

**RÉPUBLIQUE ALGÉRIENNE DÉMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

## **UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET**

**FACULTÉ DES SCIENCES APPLIQUEES**  
**DÉPARTEMENT DEGENIE ELECTRIQUE**



# **MEMOIRE DE FIN D'ETUDES**

**Pour l'obtention du diplôme de Master**

**Domaine : Sciences et Technologie**

**Filière : Electrotechnique**

**Spécialité : Commande Electrique**

## **THÈME**

**Système de communication mobile : Application sur un  
moteur à induction triphasé**

**Préparé par :*SENOUCI Yasmine Farah***

**Devant le Jury :**

<b>Nom et prénoms</b>	<b>Grade</b>	<b>Qualité</b>
<b>B.BELABBAS</b>	<b>MCA</b>	<b>Président</b>
<b>K.NEGADI</b>	<b>Professeur</b>	<b>Examineur 1</b>
<b>M.KOULALI</b>	<b>MCA</b>	<b>Examineur 2</b>
<b>M. KOUADRIA</b>	<b>MCB</b>	<b>Encadrant</b>

**Année Universitaire :2023 -2024**

# *DÉDICACE*

*À MES CHERS PARENTS*

*À MON CHER FRÈRE IBRAHIM*

*À MA CHÈRE SŒUR NADIA*

*À MON CHER MARI HOCINE*

*À TOUTE MA FAMILLE POUR LEUR SOUTIEN TOUT  
AU LONG DE MON PARCOURS UNIVERSITAIRE*

*SENOUCI YASMINE FARAH*

# *Remerciements*

*Je remercie Dieu de m'avoir donné la force et le courage pour réaliser ce modeste travail.*

*Je tiens à adresser mes plus sincères remerciements à mon encadrant Monsieur **KOUADRIA Mohamed** pour sa direction éclairée, son expertise, son leadership, et sa disponibilité. Ses conseils avisés et son encouragement constant ont été des catalyseurs essentiels dans la progression de ce projet. .*

*Je remercie également les membres du jury d'avoir accepté dévaluer mon travail*

*Je suis également reconnaissant envers l'équipe d'institut **KADA BELKACEM** pour avoir fourni un environnement stimulant et des ressources nécessaires à la réalisation de mon projet*

*Mes remerciements vont également à l'équipe du laboratoire **LGEGI** spécialement Monsieur **ALLAOUI Tayeb** pour son engagement, son dévouement et sa collaboration précieuse tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Je voudrais adresser mes plus sincères remerciements à ma famille pour leur soutien inconditionnel et leur amour sans faille tout au long de cette aventure académique. Leur présence réconfortante et leurs encouragements constants ont été une source de force et de motivation tout au long de ce parcours.*

## Table des matières

	Page
Résumé.....	
Table des matières.....	
Introduction générale.....	1
 <b>Chapitre 1 : Fondements théoriques</b>	
1.1. Introduction .....	4
1.2. Les moteurs électriques .....	4
1.3 Le moteur asynchrone.....	9
1.3.1 Constitution du Moteur asynchrone .....	9
1.3.1.1 Le stator.....	9
1.3.1.2 Le rotor .....	11
1.3.1.3 Organes mécaniques .....	15
1.4 Importance de la surveillance de l'état des MI.....	16
1.5 Démarrages des MAS.....	17
1.5.1 Importance du démarrage.....	17
1.5.2 Techniques des démarrages.....	18
1.5.3 Comparaison des techniques de démarrage.....	23
1.6 Mesures appliquées sur les MI.....	24
1.6.1 Importances des mesures.....	24
1.6.2 Différentes mesures appliquées.....	25
1.7 Contrôle thermique des MI.....	28
1.7.1 Effets de la température sur la performance et la durée de vie des MI.....	28
1.7.2 Solutions pour éviter les effets de la température sur les MI.....	29
1.7.3 Techniques de mesure de la température.....	29
1.7.4 Surveillance de la température en temps réel.....	30
1.8 Conclusion.....	30
 <b>Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino</b>	
2.1. Introduction.....	32
2.2 Définitions .....	32



2.3	Système à base d'Arduino.....	33
2.3.1	Domaines d'application.....	34
2.3.2	Outils de développement des arduino.....	35
2.3.3	Les périphériques d'entrée.....	38
2.3.4.	Les périphériques de sortie .....	40
2.3.5	Avantages et inconvénients d'un système à base d'Arduino.....	44
2.4	Système à base de modules de communication.....	44
2.4.1	Les modules de communication.....	45
2.4.2	Domaine d'application d'un système à module de communication .....	47
2.4.3	Avantages et inconvénients d'un système à module de communication.....	51
2.5	Communication IoT via Firebase et ESP32.....	52
2.5.1	L'Internet des objets (IoT).....	52
2.5.2	Fonctionnalités de Firebase.....	52
2.5.3	FirebaseRealtime (temps réel).....	53
2.7	Conclusion.....	53

### **Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction**

3.1	Introduction.....	56
3.2	Représentation générale du système .....	56
3.2.1	Etude des systèmes de démarrage .....	56
3.2.2	Description du schéma bloc.....	57
3.2.3	Fonctionnement global du système.....	58
3.3	Etude des systèmes de démarrages.....	59
3.3.1	Démarrage contrôlé avec interaction utilisateur.....	59
3.3.2	Démarrage via la carte Arduino.....	64
3.3.3	Démarrage utilisant un système de communication mobile.....	65
3.4	Systèmes de surveillance de la température d'un moteur à induction.....	75
3.4.1	Démarrage via carte Arduino avec interaction utilisateur.....	75
3.4.2	Démarrage à l'aide d'un système de communication mobile	80
3.5	Réalisation du système de fonctionnement du moteur à induction à base de microcontrôleur.....	81
3.5.1	Organigramme de fonctionnement.....	81
3.5.2.2	Circuit à relais permettant le démarrage et l'arrêt du moteur	82

3.5.2.3 Circuit à relais permettant le démarrage et l'arrêt du moteur.....	87
3.5.2.4 Commande du moteur à distance via GSM.....	88
3.6 Etude économique.....	96
3.7 Conclusion.....	97
Conclusion générale.....	
Références bibliographiques	

# Liste des figures

<b>Figure 1.1</b>	<i>Classification des moteurs électrique</i>	5
<b>Figure 1.2</b>	<i>Répartition des moteurs asynchrones selon leurs fonctions</i>	9
<b>Figure 1.3</b>	<i>Vue éclatée d'un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil.</i>	9
<b>Figure 1.4</b>	<i>Photo du stator feuilleté</i>	10
<b>Figure 1.5</b>	<i>Enroulements statoriques d'une phase d'un moteur asynchrone à 4 pôles</i>	10
<b>Figure 1.6</b>	<i>Stator de la machine asynchrone avant le bobinage</i>	11
<b>Figure 1.7</b>	<i>Stator de la machine asynchrone avec le bobinage</i>	11
<b>Figure 1.8</b>	<i>Vue en coupe d'un circuit magnétique du stator et du rotor d'un MAS</i>	12
<b>Figure 1.9</b>	<i>Empilement de tôles d'acier constituant le circuit magnétique</i>	12
<b>Figure 1.10</b>	<i>Vue détaillée d'un rotor à cage d'écureuil en cours de construction</i>	12
<b>Figure 1.11</b>	<i>Photo d'un rotor à cage d'écureuil.</i>	13
<b>Figure 1.12</b>	<i>Photo d'un rotor à cage avec les barres court-circuitées</i>	13
<b>Figure 1.13</b>	<i>Structure du rotor bobiné et ses connexions avec les balais</i>	14
<b>Figure 1.14</b>	<i>Photo d'un rotor bobiné d'une machine asynchrone, 140 Kw,</i>	14
<b>Figure 1.15</b>	<i>Analyse du CCV des deux systèmes utilisés dans une usine de papier</i>	16
<b>Figure 1.16</b>	<i>Schéma du démarrage direct d'une MI</i>	18
<b>Figure 1.17</b>	<i>Schéma du démarrage étoile triangle d'une MI</i>	19
<b>Figure 1.18</b>	<i>Schéma du démarrage <b>par résistances statoriques</b> d'une MI</i>	20
<b>Figure 1.19</b>	<i>Schéma du démarrage <b>par résistances rotoriques</b> d'une MI</i>	21
<b>Figure 1.20</b>	<i>Schéma du démarrage <b>par démarreur électronique</b> d'une MI</i>	22
<b>Figure 1.21</b>	<i>Quelques outils de mesure des grandeurs d'un MI</i>	25
<b>Figure 1.22</b>	<i>Outils pour la mesure du courant statorique</i>	27
<b>Figure 1.23</b>	<i>Outils pour la mesure de la tension</i>	27
<b>Figure 1.24</b>	<i>Outils pour la mesure de la vitesse</i>	28
<b>Figure 2.1</b>	<i>Structure générale du système à base d'Arduino</i>	34
<b>Figure 2.2</b>	<i>Présentation de l'èenvironnement Arduino IDE</i>	35
<b>Figure 2.3</b>	<i>Présentation de la plateformeIO</i>	36
<b>Figure 2.4</b>	<i>L'environnement MicroPython</i>	37
<b>Figure 2.5</b>	<i>Arduino PLC</i>	37
<b>Figure 2.6</b>	<i>Quelques périphériques d'entrée</i>	40
<b>Figure 2.7</b>	<i>Quelques périphériques de sortie</i>	45
<b>Figure 2.8</b>	<i>Quelques périphériques d'entrée/de sortie</i>	45

