

**GUIDE TECHNIQUE D'ACCREDITATION  
en métrologie des grandeurs électriques,  
magnétiques et temporelles**

**Document LAB GTA 10**

Révision 01 - Juillet 2010



Section Laboratoires

## SOMMAIRE

1	OBJET DU DOCUMENT .....	3
2	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET DEFINITIONS .....	3
2.1	REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES .....	3
2.2	DEFINITIONS.....	4
2.3	SIGLES .....	7
3	DOMAINE D'APPLICATION .....	8
4	MODALITES D'APPLICATION .....	8
5	SYNTHESE DES MODIFICATIONS.....	9
6	CONTEXTE NORMATIF ET RECOMMANDATIONS.....	9
6.1	Organisation – Système de management.....	9
6.2	Revue des demandes, appels d'offres et contrats.....	9
6.3	Maîtrise des enregistrements.....	10
6.4	Installations et conditions ambiantes .....	10
6.5	Méthodes d'essai et d'étalonnage et validation des méthodes .....	11
6.5.1	Sélection des méthodes .....	11
6.5.2	Validation des méthodes .....	12
6.5.3	Estimation de l'incertitude de mesure.....	13
6.6	Equipement .....	20
6.7	Traçabilité du mesurage.....	20
6.8	Assurer la qualité des résultats d'essai et d'étalonnage.....	20
6.9	Rapports sur les résultats .....	21
7	RECOMMANDATIONS POUR LES ETALONNAGES SUR SITE.....	23
7.1	Personnel .....	23
7.2	Conditions ambiantes.....	23
7.3	Traçabilité des étalonnages .....	23
7.3.1	Equipements.....	23
7.3.2	Méthodes et incertitudes.....	23
8	NOMENCLATURE DES ETALONNAGES ET EXPRESSION DES PORTEES D'ACCREDITATION 24	
9	EXEMPLES DE PROGRAMMES DE VERIFICATION DES APPAREILS DE MESURE .....	26
	Annexe 2 : Exemple de constat de vérification .....	40
	Annexe 3 : Estimateur pour un nombre réduit d'échantillons (application de la loi de Student).....	41
	Annexe 4 : Tableau récapitulatif des raccordements .....	42
	Annexe 5 : Raccordement aux étalons primaires dans le domaine Temps-Fréquence .....	43
	Annexe 6 : Liste non exhaustive des documents à transmettre pour les demandes d'accréditation initiale et d'extension.....	44

## 1 OBJET DU DOCUMENT

La norme NF EN ISO/CEI 17025 définit les prescriptions générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages, d'essais et d'analyses.

En ligne avec l'annexe B de la norme NF EN ISO/CEI 17025, le présent Guide Technique d'Accréditation (GTA) définit les recommandations résultant de l'application de cette norme aux domaines de compétences recensés au chapitre 3.

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

## 2 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES ET DEFINITIONS

### 2.1 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

Le présent document fait référence ou s'appuie sur les documents suivants :

- NF EN ISO/CEI 17025 (septembre 2005) : Exigences générales concernant la compétence des laboratoires d'étalonnages et d'essais
- LAB REF 02 (révision 05 – mars 2009) : Exigences pour l'accréditation des laboratoires selon la norme NF EN ISO/CEI 17025
- LAB CIL REF 02 (révision 02 – septembre 2007) : Organismes de comparaisons interlaboratoires – Exigences pour l'accréditation
- LAB REF 08 (révision 01 – novembre 2006) : Expression et évaluation des portées d'accréditation
- LAB GTA 07 (révision 01 – septembre 2008) : Guide Technique d'Accréditation – Traçabilité du mesurage dans le domaine des essais de CEM, radiofréquence et mesures de champs électromagnétiques sur site
- LAB GTA 08 (révision 00 – août 2005) : Guide Technique d'Accréditation en température
- LAB GTA 09 (révision 01 – septembre 2008) : Guide Technique d'Accréditation dématérialisation des données dans les laboratoires
- LAB INF 19 : Liste des organismes de comparaisons interlaboratoires
- LAB INF 26 : Métrologie des grandeurs électriques, magnétiques et temporelles - Nomenclature
- GEN REF 11 (révision 03 – décembre 2007) : Règles générales d'utilisation de la marque Cofrac

- EN ISO 10012 (avril 2003) : Systèmes de management de la mesure – Exigences pour les processus et les équipements de mesure
- VIM (ISO CEI GUIDE 99 - 2007) : Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés
- GUM (ISO/IEC GUIDE 98-3 - 2008) : Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure
- EA-4/02 (décembre 1999) : Expression of the uncertainty of measurement in calibration
- 27 exemples d'évaluation d'incertitudes d'étalonnage (Collège Français de Métrologie)
- X 07-011 (décembre 1994) : Métrologie dans l'entreprise – Constat de vérification des moyens de mesure
- FD X 07-019 (décembre 2000) : Métrologie – Relations clients/fournisseurs en métrologie
- FD X 07-022 (décembre 2004) : Utilisation des incertitudes de mesures : Présentation de quelques cas et pratiques usuelles
- FD X 07-025-1 (décembre 2003) : Métrologie – Programme technique de vérification des équipements de mesure
- FD X 07-025-2 (décembre 2008) : Métrologie – Programmes techniques minimaux de vérification métrologique des équipements de mesure – Partie 2 : domaines électricité/magnétisme et temps/fréquence.

## 2.2 DEFINITIONS

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

- **Comparaison interlaboratoires** (LAB CIL REF 02) : comparaison impliquant plusieurs laboratoires, définie et mise en œuvre pour permettre aux laboratoires d'évaluer et de démontrer leurs performances dans des secteurs déterminés d'essais ou de mesures.
- **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.

Notes :

- Une condition de mesurage n'est une condition de répétabilité que par rapport à un ensemble donné de conditions de répétabilité.
- En chimie, on utilise quelquefois le terme « condition de fidélité intra-série » pour désigner ce concept.

- **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.

- **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.

- **Incertitude-type (GUM)** : incertitude du résultat d'un mesurage exprimée sous la forme d'un écart-type.

- **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 et comprend 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 En (NF ISO 13528)** : statistique de performance calculée comme suit :

$$E_n = \frac{x - X}{\sqrt{U_{lab}^2 + U_{ref}^2}}$$

où

- X est la valeur déterminée dans un laboratoire de référence ;
- $U_{ref}$  est l'incertitude élargie de X ;
- $U_{lab}$  est l'incertitude élargie du résultat x d'un participant.

[...]

NOTE 2 Quand les incertitudes sont estimées de manière cohérente avec le Guide pour l'expression des incertitudes de mesure (GUM), les nombres  $E_n$  expriment la validité de l'estimation de l'incertitude élargie associée à chaque résultat.

Une valeur de  $|E_n| < 1$  fournit une preuve objective que l'estimation de l'incertitude est cohérente avec la définition de l'incertitude élargie donnée dans le GUM.

- **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.

- **Sensibilité (VIM)** : quotient de la variation d'une indication d'un système de mesure par la variation correspondante de la valeur de la grandeur mesurée.

Notes :

- La sensibilité peut dépendre de la valeur de la grandeur mesurée.
- La variation de la valeur de la grandeur mesurée doit être grande par rapport à la résolution.

- **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).

En complément, des notes sont disponibles dans la norme ISO CEI GUIDE 99.

- **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 la norme ISO CEI GUIDE 99.

- **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.

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

En complément, des notes sont disponibles dans la norme ISO CEI GUIDE 99.

## 2.3 SIGLES

- BF : basse fréquence
- ddp : différence de potentiel
- EMT : erreurs maximales tolérées
- GPS : Global Positioning System
- LA : laboratoire associé
- LNM : laboratoire national de métrologie
- RF : radiofréquence
- SI : Système international d'unités

### 3 DOMAINE D'APPLICATION

Ce guide présente des recommandations applicables 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 réalisant des prestations dans ces domaines pour leur propre usage ;
- aux évaluateurs du Cofrac, et constitue en outre une base d'harmonisation à leur usage ;
- aux membres des instances décisionnelles du Cofrac (Comité de Section, Commission Technique d'Accréditation "Electricité - Rayonnements - Technologies de l'Information", Commission Interne d'Examen des Rapports pour l'Accréditation).

### 4 MODALITES D'APPLICATION

Le présent guide technique d'accréditation est applicable à compter du 01/09/2010.

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI



## 5 SYNTHÈSE DES MODIFICATIONS

Compte tenu de la refonte importante de ce document, aucune marque de modification n'y apparaît.

Les modifications principales concernent :

- Une nouvelle présentation des recommandations aux exigences de la norme NF EN ISO/CEI 17025 et du document LAB REF 02 ;
- La prise en compte des évolutions du document LAB REF 02 ;
- La prise en compte de l'évolution des flexibilités des portées d'accréditation ;
- Des précisions supplémentaires dans le domaine Temps-Fréquence quant à l'estimation Des incertitudes (stabilité de fréquence et de phase) ;
- Un chapitre spécifique aux étalonnages sur site ;
- La nomenclature des étalonnages ;
- Une mise à jour des programmes de vérification en prenant en compte la parution du document AFNOR FD X 07-025-2 (suppression des programmes communs) ;
- Une nouvelle annexe présentant une liste non exhaustive des documents à transmettre pour les demandes d'accréditation initiale et d'extension.

