



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



UNIVERSITE KASDI MERBAH-OUARGLA

Institut de Technologie

Département : Génie Appliqué



جامعة قاصدي مرباح ورقلة

معهد التكنولوجيا

قسم: الهندسة التطبيقية

Projet de Fin d'Etudes
En vue de l'obtention du diplôme de
Licence professionnelle en
Mesures, Métrologie et qualité

Intitulé

**IMPORTANCE DE LA METROLOGIE DANS
L'ENTREPRISE**

Présenté par :

Bouhafs elhoucine

Guezzoul Abd Elheq

Soutenu le...../...../... devant le jury composée de :

.....
MEZOU DJ Mourad
.....

.....
MAB
.....

Président.....
Encadreur
Examineur.....

Année Universitaire : 2021/2022

Remerciement

Nous remercions ALLAH qui nous a donné la force et la patience

Pour terminer ce travail ;

On tient à exprimer toute reconnaissance à notre enseignant et Encadreur de ce mémoire Dr. MEZOU DJ Mourad. Nous avons eu le Privilège de travailler parmi votre équipe et d'apprécier vos qualités et Vos valeurs. Votre sérieux, votre compétence et votre sens du devoir nous Ont énormément marqués.

On adresse nos sincères remerciements à tous les professeurs, Intervenants et toutes les personnes qui par leurs paroles, leurs écrits,

Leurs conseils et leurs critiques ont guide nos réflexions Et ont accepté À nous rencontrer et répondre à nos questions Durant nos recherches.

On tient à présenter tous nos respects et notre gratitude à Mr. ACROU directeur de maintenance de SONATRACH pour leur suivi et encouragement tout au long de ce travail.

On remercie également toute L'équipe administrative de notre université et notre IT. Ouargla et les membres du jury qui ont accepté d'évaluer notre travail.

Dédicace

Je dédie ce modeste travail :

*A ma très chère mère qui m'a tout donné, de son amour, ses
Sacrifices pour que je puisse avoir une vie dans les meilleurs
Conditions.*

*A mon très cher père qui m'a toujours soutenu moralement,
Ma encouragé et ma poussé à poursuivre mes étude que dieu
Le garde en bonne santé.*

A mes très chères sœurs et mes frères

A toute ma famille

A tous mes amis spécialement mes frères AHMED, HOUDEIFA, MOUSSA, LAZHAR, MONI

A Mon binome ABDELHAQ GUEZZOUL

A tout la promotion MMQ 2019/2022 et a

Tous ceux que j'aime.

HOUCINE.

Table des Matières

Introduction Générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I

Généralité sur la métrologie

I. Introduction	3
II. Les différents types de la métrologie	3
II.1 La Métrologie Scientifique	4
II.1.1 Laboratoires primaires	4
II.1.2 Laboratoire de métrologie d'entreprise	5
II.1.3 Laboratoire secondaire	6
II.2 La Métrologie Légale	7
II.2.1 Approbation du modèle	8
II.2.2 Vérification première	8
II.2.3 Vérification périodique	9
II.2.4 Surveillance	9
II.3 La Métrologie Industrielle	9
III. Les institutions internationales de métrologie	9
III.1. La Convention du Mètre	9
III.2. Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM)	10
III.3. Comité International des Poids et Mesures (CIPM)	10
III.4 Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)	11
III.5 Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML)	11
IV Les institutions nationales de métrologie	12
IV.1 Histoire de la métrologie algérienne	12
IV.2 Office National de Métrologie Légale (ONML)	12

IV.2.1. Missions de l'ONML	12
IV.2.2. Règlements et législation	13
V. Les normes et les standards techniques	13
V.1. Type de normes	13
V.2 les notions de la valeur	14
VI. Conclusion	15

Chapitre II

La métrologie dans l'entreprise

I Introduction	17
II La fonction métrologique	17
II.1 Finalité et missions de la fonction métrologique	17
III Activités de la fonction métrologique	18
III.1 Constitution du parc des instruments	19
III.2 Gestion du parc d'appareils de mesure	19
IV. Audits métrologiques	20
IV.1 Démarches d'audit	21
IV.2 Caractéristiques de l'audit	21
V. La métrologie une fonction clef en entreprise	21
VI. La pertinence métrologique en entreprise	22
VII. La métrologie de la future	23
VIII. Les normes concernant la métrologie	24

Chapitre III

Les principales Grandeurs de Mesure

I Introduction	25
II. Les masses.....	25
II.1 Unités.....	25
II.2 Définitions	25
II.3 Appareils de mesure	27
II.4 Etalonnage et vérification	29
II.4.1 Poids étalons	29
II.4.2 Instrument de pesage	29
II.5 Longueur	29
II.5.1 Unité	29
II.5.2 les cales étalons	30
II.5.3 Moyens de mesure	30
II.5.4 Etalonnage et vérification	31
III. Les Grandeurs Electriques	33
III.1 Unités de grandeurs électriques	33
III.2. Méthodes et appareils de mesure	34
III.3 Les appareils de type analogique	35
III.4 Les appareils de type numérique	35
IV. Etalonnage et vérification	36
IV.1 Mesure de tension en courant continu	36
IV.2 Mesure d'intensité en courant continu	36
IV.3 Mesure de tension en courant alternatif basse fréquence	37
IV.4 Mesure d'intensité en courant alternatif basse fréquence	37

Chapitre IV

Procédure d'étalonnage et de vérification des instruments standards

1. Objective	39
2. Domaine d'application	39
3. Définitions – Abréviations	39
4. Responsabilité	39
5. Contenu	39
6. Méthode d'étalonnage et de vérification des Pieds à Coulisse à cadran, à affichage numérique	40
6.1 Mode préparatoire	40
6.2 Mode Opérateur	41
7. Méthode D'étalonnage Et De Vérification	45
7.1 Mode Préparatoire	45
7.2 Mode Opérateur	47
Conclusion générale	54

Liste des Figures

Chapitre I Synthèse bibliographique

Figure IV.1	Boite de cales étalons et de bague étalons	40
Figure IV.2	Microscope universel	40
Figure IV.3	Pied à coulisse à vernier	44
Figure IV.4	Boite de cales étalons pour étalonnage des micromètres d'extérieur	45
Figure IV.5	Boite de verres plans parallèles pour contrôle de planéité et du parallélisme des faces de mesure	46
Figure IV.6	Dispositif de fixation des cales	46
Figure IV.7	Franges et cercles d'interférence	47
Figure IV.8	Positionnement du verre plan parallèle entre les deux faces de mesure	48
Figure IV.9	Positionnement des cales étalons dans leur support	52

Liste des Tableaux

Chapitre III Les principales Grandeurs de Mesure

Tableau III.1	Les erreurs maximales tolérées pour les poids étalent	27
Tableau III.2	Les erreurs maximales tolérées	29
Tableau III.3	La plage d'utilisation des instruments dans l'industrie	31
Tableau III.4	les appareils de mesure utilisés pour la mesure des principales grandeurs électriques	34

Chapitre IV Procédure d'étalonnage et de vérification des instruments standards

Tableau IV.1	Tolérance du parallélisme des faces de mesure	42
Tableau IV.2	Cales étalons et des bagues utilisées pour l'étalonnage	42
Tableau IV.3	les erreurs admises de mesure	43
Tableau IV.4	les valeurs de tolérance de parallélisme	48
Tableau IV.5	la mise à zéro d'un micromètre	50
Tableau IV.6	Cales étalons utilisées pour l'étalonnage	51
Tableau IV.7	Erreurs maximales tolérées d'un micromètre	51

Introduction générale

INTRODUCTION GENERALE

La Métrologie dans sa définition littérale, la métrologie, du grec **metron** « la mesure » et **logos** « la science » [1], est définie comme « la science des mesurages et ses applications » [2]. C'est une science qui s'intéresse aux aspects théoriques et pratiques de la mesure, et ce, dans tous les domaines de la science et de la technologie. Plus spécifiquement, c'est une science qui regroupe l'ensemble des techniques permettant d'effectuer des mesures, de les interpréter et de garantir leur exactitude [3]. La métrologie et ses applications n'intéressent pas uniquement les scientifiques et les ingénieurs. Elles sont indispensables à tous. Les réseaux intimement mêlés, bien qu'invisibles, des services, du commerce et de l'industrie, et des communications dont nous dépendons tous, ont besoin de la métrologie pour fonctionner de manière efficace et fiable [4]. Pour les industriels, assurer la traçabilité et la fiabilité de leurs mesures est essentiel pour maîtriser leurs procédés de fabrication et veiller à la qualité de leurs produits [3]. Parmi les applications de la métrologie, l'étalonnage en température est l'une des plus importantes, presque toutes les grandeurs physiques varient avec la température (volume, résistance électrique, tension électrique, pression, etc...). Les mesures de température sont essentielles à de nombreux domaines et applications de l'industrie (métallurgie, chimie et biochimie, informatique quantique,...), du secteur de la santé (techniques d'ablation thermique médicale de tissus humain,...) et de l'environnement (surveillance du climat et prévisions météorologiques, changements climatiques dans l'air, le sol et l'eau,...) [5]. Dans l'objectif d'assurer la fiabilité des mesures et d'améliorer l'efficacité de nos processus d'étalonnage en température pour un éventuel raccordement et traçabilité métrologique, il est impératif de garantir l'exactitude des valeurs délivrées par nos instruments de mesure. Ceci impose le bon choix et le suivi métrologique rigoureux des instruments de mesure

Notre projet consiste à donner un aperçu sur la métrologie. Cette dernière est une science qui existe depuis l'antiquité avec l'apparition des premiers outils de mesure rudimentaire, depuis les appareils et les outils se sont avidement améliorés, et les grandes entreprises de fabrication savent maintenant si leurs produits sont efficaces ou non.

Aujourd'hui, la métrologie est une discipline essentielle, dont les ministères de l'économie, des finances et de l'industrie veulent faire une force de la compétitivité industrielle et du rayonnement des pays sur la scène internationale. Cela se traduit par un renforcement de la métrologie fondamentale, par la diffusion de la métrologie dans les industries, par une diffusion

de la culture métrologique à tous les niveaux, par une participation de toutes les administrations à cette mission, par une mise en cohérence et une simplification des réglementations.

Il faut noter que nous avons rencontré un grand nombre de problèmes, comme le manque de documentations et les lieux de stage. On aurait aimé faire une partie pratique pour mieux élucider les principes de la métrologie et bien expliquer notre sujet.

En conclusion, nous espérons que notre objectif a été atteint et que le travail ainsi réalisé est le point de départ pour les futurs travaux orientés dans ce domaine.

Chapitre I

Généralité sur la métrologie

I. Introduction

La mesure fait partie de notre univers quotidien. Elle constitue une référence indispensable pour tous les secteurs (industrie, commerce, transports, environnement...). Elle est ainsi à la base de toute prévision quantitative. Les besoins en mesures de toutes sortes et la nécessité de s'assurer de leur validité et de leur universalité ont fait naître la science des mesures qu'est «la métrologie ».

La métrologie peut se définir comme étant «la science de la mesure associée à l'évaluation de son incertitude ».

La spécificité de la discipline métrologique n'est pas dans la mesure elle-même, mais dans la validation du résultat, notamment en précisant ses limites.

La métrologie, est un outil de base de l'échange, des marchandises, de données ou de concepts. Elle se révèle comme indispensable à la bonne marche de la société, elle est intégrée dans l'entreprise comme outil de maîtrise technologique, de la recherche et du développement jusqu'à la production et le service après-vente, de même elle assure la protection des intérêts financiers liés aux transactions.

II. Les différents types de la métrologie

Différents systèmes d'unités de mesure ont été adoptés selon le domaine d'utilisation envisagé (CGS, MTS, MKpS, MKS).

A l'heure actuelle, dans un but d'unification, tous ces systèmes sont abandonnés au profit du système appelé « Système International d'Unités S.I » rendu international par le traité dit « convention du mètre ».

On trouve à l'origine de ce système, le système MKSA (Mètre, Kilogramme, Seconde, Ampère) qui réunissait les unités mécaniques et électriques, cohérent pour toutes les unités géométriques, mécaniques et électriques

C'est l'extension de ce dernier système qui a donné naissance au Système International d'Unités. Comme ceux qui l'ont précédé, le système S.I. n'est pas un système statique, immuable ; il évolue continuellement pour répondre à tous les besoins de mesure exprimés par les différentes industries.

Ce système devrait anticiper les besoins pour que les possibilités de mesure soient toujours à même de répondre aux demandes de précision plus grande, de domaines plus larges, ou de domaines nouveaux, tout en établissant et en conservant, dans le même temps, la cohérence entre les mesures.

La métrologie se répand dans de nombreux domaines d'activité suivant les besoins des utilisateurs :

On peut distinguer, artificiellement, différents aspects de la métrologie pour faciliter sa compréhension

II.1 La Métrologie Scientifique

La mesure d'une grandeur (masse, longueur, intensité, ...) consiste à lui attribuer avec exactitude sa valeur correspondante. Cependant celle-ci n'est pas bien définie que si l'on précise l'unité de mesure. Les unités de mesure utilisées doivent être choisies de telle sorte qu'elles soient reconnues universellement. Ce sont les unités de base du système international (SI).