<b>Figure 2.9</b>	<i>Structure générale du système à base de module de communication</i>	46
<b>Figure 2.10</b>	<i>Cas d'un module de communication wifi)</i>	47
<b>Figure 2.11</b>	<i>Exemple de module GSM</i>	47
<b>Figure 2.12</b>	<i>Module GPS</i>	48
<b>Figure 2.13</b>	<i>Module de communication Bluetooth</i>	48
<b>Figure 2.14</b>	<i>Système d'irrigation à Internet</i>	49
<b>Figure 2.15</b>	<i>Système de sécurité d'un entrepôt à base de GSM</i>	50
<b>Figure 2.16</b>	<i>Système de sécurité d'un entrepôt à base de GSM</i>	50
<b>Figure 2.17</b>	<i>Collier GPS pour animaux de compagnie</i>	50
<b>Figure 2.18</b>	<i>Parking souterrain à base de Bluetooth</i>	50
<b>Figure 2.19</b>	<i>Logo de Firebase</i>	52
<b>Figure 2.20</b>	<i>Google Firebase</i>	54
<b>Figure 3.1</b>	<i>Structure générale du système à base d'un module GSM</i>	55
<b>Figure 3.2</b>	<i>Demarrage manuel du MI</i>	57
<b>Figure 3.3</b>	<i>Plaque signalétique du MI</i>	59
<b>Figure 3.4</b>	<i>Disjoncteur triphase (b)Contacteur(c)Relais thermique (d)Porte fusible</i>	60
<b>Figure 3.5</b>	<i>Commande du MI via carte Arduino</i>	63
<b>Figure 3.6</b>	<i>Commande du MI à base d'un module GSM</i>	64
<b>Figure 3.7</b>	<i>Présentation du module GSM SIM 808</i>	65
<b>Figure 3.8</b>	<i>Module de communication</i>	67
<b>Figure 3.9</b>	<i>Types de convertisseurs USB TTL</i>	70
<b>Figure 3.10</b>	<i>Installation du pilote USB TTL sous Windows</i>	70
<b>Figure 3.11</b>	<i>Transmission commande AT</i>	73
<b>Figure 3.12</b>	<i>Structure générale du système à base d'un module GSM</i>	75
<b>Figure 3.13</b>	<i>Diversité des Modèles de capteurs de température</i>	79
<b>Figure 3.14</b>	<i>Brochage LM 35</i>	80
<b>Figure 3.15</b>	<i>Structure générale du système à base d'un module GSM avec interaction utilisateur</i>	81
<b>Figure 3.16</b>	<i>Etapes pour démarrage d'un MI via un Module GSM et un Arduino</i>	82
<b>Figure 3.17</b>	<i>Etapes pour contrôle de température du MI</i>	84
<b>Figure 3.18</b>	<i>Démarrage direct manuelle du MI</i>	87
<b>Figure 3.19</b>	<i>Circuit intermédiaire à base de relais</i>	87
<b>Figure 3.20</b>	<i>démarrage et arrêt du moteur via carte Arduino</i>	88
<b>Figure 3.21</b>	<i>Programme démarrage et arrêt du moteur via carte Arduino</i>	88
<b>Figure 3.22</b>	<i>Programme GSM emission</i>	89
<b>Figure 3.23</b>	<i>Programme GSM reception</i>	90
<b>Figure 3.24</b>	<i>Circuit émission et réception GSM</i>	91

<b>Figure 3.25</b>	<i>messages envoyés et reçu du GSM</i>	91
<b>Figure 3.26</b>	<i>Programme émission et réception GSM</i>	93
<b>Figure 3.27</b>	<i>Circuit LM35+LCD</i>	94
<b>Figure 3.28</b>	<i>Programme LM35+LCD</i>	94
<b>Figure 3.29</b>	<i>Alertes de température envoyées par GSM</i>	95

# Liste des abréviations

<b>GSM</b>	Global system for mobiles
<b>SMS</b>	Short message service
<b>GPS</b>	Système américain de navigation et de localisation par satellite
<b>AT</b>	Attention précède toujours les commandes AT
<b>RISC</b>	Reduced Instruction Set Computer
<b>CPU</b>	Central processing unit
<b>ADC</b>	Analog to Digital Converter
<b>DAC</b>	Digital Analog Converter
<b>CCP</b>	Capture Compare PWM
<b>E/S</b>	Entrée / Sortie
<b>CAN</b>	Convertisseur analogique numérique
<b>SPI</b>	Serial Peripheral Interface
<b>UART</b>	Universal asynchronous receiver-transmitter
<b>I<sup>2</sup>C</b>	Inter Integrated Circuit Bus
<b>ISR</b>	Interrupt service routine
<b>2G</b>	Deuxième génération
<b>TTL</b>	Transistor-Transistor Logic
<b>USB</b>	Universal Serial Bus
<b>FTDI 232</b>	USB UART interface Integrated Circuit Devices
<b>TXT</b>	Transmit Data
<b>RXD</b>	Received data
<b>DC044</b>	CONVERTISSEUR Adaptateur Connecteur
<b>COM</b>	communication port
<b>VSPE</b>	Virtual Serial Port Emulator
<b>ASCII</b>	American Standard Code for Information Interchange
<b>PdU</b>	Protocol Data Unit
<b>WIFI</b>	Wireless fidelity :

---

# Introduction générale

---

## **Introduction générale**

Dans le monde moderne, les systèmes de communication mobile jouent un rôle important en permettant une surveillance et un contrôle à distance efficaces. Cette capacité développée de surveillance et de réactivité améliore considérablement la flexibilité opérationnelle et la sécurité des systèmes industriels. La rapidité d'intervention offerte par ces technologies permet aux opérateurs de recevoir des alertes en temps réel et de prendre des décisions immédiates, augmentant ainsi la performance globale des processus industriels.

Ainsi, parmi les types de communications mobiles exploités dans le domaine industriel, nous avons [1]: les alertes SMS pour avertir les opérateurs en cas de situations critiques, les applications mobiles pour surveiller à distance les machines et les processus industriels, l'utilisation de la Voix sur IP (VoIP) pour les communications vocales entre les équipes sur le terrain et le personnel de supervision, la messagerie instantanée pour la coordination rapide des tâches et des urgences, et les applications de suivi des actifs utilisant la connectivité mobile pour localiser et gérer les équipements et les véhicules. Donc, différents modules ou cartes sont employés pour assurer de telles fonctions [2]: Module GSM/GPRS pour les systèmes de contrôle à distance, Module LTE/4G pour une connectivité haut débit dans les applications industrielles, Carte SIM industrielle, Module Wi-Fi pour la communication sans fil dans les environnements industriels contrôlés, et les Carte de développements IoT avec connectivité Bluetooth pour le suivi des équipements.

Néanmoins, l'intégration des technologies de communication mobile avec les systèmes industriels est devenue une nécessité pour optimiser les opérations et assurer une gestion préventive des équipements critiques. Dans ce contexte, ce projet se concentre sur l'application d'un système de communication mobile à un moteur à induction triphasé. Les moteurs à induction triphasés sont largement utilisés dans diverses applications industrielles en raison de leur robustesse et de leur efficacité. Cependant, leur gestion et leur surveillance à distance posent encore des défis importants.

### **Problématique**



Malgré les avancées technologiques, la surveillance et le contrôle des moteurs à induction triphasés à distance restent un défi majeur, en particulier dans les environnements industriels où la réactivité et la précision sont essentielles. Comment peut-on intégrer efficacement un système de communication mobile pour surveiller et contrôler en temps réel un moteur à induction triphasé, tout en assurant une intervention rapide en cas de dysfonctionnement ou de conditions anormales ? Cette question centrale guide le développement et l'implémentation du système présenté dans ce projet, visant à améliorer la sécurité, la performance et la gestion proactive des moteurs industriels.

Pour adresser ces défis, ce projet propose l'utilisation d'un microcontrôleur associé à un module GSM pour permettre le démarrage direct et le contrôle à distance du moteur. La température du moteur a été choisie comme paramètre de surveillance critique, étant donné son impact direct sur la performance et la sécurité du moteur. En cas de dépassement de la température prédéfinie, une alerte SMS est envoyée à l'opérateur, lui permettant d'intervenir rapidement.