## 6 CONTEXTE NORMATIF ET RECOMMANDATIONS

Ce chapitre découle d'une lecture de certains paragraphes des chapitres 4 et 5 de la norme NF EN ISO/CEI 17025 au regard des spécificités du domaine technique concerné.

Il apporte des recommandations aux exigences déjà stipulées en termes généraux dans la norme NF EN ISO/CEI 17025 et dans le document Cofrac LAB REF 02.

### 6.1 Organisation – Système de management

*NF EN ISO/CEI 17025, § 4.1.2*

*NF EN ISO/CEI 17025, § 4.2.2*

L'accréditation d'un laboratoire ne peut pas être envisagée si la portée d'accréditation se limite globalement à des valeurs ponctuelles.

En effet, l'utilisation des appareils électriques étant prévue pour des domaines de valeurs continues, le laboratoire sera dans l'impossibilité de répondre à la demande de ses clients.

### 6.2 Revue des demandes, appels d'offres et contrats

*NF EN ISO/CEI 17025, § 4.4.1*

Il convient de définir le plus explicitement possible la prestation souhaitée par le demandeur, et d'obtenir son accord sur le programme d'étalonnage et/ou de vérification : 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, les erreurs maximales tolérées (EMT) et les critères d'acceptation.
- Le jugement ne pourra être porté que si ceux-ci ont été fixés.

Des exemples de programmes de vérification sont présentés au § 9 de ce guide et dans le document AFNOR FD X 07-025-2.

Dans le cas où le laboratoire est amené, à la demande du client, à ouvrir l'appareil soumis à étalonnage et/ou vérification afin de réaliser des opérations de nettoyage et de dépoussiérage, 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 sur les risques encourus sur la validité des mesures.

En effet, ces opérations de maintenance peuvent dans certains cas modifier les résultats d'étalonnage (position de réglages de potentiomètres ou condensateurs modifiée ou altérée, contacts entre cartes modifiés,...). Il convient de réaliser a minima un étalonnage des points susceptibles d'être modifiés avant toute intervention sur des appareils dont les caractéristiques peuvent être affectées.

Remarque : le laboratoire peut à titre indicatif consulter les documents suivants (cf. § 2.1 du présent document) : FD X 07-019, FD X 07-022, FD X 07-025-1, NF EN ISO 10012.

### 6.3 Maîtrise des enregistrements

NF EN ISO/CEI 17025, § 4.13.2

Cela implique, de manière non exhaustive, que le laboratoire gère les informations relatives :

- à la conservation de tous les résultats de mesure (données brutes, corrections...) y compris pour les prestations de vérifications,
- à l'évaluation des incertitudes de mesure :
  - liste des paramètres pris en compte (contribution des étalons, du processus, des appareils à vérifier...),
  - manière d'estimer leur contribution, de les combiner...
- à l'accord des deux parties sur le programme d'étalonnage et/ou de vérification.

Dans le cas d'une gestion électronique de ces enregistrements, il convient de se référer au document Cofrac LAB GTA 09.

### 6.4 Installations et conditions ambiantes

NF EN ISO/CEI 17025, § 5.3.1

La stabilité et l'homogénéité en température du laboratoire de métrologie doivent être telles qu'au niveau des postes de travail la température soit toujours comprise dans les tolérances que s'est fixé le laboratoire et qu'il a consignées dans sa documentation qualité. 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 nécessaire. Un enregistrement des variations au cours du temps de ce paramètre est toutefois recommandé.

## 6.5 Méthodes d'essai et d'étalonnage et validation des méthodes

### 6.5.1 Sélection des méthodes

NF EN ISO/CEI 17025, § 5.4.2

LAB REF 02, § 9.1.3.2

L'absence de méthodes d'étalonnage normalisées dans le domaine de la métrologie des grandeurs électriques, magnétiques et temporelles implique pour les laboratoires de définir des méthodes internes qui font le plus souvent référence aux méthodes utilisées dans les Laboratoires nationaux de métrologie (LNM), ou publiées dans les documents de bon usage de la métrologie, dans des notices constructeurs ou autres publications diverses.

Le laboratoire est alors accrédité pour sa compétence à mettre en œuvre des méthodes internes pour chaque grandeur et étendue de mesure donnée (mentionnée en valeur nominale dans les portées d'accréditation).

Ces méthodes sont considérées comme les "**meilleures méthodes d'étalonnage**" qui dépendent des moyens de plus haut niveau en possession du laboratoire, et qui lui permettent d'obtenir les "**meilleures incertitudes d'étalonnage**" en considérant le meilleur équipement existant.

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).

Dans la réalité, les instruments à étalonner introduisent généralement des perturbations.

Dans ce cas, le laboratoire doit tenir compte de ces éléments dans le bilan des incertitudes, ce qui peut l'amener à "dégrader" la "**meilleure incertitude**".

Par ailleurs, compte-tenu de la diversité des instruments de mesure à étalonner, le laboratoire ne met pas systématiquement en œuvre sa "**meilleure méthode d'étalonnage**". En effet, l'exactitude de certains instruments ne nécessite pas de recourir à cette "meilleure méthode".

Dans ce cas, le laboratoire peut employer d'autres méthodes dès lors que les compétences qu'elles impliquent entrent bien dans la portée d'accréditation, et ce pour la même grandeur et la même valeur ou étendue de mesure donnée.

Ces méthodes sont souvent appelées "**méthodes donnant des incertitudes dégradées**".

Le laboratoire doit alors définir un processus de validation de ces méthodes pour lequel il s'attachera à définir les incertitudes de mesure qui devront faire l'objet d'une validation conformément au § 6.5.2 du présent document.

Il convient de noter qu'en aucun cas le laboratoire ne pourra mentionner des incertitudes meilleures que celles figurant dans sa portée d'accréditation.

**Remarque** : 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 les incertitudes dégradées**".

Compte-tenu des éléments évoqués ci-dessus, l'expression des portées des laboratoires est assimilée à une portée flexible.

Toutefois, si le laboratoire utilise uniquement sa meilleure méthode d'étalonnage décrite dans la portée d'accréditation, son besoin se limite à une accréditation en portée fixe (cf. § 8 du présent document).

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.

## 6.5.2 Validation des méthodes

NF EN ISO/CEI 17025, § 5.4.5

On distinguera deux cas de figure dans le cadre de la validation de la méthode d'étalonnage :

1) Dans le cas d'une méthode interne s'appuyant sur des méthodes connues, la détermination de l'exhaustivité des composantes d'incertitudes et leurs quantifications est un préalable à la validation.

Afin de finaliser celle-ci, il convient au laboratoire de confirmer ces éléments par une participation à une comparaison interlaboratoires ou d'utiliser une autre méthode préalablement validée, pour effectuer des étalonnages, afin de confirmer les résultats obtenus avec la méthode que le laboratoire souhaite valider (recoupement des méthodes).

Ces éléments de validation seront évalués par les experts ou évaluateurs techniques au même titre que les procédures techniques présentant les méthodes d'étalonnage.

2) Dans le cas d'une méthode développée ne s'appuyant sur aucune méthode connue (cas des laboratoires accrédités pour l'activité de développement de nouvelles méthodes), le processus est beaucoup plus complet et inclut notamment la spécification des besoins du fait de l'absence totale de méthode connue. Celui-ci est donc un exercice qui nécessite la mise en œuvre d'éléments complémentaires comprenant notamment :

- la recherche et la caractérisation des moyens de mesures à utiliser,
- l'apport de preuves objectives pour déclarer la méthode apte à l'emploi,
- des compétences techniques différentes et adaptées,...

Par ailleurs, dans le domaine Temps-Fréquence, on distingue deux types de méthode :

a) Méthodes de raccordement :

Elles font intervenir la réception locale de signaux de transfert de temps raccordés à des échelles de repérage nationale ou internationale par l'intermédiaire d'organismes nationaux (exemple : le LNE).

Elles sont considérées comme validées dès lors que les procédures établies et reconnues par ces mêmes organismes sont respectées et que le laboratoire dispose d'une source de Temps-Fréquence servant de référence locale associée au récepteur approprié.

La méthode consistant à envoyer la référence locale de Temps-Fréquence dans un laboratoire accrédité doit être validée par une comparaison régulière (compatible avec la dérive attendue des étalons) avec une seconde référence maintenue en redondance dans le laboratoire.

b) Méthodes d'étalonnage :

Elles sont utilisées pour réaliser les étalonnages à partir de la fréquence de référence locale raccordée au SI.

Les méthodes d'étalonnage publiées dans les notices constructeurs des appareils de mesure utilisés (exemple : fréquencemètre) pourront être validées après avoir listé les composantes d'incertitudes, après les avoir évaluées expérimentalement et combinées comme indiqué dans la notice.

La méthode d'étalonnage utilisée par le laboratoire pour effectuer les comparaisons régulières de son étalon de redondance peut être validée en comparant le comportement de cet étalon avec celui de l'étalon principal du laboratoire envoyé en étalonnage externe.

La périodicité du raccordement de l'étalon de référence doit permettre l'évaluation du comportement de l'étalon de redondance.

