

LES GUIDES TECHNIQUES
DU COLLÈGE FRANÇAIS DE MÉTROLOGIE



TRAÇABILITÉ MÉTROLOGIQUE

EXEMPLES DE CAS DIFFICILES

LES GUIDES TECHNIQUES
DU COLLÈGE FRANÇAIS DE MÉTROLOGIE

TRAÇABILITÉ MÉTROLOGIQUE

EXEMPLES DE CAS DIFFICILES

LES GUIDES TECHNIQUES
DU COLLÈGE FRANÇAIS DE MÉTROLOGIE



TRAÇABILITÉ MÉTROLOGIQUE

EXEMPLES DE CAS DIFFICILES

© CFM et AFNOR Éditions 2017
Couverture : création AFNOR Éditions – Exécution : Atelier du Livre (Caroline Joubert)
Crédit photo © 2017 Adobe Stock
ISBN 978-2-12-465604-2



Toute reproduction ou représentation intégrale ou partielle, par quelque procédé que ce soit, des pages publiées dans le présent ouvrage, faite sans l'autorisation de l'éditeur est illicite et constitue une contrefaçon. Seules sont autorisées, d'une part, les reproductions strictement réservées à l'usage privé du copiste et non destinées à une utilisation collective et, d'autre part, les analyses et courtes citations justifiées par le caractère scientifique ou d'information de l'œuvre dans laquelle elles sont incorporées (loi du 1^{er} juillet 1992, art. L 122-4 et L 122-5, et Code pénal, art. 425).

Collège Français de Métrologie
1, rue Gaston Boissier
75724 Paris Cedex 15
Tél. : + 33 (0) 4 67 06 20 36
www.cfmetrologie.com/fr/bibliotheque

AFNOR
11, rue Francis de Pressensé
93571 La Plaine Saint-Denis Cedex
Tél. : + 33 (0) 1 41 62 80 00
www.afnor.org/editions



COLLÈGE FRANÇAIS DE
MÉTROLOGIE

Le Collège Français de Métrologie (CFM) est une association à vocation industrielle qui rassemble tous les acteurs du monde de la mesure : utilisateurs de moyens de mesure dans l'industrie et les laboratoires, responsables de laboratoires et de centres techniques, fabricants et prestataires, universitaires et autres.

Fondé avec le soutien du Ministère chargé de l'Industrie, du Laboratoire National de Métrologie et d'Essais (LNE), du Centre Technique des Industries Aéronautiques et Thermiques (CETIAT) et de Peugeot Citroën Automobiles (PSA), le CFM rassemble aujourd'hui près de 500 adhérents.

Apporteur d'informations et de contenu technique, notre mission est de vous permettre d'améliorer et d'optimiser vos processus de mesure. Les professionnels de tous niveaux et de tous les secteurs d'activités sont concernés.

Le but est de vous faire gagner du temps et de vous permettre de répondre au plus vite à vos interrogations.

Grâce à sa bibliothèque technique et notamment à ses Guides, le CFM est devenu la référence de la documentation dans le monde de la mesure.

Le rapprochement avec AFNOR Éditions, qui est lui aussi un autre référent mais de la Norme, permettra aux deux entités de se compléter l'un et l'autre tout en gardant leurs niveaux d'exigence et tout en continuant d'améliorer les connaissances.

Véritable pôle d'échange qui facilite les rencontres et le partage d'expériences, intégrez vous aussi notre réseau en devenant l'un de nos membres privilégiés !

Visitez notre site Internet et analysez toute notre offre sur www.cfmometrologie.com.

**Prenez la mesure de votre avenir !
Le CFM**

afnor
ÉDITIONS

Vous ne connaissiez pas encore AFNOR en tant qu'éditeur ? Pourtant, depuis plusieurs années nous nous affirmons en tant qu'acteur de premier plan dans le paysage de la littérature professionnelle !

Face aux grandes tendances qui impactent votre environnement économique, nous vous offrons les meilleures solutions.

Dans un monde où les risques externes sont nombreux, AFNOR Éditions apporte de véritables solutions et méthodes pour aider les dirigeants dans leurs prises de décision.

Quels que soient votre secteur d'activité et votre fonction dans l'entreprise, nous vous proposons un ouvrage capable de satisfaire vos attentes. Pour répondre à vos problématiques, nous avons spécialement développé des collections pratiques. Celle coéditée avec le CFM est la dernière-née !

Cette collection vous assure les compétences des meilleurs experts et traite de l'ensemble des besoins auxquels vous êtes confrontés au quotidien.

Cette volonté d'accompagner votre développement et d'assurer votre pérennité est la marque de fabrique d'AFNOR Éditions. C'est notre mission.

Pour l'accomplir et la mener à bien, nous sélectionnons des auteurs experts et reconnus, ayant une véritable expérience de terrain.

Capables de transmettre simplement les outils, les méthodologies et les connaissances nécessaires, ils vous permettront d'aller de l'avant et d'améliorer vos performances.

Consultez sans tarder l'ensemble de notre catalogue de plus de 570 titres sur www.boutique.afnor.org/livres.

**Accédez au savoir en illimité !
AFNOR Éditions**

AVANT PROPOS

Ce guide est publié dans le cadre d'un groupe de travail du Collège Français de Métrologie qui s'est réuni de 2012 à 2013. L'objectif de ce document est d'aider les métrologues et les utilisateurs d'instruments de mesure à appréhender le concept de traçabilité métrologique défini dans la troisième édition du Vocabulaire International de Métrologie (VIM)¹ et de fournir des éléments pour sa mise en œuvre au sein des entreprises lorsque cette traçabilité est difficile à obtenir ou à réaliser.