En outre, l'intégration d'une carte de développement ESP32, avec sa connectivité Wi-Fi intégrée, permet un suivi en temps réel de la température du moteur, offrant une partie supplémentaire de surveillance et de contrôle. La validation du système a été réalisée à travers des simulations et des tests pratiques, assurant une compréhension approfondie et une optimisation de son fonctionnement.

Par conséquent, le présent mémoire sera organisé comme suit :

**Chapitre 1 :** dans ce chapitre nous allons poser les bases théoriques en présentant les moteurs électriques et plus spécifiquement les MI en soulignant leur importance dans le domaine industriel.

Nous allons également souligner l'importance de la surveillance de l'état des MI pour prévenir les pannes et améliorer la performance. Le démarrage des MI va être analysé sous différentes techniques, en comparant leurs avantages et inconvénients respectifs. Enfin, nous allons aborder les mesures appliquées aux MI et le contrôle thermique, soulignant les effets de la température sur la performance et la durée de vie des moteurs.

**Chapitre 2 :** Le deuxième chapitre sera concentré sur les ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino. Nous allons introduire les éléments clés d'un

tel système, en décrivant les périphériques d'entrée et de sortie, et en discutant des outils de développement associés. Nous allons également examiner les avantages et inconvénients des systèmes basés sur Arduino et sur des modules de communication mobile. L'intérêt tiré de ce chapitre réside dans la compréhension des outils nécessaires pour concevoir un système de commande adaptable.

**Chapire3 :** Le troisième chapitre va être dédié à l'étude du système basé sur le MI, en présentant une représentation générale du système et son fonctionnement global. Nous allons explorer les différentes méthodes de démarrage, incluant le démarrage contrôlé par interaction utilisateur, via une carte Arduino et utilisant un système de communication mobile. Parmi les grandeurs du MI, nous choisirons la température parce qu'elle est facile à appliquer, ce qui va nous permettre de tirer parti de son emploi pour envisager des applications sur d'autres grandeurs à l'avenir. La surveillance de la température va également être abordée, en intégrant des systèmes à base d'Arduino. Nous allons détailler le processus de réalisation du système, de l'organigramme de fonctionnement à la conception et la simulation des circuits imprimés, en enfin la programmation. L'étude économique va compléter cette analyse en évaluant la faisabilité financière du projet.

---

# Chapitre 1

## Fondements théoriques

---

### **1.1 Introduction**

L'étude des fondements théoriques des moteurs à induction (MI) est importante pour comprendre leur fonctionnement, leur maintenance et leur optimisation. Ce chapitre est essentiel car il fournit les bases nécessaires pour aborder les aspects pratiques et techniques des moteurs asynchrones, un pilier de l'industrie moderne. Ce chapitre se propose d'explorer les fondements théoriques des MI, un type de moteur électrique couramment utilisé dans diverses applications industrielles. Nous débuterons par une présentation générale des moteurs électriques, avant de nous concentrer sur la constitution et les composants spécifiques des moteurs asynchrones, tels que le stator, le rotor à cage d'écureuil, et le rotor bobiné. Ensuite, nous discuterons de l'importance de la surveillance de l'état des MI et des différentes techniques de démarrage. Enfin, nous examinerons les mesures appliquées sur les MI et les méthodes de contrôle thermique, essentielles pour assurer leur performance et leur longévité. Ce cadre théorique nous permettra de mieux comprendre les aspects pratiques abordés dans les chapitres suivants.

### **1.2 Les moteurs électriques**

Bien que les moteurs universels puissent être alimentés par courant alternatif ou courant continu. L'identification et la classification des moteurs sont compliquées et peuvent être assez déroutantes en raison des similitudes dans les caractéristiques et la construction qui couvrent la répartition entre les moteurs à courant alternatif et à courant continu. Pour clarifier la situation, la figure 1.1 montre les interrelations des principaux moteurs selon leurs types[3].

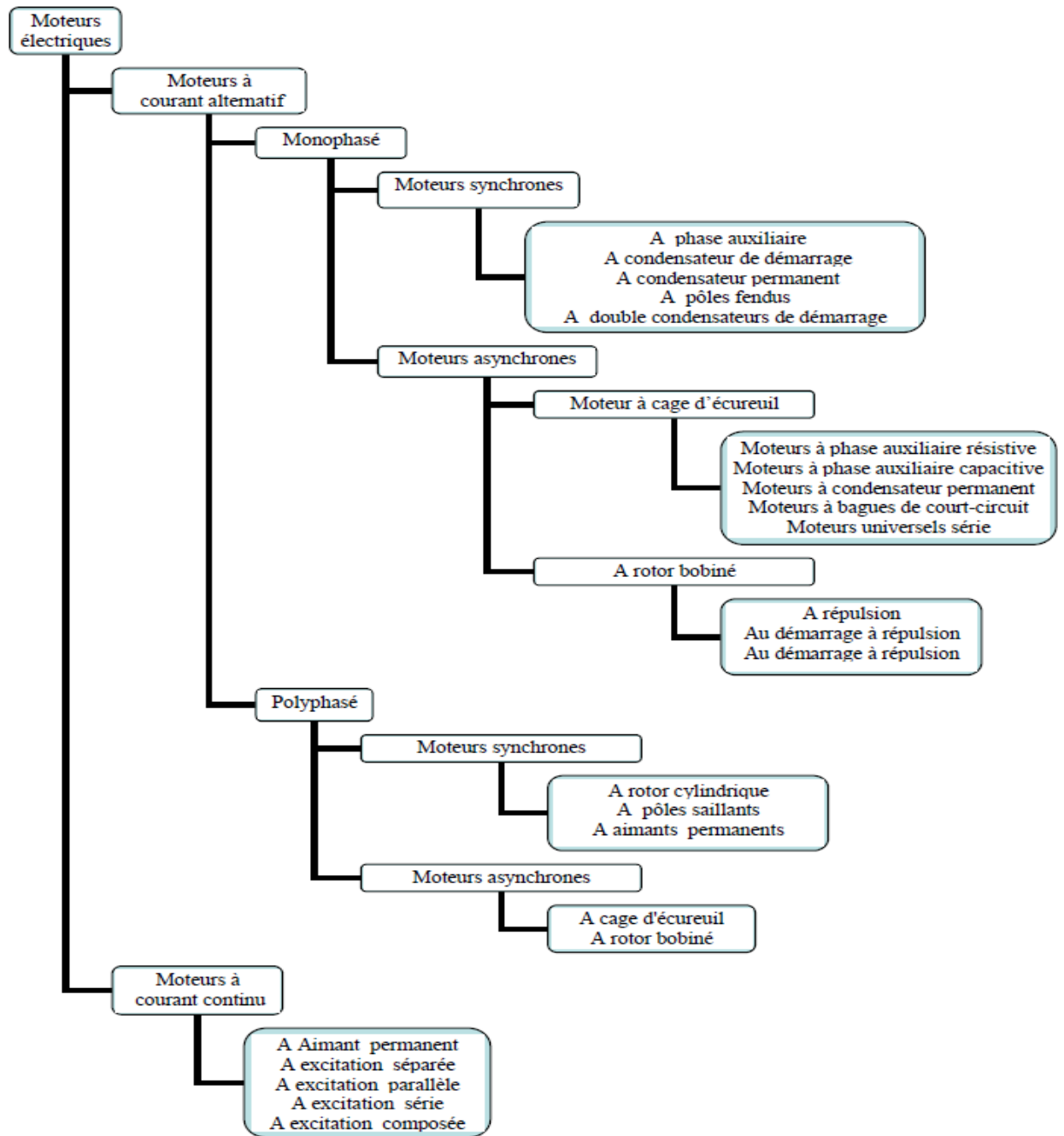


Figure 1.1 Classification des moteurs électrique.

Cette figure montre la diversité des moteurs électriques utilisés dans différents domaines. Cette diversité est due au faite que chaque type de moteur présente des avantages et malheureusement, certains inconvénients. Le tableau suivant représente une classification des moteurs électriques selon leurs avantages, inconvénients et leurs domaines d'application[4].