Lorsqu'un laboratoire ne dispose que d'un seul étalon de Temps-Fréquence, la validation des méthodes d'étalonnage du laboratoire doit faire appel à des comparaisons internes ou externes.

Remarque : dans le cadre d'une demande d'accréditation initiale ou d'extension, une liste non exhaustive des documents à transmettre au Cofrac est présentée en annexe 6 du présent guide.

### 6.5.3 Estimation de l'incertitude de mesure

NF EN ISO/CEI 17025, § 5.4.6

#### I - Les incertitudes-types

Les incertitudes-types sont évaluées suivant deux types de méthodes :

1/ **de Type A** : estimées statistiquement.

Par exemple, il est recommandé au laboratoire d'évaluer la répétabilité du montage afin de démontrer que la répétition des mesures sur une courte période de temps, par la même méthode, le même opérateur, dans le même lieu et dans les mêmes conditions d'utilisation, conduit à une valeur de l'écart-type expérimental compatible avec l'incertitude finale.

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 3 de ce document) ou d'avoir recours à une méthode d'évaluation de Type B.

2/ **de Type B** : évaluées de manières différentes.

- liées aux raccordements externes et internes (extraites des certificats d'étalonnage).
- liées au montage et évaluées par d'autres méthodes que les méthodes statistiques :
  - dérive des étalons utilisés,
  - résolution,
  - sensibilité,
  - bruit,
  - influences diverses (température, environnement,...),
  - linéarité,
  - interpolation...

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 B correspond à l'évaluation de l'incertitude entre l'estimation  $x_i$  et les grandeurs d'entrée  $X_i$  au moyen d'une série d'observations.

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 :

- (a) 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.

- (b) 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 :

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

## II - Exemples d'évaluation d'incertitudes-types

### a) Dérive dans le temps des étalons

Pour évaluer l'incertitude-type associée à cette composante d'incertitude, 4 cas se présentent :

#### 1<sup>er</sup> 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 méthode de Type A ou de Type B.

#### Exemples :

- 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 la correction (Type A).
- l'écart maximal par rapport à la droite de régression peut être considéré comme une méconnaissance de la correction (Type B).

En supposant que la loi de distribution 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.

Si la valeur de la correction n'est pas appliquée, on peut se référer au § F.2.4.5 du GUM ou au § 6.5 du document FD X 07-022.

Une approche simplifiée peut consister à sommer arithmétiquement la valeur de la correction à l'incertitude élargie.

#### 2<sup>ème</sup> 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<sup>ème</sup> 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 distribution de probabilité associée est une loi rectangulaire, cet écart maximal est divisé par  $2\sqrt{3}$ .

**4<sup>ème</sup> cas :**

Dans le cas où l'historique des raccordements ne permet pas de mettre en évidence une dérive et que l'on dispose de peu de raccordements (1 ou 2 par exemple), 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). Dans tous les cas, la maîtrise des étalons doit être assurée.

Des raccordements selon des périodicités rapprochées peuvent permettre une validation efficace de la valeur estimée.

**b) Influence de la température**

Pour les rendre homogènes à un écart-type, les valeurs maximales de fluctuations de température seront divisées par  $2\sqrt{2}$  car la loi de distribution qui leur est associée correspond généralement à la densité de probabilité d'une fonction périodique sinusoïdale à condition que les mesures soient 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.

**c) Résolution**

La distribution 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.

**d) Bruit**

Les incertitudes-types associées au bruit d'un montage peuvent être évaluées suivant des méthodes de Type A ou de Type B.

Ces composantes d'incertitude peuvent être déterminées a priori en évaluant l'écart-type expérimental d'une série de mesures (méthode de Type A).

La distribution de probabilité associée à l'incertitude-type peut être envisagée comme une loi normale.

La demi-étendue de la limite maximale observée sera donc divisée par **3** pour être homogène à un écart-type (méthode de Type B).

**e) Sensibilité**

Les incertitudes-types associées à la sensibilité d'un montage peuvent être évaluées suivant essentiellement des méthodes de Type B.

La distribution de probabilité associée à l'incertitude-type peut être envisagée comme une loi rectangulaire en fonction de la réaction des instruments de mesure à une sollicitation.

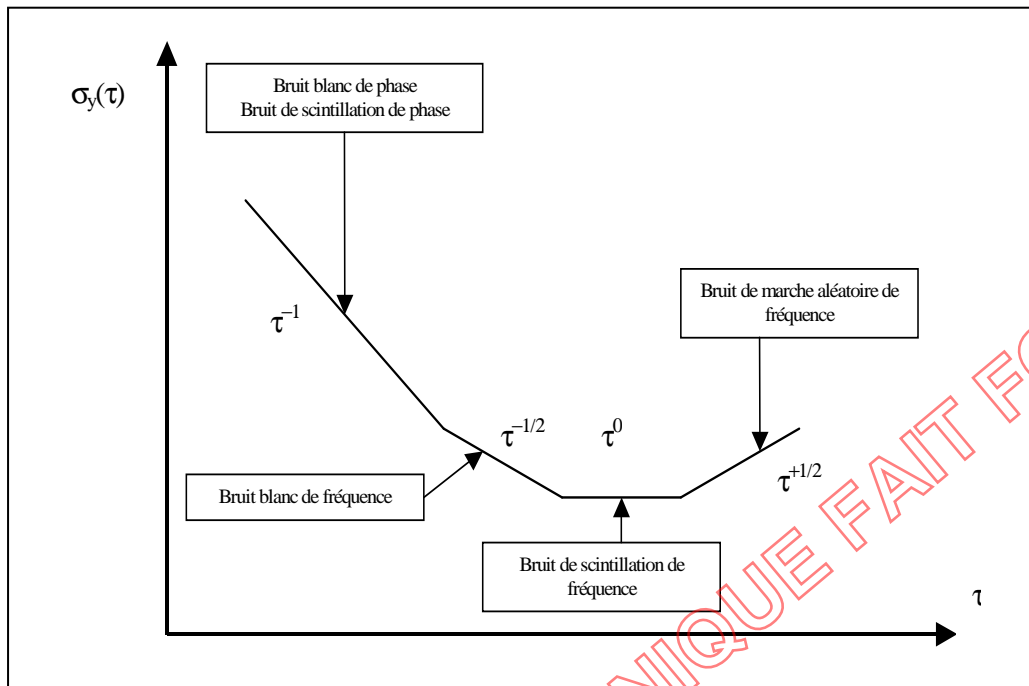
**f) Stabilité de fréquence et de phase**

Lorsqu'il s'agit de caractériser le bruit des oscillateurs ou des systèmes de mesure en stabilité de fréquence ou de phase, on a recours à des estimateurs particuliers tel que la variance d'Allan. Ceci n'est applicable que si la fréquence de l'oscillateur interne à caractériser est accessible.

L'estimateur de stabilité de fréquence est défini par la variance d'Allan  $\sigma_y^2(\tau)$ , dite variance à deux échantillons, (ou l'écart-type d'Allan  $\sigma_y(\tau)$ ) :

$$\sigma_y^2(\tau) = \frac{1}{2} \langle (\Delta y)^2 \rangle = \frac{1}{2(n-1)} \sum_{k=1}^{k=n-1} (y_{k+1} - y_k)^2$$

Les échantillons de fréquence  $y_k$  doivent être mesurés sur la durée  $\tau$ , **sans temps mort** entre eux. La variance d'Allan permet d'identifier le type de bruit. Ceci implique de calculer la variance d'Allan sur différentes durées pour identifier le type de bruit, comme le montre la figure ci-dessous :



Remarque : Dans le cas où il existe un temps mort entre les mesures successives de fréquences, une correction de l'écart-type d'Allan peut être apportée si le temps mort est une fraction significative du temps de mesure.

Cette correction dépend du rapport du temps mort au temps de mesure et du type de bruit identifié. Elle est tabulée dans le document intitulé *NIST Technical Note 1318 – 01/10/1990* disponible sur le site internet <http://www.nist.gov>.

Trois cas peuvent se présenter en pratique :

1<sup>er</sup> cas :

La variance de répétabilité  $\sigma^2$  de  $X_i$  a été estimée antérieurement par un grand nombre de mesures.

Si on effectue une seule mesure  $X_i$ , on prendra  $s_i^2 = \sigma_i^2$  précédemment estimée.

Si on effectue  $n$  mesures et que l'on prend  $(1/n) \cdot \sum_{k=1}^{k=n} X_k$  comme estimation de  $X_i$ , on prendra

$s_i^2 = \sigma_i^2 / n$  comme estimateur de la variance de l'estimateur de moyenne si on est en présence d'un bruit blanc de phase ou d'un bruit blanc de fréquence.

2<sup>ème</sup> cas :

On dispose d'un nombre  $n$  de **mesures individuelles** de la grandeur  $X_i$ , effectuées dans les conditions de répétabilité qui garantissent notamment qu'il n'a pas été introduit d'effet systématique au cours des mesures et qui permettent de calculer la variance expérimentale de la grandeur  $X_i$  :

$$\sigma_i^2 = 1/(n-1) \cdot \sum_{k=1}^{k=n} (X_k - \bar{X}_i)^2$$

où  $\bar{X}_i$  est l'estimateur de la moyenne arithmétique des  $n$  résultats.