L'exigence de traçabilité s'applique à toutes les grandeurs mesurables. Comment garantir la qualité des résultats de mesures s'il n'y a pas de traçabilité ? Comment fixer le prix d'un mètre cube de pétrole vendu entre deux états sans traçabilité garantie ? Comment savoir si un patient est réellement diabétique si les résultats d'analyses sont trop différents d'un laboratoire à l'autre ? La traçabilité au système international d'unités n'est pas toujours évidente, elle est même parfois difficile à mettre en œuvre. C'est notamment le cas lorsqu'il n'existe pas d'étalons définis dans le cadre du Système International d'unités (SI). Les mesures de dureté Rockwell font, par exemple, appel à une référence définie par une procédure spécifique. De même en biologie, pour déterminer la concentration de certains composés, on utilise des étalons « consensuels » de l'OMS (Organisation Mondiale pour la Santé) comme par exemple l'hormone gonadotrophine chorionique...

Les cas de traçabilités délicates au SI sont nombreux dans l'industrie. Souvent en effet, le raccordement aux références nationales n'est pas matérialisé par une chaîne identifiée d'étalons, comme en électricité, en température... Pour permettre la traçabilité des mesures dans les cas complexes ou difficiles, plusieurs stratégies sont mises en place. Il est possible d'utiliser des mesures indirectes pour se raccorder, par exemple pour la masse surfacique d'un papier (raccordement des mesures de longueur donc d'aire et de masse). Lorsqu'on n'a pas d'autres solutions, il est aussi possible de réaliser des comparaisons interlaboratoires. Mais quelle garantie avons-nous sur la traçabilité ?

¹ JCGM 200:2012 ; Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM) 3^e édition

Ont participé à la rédaction de ce guide :

Stéphane BENALET - HERAKLES (Groupe SAFRAN)

Xavier BONNIERE - TRESICAL

Jacques-Olivier FAVREAU - CFM

François HENNEBELLE - UNIVERSITE DE BOURGOGNE / Le2i

Belkacem LAIMOUCHE - STAC

David LELONG - PSA PEUGEOT CITROEN

Jean MARTIN - ADP

Emmanuel PETIT - CSTB

Jean-Michel POU - DELTA MU

Marc PRIEL - LNE (animateur)

Patrick REPOSEUR - ACAC

Sophie VASLIN-REIMANN - LNE

SOMMAIRE

1. INTRODUCTION	1
1.1 QUE SIGNIFIE LA TRAÇABILITÉ MÉTROLOGIQUE ?	1
1.2 CARACTÉRISTIQUES D'UNE RÉFÉRENCE MÉTROLOGIQUE	3
1.3 POURQUOI ASSURER LA TRAÇABILITÉ MÉTROLOGIQUE DES RÉSULTATS DE MESURE ?	3
1.4 DÉFINITIONS DU VIM 3 ^{eme} EDITION (2012)	5
1.4.1 Traçabilité métrologique (VIM3 - 2.41)	5
1.4.2 Résultat de mesure (VIM3 - 2.9)	6
1.4.3 Étalon (VIM3 - 5.1)	7
1.4.4 Procédure de mesure primaire (VIM3 - 2.8)	8
1.4.5 Valeur conventionnelle (VIM3 - 2.12)	8
1.4.6 Valeur de référence (VIM3 - 5.18)	9
1.5 AUTRES DEFINITIONS	9
1.5.1 Raccordement (définition proposée par le groupe du CFM)	9
1.5.2 Valeur consensuelle (NF ISO 13528 : 2013 § 6.7.1.1)	9
1.5.3 Valeur de référence acceptée (ISO 5725-1 § 3.5)	10
1.5.4 Valeur assignée (ISO / CEI 17043)	10
1.5.5 Méthode de mesure directe (électropédia 311-02-01)	10
1.5.6 Méthode de mesure indirecte (électropédia 311-02-02)	10
1.5.7 Méthode de mesure par comparaison (électropédia 311-02-03)	11
1.5.8 Méthode de mesure par substitution (électropédia 311-02-04)	11
1.5.9 Méthode de mesure différentielle (électropédia 311-02-06)	11
1.5.10 Méthode de mesure relative (Métrologie en chimie de l'environnement ; Philippe Quevauviller, 2ème ed Lavoisier)	11
1.5.11 Méthode de mesure par zéro (électropédia 311-02-07)	11
1.5.12 Représentativité des mesures	11
1.5.13 « Calibrage »	12
1.6 QUELLES REFERENCES PERMETTENT LA TRAÇABILITÉ ?	13
2. SYNOPTIQUE DE LA TRAÇABILITE ET DE LA COMPARABILITE	15
3. TRAÇABILITÉ POUR DIFFÉRENTES MÉTHODES DE MESURES	17
3.1 TRAÇABILITÉ MÉTROLOGIQUE DANS LE CAS DES MÉTHODES DE MESURES DIRECTES	17
3.2 TRAÇABILITÉ MÉTROLOGIQUE DANS LE CAS DES MÉTHODES DE MESURES INDIRECTES	19
3.3 MÉTHODE DE MESURES DIFFÉRENTIELLES, FAUT-IL ASSURER LA TRAÇABILITÉ MÉTROLOGIQUE ?	20