Ces unités légales, leurs multiples, sous multiples ou leurs dérivés sont matérialisés par des « étalons primaires ». Un étalon est défini selon le vocabulaire international de la métrologie comme étant « mesure matérialisée, appareil de mesure, matériaux de référence ou système de mesure destiné à définir, conserver ou reproduire une unité ou plusieurs valeurs d'une grandeur pour servir de référence ». Cette matérialisation se réalise par une référence qui peut être soit un objet de même genre que l'objet à mesurer (kg en platine iridié est l'étalon primaire pour les masses) soit un matériau dont on connaît une caractéristique bien établie (Etalon à jet de césium est l'étalon primaire du temps). La préparation de ces étalons qui constitue le sommet de la hiérarchie des mesures, incombe à des organismes de haute compétence scientifique qui sont les « laboratoires primaires ».

II.1.1 Laboratoires primaires

Ces laboratoires constituent des laboratoires de référence nationaux pour des grandeurs données. Leur activité s'apparente à une activité de recherche. Leur principal objet est la conservation des étalons primaires et la réalisation des travaux de recherche permettant l'amélioration des précisions de mesure et leurs exactitudes. Pour chaque domaine de mesure, le rôle de la métrologie consiste à développer les moyens techniques permettant de relier les appareils de mesure aux étalons primaires (qui peuvent être, nationaux ou internationaux) sans discontinuité et avec le minimum de perte de précision. Ce raccordement se réalise à l'aide d'une succession d'étapes liées appelées « étalonnages ».

L'étalonnage est défini d'après la norme relative au vocabulaire international des termes fondamentaux de la métrologie (NM 15.0.001) comme étant :

L'ensemble des opérations établissant dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquées par un appareil de mesure ou un système de mesure ou les valeurs

représentées par une mesure matérialisée ou par un matériau de référence et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisées par les étalons.

Chaque étalonnage ou étape repose principalement sur le principe de la comparaison, parfois simple, plus souvent complexe. Cette succession d'étalonnages est nécessaire et indispensable permettant ainsi de garantir à ce que ce raccordement s'effectue avec la meilleure précision possible, il s'agit de « la chaîne d'étalonnage ». Les organismes qui participent à la chaîne d'étalonnage, sont des laboratoires classés par leur niveau de précision par rapport au laboratoire primaire qui constitue le sommet de cette chaîne. Selon les pays, la chaîne d'étalonnage est un système à plusieurs niveaux, généralement, elle est à trois niveaux faisant appel à trois types de laboratoires :

- laboratoire primaire (niveau 1) ;
- laboratoire secondaire (niveau 2) ;
- laboratoire de métrologie d'entreprise (niveau 3).

Dans la littérature on a l'habitude de décrire ce système en partant de la source c'est à dire à partir de l'étalon primaire, il est important de prendre conscience que le processus de la chaîne d'étalonnage est compliqué.

Pour le représenter, il est préférable de remonter la chaîne à partir de l'utilisateur d'instrument de mesure jusqu'à la réalisation de l'unité de mesure de base.

II.1.2 Laboratoire de métrologie d'entreprise

Toutes les entreprises dont la métrologie tient une place importante et qui disposent de moyens humains et matériels adéquats, peuvent se doter de leurs propres laboratoires. Ces laboratoires sont destinés à assurer la gestion du parc des instruments de mesure utilisés par leur entreprise. L'étalonnage des appareils se réalise par l'intermédiaire des étalons dont la fréquence d'utilisation est importante, se sont « les étalons de travail ». Ces étalons sont aussi étalonnés par d'autres étalons soumis à des exigences plus sévères que les premiers, afin qu'ils conservent toutes les caractéristiques métrologiques, il s'agit « d'étalons de référence » de laboratoire. Le raccordement des instruments de mesure à l'étalon de référence du laboratoire de l'entreprise peut, s'il est nécessaire, faire appel à d'autres « étalons de transfert » intermédiaires entre l'étalon de référence et celui du travail, le nombre de ceux-ci doit être choisi de sorte que la dégradation des incertitudes due à l'utilisation des étalons successifs est compatible avec l'incertitude recherchée pour l'instrument de mesure.

a. Etalon de référence

Étalon, en général de la plus haute qualité métrologique disponible en un lieu donné, duquel dérivent les mesurages effectués en ce lieu. L'étalon de référence de l'entreprise est destiné à étalonner ses étalons de travail ou de transfert. Dans le cas où il existerait une chaîne d'étalonnage de Métrologie, cet étalon de référence doit être raccordé directement ou indirectement à un étalon de cette chaîne. Son utilisation doit être aussi limitée que possible afin de préserver la conservation de ses caractéristiques.

b. Etalon de travail

Étalon qui, habituellement étalonné par comparaison à un étalon de référence, est utilisé couramment pour étalonner ou contrôler des mesures matérialisées ou des appareils de mesure.

c. Etalon de transfert

Étalon utilisé comme intermédiaire pour comparer entre eux des étalons, des mesures matérialisées ou des appareils de mesure.

Les étalons de référence d'un laboratoire d'entreprise sont aussi à leur tour soumis à des étalonnages, mais cette fois-ci, externes. Ils sont raccordés aux étalons de référence d'un autre laboratoire de niveau de précision supérieure, il s'agit du « **laboratoire secondaire** ».

II.1.3 Laboratoire secondaire

La tâche principale du laboratoire secondaire consiste à étalonner les étalons de référence des laboratoires d'entreprise, et les instruments de mesure des entreprises dépourvues de laboratoire d'étalonnage. Il constitue donc l'interlocuteur direct des industriels et de tous les utilisateurs d'instrument de mesure.

Les activités d'étalonnage des laboratoires secondaires s'accompagnent dans la plupart des cas d'une activité de recherche en métrologie. Ils étudient et développent de nouvelles techniques d'étalonnages de façon à adopter leurs possibilités aux besoins industriels.

Ils complètent aussi les travaux des laboratoires primaires en mettant en place des étalons pour les grandeurs dérivées ainsi que pour les multiples et sous multiples des unités de base.

Les laboratoires secondaires constituent l'interface entre les entreprises (utilisateurs d'instruments de mesure) et les laboratoires primaires, c'est pour cela, leurs étalons de référence sont comparés et réétalonnés périodiquement à ceux des laboratoires primaires.

La chaîne d'étalonnage est donc un moyen indispensable pour tout instrument de mesure, elle rend significatives ses indications. Elle permet aussi d'assurer l'identité des mesures effectuées tant sur le plan national que sur le plan international.

Pour concourir à l'uniformité de mesure dans le monde, les instances internationales de métrologie travaillent en étroite collaboration. Cette collaboration se manifeste par l'organisation des comparaisons internationales.

II.2 La Métrologie Légale

Selon la définition internationale, le nom métrologie légale est donné à toute forme de métrologie appliquée soumise à des règlements par des lois ou des décrets gouvernementaux. D'après cette définition, le domaine couvert par la métrologie légale peut varier considérablement d'un pays à l'autre. Dans la plupart des pays les mesures intervenant dans les transactions commerciales (ex : masse, volume...) font l'objet d'une réglementation. Toutefois, dans de nombreux pays, la réglementation concerne les mesures intervenant dans la protection de l'industrie, principalement, dans le domaine de l'environnement et la santé. La métrologie légale, forme moderne du contrôle des poids et mesure, est l'activité par laquelle l'Etat décide d'intervenir par voie réglementaire sur certaines catégories d'instruments de mesure. La métrologie légale étend son action dans trois directions:

- Elle s'intéresse à la qualité des instruments utilisés pour les transactions commerciales afin d'assurer la fiabilité des mesures et prévenir les fraudes. Elle est alors un outil de régulation économique.
- Elle est également au service de l'ensemble des activités régaliennes, en offrant aux contrôles de l'Etat, les moyens de mesure leur permettant d'être sûrs, équitables et efficaces.
- Elle a enfin une mission industrielle : d'une part permettre aux industriels utilisatrices de disposer d'instruments adaptés à leurs besoins, d'autre part soutenir la performance et la compétitivité (tant sur le marché intérieur qu'au niveau international) des fabricants nationaux d'instruments de mesure.

La métrologie légale étant indispensable dans les transactions commerciales, pratiquement tous les pays ont un organisme national chargé de ce domaine. Dans le but de faciliter le commerce entre les pays, non seulement en ce qui concerne les instruments de mesure, mais aussi pour toutes les opérations qui impliquent des mesures, l'OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale) coordonne et harmonise à l'échelon international des règlements administratifs et techniques sur les mesures et les instruments de mesures utilisés dans divers pays.

Les catégories d'instruments de mesure qui sont réglementés sont en général ceux utilisés dans les transactions commerciales (balances, pompes à essence...) et dans la surveillance du

respect de la réglementation et la sécurité publique (chronotachygraphe, analyseurs de gaz (CO₂, CO ...))

Le système de métrologie légale nationale est régi par la loi 2- 79 relative aux unités de mesure. Les activités principales de la division de la métrologie, qui relève de la Direction de la Normalisation et de la Promotion de la Qualité, s'articulent au tour des points suivants :

- Elaborer la stratégie nationale de la métrologie légale ;
- Entretien des compétences nécessaires à l'exercice de la mission et veiller à leur transmission aux organismes de contrôle (délégations provinciales du commerce et de l'industrie) ;
- Elaborer les réglementations relatives aux instruments concernés ;
- Promouvoir la métrologie dans les industries ;
- Coordonner et piloter l'ensemble des activités relatives à la métrologie.

Les délégations provinciales sont chargées du contrôle et l'assistance des utilisateurs d'instruments de mesure (fabricants, réparateurs, importateurs opérant dans leur ressort territorial).

Les opérations de contrôle suivent les directives du Décret n° 2-79-144 du 15 chaabane 1407 (14 Avril 1987) relatif au contrôle des instruments de mesure. Elles sont effectuées à plusieurs stades.

- Conception des instruments de mesure, par l'approbation de modèle ;
- Fabrication, réparation et importation par la vérification première ;
- Utilisation quotidienne de l'instrument par la vérification périodique.
- Surveillance des instruments en service

II.2.1 Approbation du modèle

L'approbation d'un modèle d'instrument, première étape de contrôle, permet de vérifier et d'attester que la conception et le fonctionnement de l'instrument présenté par son constructeur ou importateur (au service d'approbation de modèles et jaugeages) répondent bien aux dispositions réglementaires et techniques prévues par la procédure de vérification. L'étude technique du modèle ou « prototype » est effectuée par les services de la métrologie. Les résultats de cette étude peuvent conduire le fabricant à apporter de modifications de principe ou de construction aux instruments fabriqués et, par voie de conséquence, à améliorer leur qualité métrologique.

II.2.2 Vérification première

La vérification première d'un instrument de mesure, deuxième étape de contrôle, a pour objet de vérifier que les instruments de mesure neufs ou soumis à ce régime, fabriqués localement ou importés ainsi que les instruments réparés, avant leur mise en service, sont conformes à un modèle approuvé et répondent bien aux prescriptions réglementaires. Cette vérification est effectuée suivant des procédures techniques spécifiques pour chaque instrument de mesure élaborées sur la base des normes internationales portant sur la métrologie ainsi que les recommandations de l'organisation internationale de la métrologie légale (OIML).

II.2.3 Vérification périodique

Pour s'assurer que les instruments en service ont été présentés aux opérations de contrôle ci-dessus et qu'il en est fait un usage correct et loyal, les services de métrologie relevant des délégations assurent une surveillance des instruments en usage. Ils incitent les utilisateurs à mieux entretenir leurs instruments de mesure et à procéder à leur maintenance à intervalles réguliers. Les détenteurs d'instruments de mesure sont responsables de la bonne utilisation de ces derniers et de leur conformité, ils leur appartiennent de les confier aux organismes compétents pour procéder aux vérifications nécessaires.

II.2.4 Surveillance

La surveillance consiste à s'assurer que les instruments réglementés en service, sont utilisés d'une façon correcte et loyale tout en respectant la réglementation en vigueur.

II.3 La Métrologie Industrielle

L'industrie s'est, depuis longtemps appuyée sur la métrologie, tant pour assurer son développement que pour valider ses produits.

Le champ d'utilisation de la métrologie dans l'industrie est très large, la plupart de ses secteurs y font appel : la mécanique, l'agro-alimentaire, le nucléaire, l'aéronautique, la chimie, l'environnement, la biologie, l'électronique, l'agriculture.

Dans l'entreprise, la métrologie intervient tout au long de la vie d'un produit, de la recherche à la mise en service ou au-delà, en passant par la conception. C'est un outil indispensable lors des différentes phases d'élaboration du produit.

Afin de garantir la fiabilité des mesures, l'entreprise doit mettre en place une véritable gestion des moyens de mesure

III. Les institutions internationales de métrologie

III.1. La Convention du Mètre

La Convention du Mètre est le traité international signé le 20 mai 1875 à Paris (France) par dix-sept États dans le but d'établir une autorité mondiale dans le domaine de la métrologie. Elle succède ainsi à la commission internationale du mètre mise en place en 1870.