Avec les mêmes hypothèses sur le type de bruit que dans le premier cas, on pourra calculer la variance de l'estimateur de la moyenne à partir de la variance estimée  $\sigma_i^2$  :

$$s_i^2 = \sigma_i^2/n$$

Dans le cas particulier où l'on dispose d'un nombre n (inférieur à 10) de mesures individuelles de  $X_i$ , on peut utiliser cette formule, mais son utilisation conduit à sous estimer la variance. Elle doit donc être multipliée par un facteur correctif (cf. annexe 3 de ce document).

3<sup>ème</sup> cas :

On dispose d'un nombre n de **valeurs successives**  $\bar{y}_k^{(1)}$ , représentant l'écart normé de fréquence  $y_i$ , évaluées sur des durées  $\tau$ , sans temps mort entre les mesures. Toujours avec les mêmes hypothèses quant au type de bruit, l'estimation de  $y_i$  sera la moyenne : (1/n)

$$\sum_{k=1}^{k=n} \bar{y}_k$$

On pourra prendre comme **estimateur de la stabilité des échantillons** la variance d'Allan :

$$\sigma_{y_i}^2(\tau) = \frac{1}{2(n-1)} \cdot \sum_{k=1}^{k=n-1} (\bar{y}_{k+1} - \bar{y}_k)^2$$

$\bar{y}_k$  étant les différentes estimations (mesures) de  $y_i$  sur la durée  $\tau$ .

L'estimation de la variance de la moyenne sera alors donnée par la variance d'Allan sur la durée  $n\tau$ .

$$^{(1)} \bar{y}_k \text{ est un écart relatif de fréquence : } \bar{y}_k = \frac{f_k - f_{nom}}{f_{nom}}$$

avec  $f_k$  : fréquence du k<sup>ème</sup> échantillon évalué sur une durée  $\tau$   
 $f_{nom}$  : fréquence nominale

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

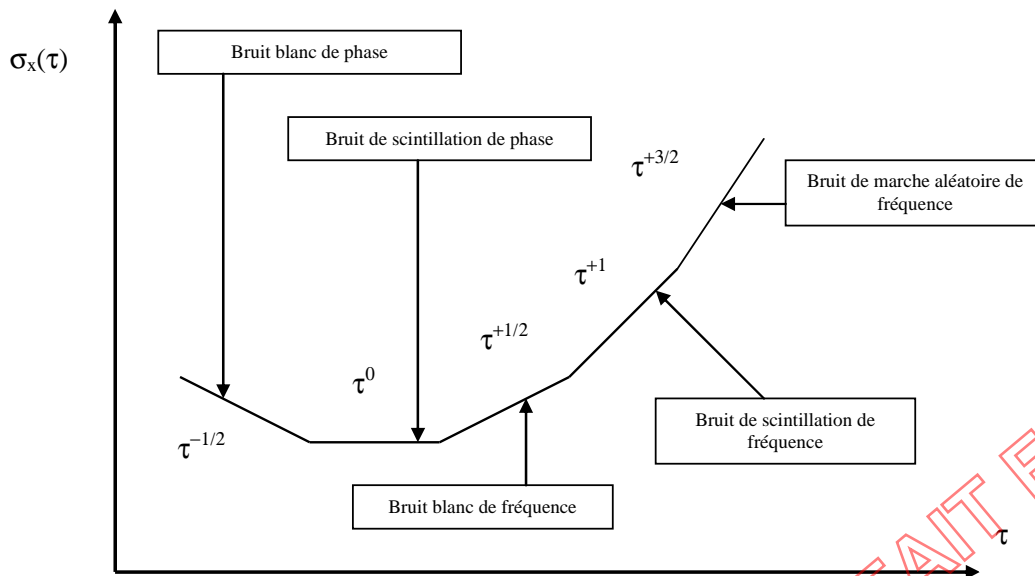
Comme il est montré sur la figure ci-dessus, la variance d'Allan ne sait pas discriminer entre les modulations de bruit blanc de phase et de bruit de scintillation de phase. C'est pourquoi d'autres développements ont permis d'aboutir à la variance d'Allan modifiée :

$$Mod \sigma_y^2(\tau) \leftarrow \frac{1}{2} \langle (\Delta \bar{y})^2 \rangle$$

Ainsi la stabilité de phase représentée par la variance d'Allan  $\sigma_x^2(\tau)$  (exprimée en s<sup>2</sup>) peut être déduite directement à partir de la variance d'Allan modifiée par :

$$\sigma_x^2(\tau) = \frac{\tau^2}{3} Mod \sigma_y^2(\tau)$$

L'écart type temporel d'Allan associé est représenté sur la figure ci-dessous :



On constate que l'identification des pentes dans le domaine des bruits de phase est facilitée par rapport à une courbe d'écart-type d'Allan (modifié) car il y a rupture de pente nette entre une modulation en bruit blanc de phase, une modulation en bruit de scintillation de phase, et une modulation en bruit de marche aléatoire de phase (qui équivaut à du bruit blanc de fréquence). Par ailleurs,  $\sigma_x^2(\tau)$  donne accès à la valeur sans biais de la variance vraie de phase dans le domaine de la modulation en bruit blanc de phase. C'est aussi la raison pour laquelle cette variance temporelle d'Allan est très utilisée pour les applications faisant appel à la phase.

### g) Linéarité

La linéarité peut être assimilée à l'évolution de l'exactitude d'un instrument sur une étendue de mesure donnée.

Elle devra être estimée à partir d'un nombre de points judicieusement choisis à partir des résultats d'un étalonnage.

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

### Exemples :

- 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 A).
- l'écart maximal par rapport à la droite de régression peut être considéré comme l'incertitude sur la connaissance de l'écart de linéarité (Type B).

En supposant que la loi de distribution 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 étalonné peut être employé sans que l'on 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 explicitée.

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***

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

Un choix judicieux des valeurs d'étalonnage est nécessaire.

### **III – 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 ou au § 6.5 du document FD X 07-022.

Une approche simplifiée peut consister à sommer arithmétiquement la valeur de la correction à l'incertitude élargie.

Spécificités des étalonnages dans le domaine Temps-Fréquence :

**Mesures de fréquence :** en mesure de fréquence par méthode statistique, une série de 30 mesures au moins est à réaliser 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 pourra 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), la valeur de la dérive ne peut être obtenue qu'après une durée minimale de 20 jours. Cependant, dans le cas où les mesures ne sont réalisées qu'en vue de porter un jugement sur la conformité à des spécifications, cette durée pourra être ramenée à 10 jours. Ces mesures doivent être réalisées après stabilisation de l'équipement à étalonner.

**Chronomètres à déclenchement manuel :** l'étalonnage des chronomètres à déclenchement manuel n'est réalisable que si un procédé impersonnel de substitution peut être mis en place pour assurer le déclenchement. Dans ce cas, le laboratoire devra informer son client, via le document associé à la prestation par exemple, que l'incertitude d'étalonnage considérée ne prend pas en compte l'intervention manuelle de l'opérateur.

### **IV – Exemples d'évaluation d'incertitudes d'étalonnage**

On pourra s'inspirer des exemples présentés dans les documents suivants :

- 27 exemples d'évaluation d'incertitudes d'étalonnage (Collège français de métrologie - [www.cfmetrologie.com](http://www.cfmetrologie.com)).
- Document EA-4/02 ([www.european-accreditation.org](http://www.european-accreditation.org)).
- Document Cofrac LAB GTA 08 notamment pour l'étalonnage de simulateurs ou d'indicateurs de température par simulation électrique.

## 6.6 Equipement

*NF EN ISO/CEI 17025, § 5.5.1*

*NF EN ISO/CEI 17025, § 5.5.9*

Dans les cas suivants :

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

un accord fixant les règles d'utilisation du matériel est nécessaire.

*NF EN ISO/CEI 17025, § 5.5.2*

Le laboratoire doit définir des dispositions visant à exploiter les certificats d'étalonnage de ses 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 doit notamment être appliqué après chaque raccordement.

Dans le cas où le laboratoire n'a pas pu respecter la périodicité de ses raccordements, celui-ci doit mettre 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 devra être mise en place afin d'éviter la reproduction du problème.

*NF EN ISO/CEI 17025, § 5.5.10*

Cette exigence s'applique notamment à des équipements soumis à des contraintes particulières. Exemples : éléments subissant des fortes puissances, sollicitations fréquentes,...

La périodicité des vérifications 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 permettra de simplifier ces vérifications.

## 6.7 Traçabilité du mesurage

*NF EN ISO/CEI 17025, § 5.6.1*

Afin de définir un calendrier et une périodicité de 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 4 de ce document.

Par ailleurs, concernant le domaine Temps-Fréquence et plus précisément le raccordement GPS, des précisions sont apportées en annexe 5 de ce document.

## 6.8 Assurer la qualité des résultats d'essai et d'étalonnage

*NF EN ISO/CEI 17025, § 5.9*

*LAB REF 02, § 9.5*

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

Le programme de la comparaison interlaboratoires privilégiera les bornes des étendues de mesure et les points pour lesquels l'incertitude est la meilleure.

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.

