIONS

Ce chapitre découle d'une lecture de certains paragraphes des chapitres de la norme NF EN ISO/IEC 17025 au regard des spécificités des domaines techniques concernés.

Il apporte des recommandations aux exigences déjà stipulées en termes généraux dans la norme NF EN ISO/IEC 17025 et dans les documents opposables du Cofrac, notamment le document LAB REF 02.

6.1 Organisation – Système de management

NF EN ISO/IEC 17025, § 5.3 et 5.4

L'accréditation d'un laboratoire peut ne pas être envisageable si la portée d'accréditation se limite globalement à des valeurs ponctuelles. En effet, les équipements concernés par ce guide étant prévus généralement pour des étendues de mesure de valeurs continues, les étalonnages réalisés ne pourraient pas couvrir la totalité des possibilités de ceux-ci.

6.2 Installations et conditions ambiantes

NF EN ISO/IEC 17025, § 6.3

La stabilité et l'homogénéité en température du laboratoire de métrologie sont telles qu'au niveau des postes de travail la température est toujours comprise dans les tolérances que s'est fixé le laboratoire et qu'il a consignées dans sa documentation. Il convient donc de disposer d'un thermomètre raccordé au SI.

Sauf nécessité particulière (influence du paramètre sur les prestations réalisées), de manière générale, il n'est pas indispensable de réguler l'humidité relative du laboratoire. Dans le cas où l'hygrométrie est considérée par le laboratoire comme un paramètre sans influence critique, un raccordement au SI n'est pas obligatoire.



Un enregistrement continu et sauvegardé des valeurs de ces deux paramètres est attendu, en particulier la température.

Notes :

- Il est nécessaire de s'assurer que l'environnement électromagnétique est compatible avec la nature et la qualité des mesures.
- La caractérisation en température des postes de travail est un préalable à toute mise en service d'un laboratoire de métrologie. Cette intervention peut être réitérée suivant une périodicité adaptée suivant le risque défini. Les résultats de cette caractérisation doivent être conservés.

6.3 Equipements

NF EN ISO/IEC 17025, § 6.4.1 et 6.4.2

Dans les cas suivants :

- équipements mis à disposition par un client ou en location,
- équipements appartenant à plusieurs laboratoires,
- équipements en usage sur site client,

un accord fixant les règles d'utilisation et de gestion du matériel est préconisé.

NF EN ISO/IEC 17025, § 6.4.4 à 6.4.9 et 6.4.11 à 6.4.13

Il appartient au laboratoire de définir des dispositions visant à exploiter les certificats d'étalonnage de ces étalons de référence et de travail en vue de s'assurer que l'estimation de ses composantes d'incertitude (incertitudes d'étalonnage, dérive, stabilité, linéarité,...) reste valable au regard de l'incertitude finale recherchée.

Ce processus est notamment appliqué après chaque raccordement.

Dans le cas où le laboratoire a dépassé la période de validité de ses raccordements, celui-ci met en place les dispositions nécessaires pour s'assurer que ce retard n'a pas eu (ou n'aura pas) d'impact sur les résultats émis. De plus, si nécessaire, une action corrective est mise en place afin d'éviter la reproduction du problème.

Afin de définir un calendrier et une période de validité des raccordements au SI des étalons de référence et de travail (raccordements externes et internes), un tableau de raccordement peut être mis en place. Un exemple est présenté en annexe 1 de ce document.

Suivi métrologique

La gestion du suivi des caractéristiques métrologiques (dérive, linéarité, interpolation en fréquence...) s'applique pour tout équipement de référence parce qu'elles peuvent évoluer dans le temps. Pour ce faire, des valeurs judicieusement choisies sont surveillées.

Le laboratoire a ainsi une vision globale du comportement de son équipement et peut plus facilement valider sa remise en service (comparaison des valeurs obtenues lors du suivi à celles prises en compte dans le calcul d'incertitude).

La gestion du suivi des caractéristiques métrologiques peut permettre de détecter une valeur suspecte, en faire son analyse, éventuellement l'éliminer et, le cas échéant, mettre en place des actions face aux risques et opportunités.



Contrôles intermédiaires

Cette exigence s'applique en particulier aux références du laboratoire et aux équipements soumis à des contraintes particulières.

Exemple :

- Référence de tension
- Equipement subissant des fortes puissances, sollicitations fréquentes, ...

La périodicité des contrôles intermédiaires est d'autant plus courte que les incertitudes d'étalonnage du laboratoire sont faibles et/ou que celui-ci ne dispose que peu de redondances. Le choix de points adaptés permet de simplifier ces vérifications.

6.4 Traçabilité métrologique

NF EN ISO/IEC 17025, § 6.5.1 et 6.5.2
GEN REF 10

Il appartient au laboratoire de veiller à ce que les programmes d'étalonnage des équipements de référence permettent d'assurer la traçabilité des mesurages par rapport au Système international d'unités (SI) sur toute l'étendue de mesure de chaque domaine de la portée d'accréditation. Cette attention est toute particulière en courant alternatif, où des points de raccordement sont nécessaires aux extrémités du domaine.

Concernant le domaine Temps-Fréquence, la traçabilité métrologique de la référence locale de temps et de fréquence peut être assurée via un raccordement à distance, par réception de signaux de transfert de temps ou de fréquence raccordés aux échelles de temps nationales par l'intermédiaire d'organismes nationaux (exemple : le LNE), comme décrit dans l'annexe 2.

En complément, pour la référence locale de temps, le récepteur est étalonné pour assurer la traçabilité au SI.

Le raccordement métrologique consistant à envoyer la référence locale de fréquence dans un laboratoire accrédité est validé par des comparaisons régulières (compatibles avec la dérive attendue des étalons) avec une seconde référence maintenue en redondance dans le laboratoire. La périodicité du raccordement à l'étalon de référence est définie et adaptée pour permettre l'évaluation du comportement de l'étalon de redondance.

6.5 Revue des demandes, appels d'offres et contrats

NF EN ISO/IEC 17025, § 7.1

Il convient de définir de manière explicite la prestation à réaliser, c'est à dire définir les grandeurs, calibres, fonctions à étalonner et/ou vérifier et, en complément :

- pour l'étalonnage, le niveau d'incertitudes requis ;
- pour la vérification ou la déclaration de conformité, les EMT et la règle de décision (cf. § 6.10 Rapports sur les résultats).

Il appartient au laboratoire d'obtenir l'accord du demandeur sur le programme d'étalonnage et/ou de vérification, et, dans le cas où les documents d'étalonnage et/ou vérification sont dématérialisés, sur le mode de transmission de ceux-ci.

Des exemples de programmes de vérifications des appareils de mesure sont présentés :

- dans le document AFNOR FD X 07-025-2,



- dans le document Cofrac LAB GTA 07 pour le domaine des essais de CEM, radiofréquence et mesures de DAS, EMF et les champs électromagnétiques sur site.

Dans le cas où le laboratoire est amené, à la demande du client, à intervenir sur l'équipement soumis à étalonnage et/ou vérification afin de réaliser des opérations de maintenance (nettoyage, dépoussiérage, maintenance corrective, ouverture, mise à jour des paramètres ...) et ce préalablement à toute intervention sur celui-ci, il convient de très clairement acter cette demande dans la revue de contrat et d'informer le client des risques encourus quant à la validité des mesures antérieures à ces opérations.

6.6 Sélection, vérification et validation des méthodes

NF EN ISO/IEC 17025, § 7.2
LAB REF 02, § 7.2

6.6.1 Sélection des méthodes

Les méthodes d'étalonnage, bien que souvent non normalisées dans le domaine de la métrologie des grandeurs électriques, magnétiques et temporelles, sont assimilables à des « méthodes reconnues » car elles font référence à des méthodes décrites dans la littérature technique et scientifique et leur utilisation, généralement confirmée par les laboratoires nationaux de métrologie (LNM).

Les méthodes ainsi mises en œuvre ont déjà été validées au sens de la norme NF EN ISO/IEC 17025 (cf § 7.2). Cependant, il appartient au laboratoire de confirmer qu'il peut correctement les appliquer avant de les mettre en œuvre, autrement dit, reconnaître que la méthode est techniquement valide dans un domaine d'application défini, maîtrisée et apte à satisfaire les besoins des clients avant d'en autoriser l'emploi (cf. LAB REF 08 § 6.2 processus de vérification).

Compte-tenu de la diversité des instruments de mesure à étalonner et, notamment de l'exactitude de certains instruments qui ne nécessite pas nécessairement la mise en œuvre des meilleurs moyens, le laboratoire peut disposer de différentes méthodes pour un domaine et une étendue de mesure donnés.

On considérera donc :

- les "**meilleures méthodes d'étalonnage**" qui dépendent des équipements de plus haut niveau en possession du laboratoire et qui lui permettent d'obtenir les incertitudes d'étalonnage les plus faibles ;
- les "**méthodes donnant des incertitudes dégradées**" qui peuvent, soit dériver des « meilleures méthodes » (ex : application de la méthode sur un étalon de transfert), soit être des méthodes alternatives (ex : comparaison directe à un étalon de transfert raccordé par une méthode potentiométrique à un étalon de référence).

Le laboratoire est accrédité pour sa compétence à mettre en œuvre des méthodes adaptées au besoin spécifié, pour des grandeurs et étendues de mesure données mentionnées dans les portées d'accréditation.

Il est admis que ne soient reportées, dans la portée générale d'accréditation, que les données issues des "**meilleures méthodes d'étalonnage**".

Dans le cas où il est difficile de mettre en évidence la méthode qui apparaît la "meilleure", la portée d'accréditation peut présenter plusieurs "meilleures méthodes" (dans le cas par exemple où il est difficile de distinguer les méthodes de génération des méthodes de mesure).

A noter que :

- Si le laboratoire utilise uniquement sa meilleure méthode d'étalonnage décrite dans la portée d'accréditation ou si la méthode n'est pas reconnue, son besoin se limite à une accréditation **en portée FIXE**.
- Si le laboratoire peut adopter toute méthode dans le domaine couvert par la portée générale, l'expression de la portée est assimilée à un profil de flexibilité **FLEX2**.



- Les Laboratoires Nationaux de Métrologie et les laboratoires désignés par ces derniers, de par les missions qui leur sont assignées, développent, caractérisent et valident de nouvelles références et/ou méthodes. Le profil de flexibilité **FLEX3** peut leur être attribué, en partie ou sur l'ensemble de la portée, dans les conditions définies au § 10 du LAB REF 08.

Notes (cf. LAB REF 08 § 6.1) :

- De par sa définition, le profil de flexibilité **FLEX1** n'est pas approprié pour les laboratoires d'étalonnage concernés par ce guide.
- Une portée peut présenter différents profils de flexibilité en fonction des méthodes employées.

Concernant le domaine Temps-Fréquence, les méthodes publiées dans les notices des constructeurs des appareils de mesure utilisés (exemple : fréquencesmètre) peuvent être appliquées après avoir listé les composantes d'incertitudes, les avoir évaluées expérimentalement et combinées, comme indiqué dans les notices des constructeurs.

6.6.2 Vérification des méthodes

Il appartient au laboratoire de définir un processus de vérification de ses méthodes pour lequel il s'attache à définir les incertitudes de mesure qui doivent faire l'objet d'une validation.

Quel que soit le profil de flexibilité, la vérification de méthodes comprend :

- la recherche de l'exhaustivité des composantes d'incertitudes et leurs quantifications ;
- la participation à une comparaison interlaboratoires ou l'utilisation d'une autre méthode préalablement vérifiée (recoupement de méthodes).

Les éléments de vérification sont évalués par les experts ou évaluateurs techniques au même titre que les procédures techniques présentant les méthodes d'étalonnage.

Il convient de noter qu'en aucun cas le laboratoire ne peut mentionner dans ses certificats d'étalonnage des incertitudes meilleures que celles figurant dans sa portée d'accréditation (hors LNM et laboratoires associés cf. LAB REF 08 § 10).

Remarques :

- Très souvent, pour le laboratoire accrédité, l'instrument étalonné au moyen de la « meilleure méthode » devient l'étalon de travail employé dans le cadre de la « **méthode donnant des incertitudes dégradées** ».
- Dans la pratique, les instruments à étalonner introduisent généralement des causes d'incertitudes supplémentaires.

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

Il appartient au laboratoire de documenter le processus de dégradation des incertitudes.

a) **Recevabilité opérationnelle d'une demande d'accréditation / d'extension**

Les aptitudes en matières d'étalonnage étant spécifiques à chacun des laboratoires et dépendantes des moyens mis en œuvre (étalons, méthodes, moyens de validation, ...), une expertise documentaire est réalisée préalablement à l'évaluation pour toute demande d'accréditation (initiale ou extension) afin de s'assurer de sa validité.

Le laboratoire fournit ainsi un dossier technique qui contient les éléments présentés en annexe 3 du présent guide pour examen par un évaluateur technique du domaine.

**b) Flexibilité**

Entre deux évaluations du Cofrac, et suivant son niveau de flexibilité, les possibilités d'évolution du laboratoire sont les suivantes :

	FIXE	FLEX2	FLEX3
Etendre le domaine d'application	Non	Non	Sous condition (§ 10 - LAB REF 08)
Pour la <u>méthode revendiquée dans la portée</u> , dégrader les incertitudes de mesure, les meilleures possibilités ne pouvant être tenues (par ex, du fait de l'incertitude induite par l'objet à étalonner)	Oui	Oui	Oui
Améliorer les incertitudes	Non	Non	Sous condition (§ 10 - LAB REF 08)
Dégrader les incertitudes (suite raccordement, dérive, par ex.)	Oui*	Oui	Oui
Mettre en œuvre une méthode équivalente ou « donnant des incertitudes dégradées »	Non	Oui	Oui
Appliquer la méthode revendiquée à de nouveaux objets	Non	Oui	Oui

* Le laboratoire est tenu d'informer le Cofrac (cf. GEN PROC 20) de toute dégradation d'incertitude entre deux évaluations entraînant une mise à jour de la portée. Il doit toutefois utiliser ses nouvelles incertitudes dégradées sans délai sans accord préalable du Cofrac.

Pour que le laboratoire puisse situer son besoin en termes de flexibilité, il peut se référer aux exemples ci-après qui illustrent une application FLEX2/FLEX3 :

Exemple 1 :

Un laboratoire accrédité en mesure d'intensité de courant continu, de différence de potentiel en courant continu et de résistance en courant continu peut étalonner des shunts, tout en ne revendiquant pas une incertitude meilleure que celle qu'il a dans sa portée générale en résistance en courant continu pour la valeur correspondante.

Exemple 2 :

Un laboratoire accrédité en mesure de fréquence peut étalonner un générateur radiofréquence en modulation de fréquence.

Exemple 3 :

Un laboratoire accrédité en mesure de fréquence peut réaliser sous accréditation des mesures de période.

Pour ces exemples, si les étendues de mesure et les compétences d'étalonnage de ces objets existent dans la portée d'accréditation du laboratoire, le processus commun suivant s'applique :

- expression du besoin
- analyse de la faisabilité
- mise en œuvre d'une méthode choisie
- validation de la compétence du personnel pour la nouvelle application
- vérification de la méthode à employer dont validation des incertitudes
- autorisation d'emploi de la méthode
- mise à jour de la portée détaillée

Toutes ces étapes doivent être confirmées par une personne qualifiée et enregistrées.

c) Spécificités d'évaluation



La compétence du laboratoire à mettre en œuvre ses « **meilleures méthodes d'étalonnage** », des « **méthodes donnant des incertitudes dégradées** » et le cas échéant son organisation correspondant à la flexibilité de sa portée d'accréditation sont examinées lors de chaque évaluation du cycle d'accréditation conformément au document Cofrac LAB REF 08.

Lors de chaque évaluation, les évaluateurs s'attachent à vérifier la gestion des évolutions autorisées suivant le profil de flexibilité du laboratoire (cf. tableau précédent).

Evaluation d'une portée FIXE

L'évaluation consiste à s'assurer que le laboratoire possède la capacité à mettre en œuvre les méthodes listées dans la portée d'accréditation, qu'il les applique strictement et les maîtrise et qu'il a mis en place un système permettant de s'assurer de la pérennité de ses compétences et de l'efficacité de son organisation.

Evaluation d'une portée FLEX2/FLEX3

Entre autres exigences du document LAB REF 08, le laboratoire doit :

- disposer et tenir à jour la liste détaillée des méthodes dont il a autorisé l'usage sous accréditation,
- disposer et tenir à jour la liste détaillée des objets couverts par la portée d'accréditation,
- définir les responsabilités associées à l'introduction de nouvelles méthodes, de nouveaux objets à étalonner, de nouveaux moyens d'étalonnage dans le champ de l'accréditation (validation, autorisation d'emploi, ...) et enregistrer les qualifications associées.

6.7 Enregistrements techniques

NF EN ISO/IEC 17025, § 7.5

Le laboratoire gère les informations suivantes (liste non exhaustive) relatives :

- à la conservation de tous les résultats de mesure (données brutes - valeurs mesurées sans traitement, corrections appliquées, valeurs corrigées, ...) y compris pour les prestations de vérification ;
- à l'évaluation des incertitudes de mesure (paramètres, données sources, calculs, causes d'incertitudes, ...);
- aux équipements utilisés ;
- à la méthode mise en œuvre.



6.8 Evaluation de l'incertitude de mesure

NF EN ISO/IEC 17025, § 7.6
LAB REF 02 § 7.6

6.8.1 Les incertitudes-types

Les composantes d'incertitudes sont classées en deux catégories se différenciant par les méthodes utilisées pour estimer leur valeur numérique.

1/ Type A : méthodes statistiques

2/ Type B : méthodes autres que statistiques

On notera, par la suite, les grandeurs d'entrée X_1, X_2, \dots, X_n et les estimations d'entrée x_1, x_2, \dots, x_n .

L'évaluation de l'incertitude-type de Type A correspond à l'évaluation de l'incertitude entre l'estimation x_i et les grandeurs d'entrée X_{ij} au moyen d'une série d'observations.

Les composantes de la catégorie A sont caractérisées par des variances estimées s_i^2 (ou écarts-types estimés s_i) et les nombres ν_i de degrés de liberté.

Lorsque l'évaluation de Type A est fondée sur un nombre relativement faible d'observations, il convient de multiplier l'écart-type expérimental par un facteur correctif approprié (cf. annexe 4 de ce document) ou d'avoir recours à une évaluation de type B.

Concernant l'évaluation des incertitudes de Type B, on peut rencontrer différents cas de figure ; ceux-ci sont présentés et détaillés au § 4.3 du GUM.

