

# 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)<sup>1</sup> 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 ?

---

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

## **Ont participé à la rédaction de ce guide :**

Stéphane BENALET - HERAKLES (Groupe SAFRAN)

Xavier BONNIERE - TRESKAL

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

---

<b>1. INTRODUCTION</b>	<b>1</b>
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 <sup>eme</sup> 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
<b>2. SYNOPTIQUE DE LA TRAÇABILITE ET DE LA COMPARABILITE</b>	<b>15</b>
<b>3. TRAÇABILITÉ POUR DIFFÉRENTES MÉTHODES DE MESURES</b>	<b>17</b>
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

<b>4. VALIDITÉ DES ETALONNAGES, LES ACCORDS INTERNATIONAUX</b>	<b>21</b>
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
<b>5. LA COMPARABILITÉ MÉTROLOGIQUE ET COMPATIBILITÉ DE MESURE</b>	<b>29</b>
5.1 DÉFINITION DE LA COMPARABILITE METROLOGIQUE	29
5.2 DÉFINITION DE LA COMPATIBILITE DE MESURE	30
<b>6. DES SOLUTIONS « COMPLEMENTAIRES » POUR ASSURER LA QUALITÉ DES MESURES SONT-ELLES ENVISAGEABLES ?</b>	<b>31</b>
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
<b>7. EXEMPLE DE MATERIAUX DE REFERENCE</b>	<b>41</b>
<b>8. PRESENTATION DES EXEMPLES</b>	<b>43</b>

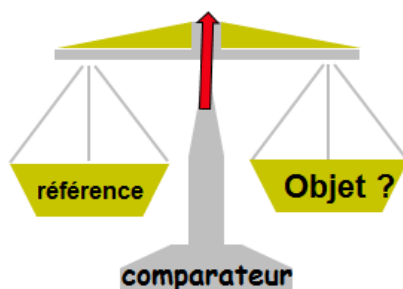
<b>9. TEMPERATURE DE RAMOLLISSEMENT VICAT (VST)</b>	<b>45</b>
9.1 PRESENTATION DE L'ESSAI	45
9.2 TRAÇABILITE DE L'ESSAI PAR METHODE DIRECTE	45
9.3 TRAÇABILITE DE L'ESSAI PAR METHODE INDIRECTE	45
<b>10. DEVELOPPEMENT D'UN DISPOSITIF D'ETALONNAGE DES APPAREILS MESURANT LES CONCENTRATIONS MASSIQUES DE PARTICULES</b>	<b>49</b>
<b>11. TRAÇABILITE EN MESURE DE DURETE</b>	<b>53</b>
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
<b>12. LA TRAÇABILITE METROLOGIQUE DANS LES ANALYSES CHIMIQUES</b>	<b>59</b>
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 <sup>2</sup> )	61
12.5 CONCLUSION	62
<b>13. LA MESURE D'ADHERENCE SUR CHAUSSEES AERONAUTIQUES</b>	<b>63</b>
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
<b>14.</b>	<b>EXEMPLES DE REFERENCES ET DE MOYENS</b>	<b>77</b>
<b>15.</b>	<b>TABLE DE FIGURES</b>	<b>81</b>
<b>16.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE</b>	<b>83</b>

# 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)<sup>2</sup> 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

<sup>2</sup> Le Système international d'unités (SI) 8<sup>ème</sup> édition 2006 : Bureau international des poids et mesures Organisation intergouvernementale de la Convention du Mètre