Les résultats des comparaisons interlaboratoires seront exploités conformément à la politique définie dans le document Cofrac LAB REF 02 au § 9.5.3.

Les organisateurs de comparaison interlaboratoires sont par ailleurs listés dans le document Cofrac LAB INF 19.

Enfin, il convient de noter que le nombre "En" (couramment dénommé "écart normalisé") est à privilégier dans les domaines techniques concernés par ce guide.

## 6.9 Rapports sur les résultats

*NF EN ISO/CEI 17025, § 5.10.2.f*

Il est admis que la "valeur zéro", 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.

*NF EN ISO/CEI 17025, § 5.10.4.1*

Les conditions dans lesquelles les étalonnages sont réalisés 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, les configurations de mesure,...

Afin de sensibiliser l'utilisateur 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...".

NF EN ISO/CEI 17025, § 5.10.1  
 NF EN ISO/CEI 17025, § 5.10.4.2/5.10.4.3  
 LAB REF 02, § 9.2.3.2

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

- Constat de vérification faisant référence aux exemples de programmes de vérification présentés au § 9 de ce guide et 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 peut ne comporter aucune valeur numérique **à l'exception des points mesurés trouvés hors tolérance avant intervention sur l'instrument de mesure (ajustage, réglage, réparation).**

- Certificat d'étalonnage avec déclaration de conformité.

En effet, conformément au § 5.10.4.2 du référentiel NF EN ISO/CEI 17025 et au § 9.2.3.1 du document Cofrac LAB REF 02, une déclaration de conformité peut être mentionnée dans un certificat d'étalonnage.

Pour ces deux documents, l'attention est attirée sur le fait de ne pas oublier de mentionner les éléments suivants :

- le constat par rapport aux critères d'acceptation.
- les erreurs maximales tolérées (EMT) doivent être précisées de manière explicite soit :
  - sous forme de référence (normative, réglementaire, spécifications constructeurs, cahier des charges).
  - directement en terme de valeurs.
- le cas échéant les conditions de validité de la vérification : cela correspond 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, usage restreint à l'utilisation en sens croissant,...).
- le cas échéant une rubrique "renseignements complémentaires" : les informations délivrées sous cette rubrique pourront porter sur des points relatifs à la prestation ayant conduit à l'établissement du(des) constat(s).

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

- Le ou les instrument(s) concerné(s) ne présente(nt) 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 pourra être clairement indiqué.
- Dans le cadre de l'étalonnage d'un indicateur, l'incertitude associée à la mesure doit avoir la même résolution que celle de l'affichage.
- Dans le cadre de l'étalonnage d'un générateur, l'incertitude associée à la mesure doit avoir la même résolution que celle du résultat de la valeur étalonnée.

Remarque : le laboratoire peut à titre indicatif consulter les documents FD X 07-022 et FD X 07-019.

Un exemple de critère permettant de prononcer ou non la confirmation métrologique d'un équipement vis à vis d'une prescription d'emploi est présenté en annexe 1 de ce guide.

Un exemple de constat de vérification est présenté en annexe 2 de ce guide.

## 7 RECOMMANDATIONS POUR LES ETALONNAGES SUR SITE

LAB REF 02, § 4.1

Les meilleures possibilités d'étalonnage sur site doivent clairement figurer dans la portée d'accréditation et être distinguées des autres prestations.

Compte tenu de la spécificité de cette activité, un processus interne de surveillance technique est nécessaire (personnel, moyen, procédure,...).

### 7.1 Personnel

Il convient que le personnel intervenant sur site soit qualifié sur des critères de validation adaptés aux tâches spécifiques liées aux prestations sur site.

### 7.2 Conditions ambiantes

Il convient que le laboratoire connaisse bien les conditions environnementales avant de procéder à un étalonnage. Ces points doivent être définis dans la revue de contrat.

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

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

L'attention est attirée sur la maîtrise des conditions d'ordre climatique mais également d'ordre électromagnétique (cf. recommandations présentées dans ce document au niveau du § 5.3 de la norme NF EN ISO/CEI 17025).

### 7.3 Traçabilité des étalonnages

#### 7.3.1 Equipements

En termes d'équipements et de procédures, le laboratoire pourra réaliser une opération technique (étalonnage ou vérification) sur l'étalon voyageur, avant et après la campagne d'étalonnage afin de vérifier que la dérive de celui-ci reste toujours dans les limites fixées par le laboratoire.

Des enregistrements de ces opérations sont nécessaires.

D'une façon générale, le laboratoire s'assurera 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.

Par ailleurs, les étalons de référence du laboratoire ne peuvent pas être utilisés pour des étalonnages sur site.

#### 7.3.2 Méthodes et incertitudes

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

Il est nécessaire de prendre en compte dans l'incertitude la méconnaissance des dégradations liées à l'usage des étalons sur site.

Un étalon de confirmation métrologique pourra être utilisé en conjugaison avec un étalon complémentaire (par exemple un multimètre complétant un calibreteur) afin de permettre de valider les mesures sur site.

## 8 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 définir les éléments de chaque colonne de ces tableaux de la façon suivante :

**Objet :**

Liste des familles d'équipements soumis à étalonnage (non exhaustive).

**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 :**

Etendue de la grandeur mesurée exprimée par des domaines de valeurs continues ou par des valeurs ponctuelles correspondant aux possibilités du laboratoire.

**Incertitude élargie (k=2) :**

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

**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 méthode interne 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'appuieront sur le document Cofrac LAB INF 26 (disponible sur [www.cofrac.fr](http://www.cofrac.fr)) présentant les étalonnages les plus couramment réalisés en métrologie électrique, magnétique et temporelle (nomenclature).



### Domaine Electricité-Magnétisme

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie (k=2)	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode	Lieu de réalisation
Multimètres Calibrateurs Voltmètres Nanovoltmètres	Différence de potentiel	/	1 mV à 1V	$5.10^{-6}.U + 0,2 \mu V$	Méthode d'opposition à une tension divisée	Potentiomètre à comparateur de courant et diviseurs résistifs	MOP-01	Laboratoire
Multimètres Calibrateurs Voltmètres Générateurs BF	Différence de potentiel BF	20 Hz à 1 kHz	1 V à 10 V	$1.10^{-4}.U$	Transposition thermique	Générateur de tension continue, transfert thermique	MOP-02	Laboratoire

### Domaine Temps-Fréquence

Objet	Caractéristique mesurée ou recherchée	Domaine d'application	Etendue de mesure	Incertitude élargie (k=2)	Principe de la méthode	Principaux moyens utilisés	Référence de la méthode	Lieu de réalisation
Oscillateurs seuls ou intégrés à des équipements Générateurs	Fréquence	Valeurs ponctuelles	1 MHz 2,5 MHz 5 MHz 10 MHz	$5.10^{-12}.f$	Méthode de comparaison	Référence de fréquence, multiplicateur d'écart de fréquence associé à un fréquencemètre	MOP-03	Laboratoire
Oscillateurs seuls ou intégrés à des équipements	Fréquence/période	/	10 MHz	$1.10^{-8}.f$	Mesure directe	Fréquencemètre/périodemètre ou compteur réciproque possédant sa référence de fréquence interne	MOP-04	Site client

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 sera alors exprimée par l'intermédiaire d'une phrase associée aux tableaux présentant la portée d'accréditation.

1/ Pour un laboratoire utilisant uniquement sa meilleure méthode d'étalonnage (portée fixe), la phrase suivante sera mentionnée :

*Le laboratoire est accrédité pour pratiquer les étalonnages décrits en respectant strictement les méthodes mentionnées dans la portée suivant leurs révisions successives, dès lors que les révisions n'impliquent pas de modifications techniques.*

2/ Pour un laboratoire n'utilisant pas uniquement sa meilleure méthode d'étalonnage (en général des méthodes donnant des incertitudes dégradées), la phrase suivante sera mentionnée :

*Le laboratoire peut employer d'autres méthodes dès lors que les compétences qu'elles impliquent sont présentes dans sa portée d'accréditation et ce pour la même grandeur et la même valeur ou étendue de mesure. Cependant, le laboratoire ne pourra mentionner des incertitudes meilleures que celles figurant dans sa portée d'accréditation.*

*La liste des méthodes équivalentes employées est tenue à jour par le laboratoire.*

3/ Dans le cadre des laboratoires accrédités pour l'activité de développement de nouvelles méthodes, la phrase devient :

*Le laboratoire peut employer, adapter ou développer d'autres méthodes dès lors que les compétences qu'elles impliquent sont présentes dans sa portée d'accréditation et ce pour la même grandeur sans toutefois que les incertitudes mentionnées ne soient inférieures aux possibilités en matière de mesure et d'étalonnage (CMCs) répertoriés dans la base de données du BIPM ("KCDB", base de données des comparaisons clés), liée à la mise en place des accords de reconnaissance du CIPM.*

*La liste des méthodes adaptées ou développées est tenue à jour par le laboratoire.*

Comme précisé ci-dessus, le laboratoire accrédité suivant une portée flexible doit tenir à jour une liste des méthodes adoptées et/ou adaptées et/ou développées appelée également "portée détaillée". Cette liste est à présenter sous forme de tableaux et doit comporter à minima les colonnes suivantes : objet, caractéristique mesurée, référence de la méthode.