Dans les domaines du présent guide les cas suivants sont les plus fréquemment rencontrés :

- Si l'on obtient l'estimation x_i à partir d'une spécification de fabricant, d'un certificat d'étalonnage, d'une publication ou d'une autre source et que son incertitude indiquée soit donnée comme étant un multiple déterminé d'un écart-type, l'incertitude-type $u(x_i)$ est simplement égale au quotient de la valeur indiquée par le facteur multiplicatif et la variance estimée $u^2(x_i)$ est égale au carré de ce quotient.
- Dans d'autres cas, on peut seulement estimer des limites (inférieure et supérieure) pour X_i , en particulier pour énoncer que "la probabilité pour que la valeur de X_i soit située dans l'intervalle compris entre a_- et a_+ pour toutes les applications pratiques est égale à 1 et est essentiellement égale à zéro en dehors de cet intervalle". Si l'on ne possède aucune connaissance spécifique sur les valeurs possibles de X_i à l'intérieur de l'intervalle, on peut seulement supposer que X_i se situe d'une manière également probable en tout point de l'intervalle (distribution uniforme ou rectangulaire des valeurs possibles). Alors x_i , espérance mathématique de X_i , est le milieu de l'intervalle $x_i = (a_+ + a_-) / 2$, avec la variance associée :

$$u^2(x_i) = (a_+ - a_-)^2 / 12$$

Si l'on note $2a$ la différence entre les deux limites, l'équation ci-dessus devient alors :

$$u^2(x_i) = a^2 / 3$$

Le choix d'une loi de probabilité est parfois difficile à argumenter. En cas de doute, le choix d'une distribution uniforme présente généralement une approximation acceptable.



6.8.2 Exemples d'évaluation d'incertitudes-types

a) Incertitude de raccordement

L'incertitude élargie est donnée dans le certificat d'étalonnage. L'incertitude-type $u(x_i)$ est alors égale à la valeur de l'incertitude d'étalonnage U divisée par le facteur d'élargissement k . Dans la plupart des certificats d'étalonnage, $k = 2$ et donc $u(x_i) = U/2$.

b) Dérive dans le temps des étalons

Pour évaluer l'incertitude-type associée à cette composante d'incertitude, quatre cas se présentent :

1^{er} cas :

Dans le cas où l'historique des raccordements permet de mettre en évidence une dérive (par exemple : la dérive de la valeur d'une résistance dans le domaine Electricité-Magnétisme ou la dérive de la fréquence d'un pilote dans le domaine Temps-Fréquence), la dérive peut être déterminée par une méthode de régression.

On peut alors calculer la valeur de la correction de l'étalon à appliquer au moment de l'utilisation de ce même étalon. L'incertitude sur la connaissance de la correction peut être déterminée par une évaluation de Type A ou de Type B.

- Type A :

La moyenne des valeurs absolues des écarts par rapport à la courbe de régression peut être considérée comme l'incertitude-type sur la connaissance de la correction

- Type B :

L'écart maximal par rapport à la courbe de régression peut être considéré comme une méconnaissance de la correction (Type B).

En supposant que la loi de probabilité associée est une loi rectangulaire, cet écart maximal par rapport à la courbe est divisé par $\sqrt{3}$ afin d'obtenir l'incertitude-type correspondante.

2^{ème} cas :

Dans le cas où l'on dispose de peu de points mais qu'une dérive se dégage (i.e. on s'attend à avoir une dérive), **l'écart moyen entre deux raccordements** est à diviser par $\sqrt{3}$.

3^{ème} cas :

Dans le cas où l'historique des raccordements ne permet pas de mettre en évidence une dérive, on considérera **l'écart maximal entre deux raccordements successifs**.

En supposant que la loi de probabilité associée est une loi rectangulaire, cet écart maximal est divisé par $2\sqrt{3}$.

4^{ème} cas :

Dans le cas où l'historique des raccordements se résume à 1 ou 2 valeurs, des informations issues des notices des fabricants peuvent être utilisées.

Sauf indication contraire, il est prudent de considérer que ces informations sont exprimées comme des valeurs typiques et qu'elles sont donc à considérer en un écart-type.

Toutefois, le recours à des informations données dans les notices des fabricants est réservé à un usage exceptionnel (par exemple, remplacement d'un étalon suite à une panne).

Notes :

- Des raccordements selon des périodicités rapprochées peuvent permettre une meilleure connaissance du comportement (variabilité et tendance) de la composante d'incertitude liée à la dérive.
- De façon générale, il est plus prudent de prendre un coefficient de sécurité sur la valeur estimée de la composante de dérive afin de limiter les conséquences d'un accroissement éventuel de cette valeur dans le temps.



c) Influence de la température

Pour le rendre homogène à un écart-type, l'écart maximal des fluctuations de la température est divisé par $2\sqrt{2}$ car la loi de probabilité qui lui est associée est généralement assimilée à une loi en forme de U (dérivée d'arcsinus) lorsque les mesures sont réalisées dans une salle régulée en température. Le coefficient de température peut être, soit issu des informations données dans les notices des fabricants, soit évalué par un laboratoire.

d) Résolution (plus petite variation de la grandeur mesurée)

La loi de probabilité associée à l'incertitude-type peut être envisagée comme une loi rectangulaire. L'étendue de la limite maximale sera donc divisée par $2\sqrt{3}$ pour être homogène à un écart-type.

e) Bruit

L'incertitude-type associée au bruit d'un système de mesure peut être obtenue par une évaluation de Type A ou de Type B.

- Type A :

La composante d'incertitude peut être déterminée a priori en évaluant l'écart-type expérimental d'une série de mesures.

- Type B :

La loi de probabilité associée à l'incertitude-type peut être envisagée comme une loi normale. La composante d'incertitude correspond à la demi-étendue de la limite maximale et est considérée selon une répartition de loi normale, elle est donc divisée par 3 pour être homogène à un écart-type.

f) Sensibilité de l'indication

Le terme sensibilité est souvent utilisé comme seuil de discrimination tel que défini au § 2.4 de ce guide.

L'incertitude-type associée à la sensibilité de l'indication peut être évaluée expérimentalement (Type B).

La loi de probabilité associée à l'incertitude-type peut être envisagée comme une loi rectangulaire. La demi-étendue de la variation de l'indication est donc divisée par $\sqrt{3}$ pour être homogène à un écart-type.

Des exemples d'évaluation de sensibilité sont disponibles en annexe 5.

g) Linéarité

La linéarité est évaluée à partir d'un nombre suffisant de points couvrant l'étendue de mesure.

L'incertitude sur la connaissance de l'écart de linéarité peut être déterminée par une évaluation de Type A ou de Type B.

- Type A :

La moyenne des valeurs absolues des écarts par rapport à la droite de régression peut être considérée comme l'incertitude-type sur la connaissance de l'écart de linéarité

- Type B :

L'écart maximal par rapport à la droite de régression peut être considéré comme l'incertitude sur la connaissance de l'écart de linéarité.

En supposant que la loi de probabilité associée est une loi rectangulaire, cet écart maximal par rapport à la droite est divisé par $\sqrt{3}$ afin d'obtenir l'incertitude-type correspondante.

Remarque :

Dans certaines méthodes d'étalonnage, un instrument peut être employé sans que l'on ne tienne compte de son incertitude d'étalonnage dans le bilan des composantes d'incertitudes.

Ce cas se présente lorsque le résultat attendu est un rapport de deux mesures de la même grandeur réalisées sur un même calibre avec cet instrument.



En revanche, il est nécessaire de connaître les écarts de linéarité des points étalonnés (en tenant compte de leurs incertitudes d'étalonnage) par rapport à la droite théorique déterminée suivant une méthode explicite.

De plus, si cette droite ne passe pas par une origine égale à zéro, il faut tenir compte de ce décalage de zéro encore appelé "offset".

h) Interpolation en fréquence

On peut considérer sur un domaine donné l'écart maximal entre deux points d'étalonnage obtenus à des valeurs différentes de fréquence. En supposant que la loi de probabilité associée est une loi rectangulaire, cet écart est à diviser par $2\sqrt{3}$.

Un choix judicieux des valeurs d'étalonnage est nécessaire.

i) Distorsion

La distorsion est un facteur d'influence pour les grandeurs du domaine de courant alternatif. Selon le type de détecteur de l'indicateur (crête, efficace, valeur moyenne redressée), cette influence peut être déterminée sur la base de la relation :

$$U_{eff} = U_{eff\ fond} \times [1 + D^2]^{1/2}$$

Avec U_{eff} : valeur efficace de la tension

$U_{eff\ fond}$: valeur efficace de la tension de l'harmonique fondamental du signal

D : taux de distorsion

En supposant que la loi de probabilité associée est une loi rectangulaire, l'écart entre les valeurs efficaces est divisé par $\sqrt{3}$ afin d'obtenir l'incertitude-type correspondante.

La détermination du taux de distorsion s'effectue au moyen d'un instrument approprié, analyseur de spectre ou distorsiomètre selon le domaine de fréquence.

j) Zone morte

A proximité du zéro, certains appareils ne réagissent pas à la variation de la grandeur mesurée sur un intervalle dit zone morte, comme par exemple, un détecteur de valeur efficace.

L'étendue du domaine non linéaire est déterminée par variation de la sollicitation à l'entrée et mesure de la grandeur de sortie. La zone morte correspond à l'intervalle maximal à l'intérieur duquel on peut faire varier la valeur de la grandeur d'entrée dans les deux sens sans provoquer de variation détectable de la grandeur de sortie.

En supposant que la loi de probabilité associée est une loi rectangulaire, l'intervalle déterminé est divisé par $\sqrt{3}$ afin d'obtenir l'incertitude-type correspondante.

k) Désadaptation

En radiofréquence, tout écart d'impédance de composants par rapport à l'impédance caractéristique dans une ligne de transmission entraîne la réflexion d'une fraction de l'onde incidente, créant ainsi une désadaptation qui peut être une des principales sources d'erreurs dans les mesures de puissance et d'affaiblissement. En effet, les phases des facteurs de réflexion ne sont généralement pas connues et les corrections ne peuvent donc pas être appliquées.

En mesure de puissance, l'incertitude liée à la désadaptation sur une ligne de transmission, exprimée sous forme d'un écart-type, est donnée par :

$$u(\text{désadaptation}) = \frac{2 \cdot \Gamma_G \cdot \Gamma_L}{\sqrt{2}}$$

où Γ_G et Γ_L sont les modules du facteur de réflexion du générateur et de la charge, respectivement. Une division par $\sqrt{2}$ est appliquée car la loi de probabilité associée est assimilée à une dérivée d'arcsinus.



En mesure d'affaiblissement d'un atténuateur variable, à deux accès, inséré entre le générateur et la charge qui ne sont pas parfaitement adaptés (malgré l'utilisation de tuner, de masquage...) sur la ligne de transmission, une évaluation de l'écart-type, exprimé en dB, lié à la désadaptation est donnée par :

$$u(\text{désadaptation}) = \frac{8,686}{\sqrt{2}} \cdot \sqrt{\{\Gamma_G^2 \cdot (|S_{11a}|^2 + |S_{11b}|^2) + \Gamma_L^2 \cdot (|S_{22a}|^2 + |S_{22b}|^2) + \Gamma_G^2 \cdot \Gamma_L^2 \cdot (|S_{21a}|^4 + |S_{21b}|^4)\}}$$

où Γ_G et Γ_L sont les modules du facteur de réflexion du générateur et de la charge, respectivement. S_{11} , S_{22} et S_{21} sont les paramètres de dispersion S de l'atténuateur variable, l'indice a représente la valeur minimale d'affaiblissement, l'indice b représente la valeur maximale d'affaiblissement. La loi de distribution appliquée à cet écart-type est dans ce cas une loi de distribution normale.

l) Erreur liée au seuil de déclenchement

Le comptage d'un signal périodique est déclenché sur la base d'un niveau d'amplitude. Le réglage du niveau de déclenchement (« trigger level ») définit le seuil pour lequel le comptage débute. L'incertitude dépend du niveau des seuils de déclenchement pour les mesures de temps. Selon le type de mesure (temps ou fréquence), on considère l'influence :

- de la pente du signal au niveau du seuil de déclenchement. Cette influence est maximale en basse fréquence pour des signaux à pente faible comme les signaux sinusoïdaux. En supposant que la loi de probabilité associée est une loi rectangulaire, la projection temporelle de la zone d'amplitude considérée est divisée par $\sqrt{3}$ afin d'obtenir l'incertitude-type correspondante.
- du bruit se superposant au signal à mesurer. Il convient de calculer l'erreur liée à cette composante avec une valeur de rapport signal à bruit (SNR, Signal to Noise Ratio) définie dans la procédure d'étalonnage et indiquée dans la portée. Lors des étalonnages, il convient de s'assurer que la valeur du rapport signal à bruit du signal mesuré n'est pas en dessous ou proche de cette valeur initialement fixée. Dans le cas contraire, la détermination de l'influence du rapport réel est à recalculer. Pour l'évaluation de l'incertitude-type, voir **e)** ci-dessus.
- de l'hystérésis du trigger. En supposant que la loi de probabilité associée est une loi rectangulaire, l'écart correspondant est divisé par $\sqrt{3}$ afin d'obtenir l'incertitude-type correspondante.

m) Erreur liée au comptage après déclenchement (± 1 coup)

Cas des fréquencesmètres :

En l'absence de synchronisation entre le signal compté de période T_x et le signal de porte de période τ , l'erreur liée au comptage est égale à ± 1 coup, soit en relatif : T_x/τ .

Cas des périodémètres :

En l'absence de synchronisation entre le signal compté de période T_0 et le signal de porte de période T_x , l'erreur liée au comptage est égale à une période de signal de référence T_0 , soit en relatif: T_0/T_x .

En supposant que la loi de probabilité associée est une loi rectangulaire, la demi-étendue est divisée par $\sqrt{3}$ afin d'obtenir l'incertitude-type correspondante.

n) Résolution dans le domaine Temps-Fréquence

La résolution ne se détermine pas nécessairement comme étant le dernier chiffre de la valeur mesurée, mais peut-être définie au moyen des données constructeur décrivant l'influence des paramètres comme le temps de mesure, l'erreur de déclenchement, le temps de résolution, etc. Dans ce cas, il convient de se reporter à la documentation constructeur.

o) Stabilité de fréquence et de temps (phase)

Les instabilités de fréquence et de temps (phase) peuvent être caractérisées par des processus aléatoires qui peuvent être représentés sous forme statistique soit dans le domaine fréquentiel de Fourier, soit dans le domaine temporel.



Dans le domaine fréquentiel, les instabilités aléatoires des fréquences étalons et des signaux temporels peuvent être caractérisées par les mesures statistiques de densités spectrales de puissance $S_y(f)$, $S_x(f)$ ou $S_\phi(f)$ qui sont souvent utilisées comme modèles raisonnables des fluctuations aléatoires dans les oscillateurs de précision.

Dans le domaine temporel, l'instabilité aléatoire de fréquence peut être définie par plusieurs types de variance d'Allan. La racine carrée d'une variance d'Allan est appelée un écart, et c'est la statistique habituellement rapportée. Les instabilités aléatoires des fréquences étalons et des signaux temporels peuvent ainsi être caractérisées par les mesures statistiques $\sigma_y(\tau)$, Mod. $\sigma_y(\tau)$, $\sigma_x(\tau)$, $\sigma_y(t, \tau)$ ou TheoBR.

Dans ce guide, nous nous limitons à étudier l'instabilité aléatoire type de fréquence définie par l'écart-type d'Allan $\sigma_y(\tau)$, suivi d'un exemple pratique :

Ecart-type d'Allan, $\sigma_y(\tau)$:

Une mesure de l'instabilité aléatoire de fréquence est l'écart type à deux échantillons, qui est la racine carrée de la variance à deux échantillons à temps mort nul $\sigma_y^2(\tau)$:

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2} \langle (\bar{y}_{k+1} - \bar{y}_k)^2 \rangle \quad (1)$$

où

$$\bar{y}_k = \frac{1}{\tau} \int_{t_k}^{t_k+\tau} y(t) dt = \frac{x_{k+1} - x_k}{\tau}$$

et

$$t_{k+1} = t_k + \tau \text{ (échantillons adjacents)}$$

$\langle \rangle$ indique une moyenne calculée sur un temps infini. L'expression (1) est souvent appelée la variance d'Allan (AVAR). x_k et x_{k+1} sont des mesures résiduelles de temps effectuées aux instants t_k et $t_{k+1} = t_k + \tau$, avec $k = 1, 2, \dots$ et $1/\tau$ étant le taux d'échantillonnage fixe qui donne un temps mort nul entre les mesures de fréquence. Par le terme «résiduelles», on entend que les effets systématiques connus sont éliminés.

Si l'on définit le taux d'échantillonnage initial par $1/\tau_0$, en général on peut obtenir une meilleure évaluation de $\sigma_y(\tau)$ en utilisant ce qu'on appelle une évaluation de recouvrement. Cette évaluation est obtenue au moyen de l'expression (2) :

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2(N-2n)\tau^2} \sum_{i=1}^{N-2n} (x_{i+2n} - 2x_{i+n} + x_i)^2 \quad (2)$$

où N est le nombre de mesures des écarts de temps espacées de τ_0 ($N = M + 1$ où M est le nombre de mesures de fréquence de durée d'échantillon τ_0) et $\tau = n \tau_0$.

S'il existe un temps mort entre les mesures d'écart de fréquence et si on ne tient pas compte de ce phénomène lors du calcul de l'équation (1), alors les valeurs de stabilité déterminées (qui ne sont plus des variances d'Allan) seront biaisées (sauf pour le bruit blanc de fréquence) étant donné que les mesures de fréquence ont été regroupées pour évaluer la stabilité pour $n \tau_0$ ($n > 1$). Ce biais a été étudié, des tables de correction sont publiées (cf. *NIST Technical Note 1318*).