## Chapitre 1 Fondements théoriques

Avantages	Inconvénients	Domaine d'application
<p>Moteur asynchrone</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible coût fabrication</li> <li>• Disponible dans une large gamme de puissances</li> <li>• Contrôle de vitesse à bas prix</li> <li>• construction simple et robuste</li> <li>• nécessite peu d'entretien.</li> <li>• rendement élevé et un facteur de puissance raisonnablement bon.</li> <li>• couple de démarrage automatique.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inefficace à faibles charges</li> <li>• Le changement de température du rotor complique le contrôle sans capteur</li> <li>• Le contrôle de la vitesse nécessite une fréquence de stator variable</li> <li>• moteur à vitesse constante et sa vitesse ne peut pas être modifiée facilement.</li> <li>• Son couple de démarrage est inférieur à d.c. moteur de dérivation.</li> </ul>	<p>Pompes à pétrole et à produits chimiques,</p> <p>Équipements de traitement d'air,</p> <p>Compresseurs,</p> <p>Concasseurs,</p> <p>Convoyeurs, Tours, Broyeurs, Perceuses,...</p>
<p>Moteur synchrone</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• La chaleur générée dans le stator est facile à retirer</li> <li>• Couple élevé par taille du cadre</li> <li>• Rendement le plus élevé</li> <li>• Bonne performance à grande vitesse</li> <li>• Surveillance et régulation de la vitesse précises possibles</li> <li>• Couple lisse</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Détection de la position du rotor requise</li> <li>• Une technique de capteur de position ou sans capteur est nécessaire pour le fonctionnement du moteur</li> <li>• Difficulté de démarrage du moteur en utilisant une technique sans capteur</li> </ul>	<p>La production d'énergie,</p> <p>Les éoliennes,</p> <p>Correction du facteur de puissance,</p> <p>Amélioration de la régulation de tension des lignes de transmission,</p> <p>Entraînements du moteur à essence,</p> <p>Servomoteurs,</p> <p>Compresseurs, contrôle de la pression de condensation des installations frigorifiques, etc.</p>

Moteur à courant continu	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Installation facile</li> <li>• Contrôle de vitesse sur une large gamme</li> <li>• Démarrage rapide, arrêt, inversion et accélération</li> <li>• Couple de démarrage élevé</li> <li>• Courbe vitesse-couple linéaire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• la pression de contact entre balais et le collecteur doit être importante, surtout à des vitesses élevées.</li> <li>• durée de vie limitée des balais</li> <li>• Si le moteur tourne à une vitesse trop élevée, la force centrifuge peut endommager le système de fixation des bobinages du rotor.</li> </ul>	Laminoirs, Ascenseurs, Convoyeurs, Locomotives électriques, Systèmes de transport rapide, Grues et palans, Tours, Machines-outils, Soufflantes et ventilateurs, etc.
--------------------------	---	--	--

**Tableau 1.1** Comparaison entre les différents moteurs électriques

▪ **Autres types de moteurs électriques**

Pour terminer le tour d'horizon des moteurs industriels citons d'autres types de moteurs particuliers ayant des attributs importants et qui sont largement utilisés :

- ✓ Moteur à Courant Continu Sans Balais ( Brushless Direct Current Motor (BLDC motors) en anglais)

Les moteurs BLDC font partie de la classe des moteurs synchrones à courant alternatif. Ils ont un enroulement de stator triphasé et un rotor avec des aimants permanents montés en surface. Un moteur BLDC n'a pas de commutateur et est plus fiable qu'un moteur à courant continu. Le contrôle numérique et l'électronique de puissance remplacent la fonction du commutateur [5].

- ✓ Moteur à Réductance Commutée(Switched Reluctance Motor (SRM) en anglais)

Le moteur à réductance commutée produit un couple par une méthode de réductance variable. Ce type de moteurs ne contient pas d'aimants et est construit de telle sorte que le stator et le rotor ont des pôles saillants. Le moteur est entraîné par une série d'impulsions de courant appliquées à chaque phase, ce qui nécessite une électronique de commande pour le fonctionnement[k].A titre de comparaison, nous avons le tableau suivant :

## Chapitre 1 Fondements théoriques

	Avantages	Inconvénients	Domaine d'application
BLDC	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La chaleur générée dans le stator est facile à évacuer</li> <li>• Couple élevé par dimension de l'armature</li> <li>• Fiabilité due à l'absence de balais et de collecteur</li> <li>• Plus haute efficacité</li> <li>• Bonne performance à grande vitesse</li> <li>• Surveillance précise de la vitesse et régulation possible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Détection de la position du rotor requise pour la commutation</li> <li>• Oscillation du couple</li> <li>• Un capteur de position ou une technique sans capteur est nécessaire pour le fonctionnement du moteur</li> <li>• Difficulté à démarrer le moteur pour une charge variable en utilisant une technique sans capteur</li> </ul>	Réfrigérateurs, machines à laver, lave-vaisselle, Compresseurs, pompe et système de ventilation, véhicules électriques
SRM	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Faible coût résultant de la construction simple</li> <li>• couple de démarrage élevé</li> <li>• Grande fiabilité</li> <li>• Haute tolérance aux pannes inhérentes</li> <li>• La chaleur générée dans le stator est facile à évacuer</li> <li>• Opération à grande vitesse possible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Acoustiquement bruyant</li> <li>• Haute vibration</li> <li>• Les non-linéarités magnétiques rendent difficile le contrôle du couple</li> <li>• Dépend de la commande électronique pour le fonctionnement</li> </ul>	véhicules électriques

**Tableau 1.2** *Comparaison entre d'autres moteurs industriels*

L'analyse des tableaux précédents montre d'une manière claire les performances des moteurs asynchrones par rapport aux autres types de moteurs.

Cette analyse est démontrée par l'étude réalisée en 2013 par l'agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie qui montre que plus de 90% des moteurs utilisés dans les entreprises industrielles sont des moteurs asynchrones.

La figure 1.2 suivante montre le taux d'utilisation des moteurs asynchrones dans les différents secteurs industriels.



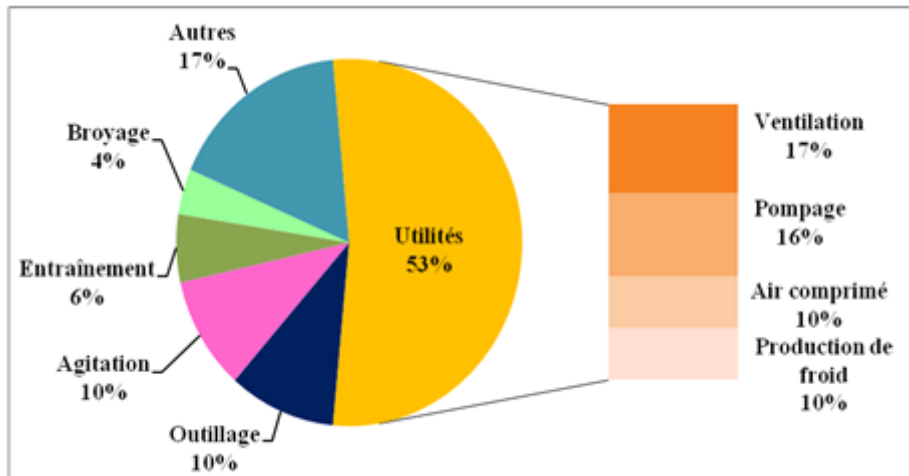


Figure 1.2 Répartition des moteurs asynchrones selon leurs fonctions[6]

Cette étude a contribué à orienter notre travail de recherche vers les moteurs asynchrones.

### 1.3 Le moteur asynchrone

#### 1.3.1 Constitution du Moteur asynchrone

Le moteur asynchrone ou à induction, est un convertisseur d'énergie électromécanique constitué de deux parties principales : le stator et le rotor. La puissance est transférée d'une partie à l'autre par induction électromagnétique[7].

La figure suivante, nous donne un aperçu sur la constitution du moteur asynchrone à cage d'écureuil.

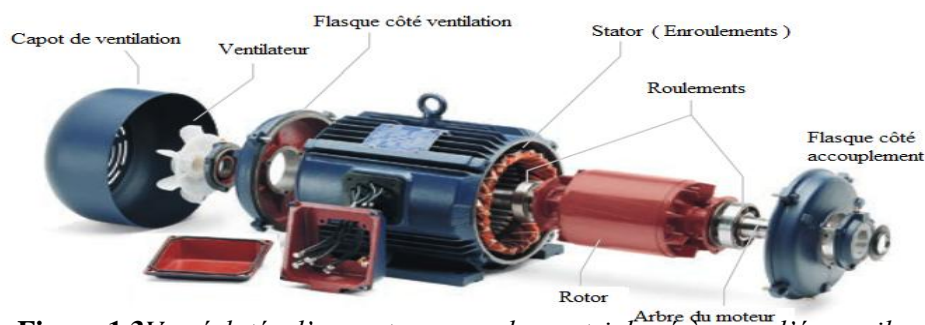


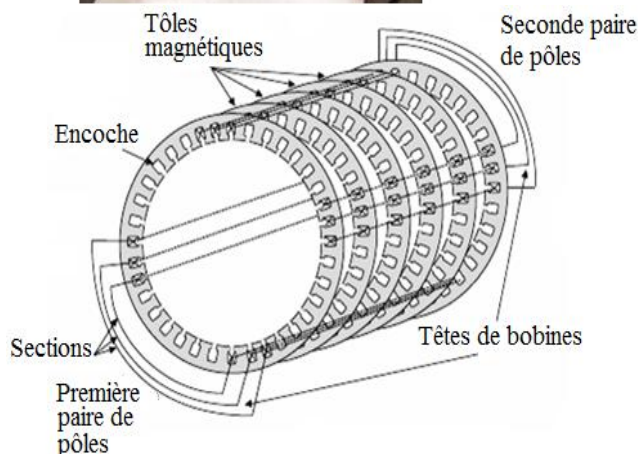
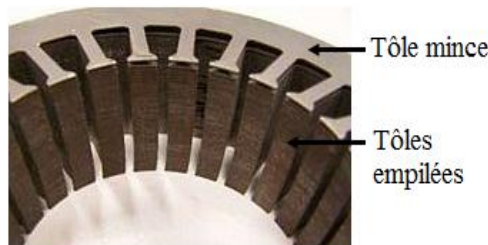
Figure 1.3 Vue éclatée d'un moteur asynchrone triphasé à cage d'écureuil.

