



MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITÉ «Abbès LAGHROUR» DE KHENCHELA
FACULTÉ DES SCIENCES ET DE TECHNOLOGIE



Département de Génie Mécanique

N° de série :.....

Mémoire de fin d'études
Pour l'obtention du diplôme de Master (L.M.D)

Spécialité : Génie Mécanique
Option: Construction Mécanique

Présenté par :

HASSINA HAFSA
&
SBRINA SEKKIOU

**Méthodologie d'estimation des incertitudes d'un processus de
mesure au niveau d'un bras de mesure**


Soutenu le :

devant la commission d'examen composée de :

<i>GROUN Brahim</i>	<i>MAA</i>	<i>à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela</i>	<i>Président</i>
<i>BOUALI Hichem</i>	<i>MAA</i>	<i>à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela</i>	<i>Encadrant</i>
<i>MESSAOUDI Issam</i>	<i>MAA</i>	<i>à L'Université Abbes Laghrou de Khenchela</i>	<i>Examineur</i>

Promotion 2021/2022

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

A decorative floral element consisting of a central flower with several petals and a stem with leaves, positioned to the left of the calligraphic text.

Dédicaces

A ma mère

A mon père

A ma Sœurs

A mes frères

A Mon encadreur

A Tous mes amis et collègues

HASSINA

Dédicaces

À Ma famille; mes parents ;

À Tous les étudiants de la promotion 2021/2022;

À Mon encadreur

SBRINA

Remerciements

Avant tout, nous remercions Dieu Tout-Puissant pour nous

Ayant donné à la vie esprit, courage, volonté et

Patience et santé durant toutes ces années d'études et il est

C'est grâce à lui que ce travail peut être réalisé.

Nos sincères remerciements à notre encadrant.

Dr. Bouali Hichem, il nous a bien guidé dans cette

Le travail de recherche, nous donne inlassablement

Beaucoup de votre temps

Pour les membres du jury, vous nous honorez beaucoup

En acceptant le verdict de cet acte humble, nous

Merci et témoigne profondément et

Reconnaissance respectée.

À tous les enseignants qui ont participé à notre cours et

Surtout pour tous nos professeurs

Quel genre de leçons nous ont-ils donné?

Servis pour la réalisation de ce travail, nous vous remercions et

Nous vous exprimons nos sentiments respectueux.

Résumé

Les bras polyarticulés portables ont progressivement évolué et sont de plus en plus utilisés dans l'industrie. Cependant, à l'heure actuelle, la traçabilité de ces dispositifs est difficile à effectuer et les incertitudes de mesures relatives à l'utilisation de ces appareils ne sont pas quantifiées. Le travail mené consiste à déterminer incertitudes de mesures associées à la quantification, par un bras polyarticulé portable, des caractéristiques géométriques et dimensionnelles d'une pièce mécanique. Les travaux visant à élaborer un modèle d'incertitude de mesure, sont basés sur la méthode de Monte Carlo du supplément 1 du Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure [1].

Abstract

Portable poly-articulated arms have gradually evolved and are increasingly used in industry. However, at present, the traceability of these devices is difficult to perform and the measurement uncertainties relating to the use of these devices are not quantified. The work carried out consists in determining measurement uncertainties associated with the quantification, by a portable polyarticulated arm, of the geometric and dimensional characteristics of a mechanical part. Work aimed at developing a measurement uncertainty model is based on the Monte Carlo method in Supplement 1 of the Guide to the expression of measurement uncertainty [1]

ملخص

تطورت الأذرع المحمولة متعددة المفاصل تدريجياً وتستخدم بشكل متزايد في الصناعة. ومع ذلك ، في الوقت الحاضر ، من الصعب أداء إمكانية تتبع هذه الأجهزة ولا يتم قياس أوجه عدم اليقين في القياس المتعلقة باستخدام هذه الأجهزة. يتمثل العمل المنجز في تحديد أوجه عدم اليقين في القياس المرتبطة بالتقدير الكمي ، بواسطة ذراع محمول متعدد المفاصل ، للخصائص الهندسية والأبعاد للجزء الميكانيكي. يعتمد العمل الذي يهدف إلى تطوير نموذج الارتياح في القياس على طريقة مونت كارلو في الملحق 1 من الدليل للتعبير عن الارتياح في القياس.

Sommaire

Liste des figures:

Liste des tableaux:

Introduction générale..... 1

Chapitre I:Problématique des incertitudes de mesure liées aux bras polyarticulés portables

I.1.Présentation artiyculés portables des bras pol:..... 5

I.2. Etat de l'art :..... 7

I.3. Structure du bras Sigma 2025 :..... 9

I.3.1. Matériaux utilisés :..... 11

I.3.1.1. Alliage d'aluminium :..... 11

I.3.1.2. Composite de fibres de carbone :..... 11

I.3.2. Composants internes :..... 12

I.3.2.1. Codeurs angulaires :..... 13

I.3.2.2. Le codeur incrémental :..... 14

I.3.2.3. codeurs optique Absolu :..... 16

I.3.2.4. Roulements :..... 18

I.3.2.5. Accouplements élastiques :..... 18

I.3.3. Composants périphériques :..... 19

I.3.3.1. L'équilibrage :..... 19

I.3.3.2. Le capteur :..... 21

I.4. Démarche de l'étude pour la détermination des incertitudes de mesures des bras polyarticulés portables :..... 22

I.4.1. Notion d'incertitude de mesure :..... 22

I.4.2. Méthode du GUM [N. 1] :..... 24

I.5.Limites de la méthode du GUM..... 27

I.6.CONCLUTION..... 28

Chapitre II:FACTEURS D'INFLUENCE ET METHODE 5M

II.1 . INTRODUCTION..... 30

II.2. Diagramme 5M :..... 30

II.2.1. Présentation 30

II.2.2.Construction du diagramme..... 30

II.2.2.1.Matière :..... 31

II.2.2.2.Moyens :..... 32

II.2.2. 3.Milieu	33
II.2.2.4.Main d'œuvre	35
II.2.2.5.Méthode.....	35
II.3.Etude expérimentale de la répétabilité des mesures :	36
II.3.1.Procédure de mesure.....	36
II.3.2.Analyse des résultats.....	39
II.3.3.Protocole de palpage :.....	40
II.3.4.Conclusion :	40
II.4.Evaluation des paramètres environnementaux	41
II.4.1.Effet thermique :.....	42
II.4.1.1.Gradient spatial.....	42
II.4.1.2.Gradient temporel.....	42
II.4.1.3.Ecart à 20 °C :	42
II.4.1.4.Effet sur la répétabilité des mesures :.....	43
II.4.2.Effet de la vibration sur la répétabilité des mesures :.....	43
II.5.Conclusion	45
Chapitre III : Evaluation des incertitudes de mesure.....	
III.1.Evaluation des incertitudes de mesure simples :	47
III.2.Evaluation des incertitudes de mesure composée :	47
III.2.1.Incertitude type de type A :	47
III.2.2.Incertitude type de type B :	48
III-2-3-Exemple d'évaluation des incertitudes :.....	52
Conclusion générale	56
Bibliographie.....	59

Liste des figures:

TITRE	PAGE
<i>Figure I.1 : Bras de mesure à 7 DDL</i>	06
<i>Figure I.2 : à gauche) le bras de mesure ACE. À droite) le bras de mesure.</i>	07
Figure I.3 : Prototypé du capteur statique utilisé par San.	08
<i>Figure I.4: Photo du Bras SIGMA 2025 instrumenté.</i>	10
<i>Figure I.5 : Liaison de Boys [T. 4]</i>	10
<i>Figure I.6 : Composite utilisé par Römer</i>	12
<i>Figure I.7 : Schématisation d'une structure d'un bras de type Sigma 2025</i>	13
<i>Figure I.8 : Partie optique d'au codeur angulaire [T. 17]</i>	14
Figure I.9 : Disque d'un codeur incrémental	15
Figure I.10 : Principe de fonctionnement d'un codeur optique	15
Figure I.11 : Disque 12 pistes d'un codeur absolu	16
Figure I.12 : Codeur incrémental [T. 17]	18
<i>Figure I.13: Roulements à billes</i>	18
<i>Figure I.14 : Accouplement élastique</i>	19
<i>Figure I.15 : Tube en fibre de carbone fixé avec la fourchette en aluminium.</i>	20
Figure I.16 : Vérin pneumatique	20
Figure I.17 : Schéma global du principe de la méthode du GUM	27
Figure II. 1: Diagramme 5M d'un processus de mesure utilisant un bras polyarticulés portable	31
Figure II .2: Palpage vertical	37
Figure II. 3: Représentation de la répétabilité de mesure	40
Figure II .4: Projecteur utilisé pour chauffer le bras	41

Liste des tableaux :

TITRE	PAGE
TableauII.1: Résultats de l'étude de répétabilité sur la mesure de point et de distance.	39
TableauIII.1 :Représentation des différentes distributions des erreurs de mesures	49
Tableau III.3 :Fiche de détermination d'incertitude	54

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale :

Les bras polyarticulés portables sont des appareils de mesures tridimensionnelles portables, généralement constitués d'un ensemble mécanique comprenant 6 ou 7 liaisons pivots. Ils réalisent des mesures à contact (palpeur statique ou dynamique) ou sans contact (scanner à nappe laser principalement). Le principe de mesure consiste à réaliser l'acquisition de la position (X, Y, Z) d'un point « fixe » en extrémité du bras calculé par l'intermédiaire de l'indication des codeurs angulaires des Angles de rotation entre les différents éléments du bras et des longueurs des différentes parties constituant le bras.

Le contrôle de spécifications géométriques en trois dimensions était jusqu'à ces dernières années réservé au domaine du laboratoire grâce aux Machines à Mesurer Tridimensionnelles (MMT). Mais, du fait de leur portabilité, de leur moindre coût, et l'amélioration de leur performance, l'emploi des bras polyarticulés portables est de plus en plus courant dans l'industrie. Ces derniers ne remplacent pas les MMT mais les complètent avantageusement et plus particulièrement dans des mesures en atelier. Les mesures effectuées par les bras dépendent de nombreux paramètres et l'estimation de leurs incertitudes de mesurage reste peu maîtrisée. Il est donc nécessaire d'approfondir ce domaine afin d'apporter des solutions aux utilisateurs de ces matériels.

Cependant, à l'heure actuelle, peu d'études relatives à l'évaluation des incertitudes de ces appareils ont été réalisées. C'est dans ce contexte que se situe les travaux de ma thèse, réalisée en collaboration, à la fois avec le fabricant ROMER qui fait partie du Groupe HEXAGON METROLOGY et le Centre Technique des Industries Mécanique (CETIM), utilisateur de ce type de dispositif. Les travaux menés ont pour finalité, d'une part, d'aider Hexagone, en tant que fabricant, dans ses travaux de recherche et développement pour améliorer la qualité et la performance de ses produits et d'autre part, d'aider le CETIM, en tant qu'utilisateur du bras de mesures à disposer d'une méthode et d'un modèle permettant l'estimation des incertitudes de mesures liées aux bras polyarticulés portables.

L'objectif de ces travaux est donc de mettre en place un modèle d'estimation d'incertitudes de mesures d'un bras polyarticulé portable qui puisse directement être utilisable. Si le principe de mesure des bras est relativement simple, les incertitudes sont difficiles à quantifier. En effet, alors que pour une MMT, les coordonnées (X, Y,Z) d'un point définissent clairement la position de la machine suivant les trois axes, pour un bras polyarticulé, il y a une infinité de

Introduction

positions et de configurations possibles de ce dernier pour atteindre un point fixe dans son volume de travail (non bijectivité du point mesuré).

Le rapport s'articule donc autour de trois chapitres, comme suit :

Chapitre 1 : « Problématique des incertitudes de mesures liées aux bras polyarticulés mesurables portables », dans lequel nous introduisons d'abord les bras polyarticulés portables et l'état de l'art. Ensuite nous présentons la structure du bras Sigma 2025.

Chapitre 2 : « Facteurs d'influence et méthodologie expérimentale ». Dans la première partie de ce chapitre, les paramètres influençant l'incertitude de mesures sont identifiés à travers un diagramme 5M. Ensuite, étant donné que le bras de mesure est utilisé manuellement, une première étude expérimentale de la répétabilité de mesure dans des conditions de laboratoire (salle climatisée à température maîtrisée et sans vibration) est effectuée. Cette étude nous permettra d'avoir une première évaluation expérimentale de la qualité de mesure de ces dispositifs. Dans la troisième partie de ce chapitre, une étude expérimentale de l'effet des paramètres environnementaux, notamment la température et la vibration est effectuée. L'objectif de cette démarche est d'évaluer le comportement de ces appareils dans des conditions d'ateliers, étant donné qu'ils sont principalement conçus pour être utilisés sur site de production.

Chapitre 3: Evaluation des incertitudes de mesure.

Chapitre I:

**Problématique des incertitudes de
mesure liées aux bras polyarticulés
portables**

I.1.Présentation des bras poly articulés portables :

Les bras de mesure poly articulés portables (articulated arm coordiante measuring machine : AACMM) sont des machines à mesurer tridimensionnelles portables comportant 6 ou 7 axes de rotation. Ils peuvent être utilisés actuellement avec un système de plage à contact (statique ou dynamique) ou un scanner à nappe laser. Ils sont conçus principalement pour faire de la mesure sur site et dans différents environnements. Leurs flexibilité, facilité d'utilisation et coût moins élevé que le coût des machines à mesurer tridimensionnelles classiques, font partie des éléments phares permettant à ces dispositifs d'intégrer complètement les projets de l'usine du futur. Toutefois, leur incertitude, généralement de quelques dizaines de micromètres pour une étendue de mesure de 1m50 à 4m50, reste relativement plus importante que l'incertitude des machines à mesurer tridimensionnelles classiques. En effet, la manipulation de l'utilisateur et l'environnement dans le site de mesure contribuent à amplifier ces incertitudes. Nos travaux portent en partie sur les problématiques liées à l'étalonnage des bras de mesure, à la mise en évidence des avantages et des limites de chacun des étalons couramment utilisés.

