

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas-Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et mécanique de précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Métrologie

Mémoire de Master

La métrologie à l'ère numérique

Étudié par : Hicham Zargou

Dirigé Par : Pr. Nafissa Khennafi-Benghalem

Devant le jury :

(Président) : Pr. Fouad Roumili

(Examineur) : Dr. Housseem Selmani

(Examineur) : Pr. Nafissa Khennafi-Benghalem

Soutenue le : 02/07/2023

Sommaire :

Dédicaces :	
Remerciements :	
Liste des figures :	
Liste des tableaux :	
Liste des abréviations :	
Liste des annexes :	
Avant proposition :	
Introduction générale :	 1
Chapitre I : Généralités sur l'industrie 4.0	2
I.1 Introduction :	2
I.2 Principales composantes de la révolution industrielle 4.0 :	3
I.2.1 Internet des objets pour l'industrie 4.0 :	4
I.2.1.1 Définition :	4
I.2.1.2 Architectures d'IIOT :	5
I.2.1.3 Applications de l'IIOT :	9
I.2.1.4 Avenir de l'IIOT :	10
I.2.2 Système d'intégration 4.0 :	12
I.2.2.1 Maximisation des prestations de systèmes :	12
I.2.3 Simulation :	12
I.2.3.1 Contributions de la simulation :	12
I.2.4 Big data :	13
I.2.4.1 Bénéfices de l'utilisation du Big data :	13
I.2.4.2 Analyse des défis et des opportunités des volumes de données massifs (3V, 4V, 6V) :	14
I.2.5 La fabrication additive :	15
I.2.5.1 Définition :	15

Sommaire

I.2.5.2	Les apports de la fabrication additive :	16
I.2.6	Cloud computing :.....	17
I.2.6.1	Contributions d'informatique en nuage :.....	17
I.2.7	Robotique et automatisation :	17
I.2.7.1	Avantages de la robotique et de l'automatisation :	18
I.2.7.2	Contributions de la robotique et de l'automatisation :	18
I.2.8	Cyber sécurité :	19
I.2.8.1	Les contributions du cyber sécurité :.....	19
I.2.9	Réalité augmentée et réalité virtuelle :.....	20
I.2.9.1	Aides des RA et RV :	20
I.3	Industrie 1.0 à 4.0 :.....	21
I.3.1	Industrie 1.0 :.....	22
I.3.2	Industrie 2.0 :.....	22
I.3.3	Industrie 3.0 :.....	23
I.3.4	Industrie 4.0 :.....	23
Chapitre II : La métrologie à l'ère numérique.....		24
II.1	Introduction :	24
II.2	Transformation numérique des services métrologiques :	25
II.2.1	Certificats d'étalonnage numérique DCC :.....	25
II.2.2	Représentation numérique de la traçabilité métrologique :.....	26
II.2.3	Représentation numérique des quantités physiques et des unités de mesure :	26
II.2.4	Représentation numérique de l'erreur de mesure et de l'incertitude :.....	27
II.2.5	Transformation numérique de la métrologie légale et une infrastructure de qualité numérique :	28
II.3	Métrologie dans l'analyse de grandes quantités des données :.....	29
II.4	Métrologie des systèmes de communication pour la numérisation :.....	30

Sommaire

II.4.1 Méthodes d'analyse métrologique pour la manipulation, le stockage, la sécurité et la fiabilité des données :	31
II.4.2 Traçabilité métrologique dans l'IOT :	33
II.4.3 Utilisation de systèmes physiques cyber, cloud computing, jumeaux numériques, artificiels intelligence et apprentissage automatique en métrologie numérique :	33
II.4.4 Réseau de capteurs numériques :	35
II.5 Métrologie pour simulations et instruments de mesure virtuels :	36
II.5.1 L'apprentissage en profondeur et la transformation numérique de la métrologie :	36
II.5.2 Métrologie pour IOT et IOT industriel :	37
II.6 Analyse SWOT de la transformation numérique de la métrologie :	38
Chapitre III : Progrès dans les technologies des capteurs à l'ère de l'usine intelligente et de l'industrie 4.0	40
III.1 Introduction :	40
III.2 Les technologies de détection clés pour optimiser une usine intelligente :	40
III.2.1 Les capteurs passifs :	40
III.2.1.1 Les Capteurs de température :	41
III.2.1.2 Les Capteurs de pression :	41
III.2.1.3 Les Capteurs de position :	42
III.2.1.4 Les Capteurs de force :	42
III.2.1.5 Les Capteurs de débit :	42
III.2.2 Les Capteurs intelligents :	43
III.2.2.1 Les avantages de l'utilisation des capteurs intelligents dans l'ère de l'usine intelligente et de l'industrie 4.0 :	43
III.2.3 Les Capteurs nucléaires :	44
III.2.4 Les microcapteurs :	44
III.2.5 Les nanocapteurs :	45