4. VALIDITÉ DES ETALONNAGES, LES ACCORDS INTERNATIONAUX	21
4.1 QU'ENTENDRE PAR "VALIDITE" D'UN RESULTAT D'ETALONNAGE ?	21
4.1.1 Conformité au plan d'étalonnage	21
4.1.2 Cohérence avec l'utilisation	21
4.1.3 Preuves de traçabilité	22
4.1.4 Maitrise de la validité	23
4.1.5 Programmes d'étalonnage optimisés	23
4.2 LES SYMBOLES DE TRAÇABILITÉ, LES ACCRÉDITEURS, LES ACCORDS INTERNATIONAUX MRA ET MLA	25
4.3 ÉTALONNAGE DANS UN LABORATOIRE NATIONAL DE METROLOGIE	26
4.4 ÉTALONNAGE DANS UN LABORATOIRE ACCREDITE	26
4.5 ÉTALONNAGE DANS UN LABORATOIRE NON ACCREDITE	26
5. LA COMPARABILITÉ MÉTROLOGIQUE ET COMPATIBILITÉ DE MESURE	29
5.1 DÉFINITION DE LA COMPARABILITE METROLOGIQUE	29
5.2 DÉFINITION DE LA COMPATIBILITE DE MESURE	30
6. DES SOLUTIONS « COMPLEMENTAIRES » POUR ASSURER LA QUALITÉ DES MESURES SONT-ELLES ENVISAGEABLES ?	31
6.1 PRÉAMBULE	31
6.2 PRINCIPES GÉNÉRAUX D'UNE COMPARAISON INTERLABORATOIRE (CIL)	31
6.3 EVALUER LA COMPETENCE	33
6.4 VALIDER LES PERFORMANCES D'UNE METHODE	34
6.5 « OUTILS » PROPOSES PAR LES NORMES	34
6.5.1 Les Scores	34
6.5.2 En s'appuyant sur une valeur de référence	35
6.5.3 En s'appuyant sur une valeur consensuelle et son incertitude	35
6.5.4 Si les participants indiquent leur incertitude respective	36
6.6 RACCORDEMENT D'UN ÉQUIPEMENT DE MESURE	36
6.6.1 PRINCIPE	36
6.6.2 APPLICATION A DIFFERENTES SITUATIONS	37
6.6.3 CONSIDERATION GENERALE SUR CES METHODES	38
6.7 ASSIGNER UNE VALEUR A UN MATERIAU DE REFERENCE	39
7. EXEMPLE DE MATERIAUX DE REFERENCE	41
8. PRESENTATION DES EXEMPLES	43

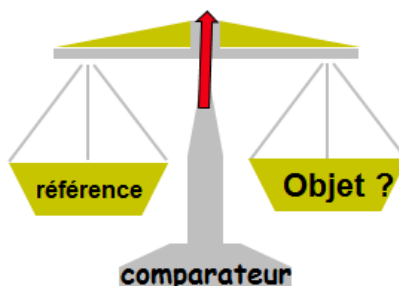
9. TEMPERATURE DE RAMOLLISSEMENT VICAT (VST)	45
9.1 PRESENTATION DE L'ESSAI	45
9.2 TRAÇABILITE DE L'ESSAI PAR METHODE DIRECTE	45
9.3 TRAÇABILITE DE L'ESSAI PAR METHODE INDIRECTE	45
10. DEVELOPPEMENT D'UN DISPOSITIF D'ETALONNAGE DES APPAREILS MESURANT LES CONCENTRATIONS MASSIQUES DE PARTICULES	49
11. TRAÇABILITE EN MESURE DE DURETE	53
11.1 PRESENTATION SUCCINCTE DE L'ESSAI DE DURETE	53
11.2 LA TRAÇABILITE : DEUX CHEMINS POSSIBLES	53
11.3 L'ETALONNAGE DE CHAQUE COMPOSANT DE LA MACHINE DE DURETE	54
11.4 L'ETALONNAGE PAR DES VERIFICATIONS INDIRECTES	54
11.5 INFORMATION SUR LES ETALONS DE REFERENCE	55
11.6 ÉVALUATION DES INCERTITUDES	56
11.7 CONCLUSION SUR LA TRAÇABILITE EN DURETE	56
11.8 REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES	57
12. LA TRAÇABILITE METROLOGIQUE DANS LES ANALYSES CHIMIQUES	59
12.1 INTRODUCTION	59
12.2 TRAÇABILITE METROLOGIQUE EN CHIMIE	59
12.3 VERIFICATION DE LA JUSTESSE DE LA METHODE	60
12.4 ILLUSTRATION DE LA TRAÇABILITE METROLOGIQUE EN CHIMIE	61
12.4.1 Utilisation d'une méthode primaire	61
12.4.2 Dosage d'un pesticide (atrazine) dans un solvant : utilisation d'un spectromètre de masse en tandem (SM ²)	61
12.5 CONCLUSION	62
13. LA MESURE D'ADHERENCE SUR CHAUSSEES AERONAUTIQUES	63
13.1 LA MESURE D'ADHERENCE SUR CHAUSSEES AERONAUTIQUES - UN CAS DE TRAÇABILITE INDIRECTE ET DE TRAÇABILITE ETABLIE A PARTIR D'ESSAIS D'APTITUDE (IMAG)	63
13.1.1 L'adhérence des chaussures aéronautiques	63
13.1.2 La construction d'une comparaison nécessaire	64
13.1.3 Présentation de l'essai d'adhérence fonctionnelle	65
13.1.4 Des niveaux minimaux de frottement existent	66
13.2 RACCORDEMENT METROLOGIQUE D'UN APPAREIL DE MESURE DE L'ADHERENCE DES CHAUSSEE, EXEMPLE DE L'IMAG - UN CAS DE TRAÇABILITE INDIRECTE	67
13.2.1 Présentation de l'IMAG	67
13.2.2 Raccordement métrologique et dynamique de l'IMAG	67
13.2.3 Conclusion	70

13.3	TRAÇABILITE DE LA MESURE D'ADHERENCE ETABLIE A PARTIR D'ESSAIS D'APTITUDE AVEC VALEURS ASSIGNEES	71
13.3.1	Introduction	71
13.3.2	Description de l'essai	73
13.3.3	Analyse statistique des données d'essais	74
13.3.4	Conclusion	75
13.3.5	Annexe : Illustration de la traçabilité de l'IMAG	76
14.	EXEMPLES DE REFERENCES ET DE MOYENS	77
15.	TABLE DE FIGURES	81
16.	BIBLIOGRAPHIE	83

1. INTRODUCTION

1.1 QUE SIGNIFIE LA TRAÇABILITÉ MÉTROLOGIQUE ?

La traçabilité métrologique est un des concepts les plus importants pour les utilisateurs de résultats de mesure, car mesurer c'est comparer, et pour comparer, il faut une référence fiable, stable, connue de tous. La traçabilité métrologique est sous entendue dans tous les processus de mesure. Mesurer revient à comparer une grandeur inconnue à une grandeur de même nature mais connue, prise comme référence.



