



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة و الأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en instrumentation

MÉMOIRE

de fin d'études pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Ingénierie de Maintenance en Instrumentation

Thème

**Etude et Réalisation d'un Système Industriel
de Tri à base de Couleur avec Liaison IoT**

Présenté par :

ZIANE Hadj

REZIGA Abdessalam

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
TITAH Mawloud	MCB	Université d'Oran2 /IMSI	Président
REGUIEG YSSAAD Sadek	MAA	Université d'Oran2 /IMSI	Encadreur
AOUIMER Yamina	MAA	Université d'Oran2 /IMSI	Examinatrice

Année : 2020/2021

Résumé

Ce travail présente une étude conceptuelle avec réalisation pratique d'un système industriel dédié au tri d'objets à base de couleur avec une possibilité de liaison à l'Internet Industriel des Objets (*IIoT – Industrial Internet of Things*). Les concepts de la quatrième révolution industrielle *Industrie 4.0* ainsi que les fondements de base de cette technologie sont expliqués et mis en service de notre projet finalisé en 2 phases : la conception/réalisation d'un système de reconnaissance de couleur par capteur servant via une carte *Arduino Uno* un servo-moteur pour une application de tri d'objets selon ce critère (la couleur), application souvent utilisée en industrie, puis la réalisation d'une liaison *IIoT* à l'aide d'une deuxième carte *Arduino* pilotée par un logiciel d'écriture de données à distance adapté à cet effet.

Mots clés : Informatique industrielle, Système de commande industriel, Module Arduino, Servomoteur, Programmation, Microcontrôleur, Technologie IIoT.

Abstract

This work presents a conceptual study with practical realization of an industrial system dedicated to sorting objects based on color with a possibility of connection to the Industrial Internet of Things IIoT. The concepts of the fourth industrial revolution Industry 4.0 as well as the basic foundations of this technology are explained and put into service of our project finalized in 2 phases : the design/realization of a color recognition system by sensor serving a servo motor via an *Arduino Uno* card for an object sorting application according to this criterion (color), an application often used in industry, then the realization of an IIoT link using a second Arduino board controlled by software remote data writing device suitable for this purpose.

Keywords : Industrial computing, Industrial control system, Arduino module, Servo motor, Programming, Microcontroller, IIoT technology.

Dédicaces

Je dédie ce travail :

À ALLAH le tout-puissant à qui je dois tout.

À mes chers parents, pour tout leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À mes chères freres et soeurs pour leur encouragements permanents et leur soutien moral.

À toute ma famille et mes amis pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

À tous mes professeurs : Leur générosité et leur soutien m'oblige de leur témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

À mon binôme : Abdessalam

Ziane Hadj

Dédicaces

Je dédie ce travail :

À ALLAH le tout puissant à qui je do tout.

À mes chers parents, pour tout leurs sacrifices, leur amour, leur tendresse, leur soutien et leurs prières tout au long de mes études.

À mes chère frères pour leur encouragements permanents et leur soutien moral.

À toute ma famille et mes amis pour leur soutien tout au long de mon parcours universitaire.

À tous mes professeurs : Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs

témoigner mon profond respect et ma loyale considération.

À mon binôme : Hadj

Reziga Abdessalam

Remerciements

Nous tenons à remercier premièrement Dieu tous puissant pour la volonté, la santé et la patience, qu'il nous a donné durant toutes ces longues années.

Nous tenons également à exprimer notre vif remerciement à notre encadreur Monsieur Regigue Yessaad , pour avoir d'abord proposé ce thème et suivi le déroulement de ce mémoire et pour la confiance et l'intérêt qu'ils nous ont accordé tout au long de la réalisation de ce travail.

Nous tenons à citer dans ces remerciements les membres du jury qui ont bien voulu examiner et juger notre travail.

Nous remercions tous nos professeurs de l'IMSI qui ont contribué à notre formation.

Merci enfin à tous ceux qui, de près ou de loin, nous ont aidé et donc ont contribué au succès de ce travail.

SOMMAIRE

Liste des figures.....	<i>i</i>
Liste des tableaux.....	<i>ii</i>
Introduction générale	1

Chapitre I - Industrie 4.0

I.1 Introduction	2
I.2 Définition.....	3
I.3 Les neuf piliers de l'avancement technologie.....	4
I.3.1 Big Data analytics.....	5
I.3.2 Robots autonomes.....	5
I.3.3 Simulation.....	6
I.3.4 L'internet des objets industrielle	7
I.3.5 La cyber-sécurité	8
I.3.6 Cloud computing	8
I.3.7 La fabrication additive.....	9
I.3.8 L'intelligence artificielle	10
I.3.9 Réalité augmentée	10
I.4 Les caractéristiques principales de l'industrie 4.0	11
I.5 Exemples réel d'industrie 4.0.....	12
I.6 L'Algérie et l'industrie 4.0	14
I.6.1 Exemple de l'industrie 4.0 dans l'Algérie " TAYAL"	15
I.6.2 Exemple la technologie utilise dans "TAYAL"	16
I.6.3 Spider Web.....	16
I.6.3.1 Qu'est-ce que Spider web ?	16
I.6.3.2 Qui utilise Spider web ?	16
I.6.3.3 Principe fonctionnel.....	17
I.6.3.4 Avantages de spider web	17
I.7 Conclusion.....	18

Chapitre II – Technologie Industrielle et IIoT

II.1 Introduction.....	19
II.2 Technologie utilise dans l'industrie	19
II.2.1 L'automate programmable industrielle	19
II.2.1.1 Définition	
II.2.1.2 Avantages	
II.2.1.3 Inconvénient.....	
II.2.2 Le régulateur industriel.....	20
II.2.3 Le microcontrôleur ou PIC.....	21
II.2.4 Interface Homme Machine.....	22
II.3 L'internet industriel des objets" IIoT".....	22
II.3.1 Comment fonctionne l'IIoT ?	23
II.3.2 Les avantages de l'IIoT.....	24
II.3.3 Application et exemple de l'IIoT	25
II.3.4 Qui sont les acteurs de l'IIoT ?	25
II.3.5 L'avenir de l'IIoT.....	26
II.4 Conclusion.....	26

Chapitre III – Système de Commande Arduino

III.1 Introduction.....	29
III.2 Présentation d’Arduino.....	29
III.2.1 Définition	29
III.2.2 Bon raison de choisir Arduino.....	29
III.2.3 Outil Arduino.....	30
III.2.4 Les gammes de la carte Arduino	31
III.2.5 Les types de carte Arduino.....	32
III.2.6 La carte Uno.....	32
III.3 Présentation de d’Arduino Uno.....	33
III.3.1 Comment utilise Arduino Uno.....	33
III.3.2 Caractéristiques d’Arduino Uno.....	34
III.3.3 Synthèse des caractéristiques	35
III.3.4 Alimentation	36
III.3.5 Mémoire.....	39
III.3.6 Principaux fonctionnement	40
III.4 Etude de la partie logiciel.....	40
III.4.1 Platform de la programmation Arduino.....	40
III.4.2 Proteus professionnel	43
III.5 Les servomoteurs.....	44
III.5.1 Parties mécaniques de servomoteur	44
III.5.2 Les caractéristiques de SG 90.....	45
III.5.3 Connecteur de servomoteur.....	46
III.5.4 Fonctionnement	46
III.5.5 Piloter un servomoteur avec l’Arduino.....	47
III.6 Moteur a courant contenu.....	48
III.6.1 Constitution.....	49
III.6.2 Principe de fonctionnement	50
III.6.3 Avantages des moteurs courant contenu.....	51
III.7 Conclusion	51

Chapitre IV – Conception et Réalisation : Système de Détection de Couleur

Système de Liaison IIoT

IV.1 Introduction	52
IV.2 Les étapes de la réalisation	52
IV.3 Description de système.....	52
IV.4 Listing des dispositifs matériels et technologiques	53
IV.5 Système de Tri par couleur : Choix des composants et justification	53
IV.5.1 Arduino Uno	53
IV.5.2 Servomoteur.....	54
IV.5.3 Capteur de couleur	55
IV.6 Système de Liaison IIoT : Choix des composants et justification	57
IV.6.1 But de la 2eme partie	58
IV.6.2 Le DHT11.....	58
IV.6.3 L’ESB8266.....	59
IV.6.4 Montage des composants.....	59

IV.6.4.1 Pour le module ESB8266.....	59
IV.6.4.2 Pour le capteur DHT11.....	60
IV.6.5 Comment créer une nouvelle Chaîne ?	60
IV.6.6 Valeurs de température envoyées par notre carte Arduino à <i>Thingspeak</i> .	61
IV.6.7 Les valeurs de l'humidité envoyées par notre carte Arduino à <i>Thingspeak</i>	62
IV.6.8 Les valeurs sur moniteur série.....	62
IV.7 Programmation avec Arduino	63
IV.7.1 Programme source du projet réalisé 1 : Commande de servomoteur (système de tri par couleur).....	63
IV.7.2 Programme source du projet réalisé 2 : Liaison IIoT et envoie des données (Température et Humidité) vers le site <i>Thingspeak</i>	66
IV.8 Les Apports de ce projet.....	69
IV.9 Les domaines pouvant bénéficier de nos réalisations.....	69
IV.10 Conclusion.....	69
Conclusion générale	70
Bibliographie.	71

Abréviations

PIC : Programmable Interface Controllers

SRAM : Static Random Access Memory

EEPROM : Electrically Erasable Programmable Read Only Memory

PWM : Pulse Width Modulation ; Modulation de Largeur D'impulsion.

AC/DC : Alternating Current/Direct Current ; Courant Alternatif/Courant Continu

GND : Ground, Mise a la Terre

IDE : Integrated Development Environment.

TTL : Transistor-Transistor Logic

SAP : Système Automatisé de Production

IHM : Interface Homme - Machine

Liste des Tableaux

Tableau III.1 Chronologie des sorties de carte Arduino.....	32
Tableau III.2: Les caractéristiques de la carte Arduino UNO.....	35
Tableau III.3. Programmation de servomoteur sur l'Arduino.....	48
Tableau IV.1 Calibrage la fréquence les couleurs.....	56

Liste des figures

Figure I.1 : Histoire de la révolution industrielle.....	3
Figure I.2 : Les neuf piliers de l'avancement technologique.....	4
Figure I.3 : Les domaines entrelacés construisant le Big Data.....	5
Figure I.4 Robots Autonomes.....	6
Figure I.5 : Simulations 3D de processus de production.....	6
Figure I.6 : l'Internet des objets industrie.....	7
Figure I.7 : La cyber-sécurité.....	8
Figure I.8 : La cyber-sécurité.....	9
Figure I.9 : l'impression 3D.....	9
Figure I.10 : Système basé sur la réalité augmenté.....	10
Figure I.11 : Un travailleur dans l'usine WITTENSTEIN bastian.	12
Figure I.12 : Un travailleur dans l'usine de General Electrics.....	13
Figure I.13 : Une photo d'usine EWA de Siemens.	14
Figure I.14 : SPIDER web.....	16
Figure I.15 : Structure d'un spider web.....	17
Figure II.1 : Représentation d'un automate de Type « Siemens »	20
Figure II.2 : Représentation d'un Régulateur Industriel PID.....	20
Figure II.3 : Représentation d'une Catégorie de PIC.....	21
Figure II.4 : Représentation d'une IHM.....	22
Figure II.6 : Fondements de base d'un IIOT.....	23
Figure III.1 : Chronologie des sorties de carte Arduino.....	33
Figure III.2 : Le brochage de la carte Uno.	35
Figure III.3 : Schéma explicatif d'Arduino.....	38
Figure III.4 : Logiciel de programmation de la carte Arduino.....	40
Figure III.5 : Arduino 1.8.1.....	41
Figure III.6 : Barre d'actions.....	43
Figure III.7 : Les servomoteurs	44

Figure III.8. Architecture d'un servomoteur	45
Figure III.9 Caractéristiques du servomoteur à rotation angulaire (Micro-Servo)	45
Figure III.10. Câble de commande pour servomoteur.....	46
Figure III.11. Principe d'un signal de commande par PWM.....	46
Figure III.12. Exemples des signaux PWM.....	47
Figure III.13. La commande à l'aide Arduino	47
Figure.III.14. Fonctionnement de machine à courant continu.	49
Figure III.15. Description de la machine à courant continu.....	49
Figure.III.16. Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu.	50
Figure IV.1 : La carte Arduino Uno.....	53
Figure IV.2 : Les caractéristiques de carte Arduino Uno.....	54
Figure IV.3 : Photo réelle d'un servomoteur sg90.	54
Figure IV.4: Photo .d'un capteur de couleur TCS 3200.....	55
Figure IV.5 : Fonctionnement capteur de couleur TCS 3200.....	56
Figure IV.6: Capteur de couleur TCS3200 avec la carte arduino.....	57
Figure IV.7 : Envoi des donnés par internet.....	57
Figure IV.8 : Capteur de température et humidité DHT11.....	58
Figure IV.9 : Photo d'un L'ESP8266-01.....	59
Figure IV.10 : Création d'une nouvelle chaine dans <i>Thingspeak</i>	61
Figure IV.11 : <i>Diagramme représentant les valeurs de température</i>	61
Figure IV.12 : <i>Diagramme représentant les valeurs d'humidité</i>	62
Figure IV.13 : Représente les valeurs sur moniteur série.....	62

Introduction générale

Le développement industriel actuel est venu sans doute en apports directs et indirects de l'informatique industrielle. Nous savons que la quatrième révolution industrielle dépend grandement de l'intelligence artificielle et les capteurs intelligents et de l'IIOT.

L'IIoT (Industry Internet Of Things) est considéré comme la plus importante base de cette révolution reliant les machines et facilitant l'accès aux ingénieurs et dirigeants.

Dans ce mémoire, nous allons étudier et réaliser un système industriel de tri à base de couleur avec liaison IIoT. Dans une seconde étape, nous allons concevoir une application qui enregistre les données (Température et Humidité) sur le site internet " ThinkSpeak" à l'aide de la technologie Arduino.

Ce mémoire est composé de quatre chapitres :

- Le premier chapitre présente le concept de la quatrième révolution industrielle (Industrie 4.0) et les fondements sur lesquels repose cette nouvelle technologie.
- Le deuxième chapitre explique la technologie utilisée dans le domaine industriel avec des explications détaillées sur l'IIOT.
- Le troisième chapitre met plus de lumière sur les systèmes de commande type Arduino en se focalisant surtout sur l'Arduino type UNO qui va être utilisé au niveau de la conception montrée dans le chapitre suivant.
- Le quatrième chapitre est consacré aux différentes parties formant notre système conçu (Electronique, Electrique, Mécanique) et les étapes de notre réalisation.

Chapitre I

Industrie 4.0

I.1 Introduction :

L'industrie a connu plusieurs révolutions depuis son passage de l'ancien système de production qui repose complètement sur l'agriculture (société agraire) à un nouveau système industriel et capitaliste (société industrielle). [1]

Le monde industriel a connu trois grandes révolutions et une quatrième qui se dessine sous nos yeux.

➤ *La première révolution industrielle (Grande-Bretagne, 1765)*: cette première révolution s'étale entre la fin du XVIIIe et le début du XIXe siècle. Elle remonte à l'exploitation du charbon et la mise au point de la machine à vapeur par James Watt en 1769. Cela va transformer radicalement le mode de fabrication.

➤ *La deuxième révolution industrielle (1870)*: Près d'un siècle plus tard, la deuxième révolution a lieu au milieu du XIXème siècle. Elle commence vers 1880 et repose sur des nouvelles sources d'énergie, le pétrole et l'électricité. C'est aussi l'époque du développement de l'automobile, de la chimie, des machines-outils.

➤ *La troisième révolution industrielle (1969)*: Près d'un siècle plus tard, dans la deuxième partie du XXe, la troisième révolution a lieu en 1950 qui remplace l'humain dans des tâches répétitives, dangereuses et qui symbolise l'effet ciseau des couts entre les technologies et l'emploi humain.

➤ *La quatrième révolution industrielle ou l'Industrie 4.0 (a commencée en Allemagne, 2010)*: cette dernière révolution est appelée également l'Internet Industriel des objets (IIoT: Industrial Internet of Things) ou encore l'usine du futur. Elle se caractérise fondamentalement par une automatisation intelligente et par une intégration de nouvelles technologies à la chaîne de valeur de l'entreprise.

Il s'agit d'une transformation numérique qui bouleverse l'entreprise manufacturière en apportant des changements radicaux non seulement aux systèmes et processus, mais également aux modes de gestion, aux modèles d'affaires et à la main-d'œuvre.