## 9 EXEMPLES DE PROGRAMMES DE VERIFICATION DES APPAREILS DE MESURE

Ce chapitre présente des exemples de programmes de vérification à réaliser sur les différentes familles d'instruments de mesures électriques couvertes par les accréditations Electricité-Magnétisme et Temps-Fréquence pour pouvoir déclarer la conformité des calibres et fonctions vérifiés par rapport à une spécification. Un constat de vérification ou un certificat d'étalonnage pourra alors être délivré.

Par rapport à la version précédente de ce guide, de nombreux exemples de programmes de vérification ont été retirés de ce chapitre. En effet, ces exemples sont maintenant présentés :

- de façon générale dans le document AFNOR FD X 07-025-2,
- pour le domaine des essais de CEM, radiofréquence et mesures de champs électromagnétiques sur site dans le document Cofrac LAB GTA 07.

Dans le présent guide, les exemples de programmes de vérification sont détaillés par grandes familles d'appareils qui font chacune l'objet d'une fiche technique spécifique.

Le demandeur a le choix des fonctions et des calibres par fonction à vérifier.

Le programme à réaliser est à effectuer pour chaque calibre prévu par le demandeur de la prestation.

La liste de ces exemples de programmes est mentionnée ci-dessous :

- 1 - Famille des affaiblisseurs RF
- 2 - Famille des amplificateurs
- 3 - Famille des convertisseurs
- 4 - Famille des éléments passifs
- 5 - Famille des kits de vérification des analyseurs de réseaux
- 6 - Famille des mesureurs de rapports de tension
- 7 - Famille des multiplicateurs d'écart
- 8 - Famille des phasemètres et des générateurs de phase
- 9 - Famille des ponts de mesures RLC
- 10 - Famille des wattmètres BF et RF

## 1 - Famille des affaiblisseurs RF

Désignations de l'instrument	Programme	Commentaires
Affaiblisseurs RF fixes	Cf. document Cofrac LAB GTA 07	/
Affaiblisseurs RF à plots	Cf. document Cofrac LAB GTA 07	/
Affaiblisseurs RF à variation continue	10 niveaux d'affaiblissement sur toute la dynamique à 3 fréquences dont la fréquence maximale d'utilisation + facteur de réflexion à la fréquence maximale d'utilisation	Lorsque le facteur de réflexion est défini par bande de fréquence, il est recommandé de le mesurer à la fréquence maximale de chaque sous-bande.

## 2 - Famille des amplificateurs (1/2)

Désignations de l'instrument	Programme	Commentaires
Amplificateurs BF et courant continu	<p><u>Pour 2 valeurs de gain dont le gain maximal :</u>                      Linéarité : 10 points en courant continu (1) ou 5 points (1) à une fréquence donnée                      Réponse en fréquence : 5 points à un niveau donné</p> <p><u>Sur les autres gains :</u>                      1 point à une fréquence donnée.</p>	
Amplificateurs-conditionneurs	<p><u>Pour 2 valeurs de gain dont le gain maximal :</u>                      Linéarité : 10 points en courant continu (1) ou 5 points (1) à une fréquence donnée                      Réponse en fréquence : 5 points à un niveau donné</p> <p><u>Sur les autres gains :</u>                      1 point à une fréquence donnée</p> <p><u>Pour les filtres :</u>                      Déterminer la fréquence de coupure à -3 dB (par défaut)</p> <p><u>Autres fonctions :</u>                      Déterminer la tension d'alimentation du capteur et la résistance interne de calibrage.</p>	(1) Points uniformément répartis sur l'étendue de mesure.

En complément, contrôler sur le gain maximal :

- le taux de distorsion,
- le niveau de bruit,
- le taux de réjection de mode commun pour les amplificateurs différentiels.

## 2 - Famille des amplificateurs (2/2)

Désignations de l'instrument	Programme	Commentaires
Amplificateurs de puissance RF de bande passante inférieure ou égale à 1 GHz	<p>5 points de linéarité à une fréquence donnée</p> <p>5 points de réponse en fréquence à un niveau donné</p> <p>Puissance maximale à 1 dB de compression à une fréquence (1)</p> <p>Vérifier le facteur de réflexion de l'entrée à 3 fréquences dont la fréquence maximale</p>	(1) Selon préconisations constructeurs.
Amplificateurs de puissance RF de bande passante supérieure à 1 GHz	<p>5 points de linéarité à une fréquence donnée</p> <p>10 points de réponse en fréquence à un niveau donné</p> <p>Puissance maximale à 1 dB de compression à une fréquence (1)</p> <p>Vérifier le facteur de réflexion de l'entrée à 3 fréquences dont la fréquence maximale</p>	

### 3 - Famille des convertisseurs

Désignations de l'instrument	Programme	Commentaires
Convertisseurs tension-courant (*)	<p><u>En courant continu</u> :</p> <p>Pour une charge donnée, une linéarité sur un calibre (1) (zéro, 5 points en positif et 5 points en négatif)                      Pour une autre charge, 1 point                      Sur les autres calibres :                      3 points (zéro, 1 point en positif et 1 point en négatif)</p> <p><u>En courant alternatif</u> :</p> <p>5 points de réponse en fréquence sur le calibre vérifié en linéarité en courant continu                      Sur les autres calibres :                      1 valeur à 2 fréquences (2)</p>	<p>(1) De préférence celui qui présente la meilleure exactitude.</p> <p>(2) Mentionner les valeurs de fréquence dans le constat de vérification ou le certificat d'étalonnage</p>
Sonde de courant RF à réponse plate (**)	Cf. document AFNOR FD X 07-025-2	
Convertisseurs fréquence-tension	Une linéarité en 10 points sur toute l'étendue de mesure	/
Convertisseur linéariseur de température	5 points par type de capteur	

**Remarque :**

Tous les instruments possédant des fonctions inverses de celles présentées dans le tableau ci-dessus peuvent être traités de façon analogue.

(\*) Dans le cas où la vérification se limite à une fonction alternative, on complétera par une linéarité à une fréquence en 10 points.

(\*\*) Les autres sondes de courant nécessitent un certificat d'étalonnage sauf si le client spécifie le programme de vérification et les limites d'acceptation.

## 4 - Famille des éléments passifs

Désignations de l'instrument	Programme	Commentaires
Eléments passifs RLC fixes	<p><u>En courant continu</u> : valeur nominale</p> <p><u>En courant alternatif</u> : valeur nominale</p>	Mesures en courant continu ou en courant alternatif à une fréquence de 100 Hz, 1 kHz ou 1 MHz selon les valeurs et les possibilités du matériel.
Eléments passifs RLC à décades	<p><u>En courant continu</u> : valeur résiduelle + chaque position de chaque décade + 1 point d'additivité</p> <p><u>En courant alternatif</u> : valeur résiduelle + chaque position de chaque décade + 1 point d'additivité</p>	
Shunts	<p><u>En courant continu et/ou en courant alternatif</u> : Valeur nominale</p>	Pour améliorer la connaissance du matériel, il peut être utile de réaliser des mesures pour différentes valeurs d'intensité de courant électrique

La configuration dans laquelle ont été réalisées les mesures (2, 3...bornes ; courant de mesure des inductances...) est à préciser dans le constat de vérification ou le certificat d'étalonnage.

## 5 - Famille des kits de vérification des analyseurs de réseaux

Désignations de l'instrument	Programme	Commentaires
Affaiblisseur 20 dB	Mesure des paramètres S ("parties réelle et imaginaire" ou "module et phase") pour 30 points de fréquence au minimum	Types de connecteurs (N, PC7, 3,5 mm, K, 2,4 mm)
Affaiblisseur 40 dB		Types de connecteurs (K, 2,4 mm)
Affaiblisseur 50 dB		Types de connecteurs (N, PC7, 3,5 mm)
Ligne à air 25 $\Omega$		Types de connecteurs (N, PC7, 3,5 mm, K, 2,4 mm)
Ligne à air 50 $\Omega$		

Ainsi, la traçabilité au SI de l'analyseur de réseaux vectoriel (VNA ou Vector Network Analyser) est assurée au moyen de ce kit de vérification, la preuve de traçabilité au SI étant assurée par un certificat d'étalonnage émis par un laboratoire d'étalonnage répondant aux exigences du document Cofrac LAB REF 02, à savoir :

- un laboratoire national de métrologie signataire de l'arrangement de reconnaissance mutuelle (MRA) du Comité international des poids et mesures (CIPM, cf. [www.bipm.org](http://www.bipm.org)),
- un laboratoire d'étalonnage accrédité par un organisme signataire de l'accord multilatéral de reconnaissance d'équivalence "étalonnage" d'EA ou d'ILAC.

La mesure des 4 paramètres S (nombres complexes) des 4 éléments du kit de vérification permet de contrôler l'exactitude du "calibrage" du VNA.