S'il n'existe pas de temps mort, on peut utiliser les termes \bar{y}_i pour créer un ensemble de \bar{y}_k :

$$\bar{y}_k = \frac{1}{n} \sum_{i=k}^{k+n-1} \bar{y}_i$$

Le tableau 1 présente les caractéristiques fonctionnelles des principaux processus de bruit indépendants pour l'instabilité de fréquence des oscillateurs :

Description du processus de bruit	Caractéristiques de pentes de la courbe log-log				
	Domaine fréquentiel		Domaine temporel		
	$S_y(f)$	$S_x(f)$ ou $S_\omega(f)$	$\sigma_y^2(\tau)$	Mod. $\sigma_y^2(\tau)$	$\sigma_x^2(\tau)$
	α	$\beta = \alpha - 2$	μ	μ'	η
Bruit de fréquence à marche aléatoire	-2	-4	1	1	3
Bruit de scintillation de fréquence	-1	-3	0	0	2
Bruit blanc de fréquence	0	-2	-1	-1	1
Bruit de scintillation de phase	1	-1	-2	-2	0
Bruit blanc de phase	2	0	-2	-3	-1

Tableau 1 - Caractéristiques fonctionnelles des cinq processus de bruit indépendants pour l'instabilité de fréquence des oscillateurs

Où

$$S_y(f) = h_\alpha f^\alpha; \alpha = -\mu - 1; -2 \leq \mu < 2; \sigma_y^2(\tau) \sim |\tau|^\mu$$

$$S_\varphi(f) = \nu_0^2 h_\alpha f^{\alpha-2} = \nu_0^2 h_\alpha f^\beta; \beta = \alpha - 2; \eta = \mu' + 2; \text{Mod. } \sigma_y^2(\tau) \sim |\tau|^{\mu'}$$

$$S_x(f) = \frac{1}{4\pi^2} h_\alpha f^{\alpha-2} = \frac{1}{4\pi^2} h_\alpha f^\beta; \alpha = -\mu' - 1; \sigma_x^2(\tau) \sim |\tau|^\eta$$

Les caractéristiques de pente des principaux processus de bruit indépendants à densités spectrales en lois de puissance sont tracées sur la figure 1 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** :

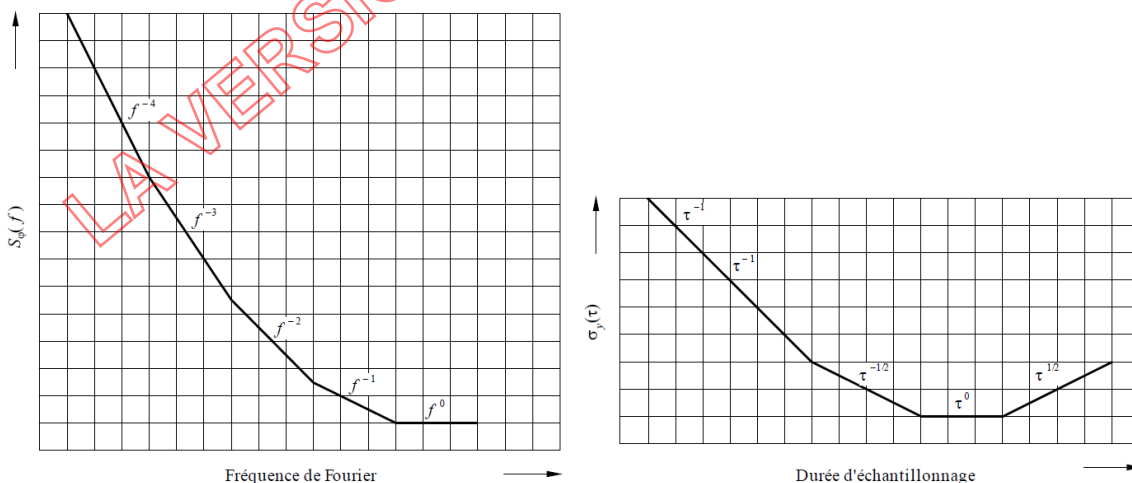


Figure 1 – Caractéristiques de pente des cinq processus de bruit indépendants à densités spectrales en lois de puissance (échelles logarithmiques)



Une « estimation avec recouvrement » de $\sigma_y(\tau)$ peut alors être obtenue :

$$\sigma_y(\tau) = \left| \frac{1}{2(M-2n+1)} \sum_{k=1}^{M-2n+1} (\bar{y}_{k+n} - \bar{y}_k)^2 \right|^{1/2} \quad (3)$$

On peut donc vérifier la dépendance de $\sigma_y(\tau)$ comme étant une fonction de τ à partir d'un seul ensemble de données de manière très simple.

Si l'on représente $\sigma_y(\tau)$ en fonction de τ pour un étalon de fréquence, on obtient les éléments représentés schématiquement sur la Figure 1. La première composante avec $\sigma_y(\tau) \sim \tau^{-1/2}$ (bruit blanc de fréquence) et/ou $\sigma_y(\tau) \sim \tau^{-1}$ (bruit blanc de phase ou bruit de scintillation de phase) représente les caractéristiques fondamentales de bruit de l'étalon. Dans le cas où $\sigma_y(\tau) \sim \tau^{-1}$, il n'est pas commode de déterminer de façon pratique si l'oscillateur est perturbé par du bruit blanc de phase ou du bruit de scintillation de phase. D'autres techniques doivent être utilisées (cf. *UIT-R TF.538-4*). Il s'agit là d'une limitation de l'utilité de $\sigma_y(\tau)$ lorsque l'on cherche à étudier la nature des sources de bruit présentes dans l'oscillateur.

Une analyse dans le domaine fréquentiel est plus appropriée pour les fréquences de Fourier supérieures à environ 1 Hz. Cette loi en τ^{-1} et/ou $\tau^{-1/2}$ continue lorsque la durée d'intégration augmente, jusqu'à ce que le « palier » de scintillation soit atteint, où $\sigma_y(\tau)$ est indépendant du temps moyen τ . Ce comportement est observé pour presque tous les étalons de fréquence ; il dépend de l'étalon de fréquence donné mais on ne connaît pas encore bien les origines physiques de ce phénomène. Parmi les causes probables de ce « palier » de scintillation, on peut citer les fluctuations de tension d'alimentation, les fluctuations du champ magnétique, les changements dans les composants de l'étalon et les modifications dans la puissance hyperfréquence. Finalement, on voit d'après la courbe que la stabilité se dégrade lorsque la durée d'intégration augmente. Cela se produit en règle générale pour des durées allant de quelques heures à plusieurs jours, selon le type de l'étalon.

Pour aller plus loin, la Recommandation UIT-R TF.538-4, référencée dans ce guide, présente diverses méthodes et techniques de caractérisation de ces instabilités de fréquence et de temps (phase). Egalement l'ouvrage de base NIST *Special Publication 1065*, qui décrit des techniques pratiques pour l'analyse de stabilité de fréquence. Il couvre les définitions de la stabilité de fréquence, des systèmes de mesure et des formats de données, des étapes de pré-traitement, des outils et méthodes d'analyse, des étapes de post-traitement et des suggestions de présentation des résultats. Il inclut des exemples pour plusieurs techniques dont certains utilisent le logiciel Stable32, qui est un des outils efficace d'étude et de réalisation d'analyses de stabilité de fréquence.

Note :

- Les résultats $(\bar{y}_{k+1} - \bar{y}_k)^2$ pouvant être très petits, il faut s'assurer que le système (PC, calculatrice) a une résolution de calcul suffisante.

Remarques :

- Les mesures statistiques dans le domaine fréquentiel et celles dans le domaine temporel peuvent toutes deux conduire à des résultats incorrects lorsque des données sont espacées de manière irrégulière. En général, un trou dans les données correspond à un manque d'informations. Certaines méthodes permettent de pallier ce problème de données par interpolation ou en supposant que les données manquantes sont nulles, mais toutes sont susceptibles d'engendrer des effets de distorsion. Il convient de comprendre la façon dont les logiciels traitent les données espacées de manière irrégulière.
- Les méthodes décrites dans ce paragraphe ne traitent pas les variations non aléatoires (déterministes ou systématiques). Ces dernières peuvent être soit périodiques, soit monotones. Les variations périodiques devront être analysées grâce aux méthodes connues d'analyse



harmonique. Quant aux variations monotones, elles sont décrites par une dérive linéaire ou d'un ordre supérieur.

Exemple d'enregistrement de la stabilité de fréquence d'une horloge à rubidium (échantillon limité ici à une série de 100 mesures) :

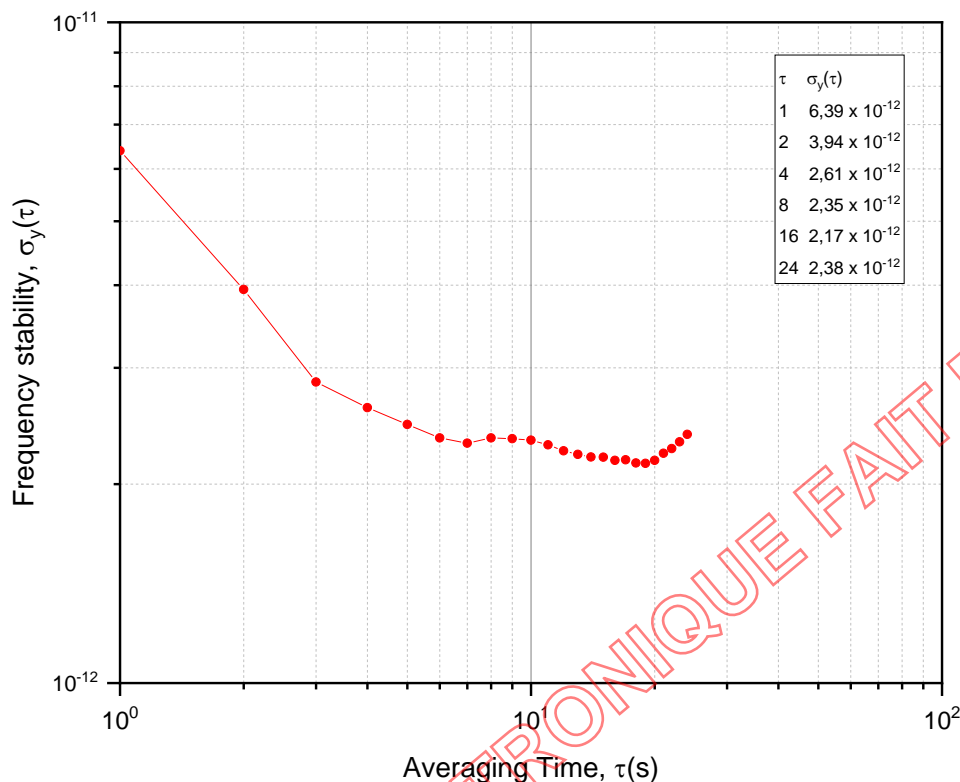


Figure 2 – Stabilité de fréquence d'une horloge à rubidium, calculée par Stable32

6.8.3 Exemples d'évaluation d'incertitudes d'étalonnage

Il est possible de s'inspirer des exemples présentés dans les documents suivants :

- 27 exemples d'évaluation d'incertitudes d'étalonnage (Collège français de métrologie).
- Document EA-4/02.

6.8.4 Présentation des incertitudes et du bilan d'incertitudes

On notera, par la suite, $u_c(y)$ l'incertitude-type composée associée à y , l'estimation du mesurande Y . Le laboratoire peut s'appuyer sur le tableau 4.1 du document EA-4/02 pour la présentation de ses incertitudes.

Cette forme de présentation est utile parce qu'elle donne de façon synthétique toutes les informations résultant de l'application de la démarche conduisant à l'estimation de l'incertitude d'étalonnage, à savoir :

- a) la définition du mesurande (Y), avec son expression en fonction des grandeurs d'entrée X_i
- b) la liste exhaustive des composantes d'incertitude intervenant dans l'estimation de l'incertitude de mesure
- c) le coefficient de sensibilité (c_i) propre à chacun des paramètres d'influence
- d) l'incertitude-type $c_i u(x_i)$ correspondant à chacune des composantes, à partir du coefficient de sensibilité et de la loi de probabilité appropriée
- e) l'incertitude-type composée $u_c(y)$ calculée à partir de ses différentes composantes d'incertitudes-types



- f) l'estimation de l'incertitude élargie U à l'aide du facteur d'élargissement approprié (ce facteur est souvent conventionnellement pris égal à 2)

Elle peut faciliter, en outre, une analyse critique du résultat obtenu parce qu'elle permet d'identifier rapidement la ou les composantes qui pourraient influencer de manière significative sur le résultat de mesure.

En complément, deux exemples sont donnés en annexe 6. Le premier fournit de l'information sur une manière d'exprimer de façon analytique l'incertitude sur un intervalle donné appliqué au domaine Electricité-Magnétisme, le deuxième est une illustration dans le domaine Temps-Fréquence.

Remarque :

Dans les portées d'accréditation publiées, l'incertitude est associée à une probabilité de couverture d'environ 95 % alors que l'incertitude élargie U s'obtient en multipliant l'incertitude-type composée $u_c(y)$ par un facteur d'élargissement k :

$$U = k \cdot u_c(y)$$

Le choix de $k = 2$ fournit un intervalle à un niveau de confiance de 95 % environ lorsqu'une loi normale peut être attribuée à l'estimation de la grandeur mesurée, ce qui ne peut être systématiquement vérifié.

L'hypothèse d'une loi normale de l'estimation de la grandeur mesurée est en général satisfaite lorsque plusieurs (au moins 3) composantes de l'incertitude de valeurs comparables contribuent numériquement à l'incertitude-type composée et lorsque la composante évaluée par une méthode statistique (type A) est fondée sur un nombre d'observations répétées suffisant (au moins 10).

Si l'hypothèse d'une loi normale n'est pas justifiée, une valeur différente de $k = 2$ devrait être considérée pour obtenir une probabilité de couverture d'environ 95 %. Des exemples sont présentés et détaillés dans le Supplément 2 du document EA-4/02.

L'annexe 4 aborde la question du choix de la valeur de k lorsque la composante d'incertitude estimée par une méthode de type A et basée sur un nombre d'observations relativement faible contribue de manière significative à la détermination de l'incertitude-type composée.

Lorsque l'incertitude associée au résultat de mesure est dominée par une composante évaluée avec l'hypothèse d'une loi autre que normale, la propagation des incertitudes par la méthode de Monte-Carlo peut se révéler plus appropriée.

6.8.5 Remarques particulières

Valeurs de corrections non appliquées

Si les valeurs de correction ne sont pas appliquées, on peut se référer au § F.2.4.5 du GUM. Il est toutefois fortement recommandé d'appliquer ces corrections.

Une approche simplifiée peut consister à sommer arithmétiquement la valeur de la correction à l'incertitude élargie. L'incertitude finale sera alors dégradée.

Spécificités des étalonnages dans le domaine Temps-Fréquence :

Mesures de fréquence : une série de 30 mesures au moins est recommandée pour chaque fréquence.

Valeurs aberrantes : lorsque, de toute évidence, une valeur d'une série de mesures ne correspond pas aux valeurs attendues – par exemple un écart dix fois plus important que tous les autres – cette valeur peut être considérée comme aberrante et supprimée de la série dans la détermination de la valeur moyenne et de l'écart type associé. **Il sera cependant nécessaire de s'assurer du caractère exceptionnel de cet écart et qu'il ne correspond pas à un défaut répétable.**

Dérive de fréquence : pour un programme défini (nombre de mesures et nombre de séries de mesure), une durée de 20 jours est préconisée afin d'obtenir une valeur représentative de la dérive



de l'oscillateur. Cependant, dans le cas où les mesures ne sont réalisées qu'en vue de porter un jugement sur la conformité à des spécifications, la durée peut être ramenée à 10 jours. Ces mesures sont réalisées après stabilisation de l'équipement à étalonner.

Chronographes (chronomètres) à déclenchement manuel : l'étalonnage des chronographes à déclenchement manuel n'est réalisable que si un procédé impersonnel de substitution peut être mis en place pour assurer le déclenchement (absence d'effet opérateur). Dans ce cas, il appartient au laboratoire d'informer son client, dans le rapport sur les résultats, que l'incertitude d'étalonnage calculée ne prend pas en compte l'intervention manuelle de l'opérateur.

6.9 Assurer la validité des résultats

NF EN ISO/IEC 17025 § 7.7.1
LAB REF 02, § 7.7

Il est important de bien différencier les comparaisons interlaboratoires et intralaboratoires et de les distinguer dans les enregistrements mis en place par le laboratoire.

NF EN ISO/IEC 17025, § 7.7.2
LAB REF 02, § 7.7

Lors de la participation à des comparaisons interlaboratoires, afin d'assurer la pertinence de celles-ci, le laboratoire veille à ce qu'elles soient organisées avec un laboratoire disposant d'incertitudes d'étalonnage de « meilleur niveau » (ou au minimum de niveau équivalent) reconnu par un organisme tierce partie (un organisme d'accréditation), ou organisées par un laboratoire national de métrologie (LNM) ou un laboratoire désigné par ce dernier.

Dans le cadre de l'organisation d'un programme de comparaisons entre laboratoires internes à une même société ou à un même groupe, il faut veiller à bien définir les conditions et modalités d'organisation, afin notamment d'assurer et de démontrer l'impartialité et la pertinence des résultats obtenus.

Toutefois, il convient qu'au moins un des laboratoires participe périodiquement à des comparaisons interlaboratoires organisées par un organisme extérieur à la société ou au groupe.

Le programme de la comparaison interlaboratoires privilégie, pour une méthode donnée, les bornes des étendues de mesure et les points pour lesquels l'incertitude est la meilleure. Ceci peut aussi s'appliquer aux comparaisons intralaboratoires.

Les laboratoires ont pour objectif de couvrir, par leur participation à des CILs, l'ensemble des grandeurs définies dans leur portée suivant une fréquence de participation définie par le laboratoire en lien avec son activité et l'analyse de risque réalisée.

Etant donné la multiplicité des grandeurs et étendues de mesure des domaines concernés par ce guide, une présentation des CILs réalisées et planifiées est recommandée sous la forme du tableau présenté en annexe 7.

Pertinence du critère $|E_n| < 1$

Le critère $|E_n| < 1$ est largement appliqué sans toutefois une véritable analyse de sa pertinence.

Pour tous les objectifs, l'approche fondamentale consiste à comparer un résultat d'essai (x_i) à une valeur assignée (x_{ref}).

L'utilisation du score E_n peut permettre une évaluation directe de l'aptitude d'un laboratoire à fournir des résultats conformes à une valeur de référence (x_{ref}) dans les limites de l'incertitude de mesure visée ($U(x_i)$).

Comme premier élément d'interprétation, un score $|E_n| \geq 1$ fournit une preuve objective d'un résultat non satisfaisant. Il peut révéler un écart important de x_i par rapport à x_{ref} résultant par exemple d'une erreur de mesure, une sous-estimation de l'incertitude de mesure $U(x_i)$ ou une combinaison des deux et peut donc conduire à la nécessité de revoir les estimations d'incertitude ou de corriger un problème de mesurage.



Il est ici rappelé que (cf. norme NF ISO 13528) :

- si les grandeurs x_i et x_{ref} sont corrélées, un score E_n incluant l'incertitude de la valeur assignée sans inclure une contribution pour la corrélation représente une sous-estimation du score qui aurait résulté si la covariance avait été incluse. (voir exemple ci-après)
- si l'incertitude-type $U(x_{ref})$ de la valeur assignée est trop grande par rapport au critère d'évaluation de performance, le résultat du calcul peut générer un signal erroné en raison d'une inexactitude dans la détermination de la valeur assignée. (voir exemple ci-après)
- Un score $|E_n| < 1$ peut masquer un écart significatif entre x_i et x_{ref} qu'il conviendrait d'analyser. (voir exemple ci-après)

Notes :

- Pour traiter les cas a. et b. une simple mesure de la performance peut être calculée comme la différence entre le résultat de mesure x_i et la valeur assignée x_{ref} rapportée à l'incertitude de mesure.
- En parallèle de cette démarche de participation aux CILs, il appartient au laboratoire d'exploiter les possibilités de redondance interne qui sont à sa disposition pour valider la fiabilité de ses résultats de mesure.

Exemple illustrant le a. :

Prenons le cas d'une mesure de résistance 1 k Ω réalisée par trois opérateurs, avec la même méthode et les mêmes moyens et pour laquelle l'incertitude-type de raccordement est évaluée à 5,0 m Ω et l'incertitude-type de dérive à 3,8 m Ω .

Le résultat final est exprimé avec une incertitude de 15 m Ω ($k=2$) et l'écart maximal observé entre deux des opérateurs est égal à 5,8 m Ω .

L'application de la formule, sans prise en compte de la corrélation fournit une valeur de E_n égale à 0,55.