Actuellement, l'industrie 4.0 est plus une vision qu'une réalité. Mais on perçoit dès à présent qu'elle s'inscrit dans une évolution qui va non seulement bouleverser notre façon de conduire l'activité économique, mais aussi notre façon de vivre ensemble au sein de la société.[1]

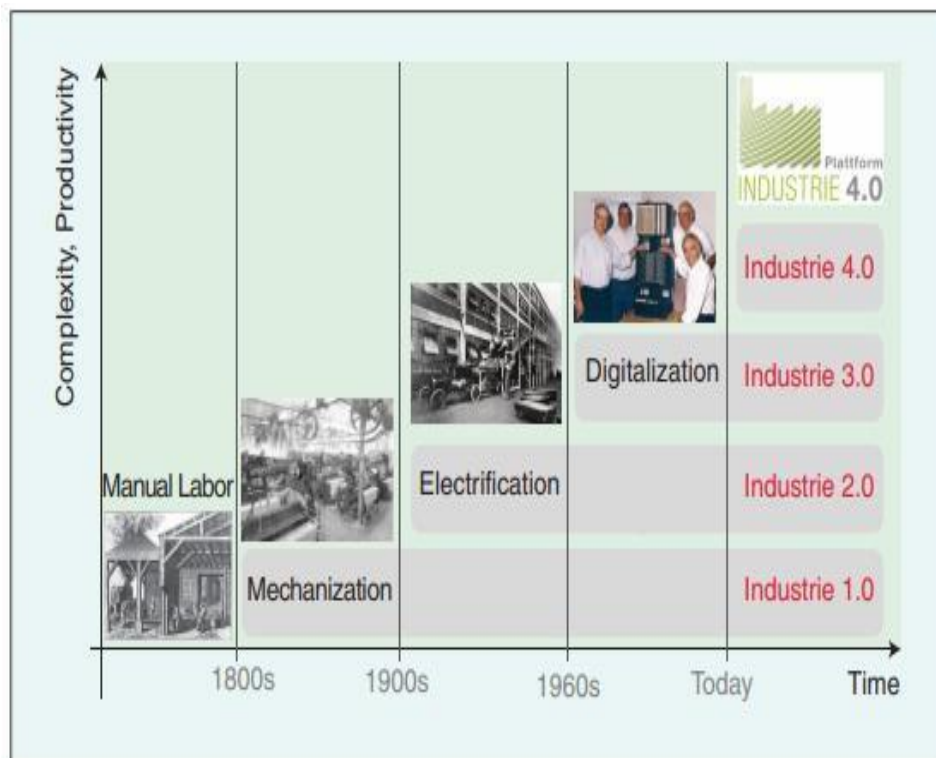


Figure I.1 : *Histoire de la révolution industrielle*

I.2 Définition :

L'industrie 4.0 ou quatrième révolution industrielle fait référence à la transformation de l'industrie et des systèmes de production grâce à l'introduction des nouvelles technologies.

La 4ème révolution industrielle organise des processus de production induits par les innovations liées à l'internet des objets et aux technologies du numérique, tels que la robotique, la réalité augmentée, l'impression 3D, l'intelligence artificielle, afin d'exploiter les données issues

du Big data et de la maquette numérique. Toutes ces techniques font partie des ingrédients qui entrent dans la composition de l'Industrie 4.0.

Si la révolution industrielle précédente se fondait sur l'intégration des robots et l'automatisation des processus, Dans l'Industrie 4.0 on veut aller plus loin. Son but est de créer des usines intelligentes, qui puissent s'adapter plus facilement aux nécessités et aux processus de la production. [1]

I.3 Les neuf piliers de l'avancement technologique

Un grand nombre des neuf avancées technologiques qui constituent le fondement d'industrie Sont déjà utilisées dans la fabrication, mais avec industrie 4.0, elles transformeront la production : des cellules isolées et optimisées se combineront en un flux de production entièrement intégré, automatisé et optimisé. Pour améliorer l'efficacité et modifier les relations de production traditionnelles entre fournisseurs, producteurs et clients, ainsi qu'entre l'homme et la machine.

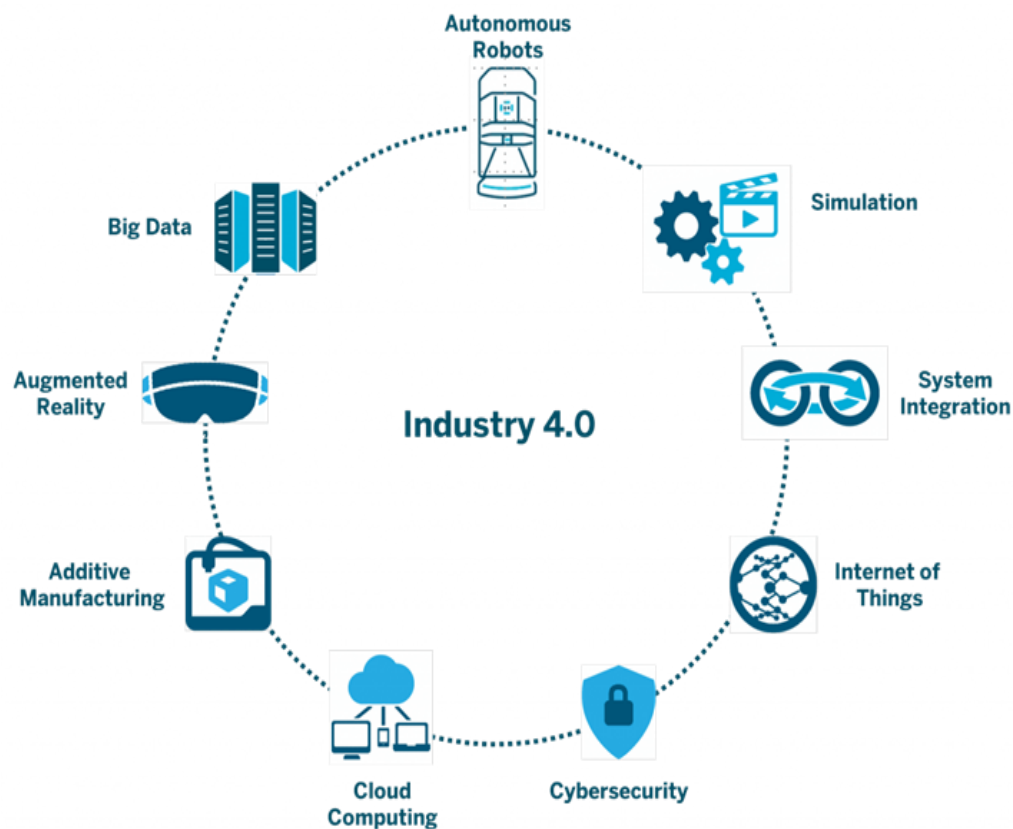


Figure I.2 : Les neuf piliers de l'avancement technologique

I.3.1 Big Data et Analytics

Nos jours le monde de la fabrication a bien traversé une longue distance vu qu'une grande totalité de données contribue largement à l'optimisation de la production, ainsi elle améliore le service de l'équipement et économise l'énergie. Dans un contexte Industrie 4.0, la collecte et l'évaluation complète de données provenant de nombreuses sources différentes (équipements et systèmes de production, ainsi que systèmes de gestion d'entreprise et de clientèle) deviendront la norme pour faciliter la prise de décision en temps réel.[2]

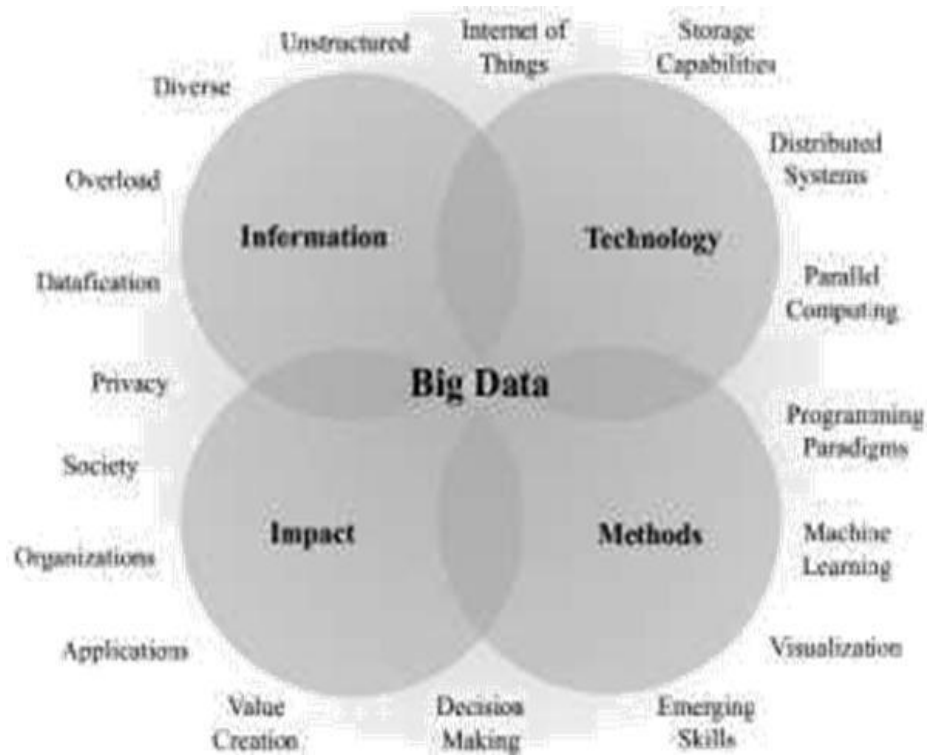


Figure I.3 : Les domaines entrelacés construisant le Big Data

I.3.2 Robots Autonomes :

Les fabricants de nombreuses industries utilisent depuis longtemps des robots pour traiter des tâches complexes, mais les robots évoluent pour une utilité encore plus grande. Ils deviennent de plus en plus autonomes, flexibles et coopératifs. Finalement, ils vont interagir les uns avec les autres et travailler en toute sécurité côte à côte avec les humains et en tirer des enseignements.

Ces robots coûteront moins cher et auront une gamme de fonctionnalités plus étendue que celles utilisées dans la fabrication actuelle. [2]



Figure I.4 *Robots Autonomes*

I.3.3 Simulation

Lors de la phase d'ingénierie, des simulations 3D de produits, de matériaux et de processus de production sont déjà utilisées, mais à l'avenir, les simulations Seront également davantage utilisées dans les opérations en usine. Ces simulations vont exploiter les données en temps réel pour refléter le monde physique dans un modèle virtuel, qui peut inclure des machines, des produits et des humains. Cela permet aux opérateurs de tester et d'optimiser les paramètres de la machine pour le prochain produit en ligne dans le monde virtuel avant le basculement physique, réduisant ainsi les temps de configuration de la machine et augmentant la qualité. [2]

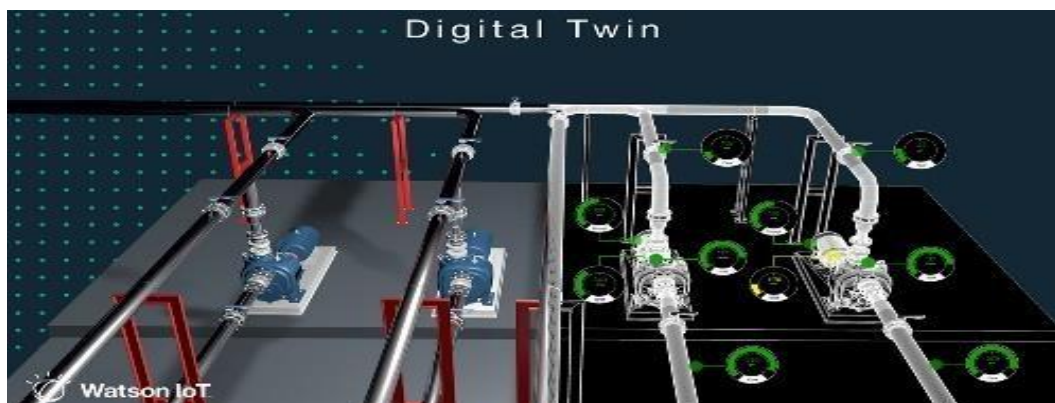


Figure I.5 : *Simulations 3D de processus de production*

I.3.4 L'Internet des objets industriel

L'Internet des objets (IoT: Internet of Things), prolongement du machine-to-machine, est une brique essentielle de la nouvelle révolution industrielle 4.0.

Avec l'IoT, les objets les plus communs de notre quotidien seront dotés d'électronique et de communication; les objets connectés seront des objets intelligents.

L'aspect de l'IoT dans la nouvelle révolution industrielle est l'utilisation de ces objets connectés dans les processus de fabrication. Cela veut dire que les capteurs intelligents et les outils intelligents en général seront disponibles dans l'usine. Ces technologies nous aideront à collecter plus de données sur le processus de fabrication afin de vérifier la conformité et d'optimiser la production en temps réel. Dans l'IoT chaque objet sera doté d'un capteur dédié qui a pour rôle la mesure des valeurs pour lesquelles il a été programmé et les envoie, à intervalles réguliers, à une base de données où ils sont analysés. Un vrai problème qui sera posé est qu'il y a une véritable explosion, plusieurs milliards d'envois, est aujourd'hui freinée par deux obstacles majeurs : le coût et la disponibilité d'adresses IP. [2]



Figure I.6 : *l'Internet des objets industrie*

I.3.5 La cyber-sécurité :

De nombreuses entreprises ont toujours recours à des systèmes de gestion et de production non connectés ou fermés. Avec la connectivité accrue et l'utilisation des protocoles de communication standard fournis avec Industrie 4.0, il devient de plus en plus nécessaire de protéger les systèmes industriels critiques et les chaînes de fabrication des menaces au cyber sécurité. Par conséquent, des communications sécurisées et fiables ainsi qu'une gestion sophistiquée de l'identité et de l'accès des machines et des utilisateurs sont essentielles. Au cours de l'année écoulée, plusieurs fournisseurs d'équipements industriels se sont associés à des sociétés de cyber sécurité par le biais de partenariats ou d'acquisitions. [2]



Figure I.7 : *La cyber-sécurité*

I.3.6 Cloud Computing

Les entreprises utilisent déjà des logiciels basés sur le Cloud pour certaines applications d'entreprise et d'analyse, mais avec Industrie 4.0, les entreprises liées à la production nécessiteront un partage accru a des données sur l'ensemble des sites et des frontières de l'entreprise. Dans le même temps, les performances des technologies de cloud s'amélioreront, avec des temps de réaction de quelques millisecondes seulement.

De ce fait, les données et les fonctionnalités de la machine seront de plus en plus déployées dans le cloud, permettant ainsi de fournir davantage de services basés sur les données aux systèmes de production. Même les systèmes qui surveillent et contrôlent les processus peuvent devenir basés sur le cloud.

Les fournisseurs de systèmes d'exécution de la fabrication font partie des entreprises qui ont commencé à proposer des solutions basées sur le cloud. [2]

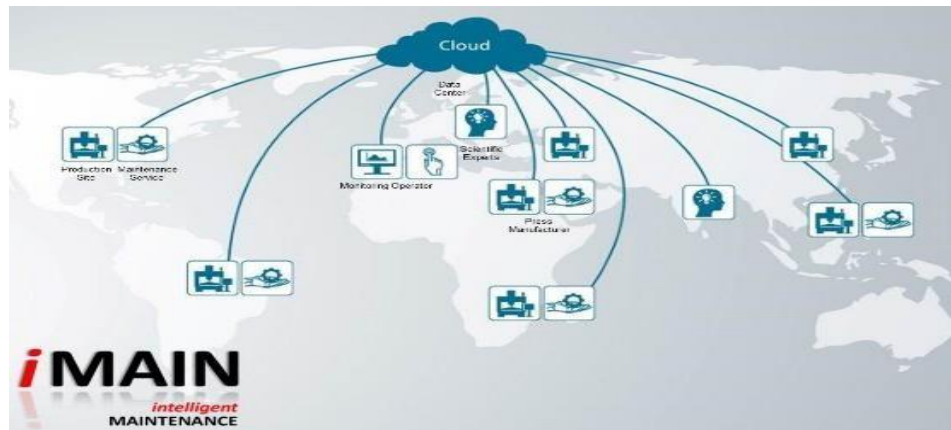


Figure I.8 : *La cyber-sécurité*

I.3.7 La fabrication additive :

Les entreprises viennent tout juste de commencer à adopter la fabrication additive, telle que l'impression 3D, qui est utilisée principalement pour réaliser des prototypes et produire des composants individuels avec Industrie 4.0, ces méthodes de fabrication additive seront largement utilisées pour produire de petits lots de produits personnalisés offrant des avantages en termes de construction, tels que des conceptions complexes et légères.

Des systèmes de fabrication additifs décentralisés de hautes performances réduiront les distances de transport et le stock disponible.[2]



Figure I.9: *l'impression 3D*

I.3.8 Intelligence Artificielle

L'intelligence artificielle (IA) deviendra un choix incontournable dans les entreprises manufacturières où l'on utilise massivement des dispositifs qui surveillent les opérations. Pour évaluer le potentiel de l'IA en matière de gestion des processus industriels et élucider les raisons qui expliquent la lente adoption de cette technologie dans l'industrie manufacturière Les objectifs principaux de l'IA:

- ✓ Raisonnement,
- ✓ Connaissance,
- ✓ Planification,
- ✓ Apprentissage,
- ✓ traitement des langues naturelles,
- ✓ Perception.