## 6 - Famille des mesureurs de rapports de tension (1/2)

Désignations de l'instrument	Programme	Commentaires
Fonction ratiomètre d'un multimètre	<u>Sur chaque mode de rapport possible en courant continu et courant alternatif (*)</u> : 10 points uniformément répartis sur l'étendue de mesures (dont 10 % et 100 % de l'étendue)	La tension d'entrée d'une des voies doit être proche de la valeur nominale du calibre.
Diviseurs basses tensions d'exactitude ( $\epsilon$ ) supérieure au $1.10^{-4}$ du rapport unité ( $\epsilon > 1.10^{-4}$ )	<u>Diviseurs fixes</u> : 1 valeur de tension par rapport (1) (en courant continu ou à une fréquence en courant alternatif (*)) <u>Diviseurs variables</u> : 1 valeur de tension par position de chaque décade (1) (en courant continu ou à une fréquence en courant alternatif (*))	(1) Mentionner la valeur de tension dans le constat de vérification ou le certificat d'étalonnage
Diviseurs basses tensions d'exactitude ( $\epsilon$ ) inférieure ou égale au $1.10^{-4}$ du rapport unité ( $\epsilon \leq 1.10^{-4}$ )	Ne donnent pas lieu à constat de vérification mais à certificat d'étalonnage	/
Sondes hautes tensions (courant continu et basse fréquence) d'exactitude ( $\epsilon$ ) supérieure ou égale au $5.10^{-3}$ ( $\epsilon \geq 5.10^{-3}$ )	<u>En courant continu</u> : valeur du rapport pour 2 niveaux de tension (dont la valeur de tension nominale) + valeur du rapport pour une tension de polarité opposée <u>En courant alternatif</u> : valeur du rapport pour 2 niveaux de tension (dont la valeur de tension nominale) à une fréquence (50 Hz par exemple (*))	/
Sondes hautes tensions (courant continu et basse fréquence) d'exactitude ( $\epsilon$ ) inférieure à $5.10^{-3}$ ( $\epsilon < 5.10^{-3}$ )	<u>En courant continu</u> : valeur du rapport pour 5 niveaux de tension (dont la valeur de tension nominale) + valeur du rapport pour une tension de polarité opposée <u>En courant alternatif</u> : valeur du rapport pour 5 niveaux de tension (dont la valeur de tension nominale) à une fréquence (50 Hz par exemple (*))	Mentionner l'impédance de charge et le temps d'application des paliers de tension dans le constat de vérification ou le certificat d'étalonnage

(\*) Mentionner la fréquence dans le constat de vérification ou le certificat d'étalonnage.

## 6 - Famille des mesureurs de rapports de tension (2/2)

Désignations de l'instrument	Programme	Commentaires
Sondes d'oscilloscopes (haute et basse tension)	Cf. document AFNOR FD X 07-025-2	/

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI

## 7 - Famille des multiplicateurs d'écart

Désignations des caractéristiques à mesurer	Programme	Commentaires
Ecart de fréquence	<p>Mesure de l'écart de fréquence pour chaque coefficient multiplicateur à une fréquence nominale.</p> <p>Pour le plus grand coefficient multiplicateur, vérification aux deux fréquences nominales extrêmes.</p>	<p>Les mesures s'effectueront en sortie <math>10 \text{ MHz} \pm 10^N \cdot \varepsilon</math></p> <p>Vérifier la sensibilité des entrées aux fréquences fixes d'utilisation</p>

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI

## 8 - Famille des phasemètres et générateurs de phase

Désignations de l'instrument	Programme	Commentaires
Phasemètres	<p>Pour une fréquence donnée (*) (50 Hz par exemple) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 valeurs de phase pour 2 tensions d'entrée de même amplitude</li> <li>- 10 valeurs de phase pour 2 tensions d'entrée d'amplitudes notablement différentes (dans un rapport <math>\geq 10</math>)</li> </ul>	<p>Si le phasemètre est employé à une autre fréquence : vérifier 2 points à cette fréquence.</p>
Générateurs de phase	<p>Pour une fréquence donnée (*) (50 Hz par exemple) :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 10 valeurs de phase pour 2 tensions de sortie de même amplitude</li> <li>- 10 valeurs de phase pour 2 tensions de sortie d'amplitudes notablement différentes (dans un rapport <math>\geq 10</math>)</li> </ul>	<p>Si le générateur de phase est employé à une autre fréquence : vérifier 2 points à cette fréquence.</p>

(\*) La fréquence à laquelle la vérification a été réalisée est à préciser dans une rubrique spécifiant les conditions de validité de la vérification dans le constat de vérification ou le certificat d'étalonnage.

## 9 - Famille des ponts de mesure RLC

Désignations de l'instrument	Programme	Commentaires
Ponts de mesure RLC	<p><b><u>Capacité :</u></b>                      Sur un calibre moyen à 100 Hz                      ou 1 kHz :                      linéarité en 5 points à la tension                      pour laquelle l'exactitude est la                      meilleure                      1 point à 2 valeurs de tension                      différentes de la tension précédente                      Sur tous les calibres (1) :                      1 point à 100 Hz ou 1 kHz</p> <p><b><u>Inductance :</u></b>                      Sur tous les calibres :                      1 point à 1 kHz</p> <p><b><u>Résistance :</u></b>                      Sur un calibre :                      1 point à 1 kHz</p>	(1) En complément, 1 MHz si le pont atteint cette fréquence.

En complément, contrôler :

- le facteur de dissipation (\*),
- la cohérence mode série et parallèle (\*),
- la tension de mesure (5 points à 1 kHz dont les valeurs extrêmes),
- l'intensité du courant de mesure (5 points à 1 kHz dont les valeurs extrêmes),
- la tension et/ou l'intensité de superposition.

(\* ) La vérification peut se faire avec un couple RC étalon (exemple : 100 nF / 1 kΩ à 1 kHz), et par comparaison entre le résultat calculé et la valeur mesurée.

## 10 - Famille des wattmètres BF et RF

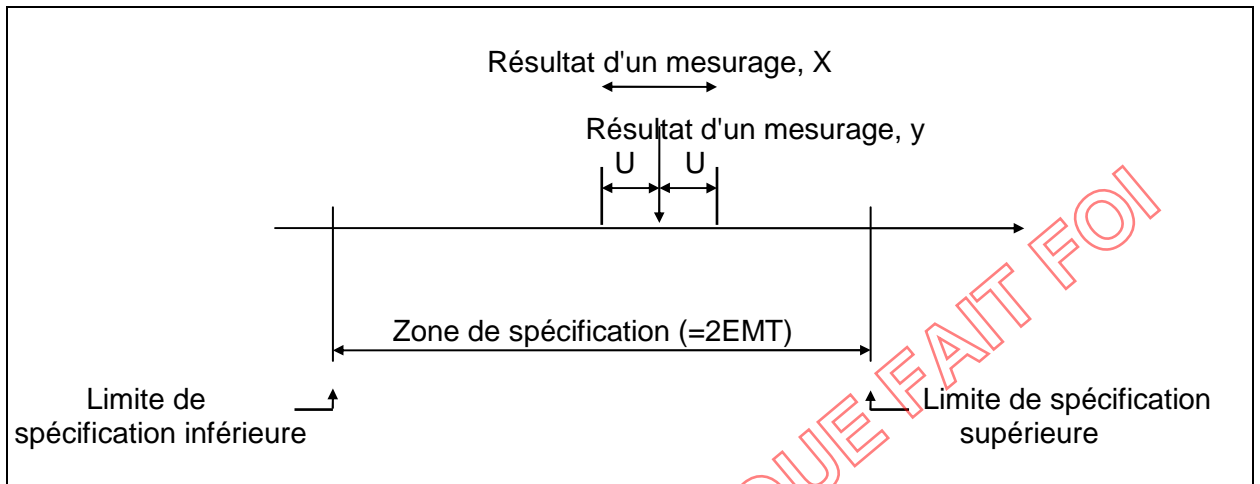
Désignations de l'instrument	Programme	Commentaires
Wattmètres associés à sondes RF (*) (diodes, thermocouples, montures bolométriques...)	Exactitude du niveau de la référence interne + pour une fréquence donnée, 10 points sur toute l'étendue de mesure + 10 points de réponse en fréquence à un niveau donné + toutes les positions du facteur de calibrage de l'appareil + 3 points de facteur de réflexion répartis sur toute la gamme de fréquence	/
Wattmètres BF	Pour une fréquence donnée (**) (50 Hz par exemple) et pour différents couples tension, courant : 15 points sur toute l'étendue de mesure à $\cos \varphi = 1$  Si le wattmètre est utilisé à d'autres $\cos \varphi$ , on pourra par exemple considérer : 3 points à $\cos \varphi = 0,8$ AR (ou AV) + 3 points à $\cos \varphi = 0,5$ AR (ou AV)	Si le wattmètre est utilisé à une autre fréquence (**): 2 points à cette fréquence.  AR signifie que le courant appliqué est en retard sur la tension appliquée.  AV signifie que le courant appliqué est en avance sur la tension appliquée.
Wattmètres en courant continu	15 points sur toute l'étendue de mesure pour différents couples tension, courant	/

(\*) Le laboratoire indiquera si la vérification a été effectuée avec ou sans application du facteur de correction interne à l'appareil, dans une rubrique spécifiant les conditions de validité de la vérification dans le constat de vérification ou le certificat d'étalonnage.

(\*\*) La fréquence à laquelle la vérification a été réalisée est à préciser dans une rubrique spécifiant les conditions de validité de la vérification dans le constat de vérification ou le certificat d'étalonnage.