Les mesures étant réalisées sensiblement au même moment, la contribution de l'incertitude de raccordement ainsi que celle liée à la dérive de la valeur étalon seront les mêmes, les incertitudes données par les participants sont donc corrélées.

Chacune des incertitudes de mesure peut s'exprimer par :

$$u(x_1)^2 = u_{a1}^2 + u_e^2 + u_d^2 \quad \text{et} \quad u(x_2)^2 = u_{a2}^2 + u_e^2 + u_d^2$$

où

u_e et u_d sont respectivement les incertitudes de raccordement et de dérive (composantes communes)

u_{a1} et u_{a2} les incertitudes propres à chaque mesure (composantes indépendantes, comme l'influence de la température, qui varie constamment, la répétabilité des mesures).

L'incertitude rapportée à l'évaluation de l'écart observé (u_δ) peut se calculer par la relation :

$$u_\delta^2 = u_{a1}^2 + u_{a2}^2$$

Dans le cas présent : $u_{a1} = u_{a2} = 4,1$ m Ω .

Le score prend alors la valeur de 1, ce qui amène donc à prendre des actions correctives.

On retiendra que le critère $|E_n| < 1$, souvent retenu pour des essais croisés réalisés pour le suivi des compétences des opérateurs, n'est pas pertinent s'il ne prend pas en compte la corrélation des incertitudes associées au résultat de chacun d'eux (par exemple, l'étalonnage et la dérive de l'étalon).

Exemple illustrant le b. :

- $x_i = 1,0034$ V
- $x_{ref} = 1,0022$ V
- $U(x_i) = U(x_{ref}) = 1,0$ mV

$$E_n = \frac{(x_i - x_{ref})}{\sqrt{U(x_i)^2 + U(x_{ref})^2}} = \frac{(1,0034 - 1,0022)}{\sqrt{(1,10^{-3})^2 + (1,10^{-3})^2}} = 0,85 < 1$$



Dans cet exemple, le score $|E_n|$ est inférieur à 1 alors que l'écart entre les deux valeurs X_i et X_{ref} est supérieur à l'incertitude de chaque laboratoire ; de ce fait, il n'est pas possible de conclure avec ces simples résultats.

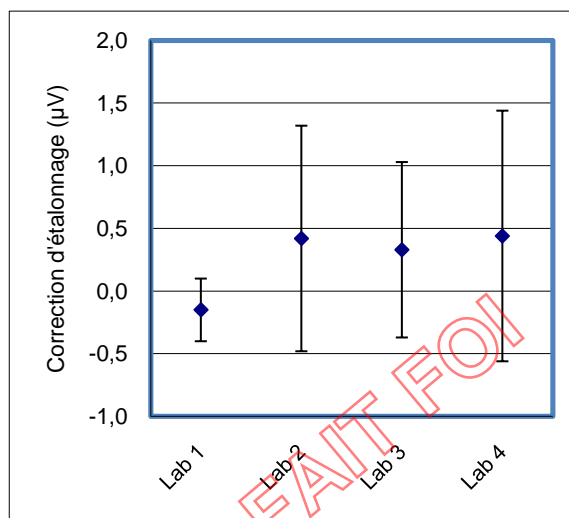
Exemple illustrant c. :

Le laboratoire 1 fournit un résultat $(-0,15 \pm 0,25) \mu\text{V}$ fortement écarté des 3 autres participants (écart $\geq 0,48 \mu\text{V}$) en regard de l'incertitude qu'il déclare.

Si ce laboratoire calcule ses E_n par rapport à chacun des résultats des autres laboratoires participants, il constate des E_n toujours inférieurs à 1 (0,74, 0,47 et 0,39) alors que manifestement la comparaison lui apporte une information à exploiter.

Par exemple :

- Son résultat est à remettre en cause ;
- Une erreur du protocole est possible ;
- La valeur de l'étalon voyageur a dérivé entre les laboratoires 1 et 2 ;
- Son incertitude est sous-estimée ;
- ...



6.10 Rapport sur les résultats

NF EN ISO/IEC 17025, § 7.8

Afin de sensibiliser l'utilisateur au contenu du certificat d'étalonnage, la phrase suivante peut être mentionnée :

"Les incertitudes-types composées ont été calculées en tenant compte des différentes composantes d'incertitudes, étalons de référence, moyens d'étalonnage, conditions d'environnement, contribution de l'instrument étalonné, répétabilité, ...".

Les conditions dans lesquelles les étalonnages sont réalisés sont mentionnées dans les rapports sur les résultats afin de garantir une reproductibilité des mesures et peuvent être par exemple le nombre de mesures (lorsque les résultats de l'étalonnage sont reportés sous forme de valeurs moyennées), la configuration des matériels (filtres, couplage, résolution, temps de mesure, ...), les configurations de mesure (position des gardes, mise à la terre, mesure en 4 bornes, ...), ...

Enfin, de manière générale pour l'établissement d'un rapport sur les résultats, il faut prendre garde aux aspects suivants :

- Le ou les instruments concernés ne présentent aucun défaut apparent (instabilité excessive, valeur aberrante,...).
- En cas d'ajustage, il est nécessaire d'enregistrer les modifications d'indication résultantes de celui-ci.
- Afin d'éviter toute mauvaise utilisation ou interprétation par le client, tout résultat suspect est clairement indiqué.
- Dans le cadre de l'étalonnage d'un indicateur, l'incertitude associée à la mesure a la même résolution que celle de l'affichage sauf si les résultats sont des valeurs moyennées.
- Dans le cadre de l'étalonnage d'un générateur ou équipement équivalent, l'incertitude associée à la mesure a la même résolution que celle du résultat de la valeur étalonnée.
- Dans les tableaux de mesure, l'incertitude présentée est un paramètre non négatif ce qui exclut la présence du symbole \pm .



- Conformément aux règles d'écriture servant à exprimer les valeurs numériques des grandeurs du Système international d'unités, un nombre, entier ou décimal, élevé à une puissance positive ou négative s'écrit avec une puissance de 10.

Exemple : $2,3 \times 10^{-6}$ (l'écriture 2,3E-06 n'est pas acceptée, les termes ppb et ppt sont à éviter)

- Dans l'écriture d'un nombre comprenant une partie décimale, pour séparer la partie entière de cette partie décimale, on emploie la virgule. (FD X 02-003)

En complément des exigences de la norme, les points suivants sont à prendre en considération :

Étalonnage avant opération de maintenance

Dans certains cas, les résultats d'étalonnage peuvent être modifiés suite à une opération de maintenance (réglages de potentiomètres ou de condensateurs, contacts entre cartes modifiés, ...). Dans la mesure du possible et avant toute intervention sur des équipements dont les caractéristiques peuvent être affectées, il convient de réaliser au minimum un étalonnage aux valeurs susceptibles d'être modifiées.

Ces résultats seront rapportés dans le certificat d'étalonnage.

Valeur zéro

Il est admis que la « valeur zéro » (correspondant à une sollicitation nulle), même si elle ne figure pas dans la portée d'accréditation, peut être mentionnée dans un rapport sur les résultats. Dans ce cas, l'incertitude donnée à la valeur zéro ne doit pas être inférieure à l'incertitude d'accréditation de la borne la plus basse en valeur absolue du domaine considéré à condition que la méthode utilisée soit identique. Dans ce cas, le laboratoire s'assure de la pertinence de la réalisation de la « valeur zéro » et de l'absence d'influence du montage permettant l'obtention de cette valeur.

Valeur résiduelle

La valeur résiduelle est une caractéristique intrinsèque à l'équipement mais par nature est instable à plus ou moins court terme. Sa connaissance permet de mieux maîtriser la grandeur métrologique mesurée.

Si elle est mesurée, les résultats d'étalonnage peuvent être fournis résiduelle déduite (résiduelle exclue) et cette valeur résiduelle est donnée avec une incertitude au moins égale à l'incertitude du point augmentée de la répétabilité.

Cette détermination permet un meilleur suivi métrologique de l'équipement.

Étalonnage d'un équipement possédant la fonction de suppression des offsets

Certains équipements (calibrateurs, multimètres, ...) permettent à l'utilisateur de supprimer les offsets de certains calibres.

Si l'étalonnage est réalisé après avoir procédé à cette opération, celle-ci est indiquée dans le certificat d'étalonnage et l'utilisateur effectuera la même opération pour bénéficier des corrections de son équipement.

Étalonnage d'un équipement possédant la fonction « AUTOCAL »

Certains équipements (multimètres, ...) proposent la fonction « AUTOCAL ». Il est important, à la fois pour le laboratoire procédant à l'étalonnage de l'équipement et pour l'utilisateur, d'effectuer cette opération selon les instructions du constructeur. Cette opération est indiquée dans le certificat d'étalonnage.

Cette procédure n'est pas à confondre avec l'Artefact Calibration qui est un véritable ajustage de l'appareil à partir de quelques étalons connectés à son entrée (par exemple, une tension continue, une résistance) et qui ramène l'équipement à des valeurs plus proches des valeurs nominales. Cette opération influe sur le calcul de la dérive de l'équipement et rend invalide l'étalonnage précédant l'opération.



6.11 Déclaration de conformité

NF EN ISO/IEC 17025, § 7.8.1.2, § 7.8.1.3, § 7.8.4.1.e et 7.8.6.1
LAB REF 02, § 7.8.6

Deux types de documents peuvent être délivrés à l'issue d'une prestation d'étalonnage incluant une déclaration de conformité :

- Un certificat d'étalonnage avec déclaration de conformité.

ou

- Un constat de vérification faisant référence aux programmes de vérification présentés dans le document AFNOR FD X 07-025-2, ou lorsque ceux-ci ne sont pas respectés, en mentionnant les points, calibres, et fonctions étalonnés et vérifiés.

Un constat de vérification est considéré comme étant un document simple, permettant d'attester du raccordement de l'équipement vérifié au SI et de décider aisément de l'aptitude de cet équipement à l'emploi prévu par son utilisateur.

Par conséquent, le constat de vérification ne comporte aucune valeur numérique **à l'exception des points mesurés et trouvés hors tolérance avant intervention sur l'instrument de mesure** (ajustage, réglage, réparation, opération de maintenance...) (cf. § 6.5 « Revue des demandes, appels d'offres et contrats » de ce document).

Remarque :

La déclaration de conformité ne peut s'appliquer qu'aux points vérifiés si le programme d'étalonnage défini n'est pas conforme à un programme de vérification publié (comme par exemple dans le document FD X 07-025-2).

Pour ces deux documents, il convient de mentionner les éléments suivants :

- le constat par rapport aux critères d'acceptation ;
- les erreurs maximales tolérées (EMT) précisées de manière explicite soit :
 - sous forme de référence (normative, réglementaire, spécifications constructeurs, cahier des charges) ;
 - directement en termes de valeurs ;
- la règle de décision permettant de prononcer ou non la déclaration de conformité de l'équipement ;
- dans un constat de vérification, des informations complémentaires comme les conditions de validité de la vérification correspondant notamment aux limitations ou restrictions de validité du(des) constat(s), imputables à la procédure de vérification utilisée (par exemple conditions de montage particulières, matériel associé, charge...).

Remarque :

Le laboratoire peut à titre indicatif consulter les documents FD X 07-022, FD X 07-019, ISO/IEC Guide 98-4:2012 (JCGM 106) et FD X 07-039.

Des exemples de critères permettant de prononcer ou non la conformité d'un équipement vis à vis d'une limite d'acceptation sont présentés en annexe 8 de ce guide.

Un exemple de constat de vérification et de certificat d'étalonnage sont présentés en annexe 9 de ce guide.



6.12 Risques et opportunités

La norme précitée n'apportant aucune information précise relative au traitement des risques et opportunités, ce paragraphe a pour but d'aider les laboratoires à mieux appréhender ces concepts. Il s'agit donc de donner une vision plus concrète afin de comprendre comment maîtriser l'impact d'un risque ou d'une opportunité sur les fonctions clés du management de la qualité et plus particulièrement celles concernant les processus techniques.

Cette recherche de la maîtrise passe par une réflexion relative à l'importance de cet impact. Cette importance est propre à chaque type d'évènement et à chaque laboratoire.

De nombreuses solutions existent dans ce domaine, plus ou moins aisées à mettre en œuvre ; elles dépendent naturellement du contexte et de l'importance du sujet.

Des exemples sont proposés en annexe 10.

7. RECOMMANDATIONS POUR LES ETALONNAGES SUR SITE

Les meilleures possibilités d'étalonnage sur site figurent clairement dans la portée d'accréditation et sont distinguées des autres prestations (cf. LAB REF 08 et LAB INF 26).

Compte tenu de la spécificité de cette activité, des processus de surveillance technique (personnel, moyen, procédure, ...) et de validation des résultats sont nécessaires.

7.1 Personnel

En complément des compétences techniques propre au domaine considéré, il convient que le personnel intervenant sur site soit qualifié sur des critères adaptés aux tâches spécifiques liées aux prestations sur site.

7.2 Conditions environnementales

Il convient que le laboratoire ait connaissance des conditions environnementales avant la réalisation de l'étalonnage. Celles-ci sont acceptées par les deux parties.

Il est nécessaire de fixer les limites de faisabilité technique qui, si elles sont dépassées, rendraient la prestation invalide ou irréalisable.

Pendant les mesures, l'opérateur s'assure du respect des conditions d'ordre climatique mais également d'ordre électromagnétique ou tout autre paramètre ayant une incidence sur celles-ci (cf. recommandations présentées dans ce document au § 6.2 « Installations et conditions ambiantes » au niveau du § 6.3 de la norme NF EN ISO/IEC 17025).

Il est par ailleurs important de préciser dans le rapport sur les résultats le lieu et les conditions environnementales dans lesquels ont été réalisés les étalonnages ou les vérifications.

7.3 Traçabilité des étalonnages

7.3.1 Equipements

D'une façon générale, le laboratoire s'assure que les instruments de mesure n'ont pas subi d'incidence liée au déplacement (avant, pendant et après celui-ci). A ce sujet, il convient de définir les conditions particulières de transport au sein d'une procédure.

A cette fin, le laboratoire peut réaliser une opération technique sur l'étalon voyageur, avant et après la campagne d'étalonnage afin de vérifier que l'écart constaté reste toujours dans les limites fixées par le laboratoire.

Des enregistrements de ces opérations sont nécessaires.

Les instruments de mesure utilisés pour les étalonnages, en particulier les étalons, sont mis dans les conditions d'environnement spécifiées avant tout étalonnage – température et éventuellement



hygrométrie, pression atmosphérique, etc. Pour ce faire, les dispositions retenues par le laboratoire sont consignées dans une procédure disponible au technicien opérant sur le site. Elles sont en adéquation avec les conditions environnementales considérées dans les calculs d'incertitudes. Toutes ces opérations sont enregistrées ainsi que les preuves de conformité de celles-ci.

Sauf cas particulier, les étalons de référence du laboratoire ne sont pas utilisés pour des étalonnages sur site, afin de préserver la pérennité des raccordements au SI et de ne pas risquer une dérive excessive et non contrôlée de leurs valeurs.

7.3.2 Méthodes et incertitudes

Dans ses dispositions, le laboratoire décrit ses méthodes d'étalonnage sur site en prenant en compte toutes les particularités liées à cette activité.

En complément aux composantes élémentaires habituellement considérées dans l'estimation des incertitudes de mesure en laboratoire, les causes spécifiques à l'usage des étalons sur site client sont à considérer pour les intervalles de température et éventuellement d'hygrométrie, de pression, etc. présentés dans la portée d'accréditation. Il convient même de déterminer l'influence sur les étalons que peuvent apporter leur transport (vibrations, chocs, etc.) et les variations répétées de la température et d'autres phénomènes physiques.

Un étalon complémentaire (par exemple un multimètre complétant un calibrateur) peut être utilisé afin de permettre de valider les mesures sur site.

8. RECOMMANDATIONS POUR L'ETALONNAGE EN SIMULATION ELECTRIQUE

Pour ce type d'étalonnage, il est conseillé de se reporter aux documents LAB GTA 08 ou EURAMET Calibration Guide cg-11.

Il est rappelé que :

- L'incertitude doit être calculée pour chaque type de couple.
- Il est recommandé d'évaluer systématiquement la sensibilité du montage (cf. exemples présentés en annexe 5).

9. RECOMMANDATIONS POUR LA REALISATION DE LA METROLOGIE INTERNE

LAB REF 02 § 6.5.2

Un laboratoire accrédité en essai ou en étalonnage peut réaliser sa métrologie en interne. De ce fait, les recommandations du présent guide s'appliquent.

Le service de métrologie doit démontrer sa compétence à produire des prestations d'étalonnage pour les grandeurs métrologiques concernées, selon les critères établis dans le document GEN REF 10.

Avant chaque évaluation, le laboratoire fournit au Cofrac son champ d'activité connu, couvert par la métrologie interne. Une manière de le présenter peut être le modèle de portée du LAB INF 26 afin d'y définir la liste des équipements soumis à étalonnage, des grandeurs et des incertitudes associées.

Il est également recommandé au laboratoire réalisant sa métrologie interne de tenir à jour :

- une liste des raccordements externes et internes
- une liste des procédures en vigueur
- un plan des participations à des comparaisons interlaboratoires réalisées et à venir (cf. exemple en annexe 7).



10. NOMENCLATURE DES ETALONNAGES ET EXPRESSION DES PORTEES D'ACCREDITATION

L'expression de la compétence d'un organisme est décrite dans sa portée d'accréditation sous forme de tableaux. Des exemples sont proposés ci-après.

Il convient de préciser les éléments de chaque colonne de ces tableaux de la façon suivante :

Objet :

Liste des familles d'équipements soumis à étalonnage (exhaustive pour les portées FIXE).

Caractéristique mesurée ou recherchée :

Grandeur mesurée.

Domaine d'application :

Il s'agit par exemple de la bande de fréquences ou de toutes conditions particulières de mesure spécifiques au laboratoire.

Etendue de mesure :

Intervalle de mesure ou valeurs ponctuelles correspondant aux possibilités du laboratoire pour la grandeur mesurée.

Incertitude élargie :

L'incertitude de mesure élargie correspond à l'incertitude-type composée multipliée par un facteur d'élargissement k , de telle sorte que la probabilité de couverture corresponde approximativement à 95 %.

Il est approprié de présenter les incertitudes sous forme de valeur absolue.

Principe de la méthode :

Description succincte de la méthode employée.

Principaux moyens utilisés :

Equipements nécessaires à la mise en œuvre de la méthode (essentiellement les étalons).

Référence de la méthode :

Identification de la procédure d'étalonnage du laboratoire.

Lieu de réalisation :

Cette colonne est à ajouter aux tableaux dans le cadre de la réalisation de prestations sur site.

Préciser dans cette colonne si la prestation est réalisée sur "site client" ou en "laboratoire" pour les laboratoires réalisant ces 2 types de prestations.

Pour ce faire, les laboratoires s'appuient sur le document Cofrac LAB INF 26 présentant les étalonnages les plus couramment réalisés en métrologie électrique, magnétique et temporelle (nomenclature) et sur le document Cofrac LAB INF 28 présentant des exemples d'expressions de portées en fonction du type de flexibilité.