Pour ce faire, trois structures ont été créées. La Convention délègue ainsi à la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM), le Comité International des Poids et Mesures (CIPM) et le Bureau International des Poids et Mesures l'autorité pour agir dans le domaine de la métrologie, en assurant une harmonisation des définitions des différentes unités des grandeurs physiques. Ces travaux ont finalement mené à la création du Système International d'unités (SI). [6].

III.2. Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM)

La CGPM se réunit au moins une fois tous les 6 ans sur convocation du Ministère Français des Affaires Étrangères. La fréquence actuelle est de 4 ans. C'est une conférence diplomatique qui réunit les délégués des 55 États Membres de la Convention du Mètre et les 34 membres associés à la CGPM (au 01/08/2011).

Lors de chaque conférence générale, les membres se basent sur le ou les rapports du Comité International des Poids et Mesures (CIPM) relatant les travaux accomplis. Ils prennent alors les dispositions adéquates pour l'extension et/ou l'amélioration du Système International d'unités (SI), ainsi que des dispositions et des recommandations générales concernant la métrologie. Sont également discutées les décisions administratives relatives au fonctionnement du BIPM.

En résumé, la CGPM a pour mission :

- d'élire les membres du CIPM ;
- de discuter et de décider des mesures nécessaires pour assurer l'extension et l'amélioration de la mise en œuvre du Système International d'unités, le SI ;
- de sanctionner les résultats des nouvelles déterminations métrologiques fondamentales et d'adopter les diverses résolutions scientifiques de portée internationale ;
- d'adopter les décisions importantes concernant le fonctionnement et le développement du BIPM. [6]

III.3. Comité International des Poids et Mesures (CIPM)

Le CIPM se réunit annuellement. Il est composé de 18 personnalités, scientifiques et métrologistes appartenant à des nationalités différentes, élues à titre personnel par la CGPM. Le CIPM a pour mission:

- De préparer les propositions et recommandations à soumettre à la CGPM ;
- De superviser et diriger les travaux du BIPM ;
- D'établir un rapport annuel sur la situation financière et administrative du BIPM

Devant le nombre croissant d'États Membres, et de travaux scientifiques et techniques développés par les Instituts Nationaux de Métrologie, le CIPM a créé depuis 1927, une série de comités consultatifs pour lui permettre d'étudier de manière plus approfondie les progrès scientifiques et techniques qui peuvent avoir une forte influence sur la métrologie. Les Comités Consultatifs (CC) sont composés d'experts et de spécialistes mondiaux travaillant dans les Instituts Nationaux de Métrologie. Le nombre de membres est limité ; tous les États Membres de la Convention du Mètre ne sont donc pas représentés dans chacun des CC. La présidence d'un Comité est assurée par un membre du CIPM. Les CC ont pour mission:

- D'étudier les travaux et progrès scientifiques et techniques réalisées, et leurs conséquences en métrologie ;
- De préparer les recommandations qui seront discutées par le CIPM puis présentées à la CGPM ;
- D'organiser des comparaisons internationales des étalons de mesure et d'analyser leurs résultats ;
- D'émettre des recommandations sur les travaux que pourrait effectuer le BIPM

III.4 Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)

Le BIPM, situé au "Pavillon de Breteuil" à Sèvres (Paris), est un laboratoire de métrologie scientifique dont la mission essentielle est d'assurer l'uniformité des mesures (aussi bien physiques que chimiques) dans le monde. Le Directeur du BIPM est nommé par la CGPM. Le BIPM effectue des recherches fondamentales visant à améliorer les étalons de références en collaboration avec les Instituts Nationaux de Métrologie (INM), de participer et d'organiser des comparaisons internationales, de conserver les étalons de référence dont il a la charge. La seule grandeur encore représentée par un étalon matériel est la masse. Le BIPM conserve le prototype international du kilogramme, le K, auquel les INM doivent se comparer. Cette comparaison est effectuée très rarement pour ne pas altérer les caractéristiques du prototype international. Seulement trois comparaisons ont été effectuées à ce jour. [6]

III.5 Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML)

L'OIML (International Organisations of Legal Metrology en anglais) est une organisation intergouvernementale établie le 12 octobre 1955, son objectif est de promouvoir la standardisation de la métrologie légale. En 2015, elle compte 60 États membres (dont l'Algérie) et 68 membres correspondants. La mission de l'OIML est de permettre aux économies de mettre en place des infrastructures de métrologie légale efficaces, mutuellement compatibles et internationalement reconnues, et ce, dans tous les domaines dont les gouvernements sont responsables, tels ceux qui facilitent le commerce, établissent une confiance mutuelle et harmonisent les niveaux de protection du consommateur à l'échelon mondial. [9]

L'OIML a pour objectif de :

- développer des modèles de réglementation, normes et documents afférents destinés à être utilisés par les autorités de métrologie légale et l'industrie ;
- fournir des systèmes de reconnaissance mutuelle qui réduisent les barrières au commerce et les coûts dans un marché mondial ;
- représenter les intérêts du monde de la métrologie légale au sein des organisations et forums internationaux qui sont concernés par la métrologie, la normalisation, les essais, la certification et l'accréditation ;
- promouvoir et faciliter l'échange de connaissances et de compétences au sein de la communauté mondiale de la métrologie légale ;
- en coopération avec d'autres organismes de métrologie, faire prendre conscience de la contribution qu'une infrastructure de métrologie légale solide peut apporter aux économies modernes. En plus de ces institutions, nous pouvons citer : African Metrology System (AFRIMETS) ou encore le Maghreb Metrology network (MAGMET). [9]

IV Les institutions nationales de métrologie

IV.1 Histoire de la métrologie algérienne

- Avant 1962 : Service des Poids et Mesures
- De 1962 à 1980 : Service des instruments de Mesure (rattachés aux directions de l'Industrie et de l'énergie).
- De 1980 à 1986 : Sous-direction des instruments de mesure de wilaya
- En 1986 : Création de l'Office National de Métrologie Légale

- En 2002 : Conseil National de Métrologie créée par décret exécutif N°02-220 du 20 juin 2002 [7]

IV.2 Office National de Métrologie Légale (ONML)

ONML est un Etablissement Public à caractère Administratif (EPA), relevant du Ministère de l'Industrie et des mines, doté de l'autonomie financière et créée en 1986 par Décret n°86-250 du 30 septembre 1986. [9].

IV.2.1. Missions de l'ONML

- participer à la sauvegarde de la garantie publique et à la protection de l'économie nationale sur le plan des échanges commerciaux nationaux et internationaux ; procéder aux études et aux essais des nouveaux modèles d'instruments de mesure en vue de leur approbation ; [9]
- procéder aux vérifications primitive et périodique des instruments de mesure utilisés dans le commerce et l'industrie ;
- effectuer la surveillance permettant de constater que les instruments de mesure répondent aux prescriptions légales ;
- élaborer la réglementation technique ;
- acquérir et conserver des étalons nationaux ;
- développer et promouvoir la métrologie

IV.2.2. Règlementation et législation

La loi 90- 18 relative au Système National Légal de Métrologie fixe les règles générales concourantes à la protection du citoyen et de l'économie nationale.

Le système national légal de Métrologie utilise le système International d'unités (SI). Il comporte les sept unités de base suivantes :

1. le mètre, unité de longueur ;
2. le kilogramme, unité de masse ;
3. la seconde, unité de temps ;
4. l'ampère, unité d'intensité électrique ;
5. le kelvin, unité de température thermodynamique ;
6. la candéla, unité d'intensité lumineuse ;
7. la mole, unité de quantité de matière.

V. Les normes et les standards techniques

C'est un référentiel incontestable commun proposant des solutions techniques et commerciales. Elles sont utilisées pour simplifier les relations contractuelles. [8] Une norme est le résultat d'un consensus élaboré par un processus dit de normalisation. Dans le cas général, un fabricant ou un prestataire de service n'est pas obligé de suivre une norme. Dans certains cas, le droit peut imposer l'utilisation d'une norme industrielle (par exemple normes pour les installations électriques, les jouets pour enfants, les appareils à pression...). [8]

V.1. Type de normes

On distingue quatre types de normes :

➤ **Les normes fondamentales**

Elles donnent les règles en matière de terminologie, sigles, symboles, métrologie (ISO 31 : grandeurs et unités).

➤ **Les normes de spécifications**

Elles indiquent les caractéristiques, les seuils de performance d'un produit ou d'un service (exemple : EN 2076-2 : Série aérospatiale – Lingots et pièces moulées en alliages d'aluminium et de magnésium - Spécification technique – Partie 2 – Lingots pour refusions.)

➤ **Les normes d'analyse et d'essais**

Elles indiquent les méthodes et moyens pour la réalisation d'un essai sur un produit (exemple : ISO 6506-1 : Matériaux métalliques - Essai de dureté Brinell - Partie 1 : Méthode d'essai).

➤ **Les normes d'organisation**

Elles décrivent les fonctions et les relations organisationnelles à l'intérieur d'une entité (exemple : ISO 9001 : Systèmes de management de la qualité – Exigences, ISO 14001, EN 9100,

V.2 les notions de la valeur

De la quelque définition de vocabulaire

➤ **Le mesurage (mesure) :** ensemble des opérations permettant de déterminer expérimentalement une ou plusieurs valeurs d'une grandeur.

➤ **Le mesurande**

Grandeur que l'on veut mesurer (longueur, masse, intensité, Résistance, Pression...)

➤ **la valeur vraie**

Valeur du mesurande que l'on obtiendrait si le mesurage était parfait. Un mesurage n'étant jamais parfait, cette valeur est toujours inconnue, On parle également de « valeur théorique ».

➤ **la grandeur influences**

Grandeur qui n'est pas le mesurande mais qui a un effet sur le résultat du mesurage.

➤ **l'erreur de mesure**

Un mesurage n'étant jamais parfait, il y a toujours une erreur de mesure.

$$ER = m - M_{\text{vrai}}$$

L'erreur de mesure est la différence entre la valeur mesurée d'une grandeur et une valeur de référence. Si la valeur de référence est la valeur vraie du mesurande, l'erreur est inconnue,

➤ **Le résultat du mesurage**

Ensemble de valeurs attribuées à un mesurande complété des informations sur l'incertitude de mesure qui permet d'indiquer l'intervalle des valeurs probables de la grandeur

VI. Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons donné une étude de la métrologie avec présentation Les différents types de la métrologie et de la mise en place de contrôle métrologique. Nous avons montré l'utilisation de métrologie avec la classification, quelques notions générales, le concept de mesure, Les normes et les standards techniques, Le chapitre suivant, consacra à l'axe de recherche de notre travail, qui est la fonction métrologique dans l'entreprise.

Chapitre II

La métrologie dans l'entreprise

I. Introduction

En effet, l'entreprise doit mettre en place une structure métrologique fiable qui est capable de faire une gestion globale de suivre le déroulement des différents processus de la métrologie dans un état souhaitable, pour le but de réaliser la traçabilité et l'amélioration la qualité de la production. Cette structure contient de quelques catégories professionnelles qui permet le fonctionnements des procédures de cette applications, tels que les experts de domaine et les techniciens ont la capacité d'appliquer cette fonctionnelle. Donc, il est important pour une entreprise qui veut progresser dans le domaine de la qualité, de mettre en place une fonction métrologique.

II. La fonction métrologique

La fonction métrologique selon ISO 10012 est la fonction qui a la responsabilité administrative et des techniques de définir et mettre en œuvre le système de management de la mesure.

La fonction métrologique implique la définition et la maîtrise de plusieurs paramètres. Tout d'abord, il convient de connaître l'état du parc des moyens de mesure à disposition de l'entreprise et d'assurer son suivi, afin qu'il puisse toujours répondre aux objectifs de qualité. Il faut également valider les méthodes de mesure pour chaque produit, avec le calcul d'incertitude associé. L'influence des diverses grandeurs physiques comme la température, l'hygrométrie ou la pression doivent également être prises en compte, selon l'utilisation fonctionnelle des produits. La fonction métrologique est régie par un certain nombre de normes, telles que ISO 9001-2000, ISO10012, ISO /CEI 17025 ou ISO /TS 16949.

II.1 Finalité et missions de la fonction métrologique

On précisera maintenant les différentes responsabilités et missions de la fonction métrologique dans le cadre de la gestion des équipements de mesure.

- Identifier puis analyser les besoins internes en matière de conformation métrologique.
- Définir et mettre en place les moyens.
- Définir les compétences et les niveaux requis.
- Désigner les responsabilités de chacun
- Eventuellement organiser des actions de formation pour les activités de vérification.
- Maîtriser l'aptitude à l'emploi de tous les moyens de mesure présents et utilisés dans l'entreprise
- Donner l'assurance de la maîtrise de l'aptitude à l'emploi (traçabilité documentaire).

- S'assurer que ces équipements correspondant bien à ses besoins (quantité d'appareils et niveaux technique...).
- Garantir le raccordement effectif des appareils de mesure aux étalons nationaux ou internationaux.
- Gérer les moyens de mesure (ensemble des actions à engager pour constituer et entretenir le parc d'appareils).