##### 1.3.1.1 Le stator

Le stator comporte une carcasse qui constitue un cylindre vide, un circuit magnétique et un ensemble de bobinages électriques isolés[8].

- **Le cadre cylindrique** : il est fabriqué en fonte ou en alliage d'aluminium coulé ou en tôle d'acier soudée.
- **Le circuit magnétique** : il renferme un empilage de tôles minces d'acier identiques dans lesquelles sont découpées des encoches parallèles à l'axe du moteur, figure 1.4. Les tôles utilisées ont une épaisseur qui varie entre 0.35 et 0.50 *mm* pour minimiser les pertes dans le circuit magnétique et sont isolées d'une mince couche de vernis ou de silicate de soude afin de limiter l'effet des courants de Foucault.
- **Le bobinage électrique** : il est constitué de deux parties : les conducteurs d'encoches et les têtes de bobines, figure 1.5. Les conducteurs d'encoches permettent de créer dans l'entrefer le champ magnétique à l'origine de la conversion électromagnétique. Les têtes de bobines permettent, quant à elles, la fermeture des courants en organisant leur circulation[9].

L'objectif est d'obtenir à la surface de l'entrefer une distribution de courant la plus sinusoïdale possible, afin de limiter les ondulations du couple électromagnétique[10].

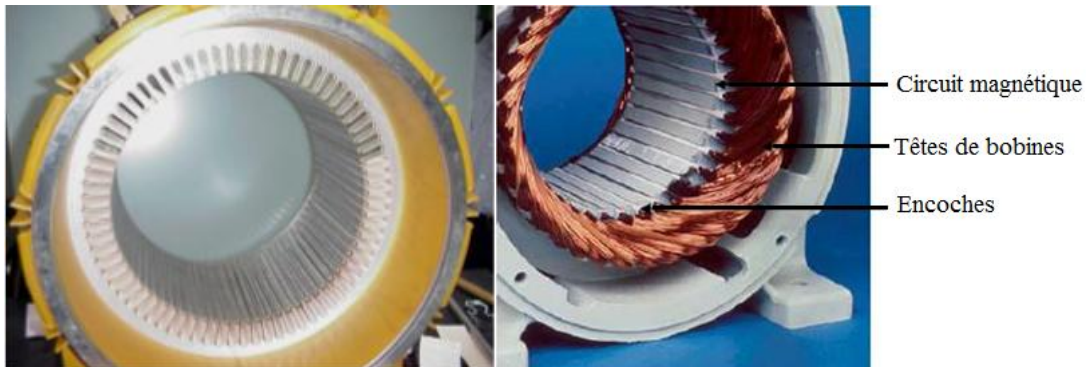


**Figure 1.4** Photo du stator feuilleté

**Figure 1.5** Enroulements statoriques d'une phase d'un moteur asynchrone à 4 pôles

Les figures suivantes illustrent [11]:

- ✓ Figure 1.6 : le stator avant la phase du bobinage, Dans ce cas, les encoches dans lesquelles passent les enroulements doivent être isolées.
- ✓ Figure 1.7 La phase accomplie du bobinage statorique. Les bobines sont mises en place au niveau des encoches statoriques,



**Figure 1.6** *Stator de la machine asynchrone avant le bobinage*

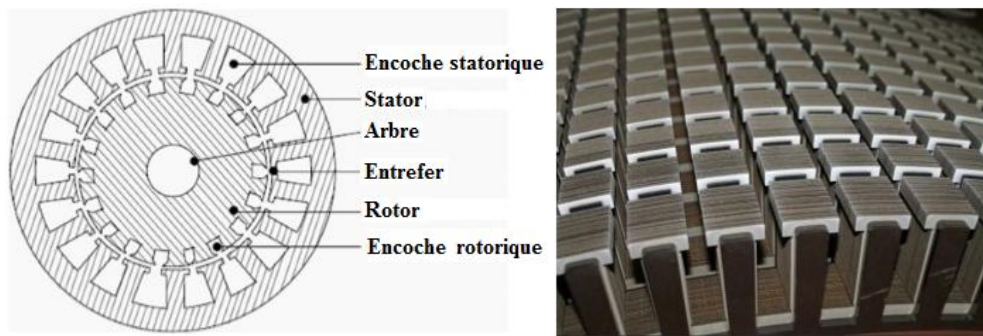
**Figure 1.7** *Stator de la machine asynchrone avec le bobinage*

### 1.3.1.2 Le rotor

C'est la partie tournante de la machine. La conception du rotor dépendra du type particulier de la machine. Le rotor se compose d'un cylindre de tôles poinçonnées à leur périphérie extérieure pour former les encoches destinées à recevoir des conducteurs. Il est séparé du stator par un entrefer très court - de l'ordre de 0,4 à 2 mm seulement. Il existe deux types de rotors dans les machines asynchrones: les rotors bobinés et à cage d'écureuil[12].

#### (A) Le rotor à cage d'écureuil

Dans le rotor à cage, les anneaux de court-circuit permettent la circulation des courants d'un conducteur d'encoche (barre rotorique) à l'autre. Ces barres conductrices sont régulièrement réparties, et constituent le circuit du rotor. Cette cage est insérée à l'intérieur d'un circuit magnétique constitué comme le stator de tôles empilées et habituellement du même matériau, figures 1.8 -1.9. Il n'y a généralement pas, ou très peu, d'isolation entre les barres rotoriques et les tôles magnétiques. Leur résistance est suffisamment faible pour que les courants de fuite dans les tôles soient négligeables, sauf lorsqu'il y a une rupture de barre [13][14].



**Figure 1.8** Vue en coupe d'un circuit magnétique du stator et du rotor d'un moteur asynchrone.

**Figure 1.9** Empilement de tôles d'acier constituant le circuit magnétique d'un rotor à cage d'écureuil

La figure 1.10 montre une vue détaillée d'un rotor à cage d'écureuil en cours de construction avec des trous de refroidissement[15].



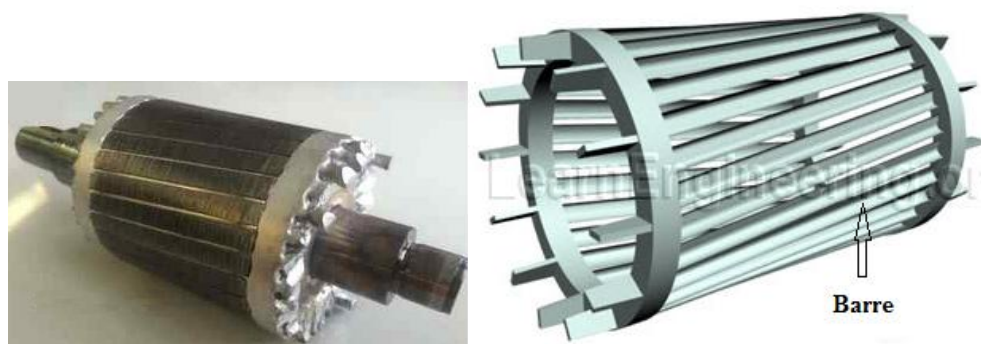
**Figure 1.10** Vue détaillée d'un rotor à cage d'écureuil en cours de construction.

La figure 1.11 montre un rotor à cage d'écureuil avec l'anneau de court-circuit bien visible reliant les barres les unes aux autres ainsi que le ventilateur sur l'arbre[16].



**Figure 1.11** Photo d'un rotor à cage d'écureuil.

L'enroulement du rotor à cage d'écureuil (figure 1.12 (b)) est constitué de barres de cuivre nues introduites dans les encoches. Ces barres sont ensuite soudées ou rivées à chaque extrémité à deux anneaux qui les court-circuitent[17].