Pour avoir confiance dans les résultats de mesures, il a fallu construire un système de références simple et admis par tous, permettant d'identifier l'ensemble des grandeurs. Les sept unités de base du système international d'unité (SI)² permettent d'identifier presque toutes les grandeurs, soit directement, soit en utilisant des relations entre elles (unités dérivées).

Grandeur	Unité	symbole
Longueur	mètre	m
Masse	kilogramme	kg
Temps, Durée	seconde	s
Courant électrique	ampère	A
Température thermodynamique	kelvin	K
Quantité de matière	mole	mol
Intensité lumineuse	candela	cd

Figure 1 : Tableau des sept unités du SI

² Le Système international d'unités(SI) 8^{ème} édition 2006 : Bureau international des poids et mesures Organisation intergouvernementale de la Convention du Mètre

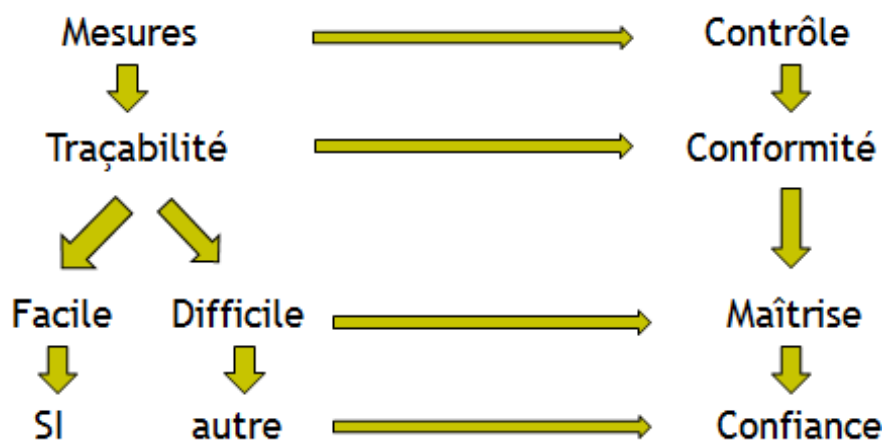
La matérialisation de ces unités, est en permanence améliorée au vue des progrès scientifiques. La compétence des laboratoires de métrologie est garantie par l'émulation entre les différents experts et les comparaisons régulières.

Ensuite, il est nécessaire de diffuser ces performances techniques vers le tissu industriel et commercial pour améliorer les produits et les échanges. Cela se fait à l'aide d'une chaîne de traçabilité métrologique. La traçabilité des mesures permet de garantir la fiabilité des résultats de mesures. Cette notion n'est pas à confondre avec la traçabilité documentaire.

La voie privilégiée est une traçabilité directe à un étalon. Mais nous verrons que dans bien des cas, cette traçabilité n'est pas facile. Dans ces cas, il faudra trouver une solution pour garantir au mieux la qualité des résultats de mesures.

Les auteurs de ce guide ont pour objectifs de faire un état des lieux des différentes possibilités de traçabilité, d'expliquer les difficultés de certaines situations et de proposer des méthodes « complémentaires » ou alternatives pouvant être mises en œuvre dans les cas difficiles. L'objectif étant de réaliser une traçabilité permettant de garantir au mieux la qualité des résultats de mesure.

La traçabilité et les contrôles font que, de nos jours, personne ou presque ne remet en cause le poids d'une boîte alimentaire ou le volume d'essence délivré à la pompe. Et pourtant, dans certain cas, la traçabilité n'est pas facile à réaliser....



➤ **Instaurer la confiance / Rassurer**

1.2 CARACTÉRISTIQUES D'UNE RÉFÉRENCE MÉTROLOGIQUE

On admet que les caractéristiques d'une référence métrologique doivent :

- Être commune à différents utilisateurs
- Être stable dans le temps
- Être accessible facilement

En effet, les deux premières caractéristiques découlent du besoin de pouvoir comparer entre elles des mesures effectuées dans des lieux différents et à des époques différentes.

La 3^{ème} caractéristique que nous proposons a toujours été un souci des métrologues. On a toujours souhaité que les références soient universelles et accessibles à tous. Depuis les premières définitions de l'unité de longueur (10 000 000^{ème} partie du quart du méridien terrestre) jusqu'à l'utilisation des constantes de la physique, l'idée est la même : des références universelles et stables dans le temps. Maintenant, entre ces références de plus haut niveau maintenues par les laboratoires nationaux de métrologie et les mesures industrielles, il faut prévoir des « intermédiaires », qui constituent la **chaîne de traçabilité métrologique**³.

La complexité de ces chaînes est étroitement liée à la technologie et aux incertitudes cibles. Par exemple, pour étalonner un chronomètre avec une **incertitude cible**⁴ de quelques dixièmes de seconde, l'utilisation de l'horloge parlante sera suffisante. En revanche, pour assurer la traçabilité métrologique de la base de temps d'un fréquencemètre, on prendra un étalon plus performant.

Par contre, pour la mesure de concentration d'un résidu de pesticide, la chaîne de raccordement pourra s'avérer bien plus longue et bien plus complexe, ce qui peut induire parfois des incertitudes importantes.