On peut généralement considérer que le résultat d'une mesure est une information technique que l'on communique à un utilisateur. Ce dernier, au vu de cette information, sera chargé de prendre une décision :

- Acception d'un produit (lors de la mesure de caractéristiques ou de performances pour l'établissement d'une conformité à une spécification).
- Validation d'un procédé.
- Réglage d'un paramètre dans le cadre du contrôle d'un procédé de fabrication (asservissement).
- Validation d'une hypothèse dans le cadre d'un développement.
- Définition des conditions de sécurité d'un produit ou d'un système.

2.2 Personnel de la fonction métrologique

Le personnel de la fonction métrologique doit faire de :

- Vérifier sa formation et ses connaissances.
- Assurer un suivi des formations et des qualifications.
- Assurer la formation du personnel de la métrologie, mais aussi celle du personnel des autres services intéressés.

III. Activités de la fonction métrologique

- La politique métrologie est le document regroupant les lignes directrices du système de management de la mesure. Ce document est rédigé par la qualité et validé par la direction.
- L'organisation de la fonction métrologie va aborder la métrologie de façon structurelle. Comment est elle organisée ? Humainement ? Matériellement ? Logistiquement ? Documentairement ? On peut retrouver un logigramme global de la gestion des processus de mesure, l'organigramme de la fonction métrologie ainsi que les responsabilités et le plan de la formation.
- La gestion des processus de mesure entrera beaucoup plus dans les détails (fiche de capacité, fiche de vie...).

- La gestion de non-conformité expliquera clairement les actions à effectuer lorsqu'une non-conformité est détectée durant l'étalonnage ou les actions qui peuvent entraîner une non-conformité immédiate (choc, dépassement échéance,...).

III.1 Constitution du parc des instruments

a) Identification des besoins

Le but ici c'est la spécification d'une planification et le choisir des équipements correspondant par des catégories concernés, pour le but de fournir l'entreprise par des besoins des instruments qui sont satisfaire à toutes les exigences d'essais.

b) Choix de la méthode de mesure

Il existe deux méthodes pour réaliser des mesures, La mesure directe et la mesure indirecte. La mesure directe consiste à mesurer directement les dimensions de la cible au moyen d'un instrument tel qu'un pied à coulisse, ou une machine à mesurer tridimensionnelle. Les mesures réalisées sont appelées mesures absolues. La mesure indirecte consiste à mesurer les dimensions au moyen d'un instrument de mesure tel qu'un indicateur à cadran, qui évalue la différence entre la cible et la référence (cale étalon, bague de contrôle, etc...). Les mesures réalisées sont dites comparatives, car une comparaison à un objet aux dimensions standard et effectuées.

c) Choix des équipements de mesure :

Pour choisir des équipements de mesure, il faudra faire une « analyse 5M » classique (milieu, matière, méthode, main d'œuvre, machine) sur les procédés de mesurage, en fonction de tolérance à contrôler du produit final, pour déterminer les facteurs influents.

d) Choix de raccordement.

III.2 Gestion du parc d'appareils de mesure

a) Documentation

L'AFNOR définit la documentation comme l'ensemble des techniques permettant le traitement permanent et systématique de documents ou de données, incluant la collecte, le signalement, l'analyse, le stockage, la recherche, la diffusion de ceux-ci, pour l'information des usagers. Donc c'est l'action de sélectionner, de classer, d'utiliser, et de diffuser des documents.

b) Réception, mise en service et suivi les moyens de mesure

Des réceptions la fonction métrologie, seule habilitée, s'assure des opérations suivantes avant mise en service :

- Vérification de la conformité à la commande, identification de l'équipement.
- Vérification de l'aptitude à l'emploi suivant procédure et /ou feuille d'instruction.

- Création et ouverture d'une fiche de vie.

c) Choix du matériel à suivre périodiquement

Après mise en service, des vérifications ont pour objet de s'assurer périodiquement que les performances des appareils (étalons compris) demeurent dans les limites de conformité. Ces vérifications, suivant feuille d'instructions, sont consignées sur une fiche de vie pour assurer la traçabilité métrologique.

d) Programme d'étalonnage et/ ou de vérification

L'étalonnage a pour but d'appliquer des corrections aux résultats de mesure afin de diminuer l'incertitude des mesures réalisées. Différentes méthodes existent pour optimiser les périodicités d'étalonnages. La vérification permet de vérifier que l'équipement satisfait ou non à des prescriptions préalablement fixées généralement sous forme de limites d'erreur tolérées qui autorisent sa mise au sa remise en service.

e) Raccordement aux étalons nationaux ou internationaux

La propriété du raccordement est de se faire via une chaîne ininterrompue. Elle peut donc faire intervenir des étalons de référence de l'entreprise et des étalons de travail dont le raccordement doit être assuré via un étalonnage interne. Le nombre d'étalons intermédiaires doit être choisi de sorte que la dégradation des incertitudes associées soit compatible avec l'incertitude recherchée pour l'équipement de mesure.

IV. Audits métrologiques

L'audit est une expertise professionnelle effectuée par un agent compétent et indépendant aboutissant à un jugement par rapport à une norme sur les états financiers, le contrôle interne, l'organisation, la procédure, ou une opération quelconque d'une entité.

Il s'agit donc d'opérations d'évaluations, d'investigations, de vérification ou de contrôles.

L'audit est perçu comme un outil d'amélioration continue, car il permet de faire le point sur l'existant afin d'en dégager les points faibles ou non conformes. Ce constat, nécessairement formalisé sous forme de rapport écrit, permet de mener les actions nécessaires pour corriger les écarts et dysfonctionnements relevés.

Les auditeurs se réfèrent notamment à la norme ISO 19011, qui traite de la technique de l'audit et des compétences requises de l'auditeur. Les auditeurs externes légaux s'appuient pour leurs contrôles sur des référentiels comptables, nationaux ou transnationaux, ainsi que sur des principes de contrôle interne.

IV.1 Démarches d'audit

a) L'audit interne

Les audits internes, appelées parfois « audit de première partie » sont réalisés par, ou au nom de, l'organisme lui-même pour des raisons internes et peuvent constituer la base d'une auto-déclaration de conformité. Ils peuvent être opérationnels ou stratégiques suivant l'approche retenue.

b) L'audit externe

Les audits externes comprennent ce que l'on appelle généralement les « audits de seconde ou de tierce partie ».

Les audits de seconde partie sont réalisés pour des parties, telles que les actionnaires ou des clients, ayant un intérêt direct dans l'organisme, ou par d'autres personnes en leur nom. Les audits de tierce partie sont nécessairement réalisés par des organismes externes indépendants.

IV.2 Caractéristiques de l'audit

Un audit indépendant de qualité doit être conçu pour s'approcher des objectifs suivants :

- Déterminer la conformité des éléments du système de gestion de la qualité aux exigences spécifiées et préétablies.
- Déterminer l'aptitude du système de gestion de la qualité mis en œuvre à atteindre les objectives qualités spécifiées.
- Donner la possibilité aux audités d'améliorer leur système et son efficacité, sous forme de recommandations.

Il faut veiller à ce que l'audit ne devienne pas :

- Une pratique susceptible de dépendance, sous quelque forme que ce soit.
- Une course permanente vers le « toujours plus » ou « toujours mieux ».
- Une occasion de considérer les relations interservices de façon subjective.
- Une formation continue à la démarche qualité et son système de management.
- Une implication concrète de l'ensemble des services de l'entreprise dans la vie du système de gestion de la qualité.
- Une supervision permanente se substituant à la hiérarchie.
- Une occasion de refaire des contrôles.

V. La métrologie une fonction clef en entreprise

A l'échelle d'un grand groupe industriel, la métrologie a un rôle transverse garantissant la compatibilité de sous-systèmes et l'interchangeabilité des produits issus de chaque entité. A l'échelle d'une petite ou moyenne entreprise, la métrologie a pour fonction première d'aider à réduire la variabilité des processus, c'est une aide indispensable à l'amélioration continue pour

réduire les rebuts, sans faire de sur-qualité, et à l'innovation pour maintenir, voire élargir, le marché et devancer la concurrence. Elle est l'un des principaux outils d'information pour la prise de décision, permettant de réduire les coûts de production, d'améliorer les performances, de diminuer les risques et de garantir la qualité des produits. Ici par produit, il faut entendre le résultat d'un processus au sens large, comme un objet matériel (immeuble, composant électronique...), une information (résultat d'une analyse biomédicale, niveau de pollution de l'air...) ou un service (livraison de colis, transfert d'appels téléphoniques, transport de personnes en taxi...).

De nombreuses contraintes pèsent sur l'entreprise, qui doit respecter non seulement le cahier des charges de ses clients ou les besoins du marché, mais aussi des directives internationales, des exigences réglementaires ou normatives, voire des guides de bonne pratique sectorielles. Ainsi la métrologie permet d'assurer la confiance et la loyauté des échanges entre fournisseur et client, par l'évaluation de la conformité et le contrôle de la qualité, étant bien entendu qu'une entreprise est souvent à la fois fournisseur de produits ou de services, mais aussi client de matières premières, de produits consommables ou de moyens techniques...

A cela s'ajoutent des exigences de protection des personnes et de l'environnement où la métrologie est également très sollicitée (mesure de radioactivité, analyse des effluents et des fumées industriels...).

VI. La pertinence métrologique en entreprise

Il faut garder à l'esprit qu'un résultat de mesure est une valeur numérique attribuée à un mesurande comparativement à une valeur de référence, et que ce résultat doit être associé à une incertitude de mesure, estimée selon un processus rigoureux d'analyse et d'évaluation. De plus, l'entreprise doit pouvoir démontrer la traçabilité documentaire et technique du résultat de mesure au sens du système international d'unités (SI) pour qu'il soit indubitablement reconnu.

Cependant, il existe de rares exceptions, telles que celle des matériaux de référence, où la traçabilité au Si n'est pas possible. Dans ce cas, il faut passer par des valeurs de référence consensuelles via des comparaisons.

La plupart des mesures effectuées en entreprise reposent sur des techniques courantes décrites dans des recommandations ou des normes. C'est généralement le cas, par exemple, pour les méthodes d'étalonnage de moyens de mesure ou pour les programmes d'essais. Ces techniques sont souvent appliquées de manière routinière, mais le choix de mesurande, l'adaptation de la méthode de mesure, l'analyse des causes d'erreur, l'estimation des incertitudes et l'exploitation du résultat, ne sont pas toujours optimisés, voire pertinents. Quand il s'agit de mettre en œuvre un nouveau processus de mesure, l'entreprise doit s'appuyer sur une

méthodologie rationnelle, dont le fondement est l'analyse de ses besoins au regard de ses objectifs.

Pour cela, elle doit suivre un cheminement logique et d'abord répondre aux questions telles que : que doit-on mesurer (définition du mesurande), pourquoi (conformation métrologique, prévention des défaillances ...) et avec quelle incertitude (tolérance...) ? Il faut ensuite choisir les moyens adéquats (captures et instrument de mesure étalonnés, personnes qualifiées...), les méthodes appropriées (échantillonnage, mesure indirect...) et identifier les grandeurs prépondérantes d'influence (température, vibrations...) afin de déterminer la capacité du processus de mesure à être mis en place. En d'autres termes, comment et avec quels moyens doit-on effectuer la mesure pour qu'elle fournisse un résultat en adéquation avec une valeur cible ou un intervalle de tolérance prédéfinis ? Enfin, il faut mettre en œuvre le processus, comparer le résultat de mesure par rapport aux critères (taux de rebuts, intervalle de tolérance...) et prendre la décision la plus appropriée, au regard des objectifs initiaux, et agir en conséquence (déclaration de conformité, réglage des outils de production...).

VII. La métrologie de la future

La métrologie internationale, née le 20 mai 1875 avec la signature de la convention du mètre, a constamment évolué pour répondre aux besoins sociétaux, commerciaux et technologiques (environnement, santé, nanosciences, nanotechnologies, chimie, apparences...), s'appuyant sur les connaissances théoriques avérées les plus récentes dans des domaines variés tels que ceux de la physique fondamentale, de la biologie moléculaire ou de la théorie des probabilités, et utilisant les méthodes et moyens techniques les plus avancés en informatique, électronique, biotechnologie, techniques statistiques...

Le dernier aboutissement de l'évolution de la métrologie a été l'adoption, en novembre 2018 à Versailles par la 26^{ème} conférence générale des poids et mesures, d'un nouveau SI, dans lequel les 7 unités de base de l'ancien système datant de 1960 (mètre, kilogramme, seconde, ampère, kelvin, mole, candela) sont dorénavant définies à partir de constantes fondamentales de la physique. Ce nouveau SI qui est officiellement applicable depuis le 20 mai 2019 répond aux quatre grandes principes de la métrologie a été organisée de manière à ce qu'il n'y ait aucune conséquence pour les utilisateurs, et en particulier pour les entreprises. Seuls les laboratoires nationaux de métrologie chargés de la mise en pratique de ces nouvelles définitions, seront mis à contribution et impactés.