As de mesure actuels, illustrée sur la Figure 1, est inspiré du bras humain. Elle est composée de trois articulations, à savoir l'épaule, le coude et le poignet. Chacune de ces articulations contient un joint à rotule (rotation dans l'axe du segment) et un joint à charnière (rotation par rapport à un axe perpendiculaire au segment). Les bras de mesure actuels autorisent une 7ème rotation supplémentaire, au niveau du dernier axe, sur lequel est monté le système d'acquisition (palpeur ou scanner).

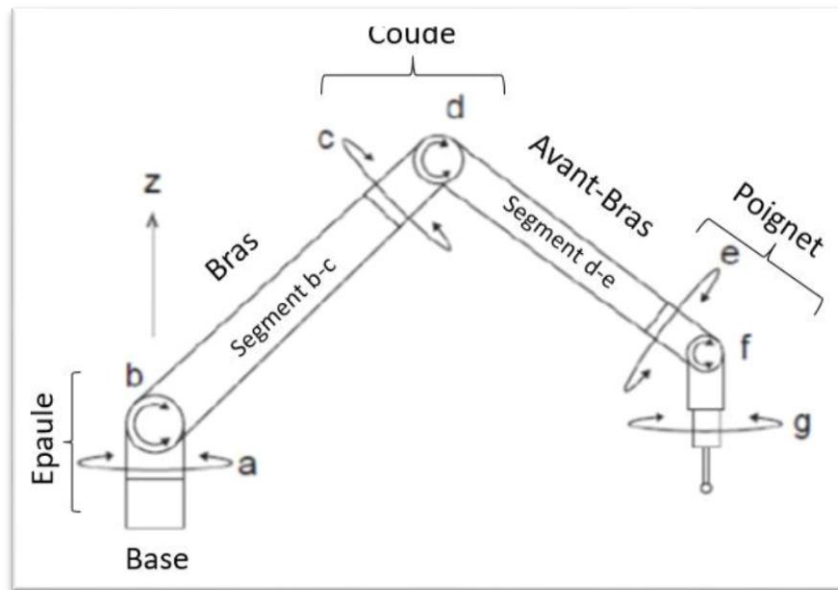


Figure I.1 : Bras de mesure à 7 DDL

AACMM à 7 axes Les matériaux utilisés pour les bras de mesure actuels sont le composite à fibres de carbone tissé pour les tronçons, et l'aluminium au niveau des liaisons, pour sa facilité d'usinage. En effet, pour assurer sa portabilité, les fabricants des bras de mesure ont opté pour le carbone tissé qui a l'avantage d'être rigide et léger en même temps .

La société EUROTEK propose une large gamme de bras de mesure polyarticulés de fabrication française conçus par la société KREON don't elle est le partenaire et distributeur pour la France depuis plus de 15 ans.

Apparus à la fin des années 1980, les bras de mesure polyarticulés sont des moyens de mesure portables qui ont réussi à s'imposer depuis une vingtaine d'années dans le monde de la métrologie tridimensionnelle grâce à leur portabilité, leur facilité de mise en œuvre et d'utilisation, leur faible encombrement et leur précision de mesure tout à fait comparable aujourd'hui à certains moyens de contrôle 3D plus traditionnels.

Les bras de mesure polyarticulés peuvent être équipés de palpeurs mécaniques mais également de scanner 3D.

La société KREON, basée à Limoges depuis sa création au début des années 1990, propose deux gammes de bras de mesure.

Les bras ACE, conçus et fabriqués en France, représentent le savoir-faire de KREON. Leur design moderne, leur ergonomie, et leurs différents équipements en font des systèmes très appréciés par nos clients. Dotés d'une connexion Bluetooth et wifi, et d'une batterie, ils peuvent être utilisés même en extérieur. Une compensation thermique dynamique intégrée permet également de les utiliser dans des conditions de température atelier. Disponibles en 6 ou 7 axes, et pour des volumes de mesure allant de 2000 à 4500mm, ils sont bien entendu compatibles avec l'ensemble de la gamme des scanners 3D KREON.



Figure I.2 : à gauche) le bras de mesure ACE. À droite)le bras de mesure BACES.

Les bras BACES sont également disponibles en 6 ou 7 axes, pour des volumes de contrôle allant de 2600 à 4600mm. Ils sont particulièrement bien adaptés aux pièces de grande taille et à des exigences moins importantes en matière de précision.

I.2. Etat de l'art :

L'utilisation croissante des bras polyarticulés n'a malheureusement pas été accompagnée par des normes sur les procédures de vérification et d'étalonnage. Traditionnellement, chaque fabricant a adopté ses propres procédures d'évaluation. Pour dépasser ce manque de normalisation, des préconisations ont été récemment développées l'ASME B89.4.22-2004 et la VDI 2617-9 à travers l'expérience accumulée lors de la définition et la réalisation des méthodes d'évaluation des différents fabricants. Ces documents représentent une étape historique dans l'évaluation des bras de mesure.

Ils concernent uniquement la mesure et l'évaluation des mesures effectuées à l'aide de capteur statique et de capteur dynamique, couvrant les applications communes des bras de mesure, excluant spécifiquement les tests d'évaluation pour les bras avec des capteurs optiques sans contact. Afin d'uniformiser et d'éliminer toute ambiguïté dans les méthodes d'évaluation pour les bras de mesure, ces préconisations remplissent leur fonction, sans toutefois donner d'indication en ce qui concerne les méthodes d'identification des paramètres, d'étalonnage ou de correction. En plus de l'évaluation des performances des bras de mesure, ces préconisations cherchent à faciliter la comparaison des performances des machines en établissant une classification générale des appareils et en unifiant la terminologie, le traitement des effets environnementaux et l'analyse de données. ont mis en œuvre ces deux procédures, dans l'objectif de qualifier la performance de l'étalonnage de plusieurs bras de mesure.

D'autres travaux ont étudié l'influence du capteur utilisé. Les auteurs ont présenté une méthode d'auto-étalonnage qui permet de déterminer une matrice de transformation homogène qui relie le repère de référence du capteur au repère final du bras à partir du palpement de sphères. En outre, en comparant les résultats, ils ont constaté que l'erreur obtenue par ce capteur dynamique est plus petite que celle obtenue par le capteur statique d'où l'intérêt d'utiliser ce type de capteur dynamique dans les procédures d'identification des paramètres cinématiques et de vérification du bras. Le système de palpement utilisé se compose d'un capteur de mouvement linéaire à 3 billes en carbure de tungstène de 6mm de diamètre, disposés à 120° sur l'extrémité du capteur *Figure 3].

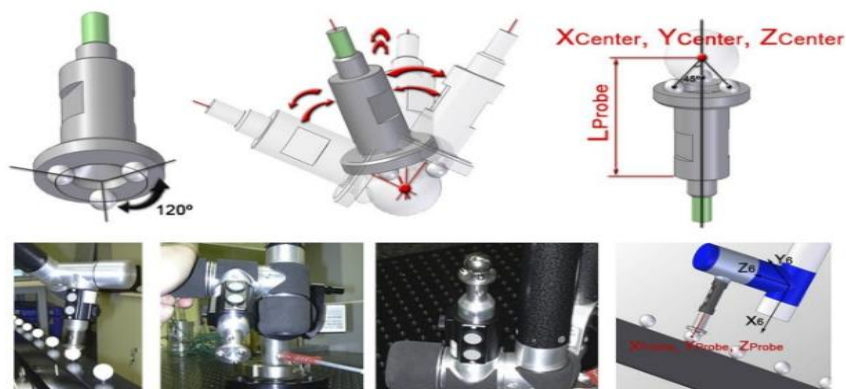


Figure I.3 : Prototype du capteur statique utilisé par San.

En termes d'étalonnage des bras de mesures, Santolaria et al. se sont basés sur la méthode d'étalonnage à boucle ouverte pour définir un modèle permettant d'optimiser les paramètres géométriques d'un bras en utilisant un laser tracker. La MMT mesure directement les coordonnées du centre de la sphère lors de l'étalonnage du bras de mesure. I. A. Sultan a développé un processus d'étalonnage sur la base d'un modèle géométrique dont les paramètres sont identifiés par approximation résultant d'une perturbation aléatoire.

Ont construit un système dans lequel la mesure de position est réalisée avec un système de mesure séparé de la ligne d'étalonnage. Les positions cibles le long de la ligne d'étalonnage sont mesurées avec un interféromètre laser. Dans une autre approche se basant sur la méthode d'étalonnage en boucle fermée, Santolaria et al. Jacobienne du modèle de Denavit Hartenberg pour développer une base théorique d'étalonnage des bras de mesure, en mettant en évidence l'effet des paramètres articulaires sur l'incertitude de mesure.

I.3. Structure du bras Sigma 2025 :

En général, les bras de mesure sont constitués d'éléments en aluminium et en fibre de carbone, Montés sur des articulations à roulements à billes leur conférant six ou sept degrés de liberté.

Les bras récents sont généralement en fibre carbone, à l'exception des articulations qui sont en Aluminium. Le choix de la fibre de carbone se justifie par son poids léger comparé à l'aluminium et sa faible sensibilité à la température. En effet, le carbone se dilate très peu comparé à l'aluminium. En Outre la fibre de carbone a un module d'Young huit fois plus grand que celui de l'aluminium ce qui lui Confère une rigidité théorique beaucoup plus importante. La rigidité globale dépend de la structure De plus, elle est généralement plus faible que la rigidité de la fibre.

Néanmoins, le carbone est plus sensible aux variations climatiques en termes de déformations Résiduelles (libération de contraintes internes provoquant des erreurs d'hystérésis). Il est donc Conseillé aux fabricants de faire subir aux pièces des cycles de vieillissement avant l'étalonnage pour Éviter les dérives rapides des bras fabriqués.

Les forces appliquées sur le bras auront tendance à déplacer la totalité du système de mesure le long D'un axe (ou une combinaison d'axes) ou causer la rotation du système de

Chapitre I : problématique des incertitudes de mesure liées

mesure autour d'un axe (ou une combinaison d'axes) ce qui engendre un décalage entre les axes des codeurs et les axes du Bras et par conséquent induit une incertitude de mesure.

Le bras de mesure SIGMA 2025 est composé d'environ 40% d'alliage d'aluminium et 60% de Composite de fibres de carbone. Il possède 6 axes de rotation reliés entre eux par des liaisons pivots [Figure 4]. Ce porteur peut être équipé de différents types de capteurs avec contact statique à bille ou à pointe, dynamique (RENISHAW TP20) ou sans contact (scanner à ligne laser et capteur CCD). Le Capteur est fixé au support du bras par une liaison de type Boys [T. 4] par l'intermédiaire de trois Rainures [Figure 5].



Figure I.4: Photo du Bras SIGMA 2025 instrumenté.

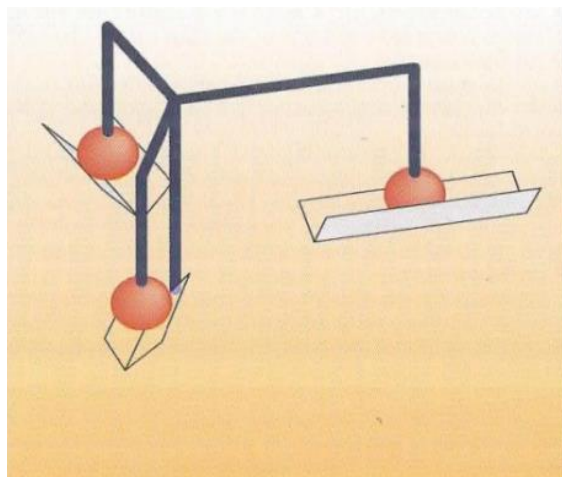


Figure I.5 : Liaison de Boys [T. 4]

I.3.1. Matériaux utilisés :

Comme indiqué dans le paragraphe précédent, le bras de mesure SIGMA 2025 est composé D'environ 40% d'alliage d'aluminium et 60% de composite de fibres de carbone.

I.3.1.1. Alliage d'aluminium :

D'après les informations données par le groupe Hexagon Metrology, l'alliage d'aluminium utilisé Dans la composition du bras Sigma 2025 est un AU4G don 't le module d'Young est de 74 Gpa.

I.3.1.2. Composite de fibres de carbone :

➤ **Fibre de Carbone :**

La fibre de carbone est un matériau à brin long et mince d'environ 0,005 ~ 0,010 mm de diamCarbonElle est composée essentiellement d'atomes de carbone. Les atomes de carbone sont solidaires dans Des cristaux microscopiques qui sont plus ou moins alignés parallèlement à l'axe longitudinal de la Fibre. L'alignement des cristaux rend la fibre extrêmement résistante pour sa taille. Plusieurs milliers De fibres de carbone sont enroulées ensemble pour former un fil, qui peut être employé tel quel ou Tissé.

Ce matériau est caractérisé par sa faible densité, sa résistance élevée à la traction et à la Compression, sa flexibilité, sa bonne conductivité électrique et thermique, sa tenue en température Et son inertie chimique (sauf à l'oxydation).