I.3.9 Réalité augmentée :

Les systèmes basés sur la réalité augmentée prennent en charge une variété de services, tels que la sélection de pièces dans un entrepôt et l'envoi d'instructions de réparation sur des appareils mobiles. Ces systèmes sont encore à leurs premiers pas, mais à l'avenir, les entreprises utiliseront beaucoup plus largement la réalité augmentée pour fournir aux travailleurs des Informations en temps réel permettant d'améliorer la prise de décision et les procédures de travail. [2]



Figure I.10 : *Système basé sur la réalité augmentée*

I.4 Les caractéristiques principales de l'industrie 4.0 :

➤ Intégration verticale des systèmes de production intelligents : les usines intelligentes, qui sont essentiellement le noyau d'Industrie 4.0, ne peuvent pas fonctionner de manière autonome. Il est nécessaire de mettre en réseau des usines intelligentes, des produits intelligents et d'autres systèmes de production intelligents. L'essence de la mise en réseau verticale découle de l'utilisation de systèmes de production cyber-physiques (CPPS), qui permettent aux usines et aux usines de fabrication de réagir rapidement et de manière appropriée à des variables telles que les niveaux de demande, les niveaux de stock, les défaillances de la machine et les retards imprévus. De même, la mise en réseau et l'intégration impliquent également les services logistiques et marketing intelligents d'une organisation, ainsi que ses services intelligents, car la production est personnalisée de manière à être individualisée et ciblée spécifiquement pour les clients.

➤ Intégration horizontale à travers des réseaux de chaînes de valeur mondiales : L'intégration facilitera l'établissement et la maintenance de réseaux qui créent et ajoutent de la valeur. La première relation qui nous vient à l'esprit lorsque nous parlons d'intégration horizontale est celle qui existe entre les partenaires commerciaux et les clients. Cependant, cela pourrait également signifier l'intégration de nouveaux modèles commerciaux dans plusieurs pays et même sur plusieurs continents, ce qui créerait un réseau mondial.

➤ Ingénierie en continu sur l'ensemble de la chaîne de valeur : l'ensemble de la chaîne de valeur de l'industrie est soumis à ce que l'on appelle l'ingénierie en profondeur, où le cycle de vie complet du produit est tracé, de la production à la mise hors service. Dans d'autres disciplines de fabrication, par exemple l'habillement, l'accent serait mis sur le processus de fabrication seul : fabriquer le produit, le vendre, puis l'expédier et l'oublier. Par exemple, on s'inquiète peu de ce qui arrive à une chemise mal fabriquée, et encore moins de ce qu'il advient des tendances de vente futures, une fois que le client l'a jetée à la poubelle. Cependant, lorsqu'il s'agit de composants industriels, la qualité est la priorité. Par conséquent, la qualité et la satisfaction du client doivent être au centre des préoccupations, de sorte que le fabricant doit concevoir des produits répondant aux attentes du client. Par exemple, le propriétaire d'une Mercedes Benz s'attend à ce que les composants soient fabriqués avec la plus haute qualité et bénéficient d'un service après-vente. Industrie 4.0 couvre à la fois le processus de production et le cycle de vie complet du produit.

I.5 Exemples Réels d'industrie 4.0

Cette section présente quelques usines intelligentes modernes qui sont déjà en production.

I.5.1 Le premier exemple :

WITTENSTEIN Bastian à Fellbach, Allemagne :

Un exemple d'usine intelligente est le site de production "WITTENSTEIN bastian" à Fellbach, en Allemagne, qui est organisé selon les principes de la lean production. Pour la mise en œuvre d'une production laitière axée sur la demande, des porteurs de pièces intelligents sont utilisés. Ils signalent quand une pièce est prête à être ramassée et ne permettent de lancer la production de lait que s'il y a une demande. Cela permet de réduire le nombre de traites et de soulager les employés du travail inutile.



Figure I.11: *Un travailleur dans l'usine WITTENSTEIN bastian.*

I.5.2 Le deuxième exemple :

La brillante usine de General Electrics (GE), Étatsunis :

La "BrilliantFactory" de General Electrics utilise déjà la technologie de l'IOT dans certaines de ses usines de fabrication et vise à introduire ultérieurement la technologie intelligente dans toutes les 400 usines de fabrication et de services de la société. GE vise à transformer ses usines de fabrication traditionnelles en connectant numériquement les équipes de conception des

produits à l'usine, aux autres partenaires de la chaîne logistique et, enfin, aux opérations de service. (Gilchrist, 2016)



Figure I.12: *Un travailleur dans l'usine de General Electrics*

I.5.3 Le troisième exemple :

L'usine électronique de Siemens à Amberg, Allemagne(EWA):

Siemens est le premier fournisseur mondial d'API, et l'usine EWA, que Siemens a créée en 1989, produit des commandes logiques programmables (API) Simatic.

EWA dispose de statistiques d'indicateurs de performance clés (KPI) assez stupéfiantes, comme la qualité de la production, qui est de 99,99885%, soit un niveau incroyablement bas de défauts sur une chaîne de production. En outre, une série de stations de test détectent les quelques défauts qui se produisent pendant la production. Pour mettre ces chiffres en perspective, il faut considérer que l'usine EWA fabrique 12 millions de produits *Simatic* par an. Avec 230 jours de travail par an, cela signifie que l'EWA produit une unité de contrôle par seconde, avec un taux de défauts de 0,00115%. Avec des machines et des ordinateurs traitant 75% de la chaîne de valeur de manière autonome. (Gilchrist, 2016)

Dans l'EWA, environ 1000 automates sont utilisés pendant la production, du début du processus de fabrication jusqu'au point d'expédition. Mais ce sont les personnes qui prennent les décisions en dernier ressort. Par exemple, un technicien en électronique supervise la station de test pour les cartes de circuits imprimés remplies, même s'il ne teste pas lui-même les composants

et les circuits. Le technicien utilise un ordinateur pour surveiller toute la chaîne de valeur depuis son lieu de travail, car chaque carte de circuit imprimé possède son propre code à barres unique qui lui permet de communiquer avec les machines de production. Plus de 1000 scanners documentent toutes les étapes de fabrication en temps réel et enregistrent les détails du produit tels que la température de soudure, les données de placement et les résultats des tests. Cette richesse de données spécifiques aux produits est à portée de main pour chaque automate produit à Amberg. (Gilchrist, 2016)



Figure I.13: *Une photo d'usine EWA de Siemens.*

I.6 L'Algérie et l'industrie 4.0

La position du gouvernement algérien vis-à-vis de l'industrie 4.0 semble jusqu'à présent peu claire, avec de très rares commentaires sur le sujet de la part de l'État, même si les nouveaux plans de "développement de l'économie" ont été abordés à maintes reprises. Mais nous attendons logiquement un plus grand intérêt du gouvernement pour l'industrie 4.0 dans le futur proche. Peut-être après la pandémie.

L'ignorance du gouvernement à l'égard de l'industrie 4.0 ne signifie pas nécessairement qu'elle est inadéquate au contexte algérien ou qu'elle est trop difficile à déployer sur une infrastructure industrielle aussi ancienne. Après tout, l'industrie 4.0 est un train que l'Algérie ne

peut probablement pas prendre mais qu'elle sera tôt ou tard obligée de suivre. C'est pourquoi, dans cette partie, nous essayons de mettre en lumière certains cas d'utilisation qui rendent la nouvelle révolution appropriée et applicable en Algérie.

I.6.1 Exemple de l'industrie 4.0 dans l'Algérie. « TAYAL »

Tayal spa le plus grand complexe textile de l'Afrique construit en partenariat entre la Turquie et l'Algérie crée par INTERTAY (filiale du group turc TAY, avec plus 40ans d'expérience dans le secteur du textile et de l'habillement), et par des Entreprise Publiques économiques algérien (group C&H, TEXALG, et MADAR HOLDING SPA), et un projet géant qui fera une grande contribution à l'économie Algérienne il sera construit dans la zone industrielle sidi khatab dans la province de Relizane sur un terrain de 250 hectares au total .

Le pôle industriel des textiles « Tayal » est le fruit d'un partenariat entre un des Leaders du textile en Turquie « Taypa » et des entreprises publiques algériennes : le groupe Confection et Habillement « C&H », l'Algérienne des Textiles « Texalg » et la SNTA Le projet qui va durer prés de dix ans.

L'industrie de textile consistera à 8 unités Ce projet d'envergure porte, dans une première phase, envisage la réalisation de huit (8) usines intégrées spécialisées dans la production de textiles, et d'une école de formation dans les métiers du textile ; Quant à la deuxième phase du projet, elle portera sur la réalisation de 10 unités de production de fibres synthétiques pour la confection destinée à certaines professions.

Sur une zone couverte de construction des installations telles qu'une centrale production d'énergie de 35 MW, un centre de traitement des eaux usées, une crèche, une école théorique et pratique pour 600 personnes, ainsi qu'une unité de Recherche et de Développement moderne seront construits.

I.6.2 Exemple La technologie utilise dans « TAYAL »

I.6.3 SPIDER web

I.6.3.1 Qu'est-ce que SPIDER web

SPIDER web est une application Windows conviviale pour l'enregistrement des données de production et de qualité de une filature ou des machines individuelles. Les données sont présentées dans divers tableaux et graphiques.

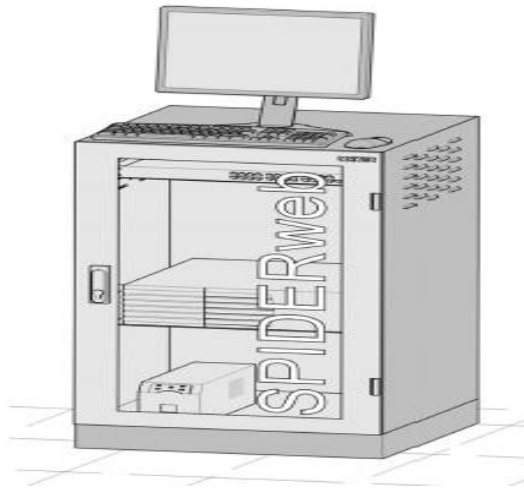


Figure I.14: *SPIDER web*

I.6.3.2 Qui utilise SPIDER web?

Direction, directeurs d'usine, contremaîtres, technologues textiles et personnel d'entretien du Filature. SPIDER web offre à ces utilisateurs les avantages suivants:

- SPIDER web compile les données de l'ensemble de la filature.
- L'utilisateur n'a qu'à appuyer sur un bouton pour que SPIDER web affiche la situation actuelle sous forme de graphique. Cela élimine le besoin de longues colonnes de nombres et d'avoir à les évaluer.
- Le changement des paramètres de décalage et de date peut être transmis de manière centralisée par SPIDER web à l'individu Machines.

I.6.3.3 Principe fonctionnel

Les machines connectées au PC SPIDER web y transfèrent leurs données dans différents répertoires. SPIDER web importe ces données automatiquement ou bien après avoir appuyé sur un bouton, et stocke les données dans la base de données.

Ces données sont ensuite utilisées par SPIDER web pour générer les différents tableaux et images graphiques. Tous ceux-ci peuvent être imprimés.

SPIDER web n'est pas un système en temps réel, car les données sont importées après un délai (réponse du système durée).

I.6.3.4 Avantages de SPIDER web

- Gère automatiquement les données de production (fait gagner beaucoup de temps).
- Utilise des graphiques pour afficher des données importantes avec un minimum d'effort (aidant à découvrir les zones à problèmes).
- Contrôle automatiquement les équipes précédentes et actuelles.
- Contrôle de la qualité avec des machines qui enregistrent la qualité.
- Affiche les raisons des arrêts et des pannes pour le service ciblé.

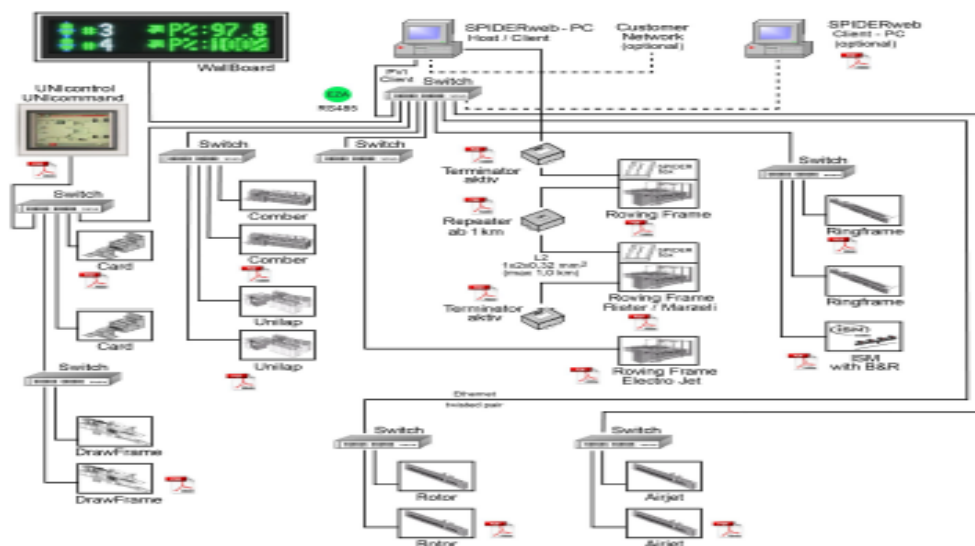


Figure I.15: Structure d'un spider web

I.7 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons expliqué le concept de la quatrième révolution industrielle et les fondements sur lesquels repose cette nouvelle technologie. Pour un contrôle facile et flexible des machines et son rôle dans l'augmentation de la productivité.

Nous avons également fait connaissance avec certaines des entreprises qui s'orientent vers la mise en œuvre de cette nouvelle révolution industrielle.

Chapitre II

Les Technologies Industrielles et l'IIOT

II.1 Introduction

L'informatique industrielle a joué un rôle majeur dans le développement industriel, en particulier dans la quatrième révolution grâce à l'apparition de l'IIot (Internet Industrial Of Things) qui a représenté un saut de qualité dans ce domaine en raison de son efficacité.

II.2 Technologies utilisées dans l'industrie

II.2.1 L'Automate Programmable Industriel

II.2.1.1 Définition

Un Automate Programmable Industriel (API : Automate programmable industriel ou, en anglais, PLC (Programmable Logic Controller) : Est un appareil électronique de traitement de l'information (remplacement de logique à relais câblée) Effectue des fonctions d'automatisme programmées telles que :

- Logique combinatoire
- Séquencement
- Temporisation
- Comptage
- Calculs numériques
- Asservissement, régulation

Il nous Permet de commander, mesurer et contrôler au moyen de signaux d'entrées et de sorties (numériques ou analogiques) toutes machines et processus, en environnement industriel.[4]

II.2.1.2 Avantages :

- Câblage plus simple (Gain de place).
- Evolution et modifications possibles rapidement.[4]

II.2.1.3 Inconvénients :

- Nécessité de connaître le langage de programmation.
- Ecriture d'un programme.[4]

Sa solution la plus répandue. Il permet plus de souplesse grâce à la programmation[4]



Figure II.1 : Représentation d'un automate de Type « Siemens »

II.2.2 Le régulateur industriel :

Il est spécialement dédié à la régulation allant d'une à plusieurs dizaines de boucles en même temps. Comme exemple Le régulateur PID, appelé aussi correcteur PID (proportionnel, intégrateur, dérivateur ou proportionnel, intégral, dérivé) est un système de contrôle, permettant d'effectuer un asservissement en boucle fermée d'un système industriel ou « Procédé ». C'est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie, et il permet de régler un grand nombre de grandeurs physiques. [5]

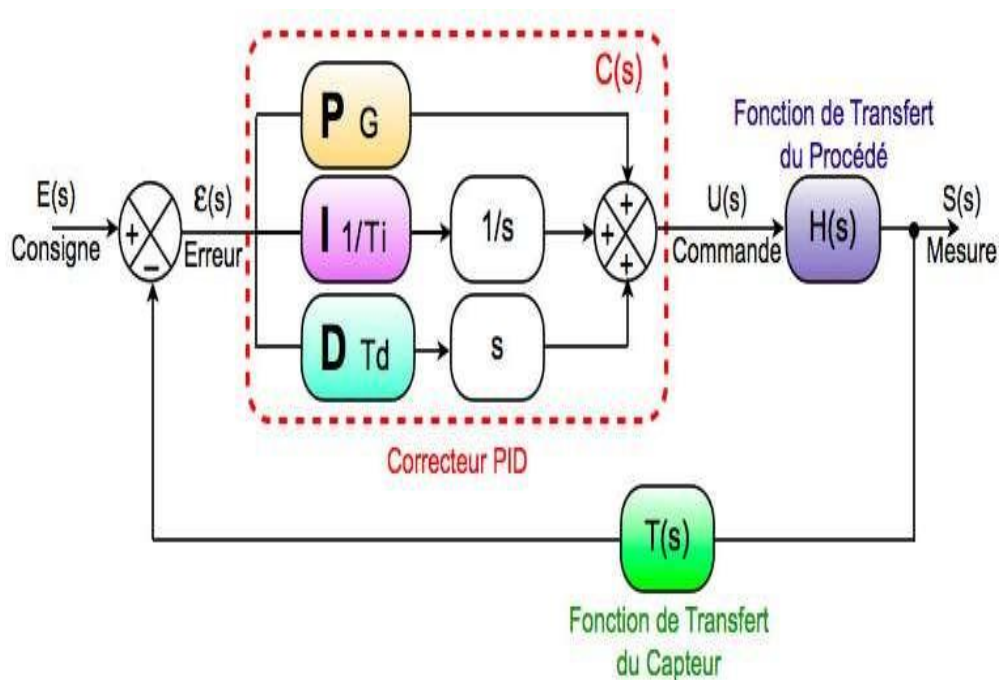


Figure II.2 : Représentation d'un Régulateur Industriel PID

II.2.3 Le Microcontrôleur ou PIC :

En réalité, un microcontrôleur est un mini-ordinateur installé dans un circuit intégré. Les progrès de la technologie dans la matière d'intégration, ont permis d'implanter la totalité des composants de la structure de base d'un ordinateur sur une puce de silicium de quelques millimètres carrés. [4]

Comme tout ordinateur, on peut décomposer la structure interne d'un microcontrôleur en trois parties :

- Les mémoires
- Le processeur
- Les périphériques

Les mémoires sont chargées de stocker le programme à exécuter ainsi que les données nécessaires et les résultats obtenus.