Les défis de la métrologie du futur seront de s'adapter, par exemple, au déploiement de l'industrie 4.0 (production utilisant des systèmes cyber-physiques), au développement des nanotechnologies et biotechnologies ou à la mise en œuvre des techniques de fabrication

additive. Mais également de répondre aux nouveaux besoins sociétaux, en termes de contrôle de la pollution et de protection de l'environnement (qualité de l'air, de l'eau, des aliments, nocivité des nanoparticules...), et de l'étude du changement climatique (surveillance des océans, des calottes glaciaires...).

Tout comme l'émission stimulée de radiation, l'effet tunnel ou la supraconductivité, entre autres, ont révolutionné la métrologie dans la seconde moitié de XX^{ème} siècle, le nouveau SI ouvre une nouvelle ère où la réalité virtuelle et de nouveaux phénomènes de la physique fondamentale pourront être exploités en ce siècle, pour développer des techniques de mesure fondées sur la métrologie quantique accessible à l'entreprise. Les innovations actuelles préfigurent la métrologie industrielle de demain, qui sera basée sur des dispositifs à capteurs multiples, de haute performance et interconnectés à des systèmes d'acquisition et de traitement flexibles et ultra-rapides. Nul doute que la fonction métrologique dans l'entreprise deviendra de plus en plus incontournable pour une réactivité augmentée, et fera appel à des techniques de plus en plus sophistiquées, fournissant des résultats de mesure d'une exactitude inégalée, d'une fiabilité incontestable et d'une traçabilité contrôlée en temps réel.

VIII. Les normes concernant la métrologie

La norme ISO 10012 : 2003, confirmée en 2015, spécifie les exigences générales et fournit une orientation pour la gestion des procédés de mesure et la validation des équipements de métrologie destinés à la mesure physique et géométrique des produits de l'entreprise. Elle précise les objectifs de gestion de la qualité, ainsi que les moyens matériels et humains mis en œuvre pour les atteindre, afin d'assurer que ces objectifs soient bien atteints. La norme ISO 10012 n'est pas prévue pour démontrer une conformité par rapport aux normes ISO 9001 ou ISO 14001.

La norme ISO/IEC 17025 : 2017 établit les exigences générales de compétence, d'impartialité et de cohérence des activités des laboratoires. Elle est applicable à toutes les organisations réalisant des activités d'étalonnage et d'essais, notamment pour relier les équipements et appareils de mesure aux étalons de référence nationaux. La norme ISO/TS : 2009 précise les exigences particulières pour l'application de l'ISO 9001 : 2008 pour la production de série et de pièces de rechange dans l'industrie automobile.

Chapitre III

Les principales Grandeurs de Mesure

I. Introduction

La mesure est de nos jours un outil essentiel qui met la théorie à l'épreuve : « Si la théorie est l'esprit, la mesure est la main qui la guide ». En effet c'est une expérience physique qui consiste à exprimer, transmettre une grandeur physique et en attribuer une valeur numérique. De ce fait, elle est indispensable dans la vie industrielle et même privée et ce besoin se justifie par le fait qu'à l'aide des mesures, on arrive à connaître et définir des grandeurs non accessibles à nos sens et/ou les quantités des grandeurs qui dépassent leur étendue. A chaque grandeur on attribue une dimension qui lui est propre et que l'on symbolise par une lettre s'il s'agit d'une grandeur principale. Par exemple, on note L : Longueur ; M : Masse ; T : Temps ; θ : Température et I : Intensité électrique. Et par combinaison de ces symboles, on dimensionne les grandeurs dérivées. De nombreuses grandeurs sont dénuées de dimension. On dit que leur dimension est 1(un).

II. Les Masses

Les mesures de masse concernent d'innombrables transactions industrielles et commerciales ou elles caractérisent les quantités de produits mises en jeu. Elles sont aussi à l'origine de la détermination de différentes grandeurs dérivées telles que les masses volumiques, les forces, les pressions. La masse est une grandeur de base du Système International d'unités (SI), caractéristique d'une quantité de matière et qui est invariable dans le temps et l'espace.

II.1 Unités

Dans le système international (SI), l'unité de masse est le kilogramme (kg). Elle est définie comme étant égale à la masse du kilogramme prototype international en platine iridié, qui a été sanctionné par la Conférence Générale des Poids et Mesures tenue à Paris en 1889, et qui est déposé au Bureau International des Poids et Mesures (BIPM).

On trouve également les unités multiples ou sous-multiples suivantes :

- le micro gramme (mg) = 10^{-9} kg –
- le milligramme (mg) = 10^{-6} kg –
- le gramme (g) = 10^{-3} kg –
- la tonne (t) = 10^3 kg

Parmi les unités non (SI), on trouve le carat métrique (ct) utilisé dans la pesée des pierres et métaux précieux.

II.2 Définitions

- Masse marquée** : objet matériel servant à la détermination de la masse d'un corps. Une masse n'a pas l'obligation de satisfaire aux spécifications d'une masse marquée légale appelée poids.

b. Poids : Un poids est une masse marquée légale : sa forme, sa constitution, sa valeur nominale et son erreur maximale tolérée sont réglementées.

c. Masse-étalon : Masse marquée servant soit à l'étalonnage, soit à la vérification, soit à l'ajustage de masses marquées et d'instruments de pesage. Leurs erreurs maximales tolérées sont fonction de celles des objets à contrôler ou à régler.

Les masses-étalons sont classés en fonction du nombre d'échelons n des instruments qu'elles servent à étalonner :

classe M''	pour $n \leq 3000$ échelons
classe M'	pour $3000 \text{ ech} \leq n \leq 6000$ ech
classe F'	pour $6000 \text{ ech} \leq n \leq 30000$ ech
classe E'	pour $n \leq 30000$ ech

d. Poids-étalon : Poids servant soit à l'étalonnage, soit à la vérification, soit l'ajustage de masses marquées, de poids et d'instruments de pesage

- les étalons de valeur nominale inférieure ou égale à 50 Kg peuvent être soit des poids-étalons, soit des masses-étalons ;
- les étalons de valeur nominale supérieure à 50 Kg sont nécessairement des masses-étalons

e. Echelon réel (d) : valeur exprimée en unité de masse :

- de la différence entre les valeurs correspondant à deux repères consécutifs par une indication analogique, ou
- de la différence entre deux indications consécutives, pour une indication numérique

f. Echelon de vérification (e) : valeur exprimée en unités de masse utilisée pour la classification et la vérification d'un instrument.

g. Portée minimale (Min) : valeur de la charge en dessous de laquelle les résultats des pesées peuvent être entachés d'une erreur relative trop importante.

h. Portée maximale (Max) : capacité maximale de pesage, compte non tenu de la capacité additive de tare.

i. Portée d'indication automatique : capacité de pesage dans laquelle l'équilibre est obtenu sans intervention d'un opérateur.

j. Nombre d'échelons de vérification (n) : quotient de la portée maximale par l'échelon de vérification : $n = \text{Max}/e$.

- k. **Erreur maximale tolérée** : valeur maximale de la différence, en plus ou en moins, autorisée par la réglementation entre l'indication d'un instrument et la valeur vraie correspondante, déterminée par référence à des masses-étalons, instrument étant préalablement à zéro à charge nulle et en position de référence.
- l. **Classe d'exactitude (ou de précision)** : classe d'instruments de pesage qui satisfont à certaines exigences métrologiques destinées à conserver les erreurs dans des limites spécifiées.

II.3 Appareils de mesure

On distingue deux catégories :

a. Les poids-étalons ;

Les poids étalons sont des poids individuels de valeur donnée, le plus souvent en acier inoxydable poli, en laiton chromé ou non, et parfois en alliage d'aluminium par les lamelles subdivisions du gramme.

Les poids-étalons sont répartis en sept classes différentes :

- Classes E1 et E2 pour les poids de très grande exactitude utilisée uniquement par les laboratoires d'étalonnage ;
- Classes F1 et F2 pour les poids de grande exactitude utilisés comme étalons de référence par les services de métrologie ;
- Classes M1, M2 et M3 pour les poids d'exactitude moyenne utilisés comme étalons de travail.

Les erreurs maximales tolérées pour les poids étalons, sont données dans le tableau suivant :

Tableau III.1 Les erreurs maximales tolérées pour les poids étalons

Valeur Nominale	Erreur maximale (\pm en mg) pour Classe						
	E1	E2	F1	F2	M1	M2	M3
1 mg	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2		
2 mg	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2		
5 mg	0,002	0,006	0,02	0,06	0,2		
10 mg	0,002	0,008	0,02	0,08	0,25		
20 mg	0,003	0,001	0,03	0,01	0,3		
5 mg	0,004	0,012	0,04	0,12	0,4		
100 mg	0,005	0,015	0,05	0,15	0,5	3	
200 mg	0,006	0,020	0,06	0,20	0,6	4	
500 mg	0,008	0,025	0,08	0,25	0,8	5	

1	g	0,010	0,03	0,10	0,3	1	5	
2	g	0,012	0,04	0,12	0,4	1,2	5	
5	g	0,015	0,05	0,15	0,5	1,5	10	50
10	g	0,020	0,06	0,20	0,6	2	20	50
20	g	0,025	0,08	0,25	0,8	2,5	20	50
50	g	0,030	0,10	0,30	1,0	3	30	100
100	g	0,050	0,15	0,50	1,5	5	30	100
200	g	0,010	0,30	1,0	3,0	10	50	100
500	g	0,025	0,75	2,5	7,5	25	100	300
1	kg	0,5	1,5	5	15	50	200	500
2	kg	1,0	3,0	10	30	100	400	1 000
5	kg	2,5	7,5	25	75	250	800	2 500
10	kg	5	15	50	150	500	1 600	5 000
20	kg	10	30	100	300	1 000	3 200	10 000
50	kg	25	75	250	750	2 500	8 000	25 000

b- Les instruments de mesure.

Les instruments de pesage sont des instruments qui servent à déterminer la masse d'un corps en utilisant l'action de la pesanteur sur ce corps. Ils peuvent être rangés dans deux catégories :

- les capteurs de pesage qui sont en général employés dans les installations industrielles. On peut citer, par exemple, les capteurs de pesage installés sur des silos de stockage ou sur des réservoirs de liquide ;
- les balances ou bascules qui servent à déterminer directement la masse d'un corps. Les balances les plus utilisés sont réparties en deux familles :
 - les instruments entièrement mécaniques (fléaux, balances Roberval, romaines, balances semi-automatiques...);
 - Les instruments électroniques.

Les instruments de pesage sont répartis selon :

- Leur échelon de vérification (e), représentatif de l'exactitude absolue ;
- le nombre d'échelons de vérification (n), représentatif de l'exactitude ;

En quatre classes de précision :

- Classe de précision spéciale I
- Classe de précision fine II
- Classe de précision moyenne III
- Classe de précision ordinaire IV

Les erreurs maximales tolérées, exprimées en échelons de vérifications sont représentées dans le tableau suivant :

Tableau III.2 Les erreurs maximales tolérées

Classe de précision	Echelon de vérification e	Nombre d'échelons de vérification $n = \text{Max}/e$		Portée minimale Min (limite inférieur)
		minimum	maximum	
Spéciale I	$0,001 \text{ g} \leq e$	50 000	-	100 e
Fine II	$0,001 \text{ g} \leq e \leq 0,005 \text{ g}$	100	100 000	20 e
	$0,1 \text{ g} \leq e$	5 000	100 000	50 e
Moyenne III	$0,1 \text{ g} \leq e \leq 2 \text{ g}$	100	10 000	20 e
	$5 \text{ g} \leq e$	500	10 000	20 e
Ordinaire IIII	$5 \text{ g} \leq e$	100	1 000	10 e

II.4 Etalonnage et vérification

II.4.3 Poids étalons

L'étalonnage des poids-étalons de travail s'effectue par une comparaison avec le poids-étalon de référence à l'aide des comparateurs de masses, de préférence des balances spéciales ayant une portée réduite afin d'augmenter l'exactitude de la mesure.

Les poids-étalons de référence doivent être étalonnés auprès d'un laboratoire accrédité.

II.4.1 Instrument de pesage

L'étalonnage ou la vérification est réalisée à partir des poids-étalons correctement raccordés. Dans ce cas il y a lieu d'établir une procédure basée sur des normes ou recommandations internationales (OIML), définissant les opérations à effectuer et les caractéristiques à vérifier, en particulier par rapport aux erreurs maximales tolérées, ainsi que l'exploitation des résultats.

II.5 Longueur

Les mesures dimensionnelles occupent une place importante dans le domaine de la métrologie. La longueur est la grandeur linéaire fondamentale, qui caractérise ce qui n'a qu'une dimension. Elle représente une des premières grandeurs physiques qui a été à la base du système SI. Dans l'industrie, le domaine des longueurs revêt une grande importance en raison de son usage intensif, surtout dans les industries sophistiquées (mécanique de précision, micro-électronique, nanotechnologie).