➤ **Composite de fibre de carbone :**

Un matériau composite est constitué typiquement d'un ou plusieurs nappes de fibres noyées dans Une matrice. Les renforts et la matrice sont miscibles, en ayant une forte capacité d'adhésion. Un Composite de fibres de carbone se réfère à un matériau composite dans lequel au moins l'un des Renforts est la fibre de carbone, courte ou continue, unidirectionnelle ou multidirectionnelle, tissée Ou non tissée. La matrice, lie les fibres renforts, répartit les efforts (résistance à la compression ou à La flexion), assure la protection chimique. Elle est généralement constituée d'un polymère, d'un Métal, d'une céramique, ou d'une combinaison de différents matériaux [4].

Les avantages spécifiques des composites de fibre de carbone tiennent dans le fait qu'ils sont légers Et de faible densité, qu'ils possèdent une haute résistance et rigidité, une conductivité thermique Élevée, un faible coefficient de dilatation thermique, une haute ténacité et une bonne fatigue, ainsi Qu'une résistance au fluage. Par conséquent, les tubes en fibre de carbone garantissent la stabilité et Un poids léger du bras.

➤ **Composite utilisé par ROMER sur les bras Sigma:**

Le matériau utilisé dans la composition du bras Sigma 2025 est, selon les informations données par Romer, un composite à renforts en fibres unidirectionnelles [Figure 6]. Il comporte trois couches Orientées à 0° , 20° et -20° par rapport à l'axe du tube. L'épaisseur du tube est de 2mm et le module D'Young est de 640 Gpa.

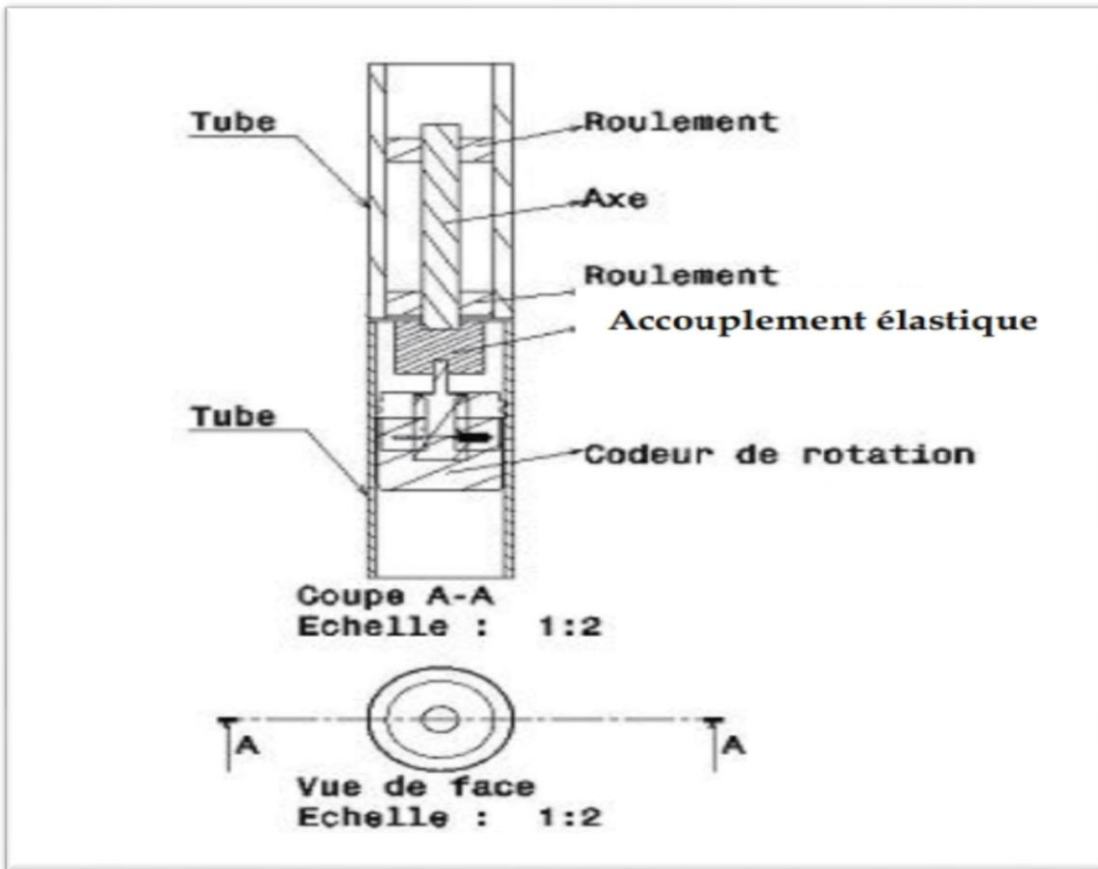
Pour une couche, la résistance à la traction longitudinale est tout à fait indépendante de la liaison Fibre-matrice, la résistance à la traction transversale et la résistance à la flexion (par flexion dans des Directions longitudinale ou transversale) augmentent avec l'augmentation de la liaison fibre-matrice. Cela donne un comportement fortement anisotrope.



Figure I.6 : Composite utilisé par Römer

I.3.2. Composants internes :

Les liaisons entre les parties en fibre de carbone composé et l'alliage d'aluminium sont des liaisons Pivots assurés par des roulements de type SKF. Par ailleurs des accouplements élastiques sont Installés entre les roulements et les codeurs pour pallier les problèmes de coaxialité. La structure Type d'une liaison entre un codeur et un roulement pour un bras



Sigma 2025 est schématisée par la Figure I.8.

Figure I.7 : Schématisation d'une structure interne d'un bras de type Sigma 2025

I.3.2.1. Codeurs angulaires :

A chaque articulation du bras, des codeurs optiques fournissent les coordonnées de leur position (X-YZ) et de leur orientation (I-J-K). Ces codeurs sont des capteurs de position angulaire, composés d'un Axe relié à un des axes d'articulation du bras. Cet axe fait tourner un disque lorsque l'articulation Bouge.

Le disque comporte une succession de parties opaques et transparentes. Une lumière émise Par des Diodes Electro-Luminescentes, traverse les fentes de ce disque créant, sur les photodiodes Réceptrices, un signal analogique et constitue ainsi la partie optique du codeur [Figure 8]. Le signal Électrique recueilli est amplifié puis converti en signal de type carré, qui est alors transmis à un Système de traitement.

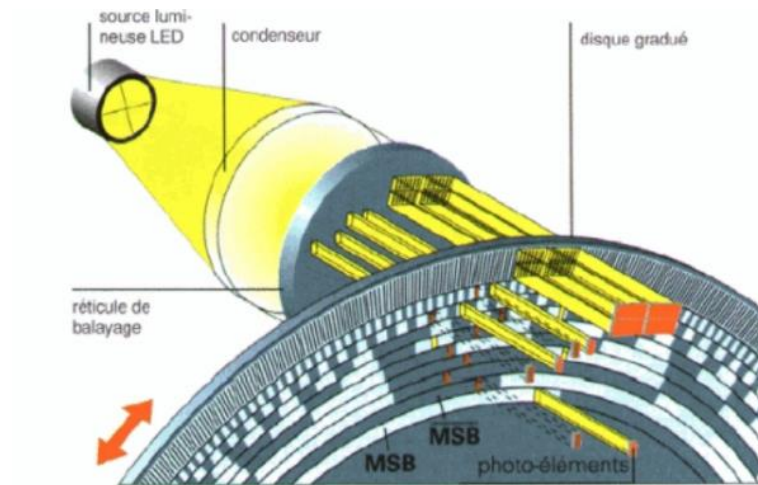


Figure I.8 : Partie optique d'un codeur angulaire [T. 17]

Il existe deux types de codeurs optiques :

I.3.2.2. Le codeur incrémental :

Son disque comporte en général 3 pistes (A, B, Z). Le nombre de fenêtre de la piste A correspond à la résolution du codeur (90 points ci-dessous)

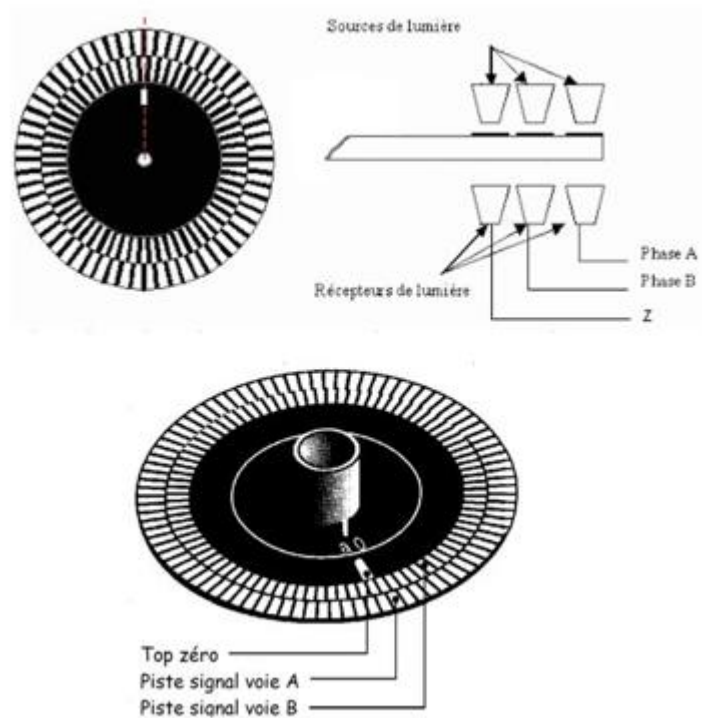


Figure I.9 : Disque d'un codeur incrémental

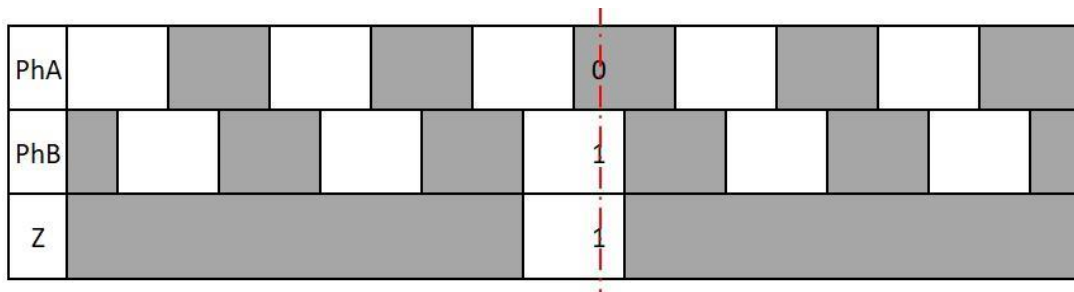
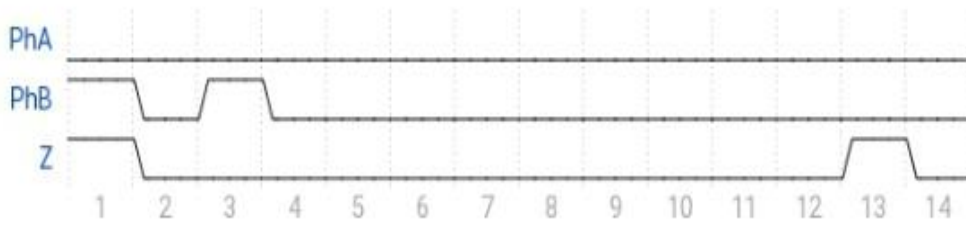


Figure I.10 : Principe de fonctionnement d'un codeur optique

L'axe rouge reste en place PhA, PhB et Z se déplacent vers la gauche lorsque le disque tourne dans le sens anti-horlaire.

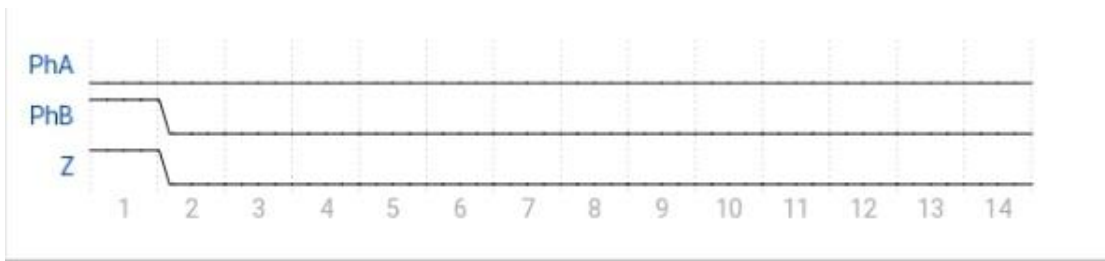
Complétez les chronogrammes à partir du 2ème état (n°2), sachant que le niveau de départ (n°1) est celui de l'axe

Cette fois, le disque tourne dans le sens horlaire, les signaux Pha, PhB et Z se déplacent vers la droite.



Complétez les chronogrammes ci-dessous

En observant les fronts montants de phA et le niveau logique de PhB, indiquez comment déterminer le sens de rotation du disque.