Le processeur est le cerveau ou le cœur du système puisqu'il est chargé d'interpréter les instructions du programme en cours d'exécution et de effectuer les opérations qu'elles contiennent. Au sein du processeur, l'unité arithmétique et logique ALU interprète, traduit et exécute les instructions de calcul.

Les périphériques sont responsables sur la tâche de la connexion bidirectionnelle du processeur au monde extérieur. Soit le processeur fournit des informations vers l'extérieur (périphérique de sortie), soit il en reçoit (périphérique d'entrée).

Donc d'une manière bien préciser un microcontrôleur est un circuit hautement intégré qui rassemble sur la même puce un CPU (Central Processing Unit), une mémoire vive RAM (Random Access Memory), une mémoire morte EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) / PROM (Programmable Read Only Memory) / ROM (Read-Only Memory), des I / O (entrée / sortie), et des timers. [4]

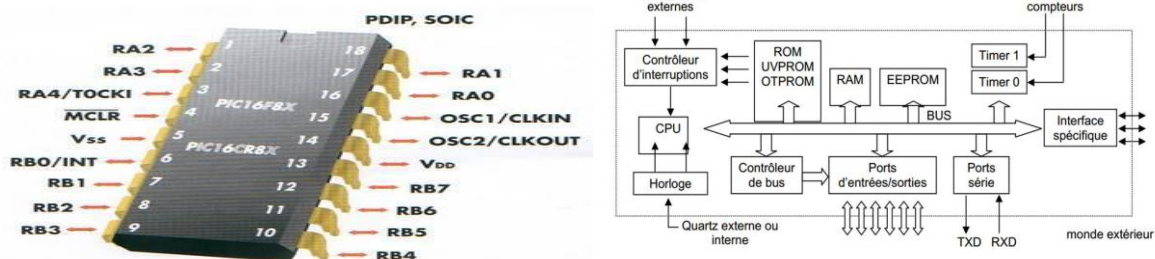


Figure II.3 : Représentation d'une Catégorie de PIC

II.2.4 Interface Homme Machine :

Cette partie on peut la considérer comme partie commune de tous les quatre premières technologies elle nous permet la réflexion autour du dialogue Homme/machine débouche sur la définition du pupitre opérateur et des balaises de signalisation.[4]



Figure II.4: Représentation d'une IHM

II.3 L'internet industriel des objets (IIoT)

L'internet industriel des objets (IIoT) est l'utilisation de capteurs et d'actionneurs intelligents pour améliorer les processus de fabrication et les processus industriels. Également connu sous le nom d'internet industriel ou d'industrie 4.0, l'IIoT exploite la puissance des machines intelligentes et de l'analyse en temps réel pour tirer parti des données que des machines stupides ont produites dans des environnements industriels pendant des années.

La philosophie de l'IIoT est que les machines intelligentes sont non seulement meilleures que les humains pour la capture et l'analyse des données en temps réel, mais qu'elles sont également plus aptes à communiquer des informations importantes qui peuvent être utilisées pour prendre des décisions plus rapides et plus précises.

Des capteurs et des actionneurs connectés permettent aux entreprises de détecter plus rapidement les inefficacités et les problèmes, et de gagner du temps et de l'argent en plus de soutenir les efforts de veille économique (BI). Dans le secteur manufacturier en particulier, l'IIoT présente un grand potentiel en matière de contrôle de la qualité, de pratiques durables et écologiques, de traçabilité de la chaîne d'approvisionnement et d'efficacité globale de la

chaîne d'approvisionnement. Dans un cadre industriel, l'IIoT est essentiel à des processus tels que la maintenance prédictive, l'amélioration des services sur le terrain, la gestion de l'énergie et le suivi des actifs. [6]



Figure II.6: *Fondements de base d'un IIoT*

II.3.1 Comment fonctionne l'IIoT ?

L'IIoT est un réseau de dispositifs intelligents connectés pour former des systèmes qui surveillent, collectent, échangent et analysent des données. Chaque écosystème industriel de l'IoT est composé de :

- Des actifs intelligents qui peuvent détecter, communiquer et stocker des informations sur eux-mêmes ;
- Infrastructures de communication de données publiques et/ou privées
- Les analyses et les applications qui génèrent des informations commerciales à partir de données brutes
- Des personnes. [6]

Les dispositifs de pointe et les ressources intelligentes transmettent des informations directement à l'infrastructure de communication de données, où elles sont converties en informations exploitables sur le fonctionnement d'une certaine machine, par exemple. Ces informations peuvent ensuite être utilisées pour la maintenance prédictive, ainsi que pour optimiser les processus d'entreprise. [6]

II.3.2 Avantages de l'IIoT

L'un des avantages les plus appréciés de l'internet industriel est la maintenance prédictive. Cela implique que les organisations utilisent les données en temps réel générées par les systèmes de l'IIoT pour prévoir les défauts des machines, par exemple, avant qu'ils ne se produisent, ce qui permet aux entreprises de prendre des mesures pour résoudre ces problèmes avant qu'une pièce ne tombe en panne ou qu'une machine ne tombe en panne.

Un autre avantage commun est l'amélioration du service sur le terrain. Les technologies de l'IIoT aident les techniciens de service sur le terrain à identifier les problèmes potentiels dans les équipements des clients avant qu'ils ne deviennent des problèmes majeurs, ce qui permet aux techniciens de résoudre les problèmes avant qu'ils n'incommodent les clients.

Le suivi des actifs est un autre avantage de l'IIoT. Les fournisseurs, les fabricants et les clients peuvent utiliser des systèmes de gestion des actifs pour suivre l'emplacement, l'état et la condition des produits tout au long de la chaîne d'approvisionnement. Le système enverra des alertes instantanées aux parties prenantes si les marchandises sont endommagées ou risquent de l'être, leur donnant la possibilité de prendre des mesures immédiates ou préventives pour remédier à la situation.

L'IIoT permet également d'améliorer la satisfaction des clients. Lorsque les produits sont connectés à l'internet des objets, le fabricant peut saisir et analyser des données sur la façon dont les clients utilisent leurs produits, ce qui permet aux fabricants et aux concepteurs de produits d'adapter les futurs dispositifs IoT et d'établir des feuilles de route de produits plus axées sur le client.

L'IIoT améliore également la gestion des installations. Comme les équipements de fabrication sont susceptibles de s'user et de se détériorer, ainsi que certaines conditions dans une usine, les capteurs peuvent surveiller les vibrations, la température et d'autres facteurs qui pourraient conduire à des conditions de fonctionnement moins qu'optimales. [6]

II.3.3 Applications et exemples de l'IIoT

Dans le cadre d'un déploiement réel de la robotique intelligente de l'IIoT, ABB, une entreprise d'électricité et de robotique, utilise des capteurs intelligents pour surveiller les besoins de maintenance de ses robots afin de déclencher des réparations avant que les pièces ne se cassent.

De même, le constructeur d'avions commerciaux Airbus a lancé ce qu'il appelle « l'usine du futur », une initiative de fabrication numérique visant à rationaliser les opérations et à stimuler la production. Airbus a intégré des capteurs dans les machines et les outils de l'atelier et a équipé les employés de technologies portables, par exemple des lunettes industrielles intelligentes, afin de réduire les erreurs et d'améliorer la sécurité sur le lieu de travail.

Un autre fabricant de robots, Fanuc, utilise des capteurs au sein de sa robotique, ainsi que des analyses de données basées sur le Cloud, pour prédire la défaillance imminente des composants de ses robots. Cela permet au directeur de l'usine de programmer la maintenance à des moments opportuns, ce qui réduit les coûts et évite les temps d'arrêt potentiels.

Magna Steyr, un constructeur automobile autrichien, profite de l'IIoT pour suivre ses actifs, y compris les outils et les pièces de véhicules, ainsi que pour commander automatiquement plus de stock si nécessaire. L'entreprise teste également un « emballage intelligent » amélioré par Bluetooth pour suivre les composants dans ses entrepôts. [6]

II.3.4 Qui sont les acteurs de l'IIoT?

Le marché de l'IIoT attire de nombreux acteurs, anciens et nouveaux qui s'investissent sur le matériel, le logiciel, le réseau et connectivité ainsi que les services associés.

Il existe bien sûr les experts historiques comme Advantech, Nexcom, Schneider Electric, ABB, Siemens, Bosch et Samsung pour ne citer qu'eux. Mais, parce que l'IIoT n'intègre pas qu'une dimension matérielle (hardware) mais également une forte dimension logicielle, il faut désormais compter avec de nouveaux acteurs !

On peut retrouver entre autre C3, Microsoft (avec Azure et Windows 10 IoT), IBM, Google (avec Google Cloud Platform), Amazon (avec AWS Green Grass), CISCO, SAP, ...

Bien sûr il existe des centaines si ce n'est des milliers d'autres acteurs, qui grâce à leur innovation et agilité tirent leurs épingle du jeu et se positionne en tant qu'outsider. [6]

II.3.5 L'avenir de l'IIoT

Bain & Company prévoit que les applications industrielles de l'IoT généreront plus de 300 milliards de dollars d'ici 2020, soit le double du segment de l'IoT grand public (150 milliards de dollars).

De même, IDC Research a indiqué que les trois principaux secteurs qui investiront dans l'IoT en 2018 sont l'industrie manufacturière (189 milliards de dollars), avec un accent sur la gestion des actifs ; les transports (85 milliards de dollars), avec un accent sur la surveillance du fret et la gestion du parc automobile ; et les services publics (73 milliards de dollars), avec un accent sur les réseaux intelligents, tandis que les dépenses des consommateurs en matière d'IoT atteindront 62 milliards de dollars.

Plus optimiste, Accenture s'attend à ce que l'IIoT ajoute 14,2 billions de dollars à l'économie sur la même période, avec un taux de croissance annuel composé (TCAC) de 7,3 % jusqu'en 2020. [6]

II.4 Conclusion :

Dans ce chapitre, nous avons présenté les technologies les plus utilisées actuellement dans le domaine industriel, à savoir les API, les PIC, les PID ainsi que les IHM. Mais, le concept qui nous a le plus intéressé est celui des systèmes IIoT avec leurs apports incomparables aux systèmes classiques notamment en ce qui concerne la souplesse et la localisation.

Chapitre III

Systemes de Commande Arduino

III.1 Introduction

Depuis plusieurs années, Arduino a popularisé l'utilisation des circuits programmables dans diverses applications. Nous allons, dans un premier temps, voir ce qu'est un système Arduino pour ensuite découvrir sa programmation. Puis nous enchaînerons sur la prise en main de certains composants électroniques compatibles avec l'Arduino.

III.2 Présentation d'Arduino

III.2.1 Définition :

Arduino est une plate-forme de prototypage d'objets interactifs à usage créatif constituée d'une carte électronique et d'un environnement de programmation. Sans tout ne connaître ni tout comprendre de l'électronique, cet environnement matériel et logiciel permet à l'utilisateur de formuler ses projets par l'expérimentation directe avec l'aide de nombreuses ressources disponibles en ligne. [7]

Pont tendu entre le monde réel et le monde numérique, Arduino permet d'étendre les capacités de relations humain/machine ou environnement/machine. Arduino est un projet en source ouverte : la communauté importante d'utilisateurs et de concepteurs permet à chacun de trouver les réponses à ses questions.

III.2.2 Bonnes raisons de choisir Arduino :

Il existe pourtant dans le commerce, une multitude de plateformes qui permettent de faire la même chose. Notamment les microcontrôleurs « PIC » du fabricant Micro chip. Nous allons voir pourquoi choisir l'Arduino :

a- Le prix :

En vue des performances qu'elles offrent, les cartes Arduino sont relativement peu coûteuses, ce qui est un critère majeur pour le débutant.

b- Les ressources libres :

Elle constitue en elle-même deux choses : Le logiciel : gratuit et open source, développée Java, dont la simplicité d'utilisation relève du savoir cliquer sur la

souris. Le matériel :cartes électroniques dont les schémas sont en libre circulation sur internet. Cette liberté a une condition : le nom « Arduino » ne doit être employé que pour les cartes « officielles ». En somme, vous ne pouvez pas fabriquer votre propre carte sur le modèle Arduino et lui assigner le nom « Arduino ». Les cartes non officielles, on peut les trouver et les acheter sur Internet et sont pour la quasi-totalité compatibles avec les cartes officielles Arduino.

c- La compatibilité :

Le logiciel, tout comme la carte, est compatible sous les plateformes les plus courantes (Windows, Linux et Mac), contrairement aux autres outils de programmation du commerce qui ne sont, en général, compatibles qu'avec Windows.

d- La communauté

La communauté Arduino est impressionnante et le nombre de ressources à son sujet est en constante évolution sur internet. De plus, on trouve les références du langage Arduino ainsi qu'une page complète de tutoriels sur le site arduino.cc (en anglais) et arduino.cc (en français)

III.2.3 Outils Arduino :

- . Il est composé de deux choses principales, qui sont : le matériel et le logiciel. Ces deux outils réunis, il nous sera possible de faire n'importe quelle réalisation.

Le matériel : Il s'agit d'une carte électronique basée autour d'un microcontrôleur Atmega du fabricant Atmel, dont le prix est relativement bas pour l'étendue possible des applications.

Le logiciel : Le logiciel va nous permettre de programmer la carte Arduino. Il nous offre une multitude de fonctionnalités.

III.2.4 Les gammes de la carte Arduino :

Actuellement, il existe plus de 20 versions de modules Arduino, citons quelques-uns afin d'éclaircir l'évaluation de ce produit scientifique et académique.[8]

- Le NG d'Arduino, avec une interface USB pour programmer et usage d'un ATmega8.
- L'Arduino Mini, une version miniature de l'Arduino en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Nano, une petite carte programme à l'aide Porte USB cette version utilisant un microcontrôleur ATmega168 (ATmega328 pour une plus nouvelle version).
- Le Lily Pad Arduino, une conception de minimaliste pour l'application wear able en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- Le NG d'Arduino plus, avec une interface USB pour programmer et usage d'un ATmega168.
- L'Arduino Bluetooth, avec une interface de Bluetooth pour programmer en utilisant un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Décimal, avec une interface USB et utilise un microcontrôleur ATmega168.
- L'Arduino Duemilanove ("2009"), en utilisant un microcontrôleur l'ATmega168(ATmega328 pour une plus nouvelle version) et actionné par l'intermédiaire de la puissance d'USB/DC.
- L'Arduino Méga, en utilisant un microcontrôleur ATmega1280 pour I/O additionnel et mémoire.
- L'Arduino Uno, utilisations microcontrôleur ATmega328
- L'Arduino Mega2560, utilisations un microcontrôleur ATmega2560, et possède toute la mémoire à 256 KBS. Elle incorpore également le nouvel ATmega8U2 (ATmega16U2 dans le jeu de puces d'USB de révision 3). La table II.1 donne les différents types de cartes Arduino.

III.2.5 Les types de cartes Arduino :

Chronologie des sorties de cartes Arduino

Version de carte	Année de sortie	Micro-contrôleur
Diecimila	2007	ATmega168V
LilyPad	2007	ATmega168V/ATmega328V
Nano	2008	ATmega328/ATmega168
Mini	2008	ATmega168
Mini Pro	2008	ATmega328
Duemilanove	2008	ATmega168/ATmega328
Mega	2009	ATmega1280
Fio	2010	ATmega328P
Mega 2560	2010	ATmega2560
Uno	2010	ATmega328P
Ethernet	2011	ATmega328
Mega ADK	2011	ATmega2560
Leonardo	2012	ATmega32U4
Esplora	2012	ATmega32U4
Micro	2012	ATmega32U4
Yún	2013	ATmega32U4 +Linino

Tableau III .1 : Chronologie des sorties de carte Arduino

III.2.6 La carte Uno

L'Arduino *Uno* est un microcontrôleur programmable qui permet, comme son nom l'indique, de contrôler des éléments mécaniques: systèmes, lumières, moteurs, etc. Cette carte électronique permet donc à son utilisateur de programmer facilement

des choses et de créer des mécanismes automatisés, sans avoir de connaissances particulières en programmation. Il est un outil pensé et destiné aux inventeurs, artistes ou amateurs qui souhaitent créer leur propre système automatique en le codant de toute pièce [9].



Figure III.1 : *Arduino Uno*

III.3 Présentation d'Arduino Uno :

Il existe plusieurs modèles de cartes Arduino mais le modèle Uno est le plus répandu et permet déjà un large éventail de possibilités.

L'Arduino Uno dispose de caractéristiques techniques suffisantes pour bien commencer dans la programmation : 14 entrées/sorties numériques, 6 entrées analogiques, une mémoire flash de 32 KB et de SRAM 2 KB, un EEPROM de 1 KB. La carte se connecte très facilement à un ordinateur via un câble USB fourni.

III.3.1 Comment utiliser l'Arduino Uno ?

Pour commencer à utiliser l'Arduino Uno, on doit dans un premier temps devoir télécharger la dernière version du logiciel Arduino. Il est compatible Windows, Mac ou Linux.