Par ailleurs, en application du document Cofrac LAB REF 08, les portées d'accréditation des laboratoires peuvent être flexibles.

En fonction du besoin du laboratoire, la flexibilité de sa portée est alors exprimée par l'intermédiaire d'une phrase associée aux tableaux présentant la portée d'accréditation.

Des exemples de présentation de portée générale et portée détaillée sont disponibles en annexe 11. La portée générale présente la liste des compétences issues des « meilleures méthodes d'étalonnage » (cf. définition en § 6.6.1). La portée détaillée la complète par une description de toutes les possibilités couvertes par la flexibilité (« méthodes donnant des incertitudes dégradées » ou autres objets).



Annexe 1 : Tableau récapitulatif des raccordements

DESIGNATION DE L'APPAREIL	CONSTRUCTEUR	TYPE DE L'APPAREIL	N° DE SERIE DE L'APPAREIL / N° INTERNE	FONCTIONS, CALIBRES, ET POINTS RACCORDES (ou référence à un programme d'étalonnage)	PERIODICITE	DATE DE L'AVANT DERNIER RACCORDEMENT	DATE DU DERNIER RACCORDEMENT	DERNIER CERTIFICAT D'ETALONNAGE	
								Numéro	Réalisé par le laboratoire :

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI



Annexe 2 : Raccordement à distance aux étalons de fréquence et références de temps

Le domaine Temps-Fréquence présente la particularité de pouvoir disséminer par des moyens de transfert divers, les unités et les échelles de temps nationales ou internationales, afin de les rendre directement accessibles sans nécessiter le déplacement physique des étalons nationaux ou des étalons de transfert.

Les moyens de transfert utilisés peuvent être :

- La réception d'un signal radio diffusant un code horaire ou une fréquence de référence (exemples : Emetteur d'Allouis à 162 kHz (anciennement France Inter), émetteur de Mainflingen à 77,5 kHz (DCF77), émetteur d'Anthorn à 60 kHz (MSF60)), ... ;
- La réception des signaux GNSS en vues communes (exemple : GPS-SYREF piloté par le LNE-LTFB, logiciel de raccordement mis à disposition par le LNE-SYRTE, GPSDO en liaison avec un laboratoire national de métrologie participant au CIPM MRA CCTF-K001.UTC) ;
- L'émission et la réception de signaux de temps et de fréquence par liens micro-ondes bidirectionnels à travers un satellite des télécommunications - TWSTFT (lien LNE-SYRTE – LNE-LTFB, ...)
- Les données de temps et de fréquence diffusées par bulletins, circulaires ou fichiers informatiques, émanant du LNE-SYRTE, de laboratoires équivalents (PTB, VSL, NIST, ...) ou du BIPM ;
- La réception par voie téléphonique (36 99) de l'heure légale diffusée par l'horloge parlante de l'Observatoire de Paris ;
- La réception d'un signal horaire par internet, sous certaines conditions (enregistrements et exploitation des fichiers NTP, infrastructure SCPTIME, ...).

Note :

La condition pour qu'un laboratoire utilise ces moyens de transfert, hors horloge parlante, est qu'il possède une source de Temps-Fréquence servant de référence locale et un récepteur approprié.



Annexe 3 : Liste non exhaustive des documents à transmettre pour les demandes d'accréditation initiale et d'extension

Pour chaque grandeur, il appartient au laboratoire candidat de transmettre au Cofrac pour l'instruction les dispositions documentées et les enregistrements traitant au moins des points suivants :

- la liste des équipements et étalons utilisés et leurs raccordements (programme, périodicité et preuve de traçabilité au SI) ;
- les méthodes de mesures utilisées (procédure utilisée, schéma de principe, ...) ;
- les incertitudes de mesures (analyse des composantes, détail des calculs, ...) et les tableaux de synthèse des bilans d'incertitudes ;
- les éléments de validation de chaque méthode comprenant les valeurs et les résultats ;
- la description des locaux et des spécifications des conditions ambiantes ;
- les spécimens de documents d'étalonnage tels qu'ils sont susceptibles d'être émis sous accréditation ;
- les résultats de comparaisons interlaboratoires et tout autre document relatif à la surveillance de la qualité des résultats ;
- les éléments relatifs à la gestion de la portée flexible, le cas échéant.

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI

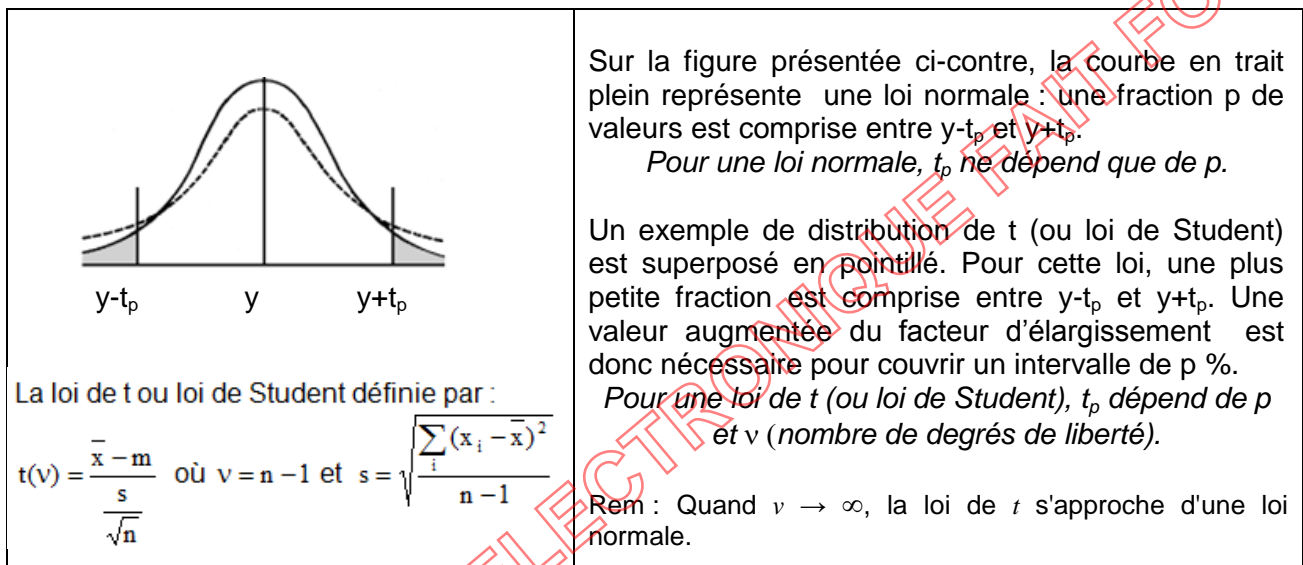


Annexe 4 : Estimateur pour un nombre réduit d'échantillons (application de la loi de Student)

Le nombre d'observations est suffisamment grand pour garantir une estimation fiable de l'incertitude par une méthode statistique. Dans le cas contraire et si la loi de probabilité est assimilée à une loi normale, la différence est prise en compte à travers la loi de t ou loi de Student (cf § 4.2.3 du GUM et son annexe G).

Cette annexe précise les modalités d'application.

Lorsqu'il y a moins de 10 mesures et qu'aucune estimation basée sur l'expérience n'est disponible, l'estimateur évalué par une méthode de Type A est multiplié par un facteur k_p . Ce facteur dépend d'un paramètre ν , appelé « degré de liberté » et du niveau de confiance associé à l'estimateur.



ν	1	2	3	4	5	6	7	8	10	20	50	∞
t_p	13,97	4,53	3,31	2,87	2,65	2,52	2,43	2,37	2,28	2,13	2,05	2,00

Tableau 2 - Facteur d'élargissement t_p pour un nombre de degrés de liberté ν ($p = 95,45$ %)

Pour un nombre n d'observations indépendantes et un nombre m de paramètres (ou d'inconnues) à estimer, les degrés de liberté ν sont donnés par :

$$\nu = n - m$$

Pour une grandeur unique estimée par la moyenne arithmétique de n observations indépendantes, les degrés de liberté sont : $\nu = n - 1$.

Remarque :

Pour un ajustement linéaire par la méthode des moindres carrés pour déterminer à la fois la pente et l'ordonnée à l'origine à partir de n observations indépendantes, les degrés de liberté sont :

$$\nu = n - 2.$$

Exemple d'application :

5 mesures de tension sont répétées. La loi de distribution est supposée normale.

Pour un grand nombre de mesures, $k = 2$ pour $p = 99,45$ %.

Le nombre de mesures étant égal à 5, $\nu = 4$ et $t_p(\nu) = 2,87$.

L'évaluation de type A (écart-type expérimental) sera multipliée par 1,43 (rapport entre $t_p(\nu) = 2,87$ et $k = 2$).



Annexe 5 : Exemples de détermination de la sensibilité d'un montage

Exemple n°1 :

Domaine : différence de potentiel en courant alternatif.

Montage :

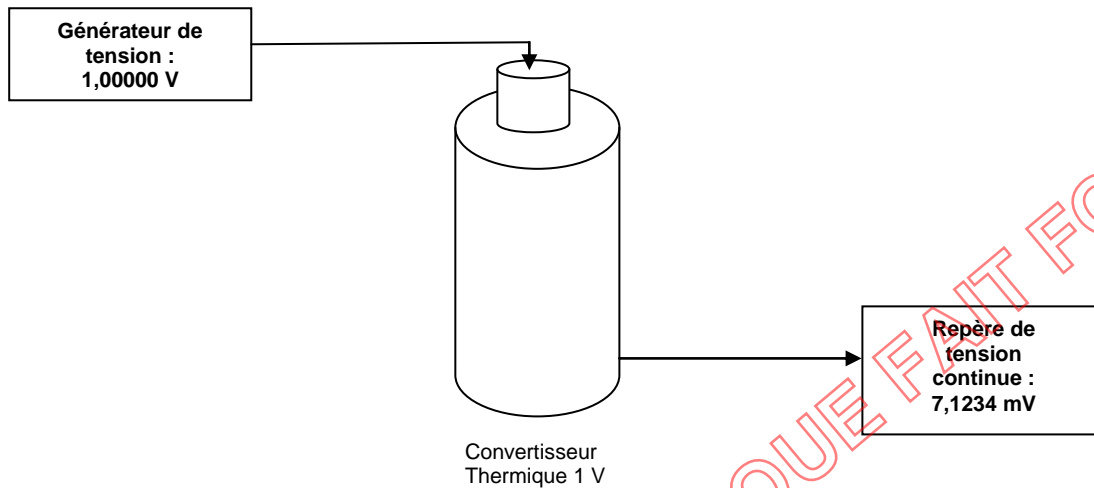


Figure 3 – Etalonnage d'un convertisseur thermique

Lors de l'utilisation d'un convertisseur thermique (1 V par exemple), la sensibilité est déterminée par la plus petite variation de la grandeur d'entrée (générateur de tension à l'entrée du convertisseur) pour apprécier une variation significative (c'est-à-dire en dehors du bruit de mesure) de la grandeur de sortie (repère de la tension continue du convertisseur).

Il est recommandé de déterminer la sensibilité à plein calibre et mi-calibre.



Exemple n°2 :

Domaine : simulation électrique en température

Montage avec câble d'extension :

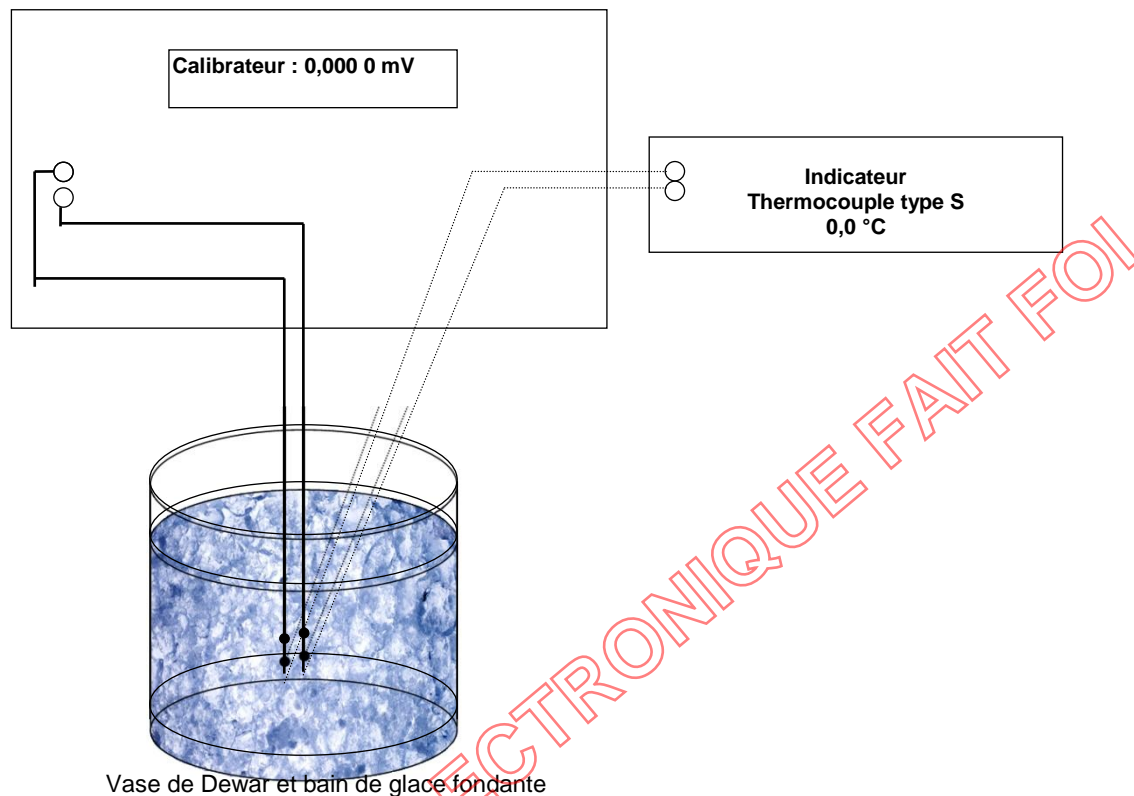


Figure 4 – Sensibilité d'un indicateur en simulation électrique de température pour un thermocouple type S, (avec compensation de soudure froide) au voisinage de 0 °C

La résolution théorique de l'indicateur est de 0,1°C. La sensibilité est déterminée à partir du générateur de différence de potentiel en courant continu en faisant varier sa valeur jusqu'à la prochaine indication de la température, qui peut, pour certains appareils, être différente de la résolution.

Cette sensibilité est à déterminer à chaque point de mesure.

Note :

Afin d'obtenir une mesure plus significative, il peut être utile d'évaluer la sensibilité sur une étendue 10 fois supérieure à celle recherchée.

Dans ce cas et en considérant la variation comme étant linéaire, la valeur obtenue est divisée par 10.



Annexe 6 : Exemples de présentation d'un bilan d'incertitudes

Pour les deux exemples - Les valeurs numériques sont données à titre d'exemple pour illustrer la démarche.

Exemple n°1 :

CALCUL DE L'INCERTITUDE D'ETALONNAGE D'UNE MESURE DE PUISSANCE EN COURANT CONTINU : $P = U^2/R$

Valeurs d'incertitude déterminées pour une puissance fictive de 10 W à 1 kW (10 V à 100 V – 1 A à 10 A) avec une estimation de probabilité d'environ 95 %.

Méthode :

Le wattmètre à étalonner étant alimenté par le générateur, l'indication du wattmètre P_x est comparée à la puissance calculée P .

La tension U est mesurée à l'entrée des bornes "tension" U_1 et U_2 du wattmètre au moyen d'un voltmètre étalon.

L'intensité du courant appliqué à l'entrée des bornes "courant" I_1 et I_2 est déterminée par la loi d'Ohm à travers la résistance étalon R .

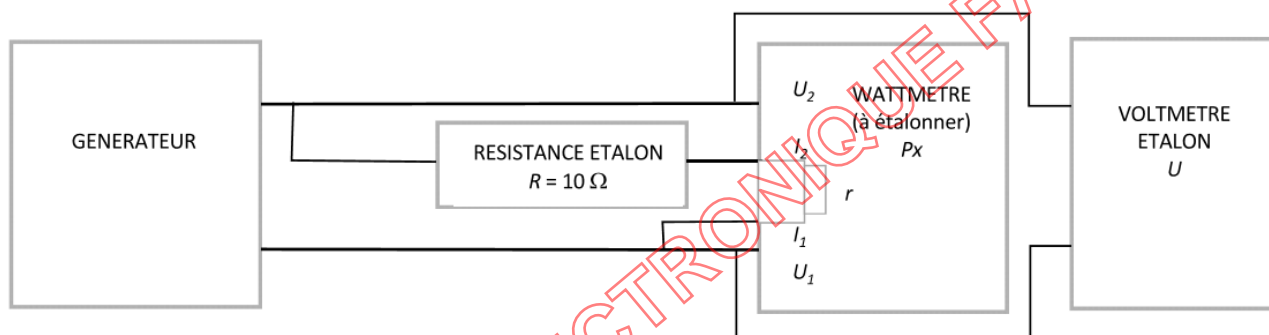


Figure 5 – Mesure d'une puissance en courant continu

$$P = \frac{U^2}{R}, \quad P_x = P + \varepsilon, \quad \text{avec } \varepsilon \text{ la valeur de l'écart}$$

A partir de la relation qui existe entre P , U et R , on peut en déduire la valeur de chaque coefficient de sensibilité.

Pour une détermination d'incertitude exprimée en valeurs relatives :

- Le coefficient de sensibilité sur U est égal à 2 ;
- Le coefficient de sensibilité sur R est égal à 1.