II.5.1 Unité

Depuis 1983, le mètre est défini comme étant «la longueur du trajet parcouru dans le vide par la lumière pendant une durée de $1/299\,792\,458$ de seconde ». Cette définition revient à affecter une valeur exacte à la vitesse de la lumière. Les sous-multiples de l'unité de base, les plus utilisés sont :

- le millimètre $1\text{ mm} = 10^{-3}\text{ m}$
- le micromètre $1\text{ mm} = 10^{-6}\text{ m}$

II.5.2 les cales étalons

Les cales étalons sont des étalons de longueurs en forme de parallélépipède rectangle dont deux faces opposées dites «faces mesurantes » ont une qualité de surface telle qu'elles ont la propriété d'adhérer à des faces de même qualité superficielle. Les cales étalons sont utilisées :

- Soit comme étalon de référence pour transmettre la dimension de l'unité de longueur ou de ses multiples ou sous-multiples, à partir de l'étalon primaire ou d'un étalon secondaire, aux cales étalons d'une moins grande précision et pour la vérification et la graduation des appareils de mesure.
- Soit comme mesure de longueur pour l'étalonnage et le réglage des appareils de mesure et pour mesurer les dimensions linéaires des pièces industrielles. Les cales étalons sont réparties en six classes de précision : 00, k, 0, 1,2 et 3.

II.5.3 Moyens de mesure

Les principaux instruments utilisés en métrologie dimensionnelle peuvent être classés en trois catégories :

a) Les instruments à contrôle direct :

Ils donnent directement le résultat de mesure. On peut distinguer 4 types d'appareils (à traits, à trait et vernier, à vis micromètre à capteurs inductifs) ;

b) Les instruments de contrôle aux limites :

Utilisés pour vérifier qu'une dimension est comprise entre une limite haute et une limite basse (calibres, tampons lisses ou filetés, bagues lisses ou filetés) ;

c) Les instruments de contrôle par comparaison :

La mesure est la différence entre l'objet mesuré et l'étalon (comparateurs mécaniques, comparateurs électroniques. Le tableau suivant présente la plage d'utilisation ainsi que la résolution des instruments les plus couramment utilisés dans l'industrie.

Tableau III.3 La plage d'utilisation des instruments dans l'industrie

Instruments	Etendue de mesure (mm)		Résolution (mm)	
	Minimum	Maximum	Minimum	Maximum
Règlet	0,5	1000	0,5	1
Mètre ruban	1	3000	1	1
décamètre	10	10.000	10	10
pieds à coulisse	0,01	3000	0,01	0,05
jauge de profondeur	0,02	500	0,02	0,05
piéd module	0,02	100	0,01	0,05
micromètre	0,01	1000	0,001	0,01
alésomètre	0,5	1000	0,001	0,01
jauge de profondeur micrométrique	0,01	150	0,001	0,01
banc de mesure	0,005	3000	0,0001	0,005
calibres à mâchoires	0,001	500	0,0000001	0,000001
tampons lisses	0,001	500	0,0000001	0,000001
tampons filetés	0,001	600	0,0000001	0,000001
bagues lisses	0,001	500	0,0000001	0,000001
bagues filetées	0,001	600	0,0000001	0,000001
comparateur mécanique à tige rentrante	0,1	100	0,0005	0,01
comparateur mécanique à levier	0,2	2	0,002	0,01
comparateur électronique inductif	0,003	10	0,001	0,2
comparateur électronique à règle incrémentale	0,001	100	0,0001	0,001
comparateur à capteur optique	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
comparateur à capteur électromagnétique	0,000005	4	0,000005	0,0008
comparateur à capteur capacitif	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
comparateur à capteur pneumatique	0,001	0,1	0,001	0,001
machine à mesurer par coordonnées	0,001	0,1	0,001	0,001
rapporteur d'angle	0,3	1800	0,0001	0,001
plateau diviseur	0,08	360	0,08	0,08
codeur angulaire	0,00001	0,00001	0,00001	0,00001
niveau	0,0001	360	0,0001	0,001
lunette de visée	0,001	1000	0,001	1
théodolite	0,02	15000	0,02	0,1
table de circularité	0,0001	360	0,0001	0,001
table de rectitude	0,00005	0,0001	0,00005	0,0001
appareil d'état de surface	0,0001	0,01	0,0001	0,01
microscope	0,000001	0,005	0,000001	0,005
interféromètre laser	0,05	20	0,0001	0,05
ombroscopie	0,0001	40000	0,00001	0,00001
	0,001	360	0,001	0,001

II.5.4 Etalonnage et vérification

Deux méthodes sont utilisées pour l'étalonnage des instruments :

- Etalonnage par mesure directe : détermination de la cote exacte d'un instrument à l'aide d'un moyen plus performant ;

- Etalonnage par comparaison : mesure de l'écart entre un étalon parfaitement connu et le moyen à étalonner.

a) **Etalonnage par mesure directe (méthode interférométrique) :**

L'interférométrie laser est une méthode optique permettant de mesurer avec grande précision des variations de distance, correspondant aux déplacements d'une source lumineuse monochromatique par rapport à un point fixe. La référence est donc la longueur d'onde de la radiation monochromatique

Cette méthode permet de mesurer la longueur d'une cale étalon avec la meilleure incertitude. Son application est limitée à la mesure des cales de classe 00, K et 0.

Avec cette méthode, la longueur mesurée correspond à la distance entre le centre de la face mesurant et une surface plane, rigide, en principe de même matériau et de même état de surface que la cale à mesurer.

Le plan auxiliaire auquel adhère la cale à mesurer doit en principe être dans le même matériau et avoir le même état de surface que celui des faces mesurantes de la cale.

Si, pour des raisons techniques de mesurage, des plans auxiliaires en d'autres matériaux sont utilisés, des corrections sont à prendre en compte du fait des caractéristiques physiques différents des matériaux. En outre, le plan auxiliaire doit avoir une épaisseur d'au moins 11 mm, et la face d'adhérence doit avoir une tolérance de planéité de 0,25 mm sur un diamètre de 40 mm.

Le résultat de l'étalonnage par la méthode interférométrique doit être corrigé pour tenir compte des écarts éventuels par rapport aux conditions idéales d'étalonnage :

- effets de la température, de la pression atmosphérique et de l'hygrométrie sur la longueur d'ondes dans l'air ;
- effets de la température sur la longueur de la cale ;
- influence des variations du déphasage optique sur la réflexion de l'onde lumineuse, du fait d'état de surface et de matériaux différents entre la cale et le plan auxiliaire ;
- influence de l'ouverture de l'interféromètre (forme, dimensions du diaphragme d'entrée et de distance de la focale du collimateur) sur la position des franges d'interférence ;
- influence de l'obliquité du faisceau (angle du coin d'air).

d) **Etalonnage par comparaison**

Cette méthode permet de mesurer l'écart entre une cale étalon de référence parfaitement connu et la cale à étalonner

La référence est une cale étalon de longueur connue avec une incertitude de mesure compatible avec la précision de la cale étalon à mesurer.

Lorsque la cale étalon à mesurer et la référence ont la même longueur nominale, la comparaison peut être effectuée avec un comparateur.

Lorsque la cale étalon à mesurer et la référence ont des longueurs nominales différentes, la comparaison peut être effectuée sur une machine à mesurer unidimensionnelle, les déplacements étant mesurés soit avec interféromètre à comptage de franges, soit avec la référence de la machine.

La méthode par comparaison implique un dispositif de mesurage ayant généralement deux touches en opposition avec ou sans contact avec les deux faces mesurantes.

Les points suivants sont à prendre en compte à des fins de correction :

- erreur systématique du dispositif de mesurage ;
- influence de températures différentes entre la cale de référence et la cale à mesurer ;
- influence de coefficients de dilatation différents en dehors des conditions de référence
- influence de déformation de contact due à l'effort de mesurage lors du palpement des faces, notamment si les matériaux des cales ont des caractéristiques différentes ;
- correction de l'indice de réfraction de l'air (pour la méthode par comparaison interférométrique).

III. Les Grandeurs Electriques

Les mesures électriques sont les plus répandues de toutes les mesures. Les fréquences de courant utilisées sont très variables d'un domaine d'application à l'autre, depuis le courant continu délivré par les piles et accumulateurs jusqu'aux courants hyper-fréquences utilisés en télécommunication, en passant par les courants basses fréquences d'usage industriel.

La multiplicité des grandeurs électriques à mesurer (courant, tension, résistance, capacité, bruit radioélectriques ...) nécessite une série variée de références spécifiques adaptées aux différentes situations

III.1 Unités de grandeurs électriques

- 1- **L'ampère (A)** : Unité de base (SI) pour l'électricité, c'est l'intensité d'un courant électrique constant qui, maintenu dans deux conducteurs parallèles, rectilignes de longueur infinie, de section circulaire négligeable et placés à 1 mètre l'un de l'autre

dans le vide, produisant entre ces conducteurs une force de $2 \cdot 10^{-7}$ Newton par mètre de longueur.

- 2- **Le volt (V)** : Est la différence de potentiel électrique qui existe entre deux points d'un conducteur parcouru par un courant de 1 ampère, lorsque la puissance dissipée entre ces deux points est de 1 Watt.
- 3- **Le coulomb (C)** : La quantité d'électricité transportée en 1 seconde par un courant de 1 ampère.
- 4- **L'ohm** : La résistance électrique entre deux points d'un conducteur lorsqu'une différence de potentiel constante de 1 volt, appliquée entre ces deux points, produit dans ce conducteur un courant de 1 ampère.
- 5- **Le farad (F)** : La capacité d'un condensateur électrique entre les armures duquel apparaît une différence de potentiel de 1 volt lorsqu'il est chargé d'une quantité de courant de 1 coulomb.
- 6- **Le Henry (H)** : L'inductance électrique d'un circuit fermé dans lequel une force électromotrice de 1 volt est produite lorsque le courant électrique qui parcourt le circuit varie uniformément à raison de 1 ampère par seconde.
- 7- **Le Weber (Wb)** : Le flux d'induction magnétique qui, traversant un circuit d'une seule spire, y produit une force électromotrice de 1 volt si l'on annule en 1 seconde par décroissance uniforme.
- 8- **Le tesla (T)** : L'induction magnétique uniforme qui, répartie uniformément sur une surface de 1m^2 , produit à travers cette surface un flux d'induction magnétique total de 1 weber.

III.2. Méthodes et appareils de mesure

Les méthodes et les appareils de mesure utilisés pour la mesure des principales grandeurs électriques sont regroupés dans le tableau suivant :

Tableau III.4 les appareils de mesure utilisés pour la mesure des principales grandeurs électriques

Grandeur électrique	courant	Principe de mesure	Appareil
intensité	- continu	- mesure directe	- Ampèremètre
	- alternatif	- mesure directe	- Ampèremètre (adapté au type de courant)
tension	continu	- méthode d'opposition ou de zéro	- potentiomètre, diviseur de tension de Kelvin
		- méthode directe	- voltampèremètre analogique ou numérique

tension	alternatif	même principe qu'en courant continu	appareils qui fonctionnent en courant alternatif
résistance	continu ou alternatif	- méthodes utilisant des ponts de mesure de résistance à bras de proposition	- pont de wheatstone - pont double de Kelvin
		- comparaison de courants - voltampèremétrie - comparaison de courant	- comparateur de courants - voltmètre - voltmètre
puissance	continu	- méthode directe	- voltmètre et ampèremètre
		- méthode directe	- wattmètre

Tous ces appareils de mesure des grandeurs électriques sont soit de type analogique soit de type numérique

III.3 Les appareils de type analogique

Ces appareils sont construits suivant le principe d'un cadre mobile soumis à une rotation sous l'effet de forces engendrées par le passage du courant électrique. Il existe plusieurs modes de fonctionnement pour obtenir ce déplacement (fonctionnement magnétoélectrique, ferromagnétique, thermique, électrodynamique)

Ces appareils sont classés suivant leur utilisation :

- Appareils étalon : classe 0,05 - 0,2 (utilisation en laboratoire)
- Appareils de contrôle : classe 0,5 - 1 (utilisation en contrôle et vérification)

- Appareils industriels : classe 1,5 – 2 –
- Appareils indicateur : classe 5 (utilisation sur les tableaux électriques)

III.4 Les appareils de type numérique

Appareils qui transforment les grandeurs électriques analogiques en indications lues directement sur un afficheur numérique (appelé parfois digital). La précision est la caractéristique principale de ces appareils.

IV. Etalonnage et vérification

L'étalonnage ou la vérification peut être confié à des laboratoires accrédités. Pour les entreprises possédant un parc important d'instrument de mesure de grandeurs électriques, il est plus judicieux de disposer de son propre laboratoire d'étalonnage ;

Les principaux équipements qui doivent être mis en œuvre pour pouvoir faire des étalonnages dans les meilleures conditions possibles sont :

IV. 1 Mesure de tension en courant continu

a) Etalons de référence

- piles étalons de type weston à solution électrolytique saturée.
- référence à diode zener.

b) Etalons de travail

- générateur de tension étalon ;
- références à diode zener ;
- voltmètre étalon ;

c) Pont de comparaison

- potentiomètre à résistances étalon ;
- diviseur de tension de type Kelvin-varley

IV. 2 Mesure d'intensité en courant continu

Même équipement que la mesure de tension en courant continu, associé à des résistances ou des shunts étalons.