I.3.2.3. codeurs optique Absolu :

Son disque peut comporter un grand nombre de piste. Le codage des pistes est soit en binaire naturel soit en binaire réfléchi (ou code de gray) Code binaire réfléchi

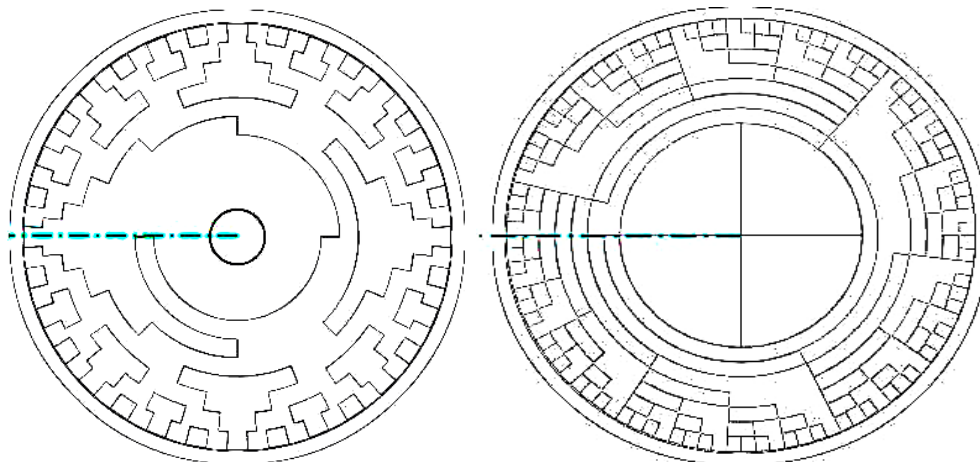


Figure I.11 : Disque 12 pistes d'un codeur absolu

L'axe bleu est fixe, dans quel sens tourne le disque, Afin d'obtenir l'ordre de la table de vérité ci-contre Code binaire (naturel)

Codeur incrémental L'axe bleu est fixe, dans quel sens tourne le disque, Afin d'obtenir l'ordre de la table de vérité ci-contre

Les codeurs absolus ont été développés pour pallier les contraintes générées par les codeurs

Incrémentaux, à savoir :

a. La sensibilité aux coupures de réseau :

Chaque coupure du courant fait perdre la position réelle du mobile. Il faut alors procéder à la réinitialisation. Ce temps de réinitialisation peut être pénalisant pour certaines applications.

b. La sensibilité aux parasites en ligne :

Un parasite reçu sur la ligne peut être comptabilisé par le système de traitement comme un signal d'incrément lorsque les signaux complémentaires ne sont pas pris en compte.

c. Lorsque la fréquence de comptage est élevée

Une erreur de positionnement peut survenir. Le recalage par le « top zéro » est impossible dans le cas de mouvement de type oscillant, si le codeur ne fait pas de tour complet.

Les codeurs utilisés dans le bras Sigma 2025 sont des codeurs incrémentaux [Figure 11]. Ces capteurs ont leur propre roulement et sont en version étanche. Ils sont robustes et de dimensions compactes.

L'accouplement de ces capteurs rotatifs sur l'arbre moteur ou sur la broche s'effectue côté rotor à l'aide d'un accouplement d'arbre séparé qui sert à corriger le jeu axial et les erreurs d'alignement entre l'arbre du capteur et l'arbre moteur

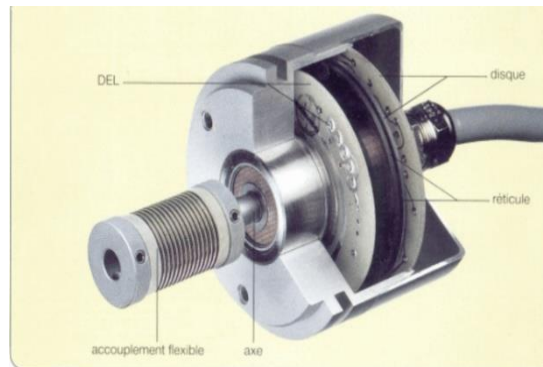


Figure I.12 : Codeur incrémental [T. 17]

I.3.2.4. Roulements :

Pour assurer le guidage en rotation, deux roulements rigides à billes [Figure 12] sont utilisés par axe De rotation.

Le principal avantage des roulements en acier inoxydable réside dans leur résistance à la corrosion En environnements humides et corrosifs.



Figure I.13: Roulements à billes

I.3.2.5. Accouplements élastiques :

Afin de pallier les défauts d'alignement (erreurs de coaxiale) des deux parties en liaison, des Éléments de couplage sont utilisés, connus sous le nom de copings ou accouplements élastiques [Figure 10+. L'accouplement du capteur rotatif est positionné au milieu des liaisons (sauf pour la Première liaison) et permet de relier l'axe guidé par les roulements au codeur.



Figure I.14 : Accouplement élastique

Cette structure du bras avec toutes ses composantes périphériques et internes, ainsi que le matériau Composite utilisé, les conditions environnementales et d'autres facteurs interviennent sur la qualité De mesures avec cet appareil en engendrant des incertitudes de mesure. Les différents paramètres Susceptibles d'influencer le résultat de mesures sont définis ultérieurement.

I.3.3. Composants périphériques :

Les composantes périphériques de la structure porteuse sont : l'équilibrage, le capteur et l'étalon permettant de réaliser les mesures.

I.3.3.1. L'équilibrage :

L'équilibrage est un dispositif qui permet d'exercer sur la structure un effort dirigé vers le haut afin de faciliter la manipulation. Il est composé de deux parties principales :

- Un contrebalancement sous forme de tube en fibre de carbone fixé avec la fourchette en aluminium pour le bras Sigma 2025 [Figure 12].

- Le vérin pneumatique [Figure 13] qui exerce une force de soutien et permet l'équilibrage du bras. Comme indiqué par le nom, sa fonction principale est de soutenir le bras (lifting). Ainsi, il rend l'utilisation du bras plus confortable. Pour le bras Sigma 2025, le générateur d'effort est de type LIFT-O-MAT, standard des vérins d'équilibrage de la marque

STABILUS dont les caractéristiques techniques sont données à l'Annexe I.



Figure I.15 : Tube en fibre de carbone fixé avec la fourchette en aluminium.



Figure I.16 : Vérin pneumatique

I.3.3.2. Le capteur :

Les palpeurs utilisables sur bras de mesure peuvent être de type statique, dynamique ou un scanner A nappe laser, ce qui modifie inévitablement les fluctuations du point mesuré, à savoir :

pour un capteur statique quelconque, l'acquisition de la mesure se fait toujours par une impulsion électrique déclenchée par l'opérateur (en général, un appui sur un bouton). De ce fait, l'effort de contact est géré directement par l'opérateur et l'assiduité de celui-ci conditionne la déformation de la structure et donc la fluctuation du point mesuré. On peut considérer que l'opérateur exerce les mêmes efforts quel que soit le capteur statique utilisé.

- Pour un capteur dynamique, la prise de mesure est effectuée directement par le capteur et l'effort de contact est donc maîtrisé et connu.



- Pour un scanner à nappes laser, il n'y a pas de contact avec la Pièce.
L'opérateur, en manipulant le bras, le contraint et le Déforme. Les mesures sont



réalisées « à la volée » en dynamique Sans contact.

I.4. Démarche de l'étude pour la détermination des incertitudes de mesures des bras polyarticulés portables :

Ainsi et compte tenu de la structure des bras de mesure, l'incertitude de mesure est impactée par de nombreuses grandeurs d'influence dues essentiellement aux matériaux utilisés, aux liaisons internes, aux différents composants, aux paramètres géométriques ainsi qu'aux paramètres environnementaux notamment la température, les déformations engendrées par l'effort exercé par l'opérateur, la vibration, ... A cet effet, avant d'entamer notre étude, nous devons tout d'abord choisir la méthode la plus adéquate pour la détermination des incertitudes de mesure liées au bras poly articulé portable. Cette étape fera l'objet de ce paragraphe. Nous commencerons par un rappel sur la notion d'incertitude et une présentation des différentes méthodes d'estimation des incertitudes de mesures pour aboutir à la détermination de la démarche suivie dans notre étude.

I.4.1. Notion d'incertitude de mesure :

L'incertitude de mesure, selon le vocabulaire international de la métrologie (VIM) [N. 3], est un paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande (la grandeur soumise à mesurage). On doit donc, à chaque résultat du mesurande, associer une incertitude-type (écart-

type). L'incertitude élargie que l'on affichera sera alors un multiple de l'incertitude type. Le résultat définit alors un intervalle dans lequel on peut espérer trouver un grand nombre de valeurs qui peuvent raisonnablement être attribuées au mesurande considéré. Même si on utilise l'appareil le plus performant au monde, les mesures ne seront jamais exactes. En effet, plusieurs paramètres interviennent sur le résultat de ces mesures en engendrant des erreurs plus au moins importante selon la procédure de mesure, les conditions climatiques... Hors, de très nombreuses décisions sont fondées sur des résultats de mesure, dont notamment [T. 12]:

- l'acceptation d'un produit ;
- la validation d'un procédé ;
- le réglage d'un paramètre (de fabrication) ;
- la validation d'une hypothèse (Recherche et développement) ;
- la surveillance (de l'environnement) ;
- la sécurité (d'un produit ou d'un système) ;
- le diagnostic (médical) ;

Prendre de bonnes décisions est impératif pour toutes les entreprises. L'incertitude associée à un résultat de mesure permet de fournir une indication quantitative sur la qualité de ce résultat. Cette information est essentielle pour estimer la fiabilité d'un résultat de mesure. Sans incertitudes, les résultats de mesure ne sont plus comparables ni entre eux, ni par rapport à des valeurs de référence spécifiées dans une réglementation ou une norme. Pour résumer : Evaluer les incertitudes, c'est avant tout maîtriser le processus de mesure. Cependant, cette notion d'incertitudes est relativement récente. Les idées de base, qui structuraient l'approche de détermination des incertitudes, ont été présentées en septembre 1976 par Müller lors d'une conférence organisée par l'Institut Allemand de Métrologie (PTB). Le point clé de la réflexion de Müller, publiée en 1979, était d'unifier la prise en compte des erreurs systématiques et aléatoires dans le cadre d'une approche statistique. En octobre 1980, un groupe de travail du Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) a publié un rapport de 14 pages qui formalise une approche complète de calcul d'incertitudes. En 1993, l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) a publié le Guide pour l'expression des

incertitudes communément appelé le « GUM » (Guide to the expression of Uncertainty in Measurement) N. 1]. Ce guide a considérablement clarifié la situation en posant le fait que les incertitudes doivent être clairement identifiées comme des incertitudes-types (écart-type pour les mathématiciens) ou des incertitudes élargies en prenant en compte l'ensemble du processus de mesure contrairement à la méthode classique qui se basait sur la somme des variations ne prenant en compte que l'instrument. La publication de ce guide permettait de palier les problèmes liés à l'existence de plusieurs approches pour calculer les incertitudes, manifestés principalement par l'impossibilité de comparer les résultats de mesure faute de compatibilité entre les approches employées. Cependant la méthode du GUM, présente quelques insuffisances pour les cas plus compliqués et ayant des variables corrélées. A cet effet, le supplément 1 [N. 2] a été publié en 2008, il a introduit la méthode de Monte-Carlo. Par ailleurs, il existe d'autres approches pouvant être employées telle que la méthode bayésienne [6] [5] basée sur le théorème de Bayes qui est utilisé dans l'inférence statistique pour actualiser les estimations d'un paramètre quelconque à partir des observations et des lois de probabilité de celles-ci. Toutefois, dans certains cas où il s'avère difficile de trouver le modèle mathématique, quelques laboratoires se basent sur l'utilisation des essais interlaboratoires [N. 6] pour déterminer leurs incertitudes. Cependant cette méthode est limitée. En effet si tous les laboratoires présentent une erreur de justesse on ne pourrait pas s'en apercevoir. De plus, si on ne change, même qu'une étape du processus, l'incertitude devient différente et l'étude est donc à refaire (incertitude définitionnelle).

Les deux méthodes publiées dans le GUM [N. 1] et son supplément 1 [N. 2] seront détaillées dans les paragraphes suivants.

I.4.2. Méthode du GUM [N. 1] :

Le calcul des incertitudes de mesure selon le GUM, est basé sur le modèle de la mesure, c'est-à-dire sur une description mathématique du processus utilisé pour déterminer le résultat du mesurage. Les variables de ce modèle sont les grandeurs d'entrée qui sont estimées. Les composantes de l'incertitude de mesure sont alors les incertitudes associées aux estimations des grandeurs d'entrée. Ces composantes représentent des incertitudes provenant de phénomènes aléatoires et Systématiques. Les effets systématiques doivent impérativement

être recherchés et les résultats de mesure doivent être corrigés de ces effets tout en introduisant dans le calcul des incertitudes de mesure, les incertitudes sur la correction.

Il existe deux grands types d'évaluation des composantes d'incertitudes, à savoir :

- Les composantes de type A qui sont évaluées par des méthodes statistiques à partir de séries D'observations

- Les composantes de type B qui correspondent aux autres composantes. Celles-ci sont des Grandeurs issues de jugement d'expert, d'informations de la bibliographie, des certificats D'étalonnage,...

Dans la méthode analytique du GUM, l'incertitude finale, également appelée incertitude composée Est obtenue en propageant les composantes élémentaires à l'aide d'une approximation linéaire Déduite du modèle de la mesure. L'approche du GUM repose sur quatre principales étapes, comme

Suit :

ETAPE 1 : Analyse du processus de mesure :

➤ **Définition du mesurande :**

Le mesurande est défini dans le VIM [N. 3] comme : « grandeur particulière soumise à mesurage ». Le Mesurande définit donc en plus de la grandeur, l'environnement de mesure. La définition du mesurande est une tâche essentielle. Elle doit correspondre aux besoins du « client » Et faire l'objet d'un accord client-fournisseur. La définition du mesurande doit être d'autant plus Complète que l'on recherche une faible incertitude (notion d'incertitude définitionnelle).