Composante élémentaire d'incertitude	Appellation	Evaluation de la composante (x_i)		Loi de probabilité	Diviseur (F_d)	Incertitude type (u_i) ($u_i = x_i/F_d$)		Coefficient de sensibilité (c_i)	Contribution $c_i \cdot u_i$	
		à 10 W (%)	à 1 kW (%)			à 10 W (%)	à 1 kW (%)		à 10 W (%)	à 1 kW (%)
Répétabilité des mesures de tension U (écart-type d'une série de 10 mesures)	A1	0,15	0,05	Normale	1	0,15	0,05	1	0,15	0,05
Mesure de tension U										
Raccordement (donné à $k = 2$)	B1	0,05	0,05	/	2	0,025	0,025	2	0,05	0,05
Dérive (3 ^{ème} cas suivant LAB GTA 10)	B2	0,05	0,03	Rectangulaire	$2\sqrt{3}$	0,014	0,009	2	0,029	0,017
...										
Résistance étalon R										
Raccordement (donné à $k = 2$)	B3	0,05	0,05	/	2	0,025	0,025	1	0,025	0,025
Dérive (2 ^{ème} cas suivant LAB GTA 10)	B4	0,07	0,07	Rectangulaire	$\sqrt{3}$	0,040	0,040	1	0,040	0,040
Influence de la température (± 2 °C)	B5	0,03	0,03	Sinusoïdale	$\sqrt{2}$	0,021	0,021	1	0,021	0,021
...										
Wattmètre étalonné P_x										
Résolution	B6	0,1	0,001	Rectangulaire	$2\sqrt{3}$	0,029	0,0003	1	0,029	0,0003
...										
Variance $V = \sum (c_i \cdot u_i^2)$ (A1 à B6) Incertitude-type composée $u_c = \sqrt{V}$ (A1 à B6)									0,029	0,0080
									0,171	0,089
									Incertitude élargie ($k = 2$) $U = 2 \cdot u_c$	
									0,34	0,18
									Incertitude retenue (%)	
									0,4 - 0,0002 · P	

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI

Notes :

- Pour chaque composante élémentaire d'incertitude, le laboratoire précise si la valeur estimée représente une étendue ou une demi-étendue.
- Si des erreurs systématiques existent, il est admis qu'elles soient sommées arithmétiquement



- F_d : Facteur de distribution lié à la loi de probabilité

Exemple n°2 :

CALCUL DE L'INCERTITUDE D'ETALONNAGE D'UN GENERATEUR D'INTERVALLE DE TEMPS

Composante élémentaire d'incertitude	Appellation	Evaluation de la composante (x_i)		Loi de probabilité	Diviseur (F_d)	Incertitude type (u_i) ($u_i = x_i/F_d$)	Coefficient de sensibilité (c_i)	Contribution $c_i \cdot u_i$
		ns	Terme en τ (10^{-12})					
Appareil étalonné (générateur d'IT)								
Répétabilité des mesures (écart-type d'une série de 12 mesures) x facteur d'élargissement t_p considéré à 1 (voir note explicative en annexe 4)	A1	1,1	/	Normale	1	1,1000	1	1,1000
Incertitude d'étalonnage de la fréquence de référence	B1	/	4	Normale	2	0,0200	1	0,0200
Dérive de la fréquence de référence (2ème cas)	B2	/	0,15	Rectangulaire	1,73	0,0009	1	0,0009
Stabilité de la fréquence de référence (issue du certificat d'étalonnage)	A2	/	2,32	Normale	1	0,0232	1	0,0232
Intervallomètre utilisé								
Erreur de quantification (doc constructeur : 750 ps)	B3	0,75	/	Normale	1	0,7500	1	0,7500
Influence du bruit sur le trigger (doc constructeur)	B4	0,00035	/	Rectangulaire	1,73	0,0002	1	0,0002
Amplitude minimale 1 V ; vitesse au moins égale à 1 V/ns								
Erreur aléatoire (doc constructeur)	B5	0,75	/	Rectangulaire	1,73	0,4330	1	0,4330
Erreur de déclenchement du trigger (doc constructeur)	B6	0,03	/	Rectangulaire	1,73	0,0173	1	0,0173
Erreur de résolution (500 ps)	B7	0,25	/	Rectangulaire	1,73	0,1443	1	0,1443
Variance $V = \sum (c_i \cdot u_i^2)$ (A1 à B7)								1,9821
Incertitude type composée $u_c = \sqrt{V}$ (A1 à B7)								1,4079

Incertitude élargie ($k = 2$) $U = 2 \cdot u_c$ (ns)	2,9
Incertitude retenue (ns)	3,0

Notes :

- IT (ns) : $1 \cdot 10^{10}$
- F_d : Facteur de distribution lié à la loi de probabilité



Annexe 7 : Exemple de présentation du plan de participation aux comparaisons interlaboratoires

Les informations ci-dessous sont données à titre informatif et sont à adapter en fonction de la portée d'accréditation (n correspond à l'année en cours).

Planning de comparaison interlaboratoires en métrologie Electricité-Magnétisme (liste non exhaustive)

Grandeur (description de la ligne de portée d'accréditation)	n-4	n-3	n-2	n-1	n	n+X
ddp en courant continu Valeurs fixes : 1,018 V et 10 V		CIL xxx ZENER Pilote : LNE (nationale)				
Résistance en courant continu (valeurs fixes)	CIL xxx Résistance de 1 Ω et 100 M Ω Pilote : LNE (nationale)					CIL Planifiée Résistance 100 Ω - 1 k Ω - 1 M Ω
Résistance de haute valeur (valeurs fixes)				CIL xxx RHV de 1 G Ω et 1 T Ω Pilote : xxx (multipartenaires)		
ddp en courant continu ($U < 1$ kV)		CIL xxx Multimètre 34401A Pilote : xxxx (bilatérale)			CIL xxx Multimètre 3458A Pilote : VSL (pour EA)	Planifié Calibrateur F5700A
ddp en courant alternatif ($U < 1$ kV) ($f < 100$ kHz) 100 mV à 1 kV						
Intensité en courant continu ($I < 10$ A)						
Intensité en courant alternatif ($I < 10$ A) (20 Hz à 5 kHz)						
Résistance						
Intensité en courant continu ($I < 100$ pA)		CIL xxx Calibrateur 6514 1 pA ; 10 pA et 100 pA Pilote : xxxx (bilatérale)				
Intensité en courant continu ($I > 100$ A)			CIL xxx Shunts 1 m Ω (200 A) et 100 $\mu\Omega$ (1500 A) Pilote : LNE (nationale)			
Shunt pour forts courants						
Tension alternative faibles niveaux en courant alternatif ($U < 10$ mV)					CIL xxx Calibrateur 10 μ V 100 μ V et 1 mV à 50 Hz et 1 kHz Pilote : xxxx	



Grandeur (description de la ligne de portée d'accréditation)	n-4	n-3	n-2	n-1	n	n+X
					(bilatérale)	
Rapport en courant continu						
Rapport en courant alternatif						
Haute tension : $U > 1$ kV en courant continu						
Haute tension : $U > 1$ kV en courant alternatif						
Puissance / Energie électrique ¹					CIL xxx Compteur d'énergie Pilote : xxxx (internationale)	
Simulation de température ²				CIL-Temp xxx Simulateur de température – couple type K et sonde Pt 100 Pilote : xxxx (bilatérale)		
Impédance ³ (capacité électrique, inductance, résistance en courant alternatif)	CIL xxx Inductance – 1 mH et 100 mH Pilote : xxxx (bilatérale)		CIL xxx Capacité – 10 pF ; 1 nF et 1 µF à 1 kHz 10 pF et 1 nF à 1 MHz Pilote : xxxx (entre 3 laboratoires accrédités)			CIL xxx Pont d'impédance ³

¹ Puissance/Energie :

Les participants sont : xxxx

Les étalons voyageurs sont des compteurs d'énergie de type MT3305 et PRS 400.3 et sont fournis par : xxx

Programme proposé :

Energie active

 $U = 57,7$ V I en A : 0,5 et 5 $\cos \varphi$: 1 - 0,5 AR et 0,8 AV $U = 230$ V I en A : 0,5 - 5 et 60 $\cos \varphi$: 1 - 0,5 AR et 0,8 AV

Energie réactive :

 $U = 57,7$ V I en A : 1 et 5 $\sin \varphi$: 1 - 0,5 AR et 0,25 AR $U = 230$ V I en A : 1 et 5 $\sin \varphi$: 1 - 0,5 AR et 0,25 AR

Mesure d'harmoniques.

² Température (par simulation)

Etalon voyageur : xx, fourni par xxx

Objet de la comparaison : mesure de température par thermocouple et sonde Pt 100.

Le programme d'étalonnage est établi d'un commun accord entre les 2 participants. Les mesures sont réalisées en

En génération par sonde Pt100, des écarts sont observés. Après reprise de mesure par xxx, les résultats sont satisfaisants.

La prochaine comparaison portera sur la fonction génération.

³ Impédance

Le programme d'étalonnage inclura des mesures en capacité et inductance.



Grandeur (description de la ligne de portée d'accréditation)	n-4	n-3	n-2	n-1	n	n+X
Puissance RF [100 MHz – 18 GHz]				CIL xxx Milliwattmètre HF 10 mW à trois fréquences Sur ligne coaxiale 50 Ω en 7 mm (PC-7, type-N) Pilote : xxxx (bilatérale)		
Tension RF		CIL xxx Millivoltmètre HF URV35 Programme ⁴ Pilote : LNE (nationale)				
Paramètres S [100 MHz – 50 GHz]			CIL xxx Affaiblisseur Sur ligne coaxiale 50 Ω en 2,4 mm) Pilote : xxxx (nationale)			
Affaiblissement [100 MHz – 18 GHz]						CIL xxx Affaiblisseur HP 8491B – 3 dB à 100 MHz / 20 dB à 12 GHz / 50 dB à 12 GHz et 18 GHz Pilote : LNE (nationale)
Facteur de réflexion [100 MHz – 95 GHz]					CIL xxx ⁵ Charge - Γ de l'ordre de 0,1 et 0,01 Pilote : xxxx (multipartenaires Europe)	

⁴ En différence de potentiel en courant alternatif haute fréquence

1 V à 1 MHz et 1 GHz
0,6 V à 100 MHz et 1 GHz
0,25 V à 50 MHz
0,1 V à 50 MHz et 1 GHz
et 0,01 V à 1 MHz

⁵ Facteur de réflexion

Les participants sont : xxxx
Etalon voyageur : charge xxx, fournie par le pilote
Objet de la comparaison : déterminer le module du facteur de réflexion (Γ) sur [50 MHz - 24 GHz].
Compte-tenu des moyens les mesures sont réalisées jusqu'à 18 GHz.
Points de mesure à 50 MHz, 1 GHz, 6 GHz et 18 GHz.



Grandeur (description de la ligne de portée d'accréditation)	n-4	n-3	n-2	n-1	n	n+X
Rapport d'excès de bruit ENR [100 MHz - 18 GHz]		CIL xxx ⁶ Source de bruit Sur ligne coaxiale 50 Ω Pilote : xxxx (multipartenaires Europe)				
Facteur d'antenne [10 Hz – 10 MHz]					CIL xxxx Antenne-boucle Pilote : xxxx (multipartenaires Europe)	
Facteur d'antenne [10 kHz – 30 MHz]	CIL xxxx Antenne-fouet Pilote : xxxx (multipartenaires Europe)					
Facteur d'antenne [30 MHz – 2 GHz]			CIL xxxx Antenne bi-log Pilote : xxxx (multipartenaires Europe)			
Gain d'antenne (> 1 GHz)				CIL xxxx Cornet Pilote : xxxx (bilatérale)		
Formes d'ondes non sinusoïdales				CIL xxx Pistolet de décharges électrostatiques (DES) Pilote : METAS (pour EA)		CIL xxx Générateur de Transitoires Electriques Rapides en Salves (TERS) Pilote : xxx (bilatérale)

⁶ Bruit radioélectrique

Les participants sont : xxxx

Etalon voyageur : source de bruit xxx, fournie par le pilote

Programme de mesure :

ENR à 60 MHz - 100 MHz - 600 MHz - 1 GHz - 8 GHz - 12 GHz et 18 GHz



Planning de comparaison interlaboratoires en métrologie temps-fréquence (liste non exhaustive)

Grandeur (description de la ligne de portée d'accréditation)	n-4	n-3	n-2	n-1	n	n+X
Fréquence fixe (Étalon de fréquence au rubidium)						CIL xxxx 10 MHz Pilote : LNE
Stabilité de fréquence (Oscillateur seul)			CIL xxxx 10 MHz de 1 s à 100 s Pilote : LNE-LTFB			
Fréquence (Synthétiseur ≤ 1 GHz)		CIL xxxx de 100 mHz à 1 GHz Pilote : xxx (bilatérale)				
Fréquence (Fréquencemètre RF)					CIL xxxx 1 GHz à 40 GHz Pilote : xxx (trilatérale)	
Intervalle de temps (Générateur d'impulsions)	CIL xxxx 10 ns à 3 600 s Pilote : LNE-LTFB					CIL xxxx 1 s à 1 000 s Pilote : xxx (bilatérale)
Vitesse de rotation (Tachymètre à contact)					CIL xxxx 10 tr/min à 6 000 tr/min Pilote : LNE	
Intervalle de temps (Centrifugeuse)				CIL xxxx 60 s à 7 200 s et 100 tr/min à 15 000 tr/min Pilote : xxx (bilatérale)		
Vitesse de rotation (Centrifugeuse)						
Fréquence (Variateur de vitesse)			CIL xxxx De 10 Hz à 1 kHz Pilote : xxx			



Annexe 8 : Exemple de critères permettant de prononcer ou non la conformité d'un équipement

Principes généraux

La conformité à la spécification est prouvée lorsque le résultat d'un mesurage y est situé à l'intérieur des limites d'erreurs maximales tolérées de la caractéristique d'un instrument de mesure réduit des valeurs d'incertitude élargie U ; c'est **la zone de conformité** (voir figure 6).

Au-delà des valeurs limites, incertitude comprise, c'est **la zone de non-conformité**.

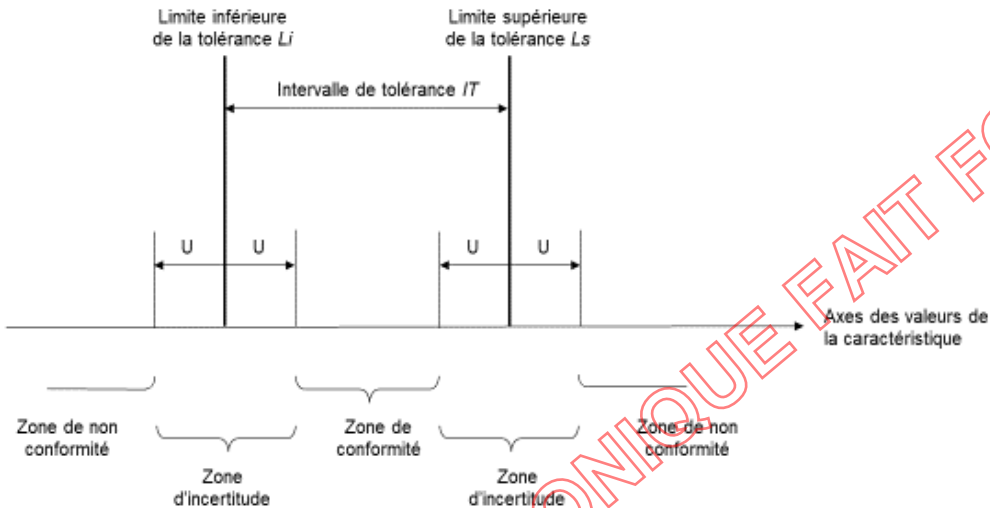


Figure 6 – Déclaration de conformité – Zones de conformité, non-conformité et d'incertitude

Lorsque le résultat d'un mesurage y se situe de part et d'autre de ces valeurs limites calculées, la déclaration de conformité peut se faire mais comportera une part plus ou moins grande de risque. Par ailleurs, les valeurs d'incertitude U sont déterminées en considérant, en général, une loi de probabilité « normale » ; ce qui montre qu'une évaluation du risque est possible dans la zone allant des limites de la tolérance à cette limite déduite de la valeur de l'incertitude U ;

Lorsque la valeur mesurée y , positionnée comme présenté dans la figure 7, **c'est la zone de conformité avec risque dans laquelle on peut déclarer conforme un produit non conforme.**

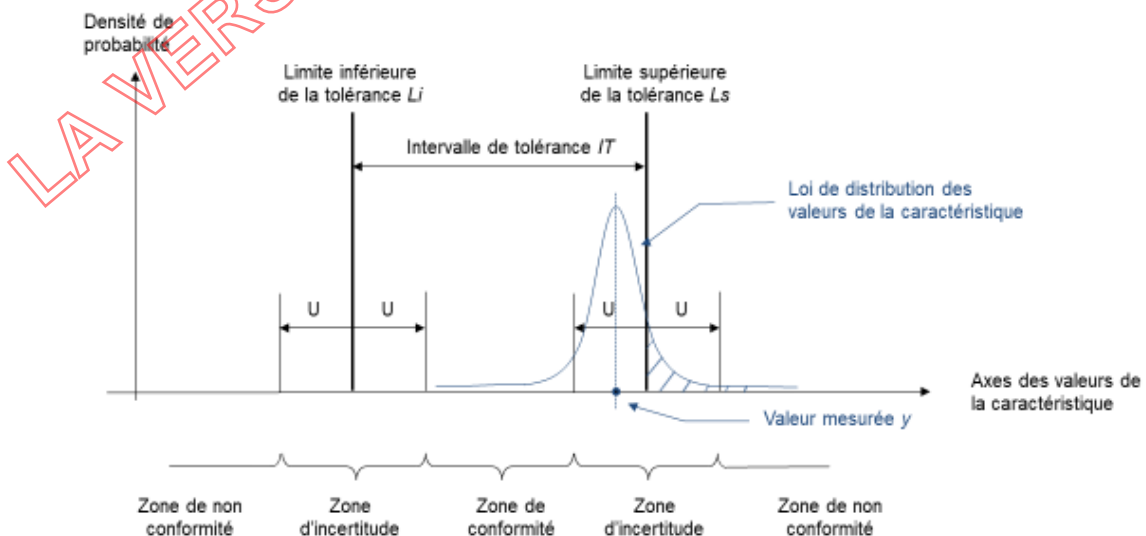


Figure 7 – Déclaration d'une conformité avec risque de non conformité



Lorsque la valeur mesurée y , positionnée comme présenté dans la figure 8, dépasse une des valeurs limites de tolérance, le risque est trop important pour déclarer une conformité. C'est la **zone de non-conformité, dans laquelle existe le risque de déclarer non conforme un produit conforme.**

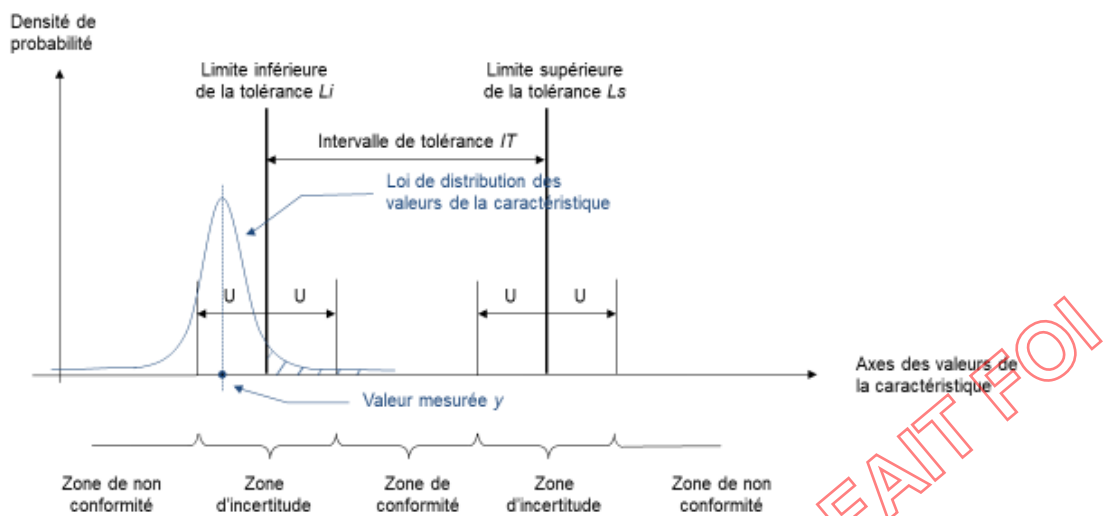


Figure 8 – Déclaration d'une non-conformité avec risque de conformité

Evaluation du risque :

Considérons un résultat de mesure y exprimé avec une incertitude-type composée u_c

Approche 1: calcul basé sur une hypothèse de loi normale

- Calcul de la variable centrée réduite dans le cas où la valeur y est proche de L_s :

$$z = \frac{L_s - y}{u_c}$$

- Calcul de la variable centrée réduite dans le cas où la valeur y est proche de L_i :

$$z = \frac{y - L_i}{u_c}$$

- Calcul de la probabilité associée au risque par le biais de la table de conversion de la loi normale centrée réduite.