Sommaire

Chapitre IV : L'étalonnage à l'ère numérique	46
IV.1 Introduction :	46
IV.2 Les avantages de la numérisation dans l'étalonnage :	47
IV.3 Les machines de mesure intelligentes à l'ère de l'étalonnage numérique :	49
IV.3.1 Les machines à mesurer tridimensionnelles :	49
IV.3.2 Machines de mesure optique :	50
IV.3.3 Analyseurs de spectre intelligents :	50
IV.3.4 Machines de mesure par vision industrielle :	51
IV.4 L'impact révolutionnaire du numérique sur l'étalonnage : une transformation du domaine de la mesure :	51
IV.5 Certificat d'étalonnage numérique :	52
IV.5.1 Étude des certificats d'étalonnage numériques :	53
IV.6 Etalonnage pour la métrologie de l'Industrie 4.0 : Étalonnage sans contact :	57
IV.6.1 Etalonnage sans contact :	57
IV.6.2 Application de TCAl et analyse du budget de l'incertitude :	58
Conclusion générale	59
Références bibliographiques	
Annexes	
Résumé	

Liste des figures et des tableaux

Liste des Figures :

Figure I.1 : Principales composantes de la révolution industrielle 4.0	3
Figure I.2 : Type d'IOT	5
Figure I.3 : Eléments constitutifs d'IIOT	7
Figure I.4 : Architecture de référence IIOT	8
Figure I.5 : Avenir De L'IIOT	11
Figure I.6 : Les six Vs de Big data	11
Figure I.5 : Avenir De L'IIOT	11
Figure I.6 : Les six Vs de Big data.	15
Figure I.7 : Industrie 1.0 à 4.0.....	22
Figure II.1 : Le « Nuage européen de métrologie » – une infrastructure numérique de qualité pour l'Europe (MI : instrument de mesure).	29
Figure II.2 : Concept des développements dans le domaine de la modélisation mathématique et de l'analyse de données	30
Figure II.3 : Aspects et exigences de l'infrastructure métrologique pour la 5G	31
Figure IV.1 : Les machines à mesurer tridimensionnelles (MMT).....	50

Liste des tableaux :

Tableau II.1 : L'analyse SWOT de la transformation numérique en métrologie	38
Tableau IV.1 : Comparaison des différents formats de certificats d'étalonnage	56

Avant-propos

Avant de choisir mon thème de recherche, je me suis profondément interrogé sur la place de la métrologie dans notre vie quotidienne et sur la manière dont elle peut être utilisée dans divers domaines. J'ai ressenti le besoin de comprendre comment améliorer et développer cette discipline essentielle. C'est ainsi que j'ai entamé ma quête de connaissances et que j'ai commencé à explorer différentes pistes de recherche.

Puis, lors de la journée mondiale de la mesure, qui se célèbre chaque année le 20 mai, j'ai découvert le numéro de 2022 sur la métrologie sous le prisme de la numérisation. Ce sujet semblait être en parfaite adéquation avec mes interrogations, car il me permettrait d'aborder les avancées technologiques dans le domaine de la métrologie et de me familiariser avec la tendance mondiale à la numérisation, où la métrologie joue un rôle crucial et incontournable.

Je suis convaincu que pour suivre le rythme des progrès du monde, il est impératif de comprendre les fondements de la métrologie et d'appréhender son évolution dans un contexte numérique en constante évolution. C'est pourquoi, au sein de mon mémoire de master, je m'attèlerai à dresser un résumé complet de la tendance mondiale à la numérisation, en mettant particulièrement l'accent sur la métrologie. J'explorerai la place de la métrologie dans notre vie quotidienne, son utilisation dans divers domaines et j'étudierai les moyens d'améliorer et de développer cette discipline essentielle.

Mon objectif ultime est de contribuer à une meilleure compréhension de la métrologie à l'ère numérique et de fournir des perspectives claires sur les opportunités et les défis qui se présentent dans ce domaine. Je suis animé par la conviction que la métrologie joue un rôle essentiel dans la précision des mesures, l'assurance de la qualité et la confiance dans les résultats. En combinant mes connaissances et ma passion pour la métrologie, je souhaite apporter ma contribution à cette discipline en constante évolution et participer aux avancées scientifiques et technologiques qui façonneront notre avenir.