(a) Photo d'un Rotor à cage (b) Cage d'écureuil avec les barres court-circuitées

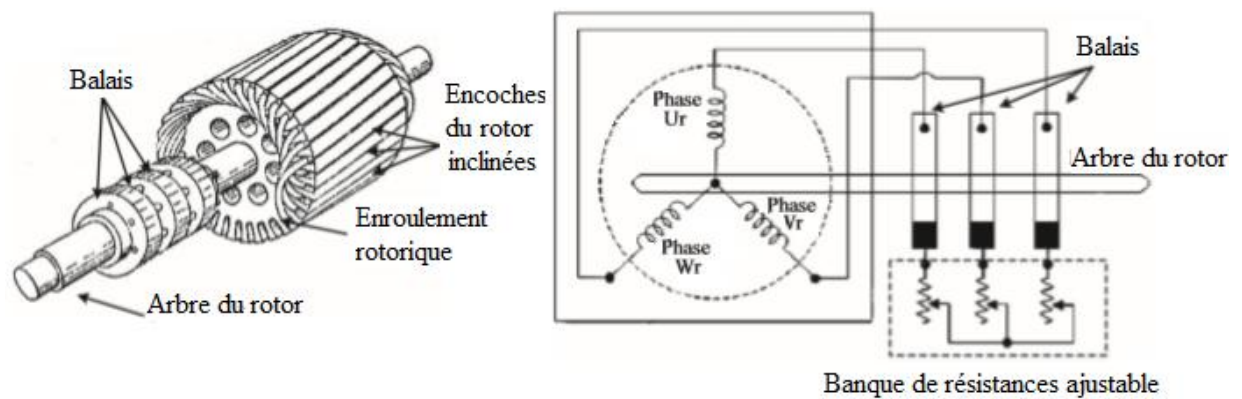
**Figure 1.12** Photo d'un rotor à cage.

### **B Le rotor bobiné (à bagues)**

La figure 1.14 illustre la structure d'un rotor bobiné ainsi que les connexions électriques de ses bornes avec les balais. En fait, il n'y aurait pas de courant circulant à l'intérieur des enroulements du rotor à moins que le rotor ne soit constitué d'un système court-circuité électriquement. Généralement, les enroulements du rotor possèdent une connexion en Y (étoile), et une seule borne de chaque enroulement est disponible pour l'ajustement de la



résistance. C'est une tâche importante qui est tenue pour contrôler le couple de démarrage au moyen d'une banque de résistance réglable. Cette dernière est connectée aux enroulements du rotor et modifie la résistance totale du rotor. En augmentant la résistance, le couple de démarrage augmente également. En raison de la faiblesse des balais et également de la présence d'une connexion électrique supplémentaire entre le rotor et l'équipement à l'extérieur du moteur, le rotor bobiné n'est généralement pas préféré dans une application ordinaire[18].



**Figure 1.13** Structure du rotor bobiné et ses connexions avec les balais



**Figure 1.14** Photo d'un rotor bobiné d'une machine asynchrone, 140 Kw,

380V, 800 tr/min, hauteur de l'arbre: 355 mm

### 1.3.1.3 Organes mécaniques

De plus, il existe d'autres organes de types mécaniques au niveau d'un moteur asynchrone [19]:

- L'arbre : c'est un organe de transmission. Il comprend une **partie centrale** qui sert de support au corps du rotor et un **bout d'arbre** sur lequel est fixé un demi-accouplement. Le dimensionnement de l'arbre est fonction :

- ✓ Des efforts de flexion (force centrifuge qui s'exerce sur lui, attraction magnétique radiale, etc...),
- ✓ Des efforts radiaux et tangentiels dus aux forces centrifuges,
- ✓ Des efforts de torsion (couple électromagnétique transmis en régime permanent, transitoire).

- Les paliers, qui permettent de supporter et de mettre en rotation l'arbre rotorique, sont constitués de flasques et de roulements à billes insérés à chaud sur l'arbre. Les flasques, moulés en fonte, sont fixés sur le carter statorique grâce à des boulons ou des tiges de serrage comme nous pouvons le visualiser sur la figure 1.3.

- perméabilité constante;
- Pertes ferromagnétiques négligeables;
- L'influence de l'effet de peau et de l'échauffement sur les caractéristiques n'est pas prise en compte.

Parmi les conséquences de ces hypothèses, on peut citer :

- L'additive des flux;
- La constance des inductances propres;
- Une variation sinusoïdale des inductances mutuelles entre les enroulements statoriques et rotoriques.

Dans le cadre de ces hypothèses et pour une machine équilibrée et couplée en étoile, les équations de la machine s'écrivent sous la forme matricielle suivant.

## 1.4 Importance de la surveillance de l'état des MI

Malgré leurs avantages, les MI présentent quelques limitations dans les conditions de leur fonctionnement. Si ces conditions sont dépassées, une défaillance prématurée

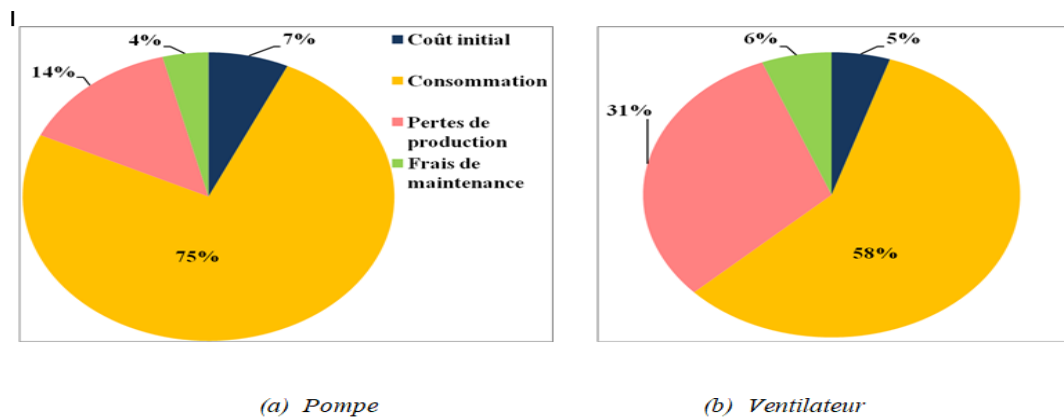
peut se produire dans le stator et / ou le rotor. Cette défaillance, et dans de nombreuses applications industrielles, peut même entraîner l'arrêt de tout le processus industriel, conduisant à une perte de temps et d'argent. Par conséquent, pour éviter toute défaillance du moteur, les opérateurs et les techniciens sont soumis à une pression constante pour éviter les temps d'arrêt imprévus et également réduire les coûts de maintenance des moteurs.

De ce fait, les problèmes associés aux coûts de réparation ou de remplacement, l'arrêt des processus de production, la réputation de l'entreprise et la satisfaction du client, ont motivé l'évolution continue des stratégies de maintenance parallèlement à l'amélioration constante de la conception des moteurs. Cette évolution a débuté avec le modèle correctif puis s'est étendue au modèle programmé et prédictif, jusqu'à l'utilisation actuelle de la philosophie de la maintenance productive totale (Total Productive Maintenance (TPM)) [20]. Cette forme de maintenance permet de réduire au minimum les pertes pour améliorer les performances des ressources de production.

Il y a un certain nombre de travaux [21][22] basés sur cette surveillance de l'état en ligne du MI.

A titre d'exemple, nous présentons des résultats d'une analyse du Coût de Cycle de Vie (CCV) pour deux systèmes différents. Ces données illustrent l'impact de la maintenance dans le coût total d'une application industrielle (construction, utilisation et démantèlement).

- La première application est constituée d'une pompe centrifuge alimentée par un moteur asynchrone d'une puissance de 400 kW et utilisée dans l'industrie du papier, figure 1.16 (a).
- la seconde application, également utilisée dans une usine de pâte à papier, est composée d'un ventilateur centrifuge entraîné par un Mide 132 kW, figure 1.16 (b).



**Figure 1.15** Analyse du CCV des deux systèmes utilisés dans une usine de papier [43].  
 (a) d'une pompe industrielle. (b) d'un ventilateur d'extraction de gaz et de séchage



Ces deux études, menées sur des périodes de 10 ans (pompe) et 15 ans (ventilateur), montrent le pourcentage des pertes de production engendrées par l'indisponibilité du matériel lors de ces phases de maintenance.

Sur la base de cette étude, il est donc nécessaire de connaître les principaux défauts pouvant affecter le MI, pour mieux les diagnostiquer.