1.3 POURQUOI ASSURER LA TRAÇABILITÉ MÉTROLOGIQUE DES RÉSULTATS DE MESURE ?

La traçabilité métrologique est justifiée par deux raisons essentielles :

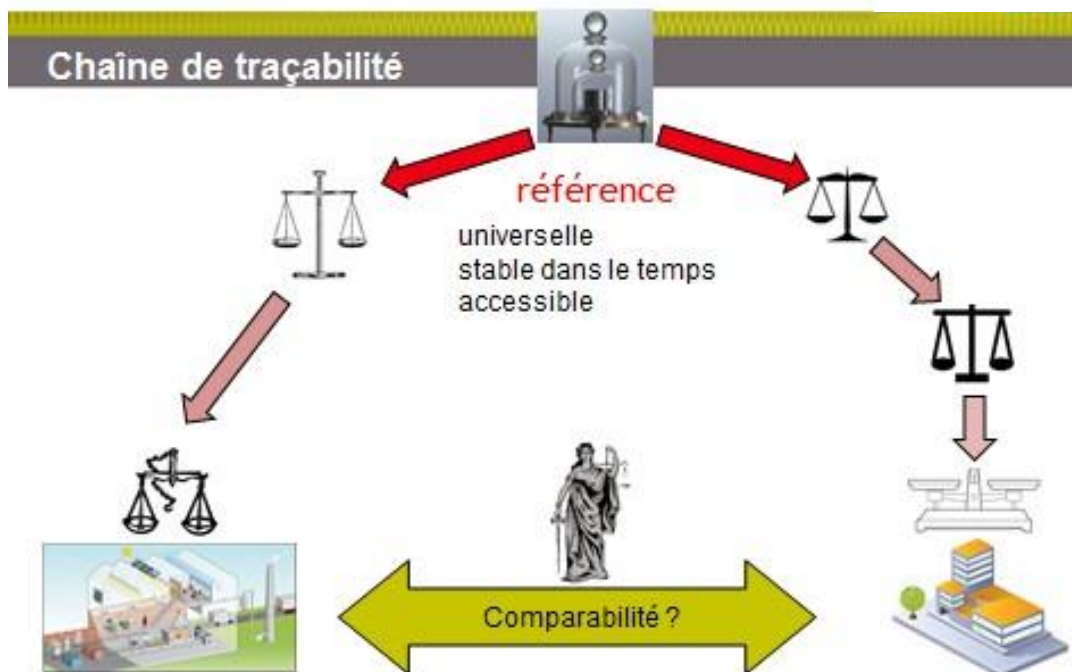
- Si l'on veut comparer des résultats de mesure obtenus dans des laboratoires, dans des sociétés, dans des pays, sur des continents différents, il faut que les mesures se réfèrent à une référence commune ou tout au moins à des références comparées entre elles.
- Si l'on veut comparer des résultats de mesure obtenus à des époques différentes, il faut que les références utilisées soient stables dans le temps.

En résumé pour assurer la comparabilité des mesures dans « l'espace » et dans le « temps » il faut assurer la traçabilité métrologique de ces mesures.

³ VIM : Vocabulaire International de Métrologie définition 2.41

⁴ VIM : Vocabulaire International de Métrologie définition 2.34

Lorsqu'un industriel souhaite garantir la qualité d'une mesure, il doit mettre en œuvre un processus garantissant la traçabilité le mieux possible en fonction de son besoin. La chaîne de traçabilité permet la comparabilité des mesures.



L'importance de la traçabilité se comprend lors des litiges sur les quantités vendues et achetées, entre un client et un fournisseur.

Sur un gazoduc par exemple, la traçabilité permet de trouver le meilleur accord entre client et fournisseur.



Figure 2 : Photo de gazoducs

Par contre, il existe de nombreux cas dans les entreprises où un raccordement métrologique formel (documentaire et technique) n'est pas requis. Sans bien sûr pouvoir être exhaustif, nous pouvons citer les cas suivants :

- Cas des mesures dimensionnelles effectuées avec un mètre à ruban ; dans ce cas, le raccordement est déjà assuré car il est systématiquement couvert par un texte réglementaire.
- Cas d'un instrument utilisé pour vérifier la stabilité d'un processus de fabrication (dans ce cas seule la fidélité de l'instrument est importante, la justesse l'est beaucoup moins ce qui simplifie l'opération d'étalonnage (voir la supprimer).
- Cas d'un instrument utilisé dans une méthode de zéro ; la sensibilité autour du « zéro » doit être évaluée.

Bien évidemment, ces cas devront être adaptés en fonction du contexte de l'entreprise.

1.4 DÉFINITIONS DU VIM 3^{EME} EDITION (2012)

Les termes utilisés en métrologie sont définis dans le JCGM 200:2012 « Vocabulaire international de métrologie – Concepts fondamentaux et généraux et termes associés (VIM)⁵ » troisième édition. Ce document est téléchargeable sur le site du BIPM:

http://www.bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_200_2012.pdf

1.4.1 Traçabilité métrologique (VIM3 - 2.41)

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.

Note 1 La référence mentionnée dans la définition peut être une définition d'une unité de mesure sous la forme de sa réalisation pratique, une procédure de mesure, qui indique l'unité de mesure dans le cas d'une grandeur autre qu'une grandeur ordinale, ou un étalon.

Note 2 La traçabilité métrologique nécessite l'existence d'une hiérarchie d'étalonnage.

Note 3 La spécification de la référence doit comprendre la date où cette référence a été utilisée dans l'établissement d'une hiérarchie d'étalonnage, ainsi que d'autres informations métrologiques pertinentes concernant la référence, telle que la date où a été effectué le premier étalonnage de la hiérarchie.

Note 4 Pour des mesurages comportant plus d'une seule grandeur d'entrée dans le modèle de mesure chaque valeur d'entrée devrait elle-même être métrologiquement traçable et la hiérarchie d'étalonnage peut prendre la forme d'une structure ramifiée ou d'un réseau. Il convient que l'effort consacré à établir la traçabilité métrologique de chaque valeur d'entrée soit proportionné à sa contribution relative au résultat de mesure.

⁵ JCGM 200 : 2012 Version 2008 avec corrections mineures

Note 5 La traçabilité métrologique d'un résultat de mesure n'assure pas l'adéquation de l'incertitude de mesure à un but donné ou l'absence d'erreurs humaines.