Une fois cela fait, on lance le logiciel et on pourra constater la simplicité de l'interface du logiciel qui présente très sobrement une page vierge destinée au code, ainsi qu'une barre de boutons et un menu.

Cette console servira de relais exclusif à la communication avec la carte Arduino, afin qu'on puisse compiler des programmes et les transférer sur la carte.

On doit ensuite connecter la carte Arduino Uno sur l'ordinateur grâce à sa connexion USB et on commence pas à pas l'initiation en suivant les explications et autres vidéos de programmation amateurs disponibles sur Internet.

Pour finir, le code qu'on rentre sur l'éditeur de texte vierge du logiciel Arduino (en langage C ou C++), sera la manière de faire comprendre au microcontrôleur ce qu'on souhaite instaurer comme programme.

Les boutons présents dans la barre du logiciel serviront à compiler et envoyer les informations à la carte et également à tester la configuration du programme, afin de vérifier sa viabilité.

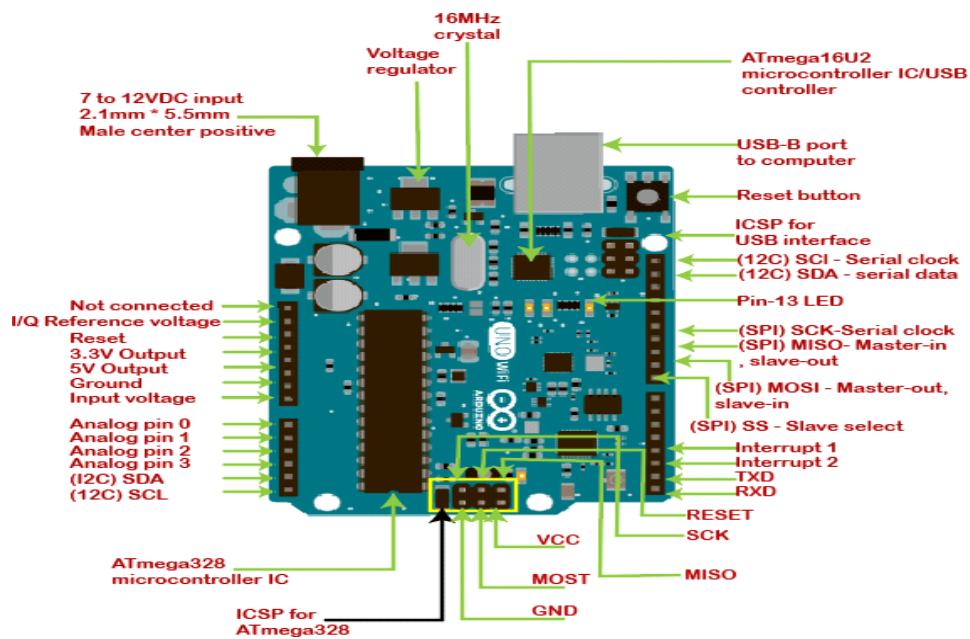
III.3.2 Caractéristiques de l'Arduino Uno

Cette carte dispose :

- ✓ 14 broches numériques d'entrées/sorties (dont 6 peuvent être utilisées en sorties PWM (largeur d'impulsion modulée).
- ✓ 6 entrées analogiques (qui peuvent également être utilisées en broches entrées/sorties numériques).
- ✓ Un quartz 16Mhz.
- ✓ Une connexion USB.
- ✓ Un bouton de réinitialisation (reset)

Elle contient tout ce qui est nécessaire pour le fonctionnement du microcontrôleur ; pour pouvoir l'utiliser et se lancer, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur à l'aide d'un câble USB (ou de l'alimenter avec un adaptateur secteur ou une pile, mais ceci n'est pas indispensable, l'alimentation étant fournie par le port USB).

La figure suivante présente le brochage de la carte Uno. [10]



FigureIII.2 : le brochage de la carte Uno. [10]

III.3.3 Synthèse des caractéristiques :

Le Tableau suivant présente les caractéristiques de la carte Arduino Uno [11]:

Mikrocontroller:	ATmega328
Operating Voltage:	5 V
Input Voltage (recommended):	7...12 V
Input Voltage (limit):	6...20 V
Digitale I/O-Pins:	14 (6 used for PWM-Output)
PWM-Pins:	6
Analog Input Pins:	6
DC Current per I/O Pin:	40 mA (max.)
DC Current for 3.3 V Pin:	50 mA (max.)
Flash Memory:	32 KB (0,5 KB used for Bootloader)
SRAM:	2 KB (ATmega328)
EEPROM:	1 KB (ATmega328)
Clock Speed:	16 MHz

Tableau III -2 : les caractéristiques de la carte Arduino Uno [11]

III.3.4 Alimentation :

a. Dès lors que l'on teste un programme sous Arduino, la carte est reliée via le port USB à l'ordinateur. Le câble USB sert à deux choses : alimenter la carte mais aussi visualiser le programme que l'on teste.

b. Quand le programme est testé et approuvé, la carte Arduino peut alors être utilisée de manière autonome. Elle n'a plus besoin de l'ordinateur pour fonctionner, mais il faut tout de même de l'énergie pour faire tourner la carte et les éventuels composants additionnels qui y sont connectés.

c. Nous allons voir plusieurs façons d'apporter l'alimentation nécessaire à l'Arduino pour fonctionner [12].

d. La tension

Il faut tout d'abord connaître les spécifications de la carte Arduino que l'on possède. Elles utilisent tout d'abord toutes des courants continus.

Si l'on regarde les différentes broches possibles, on va généralement trouver une broche étiquetée 5V, une broche étiquetée 3,3V et une broche étiquetée VIN ou RAW.

➤ VIN ou RAW correspondent à l'entrée du régulateur de tension présent sur la carte. Pour alimenter l'Arduino via cette broche, il faut une alimentation dont la tension est comprise entre 7 et 12V ;

➤ 5V n'a pas le même rôle selon que le microcontrôleur qui équipe l'Arduino est alimenté en 5V ou en 3,3V. Dans le premier cas, c'est directement la tension d'alimentation du microcontrôleur. Dans le second cas, le microcontrôleur est alimenté via un régulateur 3,3V dont l'entrée est connectée sur le 5V ;

➤ De la même manière, le 3,3V va être la tension d'alimentation du microcontrôleur pour ceux alimentés en 3,3V et une tension de service pour connecter des dispositifs externes nécessitant du 3,3V si le microcontrôleur nécessite du 5V.

e. Alimentation par USB mais sans ordinateur

Cette méthode est la plus facile pour peu que l'on possède une alimentation régulée pour Smartphone et que la carte Arduino possède un port micro-USB.

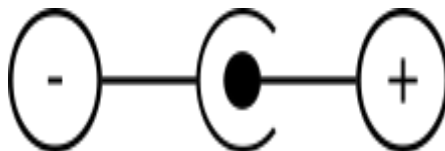
Comme le port USB de l'ordinateur, le chargeur du Smartphone délivre du 5V continu. On vérifiera d'une part que l'alimentation régulée du Smartphone est suffisante pour la consommation de la carte, c'est généralement le cas, ces alimentations délivrent au moins 1A. D'autre part, les cartes Arduino officielles sont équipées d'un fusible électronique à réarmement automatique qui coupe l'alimentation si la limite de 500mA est dépassée. Son rôle est de protéger le port USB de votre ordinateur.

Cette méthode limite donc la consommation totale de votre montage à 500mA.

f. Alimentation par connecteur Jack

Il existe un connecteur Jack femelle. Il faut donc un connecteur jack mâle de 2.1mm de diamètre interne. Ce type de connecteur possède 2 fils dont le fil + est à l'intérieur et le fil - à l'extérieur.

Cela se schématise de cette façon :



Sur cette entrée, une diode de protection, évite les mauvais branchements.

Comme source, il nous faut donc une tension entre 7 et 12V continu (tension optimale). Nous pouvons utiliser plusieurs sources:

- Un bloc d'alimentation AC/DC, 9V est une tension fréquente et idéale ;
- Une pile 9V
- Un ensemble de 7 piles 1.5V...

g. Alimentation par 2 broches de l'Arduino : VIN et GND :

Dans l'hypothèse où notre transformateur ne possède pas le connecteur jack adapté, il existe cette solution.

Après avoir repéré les fils du transformateur à savoir + et -, il faut les relier à l'Arduino par les deux broches nommées, à savoir :

- Le + (habituellement le fil rouge) est relié à la broche VIN
- Le - (habituellement le fil noir) est relié à GND, soit Ground (masse en français)

Tout comme la façon 2, la tension optimale de ce courant continu se situe entre 7 et 12V.

Dans ce contexte et afin de protéger l'Arduino d'un mauvais branchement le + sur le - et le - sur le +, nous pouvons intercaler une diode qui ne laissera passer le courant que s'il est dans le bon sens. Attention à bien mettre la diode qui est un composant polarisé dans le bon sens.

La référence de diode est de type 1N400x. Voici un petit schéma explicatif :

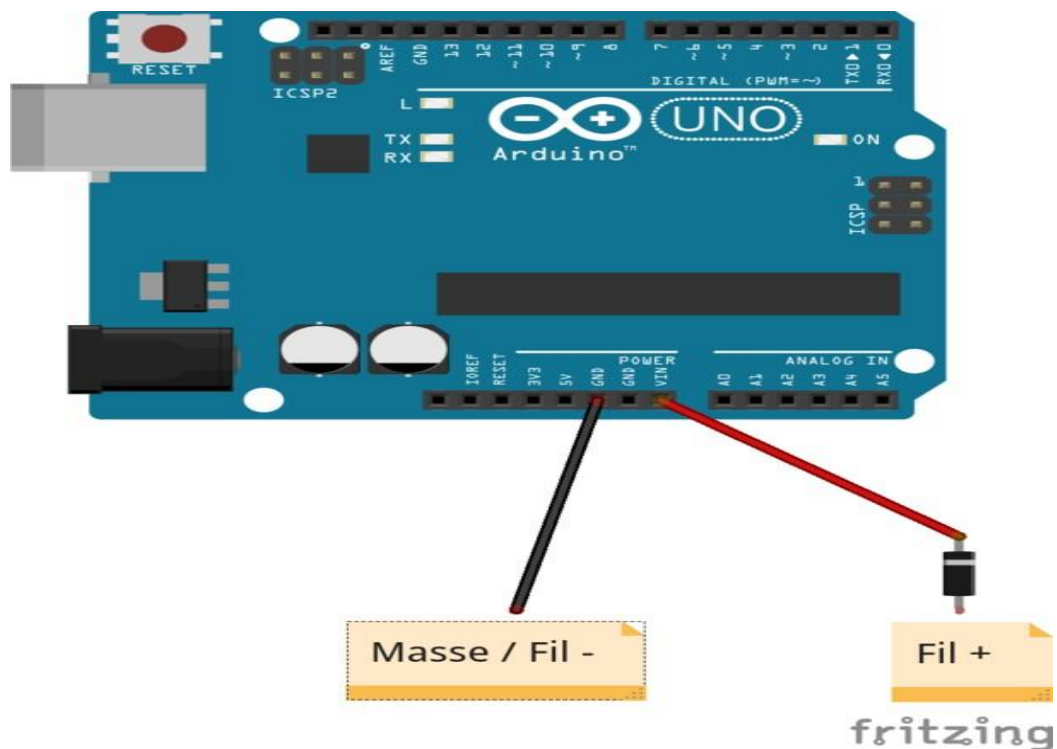


Figure III.3 : Schéma explicatif d'Arduino

III.3.5 Mémoire :

La mémoire est l'un des principaux composants d'un ordinateur ou d'un microcontrôleur comme l'*Atmega*, cœur de l'Arduino.

Nous allons examiner les 3 types de mémoires disponibles au sein d'un Arduino Uno, leurs capacités et leurs rôles afin d'en comprendre les nuances et usages.

Cet article a pour objet la présentation très synthétique de ce vaste sujet, nous évoquerons aussi

quelques pistes pour résoudre les problèmes de manque de mémoire [13].

➤ La mémoire FLASH : Peu coûteuse cette mémoire sert à stocker les programmes à exécuter, c'est une mémoire qui perdure après arrêt de l'alimentation. Rapide, elle est donnée pour une capacité de 1 000 000 de cycles. L'*atmega 328* en est doté de 32 kilobits (d'où la référence 32...8)

➤ La mémoire SRAM (Static Read Access Memory) : Coûteuse mais rapide, cette mémoire sert à stocker des données temporaires (les variables de votre programme par exemple). C'est une mémoire volatile. Arduino Uno en possède seulement 2 kilobits, ce qui peut s'avérer peu.

➤ La mémoire EEPROM : (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory ou mémoire morte effaçable électriquement et programmable). Elle permet le stockage par le programme de données persistantes, peu coûteuse, mais lente, l'*Atmega 328* en possède 1 kilobit. Cette mémoire s'utilise plus rapidement, sa capacité est de 100 000 cycles d'écriture. Cette mémoire permettra aux programmes de stocker des données de log ou des états devant être conservées de manière pérenne (après arrêt de l'alimentation)

Arduino	Processor	Flash	SRAM	EEPROM
UNO, Uno Ethernet, Menta, Boarduino	Atmega328	32K	2K	1K

III.3.6 Principaux fonctionnements :

Les principales fonctionnalités de l'interface de l'application Arduino permet d'écrire et éditer un programme (appelé sketch) qui sera compilé puis téléversé sur la carte Arduino. Ainsi, lorsque l'on apporte des changements sur le code, ces changements ne seront effectifs qu'une fois le programme téléversé sur la carte. Il est à noter que ce manuel fait référence à la version en anglais de ce logiciel puisqu'elle comporte habituellement des mises à jour plus récentes que la version en français.

III.4 Étude de la partie logicielle

L'environnement de programmation open-source pour Arduino peut être téléchargé gratuitement (pour Mac OS X, Windows, et Linux) (fig.4).

III.4.1 Plateforme de programmation Arduino :

Le logiciel de programmation de la carte ARDUINO sert d'éditeur de code (Langage proche du C). Une fois, le programme tapé ou modifié au clavier, il sera Transféré et mémorisé dans la carte à travers de la liaison USB. Le câble USB alimente à la fois en énergie la carte et transporte aussi l'information ce programme appelé IDE ARDUINO [14].



Figure III.4 : Logiciel de programmation de la carte Arduino

La fenêtre de l'application Arduino comporte les éléments suivants (fig.III.5) [15] :



FigureIII.5 : Arduino 1.8.1

1. Un menu.
2. Une barre d'actions.
3. Un ou plusieurs onglets correspondant au sketch.
4. Une fenêtre de programmation.
5. Une console qui affiche les informations et erreurs de compilation et de téléversement du programme.

Eléments du menu :

Les différents éléments du menu permettent de créer de nouveaux sketches, de les sauvegarder, de gérer les préférences du logiciel et les paramètres de communication avec votre la carte Arduino.

Dossier de travail :

Dans les préférences (File > Préférences), il est possible de spécifier le dossier de travail. Il s'agit du dossier où seront sauvegardés par défaut les programmes et les bibliothèques qui pourront y être associées. Lorsqu'un programme est sauvegardé, un dossier portant le nom du programme est créé. Celui-ci contient le fichier du programme portant le nom qu'on lui aura donné suivi de l'extension. pde ainsi qu'un dossier intitulé applet qui contient les différents éléments créés et nécessaires lors du processus de compilation du programme et de téléversement vers la carte.

Outils de configuration (Tools) :

Dans le menu Tools, il est possible et essentiel de spécifier le type de carte Arduino qu'on utilise. Sous Tools >Board, il faut spécifier pour quel type de carte on compile et téléverse le programme. Le type de carte est généralement inscrit sur la carte elle-même. Il est également nécessaire lorsqu'on branche une nouvelle carte Arduino ou que l'on change d'écarte de spécifier le port sériel virtuel qui sera utilisé pour la communication et le téléversement du programme. Pour ce faire, il faut aller sous Tools > Serial Port et choisir le port approprié. Sous Windows, il s'agit la plupart du temps du port ayant un numéro supérieur à

Sous Mac OS X, il s'agit habituellement du premier élément de la liste. Une bonne technique pour déterminer quel port correspond à la carte Arduino consiste à débrancher celui-ci, attendre un peu et de prendre note des ports déjà présents.

 **Barre d'actions (Figure III.6) :**






	<p>Bouton « Verify » (Vérifier) ; il permet de compiler votre programme et de vérifier si des erreurs s'y trouvent. Cette procédure prend un certain temps d'exécution et lorsque est terminée, elle affiche un message de type « Binary sketch size : ... » indiquant la taille du sketch téléversé.</p>
	<p>Pour transmettre le sketch compilé avec succès sur la carte Arduino dans le microcontrôleur.</p>
	<p>Bouton « New » (Nouveau) ; ce bouton permet de créer un nouveau sketch.</p>
	<p>Bouton « Open » (Ouvrir) ; il fait apparaître un menu qui permet d'ouvrir un sketch qui figure dans votre dossier de travail ou des exemples de sketches intégrés au logiciel.</p>
	<p>Bouton « Save » (Sauvegarder) ; il permet de sauvegarder votre sketch.</p>

Figure III.6 : *Barre d'actions*

III.4.2 Proteus Professionnel :

C'est une suite logicielle destinée à l'électronique. Développé par la société Labcenter Électronique, les logiciels inclus dans Proteus Professionnel permettent la CAO (Construction Assistée par Ordinateur) dans le domaine électronique. Deux logiciels principaux composent cette suite logicielle : (ISIS, ARES, PROSPICE) et VSM. Cette suite logicielle est très connue dans le domaine de l'électronique. De nombreuses entreprises et organismes de formation (incluant lycée et université) utilisent cette suite logicielle. Outre la popularité de l'outil, Proteus Professionnel possède d'autres avantages :

- Pack contenant des logiciels facile et rapide à comprendre et utiliser
- Le support technique est performant
- L'outil de création de prototype virtuel permet de réduire les coûts matériel et logiciel lors de la conception d'un projet.