Mesure de résistance en courant continu

a) Etalons de référence :

- résistances étalons fixes en quatre bornes ;

- résistances étalons fixes en trois bornes.

b) Etalons de travail

- résistances étalons fixes en deux bornes ;
- boites de résistances à décades.

c) Pont de comparaison :

- pont de weastone étalon ;
- pont double de kelvin étalon
-

IV. 3 Mesure de tension en courant alternatif basse fréquence

a) Etalons de référence

- appareil à transfert thermique

b) Etalons de travail

- générateur de tension à décader ;
- voltmètre différentiel.

c) Pont de comparaison

- diviseur de tension inductif à décades étalon

IV.4 Mesure d'intensité en courant alternatif basse fréquence

Même équipements que la mesure de tension en courant alternatif basse fréquence associé à des résistances

Chapitre IV

Procédure d'étalonnage et de vérification des instruments standards

1. Objectif

La présente procédure a pour objet de définir les modalités d'étalonnage et de vérification des instruments standards (pied à coulisse, micromètre.....), afin d'assurer leur conformité.

2. Domaine d'application

Cette procédure s'applique à l'ensemble des opérations d'étalonnage et de vérification des pieds à coulisses font au niveau de laboratoire de métrologie.

3. Définitions – Abréviations

❖ Abréviations

e : erreur de mesure exprimée en μm .

L : longueur mesurée à l'intérieur de la capacité de mesure du pied à coulisse

T : Tolérance.

A : Ouverture minimale du micromètre (c'est-à-dire à la mise à zéro).

F_{max} : l'erreur maximale de mesure en μm .

4. Responsabilité

Le responsable de laboratoire a la mission de gérer cette procédure et de veiller à son application au niveau de laboratoire de métrologie.

5. Contenu

L'opération de vérification et d'étalonnage des instruments de mesure standards ce fait de manière prédictive (chaque 4 mois).

Les conditions climatiques sont défini par :

- La température de référence est de 20 ± 1 °C.
- L'humidité est de $50 \pm 5\%$.

Le contrôleur doit étalier:

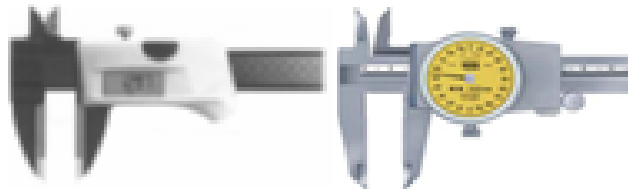
- Un certificat de qualité si l'instrument conformes à l'exigence de la norme applicable.
- Si non Un bon de réparation ou certificat de rebut.

Les certificats de qualité, certificats de rebut et bon de réparation sont vise par le chef de service métrologie.

6. Méthode d'étalonnage et de vérification des Pieds à Coulisse à cadran, à affichage numérique [10]

Étendue : ≤ 500 mm

Résolution : 0.05mm, 0.02mm, 0.01mm



6.1 MODE PRÉPARATOIRE

a. Moyens d'étalonnage

- Boite de cales et bagues étalons pour pied à coulisse de classe 1.
- Bagues étalons
- Boite de huit cales étalons classe 1



Figure IV.1 Boite de cales étalons et de bague étalons

- Règle biseauté pour le contrôle de la planéité.
- Microscope universel



Figures IV.2 Microscope universel

b. Préparation de l'instrument

- Les pieds à coulisse présentés pour vérification et étalonnage doivent être lavés à l'essence et essuyés à l'aide d'un chiffon imbibé d'alcool.
- Les cales étalons et les bagues étalons doivent être bien nettoyées.

6.2 MODE OPÉRATOIRE**a. Aspect**

- Les becs du pied à coulisse ne doivent pas présenter des cassures, des fissures, des bavures, des brèches ou d'autres endommagements qui influent sur l'utilisation de l'instrument.
- Les traits des graduations doivent être lisibles.
- Le vernier doit être fixe et ses graduations doivent être lisibles.
- Le coulisseau doit glisser facilement le long de la règle.
- La jauge de profondeur doit glisser facilement le long de la règle, à la mise à zéro du pied à coulisse le bout de la jauge doit être colinéaire avec le bout de la règle.

b. Marquage

Les pieds à coulisse doivent présenter des marquages lisibles tel que :

- Le symbole de l'unité choisie pour l'échelle, sur la règle (mm ou cm).
- La marque ou le nom déposé du fabricant.
- L'indication de la précision (1/50 ou 0.02mm).
- Le numéro d'article.

c. Planéité des faces de mesure :

- La planéité des faces de mesure d'extérieur peut être contrôlée à l'aide d'une règle biseautée, ces faces doivent avoir une tolérance de planéité de $5 \mu\text{m}$ par 100 mm de longueur.

d. Parallélisme des faces de mesure

- Le parallélisme des faces de mesure d'extérieur peut être contrôlé à l'aide de cales étalons introduites entre les becs en différents points des faces de mesure d'extérieur et en différentes positions d'ouverture en faisant varier la longueur des cales.
- Le parallélisme des faces de mesure d'extérieur ne doit pas être altéré par le blocage du coulisseau ; cela peut être contrôlé en laissant une petite fente entre les deux faces de mesure et en observant cette fente lorsque l'on bloque le coulisseau.

La tolérance du parallélisme des faces de mesure d'extérieur est exprimée dans le tableau suivant

Tableau IV.1 Tolérance du parallélisme des faces de mesure

Longueur mesurée (mm)	Tolérance max de parallélisme des faces de mesure d'extérieur (μm)
0	10
100	10
200	10
300	15
400	15
500	20

- Le parallélisme des faces de mesure d'intérieur peut être contrôlé à l'aide d'un appareil à vis micrométrique. Pour vérifier le rayon des becs, on peut utiliser une bague de 5, 10 ou 20 mm de diamètre suivant le cas, ou un appareil à vis micrométrique.
- La tolérance du parallélisme des faces de mesure d'intérieur est de $10\mu\text{m}$ sur toute leur longueur et la tolérance maximale admise sur la largeur combinée doit être $+10\mu\text{m} - 0\mu\text{m}$.

e. Largeur des traits

- La largeur des traits peut être vérifiée par un mesurage direct à l'aide d'un microscope à oculaire équipé d'un dispositif micrométrique.
- largeur doit être comprise entre 0,08 et 0,2 mm.
- Sur un même instrument, la largeur de l'ensemble des traits de la règle et du vernier ne doit pas varier de plus de 0,03 mm.

f. Erreurs maximales tolérées

- L'erreur de mesure est vérifiée au moyen des cales étalons dont les valeurs sont présentées dans le tableau suivant selon la capacité de mesure du pied à coulisse.

Tableau IV.2 Cales étalons et des bagues utilisées pour l'étalonnage

Étendue de mesure du pied à coulisse (mm)	Cotes nominales des cales étalons (mm)			Cotes nominales des bagues étalons (mm)	
0 – 125	30	41.3	131.4	4	25
0 – 150					
0 – 160					
0 – 200					

0 – 250	30	41.3	131.4	20	25
0 – 300					
0 – 350					
0 – 400	30	200	300	20	25
0 – 500					

- Les erreurs de mesure propres à un pied à coulisse peuvent être contrôlées à l'aide de cales étalons dont la dimension des combinaisons est connue et choisie de façon à couvrir plusieurs points à l'intérieur de la capacité de mesure de l'instrument et du vernier, les erreurs admises de mesure sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV.3 les erreurs admises de mesure

Longueurs mesurées (mm)	Erreurs maximales tolérées (µm)
0	±20
100	±30
200	±30
300	±40
400	±40
500	±50

- L'erreur maximale de mesure est calculée d'après la formule suivante :

$$e = \pm (20 + 0.05L) \mu\text{m}$$

- Les faces de mesure des cales étalons doivent être introduites entre les becs de l'instrument de façon à vérifier en trois points les faces de mesure d'extérieur du pied à coulisse en chaque position de mesure.
- La prise de mesure se fait aux bouts de becs et en plein becs pour les becs intérieurs.
- Les erreurs de mesure des becs pour les faces d'intérieurs sont contrôlées à l'aide des bagues étalons de façon à couvrir plusieurs points à l'intérieur de la capacité de mesure du pied à coulisse.

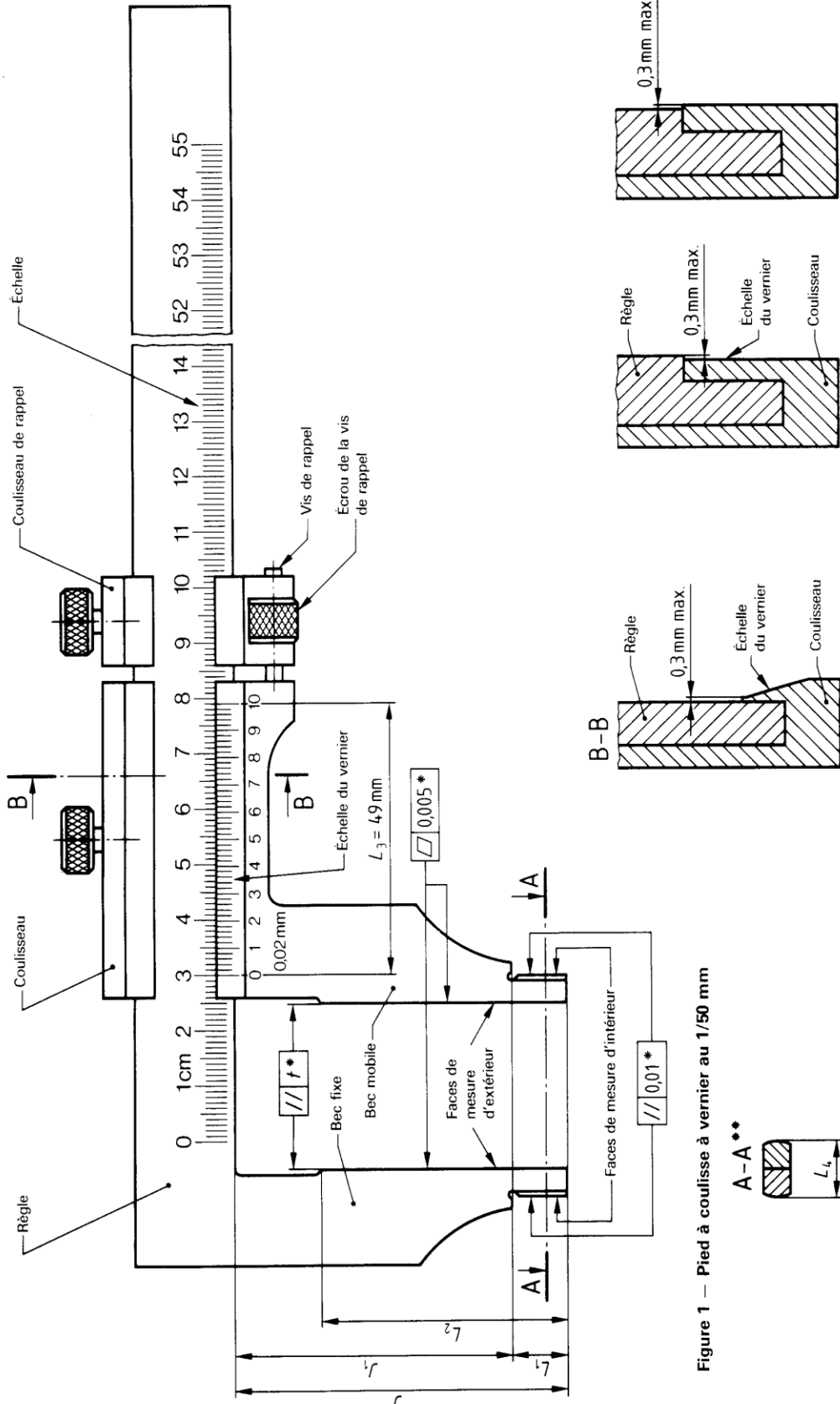


Figure 1 — Pied à coulisse à vernier au 1/50 mm

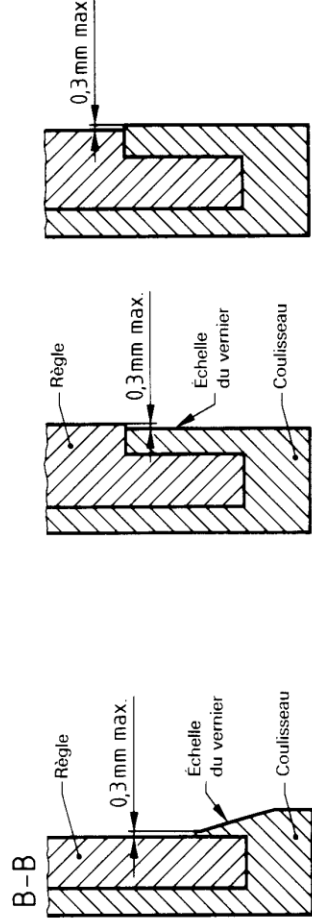


Figure 4 — Coulisseau avec vernier juxtaposé

Figure 3 — Coulisseau avec vernier superposé

Figure 2 — Largeur combinée L_4 pour mesures d'intérieur

NOTE — Ces figures sont schématiques; elle ne donnent pas de détails de conception.