Note 6 Une comparaison entre deux étalons peut être considérée comme un étalonnage si elle sert à vérifier et, si nécessaire, à corriger la valeur et l'incertitude attribuée à l'un des étalons.

Note 7 L'ILAC considère que les éléments nécessaires pour confirmer la traçabilité métrologique sont une chaîne de traçabilité métrologique ininterrompue à un étalon international ou un étalon national, une incertitude documentée, une compétence technique reconnue, la traçabilité métrologique au SI et des intervalles entre étalonnages (Voir ILAC P-10:2002).

Note 8 Le terme abrégé « traçabilité » est quelquefois employé pour désigner la traçabilité métrologique, ainsi que d'autres concepts tels que la traçabilité d'un spécimen, d'un document, d'un instrument ou d'un matériau, où intervient l'historique (la trace) d'une entité. Il est donc préférable d'utiliser le terme complet « traçabilité métrologique » s'il y a risque de confusion.

Pour bien comprendre la définition, il convient de rappeler la définition du mot « Résultat de mesure ».

1.4.2 Résultat de mesure (VIM3 - 2.9)

Résultat d'un mesurage,

Ensemble de valeurs attribuées à un mesurande, complété par toute autre information pertinente disponible.

Note 1 Un résultat de mesure contient généralement des informations pertinentes sur l'ensemble de valeurs, certaines pouvant être plus représentatives du mesurande que d'autres. Cela peut s'exprimer sous la forme d'une fonction de densité de probabilité.

Note 2 Le résultat de mesure est généralement exprimé par une valeur mesurée unique et une incertitude de mesure. Si l'on considère l'incertitude de mesure comme négligeable dans un certain but, le résultat de mesure peut être exprimé par une seule valeur mesurée. Dans de nombreux domaines, c'est la manière la plus usuelle d'exprimer un résultat de mesure.

Note 3 Dans la littérature traditionnelle et dans l'édition précédente du VIM, le résultat de mesure était défini comme une valeur attribuée à un mesurande et pouvait se référer à une indication, un résultat brut ou un résultat corrigé, selon le contexte.

1.4.3 Étalon (VIM3 - 5.1)

Réalisation de la définition d'une grandeur donnée, avec une valeur déterminée et une incertitude de mesure associée, utilisée comme référence.

EXEMPLE 1 : Étalon de masse de 1 kg avec une incertitude-type associée de 3 μg .

EXEMPLE 2 : Résistance étalon de 100 Ω avec une incertitude-type associée de 1 $\mu\Omega$.

EXEMPLE 3 : Étalon de fréquence à césium avec une incertitude-type associée de $2 \cdot 10^{-15}$.

EXEMPLE 4 : Solution tampon de référence ayant un pH de 7,072 avec une incertitude-type associée de 0,006.

EXEMPLE 5 : Série de solutions de référence de cortisol dans du sérum humain, dont chaque solution a une valeur certifiée avec une incertitude de mesure.

EXEMPLE 6 : Matériau de référence fournissant des valeurs avec les incertitudes de mesure associées pour la concentration en masse de dix protéines différentes.

NOTE 1 La «réalisation de la définition d'une grandeur donnée» peut être fournie par un système de mesure, une mesure matérialisée ou un matériau de référence.

NOTE 2 Un étalon sert souvent de référence dans l'obtention de valeurs mesurées et d'incertitudes de mesure associées pour d'autres grandeurs de même nature, établissant ainsi une traçabilité métrologique par l'intermédiaire de l'étalonnage d'autres étalons, instruments de mesure ou systèmes de mesure.

NOTE 3 Le terme «réalisation» est employé ici dans son sens le plus général. Il désigne trois procédures de réalisation. La première, la réalisation stricto sensu, est la réalisation physique de l'unité de mesure à partir de sa définition. La deuxième, appelée «reproduction», consiste, non pas à réaliser l'unité à partir de sa définition, mais à construire un étalon hautement reproductible fondé sur un phénomène physique, par exemple l'emploi de lasers stabilisés en fréquence pour construire un étalon du mètre, l'emploi de l'effet Josephson pour le volt ou de l'effet Hall quantique pour l'ohm. La troisième procédure consiste à adopter une mesure matérialisée comme étalon. C'est le cas de l'étalon de 1 kg.

NOTE 4 L'incertitude-type associée à un étalon est toujours une composante de l'incertitude-type composée (voir le GUM:1995, 2.3.4) dans un résultat de mesure obtenu en utilisant l'étalon. Cette composante est souvent petite par rapport à d'autres composantes de l'incertitude-type composée.

NOTE 5 La valeur de la grandeur et l'incertitude de mesure doivent être déterminées au moment où l'étalon est utilisé.

NOTE 6 Plusieurs grandeurs de même nature ou de natures différentes peuvent être réalisées à l'aide d'un seul dispositif, appelé aussi étalon.

NOTE 7 Le mot «embodiment» est quelquefois utilisé en anglais à la place de «realization».

NOTE 8 Dans la science et la technologie, le mot anglais «standard» est utilisé avec au moins deux significations différentes : celle de spécification, recommandation technique ou autre document

normatif, et celle d'étalon (en anglais «measurement standard»). Seule la deuxième signification relève du présent Vocabulaire.

NOTE 9 Le terme «étalon» est parfois utilisé pour désigner d'autres outils métrologiques, par exemple un étalon logiciel (voir l'ISO 5436-2).

1.4.4 Procédure de mesure primaire (VIM3 - 2.8)

Procédure opératoire primaire,
Procédure de mesure de référence utilisée pour obtenir un résultat de mesure sans relation avec un étalon d'une grandeur de même nature.

EXEMPLE : Le volume d'eau délivré par une pipette de 5 ml à 20 °C est mesuré en pesant l'eau délivrée par la pipette dans un bécher, en prenant la différence entre la masse du bécher contenant l'eau et la masse du bécher initialement vide, puis en corrigeant la différence de masse pour la température réelle de l'eau par l'intermédiaire de la masse volumique.