III.5 Les servomoteurs :

Les servomoteurs sont des actionneurs. Très utilisés en modélisme et dans l'industrie, ils ont comme caractéristique principale leur « couple », c'est-à-dire la force de rotation qu'ils peuvent exercer. Plus un servomoteur aura de couple et plus il pourra actionner des « membres » lourds comme déplacer un bras qui porte une charge (Figure III.5) [16].



Figure III.7. Les servomoteurs

Un servomoteur est comme son nom l'indique un moteur mais avec quelques spécificités en plus. Contrairement à un moteur classique qui est utilisé pour tourner avec une vitesse proportionnelle à un courant ou à une tension, pour obtenir une position. Il effectue une rotation suivant un angle déterminé en fonction du signal envoyé. Le plus souvent l'angle est compris entre 0 et 180° puis il garde cette position.

III.5.1 Partie mécanique de servomoteur :

Un servomoteur comprend (Figure III.6):

- Un moteur électrique (continu), généralement assez petit.
- Des engrenages réducteur en sortie du ce moteur (pour avoir moins de vitesse et plus de couple ou de force).
- Un capteur type "potentiomètre" raccordé sur la sortie.
- Il s'agit donc d'une résistance qui varie en fonction de l'angle, ce qui permet de mesurer l'angle de rotation sur l'axe de sortie.
- Un asservissement électronique pour contrôler la position/rotation, de cet axe

de sortie pour le maintenir à la bonne position.

- Un dispositif électrique d'asservissement.
- Un axe dépassant hors du boîtier avec différents bras ou roues fixation.

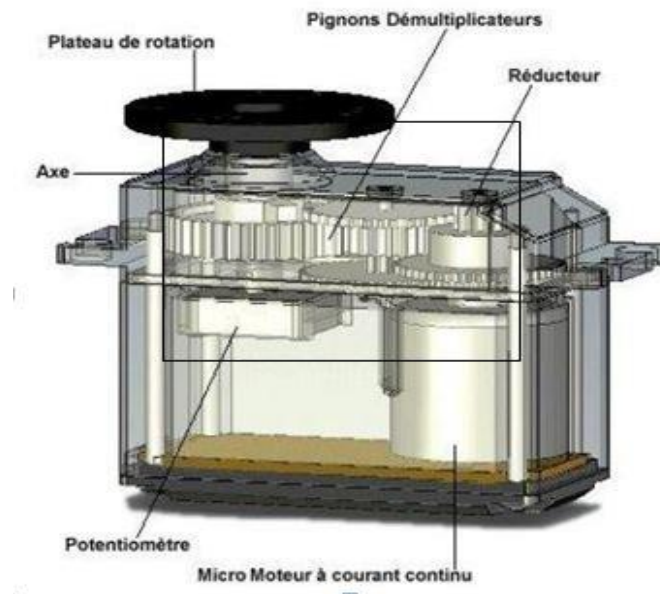


Figure III.8. Architecture d'un servomoteur

III.5.2 Les caractéristiques du SG90 :

Les différentes caractéristiques du servomoteur sont présentées dans la figure ci-dessous (Figure III.9) [17].

Servomoteur à rotation angulaire (Micro-Servo)
Caractéristiques : <ul style="list-style-type: none"> • Alimentation : 4,8 à 6V • Angle de rotation : 180° • Couple : 1,3 kg.cm • Vitesse : 0,12 sec/ 60° • Dimensions : 23,2 X 12,5 X 22 mm • Poids : 9g

Figure III.9 Caractéristiques du servomoteur à rotation angulaire (Micro-Servo)

III.5.3 Connecteur du servomoteur :

Un servomoteur se pilote par l'intermédiaire d'un câble à (03) trois fils (Figure III.8). Ce câble permet à la fois de l'alimenter et de lui transmettre des consignes de position par le fil de signal :

- Le noir ou marron : La masse
- Le rouge : La tension d'alimentation continue (+)
- Le jaune, orange, blanc ou bleu : Le signal de commande PWM

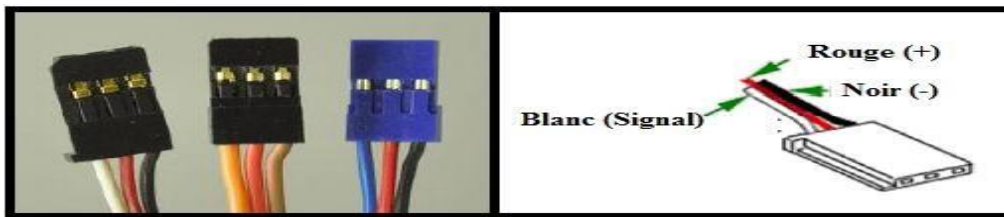


Figure III.10. Câble de commande pour servomoteur

III.5.4 Fonctionnement :

Le servomoteur est commandé par l'intermédiaire d'un câble électrique à 3 fils qui permettent d'alimenter le moteur et de lui transmettre des ordres de positions sous forme d'un signal codé en largeur d'impulsion plus communément appelés **PWM** ou **RCO**. Cela signifie que c'est la durée des impulsions qui détermine l'angle absolu de l'axe de sortie et donc la position du bras de commande du servomoteur (Figure III.9). Le signal est répété périodiquement, en général toutes les 20 millisecondes, ce qui permet de contrôler et de corriger continuellement la position angulaire de l'axe de sortie, cette dernière étant mesurée par le potentiomètre (Figure III.10) [17].

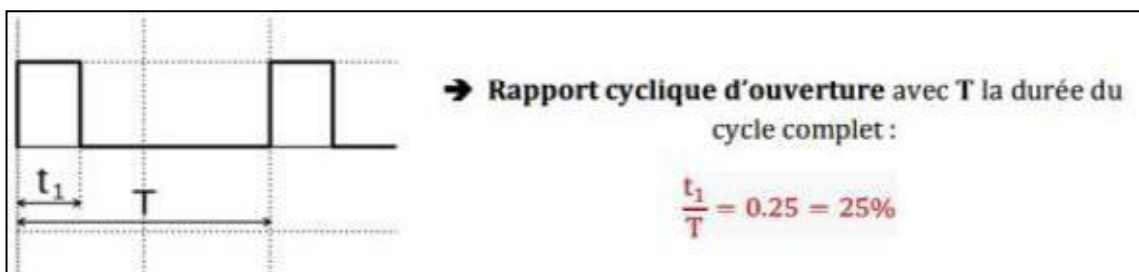


Figure III.11. Principe d'un signal de commande par PWM

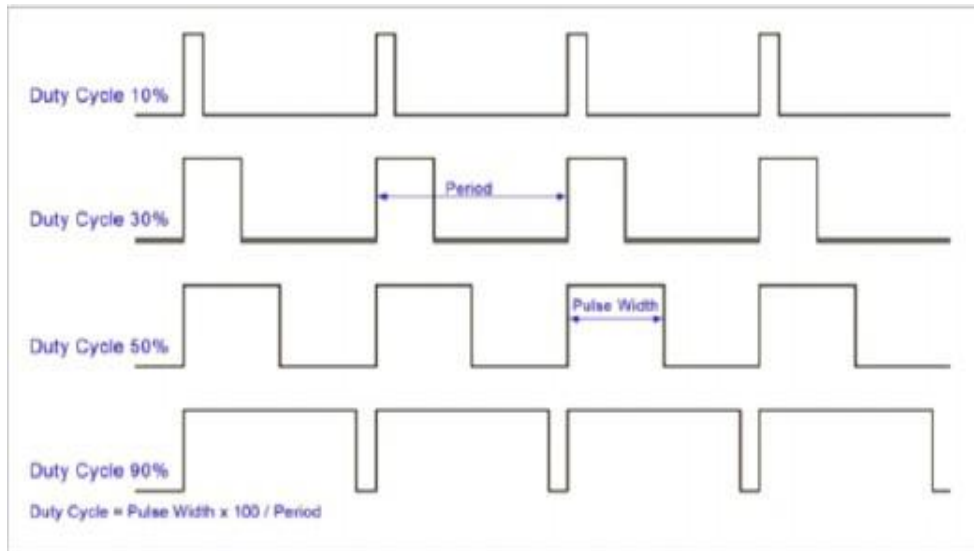


Figure III.12. Exemples des signaux PWM

III.5.5 Piloter un servomoteur avec l'Arduino :

Le mode de commande d'un servomoteur est standardisé : on envoie sur son fil de commande une impulsion dont la durée correspond à l'angle désiré (Figure III.13). Historiquement, cette impulsion était délivrée par un circuit oscillateur.

Avec la programmation de l'Arduino, ce circuit n'est plus nécessaire. Une bibliothèque (library) dédiée, la bibliothèque « servo », permet de piloter un servomoteur en lui transmettant simplement l'angle sur lequel il souhaite se positionner. [16].

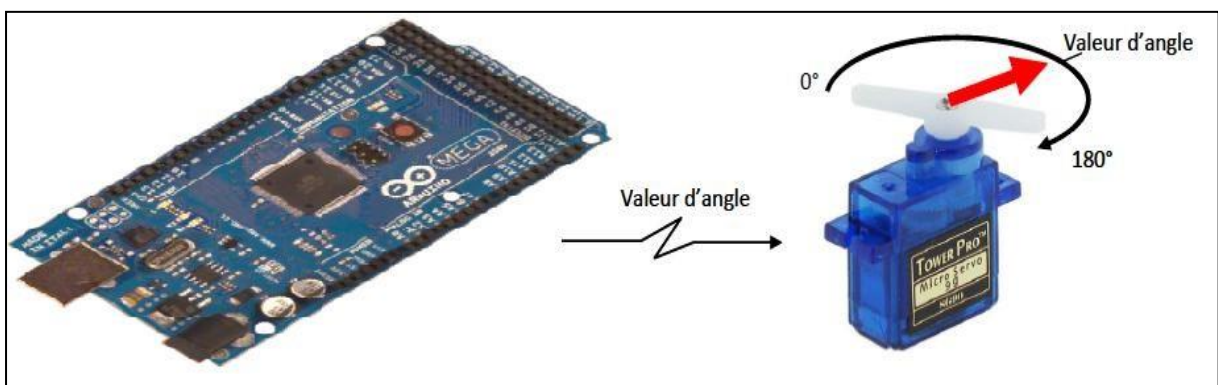


Figure III.13. La commande à l'aide Arduino

Ce qui permet de réaliser simplement des mouvements qui peuvent être complexes et de les automatiser.

Le tableau suivant présente les connaissances nécessaires au pilotage d'un servomoteur

:

<code>#include <Servo.h></code>	L'utilisation de la librairie <code>servo.h</code> qui prend en charge la communication de bas niveau entre l'Arduino et le servomoteur. Les commandes précédées par <code>#</code> sont des ordres particuliers donnés au compilateur
<code>Servo myservo;</code>	La création d'un objet de type <code>Servo</code> , appelé ici <code>myservo</code>
<code>myservo.attach(9);</code>	Le fil de commande de ce servo sera connecté au PIN 9 et l'objet <code>myservo</code> pilotera ce PIN
<code>myservo.write(90);</code> <code>myservo.write(Angle);</code>	Demander au servomoteur de se déplacer à l'angle désiré, soit de façon absolue en lui indiquant une valeur entière (90°) dans le premier cas, soit en lui passant le contenu d'une variable (<code>Angle</code>) compris entre 0 et 180, ce qui peut être utile par exemple pour donner une progressivité au déplacement en faisant varier l'angle d'un pas fixe (quelques degrés) par une boucle
<code>myservo.read(Angle);</code>	Pour lire la valeur de l'angle du servomoteur

Tableau III.3. Programmation de servomoteur sur l'Arduino .

III.6 Moteurs à courant continu :

Les machines à courant continu sont des convertisseurs électromécaniques d'énergie : Soit ils convertissent l'énergie électrique absorbée en énergie mécanique lorsqu'ils sont capables de fournir une puissance mécanique suffisante pour démarrer puis entraîner une charge en mouvement. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en moteur. Soit ils convertissent l'énergie mécanique reçue en énergie électrique lorsqu'ils subissent l'action d'une charge entraînée. On dit alors qu'ils ont un fonctionnement en générateur [18].

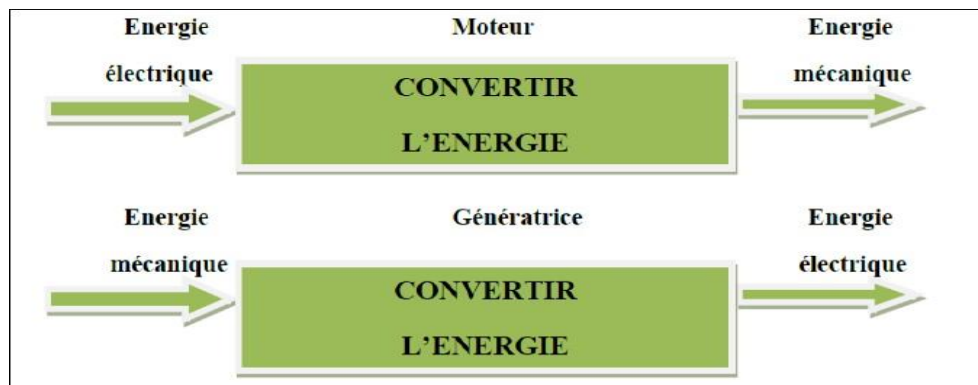


Figure.III.14. Fonctionnement de machine à courant continu.

III.6.1 Constitution :

La machine à courant continu est constituée de trois parties principales :

- L'inducteur : L'inducteur est la partie fixe du moteur. Il est constitué d'un aimant permanent ou d'un électroaimant alimenté par le courant continu d'excitation (IE).
- Le rotor (l'induit): Le rotor est constitué d'encoches dans lesquelles est enroulé un bobinage de (N) conducteurs alimentés en courant continu (I) via le collecteur
- Le collecteur et les balais : Le collecteur est un ensemble de lames de cuivre où sont reliées les extrémités du bobinage de l'induit. Les balais (ou charbons) sont situés au stator et frottent sur le collecteur en rotation. [19]

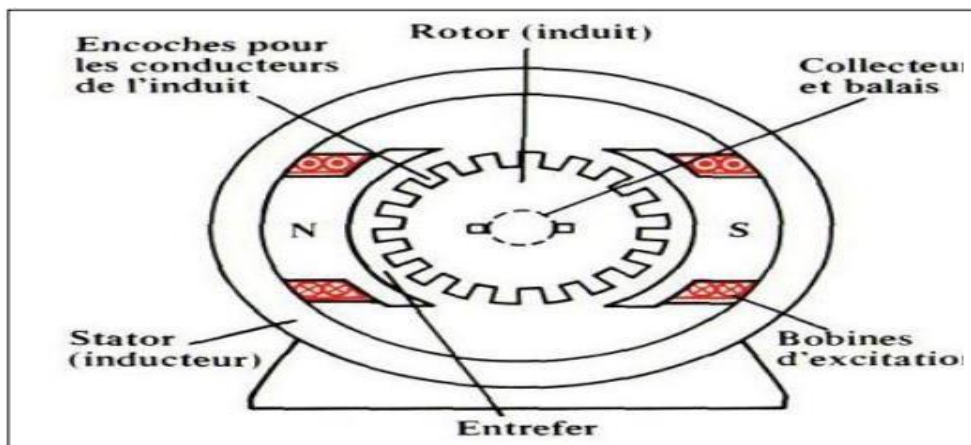


Figure III.15. Description de la machine à courant continu

III.6.2 Principe de fonctionnement :

Le fonctionnement du moteur à courant continu est basé sur le principe des forces de Laplace:

Un conducteur de longueur (L), placé dans un champ magnétique et parcouru par un courant, est soumis à une force électromagnétique.

Le champ créé par l'inducteur agit sur les conducteurs de l'induit : Chacun des (N) conducteurs de longueurs (L) placé dans le champ (B) et parcouru par un courant (I) est le siège d'une force électromagnétique perpendiculaire au conducteur : $F=B.I.L$. (I-1)

Ces forces de Laplace exercent un couple proportionnel à l'intensité (I) et au flux (Φ) sur le rotor. Le moteur met à tourner à une vitesse proportionnelle à la tension d'alimentation (V) et, inversement proportionnelle au flux (Φ).

Au passage de tout conducteur de l'induit sur la ligne neutre, le courant qui le traverse change de sens grâce au collecteur. Le moteur conserve le même sens de rotation.

Pour inverser le sens de rotation du moteur, il convient d'inverser le sens du champ produit par l'inducteur par rapport au sens du courant circulant dans l'induit:

- ✓ Soit on inverse la polarité de la tension d'alimentation de l'induit.
- ✓ Soit on inverse la polarité d'alimentation du circuit d'excitation [18].