➤ **Identification des causes d'erreur :**

Il s'agit de déterminer les différents paramètres qui peuvent influencer le résultat de mesures. La Méthode la plus utilisée pour identifier les causes d'erreur est le diagramme 5M (Moyens, Méthode, Milieu, Matière, Main d'œuvre), qui analyse le processus de mesures pour lister toutes les

Composantes d'incertitudes.

➤ **Détermination des grandeurs d'entrée X_i :**

Ces grandeurs ont des origines multiples. Elles peuvent être directement obtenues au cours du Mesurage, issues d'un processus de correction, résultant d'un « jugement d'experts », ou obtenues Grâce à des sources extérieures comme la bibliographie ou les certificats d'étalonnage.

➤ **Modélisation mathématique du processus de mesures :**

Modéliser le processus de mesures consiste à écrire le modèle mathématique qui relie le mesurande(Y), aux grandeurs d'influence (X_1, X_2, \dots, X_n) qui contribuent significativement à l'incertitude de Mesure, sous forme : $Y=f(X_1, X_2, \dots, X_n)$.

ETAPE 2 : Quantification des sources d'incertitude :

Il s'agit de quantifier les grandeurs influentes identifiées par le diagramme des 5M en explicitant la Notion d'incertitude-type. Les différentes sources d'incertitude sont évaluées par les méthodes de Type A ou B

➤ Méthode d'évaluation de type A : grandeur d'entrée étudiable par une série statistique dont On calculera la moyenne et la variance à travers l'exploitation des données expérimentales.

➤ Méthode d'évaluation de type B : par un jugement scientifique fondé sur toutes les Informations disponibles. Ces informations peuvent être issues des certificats d'étalonnage, Des jugements d'experts, de la bibliographie,...

ETAPE 3 : Détermination de l'incertitude composée :

Une fois le modèle mathématique est déterminé et les incertitudes-types sont quantifiées, l'incertitude composée est estimée à partir d'un développement de Taylor au premier ordre :

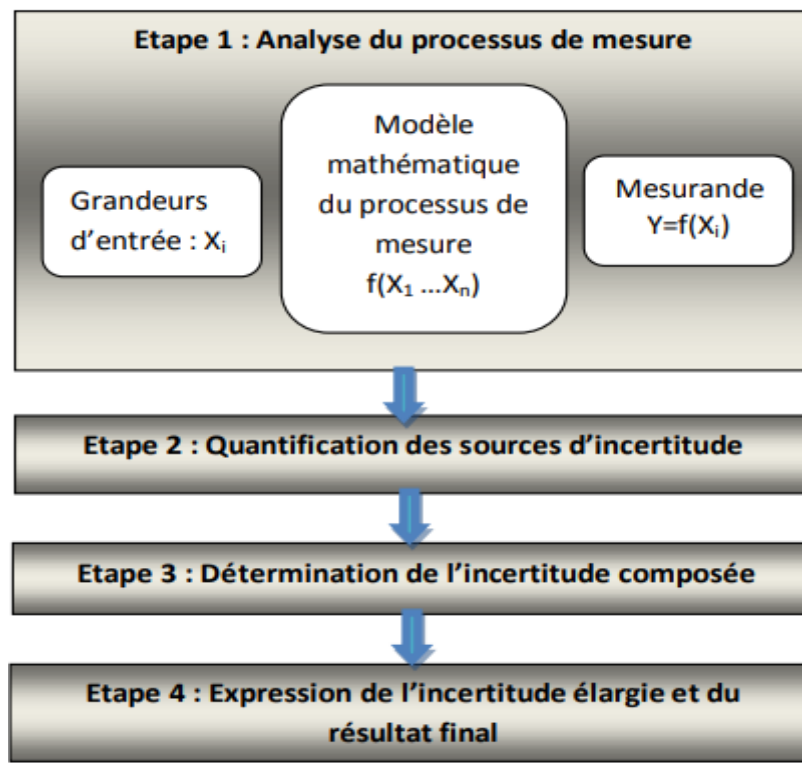


Figure I.17 : Schéma global du principe de la méthode du GUM

ETAPE 4 : Expression de l'incertitude élargie et du résultat final

L'incertitude élargie s'obtient en multipliant l'incertitude composée par un facteur d'élargissement k . En général, on prend une valeur de k égale à 2. Ce qui correspond, dans le cas d'une loi normale, à une probabilité de 95% que la valeur vraie du mesurande se trouve dans l'intervalle de confiance $(E \pm 2 \cdot u_c)$, où E est l'espérance mathématique et u_c est l'incertitude composée).

I.5.Limites de la méthode du GUM :

Il existe un certain nombre de cas où la méthode analytique du GUM est difficile, voire impossible à réaliser. En effet, la méthode analytique présente des insuffisances à savoir :

- La prise en compte des lois de densité de probabilité par la moyenne et l'écart-type n'est suffisante et satisfaisante que pour une gaussienne.

La nécessité de calculer des dérivées partielles (coefficient de sensibilité) n'est pas forcément simple et faisable.

- La propagation des incertitudes sur la base du développement de Taylor au premier ordre est insuffisante lorsque le système est fortement non linéaire.

- La prise en compte des covariances est délicate.

- Le choix du facteur d'élargissement est guidé par le théorème central limite. Mais ce choix reste difficile à argumenter lorsque la loi de densité de probabilité n'est pas connue.

De ce fait, et en vue de remédier à ces insuffisances, la méthode de Monte Carlo pour l'estimation des incertitudes de mesure est utilisée.

I.6.CONCLUSION :

Dans ce chapitre, nous avons présenté le contexte et la démarche de l'étude pour la détermination des incertitudes de mesures des bras poly articulés portables. Il s'est divisé en quatre principales parties.

Dans le prochain chapitre, nous allons, en première étape, déterminer les paramètres d'influence en traçant un diagramme 5M. En deuxième étape, nous allons mettre en place un dispositif expérimental pour déterminer la répétabilité des mesures. En effet, vu que le bras de mesure est utilisé dans un processus de mesures manuelles, mais aussi que ces mesures par ce dispositif ne sont pas bijectives, les résultats de l'étude expérimentale de la répétabilité nous permettra d'avoir une première estimation de la qualité des mesures. Dans la troisième partie de ce chapitre, nous évaluons expérimentalement l'effet des paramètres environnementaux, notamment la température et la vibration sur la répétabilité des mesures. Cette évaluation vise à déterminer l'effet de ces paramètres en conditions laboratoire et en conditions atelier étant donné que les bras de mesure sont conçus pour être utilisés sur site de production

Chapitre II:

Facteurs d'influence et méthode 5M

II.1. INTRODUCTION :

Les facteurs sont des grandeurs physiques modifiables par l'expérimentateur, sensées influé sur les variations de la réponse. L'objectif de ce chapitre est de déterminer les facteurs influents sur l'incertitude de mesure et de donner une estimation expérimentale de la dispersion des mesures. Pour ce faire nous commençons dans le premier chapitre par l'étude de la méthode la plus utilisé par les cercles de qualité c'est le diagramme 5M qui permet d'identifier les facteurs d'influence.

Ensuite, une étude expérimentale de la répétabilité des mesures est réalisée afin de valider le modèle développé lors de la simulation de Monte Carlo de niveau 1.1. Enfin, on va évaluer les paramètres environnementaux notamment la température et la vibration.

II.2. Diagramme 5M :

II.2.1. Présentation :

Le diagramme d'Ishikawa est une illustration graphique en forme d'un poisson dont la tête représente le problème ou l'effet proprement dit et les différentes arêtes, 5 en général, affichant chacune une catégorie de causes éventuellement à l'origine d'un problème. Ce diagramme est aussi une manière graphique de représenter les causes provoquant des erreurs de mesures. Les 5 grandes sources d'incertitudes sont donc :

- La Matière
- Le Moyen
- La Méthode
- La Main d'œuvre
- Le Milieu

II.2.2. Construction du diagramme

- Premièrement une présentation des facteurs d'influence pour un processus de mesure d'une pièce quelconque en utilisant un bras polyarticulé portable est réalisée.
- Ensuite, on se focalise sur les paramètres pris en compte dans cette étude. Le diagramme 5M obtenu du processus de mesure utilisant le bras de mesure est représenté sur la [Figure 01].

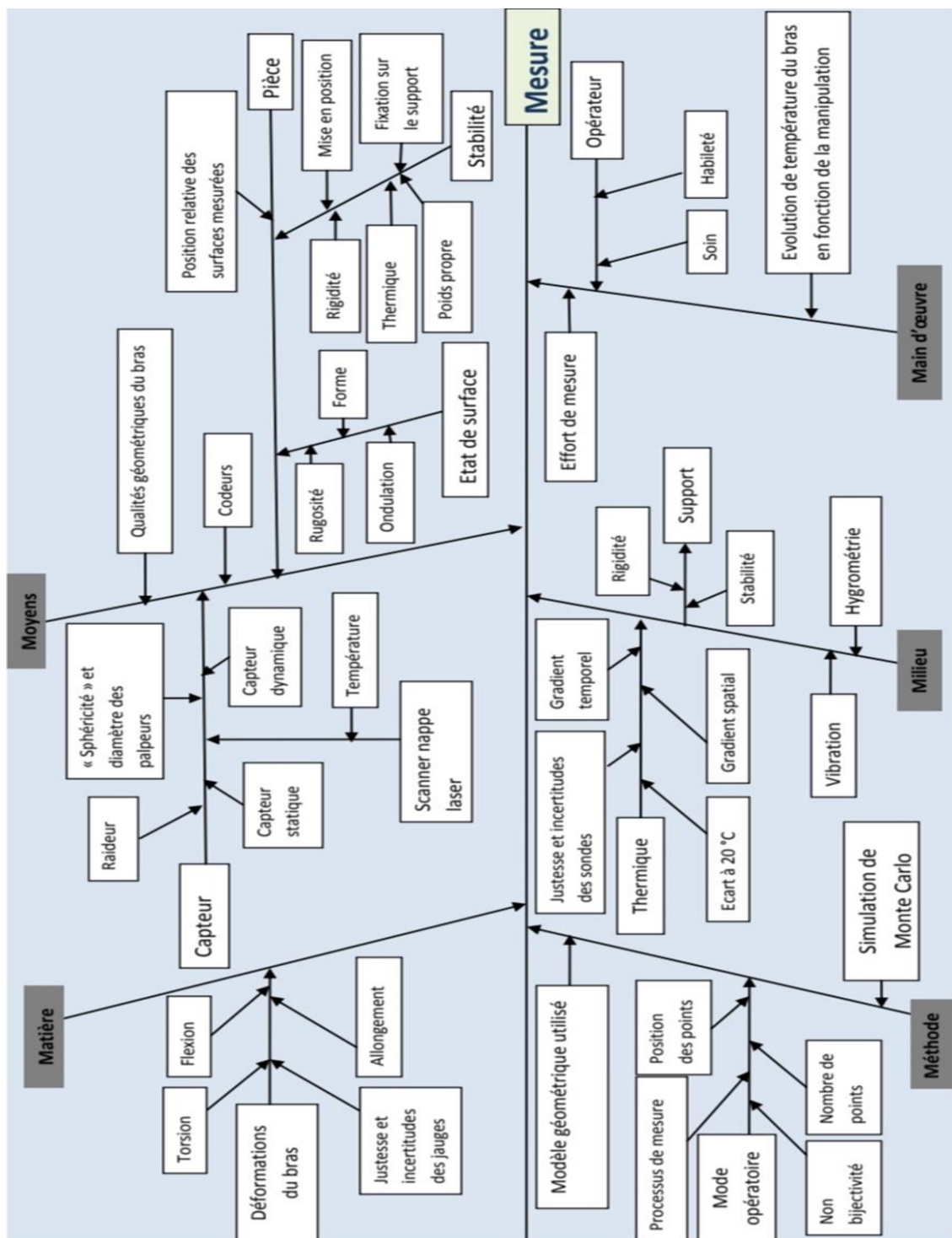


Figure II. 1: Diagramme 5M d'un processus de mesure utilisant un bras polyarticulé portable

II.2.2.1.Matière :

Il est question ici de toutes les composantes de produits, matières, constituants, substances ou denrées indispensables à un projet, mission ou événement : matières premières,

quantité et qualité des denrées, entrées de processus, papier, internet, électricité, eau, packaging, informations...

Le bras Sigma 2025 est constitué d'aluminium et de carbone répartis uniformément, En raison de la non maîtrise de l'action de l'opérateur (efforts exercés), la structure se déforme.

Les principales déformations rencontrées peuvent être caractérisées par :

- **La torsion** : due aux relâchements de contraintes résiduelles dans les fibres de carbone. Cette composante est introduite dans le modèle en tant qu'une variation angulaire uniforme de moyenne nulle et de dispersion égale à $\Delta\theta_i$ sur le codeur considéré.
- **La flexion** : des poutres, liés à la fois au poids propre des différentes pièces constituant le bras, mais aussi et surtout à cause des efforts qui sont exercés lors de la mesure. Les parties en carbone étant plus souples que celle en aluminium, la flexion sera prépondérante sur les pièces en composite.
- **L'allongement** : La source principale de l'allongement des poutres est la variation de température. Le coefficient de dilatation de l'aluminium étant beaucoup plus important que celui du carbone, les pièces en alliage d'aluminium seront les plus soumises à l'allongement.

Les déformations ont été évaluées en utilisant quatre jauges d'extensomètre unilatérales et deux rosettes rectangulaires composées chacune de trois jauges présentant des angles entre elles de 45° , étaient collées sur le bras.