### **1.5 Démarrages des MAS [23]**

#### **1.5.1 Importance du démarrage**

L'utilisation de différents types de démarrages pour les moteurs présente plusieurs avantages importants dans les applications industrielles. Voici quelques points clés sur l'importance de cette diversité :

- Réduction des pics de courant
- Protection des équipements
- Optimisation des performances
- Économie d'énergie.
- Adaptabilité aux charges

#### **1.5.2 Techniques des démarrages**

- **Démarrage direct**

Pour réaliser un départ-moteur de façon correcte, il faut assurer les fonctions suivantes :

- **Isoler** c'est le rôle du sectionneur.
- **Protéger** la puissance contre les courts-circuits, pour cela on utilise des cartouches fusibles de type aM.
- **Commander** l'arrivée de l'énergie au moteur, c'est le rôle du contacteur.
- **Protéger** le moteur contre les surcharges, fonction assurée par le relais thermique.

**Schémas :**

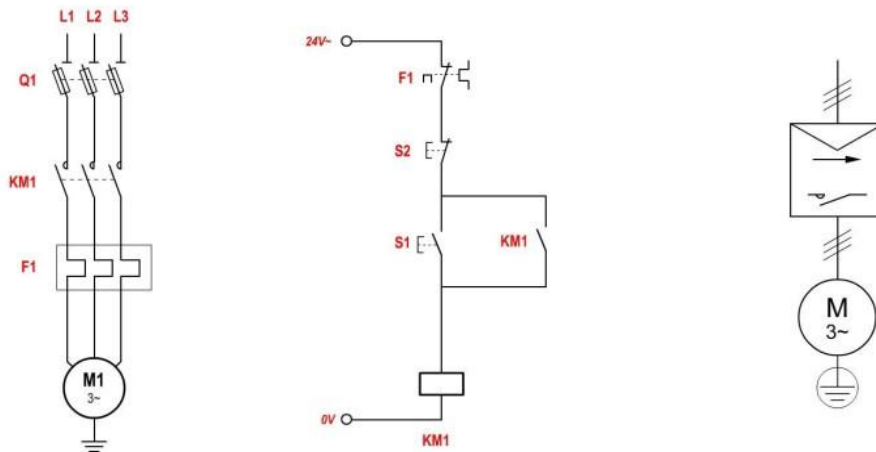


Figure 1.16 Schéma du démarrage direct d'une MI

**Avantage:**

- Simplicité de l'appareillage.
- Couple important.
- Temps de démarrage court.

**Inconvénients:**

- Appel du courant important.
- Démarrage brutal.
  - **Démarrage étoile-triangle**

Le principe du démarrage étoile triangle consiste à **sous-alimenter** le moteur durant presque toute la durée du démarrage en le couplant **en étoile**.

Il faut donc utiliser un moteur **normalement couplé en triangle** et dont toutes les extrémités d'enroulement sont sorties sur la plaque à bornes.

**Exemple :** Sur un réseau 230/400 V il faut donc utiliser un moteur 400/660 V.

Utilisation du démarrage étoile triangle : Machine démarrant à vide : Ventilateur...

Schémas :

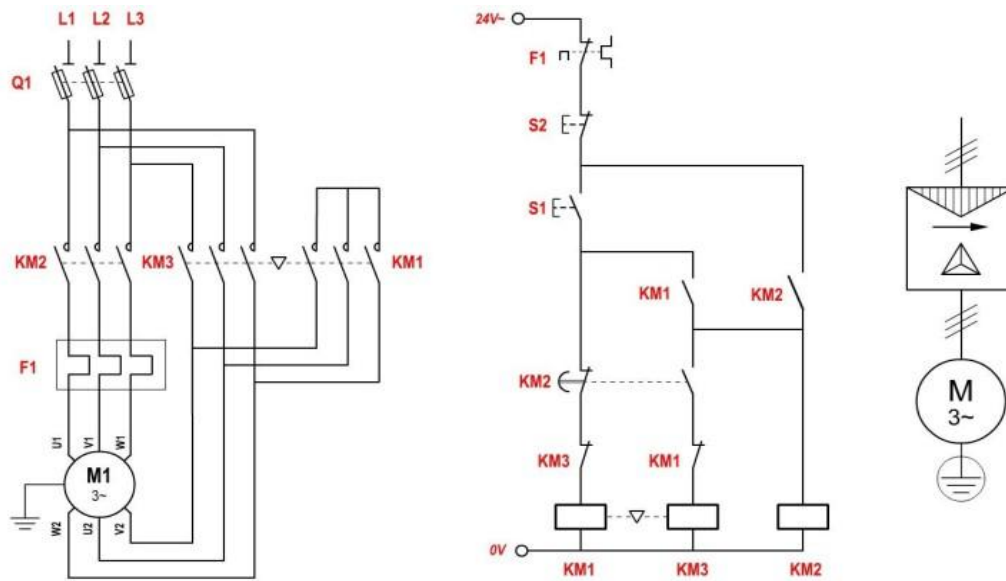


Figure 1.17 Schéma du démarrage étoile triangle d'une MI

**Avantages :**

- Réduction du courant de démarrage
- Relativement bon marché

**Inconvénients :**

- Couple très réduit
- Coupure d'alimentation lors du passage étoile-triangle
- Temps de démarrage + élevé
- - **Démarrage par résistances statoriques**

Le démarrage statorique, comme le démarrage étoile triangle, à pour principe de **sous-alimenter** le moteur durant presque toute la durée du démarrage en le mettant en **série avec des résistances**.

Utilisation du démarrage statorique : Il convient aux machines dont le couple de démarrage est plus faible que le  $C_n$  (Couple nominal). Ex : machine à bois ventilateur...

Schémas :

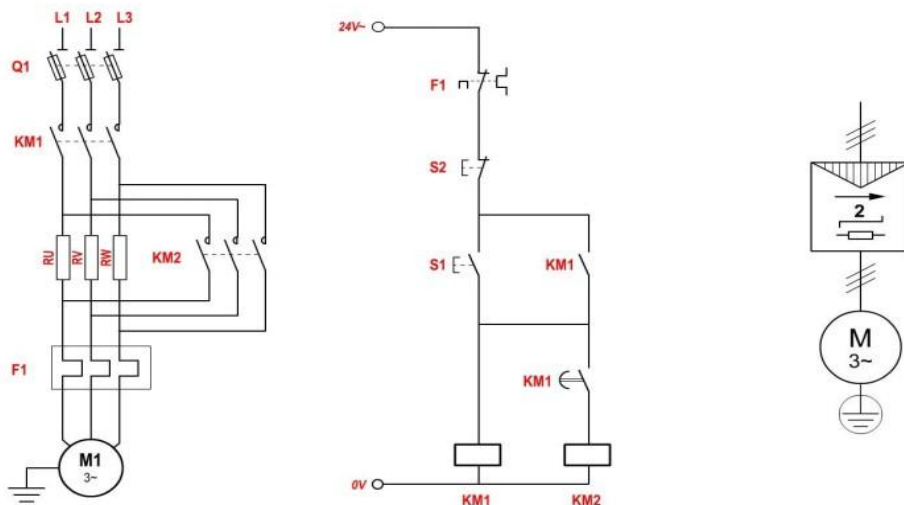


Figure 1.18 Schéma du démarrage par résistances statoriques d'une MI

On dispose donc de deux contacteurs KM1 et KM2 et de trois résistances RU, RV et RW. KM1 est le contacteur de ligne, KM2 a pour fonction de court-circuiter les résistances une fois le moteur démarré.

#### Avantages :

- Possibilité de choisir le couple de démarrage
- Choix du courant de démarrage avec précision
- Passage entre phases de démarrage sans interruption du courant

#### Inconvénients :

- Si le courant est divisé par 3 alors le couple est divisé par 9 !
- - Démarrage par résistances rotoriques

Le démarrage rotorique a pour principe de limiter les courants rotoriques **circulant dans l'induit**.

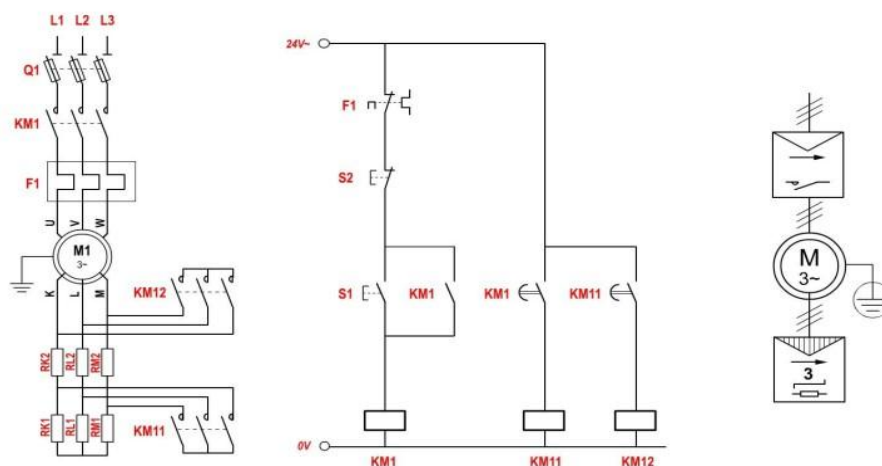
Le moteur se comportant alors comme un transformateur, **le courant de ligne sera limité lui aussi**.