Introduction générale

Introduction générale

La métrologie à l'ère numérique représente une évolution majeure dans le domaine de la mesure et de l'évaluation des grandeurs physiques. Grâce aux avancées technologiques, les systèmes de mesure sont devenus plus précis, automatisés et interconnectés, permettant ainsi une gestion plus efficace des données de mesure. Cette transformation numérique offre de nouvelles possibilités dans de nombreux secteurs tels que l'industrie, les sciences, la santé et l'environnement.

Dans ce mémoire, nous avons organisé le travail en quatre chapitres complémentaires. Dans le premier chapitre, nous avons abordé des généralités concernant l'industrie 4.0. En exposant les fondements de cette quatrième révolution industrielle. Nous y avons présenté les étapes progressives de l'industrie, du premier au quatrième, afin de familiariser le lecteur avec les concepts clés.

Le deuxième chapitre de ce mémoire est dédié à la métrologie à l'ère numérique. Nous y avons introduit les principes et les enjeux de la numérisation de la métrologie, en détaillant les étapes de cette transformation et en expliquant l'importance de notre sujet.

Le troisième chapitre explore les avancées technologiques dans les capteurs à l'ère de l'industrie 4.0. Nous avons présenté les différents types de capteurs utilisés dans les usines intelligentes,

Le dernier chapitre de ce mémoire est consacré à l'étalonnage à l'ère numérique. Nous avons souligné l'importance de l'étalonnage en tant qu'élément essentiel des mesures, ce qui a été une partie intégrante de notre étude. Ce quatrième chapitre met en évidence l'importance de l'étalonnage dans le contexte de la numérisation, en mettant l'accent sur les avantages et les spécificités du certificat d'étalonnage numérique. Nous avons également présenté des exemples concrets de machines de mesure intelligentes qui sont utilisées dans ce contexte. Enfin, nous avons abordé la question de l'étalonnage sans contact, offrant un aperçu des avancées dans ce domaine.

En dernier nous présentons une conclusion générale qui résume l'ensemble de notre travail.

ملخص:

تتناول المذكرة الصناعة 4.0 ويستكشف مكوناتها الرئيسية مثل إنترنت الأشياء والمحاكاة والبيانات الضخمة والتصنيع الإضافي والحوسبة السحابية والروبوتات والأمن السيبراني والواقع المعزز/الافتراضي. كما يدرس التحول الرقمي لعلم القياس، مع التركيز على شهادات المعايرة الرقمية، والتمثيل العددي للكميات الفيزيائية ووحدات القياس، وتحليل كميات كبيرة من البيانات. بالإضافة إلى ذلك، يستكشف التطورات في تقنيات الاستشعار للمصانع الذكية والصناعة 4.0. أخيرًا، يبحث في تأثير الرقمنة على المعايرة وأهمية المعايرة بدون لمس. يقدم هذا البحث نظرة عامة شاملة على الصناعة 4.0 والتحول الرقمي للمقاييس، مما يسلط الضوء على فوائد وتطبيقات هذه التطورات التكنولوجية.

Résumé :

Le mémoire aborde l'industrie 4.0 et explore ses principales composantes telles que l'Internet des objets, la simulation, le Big Data, la fabrication additive, le cloud computing, la robotique, la cyber sécurité et la réalité augmentée/virtuelle. Il examine également la transformation numérique de la métrologie, en mettant l'accent sur les certificats d'étalonnage numérique, la représentation numérique des quantités physiques et des unités de mesure, ainsi que l'analyse des grandes quantités de données. De plus, il explore les avancées dans les technologies des capteurs pour les usines intelligentes et l'industrie 4.0. Enfin, il examine l'impact révolutionnaire de la numérisation sur l'étalonnage et l'importance de l'étalonnage sans contact. Ce mémoire fournit une vue d'ensemble complète de l'industrie 4.0 et de la transformation numérique de la métrologie, soulignant les avantages et les applications de ces avancées technologiques.

Abstract :

The dissertation explores the industry 4.0 and delves into its key components such as the Internet of Things, simulation, Big Data, additive manufacturing, cloud computing, robotics, cybersecurity, and augmented/virtual reality. It also examines the digital transformation of metrology, focusing on digital calibration certificates, the digital representation of physical quantities and units of measurement, as well as the analysis of large data quantities. Furthermore, it explores advancements in sensor technologies for smart factories and industry 4.0. Lastly, it examines the revolutionary impact of digitization on calibration and the significance of contactless calibration. This dissertation provides a comprehensive overview of industry 4.0 and the digital transformation of metrology, highlighting the benefits and applications of these technological advancements.