II.2.2.2. Moyens :

➤ Codeurs

Les codeurs utilisés dans les articulations du bras Sigma 2025 sont des codeurs incrémentaux (fait partie des systèmes de détection conventionnels) et ceux utilisés dans le bras Absolue sont des codeurs absolus (attribué à chaque pas angulaire).

Si le codeur n'est pas positionné exactement sur l'axe une erreur d'alignement peut être engendrée et cette composante sera intégrée comme une erreur équivalente à de la flexion de poutre.

Les coordonnées des points mesurés (X, Y, Z) sont le résultat de la connaissance de l'orientation angulaire (La résolution angulaire est fournie par le constructeur) des différentes liaisons du bras et de la connaissance de la géométrie des pièces constituant le bras.

➤ Capteurs

La nature des capteurs utilisés peut entraîner des erreurs de position du point de mesure selon :

- le principe du capteur (statique, dynamique, sans contact)
- sa forme (longueur, diamètre)
- le matériau
- La raideur du capteur
- Sa sphéricité et son diamètre

➤ Qualité géométrique du bras

Le bras de mesure est un porteur anthropomorphe à structure ouverte simple. En effet, la structure du bras est similaire à celle d'un bras humain avec ses différentes articulations.

L'erreur de mesure finale dépend fondamentalement de la détermination du modèle géométrique, dont la longueur des différentes poutres, est une source importante d'erreurs de mesure. En effet, seules les longueurs nominales des composantes du bras fournies par le constructeur sont disponibles. Les longueurs réelles des composantes du bras doivent être estimées par étalonnage, en mesurant un étalon dans différentes positions.

Les erreurs des liaisons qui ne sont pas parfaites et qui présentent des erreurs de positionnement sont estimées et prises en compte dans les paramètres du modèle géométrique du bras.

➤ Pièce à mesurer

Les caractéristiques de la pièce à mesurer induisent une erreur de mesure à savoir :

- La position relative des surfaces mesurées, prise de références
- L'état de surface (Rugosité, Ondulation, Forme)
- La stabilité (Thermique, Mise en position, Fixation sur le support, Rigidité, Poids propre)

II.2.2. 3. Milieu :

De manière générale désigne tout l'environnement, quel qu'il soit, qui peut avoir de l'impact sur l'accomplissement du projet, de l'activité ou de l'événement : la chaleur, le froid, les intempéries, le lieu du travail, le domaine d'activité, le marché, la concurrence, les paramètres politiques, la législation, les facteurs socioéconomiques.....

➤ **Thermique**

• **Ecart à 20 °C :**

Mesurer à des températures autres que les 20°C standard peut avoir un effet négatif sur la qualité des mesures. La nature portable de ces appareils garantit qu'ils seront utilisés pour des mesures dans la plus large gamme d'environnements industriels. Cependant, la mesure d'une pièce à une température différente de sa température de conception peut entraîner des variations dimensionnelles de cette dernière.

Pour évaluer l'effet de la température, la chambre et le bras (Sigma) ont été équipés d'une sonde de température de type PT100 parce que le bras Sigma n'a pas de correction de température comme les autres appareils donc l'utilisation du bras de mesure en atelier à des températures non proches de 20 °C a aussi été évaluée en protocole défini.

• **Gradient spatial :**

L'évaluation du gradient spatial a été faite en caractérisant la pièce en enregistrant la température délivrée par différentes sondes dans la salle fermée sur une période de 12 heures.

La salle est climatisée, le flux de température n'est pas homogène dans l'espace de travail du bras.

• **Gradient temporel :**

Lors des mesures la température varie au cours du temps, L'évolution de la température est relevée simultanément tout au long du processus de mesure.

➤ **Vibration**

La performance du bras est influencée par les paramètres de vibration, l'amplitude totale et la gamme de fréquence.

Afin d'évaluer l'effet de la vibration sur les résultats des mesures on place un pot vibrant à côté du bras (fréquence 20 Hz) pour simuler des vibrations rencontrées en atelier on peut

➤ **Hygrométrie**

Il est actuellement démontré que celle-ci n'a pas d'influence sur la mesure des pièces métalliques dès lors que l'on n'a pas atteint le point de rosée. D'ailleurs dans la norme ASME B89, l'effet de l'hygrométrie sur les résultats de mesure est jugée négligeable.

➤ **Support**

Une erreur de mesure est induite par la rigidité et la stabilité du support, cette erreur est intégrée directement dans l'analyse vibratoire.

II.2.2.4.Main d'œuvre :

Il s'agit de toute personne impliquée, d'une façon ou d'une autre, dans le projet, mission ou événement étudié.

➤ L'opérateur

Les habitudes de l'opérateur, son habileté, son soin et les efforts exercés sur le bras lors de sa manipulation provoquent des erreurs de mesures.

Les efforts peuvent être estimés en mesurant le plateau d'une balance électronique et en relevant les efforts appliqués au contact.

Les erreurs de mesures sont intégrées directement dans la répétabilité des mesures.

La manipulation du bras produit une augmentation de température au contact de l'opérateur.L'effet de cette manipulation est étudié en relevant la température du bras en le tenant dans la main pour plusieurs minutes.

II.2.2.5.Méthode :

On fait allusion à ce titre aux méthodes de travail, procédures mises en place, organisation des tâches, aux descriptifs des jobs, marches à suivre, recherches et développement..

➤ Modèle géométrique utilisé :

Le paramétrage de Denavit Hartenberg est utilisé pour la modélisation du bras de mesures.

➤ Processus de mesure :

C'est la succession d'étapes de mesure dont le choix de la séquence de mesures et des configurations du bras, le passage d'une position à une autre.

➤ Nombre de points :

Le nombre de points mesurés induit une erreur de mesure.

➤ Position des points :

La position des points dans le référentiel de mesure induit une erreur de mesure.

➤ Non-bijectivité :

-Un point peut être mesuré en suivant les différentes positions des différents composants du bras. -L'incertitude n'est pas nécessairement la même pour tous les emplacements.

-L'effet de la non-bijectivité a été évalué en évaluant les mesures aux points dans différentes configurations.

➤ **Simulation de Monte Carlo**

La méthode de Monte Carlo, appelée aussi Propagation des distributions, a été introduite en métrologie dans les années 1990 et complète le GUM en 2008 sous la forme d'un supplément 1 .Cette méthode est aujourd'hui la méthode reconnue de référence dans la mesure où elle ne fait pas autant d'hypothèses que la méthode analytique et est presque toujours applicable

Les paramètres pris en compte dans la simulation de Monte Carlo sont les principales sources d'incertitudes à savoir :

- la température,
- les déformations,
- la résolution des codeurs.

De même, le nombre de simulations Monte Carlo effectuées a un effet direct sur l'incertitude finale obtenue. La stabilité de l'écart-type de contrôle doit être étudiée.

Le résultat est comparé à la répétabilité qui est déterminée de manière expérimentale.

L'objet de notre étude étant principalement d'évaluer le porteur, nous ne tenons en compte dans notre approche, que des paramètres influençant ce dernier, à savoir : les déformations des différents composants du bras, les qualités géométriques du bras, les codeurs, la température, la vibration, le modèle géométrique considéré et la simulation Monte Carlo

II.3.Etude expérimentale de la répétabilité des mesures :

Nous étudions dans ce paragraphe la répétabilité de mesures expérimentales dont les résultats seront exploités pour valider les résultats obtenus par la simulation de Monte Carlo de niveau 1.1.

II.3.1.Procédure de mesure :

La répétabilité des résultats de mesurage est défini comme une Étroitesse de l'accord entre les résultats de mesurages successifs du même mesurande, mesurages effectués avec l'application de la totalité des mêmes conditions de mesure.

Les conditions de répétabilité sont :

- Le même mode opératoire
- Le même observateur
- le même instrument de mesure utilisé dans les mêmes conditions
- le même lieu
- la répétition durant une courte période de temps.

La répétabilité peut s'exprimer quantitativement à l'aide des caractéristiques de dispersion des résultats de n mesures réalisées (Toutes les sources d'incertitudes identifiées dans le diagramme 5 M, qui ne peuvent pas être quantifiées, sont intégrées dans la répétabilité).

Pour déterminer les résultats de la répétabilité, nous utilisons une barre étalon à billes étalonné. Constituée de trois zones de mesure. Chaque zone est composée de trois billes situées à 120° . La mesure d'un point consiste donc à mettre en contact le capteur sur les trois billes afin d'en assurer la stabilité, et permet de réaliser des mesures de répétabilité de points et de distance.

La stabilité de prises de points sur la barre étalon par le capteur de référence a été vérifiée en reproductibilité à l'aide d'une machine de mesure tridimensionnelle (MMT). L'erreur de positionnement de cette liaison est négligeable vis-à-vis des incertitudes de mesures (inférieure au micromètre)



Figure II .2 : Photo de l'étude de la stabilité de prise d'un point sur MMT

L'ASME B89.4.22-2004 définit les différentes positions pour la vérification et l'étalonnage des bras de mesure. Pour évaluer la répétabilité des mesures sur quelques positions représentatives.

- Pos 1 : Position Horizontale Haut selon l'axe X;
- Pos 2 : Position Horizontale Haut selon l'axe Y;
- Pos 3 : Horizontale selon l'axe X;
- Pos 4 : Horizontale selon l'axe Y;
- Pos 5 : Position Incliné de 45° selon l'axe X;
- Pos 6 : Position Incliné de 45° selon l'axe Y;
- Pos 7 : Position Verticale selon l'axe X;
- Pos 8 : Position Verticale selon l'axe Y;
- Pos 9 : Incliné selon l'axe X;
- Pos 10 : Incliné selon l'axe Y;
- Pos 11 : Incliné Interne selon l'axe X;
- Pos 12 : Incliné interne selon l'axe Y.

Pour chaque position, nous étudions la répétabilité sur la mesure d'un point en mesurant cent fois le même point tout en minimisant le mouvement du bras, et la répétabilité sur la mesure d'une distance en mesurant cent fois la distance entre les deux points extrêmes de la barre tout en minimisant le mouvement du bras.

Le logiciel de mesure fournit les coordonnées (Xi, Yi, Zi) de chaque point mesuré :

-La distance D_{1-2} entre deux points 1 et 2 est calculée en utilisant la formule suivante :

$$D_{1-2} = \sqrt{(X_1 - X_2)^2 + (Y_1 - Y_2)^2 + (Z_1 - Z_2)^2}$$

- La répétabilité dans le plan donnée par $\sigma_p = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2}$ et la répétabilité verticale selon l'axe z

donnée par σ_z .

-Pour les mesures de distance, les valeurs analysées sont la moyenne et l'écart type de la distance D_{1-2} .

II.3.2. Analyse des résultats :

Position	σ_x (μm)	Dist X	σ_y (μm)	Dist Y	σ_p (μm)	σ_z (μm)	Dist Z	σ_D (μm)	Dmoy (mm)	Dist D
Pos 1	14.5	NG	6.7	G	16.0	6.0	G	73.2	710.069	NG
Pos 2	7.8	G	6.7	G	10.3	15.1	G	77.1	710.071	G
Pos 3	5.7	G	8.5	NG	10.2	9.1	G	39.0	709.974	G
Pos 4	5.7	G	7.1	G	9.1	8.2	G	12.7	709.997	NG
Pos 5	12.5	G	12.0	G	17.3	6.9	G	32.1	710.075	G
Pos 6	8.5	G	12.4	G	15.0	11.1	G	28.6	710.003	G
Pos 7	6.1	G	6.4	G	8.8	8.1	G	68.6	710.059	NG
Pos 8	7.6	G	8.0	G	11.0	6.4	G	18.2	710.046	G
Pos 9	8.9	NG	9.9	NG	13.3	4.4	G	13.1	710.011	G
Pos 10	7.6	G	7.4	G	10.6	8.2	G	25.4	709.989	G
Pos 11	11.9	G	11.2	G	16.3	8.1	G	160.6	710.090	NG
Pos 12	11.4	NG	10.8	NG	15.7	10.6	NG	20.0	709.970	G

TableauII. 1: Résultats de l'étude de répétabilité sur la mesure de point et de distance³

-Dist X, Dist Y, Dist Z, Dist D sont les distributions respectives des coordonnées X, Y, Z et de la distance D.

-G= Distribution gaussienne

-NG= Distribution non gaussienne.

➤ **Pour la mesure de points**

- Les positions qui donnent la meilleure répétabilité sont respectivement : Pos 7, Pos 4, Pos 8, Pos 10 et Pos 3.

- Les positions les moins avantageuses sont respectivement Pos 12, Pos 6, Pos 11 et Pos 5.

➤ **Pour la mesure de distance**

- Les positions qui donnent la meilleure répétabilité sont respectivement : Pos 4, Pos 9, Pos 8, Pos 12 et Pos 10

-Les positions qui donnent les écart-types les plus élevés sont respectivement Pos 11, Pos 2, Pos 1 et Pos 7

- Pour les positions : Pos 3, Pos 4, Pos 9, et Pos 10 la valeur étalon se trouve à l'extérieur de l'intervalle de mesures.

➤ **Pour la position Pos 11**

-La répétabilité sur la mesure de distance est très élevée (160 μm), ce qui nous permet d'en déduire que cette position est en dehors de la zone d'étalonnage du bras.

II.3.3. Protocole de palpation :

La norme ISO 10360 propose aussi des essais de vérification des systèmes de palpation articulés. Les erreurs liées au système de palpation articulée sont : AF, AS et AL, respectivement erreurs liées à la forme, erreurs liées à la taille et erreurs liées à la position. Ces erreurs ne doivent pas dépasser les erreurs maximales tolérées correspondantes (MPEAF, MPEAS, MPEAL).