NOTE 1 Le Comité Consultatif pour la quantité de matière – Métrologie en chimie (CCQM) utilise pour ce concept le terme «méthode de mesure primaire».

NOTE 2 Le CCQM a donné (5^e réunion, 1999) [43] les définitions de deux concepts subordonnés, que l'on pourrait dénommer «procédure de mesure primaire directe» et «procédure primaire de mesure de rapports».

1.4.5 Valeur conventionnelle (VIM3 - 2.12)

Valeur conventionnelle d'une grandeur,
Valeur attribuée à une grandeur par un accord pour un usage donné.

EXEMPLE 1 : Valeur conventionnelle de l'accélération due à la pesanteur ou accélération normale de la pesanteur, $g_n = 9,806\ 65\ \text{m}\cdot\text{s}^{-2}$.

EXEMPLE 2 : Valeur conventionnelle de la constante de Josephson, $K_{J-90} = 483\ 597,9\ \text{GHz} \cdot \text{V}^{-1}$.

EXEMPLE 3 : Valeur conventionnelle d'un étalon de masse donné, $m = 100,003\ 47\ \text{g}$.

NOTE 1 Le terme «valeur» conventionnellement vraie» est quelquefois utilisé pour ce concept, mais son utilisation est déconseillée.

NOTE 2 Une valeur conventionnelle est quelquefois une estimation d'une valeur vraie.

NOTE 3 Une valeur conventionnelle est généralement considérée comme associée à une incertitude de mesure convenablement petite, qui peut être nulle.

1.4.6 Valeur de référence (VIM3 - 5.18)

Valeur d'une grandeur servant de base de comparaison pour les valeurs de grandeurs de même nature.

NOTE 1 La valeur de référence peut être une valeur vraie d'un mesurande, et est alors inconnue, ou une valeur conventionnelle, et est alors connue.

NOTE 2 Une valeur de référence associée à son incertitude de mesure se rapporte généralement à :

- a) un matériau, par exemple un matériau de référence certifié,
- b) un dispositif, par exemple un laser stabilisé,
- c) une procédure de mesure de référence,
- d) une comparaison d'étalons.

1.5 AUTRES DEFINITIONS

1.5.1 Raccordement (définition proposée par le groupe du CFM)

Les définitions de traçabilité métrologique et de résultats de mesure ne sont pas à confondre avec le terme de « raccordement ». Assurer la traçabilité d'un résultat de mesure revient, dans les faits, à garantir que l'intervalle définissant l'ensemble des valeurs attribuées à un mesurande (Résultat de mesure) est bien relié (Traçabilité) à la référence à laquelle est comparé le mesurande via un processus de mesure. Ce mot « raccordement », souvent utilisé, ne fait pas l'objet de définition dans le « VIM ».

Le raccordement se comprend habituellement comme la capacité de pouvoir justifier que l'(les) instrument(s) de mesure utilisé(s) pour l'obtention du résultat est (sont) étalonné(s). Cette justification – raccordement - est généralement basée sur la détention d'un certificat d'étalonnage émanant d'un laboratoire accrédité. L'un des buts de l'accréditation est en effet de « garantir la traçabilité aux étalons nationaux⁶ » pour l'item (Instruments et/ou étalons et/ou Matériaux de référence) faisant l'objet du document d'étalonnage.

1.5.2 Valeur consensuelle (NF ISO 13528 : 2013 § 6.7.1.1)

La valeur assignée pour l'entité soumise à l'essai d'aptitude, utilisée lors d'une campagne de programme d'essais d'aptitude, est la moyenne des résultats consignés par les participants au cours de la campagne, calculée en utilisant une procédure appropriée conforme au plan.

⁶ Cf. mention sur les certificats d'étalonnage COFRAC

1.5.3 Valeur de référence acceptée (ISO 5725-1 § 3.5)

Valeur qui sert de référence, agréée pour une comparaison, et qui résulte :

- a) d'une valeur théorique ou établie, fondée sur des principes scientifiques,
- b) d'une valeur assignée ou certifiée, fondée sur les travaux expérimentaux d'une organisation nationale ou internationale,
- c) d'une valeur de consensus ou certifiée, fondée sur un travail expérimental en collaboration et placé sous les auspices d'un groupe scientifique ou technique,
- d) dans les cas où a), b) et c) ne sont pas applicables, de l'espérance de la quantité (mesurable), c'est à dire la moyenne d'une population spécifiée de mesures.

1.5.4 Valeur assignée (ISO / CEI 17043)

Valeur attribuée à une propriété particulière d'une entité soumise à l'essai d'aptitude.

1.5.5 Méthode de mesure directe (électropédia 311-02-01)

Méthode de mesure dans laquelle la valeur d'un mesurande est obtenue directement, sans qu'il soit nécessaire d'exécuter des calculs supplémentaires basés sur une dépendance fonctionnelle du mesurande par rapport à d'autres grandeurs réellement mesurées.

Note 1 On considère que la valeur du mesurande est obtenue directement, même lorsque l'échelle d'un appareil de mesure comporte des valeurs qui sont reliées aux valeurs correspondantes du mesurande à l'aide d'un tableau ou d'un graphique.

Note 2 La méthode de mesure reste directe, même s'il est nécessaire d'exécuter des mesures supplémentaires pour déterminer les valeurs des grandeurs d'influence en vue d'effectuer des corrections.

Note des auteurs :

Pour mesurer une puissance, on utilise un wattmètre, une température un thermomètre, ...

1.5.6 Méthode de mesure indirecte (électropédia 311-02-02)

Méthode de mesure dans laquelle la valeur d'une grandeur est obtenue à partir de mesures effectuées par des méthodes de mesure directes d'autres grandeurs liées au mesurande par une relation connue.