**Annexe 1 : Exemple de critères permettant de prononcer ou non la confirmation métrologique d'un équipement vis à vis d'une prescription d'emploi**

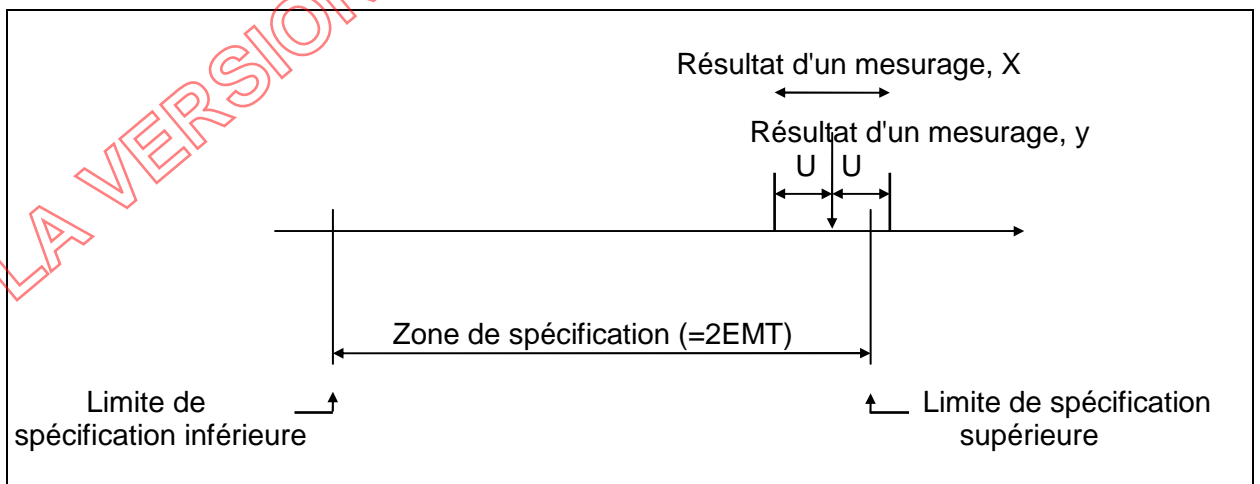
- La conformité à la spécification est prouvée lorsque le résultat d'un mesurage X (y augmenté de l'incertitude élargie U) est situé à l'intérieur des limites d'erreurs maximales tolérées de la caractéristique d'un instrument de mesure (voir figure ci-dessous).



**Les incertitudes de mesure prennent en compte la contribution des étalons, du processus et de l'appareil à vérifier (résolution, stabilité,...).**

Ces incertitudes de mesure ne pourront évidemment pas être supérieures à l'EMT.

- Lorsque le résultat d'un mesurage X (y augmenté de l'incertitude élargie U) inclut une des limites d'erreurs maximales tolérées d'une caractéristique d'un instrument de mesure, sans préjudice des pratiques réglementaires, il sera nécessaire d'avoir un accord écrit entre le laboratoire accrédité et le demandeur afin de pouvoir prononcer la conformité ou la non-conformité à la spécification (voir figure ci-dessous).



Cependant, la valeur mesurée y ne pourra sortir de la zone de spécification.

Note : Il convient également de se reporter à la politique Cofrac en matière de déclaration de conformité (cf. document Cofrac LAB REF 02).

**Annexe 2 : Exemple de constat de vérification**

**LABORATOIRE**

**\*\* Nom \*\***

**\*\* Adresse du laboratoire \*\***

**CHAINE D'ETALONNAGE ELECTRICITE-MAGNETISME**

**LABORATOIRE D'ETALONNAGE ACCREDITE**

**Accréditation N°2-9876**

**CONSTAT DE VERIFICATION**

**N° XXXXXX**

**DELIVRE A :**      **\*\* Adresse du client \*\***

**IDENTIFICATION DE L'INSTRUMENT**

Désignation : MULTIMETRE

Constructeur : FACILE

Type : DH315

N° de série : 999999

N° d'identification : ABCD00

**CONDITIONS DE VERIFICATION**

Norme ou texte de référence : LAB GTA 10 (révision 01)

Procédure interne de vérification : PR 123456

Conditions d'environnement  
Température : 23°C ± 1°C

Date de la vérification : 08/04/2009

Date d'émission du constat : 10/04/2009

**CONSTAT :**

FONCTION	CALIBRE	CONSTAT *
Différence de potentiel en courant continu	Tous calibres	Conforme après ajustage (1)
Différence de potentiel en courant alternatif	1 V	Conforme après maintenance corrective (2)
Différence de potentiel en courant alternatif	Tout autre calibre	Conforme
Résistance électrique	Tous calibres	Conforme avec nota (3)
Intensité de courant alternatif	Tous calibres	Conforme - HA
Toute autre fonction métrologique	Tout calibre	Conforme

**RENSEIGNEMENTS COMPLEMENTAIRES**

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

Panne     Panne intermittente     Dans les tolérances     Hors tolérances

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

- (1) - En différence de potentiel en courant continu, hors tolérances : ± 1 % de la lecture au lieu de ± 0,1 % de la lecture.
- (2) - En différence de potentiel en courant alternatif, calibre 1 V, l'affichage est continuellement en surcharge.

▪ **OPERATIONS EFFECTUEES :**

Vérification préliminaire     Maintenance corrective     Ajustage     Calibrage     Vérification

**CONDITIONS DE VALIDITE DE LA VERIFICATION**

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

(3) - NOTA : vérification effectuée de 10 Ω à 10 MΩ.

Ce document comprend 1 page(s)

LE RESPONSABLE DU LABORATOIRE

CE CONSTAT DE VÉRIFICATION GARANTIT LE RACCORDEMENT DES RÉSULTATS D'ÉTALONNAGE AU SYSTÈME INTERNATIONAL D'UNITÉS (SI) POUR LES SEULS ÉTALONNAGES COUVERTS PAR L'ACCREDITATION. CERTAINES PRESTATIONS RAPPORTEES DANS CE DOCUMENT NE SONT PAS COUVERTES PAR L'ACCREDITATION. ELLES SONT IDENTIFIEES PAR LE SYMBOLE « HA ».  
LA REPRODUCTION DE CE CONSTAT DE VÉRIFICATION 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.





### Annexe 3 : Estimateur pour un nombre réduit d'échantillons (application de la loi de Student)

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 sera élargi d'un facteur  $k_t$ . Ce facteur dépend d'un paramètre  $\nu$ , appelé « degré de liberté » et du niveau de confiance associé à l'estimateur. Ce cas s'appliquera notamment, par exemple, pour la valeur de  $\sigma_i$  extraite de l'équation présentée en page 18 de ce guide, 2<sup>ème</sup> cas du paragraphe de la stabilité temporelle.

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

$$\nu = n - m$$

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

Ce facteur découle de la loi de Student définie par :

$$t(\nu) = \frac{\bar{x} - m}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad \text{où } \nu = n - 1 \quad \text{et } s = \sqrt{\frac{\sum_i (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

Degré de liberté $\nu = n - 1$	Facteur multiplicatif $k_t$ pour un intervalle de confiance de 95,4 % ramené à un écart-type
1	6,48
2	2,20
3	1,62
4	1,42
5	1,31
6	1,25
7	1,21
8	1,18
9	1,15
10	1,14

L'incertitude élargie à  $2\sigma$ , évaluée à partir de la valeur  $\sigma_i$  calculée, est donnée par :  $l_{(95,45\%)} = 2 \cdot \sigma_i \cdot k_t$

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 :  $\nu = n - 2$ .



## **Annexe 5 : Raccordement aux étalons primaires dans le domaine Temps-Fréquence**

Le domaine Temps-Fréquence présente la particularité de pouvoir disséminer par des moyens de transfert divers, les unités et les échelles de repérage 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'une émission de fréquence étalon avec ou sans repère de temps associé (exemples : Fréquence de 162 kHz de l'émetteur ALLOUIS de France-Inter, DCF 77, HBG de Prangins),
- la réception de repères communs de temps et leur datation simultanée dans les laboratoires à rattacher (exemple : GPS SYREF piloté par le LNE-LTFB),
- les corrections diffusées par bulletins, circulaires ou fichiers informatiques, émanant de l'Observatoire de Paris (LNE-SYRTE) ou d'autres organismes équivalents.

La seule condition pour qu'un laboratoire utilise ces moyens de transfert est qu'il possède une source de temps/fréquence servant de référence locale et le récepteur approprié.

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI

## **Annexe 6 : Liste non exhaustive des documents à transmettre pour les demandes d'accréditation initiale et d'extension**

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

- maîtrise des conditions d'environnement (demande initiale uniquement),
- description de(s) la méthode(s) d'étalonnage,
- présentation et raccordement au système SI des étalons de référence et de travail du laboratoire : programme et périodicité de raccordement, certificats d'étalonnage, dérive des étalons...,
- identification des composantes d'incertitude et budget d'incertitudes,
- éléments de validation de méthode comprenant les valeurs et les résultats,
- un spécimen de certificat d'étalonnage et/ou d'un constat de vérification (demande initiale uniquement).

LA VERSION ELECTRONIQUE FAIT FOI