Afin d'évaluer l'effet du protocole de palpation sur la répétabilité de mesures, nous avons mesuré deux emplacements de la barre étalon en utilisant trois protocoles de palpation différents : capteur vertical au point mesuré, capteur incliné-Type1 et capteur incliné-Type2.

Les résultats ont montré que les écarts-types obtenus pour les deux points mesurés sont identiques pour les trois protocoles considérés. Donc le protocole de palpation n'a pas d'influence sur les répétabilités considérées.

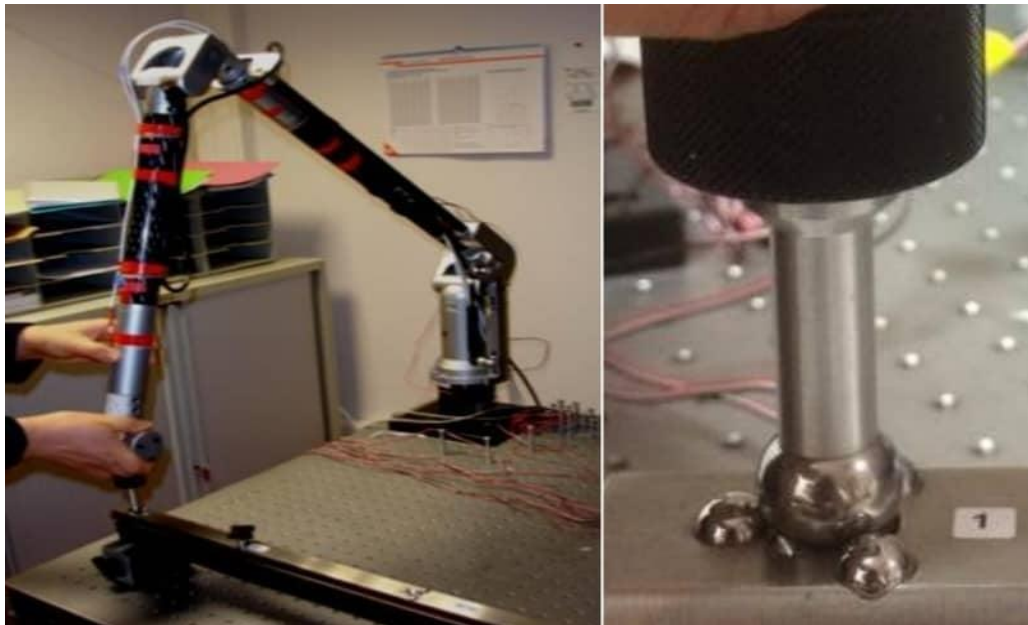


Figure II .3: Palpage vertical

II.3.4. Conclusion :

- Le bras a une erreur de précision dans la mesure de distance. En fait, la valeur standard est généralement en dehors de l'intervalle de mesure.

- L'écart type varie selon l'emplacement d'une position à l'autre. En fait, certaines positions sont plus avantageuses que d'autres. A cause de la différence entre les sollicitations appliquées aux bras d'une position à l'autre. Ce résultat sera étudié ultérieurement dans l'évaluation des déformations des différentes parties du bras et leur impact sur l'incertitude globale de mesures.
- la répétabilité de mesure est le cumul des erreurs de mesure dues aux différents paramètres d'influence. L'évaluation des différents paramètres d'influence est étudiée aux paragraphes suivants.

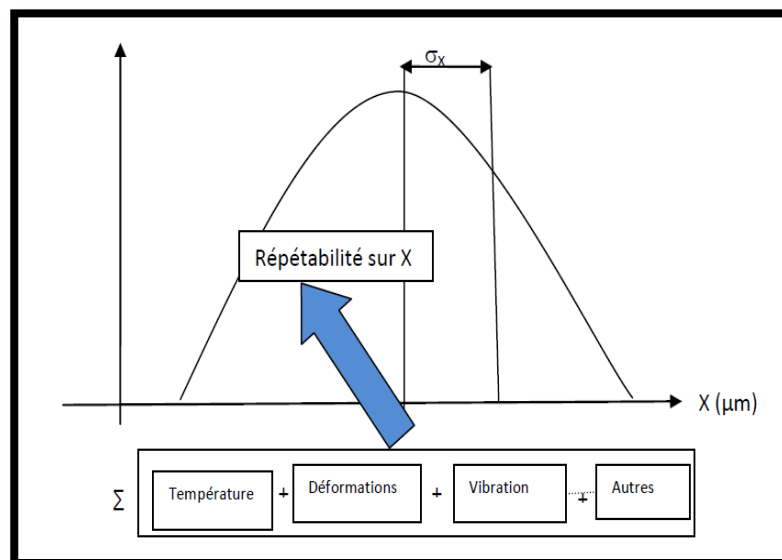


Figure II. 4: Représentation de la répétabilité de mesure

II.4.Evaluation des paramètres environnementaux :

Pour la première estimation expérimentale du comportement du bras de mesure, nous continuons dans ce paragraphe à évaluer les paramètres environnementaux les plus influents, à savoir la température et les vibrations.

L'effet thermique est évalué en 3 étapes : caractérisation de la salle de mesure, l'évolution de la température du bras durant la mesure, Dans la dernière étape, le bras est chauffé localement afin de simuler le comportement de ce dernier dans des conditions atelier à température non maîtrisée.

L'effet de la vibration sur la répétabilité de mesure est étudié en analysant cent mesures de répétabilité de deux points de la barre étalon placée dans six positions de l'espace.

II.4.1.Effet thermique :

L'effet thermique est évalué en trois niveaux, à savoir, le gradient spatial, le gradient temporel et l'écart à 20 °C.

II.4.1.1.Gradient spatial :

Une caractérisation de la salle est réalisée afin d'évaluer le gradient spatial, la température délivrée par les différentes sondes dans la salle fermée pendant 12 heures est relevée, ensuite la variation de chaque sonde, de la moyenne des sondes de contact, de la moyenne des sondes d'ambiances et de la moyenne totale de toutes les sondes est évalué.

Les résultats ont montré :

- les températures enregistrées n'évoluent pas selon une distribution particulière, d'où nous supposons dans notre analyse que la température évolue selon une loi uniforme.
- la présence d'un gradient de température vertical de 1.3 °C.

II.4.1.2.Gradient temporel :

Pour évaluer l'évolution de la température durant la manipulation du bras Sigma 2025, une mesure de répétabilité de mesures de distance est réalisée, dans une salle climatisée à 21 °C, durant une heure en relevant en même temps les températures.

II.4.1.3.Ecart à 20 °C :

Afin d'évaluer le comportement du bras Sigma 2025 dans des conditions similaires aux conditions d'atelier, notamment à une température plus élevée que la température de référence de 20 °C, le bras est placé dans une salle dont les conditions climatiques ne sont pas maîtrisées. Ensuite le bras de mesure est chauffé localement en utilisant un projecteur.



II.4.1.4.Effet sur la répétabilité des mesures :

L'objectif est d'étudier l'effet de l'échauffement du bras. la barre étalon a été mesurée dans six positions différentes conformément à l'ASME B89.4.22-2004 [N. 4], pour chaque position :

- Une centaine de mesures de point de la barre étalon est effectuée
- une centaine de mesures de la distance entre les deux points extrêmes de la barre à température ambiante est réalisée.
- Les mêmes séries de mesures sont répétées après avoir augmenté la température du bras.
- Comparaison entre les écarts-types des mesures de répétabilité à température ambiante et à température élevée.

Les résultats ont montré que :

- la répétabilité est moyenne à une température moyenne de 22.4 °C est de 10.5 µm.
- En chauffant le bras à une température moyenne de 32.3 °C, la répétabilité moyenne s'élève à 17.4 µm
- ce qui représente une augmentation des écarts en répétabilité d'environ 0.7 µm/°C.

Cette différence peut être engendrée par les déformations du bras causée par la température.

II.4.2.Effet de la vibration sur la répétabilité des mesures :

Afin d'évaluer l'effet de vibration, un pot vibrant à fréquence constante d'environ 20 Hz a été placé à côté du bras de mesure, ce qui représente le cas les plus défavorable.

Mesure de la barre étalon dans six positions différentes conformément à la norme ASME B89.4.22-2004.

Pour chaque position, on effectue une centaine de mesures de positions de points de la barre étalon et une centaine de mesures de la distance entre les deux points extrêmes de la barre. Les mêmes séries de mesures sont répétées en provoquant la vibration de la table à l'aide du pot vibrant. Une comparaison entre les résultats de répétabilité avec et sans vibration est réalisée.

Les résultats ont montré que :

- La répétabilité sur la mesure d'un point avec vibration varie de 154 à 530 µm soit de 15 à 50 fois la répétabilité obtenue sans vibration.

- Pour la mesure d'une distance, il y a peu d'influence sur l'écart-type des mesures de répétabilité.
- il faut s'assurer que le bras ne soit pas soumis à des vibrations trop importantes qui fausseraient grandement les mesures. Il faut donc faire une répétabilité sur point pour évaluer ce paramètre pour toute nouvelle installation du bras sur site industriel.

II.5.Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons défini une approche expérimentale pour déterminer la répétabilité des mesures. Les résultats de cette évaluation seront exploités pour valider les résultats obtenus par la simulation de Monte Carlo de niveau 1.1 réalisée au chapitre suivant.

Cette répétabilité a été évaluée dans des conditions de laboratoire ainsi que dans des conditions d'atelier avec une température et des vibrations variables. On constate que l'influence des vibrations n'est pas négligeable et peut même être la principale source d'incertitude de mesure. Par conséquent, des mesures de répétabilité ponctuelle de tout bras nouvellement installé sur un site industriel sont recommandées pour évaluer les effets des vibrations.

Pour avoir une approche plus globale de l'évaluation des incertitudes de mesures liés au bras polyarticulés portables, nous développons dans le prochain chapitre un modèle d'évaluation d'incertitudes prenant en compte les principaux facteurs d'influence.

Chapitre III:

Evaluation des incertitudes de mesure

III.1. Evaluation des incertitudes de mesure simples :

Incertaince simple est associée aux erreurs de mesures qui peuvent être dues à l'instrument de mesure, à l'opérateur ou à la variabilité de la grandeur mesurée. L'incertaince de mesure est la valeur qui caractérise la dispersion des valeurs qui peuvent être attribuées à la grandeur mesurée.

La variance estimée u^2 qui caractérise une composante de l'incertaince obtenue par une évaluation de Type A est calculée à partir de séries d'observations répétées et est la variance habituelle estimée statistiquement. L'écart-type estimé u , racine carrée de u^2 , est donc $u = s$ et, par commodité, est parfois appelé incertaince-type de Type A.

L'évaluation de type A correspond à une méthode d'évaluation de l'incertaince par l'analyse statistique de séries d'observations. La méthode de Type A est utilisée pour:

- quantifier les incertitudes de répétabilité des résultats des mesurages.
- quantifier les incertitudes de reproductibilité des résultats des mesurages. Donner une estimation pour une grandeur d'entrée ainsi que son incertaince à partir d'une série de n mesurages.

III.2. Evaluation des incertitudes de mesure composée :

III.2.1. Incertaince type de type A :

Modélisation du processus:

Dans le cas général on considère la grandeur de sortie y (le mesurande) comme dépendant de plusieurs grandeurs d'entrées x_i par une fonction f , soit:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Où f exprime la loi physique liant la grandeur de sortie aux grandeurs d'entrées.

Chaque grandeur d'entrée est un paramètre associé à une source d'erreur aléatoire de type A ou B, les mesures brutes ayant été préalablement corrigées pour les erreurs grossières et systématiques connues. Notons qu'il n'est pas strictement nécessaire de connaître mathématiquement la fonction $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$ dans tout les domaines des grandeurs d'entrée mais uniquement autour des valeurs mesurées.

Si une des grandeurs x_i du modèle est nulle, il ne faut surtout ne pas l'éliminer car son incertaince, quant à elle, n'est pas nécessairement nulle.

Estimation des moyennes et écarts type des variables X_i :

A chaque grandeur x_i du modèle mathématique du processus de mesure $y = f(x_1, x_2, x_3, x_4, \dots, x_n)$ correspond une variable aléatoire X_i dont on déterminera la **moyenne** (\bar{X}_i) et l'**incertitude type** $u(X_i)$.

Méthode de type A :

Pour les variables x_i , générant des **erreurs aléatoires de type A**, la méthode d'estimation statistique est utilisée. Si on nomme x_{ij} les résultats d'une série de N mesures du paramètre x_i , la moyenne correspondante est

$$\mu(X_i) = \bar{x}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^N x_{ij}$$

Si on veut caractériser la dispersion des valeurs x_i individuelles, l'**incertitude type** de x_i est prise égale à l'écart type corrigé:

$$u(x_i) = \sigma(X_i) = \sqrt{\frac{\sum (x_{ij} - \bar{x}_i)^2}{N-1}}$$

Si on veut caractériser la dispersion des moyennes x_i d'échantillon, l'incertitude type est:

$$u(x_i) = \sigma(\bar{X}_i) = \frac{\sigma(X_i)}{\sqrt{N}}$$

Dans la pratique, l'écart-type expérimental de la moyenne est appelé **incertitude type de répétabilité**.