Note des auteurs :

Pour mesurer une puissance, on mesure la tension U par un voltmètre et le courant I par un ampèremètre puis on calcule $P = U \cdot I$. Pour mesurer une force, on mesure une pression ramenée à la surface....

1.5.7 Méthode de mesure par comparaison (électropédia 311-02-03)

Méthode de mesure basée sur la comparaison d'un mesurande à une grandeur de même nature.

1.5.8 Méthode de mesure par substitution (électropédia 311-02-04)

Méthode de mesure par comparaison dans laquelle un mesurande est remplacé par une grandeur de même nature, choisie de telle manière que les effets provoqués par ces deux valeurs sur l'appareil de mesure soient les mêmes.

1.5.9 Méthode de mesure différentielle (électropédia 311-02-06)

Méthode de mesure par comparaison, basée sur la comparaison du mesurande à une grandeur de même nature de valeur connue peu différente de celle du mesurande, et la mesure de la différence algébrique des valeurs de ces grandeurs.

1.5.10 Méthode de mesure relative (Métrologie en chimie de l'environnement ; Philippe Quevauviller, 2^{ème} ed Lavoisier)

Méthode, utilisée en chimie et en biologie, qui compare l'échantillon à analyser avec des étalons de concentration connue, en utilisant un système de détection pour lequel la réponse (linéaire dans le meilleur des cas) est située dans la zone de travail adéquate, sans être forcément calculable en théorie.

1.5.11 Méthode de mesure par zéro (électropédia 311-02-07)

Méthode de mesure différentielle dans laquelle la différence entre la valeur du mesurande et la valeur connue d'une grandeur de même nature qui lui est comparée est amenée à zéro.

1.5.12 Représentativité des mesures

La représentativité est la qualité d'un échantillon à représenter, par ses caractéristiques, l'ensemble de la population dont il est extrait. Il faut que les statistiques que l'on peut en tirer soient fiables et donnent une bonne représentation de l'intégralité de la population.

Lorsqu'on réalise des mesures et particulièrement une comparaison, il est souhaitable de veiller à ce que le résultat soit représentatif de la grandeur que l'on souhaite mesurer (mesurande). Un ensemble de valeur peut être statistiquement cohérent (bonne compatibilité des valeurs) mais

posséder une mauvaise représentativité, c'est-à-dire ne pas correspondre à la réalité, si la valeur recherchée « valeur vraie » du mesurande n'est pas inscrite dans la distribution des valeurs obtenues.

La représentativité des mesures est donc une notion très importante et primordiale. De ce fait, par exemple, il devient quasiment impossible de tirer une conclusion d'une comparaison interlaboratoire qui ne serait pas représentative ou réalisée dans les mêmes conditions que le processus de mesure à étudier. Le résultat de la comparaison interlaboratoire de par ces différences avec le processus réel peut provoquer un biais, une erreur de justesse qui peut intervenir sur le terme constant mais aussi sur le terme proportionnel.

De ce fait, les conditions de mesure doivent toujours être clairement identifiées, justifiées et les limites d'application doivent impérativement être étudiées et chiffrées dans la mesure du possible. La fidélité d'un ensemble de mesure n'est valable que pour les conditions de mesure considérées. Par contre, la justesse ne peut pas être évaluée par cette méthode.

L'exactitude (justesse + fidélité) dépend donc de la représentativité de l'échantillonnage. De ce fait, la traçabilité d'un échantillon passe impérativement par sa représentativité.

Remarque :

Lorsque l'on parle des matériaux de référence, il faut rajouter la notion de représentativité.

En effet pour les MR⁷ et MRC⁸, il y a 3 conditions à remplir : représentativité, homogénéité et stabilité à long terme.

1.5.13 « Calibrage »

« Calibrer » l'équipement de mesure d'une méthode physique, c'est ajuster le signal de sortie ou utiliser une courbe étalon de telle façon qu'à chaque niveau de la grandeur, la moyenne des résultats coïncide avec la valeur conventionnellement vraie (VCV) fournie soit par des échantillons de référence (MRC, autres), soit par une méthode de référence primaire.

Des erreurs de « calibrage » sur l'un ou l'autre entraînent des écarts systématiques qui pourront être constants ou proportionnels au signal d'entrée et par conséquent fonction des niveaux de la grandeur considérée (cf : guide CFM étalonnage des spectrophotomètres).

Note des auteurs :

Le terme « calibrage » n'est plus défini dans le VIM ed. 3.

Sur des indicateurs analogiques, le calibrage consiste à associer certains repères à des valeurs connues du mesurande.

⁷ MR : Matériau de référence

⁸ MRC : Matériau de Référence Certifié

1.6 QUELLES REFERENCES PERMETTENT LA TRAÇABILITÉ ?

L'attention du lecteur est attirée sur le fait que la note 1 de la définition de la traçabilité précise les types de référence utilisables pour assurer la traçabilité métrologique (cf. 1.4.1) :

- **une unité de mesure**, par exemple, une unité du Système International (SI)⁹
- **une procédure de mesure**, par exemple, la Dureté Rockwell C d'un spécimen donné 43,5 HRC, il s'agit dans ce cas d'une grandeur ordinale qui peut être classée avec d'autres grandeurs de même nature selon l'ordre croissant ou décroissant, mais pour laquelle aucune relation algébrique entre ces grandeurs n'existe. Un autre exemple de grandeur ordinale concerne les indices d'octane.
- **un matériau de référence ou étalon**, par exemple, en biologie médicale, un matériau de référence peut être défini par convention : l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS) définit la concentration d'HCG (Human Chorionic Gonadotropin) d'un composé dans un matériau choisi comme une référence pour ces analyses.

Note des auteurs :

Un étalon n'est pas nécessairement une matérialisation d'une grandeur du SI, comme nous venons de le voir avec l'étalon OMS.

⁹ Une brochure sur le SI est téléchargeable sur le site du Bureau International des Poids et Mesures, www.bipm.org