Exemple de calcul :

- Valeur étalon appliquée Y : 1,000 0 V
- Valeur mesurée sur l'instrument y : 1,002 7 V
- Limite de la tolérance (EMT) : $\pm 0,3$ %, donc,
 - Limite supérieure de la tolérance L_s : 1,003 0 V
 - Limite inférieure de la tolérance L_i : 0,997 0 V
- Incertitude élargie U : 1 mV (probabilité de couverture d'environ 95 % pour $k = 2$)
 $u_c = 0,5$ mV.
- La valeur de y est plus proche de L_s que de L_i donc :

$$z = \frac{L_s - y}{u_c} = \frac{1,003\ 0 - 1,002\ 7}{0,0005} = 0,60$$



La table de conversion de la loi normale centrée réduite nous donne pour $z = 0,60$, une proportion p de 0,7257, c'est-à-dire **conforme avec une probabilité 72 % (arrondi par défaut) ou conforme avec un niveau de risque de 28 % (arrondi par excès).**

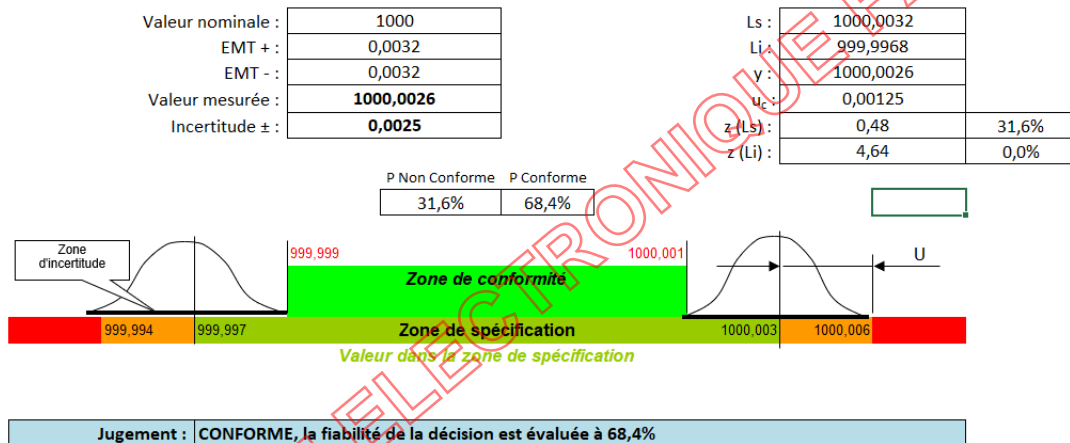
Approche 2 : calcul du risque spécifique et risque global versus NF ISO/IEC Guide 98-4, détermination d'un intervalle d'acceptation pour un risque client maximal

Dans l'exemple qui suit, il est fait le choix pour des questions de commodité de considérer des lois normales. Toute autre loi de probabilité peut être considérée.

Considérons les hypothèses suivantes :

- Etalonnage du point 1000 V d'un multimètre en courant continu.
 - Le résultat d'étalonnage est (correction d'étalonnage) : $(2,6 \pm 2,5)$ mV ($k=2$).
 - Les spécifications du constructeur sont données à $\pm 3,2$ mV pour un niveau de confiance de 95 %.
- a) Nous n'avons pas de connaissance a priori.

La probabilité que le multimètre soit conforme est de 68,4 % (voir illustration, ci-dessous).



- b) Nous avons une connaissance a priori.

Les hypothèses de base sont complétées d'une bonne connaissance qu'a le laboratoire d'étalonnage de l'erreur de ce multimètre. Il dispose d'un histogramme qu'il représenter par une loi normale (valeur moyenne = 2,5 mV, $\sigma = 0,5$ mV).

La probabilité de conformité est obtenue par convolution de deux lois normales, la loi a priori $N(2,5 ; 0,5)$ avec la loi du résultat de mesure $N(2,6 ; 1,25)$. La probabilité que le multimètre soit conforme est de 93 %.

Le tableau ci-après présente différents résultats suivant les paramètres de la loi a priori.

		Probabilité de conformité	Cas
Aucune expérience, la loi a priori n'est pas connue	/	68 %	1
La loi a priori est modélisée par une loi normale $N(m ; \sigma)$	$m = 2,5$ mV $\sigma = 0,5$ mV	93 %	2
	$m = 2,5$ mV $\sigma = 1,5$ mV	74 %	3
	$m = 2,9$ mV $\sigma = 0,5$ mV	77 %	4



Les représentations graphiques (Figure 9) illustrent les résultats de calcul :

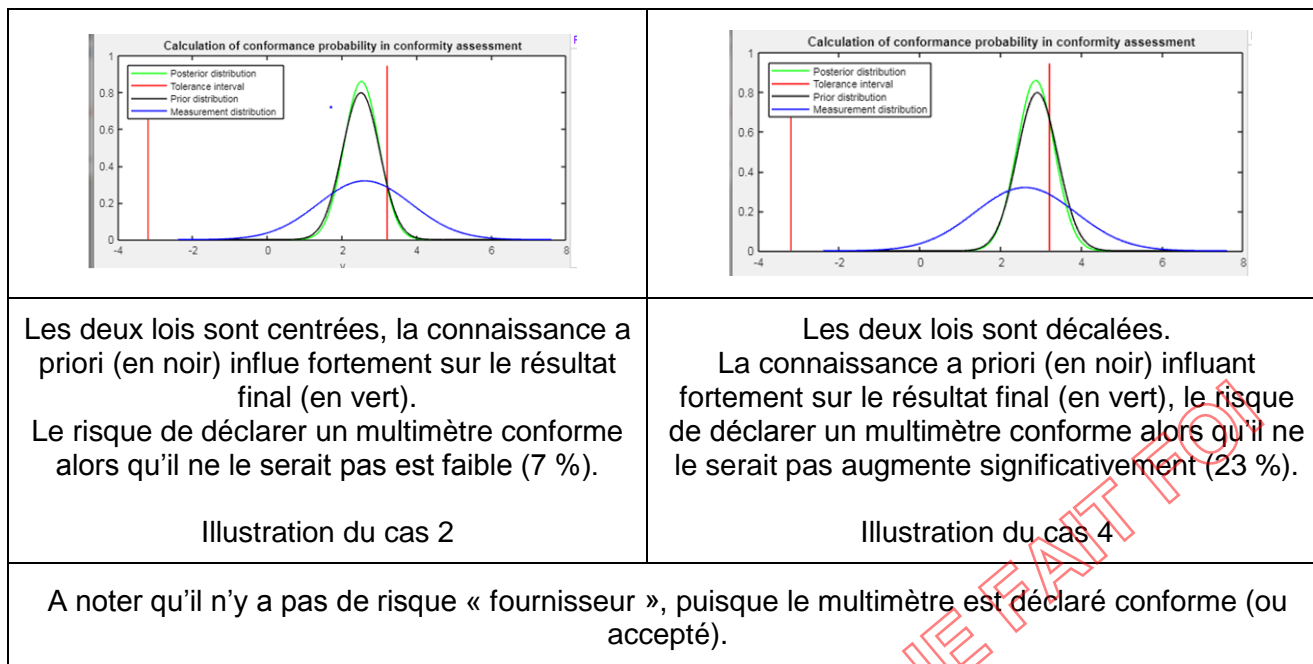


Figure 9 – Convolution des lois de probabilité (loi a priori, en noir et loi du résultat de mesure, en bleu) appliquée à l'étalonnage d'un multimètre

Calcul d'un intervalle d'acceptation pour garantir un risque client maximal

Le risque vient d'être calculé pour ce multimètre en particulier qui a été étalonné.

Le risque client spécifique R_c^* , c'est-à-dire la probabilité que ce multimètre déclaré conforme (car il a été mesuré à l'intérieur de la spécification) soit en réalité non conforme est donné par la relation suivante : $R_c^* = 1 - p_c$, p_c étant la probabilité de conformité.

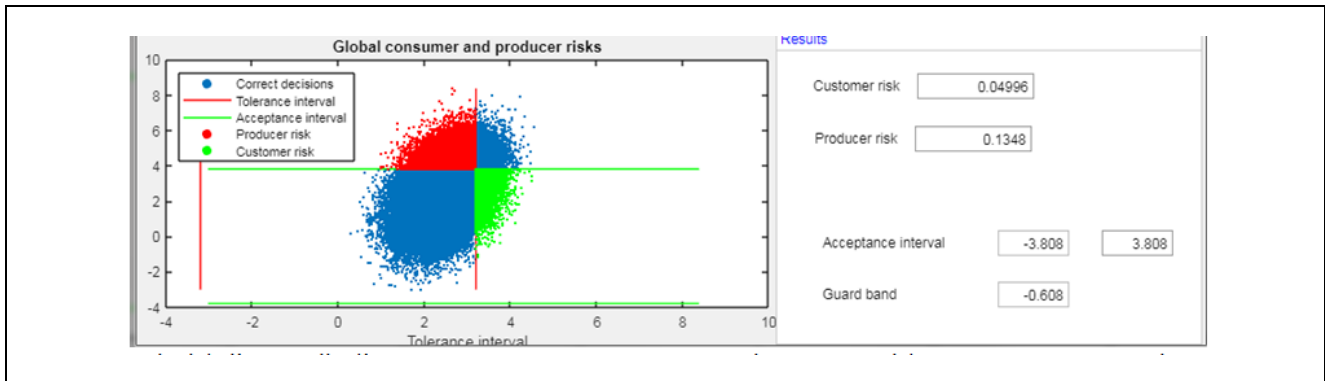
Les risques qu'on appelle globaux, c'est-à-dire pour un ensemble de multimètres qui vont être étalonnés suivant la même procédure, peuvent être calculés. La loi a priori * représente la distribution des valeurs vraies de la grandeur, qui doivent respecter l'intervalle de spécification et la loi du résultat de mesure va être utilisée pour prendre une décision par rapport à un intervalle qu'on appelle intervalle d'acceptation.

Le risque global prend en compte la probabilité d'accepter des multimètres non conformes (risque client, R_c) et la probabilité de refuser des multimètres conformes (risque fournisseur, R_p).

Il peut être utile de déterminer un intervalle d'acceptation pour garantir un risque client maximal :

Pour un risque client maximal fixé à 5 %, le calcul conduit à accepter tous les multimètres dont l'erreur est comprise entre -3,8 mV et 3,8 mV au lieu de [-3,2 ; 3,2] mV. A noter que ce choix impacte le risque fournisseur.

* il convient de bien différencier la connaissance a priori pour le calcul du risque spécifique de la connaissance a priori qu'on peut avoir sur tout un lot de fabrication d'instruments identiques.



Calcul de l'intervalle d'acceptation pour garantir un risque client maximal de 5 % (en vert sur le graphique). Dans ces conditions, R_p (risque fournisseur) = 13,5 % (en rouge sur le graphique). Dans la situation initiale, c'est-à-dire dans l'intervalle de tolérance spécifié $[-3,2 ; 3,2]$ mV, R_c (risque client) = 3,5 % et R_p (risque fournisseur) = 25,5 %

Figure 10 – Détermination d'un intervalle d'acceptation par le calcul des risques globaux

Cet exemple présente ainsi une autre formulation de règle de décision, qui peut être proposée pour répondre aux exigences de la norme EN ISO/IEC 17025.

Les calculs et graphiques sont extraits d'une application développée par le LNE (accès libre sur www.lne.fr à partir de septembre 2019).



Annexe 9 : Exemple de constat de vérification et de certificat d'étalonnage

Exemple de constat de vérification :

D'autres exemples de présentations sont possibles.

LABORATOIRE

** Nom**

** Adresse du laboratoire **



LABORATOIRE D'ETALONNAGE ACCREDITE

CHAINE D'ETALONNAGE

Domaine ELECTRICITE-MAGNETISME

Accréditation N° 2-XXXX

CONSTAT DE VERIFICATION

N° XXXXXXX

DELIVRE A : ** Adresse du client **

IDENTIFICATION DE L'INSTRUMENT

Désignation : MULTIMETRE

Constructeur : DURAND

Type : 327 II

N° de série : 526234

N° d'identification : HE223

CONDITIONS DE VERIFICATION

Norme ou texte de référence : voir au verso

Procédure interne de vérification : B234567

Conditions d'environnement

Température : (23 ± 2) °C

Date de la vérification : 13/11/2018

Date d'émission du constat : 13/11/2018

CONSTAT :

FONCTION	CALIBRE	CONSTAT** Voir verso	* Voir verso
Différence de potentiel en courant continu	Tous	Conforme	
	100 mV et 1 V	Conforme	
	10 V	Conforme avec restriction EMT : ± (1,5.10 ⁻⁴ .U au lieu de 1.10 ⁻⁴ .U)	(1)(3)
	100 V	Conforme avec risque Ecart relevé : +8.10 ⁻⁵ .U (EMT 1.10 ⁻⁴ .U et incertitude 3.10 ⁻⁵ .U)	(2)(3)
	1 kV	Conforme (avec une probabilité de 75 %)	(2)(3)(4)
...	

LE RESPONSABLE DU LABORATOIRE

Ce document comprend 2 page(s)

LES RESULTATS SE RAPPORTENT UNIQUEMENT A L'OBJET SOUMIS A L'ETALONNAGE.
 CE CONSTAT DE VERIFICATION GARANTIT LE RACCORDEMENT DES RESULTATS D'ETALONNAGE AU SYSTEME INTERNATIONAL D'UNITES (SI) POUR LES SEULS ETALONNAGES COUVERTS PAR L'ACCREDITATION. L'ACCREDITATION PAR LE COFRAC ATTESTE DE LA COMPETENCE DES LABORATOIRES POUR LES SEULS ETALONNAGES COUVERTS PAR L'ACCREDITATION. LES EVENTUELS ETALONNAGES NON COUVERTS PAR L'ACCREDITATION SONT REPÉRÉS PAR L'ABRÉVIATION "HA" DANS LA COLONNE " * Voir verso ".
 LA REPRODUCTION DE CE CONSTAT DE VERIFICATION N'EST AUTORISÉE QUE SOUS LA FORME DE FAC-SIMILÉ PHOTOGRAPHIQUE INTÉGRAL.
 LE COFRAC EST SIGNATAIRE DE L'ACCORD MULTILATÉRAL DE EA (EUROPEAN CO-OPERATION FOR ACCREDITATION) ET D'ILAC (INTERNATIONAL LABORATORY ACCREDITATION COOPERATION) DE RECONNAISSANCE DE L'ÉQUIVALENCE DES DOCUMENTS D'ÉTALONNAGE.



RENSEIGNEMENTS COMPLEMENTAIRES

▪ **NORME(S) OU TEXTE(S) DE REFERENCE :** *AFNOR FD X 07-025-2/2015 – programme EM 1.1.3*

▪ **ETAT DE L'APPAREIL AVANT INTERVENTION :**

- | | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> Panne | <input type="checkbox"/> Tolérances optimales |
| <input type="checkbox"/> Panne intermittente | <input type="checkbox"/> Dans les tolérances |
| <input type="checkbox"/> Autres | (2) <input checked="" type="checkbox"/> En limite des tolérances |
| | (1) <input checked="" type="checkbox"/> Hors tolérances |

▪ ***RELEVÉ DES POINTS DE MESURE HORS TOLERANCES ET DES DEFAUTS CONSTATES LORS DE L'OPERATION DE VERIFICATION PRELIMINAIRE :**

Néant

▪ **OPERATIONS EFFECTUEES :**

- | | |
|---|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Contrôle fonctionnel | <input type="checkbox"/> Ajustage |
| <input checked="" type="checkbox"/> Vérification préliminaire | <input type="checkbox"/> Calibrage |
| <input type="checkbox"/> Maintenance corrective | <input checked="" type="checkbox"/> Vérification |

***CONDITIONS DE VALIDITE DE LA VERIFICATION**

****Remarque(s) :**

Les limites d'acceptation considérées sont les caractéristiques précisées par le constructeur dans sa notice technique.

Une vérification fonctionnelle a été réalisée sur les fonctions complémentaires présentes sur l'appareil.

Sauf indication contraire, et tel que le définit le Cofrac dans son document LAB REF 02 en vigueur, en considérant les exigences spécifiées par le client ou le référentiel, pour déclarer ou non la conformité, l'intervalle de spécifications a été réduit de la valeur de l'incertitude associée au résultat (établie avec un facteur d'élargissement $k=2$).

EMT (Erreur Maximale Tolérée) :

(3) En accord avec le client

(4) Tel que défini dans le fascicule de documentation FD X07-022, la décision de conformité a été déterminée mathématiquement à partir de la valeur de la variable centrée réduite (rapport de l'écart entre la valeur limite acceptable et la valeur relevée, divisée par l'incertitude de mesure – établie avec un facteur d'élargissement $k = 2$). Le taux de fiabilité indiqué dans le constat a été obtenu par utilisation de la table de la loi normale centrée réduite.

Fin du constat de vérification



Exemple de certificat d'étalonnage

Illustration d'un exemple qui ne traite que d'une partie d'un étalonnage, d'autres exemples de présentation sont possibles.

LABORATOIRE

** Nom**

** Adresse du laboratoire **

Accréditation n° 2-XXXX

Accreditation n° 2-XXXX



Certificat d'étalonnage Calibration Certificate N° CE-XXXX

Ce document comporte une déclaration de conformité
This document contains a statement of conformity.

DÉLIVRÉ À : ** Adresse du client **
Issued for

INSTRUMENT ÉTALONNÉ : CALIBRATED INSTRUMENT

Désignation : VOLTMETRE
Designation
Constructeur : VOLTA
Manufacturer
Type : Z345
Type
N° de série : 654321
Serial number
N° d'identification : A27
Identification number

Date d'émission : lundi 1^{er} juillet 2019
Date of issue

LE RESPONSABLE DU LABORATOIRE
THE LABORATORY MANAGER

Ce certificat comprend 3 pages
This certificate includes

L'accréditation par le Cofrac atteste de la compétence des laboratoires pour les seuls étalonnages couverts par l'accréditation. Les éventuels étalonnages non couverts par l'accréditation sont repérés par un indice dans les tableaux concernés.
Les résultats se rapportent uniquement à l'objet soumis à l'étalonnage.
La reproduction de ce certificat n'est autorisée que sous la forme de fac-similé photographique intégral.
*The Cofrac accreditation attests to laboratories ability for the sole calibrations covered by accreditation. The eventual calibrations uncovered by accreditation are identified by a sign inside the result tables concerned.
The results relate only to the item calibrated.
This certificate may not be reproduced other than in full by photographic process.*



CERTIFICAT D'ÉTALONNAGE N° CECXXXXX
CALIBRATION CERTIFICATE

1. PROGRAMME DE L'ÉTALONNAGE

Étalonnage de la fonction voltmètre en courant continu

- Étalonnage du calibre 10 V.