* Valeurs en millimètres.

** Représentée avec bords fermés.

Figure IV.3 Pied à coulisse à vernier

7. MÉTHODE D'ÉTALONNAGE ET DE VÉRIFICATION [11]

Micromètre d'extérieur à vis « Standard », à Plateaux, à Rallonge et Autres

Étendue: ≤ 300 mm

Résolution: 0.01mm,0.001



7.1 MODE PRÉPARATOIRE

a. Moyens d'étalonnage

- ✓ Pour les micromètres de 0 à 125mm, précision 0.001mm.
 - Boîte pour micromètres de 10 cales étalons de classe 0.
 - Boîte de 122 cales classe 0.
- ✓ Pour les micromètres de 0 à 500mm, précision 0.01mm.
 - Boîte pour micromètres de 10 cales étalons de classe 1.
 - Boîte de 122 cales étalons de classe 1
 - Boîtes de 08 cales étalons classe1 de départ pour les micromètres au-delà de 125mm.



Figure IV.4 Boîte de cales étalons pour étalonnage des micromètres d'extérieur

- ✓ Pour les micromètres de 0-25mm
 - Boîte de quatre verres plans parallèles d'épaisseur (12.00, 12.125, 12.25, 12.375 mm) pour le contrôle de la planéité et du parallélisme.

- ✓ Pour les micromètres 25-50mm
 - Boite de trois verres (27.00, 27.165, et 27.335mm).
- ✓ Pour les micromètres 50-75mm
 - Boite de trois verres (52.00, 52.165, et 52.335mm).
- ✓ Pour les micromètres 75-100mm
 - Boite de trois verres (77.00, 77.165, et 77.335mm).



Figure IV.5 Boite de verres plans parallèles pour contrôle de planéité et du parallélisme des faces de mesure

- ✓ Microscope universel pour la lecture de la largeur des graduations.
- ✓ Dispositif de fixation des cales.



Figure IV.6 Dispositif de fixation des cales

- ✓ **Préparation de l'instrument**
 - Les faces de mesure des micromètres d'extérieur présentés pour vérification et étalonnage doivent être essuyées à l'aide d'un chiffon imbibé d'alcool.
 - Les cales étalons doivent être bien nettoyées.

7.2 MODE OPÉRATOIRE

a. Aspect

- Les touches du micromètre ne doivent pas présenter des cassures, des fissures, des bavures, des brèches ou d'autres endommagements qui influent sur l'utilisation de l'instrument.
- Les traits des graduations doivent être lisibles.
- La vis micrométrique doit tourner uniformément le long de sa course, cela peut être obtenu en lubrifiant légèrement le filetage au moyen d'une huile légère de bonne qualité.
- Le dispositif de blocage doit fonctionner correctement.

b. Marquage

- Les micromètres d'extérieur doivent présenter des marquages lisibles tel que :
 - La valeur de l'échelon.
 - La marque ou le nom déposé du fabricant.
 - L'indication de la précision.
 - Le numéro d'article.

c. Planéité des faces de mesure

- La méthode de contrôle de planéité est de mettre les deux faces de mesure en contact avec un verre plan parallèle (glace interférentielle), le verre plan parallèle doit être placé de manière à obtenir un nombre minimal de franges.
- Le nombre des franges indique le degré de planéité des faces de mesure.
- Les faces de mesure doivent être rodées avec une erreur maximale de planéité de $1\mu\text{m}$.
- Pour respecter la tolérance fixée à $1\mu\text{m}$, il ne doit pas apparaître plus de quatre franges de la même couleur sur chacune des faces.
- Les franges obtenues sont encore plus nettes si on travaille en lumière monochromatique.



Figure IV.7 Franges et cercles d'interférence



Figure IV.8 Positionnement du verre plan parallèle entre les deux faces de mesure

d. Parallélisme des faces de mesure

- Soumises à une force de mesure de 10N, les faces des touches du micromètre non muni d'un limiteur de couple doivent respecter les valeurs de tolérance de parallélisme données dans le tableau suivant :

Tableau IV.4 les valeurs de tolérance de parallélisme

Capacité de mesure du micromètre (mm)	Tolérance de parallélisme des faces de mesure (μm)
0 à 25	2
25 à 50	2
50 à 75	3
75 à 100	3
100 à 125	4
125 à 150	4
150 à 175	5
175 à 200	5
200 à 225	6
225 à 250	6
250 à 275	7
275 à 300	7
300 à 325	8
325 à 350	8
350 à 375	9

375 à 400	9
400 à 425	10
425 à 450	10
450 à 475	11
475 à 500	11

- Pour les micromètres munis d'un limiteur de couple les tolérances sont calculées d'après la formule suivante :
 - $T = 2 + A/50$ en μm .
- Le parallélisme des faces de mesure d'un micromètre est contrôlé au moyen de quatre verres plans parallèles dont l'épaisseur varie pour chacune environ du quart du pas, afin de faire quatre mesures lors d'un tour complet de la vis.
- Placer alors le verre en contact avec les faces de mesure maintenues serrées à l'aide du limiteur de couple. Déplacer légèrement le verre entre les deux faces pour avoir le nombre minimal de franges d'interférence sur une face et compter les franges formées sur l'autre face. Répéter l'opération avec les trois autres verres et vérifier que, dans tous les cas, le nombre total de franges ne dépasse pas huit.
- La même méthode peut aussi être employée pour contrôler le parallélisme des faces de mesure des micromètres d'ouverture allant jusqu'à environ 100 mm. Dans ce cas, deux des verres interférentielles sont accolées aux faces de mesure d'un empilage déterminé de cales étalons, et l'ensemble ainsi formé est utilisé comme étalon à bouts plans et introduit entre les touches du micromètre.
- Effectuer alors quatre mesurages comme précédemment, en modifiant la longueur de l'empilage de cales placés entre les plaques.
- A noter qu'il est souhaitable d'avoir un nombre minimal de cales étalons dans ces empilages pour éviter d'introduire des erreurs cumulées dues aux cales elles-mêmes.

e. Largeur des traits :

- La largeur des traits peut être vérifiée par un mesurage direct à l'aide d'un microscope à oculaire équipé d'un dispositif micrométrique.
- La largeur doit être comprise entre 0,08 et 0,2 mm.
- Sur un même instrument, la largeur de l'ensemble des traits de la règle et du vernier ne doit pas varier de plus de 0,03 mm.

f. Erreur de la lecture à la mise à zéro

- Les erreurs admises de lecture lors de la mise à zéro d'un micromètre sont présentées dans le tableau suivant :

Tableau IV.5 la mise à zéro d'un micromètre

Capacité de mesure du micromètre (mm)	Erreur de lecture à la mise à zéro (μm)
0 à 25	± 2
25 à 50	± 2
50 à 75	± 3
75 à 100	± 3
100 à 125	± 4
125 à 150	± 4
150 à 175	± 5
175 à 200	± 5
200 à 225	± 6
225 à 250	± 6
250 à 275	± 7
275 à 300	± 7
300 à 325	± 8
325 à 350	± 8
350 à 375	± 9
375 à 400	± 9
400 à 425	± 10
425 à 450	± 10
450 à 475	± 11
475 à 500	± 11

g. L'erreur de mesure

L'erreur de mesure est vérifiée au moyen des cales étalons dont les valeurs sont présentées dans le tableau suivant selon la capacité de mesure du micromètre.

Tableau IV.6 Cales étalons utilisées pour l'étalonnage

Capacité de mesure du micromètre (mm)	Cale de départ	Cotes nominales des cales étalons (mm)									
		2.5	5.1	7.7	10.3	12.9	15.0	17.6	20.2	22.8	25
0 à 25	/										
25 à 50	25	27,5	30,1	32,7	35,3	37,9	40,0	42,6	45,2	47,8	50,0
50 à 75	50	52.5	55.1	57.7	60.3	62.9	65.0	67.6	70.2	72.8	75
75 à 100	75	77.5	80.1	82.7	85.3	87.9	90	92.6	95.2	97.8	100
100 à 125	100	102.5	105.1	107.7	110.3	112.9	115	117.6	120.2	122.8	125
125 à 150	125	127.5	130.1	132.7	135.3	137.9	140	142.6	145.2	147.8	150
150 à 175	150	152.5	155.1	157.7	160.3	162.9	165	167.6	170.2	172.8	175
175 à 200	175	177.5	180.1	182.7	185.3	187.9	190	192.6	195.2	197.8	200
200 à 225	200	202.5	205.1	207.7	210.3	212.9	215	217.6	220.2	222.8	225
225 à 250	225	227.5	230.1	232.7	235.3	237.9	240	242.6	245.2	247.8	250
250 à 275	250	252.5	255.1	257.7	260.3	262.9	265	267.6	270.2	272.8	275
275 à 300	275	277.5	280.1	282.7	285.3	287.9	290	292.6	295.2	297.8	300

- Les erreurs de mesure d'un micromètre sont calculées d'après la formule suivante :

$$F_{\max} = 4 + A/50 \text{ en } \mu\text{m}$$

Tableau IV.7 Erreurs maximales tolérées d'un micromètre

Capacité de mesure du micromètre (mm)	Erreur de mesure pour micromètre 0.01mm $F_{\max} (\mu\text{m})$	Erreur de mesure pour micromètre 0.001mm $F_{\max} (\mu\text{m})$
0 à 25	±4	±2
25 à 50	±4	±2
50 à 75	±5	±3
75 à 100	±5	±3
100 à 125	±6	±4
125 à 150	±6	±4
150 à 175	±7	±5
175 à 200	±7	±5
200 à 225	±8	±6
225 à 250	±8	±6
250 à 275	±9	±7

275 à 300	± 9	± 7
300 à 325	± 10	/
325 à 350	± 10	/
350 à 375	± 11	/
375 à 400	± 11	/
400 à 425	± 12	/
425 à 450	± 12	/
450 à 475	± 13	/
475 à 500	± 13	/

- Il est préférable de faire les prises de mesure avec plein touches et contact partiel.
- Les faces de mesure des cales étalons doivent être introduites entre les faces de mesure de l'instrument de façon à vérifier en trois points les faces de mesure du micromètre à chaque position de mesure.



Figure IV.9 Positionnement des cales étalons dans leur support

h. Recommandations Pour L'emploi D'un Micromètre

- Les faces de mesure doivent être soigneusement essuyées à l'aide d'un chiffon propre.
- La vis micrométrique doit tourner uniformément tout au long de sa course. Une avance saccadée dénote généralement la présence de poussières dans le filetage. Une avance uniforme peut s'obtenir en lubrifiant légèrement le filetage au moyen d'une huile légère de bonne qualité.
- La vis micrométrique doit se déplacer sans serrage ni jeu. Une alternance de serrage et de jeu indique une courbure de la touche mobile.

- Il est généralement plus commode de faire le mesurage avec un micromètre dont le corps est fixé dans un support, rendant ainsi la touche mobile indépendante.
- La touche mobile doit être maniée avec douceur, en actionnant soit le limiteur de couple, soit le tambour.
- La lecture de la mesure doit être contrôlée à l'aide d'une cale-étalon dont la dimension est connue, la lecture étant ajustée si nécessaire. Les faces de mesure de cette cale doivent, de préférence, avoir la même forme que la pièce à mesurer à l'aide du micromètre.
- Incertitude de mesure, erreur de justesse et erreur de fidélité :
- L'incertitude de mesure élargie, l'erreur de justesse et erreur de fidélité sont déterminées après avoir effectué au moins dix (10) mesures.

Conclusion générale

Il est important que tout étudiant connaisse parfaitement ces définitions afin d'utiliser les bons termes dans la planification, la réalisation et l'interprétation d'une expérience, Cette rigueur terminologique permet d'assurer la qualité des résultats expérimentaux obtenus. A noter que pour un instrument électronique, les informations quantitatives sur ses caractéristiques sont notifiées dans le manuel d'utilisation de l'instrument .

Références Bibliographiques

- [1] {CICERO.J} ; « la fonction métrologique dans les pme » ; www.qualiblog.fr ; 2010.
- [2] vocabulaire international de métrologie – concepts fondamentaux et généraux et termes associés VIM ; 2012.
- [3] « la métrologie internationale : qu'est-ce que la métrologie? » ; bureau international des poids et mesures (bipm) ; www.bipm.org.
- [4] « la métrologie internationale : thermométrie » ; bureau international des poids et mesures (bipm).www.bipm.org.
- [5] « définitions de base, acceptabilité de valeurs mesurées et expression d'un résultat de mesure », document ressource de métrologie ; 2013.<http://eduscol.education.fr>
- [6] JCGM. « Vocabulaire international de métrologie ». Concept fondamentaux et généraux et termes associés (VIM). ISO/CEI GUIDE 99:2007. JCGM VIM 3^{ème} édition, JCGM 200:2008.
- [7] la métrologie français.fr
- [8] Site wibe d'onml.dz
- [9] Instrumentation et régulation en 30 fiches « Patrick Prouvost Dunod », 2010.
- [10] ISO 6906
- [11] ISO 3611