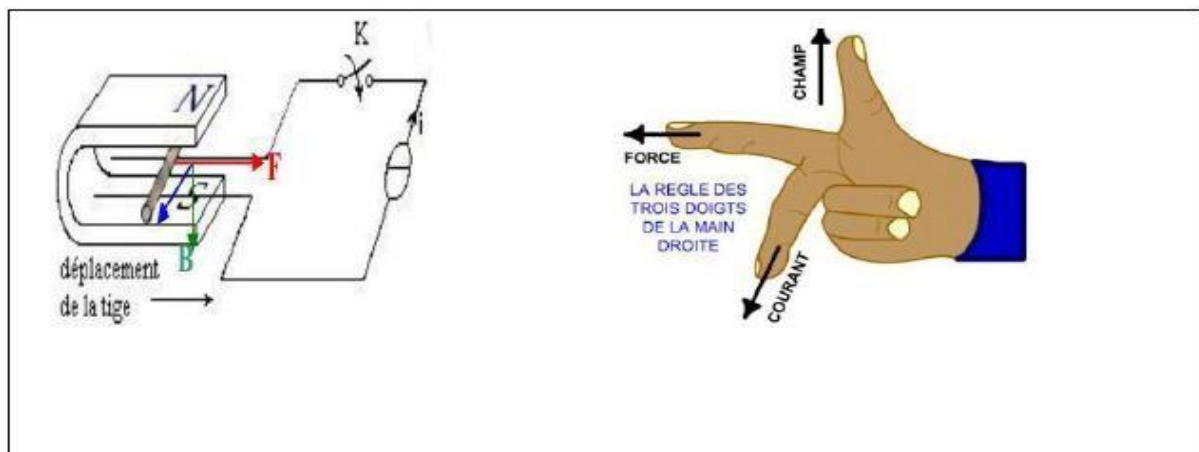


Figure.III.16. Principe de fonctionnement d'un moteur à courant continu.

III.6.3 Avantages des moteurs à courant continu :

Les moteurs à courant continu asservis apportent de grands avantages sur les moteurs pas à pas :

- Meilleure précision de positionnement
- Plus de puissance ;
- Mouvements plus rapides ;
- Meilleure rendement ;
- Moins d'échauffement [19]

III.7 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons étudié de plus près les systèmes Arduino, puis nous avons cité les différents types pour ensuite expliquer les deux parties essentielles de l'Arduino : la partie matérielle et la partie logicielle. Nous avons également expliqué le principe de fonctionnement de la carte Arduino sans oublier ses caractéristiques.

Chapitre IV

Conception et Réalisation :

- *Système de détection de couleur*
- *Système de liaison IIoT*

IV.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la partie réalisation et expérimentale de ce travail. Il est composé de 2 parties :

- La première : décrit la démarche suivie dans la conception et la réalisation d'un système à base de détecteur de couleur relié à un servomoteur.

- La seconde : décrit la démarche suivie dans la conception et la réalisation d'un système d'enregistrement à distance de données météo (température + humidité) au niveau du site *Thingspeak* via une liaison IIoT à établir.

IV.2 Les étapes de la réalisation :

La réalisation de notre dispositif a connu trois étapes :

- La première étape : cette étape comporte la conception de ce système, les composants utilisés dans cette réalisation et le montage de ce projet.
- La deuxième étape : Simulation du système avec programmation d'Arduino.
- La troisième étape : explique les avantages et le domaine utilisation.

IV.3 Description du système :

Dans ce projet qui se compose à deux parties :

Partie 1 : On a réalisé un système qui fait trier des objets ou des métiers a partie de leur couleur. On utilise un capteur de couleur modèle "TCS3200" qui capte la fréquence des couleurs et envoyé un signal vers la carte Arduino qui traiter ce dernier et commande de servomoteur pour changer la position selon la fréquence de couleur.

Partie 2 : On a réalisé un système qui envoie les données (température, humidité) vers le site *Thingspeak*, on utilise un capteur de température et humidité "DHT11" pour les changements ce dernier en utilisant "ESB82666-01" pour l'ajout d'une adresse au système. Cette pièce électronique fonctionne comme récepteur réseau Internet pour connecter ce système qui transfère les données (**Température et humidité**) sur une chaîne Google que nous avons créé "ZIANE IMSI".

IV.4 Listing des dispositifs matériels et technologiques :

- Arduino Uno
- Servomoteurs (Sg90) :
- Capteur de couleur TCS 3200 :
- Arduino Uno
- Module ESP8266
- Capteur DTH11
- Des fils de connexion

IV.5 Système de Tri par couleur : Choix des composants et justification

IV.5.1 Arduino Uno :

La carte Arduino Uno est basée sur le microcontrôleur ATmega328. Elle dispose de 14 entrées/sorties numériques (dont 6 peuvent être utilisées comme sorties PWM), 6 entrées analogiques, d'un oscillateur à quartz de 16 MHz, d'une connexion USB, d'une prise d'alimentation, un connecteur ICSP (In Circuit Serial Programming), et un bouton de reset. Elle contient tout le nécessaire pour piloter le microcontrôleur, il suffit simplement de la connecter à un ordinateur avec un câble USB pour l'utiliser simplement (**figure. IV.1**) : [20]



Figure IV.1 : La carte Arduino UNO

Caractéristiques :

Toutes les caractéristiques de la carte Arduino UNO sont exposées dans la figure suivante (**Figure IV.2**)

Microcontrôleur	ATmega328
Tension de fonctionnement	5V
Tension d'alimentation (recommandée)	7-12V
Tension d'alimentation (limites)	6-20V
Broches E/S numériques	14 (dont 6 disposent d'une sortie PWM)
Broches d'entrées analogiques	6 (utilisables en broches E/S numériques)
Intensité maxi disponible par broche E/S (5V)	40 mA (ATTENTION : 200mA cumulé pour l'ensemble des broches E/S)
Intensité maxi disponible pour la sortie 3.3V	50 mA
Intensité maxi disponible pour la sortie 5V	Fonction de l'alimentation utilisée - 500 mA max si port USB utilisé seul
Mémoire Programme Flash	32 KB (ATmega328) dont 0.5 KB sont utilisés par le bootloader
Mémoire SRAM (mémoire volatile)	2 KB (ATmega328)
Mémoire EEPROM (mémoire non volatile)	1 KB (ATmega328)
Vitesse d'horloge	16 MHz

Figure IV.2 : *Caractéristiques de carte Arduino UNO*

IV.5.2 Servomoteur Sg90 :

La rotation d'un servomoteur suivant un angle déterminé comme le montre la figure suivante.



Figure IV.3. *Photo réelle d'un servomoteur sg90.*

IV.5.3 Capteur de couleur TCS 3200 :

Le capteur de couleur TCS3200 est un détecteur complet, incluant une puce capteur TAOS TCS3200 RGB et 4 LEDs blanches. Le TCS3200 peut détecter et mesurer une gamme quasi illimitée de couleurs visibles. Les applications peuvent être la lecture de bande de tests, faire un tri par couleur, détection et calibration de lumière ambiante ou de la comparaison de couleurs, pour n'en citer que quelques-unes.

Le composant TCS3200 est une matrice de photo détecteurs, avec chacun un filtre rouge, vert ou bleu voire aucun (clair). Les filtres de chaque couleur sont répartis dans la matrice afin d'éliminer les distorsions de couleurs. Dans le composant lui-même, un oscillateur produit un signal carré dont la fréquence est proportionnelle à l'intensité de la couleur choisie. [21]



Figure IV.4: Photo d'un capteur de couleur TCS 3200

Spécifications

- Alimentation: (2.7V à 5.5V)
- Interface: numérique TTL
- Conversion haute résolution Intensité lumineuse/Fréquence
- Couleur programmable et sortie gamme de fréquence complète
- Fonction de mise hors tension

- Communique directement avec un microcontrôleur
- Dimensions: 28.4x28.4mm

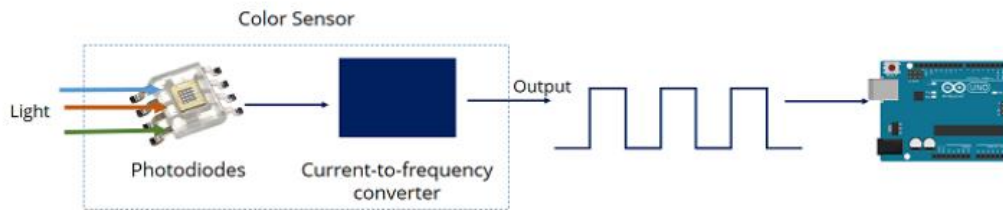


Figure IV.5 : *Fonctionnement capteur de couleur TCS 3200*

Pin Name	I/O	DESCRIPTION
GND(4)		Power supply ground. All voltages are referenced to GND
OE(3)	I	Enable for fo (active low).
OUT	O	Output frequency (fo).
S0,S1 (1,2)	I	Output frequency scaling selection inputs.
S2,S3 (7,8)	I	Photodiode type selection inputs
VDD (5)		Supply voltage
S0	S1	OUTPUT FREQUENCY SCALING (fo)
L	L	Power down (Red)
L	H	2% (Blue)
H	L	20% (Clear)
H	H	100% (Green)

Tableau IV.1 : *Calibrage de la fréquence les couleurs*

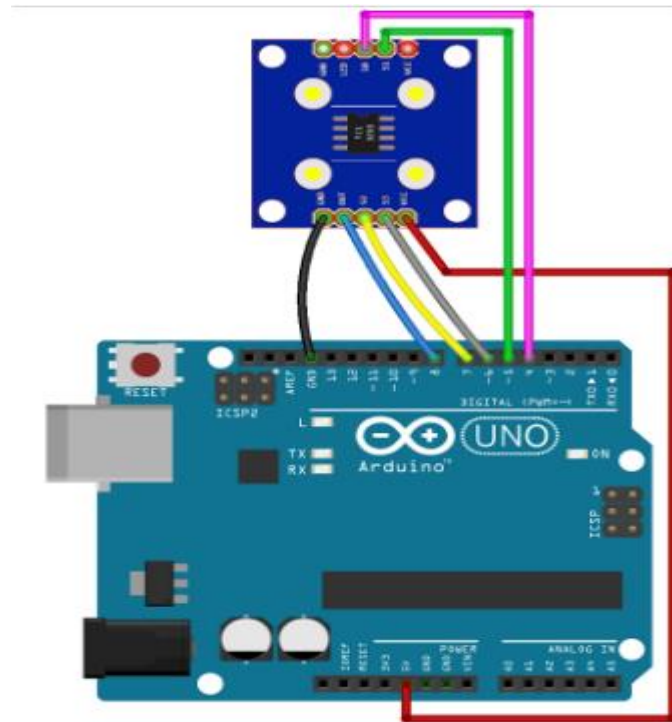


Figure IV.6: Capteur de couleur TCS3200 avec la carte arduino

- S0: digital pin 4
- S1: digital pin 5
- VCC: 5V
- S3: digital pin 6
- S4: digital pin 7
- OUT: digital pin 8

IV.6 Système de Liaison IIoT : Choix des composants et justification

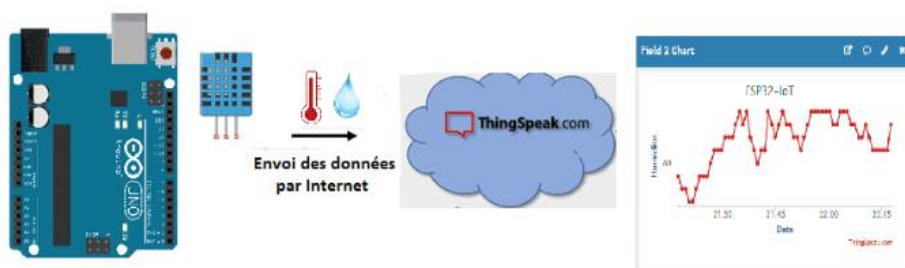


Figure IV.7 : Envoi des données par internet

IV.6.1 But de cette partie :

Grâce à la carte **Arduino** et le module **ESP8266** connectés à l'**Internet des objets (IoT: Internet of Things)**, il est possible de suivre en temps réel la température et l'humidité mesurées par le capteur DHT11.

Pour créer des applications d'enregistrement de données capteurs, on peut utiliser **ThingSpeak** qui est une API et une application open source pour l'**Internet des objets**, permettant de stocker et de collecter les données des objets connectés.

IV.6.2 Le DHT11

C'est un capteur de température et d'humidité. Il communique avec des microcontrôleurs comme micro-bit et Arduino. [22]

Caractéristiques du capteur DHT11 :

- Alimentation: 3 à 5 Vcc
- Étendue de mesure température : 0°C à 50°C ± 2°C
- Étendue de mesure humidité : 20-90%RH ±5%RH

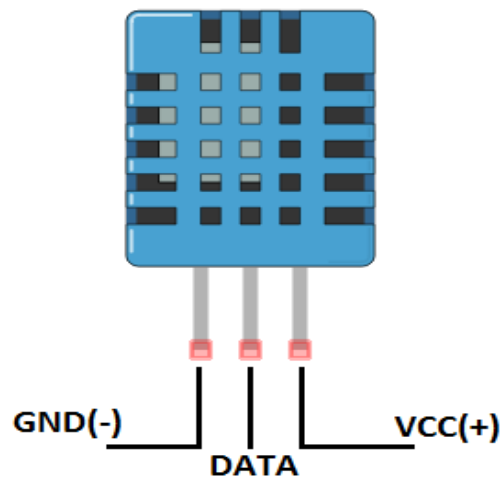


Figure IV.8 : Capteur de température et humidité DHT11

Broches de connexion du capteur DHT11:

- VCC = Alimentation 3V-5V
- DATA = signal envoyé au microcontrôleur contenant la température ou l'humidité mesurée par le capteur DHT11
- GND = Masse de l'alimentation

IV.6.3 L'ESP8266

C'est un circuit intégré à microcontrôleur avec connexion Wi-Fi développé par le fabricant chinois *Espressif*.

En août 2014, les passionnés d'électronique commencent à s'intéresser à la version ESP-01 de ce circuit intégré produite par une entreprise tierce, AI-Thinker. Celui-ci, de taille réduite, permet de connecter un microcontrôleur à un réseau Wi-Fi et d'établir des connexions TCP/IP avec des commandes Hayes. La traduction progressive de la documentation (à l'origine uniquement en chinois) motivée par le bas prix du circuit a permis le développement d'une communauté de développeurs et de passionnés de l'ESP8266 [23]

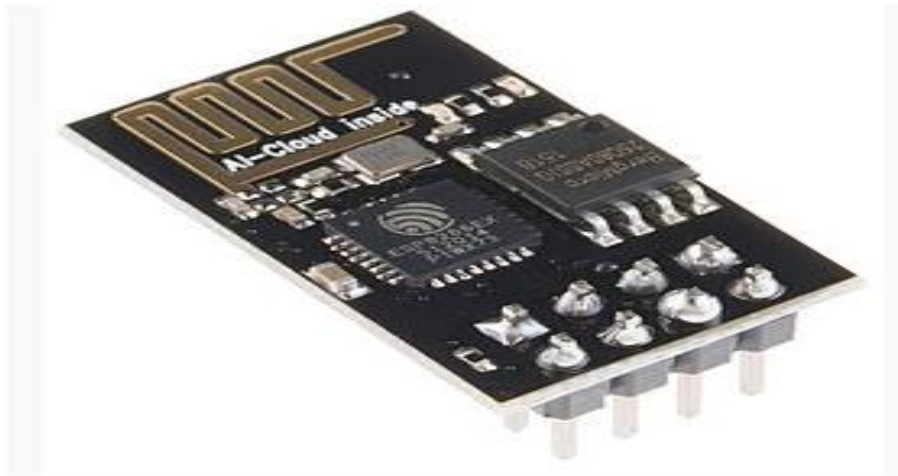


Figure IV.9. Photo d'un L'ESP8266-01

IV.6.4 Montage des composants

Pour réaliser le montage nous avons suivi certaines étapes :

IV.6.4.1 Pour le module ESP8266, on connecte:

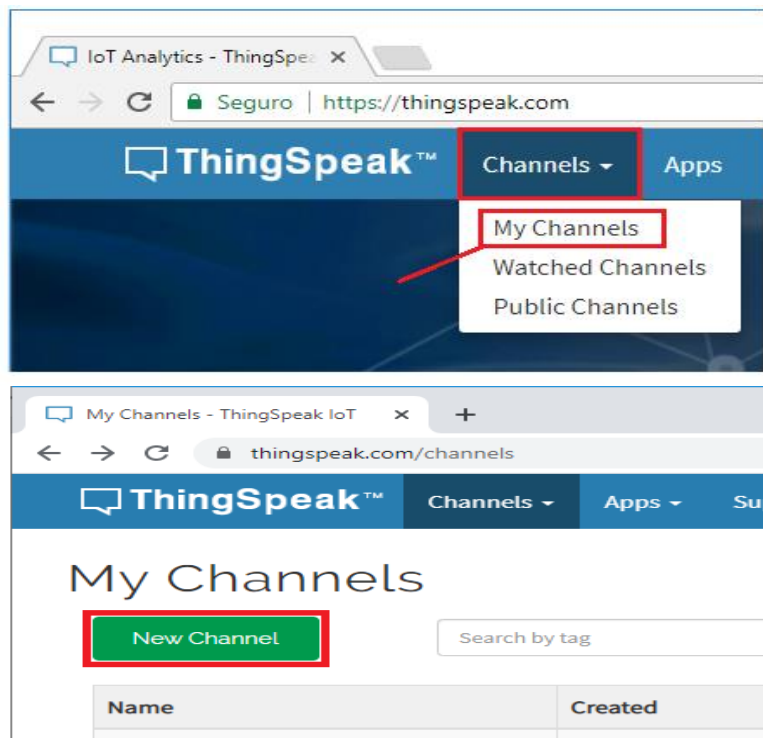
- La broche RX à la broche 2 de la carte Arduino
- La broche TX à la broche 3 de la carte Arduino
- La broche GND au GND de la carte Arduino

- Les deux broches 3V3 et EN à la broche 5V du module de l'alimentation
- La broche RST à la broche 8 de la carte Arduino
- les deux broches 3V3 et EN à la broche 5V du module de l'alimentation

IV.6.4.2 Pour le capteur DHT11, on connecte:

- la broche DATA à la broche N°11 de la carte Arduino
- la broche VCC à la broche 5V de la carte Arduino
- la broche GND à la broche GND de la carte Arduino

IV.6.5 Comment créer une nouvelle Chaine ?