III.2.2. Incertitude type de type B :

Méthode de type B:

Pour les variables x_i , générant des **erreurs de type B** l'approche est moins structurée: on « appréciera » les moyennes et les incertitudes type en utilisant les informations techniques disponibles et des distributions (pas nécessairement gaussiennes) supposées à priori.

La moyenne (\bar{X}_i) sera par exemple estimée à partir de certificat d'étalonnage, constat de vérification, valeurs trouvées dans la littérature, notice du constructeur, archives de production,...

L'incertitude type $u(X_i)$ sera estimée à partir:

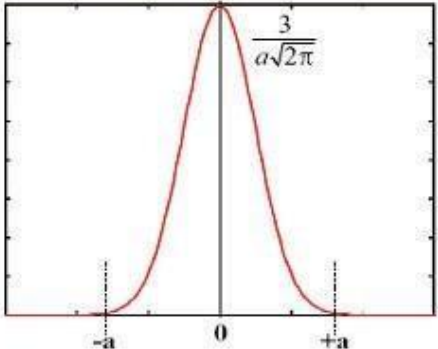
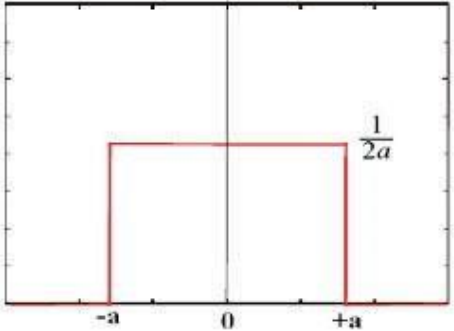
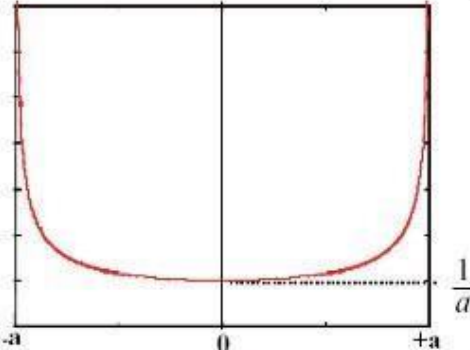
- de l'identification de la loi de probabilité associée à X_i ,
des valeurs extrêmes que peut prendre physiquement x_i

Pour arriver à exprimer l'incertitude de type B sous forme d'un écart-type, il faut recourir à des lois de probabilité dont les plus employées sont rassemblées dans le tableau suivant. Notons qu'elles se rapportent ici à une distribution de valeurs d'une variable aléatoire de moyenne

$\mu = 0$ et d'étendue

$$[-a; +a] = 2a$$

Tableau .III. Représentation des différentes distributions des erreurs de mesures

Loi	Représentation graphique	Écart-type
Normale ou gaussienne $a = 3\sigma$		$\frac{a}{3}$
Unifome ou rectangulaire		$\frac{a}{\sqrt{3}}$
Dérivée d'arc sinus		$\frac{a}{\sqrt{2}}$

D'une manière générale, si le constructeur fournit l'incertitude-type, on l'utilise directement.

Si on a très peu d'information sur une grandeur d'entrée et que l'intervalle de variation supposé de celle-ci est de la forme

- $x = \pm a$ alors l'incertitude-typées:

$$u(x) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

- $x = q$ (x entre 0 et q) alors l'incertitude-typées:

$$u(x) = \frac{q}{2\sqrt{3}}$$

en considérant une loi uniforme sur l'intervalle de variation de la grandeur.

Un cas intéressant peut être la dérive d'un instrument de mesure. Si l'analyse des résultats des étalonnages successifs montre une tendance qui peut être modélisée, alors on applique une correction C . On estime l'incertitude sur cette correction par exemple grâce à une technique de régression (chap. 6). Si l'examen des résultats des étalonnages ne montre pas de tendance, on ne peut pas parler de dérive mais de défaut de reproductibilité que l'on peut évaluer par la méthode statistique de type A.

Exemples d'incertitudes de Type B Résolution d'un appareil de mesure:

La graduation d'un instrument de mesure analogique ou l'afficheur d'un appareil numérique sont des sources d'incertitude. Si la résolution du dispositif de lecture est x , la valeur du signal d'entrée qui produit une indication donnée X peut se situer avec une égale probabilité à n'importe quel endroit de l'intervalle

$$\left[X - \frac{\delta x}{2}; X + \frac{\delta x}{2} \right]$$

Le signal d'entrée est alors décrit par une loi de probabilité rectangulaire de largeur x et d'écart-type appelée incertitude de résolution.

$$u_{res}(x) = \frac{\delta x}{2\sqrt{3}}$$

Classe d'un instrument:

L'Erreur Maximale Tolérée (EMT) donne les limites extrêmes de variation de l'indication obtenue d'un instrument de mesure de classe définie par l'intervalle

$$[-a; +a]$$

L'incertitude-type associée est alors

$$u_{\text{classe}}(x) = \frac{a}{\sqrt{3}}$$

Hystérésis:

L'indication d'un instrument peut différer d'une quantité fixe selon que les lectures successives se font par valeurs croissantes ou décroissantes. La plupart du temps le sens de l'hystérésis n'est pas observable.

Si la largeur de l'étendue des lectures possibles dues à cette cause est x , l'incertitude-type due à l'hystérésis est

$$u_{\text{hyst}}(x) = \frac{\delta x}{2\sqrt{3}}$$

Variations de température:

Une des principales grandeurs d'influence d'un système de mesure est la température d'environnement du moyen de mesure (local, enceinte climatisée, boîtier, ...). Dans la mesure où la température varierait entre 2 extrema de façon quasi sinusoïdale, la loi de probabilité associée à cette grandeur d'influence est la fonction dérivée d'arc sinus.

Si les variations de la température sont telles que $T = \pm b$, alors l'incertitude-type due aux variations de température est

$$u_{\text{temp}}(T) = \frac{b}{\sqrt{2}}$$

III-2-3-Exemple d'évaluation des incertitudes :**Exemple 01 : Détermination de l'incertitude d'étalonnage d'un pied à coulisse:**

L'étalonnage d'un pied à coulisse au 1/50^e mm est réalisé suivant NF E 11-091, à l'aide de cales étalon raccordées.

Méthode de type A:

Pour estimer la répétabilité, on effectue une série de mesurages sur une cale étalon dans les mêmes conditions.

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
x_i (mm)	201,98	202,00	201,98	202,00	202,00	201,98	201,98	202,00	201,98	202,00

On détermine l'écart-type de cette série :

$$u_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = 10,5 \mu m$$

Méthode de type B:**Justesse (B1)**

L'étalonnage se fait sur des cales, donc seule la référence intervient.

Résolution (B2)

La quantification de l'instrument vaut q 20 μm ; par conséquent l'écart-type vaut :

$$u_2 = \frac{q}{2\sqrt{3}} = 5,77 \mu m$$

Référence (B3)

Ce paramètre est donné par le certificat d'étalonnage de la cale, avec k 2

$$I \text{ Réf} = \pm (0,5 \mu m + 2 \cdot 10^{-6} \cdot L) = \pm k \cdot u_3 \quad I \text{ Réf} = 2 \cdot (0,5 \mu m + 2 \cdot 10^{-6} \cdot L) = 2 k \cdot u_3$$

Après simplification et comme k = 2 on obtient :

$$d'où u_3 = 0,25 \mu m + 10^{-6} \cdot L$$

Ecart de Température (B4)

On estime une variation de $0,2^{\circ}\text{C}$ entre la cale et le pied à coulisse avec un coefficient de dilatation égal à : $11,5 \cdot 10^{-6} /^{\circ}\text{C}$

Ce qui donne une variation de longueur : $\Delta L = \alpha \cdot \Delta t \cdot L = 11,5 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 \cdot L = 2,3 \cdot 10^{-6} \cdot L$
 Pour connaître u_4 on divise la variation de longueur par 3 car on applique la loi normale

$$\text{d'où } u_4 = \frac{\Delta L}{3} = 0,77 \cdot 10^{-6} \cdot L$$

Méconnaissance des coefficients de dilatation α

On suppose une incertitude sur α de $1 \cdot 10^{-6} /^{\circ}\text{C}$ et une variation de température dans le local de $\pm 1^{\circ}\text{C}$, d'où une variation de longueur $\Delta L = \Delta \alpha \cdot \Delta t \cdot L = 1 \cdot 10^{-6} \cdot L$

Ceci intervient deux fois (la variance doit alors être multipliée par 2) ; une fois sur la cale et une fois sur le pied.

On est donc obligé de multiplier par l'écart-type. Pour connaître u_5 on divise la variation de longueur par 3 car on applique la loi normale

$$\text{d'où } u_5 = \frac{\Delta L \sqrt{2}}{3} = 0,47 \cdot 10^{-6} \cdot L$$

Résultat final :

Tableau III. 3 Fiche de détermination d'incertitude

FICHE DE DETERMINATION D'INCERTITUDE			
Etalonnage Pied à Coulisse			Date : 03/05/05
Référentiel : NF E 11-091			
Domaine , unités : De 0 à 600mm – Unités du tableau : le μm – Etalonnage à L=200 mm			
Détermination des incertitudes :			
Méthode de Type A : Répétabilité de la mesure sur un étalon $u_i = 10,5 \mu\text{m}$			
Méthode de Type B :			
B1 : Justesse : à négliger . Déjà comprise dans A			
B2 : Résolution : Due à la graduation			
B3 : Référence : Incertitude sur la cale étalon; connue par son certificat			
B4 : Ecart T°: Incertitude due à l'écart de T° entre cale et PAC			
B5 : Méconnaissance de α : Incertitude due à la méconnaissance des coef. de dilatation de la cale et du pied à coulisse			
TABLEAU RECAPITULATIF			
Incertitudes	I	u_i	u_i^2
Type A		10,5	110,25
Type B			
B1 : Justesse			
B2 Résolution	20	5,77	33,64
B3 Référence	$\pm (0,5\mu\text{m}+2.10^{-6}.L)$	0,45	* 0,203
B4 : Ecart T°	$\pm (2,3. 10^{-6}.L)$	0,154	* 0,024
B5 Méconnaissance α	$\pm(1,4 . 10^{-6}.L)$	$0.47 . 10^{-6}.L$	* 0,01
Total des variances = $\sum u_i^2 = 144,12$			
Résultat : Ecart-type composé $u_c = \sqrt{\sum u_i^2} = 12$			
Incertitude I= $\pm k . u_c$ avec k=2			
I = $\pm 24 \mu\text{m}$ * pour L = 200 mm			

On trouve ainsi l'incertitude d'étalonnage du pied à coulisse au 1/50^e de mm à L 200mm I = $\pm 24\mu\text{m}$

CONCLUSION
GENERALE

Conclusion général

Conclusion générale

On conclut les calculs d'incertitude est pour représenter la marge d'erreur associée aux valeurs mesurées ou déterminées lors d'une expérience.

Dans toute expérimentation, la prise de mesure comporte une part d'imprécision. La lecture de la mesure qui est effectuée en laboratoire est toujours la plus précise dans les circonstances. Toutefois, l'incertitude permet de décrire la dispersion de la valeur, soit l'intervalle dans laquelle la valeur exacte se situe.

L'incertitude peut être associée à l'instrument de mesure utilisé, au manque de rigueur dont fait preuve celui ou celle qui prend la mesure ou à la difficulté d'interpréter une mesure sur une échelle donnée.

L'erreur de mesure renseigne sur l'écart entre le mesurage et la valeur "réelle" du mesurande. Elle n'a donc de sens que si une valeur de référence du mesurande est connue. Il ne faut pas oublier que l'erreur possède un signe qui indique si la technique de mesure tend à sous-estimer ou à surestimer la valeur du mesurande.

BIBLIOGRAPHIE

Bibliographie

Bibliographie

- [1] Cours Bases De Métrologie Détermination des Incertitudes de mesure - I.U.T. de Mulhouse 2005.
- [2] METROLOGIE DIMENSIONNELLE TOME 3 INSTRUMENTR DE MUSURE.
- [3] DICTIONNAIRE PRATIQUE DE LA METROLOGIE.
- [4] Mesure essai et calculs d'incertitudes QUALITE METEOLOGIE.
- [5] F. Hennebelle, T. Coorevits, (2013), Propagation des distributions – Détermination des incertitudes par la méthode de Monte Carlo, Techniques de l'Ingénieur, r288 ;(2013).
- [6] T. Coorevits, F. Hennebelle, P. Sessa, N. Rousset, Démarche d'accréditation en métrologie des engrenages pour les mesurandes normalizes sur machine à mesurer tridimensionnelle, 14ème Congrès International de Métrologie, (22 au 25 juin 2009).
- [7]
- [8] F. Romdhani, M. Ge, P. Juillion, F. Hennebelle, J.F.Fontaine. "Consideration of the mechanical strain in a model of uncertainties quantification of a Coordinate Measuring Arm". Congrès Français de Mécanique, Bordeaux, France, (August 2013).
- [9] Jean, F.O. Utilisation des bras de mesure polyarticulé portable.CONGRES NATIONAL DE LA RECHERCHE EN IUT (CNRIUT'2017) : 4-5 JUIN 2017.
- [10] Hassina, G.Contribution à l'estimation des incertitudes de mesure dans la chaine de traitement d'une machine à mesurer tridimensionnelle. Thèse de doctorat, universite des freres mentouri constantine.(2018).

Liens et sites

- 1- <http://www.theses.fr>
- 2- <https://fr.m.wikipedia>.
- 3- <https://scholar.google.com>
- 4- <http://www.univ-bejaia.dz/dspace-etudiant>
- 5- <http://www.incertitudes.fr>