Cet instrument fait l'objet d'un étalonnage spécifique conformément à la demande du client.

2. CONDITIONS DE MESURE

Température : $23\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

Humidité relative : $(50 \pm 30)\%$.

Tension d'alimentation : $230\text{ V} \pm 10\%$, à 50 Hz.

Durée de stabilisation : 12 heures dans les conditions précitées de température, d'hygrométrie et d'alimentation.

3. INSTRUMENTS DE MESURE UTILISÉS, TRACABILITÉ ET RECONNAISSANCES MUTUELLES INTERNATIONALES

Ce certificat d'étalonnage garantit le raccordement des résultats d'étalonnage au Système international d'unités (SI) pour les seuls étalonnages couverts par l'accréditation ; les éventuels étalonnages non couverts par l'accréditation sont repérés par un indice dans les tableaux concernés.

Le Cofrac est signataire du MLA d'EA (European co-operation for Accreditation) et du MRA d'ILAC (International Laboratory Accreditation Cooperation) de reconnaissance de l'équivalence des documents d'étalonnage.

Liste des étalons utilisés :

- Calibrateur – DATA METROLOGIE type H56 n° 456258

4. MÉTHODES DE MESURE

Mesure directe à l'aide d'un calibrateur étalon.

5. INCERTITUDES DE MESURE

L'incertitude de mesure élargie correspond à l'incertitude-type composée multipliée par un facteur d'élargissement k , de telle sorte que la probabilité de couverture corresponde approximativement à 95 %. Les incertitudes-types ont été calculées en tenant compte des différentes composantes d'incertitudes, étalons, moyens d'étalonnage, conditions d'environnement, contribution de l'instrument étalonné, répétabilité, résolution, instabilité, etc.

CERTIFICAT D'ÉTALONNAGE N° CECXXXXX
CALIBRATION CERTIFICATE

6. RESULTATS D'ETALONNAGE

Etalonnage réalisé le 27 juin 2019

Calibre	Valeur de la tension lue sur l'instrument	Valeur de la tension étalon appliquée	Valeur de la correction (1)	Incertitude élargie	Déclaration de conformité
10 V	-10,000 V	-10,005 V	-5 mV	3 mV	Conforme
10 V	-5,000 V	-5,004 V	-4 mV	3 mV	Conforme
10 V	-1,000 V	-1,003 V	-3 mV	3 mV	Conforme
10 V	0,000 V	-0,002 V	-2 mV	2 mV	Conforme
10 V	+1,000 V	+0,999 V	-1 mV	3 mV	Conforme
10 V	+10,000 V	+10,001 V	+1 mV	3 mV	Conforme

(1) Valeur à ajouter algébriquement à la valeur de la tension lue sur l'instrument pour obtenir la valeur réellement appliquée.

7. DECLARATION DE CONFORMITÉ

La déclaration de conformité relative à chaque valeur étalonnée est reportée dans la colonne de droite du tableau de mesure pour chacune de ces valeurs.

REGLES DE DECISION

En considérant les exigences spécifiées par la norme NF EN ISO/CEI 17025:2017 la déclaration de conformité a été déterminée de la façon suivante :

- Conforme : lorsque la « valeur de la correction » était trouvée inférieure à l'intervalle de tolérances réduit de la valeur de l'incertitude associée au résultat.
- Conforme avec risque : lorsque la « valeur de la correction » était trouvée inférieure à l'intervalle de tolérances mais supérieure à l'intervalle de tolérances réduit de la valeur de l'incertitude associée au résultat. Dans ce cas le risque est quantifié.
- Non conforme : lorsque la « valeur de la correction » était trouvée supérieure à l'intervalle de tolérances.

DECLARATION GLOBALE CONCERNANT La fonction et le calibre étalonné

CONFORME

CONDITIONS DE VALIDITE

- Référentiel : FD X 07-025-2 – Programme EM 1.1.2
- Erreurs Maximales Tolérées (EMT) : spécifications constructeur
- Procédure utilisée : PRO 012345

Fin du certificat



Annexe 10 : Risques et opportunités

Exemple simple sur l'analyse de risque et opportunités :

Par manque de personnel, un laboratoire ne peut réaliser dans les délais prévus l'étalonnage planifié d'un étalon interne et les étalonnages pour ses clients. La pratique habituelle consiste à :

- Cas 1 : retarder l'étalonnage interne afin de pouvoir satisfaire ses clients. Cette opération devant naturellement être associée à la mise en place d'une dérogation avec suivi documenté et une étude d'impact en lien avec l'augmentation inévitable de l'incertitude.
- Cas 2 : réaliser l'étalonnage interne en priorité et ainsi retarder ceux de ses clients, au risque de les perdre ou du moins de les décevoir.

Pour la prise de décision, une solution peut consister à comparer l'impact réel sur l'entreprise que va avoir la mise en place de ces deux cas de figure. Pour ce faire on peut chercher à analyser la combinaison de deux critères complémentaires que l'on notera par pondération de 1 à 4, par exemple :

- Le nombre de non-conformités relevées lors des précédents étalonnages de l'étalon interne au long des 10 dernières années : 0 noté « 1 » ; 1 ou 2 noté « 2 » ; 3 à 5 noté « 3 » et plus de 5 noté « 4 » (dérive excessive, panne, ...).
- Nombre d'interventions annuelles nécessitant l'utilisation de cet étalon : 1 à 4 noté « 1 » ; de 5 à 19 noté « 2 » ; de 20 à 100 noté « 3 » et supérieur à 100 noté « 4 ».

Une méthode d'approche par les risques peut consister en la combinaison des deux critères comme leur produit « P ». Ce dernier va donc fournir un résultat compris entre 1 et 16. On peut alors fixer un critère de gravité, par exemple 4, au-delà duquel **on estime que le risque au regard de l'impact sur l'entreprise** est trop important pour être pris. Dans cet exemple, la politique prise par l'entreprise peut être considérée comme suit :

- $P \leq 4$: on applique le cas 1 (zone claire dans le tableau) – risque faible,
- $P > 4$: on applique le cas 2 (zone grisée dans le tableau) – risque élevé.

ANALYSE DE RISQUE – UTILISATION D'UN ETALON HORS PERIODICITE					
PRODUIT « P »		NOMBRE D'INTERVENTIONS			
		1 à 4 → 1	5 à 19 → 2	20 à 100 → 3	> 100 → 4
NOMBRE DE NON CONFORMITES	0 → 1	1	2	3	4
	1 ou 2 → 2	2	4	6	8
	3 à 5 → 3	3	6	9	12
	> 5 → 4	4	8	12	16

On veillera naturellement à conserver l'enregistrement de cette étude ainsi que ses conclusions ; elles pourront faire l'objet d'une revue périodique.

L'exploitation d'un tel processus n'évite pas la mise en place des actions qualité habituelles (Travaux non-conformes, amélioration, actions correctives, revues de direction).

Ce principe peut s'appliquer de la même façon aux opportunités.



Exemple de présentation pour l'analyse de risques et opportunités :

					Occurrence			Mise à jour du document xx/xx/xxxx	
Critères pour évaluer l'impact					1	2	3		
1 = faible					1	2	3		
2 = modéré					2	4	6		
3 = important					3	6	9		
Critères pour évaluer la fréquence d'apparition					Évaluation du xx/xx/xxxx			Plan d'action	Réévaluation du xx/xx/xxxx
1 = rare									
2 = probable									
3 = certain									
N°	Risque identifié	Type du risque	Probabilité d'occurrence	Impact	Criticité	Définition de l'action	Date cible	Surveillance : Revue du risque	
1	Périodicité des raccordements non respectée (cf. anomalies n°XX, YY, ZZ...)	Technique	3	3	9	Mise en place d'alerte	JJ/MM/AAAA	Surveillance pendant 6 mois	
2	Départ en retraite du responsable technique	Perte compétence	3	3	9	Recrutement ou formation d'un nouveau responsable	JJ/MM/AAAA	Le remplaçant a été recruté 6 mois avant le départ et tutoré pendant toute la période	
3	Etalon vieillissant	Arrêt activité	2	3	6	Achat nouvel étalon	JJ/MM/AAAA	Le budget a été alloué, le remplacement de l'étalon a été effectué sans arrêt de l'activité	
4	Équipement ayant des pannes répétées (cf. anomalies n°XX, YY, ZZ...)	Disponibilité du banc	2	2	4	Remplacement de l'équipement	JJ/MM/AAAA		
5	Nombre insuffisant de personnel qualifié sur un domaine donné	Retard sur les prestations	1	2	2	Surveillance	A chaque revue des risques	Actuellement, risque faible, à surveiller	

**Annexe 11 : Exemple de présentation Portée générale / Portée détaillée**

Exemple n°1 : Exemple de présentation portée générale et détaillée domaine ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE

PORTEE GENERALE N° 2-....

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / Courant continu / Différence de potentiel									
N°	Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode	Lieu
1	Mesureur de tension	Différence de potentiel	Courant continu	1 μ V à 100 mV	$5 \cdot 10^{-6} \cdot U + 1 \mu$ V	Mesure directe d'une tension réduite	Diviseurs	Procédure d'étalonnage A123451	Laboratoire
2				100 mV à 1 kV	$5 \cdot 10^{-6} \cdot U$	Méthode d'opposition à une tension divisée	Diviseur et référence de tension	Procédure d'étalonnage A123452	
3				10 μ V à 1 kV	$2 \cdot 10^{-5} \cdot U + 5 \mu$ V	Mesure directe	Calibrateur	Procédure d'étalonnage A123453	Site

 U est la valeur de la différence de potentiel exprimée en volts**PORTEE DETAILLEE**

ELECTRICITE COURANT CONTINU ET BASSE FREQUENCE / Courant continu / Différence de potentiel									
Référence portée générale	Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode	Lieu
1	Générateur	Différence de potentiel	Courant continu	1 μ V à 100 mV	$6 \cdot 10^{-6} \cdot U + 2 \mu$ V	Comparaison à une tension réduite	Diviseurs et détecteur de zéro	Procédure d'étalonnage A123454	Laboratoire
2				100 mV à 1 kV	$6 \cdot 10^{-6} \cdot U$	Méthode d'opposition à une tension divisée	Diviseur et référence de tension et détecteur de zéro	Procédure d'étalonnage A123455	
1 et 2	Multimètre			10 μ V à 1 kV	$1 \cdot 10^{-5} \cdot U + 3 \mu$ V	Mesure directe	Calibrateur	Procédure d'étalonnage A123453	
1 et 2	Générateur			2 μ V à 1 kV	$1 \cdot 10^{-5} \cdot U + 4 \mu$ V	Mesure directe	Multimètre	Procédure d'étalonnage A123456	
1 et 2	Oscilloscope	Différence de potentiel	Amplitude verticale	10 μ V à 100 V	$5 \cdot 10^{-3} \cdot U + 3 \mu$ V	Mesure directe	Calibrateur	Procédure d'étalonnage B987654	Laboratoire

 U est la valeur de la différence de potentiel exprimée en volts

Les incertitudes élargies correspondent aux aptitudes en matière de mesures et d'étalonnages (CMC) du laboratoire pour une probabilité de couverture de 95 %.



Exemple n°2 : Exemple de présentation portée générale et détaillée dont la portée détaillée nécessite des compétences mixtes ELECTRICITE HAUTE FREQUENCE et TEMPS FREQUENCE

Domaine ELECTRICITE HAUTE FREQUENCE

PORTEE GENERALE N° 2-XXXX

ELECTRICITE HAUTE FREQUENCE / Puissance radiofréquence (RF)								
N°	Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
EM1	Générateur, synthétiseur, analyseur de spectre, récepteur de mesure CEM, amplificateur, préamplificateur	Puissance sur ligne coaxiale	10 MHz à 18 GHz	10 μ W à 100 μ W	$(0,5 + 43 \cdot \Gamma) \cdot 10^{-2} \cdot P$	Comparaison à une monture bolométrique étalon éventuellement associée à des coupleurs ou affaiblisseurs	Transferts de puissance monture bolométrique associée à un pont bolométrique	Procédure d'étalonnage HF1
EM2				100 μ W à 10 mW	$(0,4 + 23 \cdot \Gamma) \cdot 10^{-2} \cdot P$			

P est la puissance électrique exprimée en unités légales

Γ est le module du facteur de réflexion de l'appareil à étalonner

ELECTRICITE HAUTE FREQUENCE / Affaiblissement								
N°	Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
EM3	Affaiblisseur à plots, générateur, synthétiseur, analyseur de spectre, récepteur de mesure CEM	Affaiblissement	10 MHz à 18 GHz	0 dB	0,006 dB	Variation de puissance	monture bolométrique associée à un pont	Procédure d'étalonnage HF2
EM4				0 dB à 10 dB 10 dB à 20 dB	$(0,006 + 0,15 \cdot \Gamma)$ dB $(0,006 + 0,18 \cdot \Gamma)$ dB			
				20 dB à 90 dB	$(0,006 + 0,15 \cdot \Gamma)$ dB à $(0,08 + 0,15 \cdot \Gamma)$ dB			

Γ est le module du facteur de réflexion de l'appareil à étalonner

ELECTRICITE HAUTE FREQUENCE / Facteur de réflexion								
N°	Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
EM5	Charge, analyseur de spectre, récepteur de mesure CEM	Facteur de réflexion	10 MHz à 50 GHz	0 à 0,5	0,004 à 0,020	Mesure directe	Analyseur de réseau vectoriel	Procédure d'étalonnage HF4



PORTEE DETAILLEE

ELECTRICITE HAUTE FREQUENCE / Puissance radiofréquence (RF)								
Référence portée générale	Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
2-XXXX EM2	Analyseur de spectre	Réponse en fréquence en puissance HF	10 MHz à 18 GHz	0 dB (mW)	0,40 dB (mW)	Comparaison	Wattmètre étalon	Procédure d'étalonnage n° HFTF6
2-XXXX EM1 et EM2	Analyseur de spectre	Gain FI	10 MHz à 18 GHz	+20 dB à -100 dB	0,40 dB à 0,60 dB	Comparaison	Wattmètre étalon + Affaiblisseur étalonné	Procédure d'étalonnage n° HFTF6
2-XXXX EM1	Analyseur de spectre	Ecart de niveau entre filtres de résolution	Bande passante de 1 Hz à 10 MHz	0 à 10 dB	0,4 dB	Mesure directe	Wattmètre étalon	Procédure d'étalonnage n° HFTF6

ELECTRICITE HAUTE FREQUENCE / Affaiblissement								
Référence portée générale	Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
2-XXXX EM3 et EM4	Analyseur de spectre	Affaiblissement de l'atténuateur d'entrée	10 MHz à 18 GHz	0 dB à 70 dB	0,40 dB	Comparaison	Affaiblisseur étalonné	Procédure d'étalonnage n° HFTF6

ELECTRICITE HAUTE FREQUENCE / Facteur de réflexion								
Référence portée générale	Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
2-XXXX EM5	Analyseur de spectre	Facteur de réflexion	10 MHz à 50 GHz	0 à 0,5	0,004 à 0,020	Mesure directe	Analyseur de réseau	Procédure d'étalonnage n° HFTF6



Domaine TEMPS-FREQUENCE

PORTEE GENERALE N° 2-YYYY

TEMPS-FREQUENCE / Fréquence ou période								
N°	Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie *	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
TF1	Fréquencemètre, pilote, étalon et oscillateur de fréquence de référence, générateurs BF et RF	Fréquence	Temps de mesure : 1 s	10 Hz ≤ f < 100 Hz 100 Hz ≤ f < 1 kHz 1 kHz ≤ f < 10 kHz 10 kHz ≤ f < 100 kHz 100 kHz ≤ f ≤ 10 GHz	1,7 · 10 ⁻⁶ à 5,7 · 10 ⁻⁸ 5,7 · 10 ⁻⁸ à 1,8 · 10 ⁻⁹ 1,8 · 10 ⁻⁹ à 6,2 · 10 ⁻¹¹ 6,2 · 10 ⁻¹¹ à 2,3 · 10 ⁻¹¹ 2,3 · 10 ⁻¹¹	Méthode de comparaison	Fréquencemètre fonctionnant en multipériode piloté par le signal à 10 MHz issu de l'étalon à rubidium	Procédure d'étalonnage n°TF2
TF2	Fréquencemètre, pilote, étalon et oscillateur de fréquence de référence, générateurs BF et RF	Fréquence	Temps de mesure : 10 s	10 Hz ≤ f < 100 Hz 100 Hz ≤ f < 1 kHz 1 kHz ≤ f < 10 kHz 10 kHz ≤ f < 100 kHz 100 kHz ≤ f ≤ 10 GHz	5,7 · 10 ⁻⁸ à 1,8 · 10 ⁻⁹ 1,8 · 10 ⁻⁹ à 5,7 · 10 ⁻¹¹ 5,7 · 10 ⁻¹¹ à 4,5 · 10 ⁻¹² 4,5 · 10 ⁻¹² 6 · 10 ⁻¹²	Méthode de comparaison	Fréquencemètre fonctionnant en multipériode piloté par le signal à 10 MHz issu de l'étalon à rubidium	Procédure d'étalonnage n°TF3

f est la valeur de la fréquence exprimée en hertz.

* Incertitude relative par rapport à la fréquence de référence raccordée à UTC(OP). Cette incertitude ne peut être obtenue que pour des signaux dont le rapport signal sur bruit est supérieur à 40 dB et d'amplitude au moins égale à 1 V.

GENERATION DE FREQUENCE :

Le laboratoire peut effectuer de la génération de fréquence dans les domaines continus de fréquences présentés dans le tableau ci-dessus.

TEMPS-FREQUENCE / Fréquence ou période								
Référence portée générale	Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode
2-YYYY TF2	Analyseur de spectre	Fréquence	Fréquence centrale	10 Hz à 10 GHz	$1 \cdot 10^{-3} \cdot f$	Mesure directe	Synthétiseur piloté par une fréquence de référence	Procédure d'étalonnage n° HFTF6
2-YYYY TF1	Analyseur de spectre	Fréquence	Excursion de fréquence	10 Hz à 10 GHz	$1 \cdot 10^{-3} \cdot f$	Mesure directe	Synthétiseur piloté par une fréquence de référence	Procédure d'étalonnage n° HFTF6
2-XXXX EM3 2-YYYY TF1	Analyseur de spectre	Fréquence	Bande passante du filtre de résolution à 3 dB	1 Hz à 10 MHz	$1 \cdot 10^{-3} \cdot f$	Mesure directe	Synthétiseur piloté par une fréquence de référence	Procédure d'étalonnage n° HFTF6
2-XXXX EM4 2-YYYY TF1			Bande passante du filtre de résolution à 60 dB	1 Hz à 10 MHz	$1 \cdot 10^{-3} \cdot f$			

f est la valeur de la fréquence exprimée en hertz.