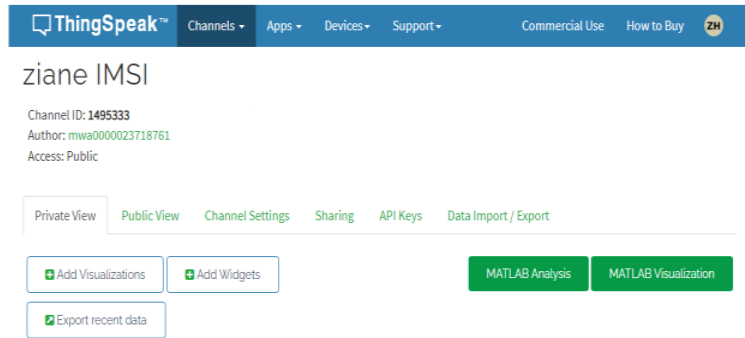
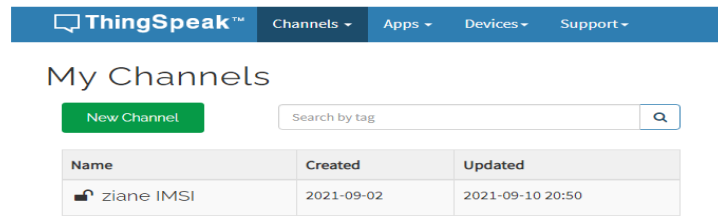


Figure IV.10 : Création d'une nouvelle chaine dans *Thingspeak*

IV.6.6 Valeurs de température envoyées par notre carte Arduino à *Thinkspeak*

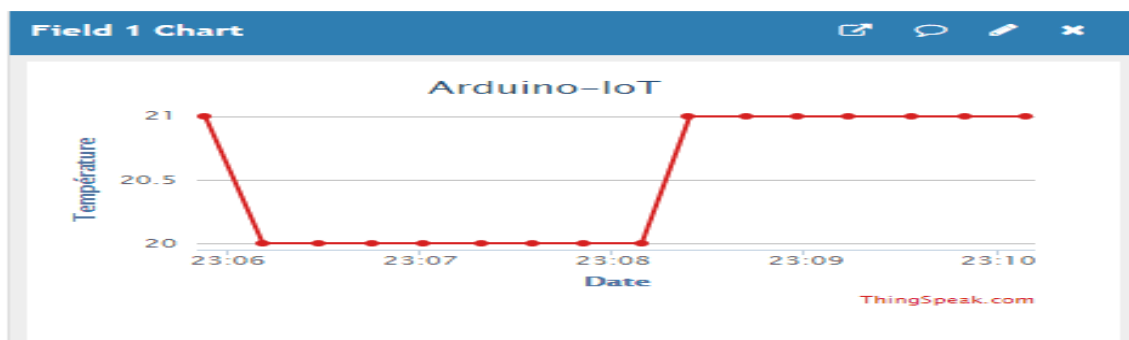


Figure IV.11 : Diagramme représentant les valeurs de température

IV.6.7 Les valeurs de l'humidité envoyées par notre carte Arduino à *Thingspeak*

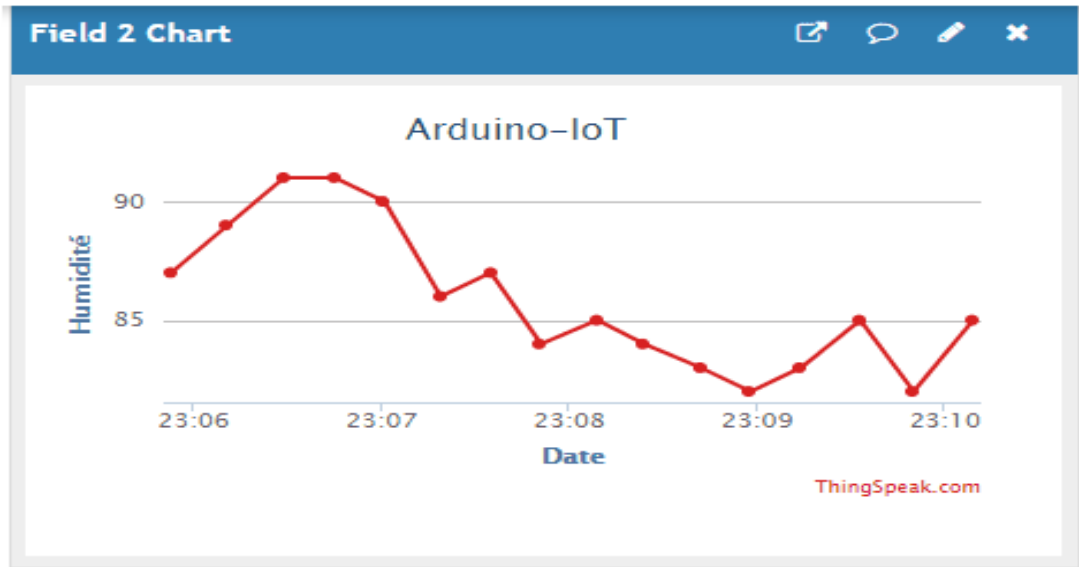


Figure IV.12 : *Diagramme représentant les valeurs d'humidité*

IV.6.8 les valeurs sur moniteur série

```

COM3
18:22:00.708 -> 13. at command => AT+CIPMUX=1 OYI
18:22:00.743 -> 14. at command => AT+CIPSTART=0,"TCP","api.thingspeak.com",80 OYI
18:22:00.823 -> 15. at command => AT+CIPSEND=0,60 OYI
18:22:02.308 -> 17. at command => AT+CIPCLOSE=0 OYI
18:22:02.343 -> Humidity in %= 53
18:22:02.763 -> Temperature (C)= 31
18:22:03.148 -> 18. at command => AT+CIPMUX=1 OYI
18:22:03.203 -> 19. at command => AT+CIPSTART=0,"TCP","api.thingspeak.com",80 OYI
18:22:03.238 -> 20. at command => AT+CIPSEND=0,60 OYI
18:22:04.733 -> 22. at command => AT+CIPCLOSE=0 OYI
18:22:04.778 -> Humidity in %= 53
18:22:05.188 -> Temperature (C)= 31
18:22:05.638 -> 23. at command => AT+CIPMUX=1 OYI
18:22:05.638 -> 24. at command => AT+CIPSTART=0,"TCP","api.thingspeak.com",80 OYI
18:22:05.698 -> 25. at command => AT+CIPSEND=0,60 OYI
    
```

Figure IV.13 : *Représente les valeurs sur moniteur série*

IV.7 Programmation avec Arduino :

IV.7.1 Programme source du projet réalisé 1 : Commande de servomoteur (système de tri par couleur)

```
#include <Servo.h>
#define S0 4
#define S1 5
#define S2 6
#define S3 7
#define Out 8
Servo myservo;
int pos=0;
int red=0;
int blue=0;
int green=0;
int autre=0;
int data=0;

void setup() {
pinMode(S0, OUTPUT);
pinMode(S1, OUTPUT);
pinMode(S2, OUTPUT);
pinMode(S3, OUTPUT);
pinMode(Out, INPUT);
Serial.begin(9600);
digitalWrite(S0, HIGH);
digitalWrite(S1, LOW);
myservo.attach(9);
}
... ..
```

```
void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
  digitalWrite(S2,HIGH);
  digitalWrite(S3,HIGH);
  green=pulseIn(Out,LOW);
  Serial.print("Green data = ");
  Serial.print(green);
  Serial.print(" ");
  delay(20);
  digitalWrite(S2,LOW);
  digitalWrite(S3,HIGH);
  blue=pulseIn(Out,LOW);
  Serial.print("Blue data = ");

  Serial.print(blue);
  Serial.print(" ");
  delay(20);
  digitalWrite(S2,LOW);
  digitalWrite(S3,LOW);
  red=pulseIn(Out,LOW);
  Serial.print("red data = ");
  Serial.print(red);
  Serial.print(" ");
  delay(20);
  if(blue<10) {
Serial.print("no color");}
else if (red < green && red > blue && red <100)
{
```

```
myservo.write(20);  
delay(100);  
Serial.print("red color is here=");  
  
else if( green < red && green > blue && green <100){  
myservo.write(90);  
delay(100);  
Serial.print("GREEN color is here=");  
}  
else if(blue < green && blue < red && blue < 100 )  
  
{  
myservo.write(150);  
delay(100);  
  
Serial.print("BLUE color is here=");  
  
}  
}
```

IV.7.2 Programme source du projet réalisé 2 : Liaison IIoT et envoi des données (Température et Humidité) vers le site *Thingspeak*

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <dht11.h>
#define RX 2
#define TX 3
#define dht_apin 11 // Analog Pin sensor is connected to
dht11 dhtObject;
//int temperature= dhtObject.temperature;
//int humidity = dhtObject.humidity;
String AP = "ziane"; // AP NAME
String PASS = "11111111"; // AP PASSWORD
String API = "MD16FR9CTRVUTAC8"; // Write API KEY
String HOST = "api.thingspeak.com";

String PORT = "80";
int countTrueCommand;
int countTimeCommand;
boolean found = false;
int valSensor = 1;
    SoftwareSerial esp8266 (2,3);
void setup() {
    Serial.begin(9600);
    esp8266.begin(115200);
    sendCommand("AT",5,"OK");
    sendCommand("AT+CWMODE=1",5,"OK");
    sendCommand("AT+CWJAP=\""+ AP +"\", \""+ PASS +"\",20,\"OK\");
}
```



```
void loop() {
  String getData = "GET /update?api_key="+ API +"&field1="+gettemperatureValue()
  +"&field2="+gethumidityValue();
  sendCommand("AT+CIPMUX=1",5,"OK");
  sendCommand("AT+CIPSTART=0,\"TCP\", \"\"+ HOST +"\", "+ PORT,15,"OK");
  sendCommand("AT+CIPSEND=0," +String(getData.length()+4),4,">");

  esp8266.println(getData);
  delay(1500);
  countTrueCommand++;
  sendCommand("AT+CIPCLOSE=0",5,"OK");
}
String gettemperatureValue(){
  dhtObject.read(dht_apin);

  Serial.print(" Temperature (C)= ");
  int temperature= dhtObject.temperature;
  Serial.println(temperature);
  delay (400);
  return String(temperature);
// delay(dhtObject.getMinimumSamplingPeriod())
}
String gethumidityValue(){
  dhtObject.read(dht_apin);
  Serial.print(" Humidity in %= ");
  int humidity = dhtObject.humidity;
  Serial.println(humidity);
  delay (400);
```

```
    return String(humidity);
// delay(dhtObject.getMinimumSamplingPeriod());
}
void sendCommand(String command, int maxTime, char readReplay[]) {
    Serial.print(countTrueCommand);
    Serial.print(". at command => ");
    Serial.print(command);
    Serial.print(" ");
    while(countTimeCommand < (maxTime*1))
    {
        esp8266.println(command);//at+cipsend
        if(esp8266.find(readReplay)//ok
        {
            found = true;

            break;
        }
        countTimeCommand++; }
    if(found == true)
    {Serial.println("OYI");
        countTrueCommand++;
        countTimeCommand = 0; }
    if(found == false)
    {
        Serial.println("Fail");
        countTrueCommand = 0;
        countTimeCommand = 0;
    } found = false; }
```

IV.8 Les Apports de ce projet

- Obtenir une information « Température et Humidité » enregistrée à distance
(Réalisation 2)
- La séparation entre des pièces ou produits facile et flexible (Réalisation 1)
- Efficacité (Réalisations 1 & 2)
- Réduction des coûts de maintenance (Réalisation 2, Température surveillée)
- Sécurité et de conformité (Réalisations 1 & 2)

IV.9 Les domaines pouvant bénéficier de nos réalisations

- Domaine pharmaceutique (Réalisations 1 & 2)
- Domaine de stockage et de conservation des produits ou de la matière première
(Réalisation 2)
- Domaine agriculture (Réalisations 1 & 2)
- Toute application (industrielle, robotique, ...) faisant appel à la détection
de couleur

IV.10 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté en détail les étapes de réalisation de notre projet. Nous avons commencé par la description du système et la justification du choix des composants avec la détermination des caractéristiques de chaque composant.

Ensuite, nous avons expliqué la partie de ce projet relative à l'implémentation de programmes indispensables au fonctionnement du système tout en listant leurs codes sources.

Enfin, nous avons présenté le fonctionnement ce projet et les domaines utilisation ainsi que cité les avantages de ce projet.

Conclusion générale

Nous avons dans ce travail présenté une étude conceptuelle et pratique d'un système industriel dédié au tri d'objets à base de couleur avec une possible liaison à l'Internet des Objets (IIoT – Industrial Internet of Things).

Pour ceci nous avons commencé par expliquer le concept de la quatrième révolution industrielle INDUSTRIE 4.0 et les fondements de base de cette technologie pour passer ensuite vers la description des principes fondamentaux des systèmes IIoT sans oublier les systèmes type Arduino qui ont été bien décrits au niveau de ce mémoire.

Ensuite, nous avons conçu et finalisé notre projet en 2 phases : la conception/réalisation un système de reconnaissance de couleur par capteur servant une application de tri d'objets selon ce critère (la couleur), puis la conception/réalisation d'une liaison IIoT à l'aide d'une carte Arduino pilotée par un programme en langage C que nous avons adapté à cet effet.

.Ce travail nous a permis d'acquérir de nouvelles connaissances dans plusieurs spécialités industrielles d'actualité et d'enrichir notre expérience dans les nouvelles technologies dans ce domaine.

Bibliographie

- [1] K. AKSA Vers une Nouvelle Révolution Industrielle : Industrie 4.0
- [2] Gilchrist, A. (2016). Industry 4.0, The Industrial Internet of Things. Springer.
- [3] Une documentation de l'entreprise « TAYAL »
- [4] M-Mohamed , H-Nour elhouda Etude , analyse et simulation du système automatisé API de la STEP résidence du complexe de la Maïserie -Maghnia- mémoire de master ,2016/2017
- [5]] https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9gulateur_PID
- [6] [https:// actualiteinformatique .fr](https://actualiteinformatique.fr)
- [7] <https://wiki.mdl29.net/.../fetch.php...Arduino-pour-bien-commencer-en-électro>
- [8] Jean-Noël Montagné, « LivretArduino en français », Centre de Ressources Art Sensitif sous licenceCC,novembre 2006.
- [9] <https://www.arduino-france.com/review/arduino-uno/Qu'est-ce-que-l'Arduino-Uno-?>
- [10] <https://www.javatpoint.com/arduino-uno-pinout>
- [11] [http://schemobotics.com/product/arduino-uno-rev3/Properties,](http://schemobotics.com/product/arduino-uno-rev3/Properties)
- [12] <http://dspace.univtlemcen.dz/bitstream/112/11743/1/Ms.ELN.Chigango%2BMapuranga.pdf>
- [13] <https://quai-lab.com/arduino-ses-memoires/>
- [14] [https://arduino.technologiescollege.fr/IMG/pdf/cahier_0_initialisation.](https://arduino.technologiescollege.fr/IMG/pdf/cahier_0_initialisation)
- [15] Logiciel Arduino 1.8.1, outil capteur. PC, 2019
- [16]http://www.planetesciences.org/iledefrance/images/psidf/pdf/Fiche_F4_Commander_des_servomoteurs_classiques_et_a_rotation_continue.pdf

[17]. Hamid HAMOUCI. Conception et réalisation d'une centrale embarquée de la domotique « Smart Home ».06/07/2015, mémoire de master en génie électrique, Université Mohammed V École Normale Supérieure d'Enseignement Technique – Rabat.

[18] www.elec.jbd.free.fr, « Machine électromagnétique »

[19] T.Asmaa, B.Sarra , Conception et réalisation d'un système automatisé de distribution des médicaments à base d'Arduino, mémoire de Master, 2018/2019

[20] <http://www.arobose.com/shop/microcontrolleurs-robot/53-carte-arduino-uno-rev-3.html>

[21] [https:// www.arobose.com](https://www.arobose.com)

[22] [https:// www.Robotique .tech](https://www.Robotique.tech)

[23] [https:// www.electro-info.ovh](https://www.electro-info.ovh)