Pour ce démarreur, il faut impérativement un moteur à **rotor bobiné**.

Il est utilisé en général pour les machines de puissances  $> 100$  kW. Par exemples : Compresseurs rotatifs à piston, les pompes...

Schémas :

Avec le démarreur retenu dans l'exemple ci-dessous, le moteur démarre en trois temps. On dispose donc de trois contacteurs : KM1 (le contacteur de ligne), KM11 et KM12 (qui court-circuitent les deux jeux de trois résistances rotoriques).



**Figure 1.19** Schéma du démarrage par résistances rotoriques d'une MI

#### Avantages:

- L'appel de courant est pour un couple de démarrage donné le plus faible par rapport à tous les autres modes de démarrage.
- Possibilité de choisir par construction, couple et le nombre de temps de démarrage.

#### Inconvénients:

- Nécessité d'un moteur à rotor bobiné.
- Equipement plus cher.
- 
- **Démarrage avec démarreur électronique**

Le démarrage se fait progressivement, ce qui évite la pointe de courant en démarrage direct.

La tension évolue de 0 à  $U_n$  (la tension nominale) selon une rampe programmable.

Le démarrage se fait à courant constant et les rapports  $T/T_n = (U/U_n)^2 = I/I_n$  sont vérifiés.

Schémas :

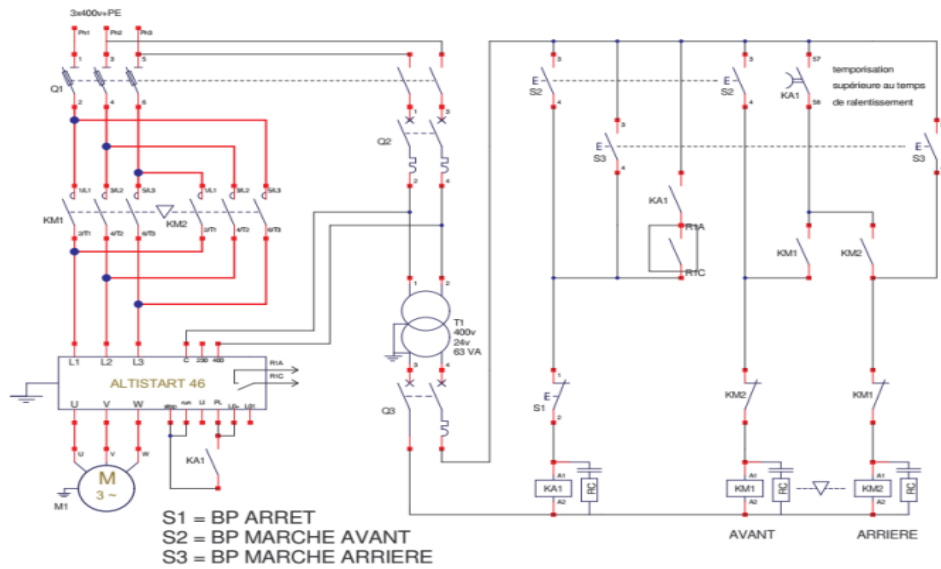


Figure 1.20 Schéma du démarrage par démarreur électronique d'une MI

Avantages :

- Démarrage en douceur
- Limitation de courant.

Inconvénients :

- Prix plus élevé

### 1.5.3 Comparaison des techniques de démarrages

Chapitre 1 Fondements théoriques

	Démarrage direct	Démarrage étoile triangle	Démarrage statoriques	Démarrage par auto transformateur	Démarrage rotorique	Démarrage électronique
Courant de démarrage	100%	33%	50%	40/65/80%	70%	150 à 750%
Surcharge en ligne	4 à 8 In	1.3 à 1.6 In	4.5 In	1.7 à 4 In	< 2.5 In	
Couple en % de Cd	100%	33%	50%	40/65/80%		10 à 50% (50 à 100ms)
Couple au démarrage	0.6 à 1.5 Cn	0.2 à 0.5 Cn	0.6 à 0.85 Cn	0.4 à 0.85 Cn	0.4 à 0.85 Cn	< 2.5 Cn
commande	T.O.R	T.O.R	1 cran fixe	3 crans fixe	De 1 à 5 crans	électronique
avantages	- démarrage simple et économique - couple au démarrage important	économique - bon rapport couple/courant	- possibilités de réglages des valeurs au démarrage	- bon rapport couple/courant - possibilités de réglages des valeurs au démarrage	- très bon rapport couple/courant - possibilité de réglage des valeurs au démarrage	- Démarrage sans à coup montée progressive en vitesse - limitation de l'appel de courant au démarrage

Inconvénients	-pointe de courant très importante. - démarrage brutal	-couple de démarrage faible. -coupure d'alimentation au changement de couplage.	-faible réduction de la pointe de courant au démarrage -nécessite des résistances volumineuses	-nécessite une auto transformatrice onéreuse -présente des risques de réseau perturbé	- à plus bagues onéreuses	-prix très cher
---------------	--	---	--	---	---------------------------	-----------------

**Tableau 1.2:** Comparaisons entre les différents types de démarrages[24]

### 1.6 Mesures appliquées sur les MI

Dans ce sous-chapitre, nous abordons les différentes mesures appliquées sur les machines électriques à induction (MI) pour évaluer leur performance et détecter d'éventuels problèmes. Voici un contenu détaillé sur ce sous-chapitre :

#### 1.6.1 Importances des mesures

Dans cette section, nous discutons de l'importance des mesures dans l'évaluation des performances des MI. Les mesures jouent un rôle important dans la surveillance et la maintenance des MI, et cela pour plusieurs raisons :

- **Surveillance de l'état du moteur** : La surveillance en temps réel des grandeurs électriques et mécaniques permet de détecter les anomalies et les signes de défaillance avant qu'ils ne deviennent critiques, assurant ainsi la fiabilité et la longévité du moteur.
- **Optimisation des performances** : En mesurant et en analysant les paramètres de fonctionnement, on peut ajuster les conditions d'opération pour maximiser l'efficacité énergétique et la performance du moteur.
- **Maintenance préventive** : Les mesures permettent de mettre en place des programmes de maintenance prédictive, réduisant ainsi les temps d'arrêt non planifiés et les coûts de maintenance.
- **Sécurité** : Assurer que les moteurs fonctionnent dans des conditions sûres, évitant les surcharges, les surchauffes et les autres conditions dangereuses.

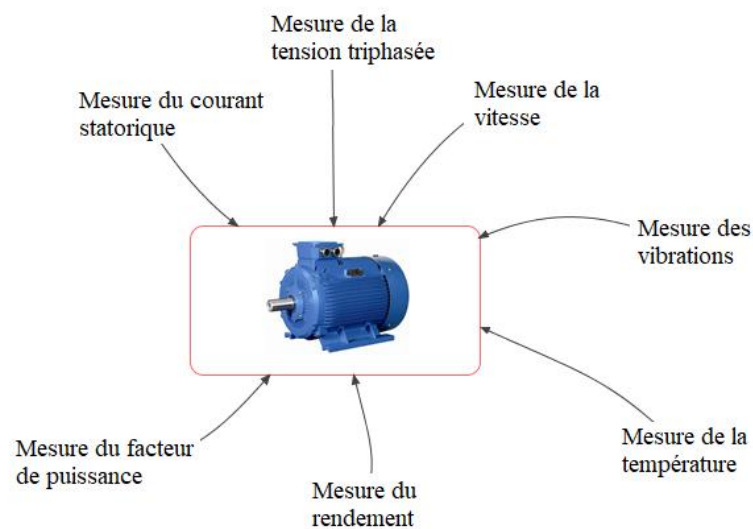


- **Conformité aux normes** : Les mesures aident à garantir que les moteurs respectent les réglementations et les normes industrielles en vigueur.

### 1.6.2 Différentes mesures appliquées

Dans cette section, nous examinons les différentes mesures appliquées sur les MI. Nous donnons quelques-unes des mesures couramment utilisées :

- **Mesure de la tension** : La tension d'alimentation de la MI est mesurée pour évaluer la qualité de l'alimentation électrique et détecter les variations anormales de tension qui pourraient affecter les performances de la machine.
- **Mesure du courant** : Le courant absorbé par la MI est mesuré pour évaluer la charge et la consommation d'énergie. Des variations anormales de courant peuvent indiquer des problèmes tels que des courts-circuits, des défauts d'enroulement ou des problèmes de charge.



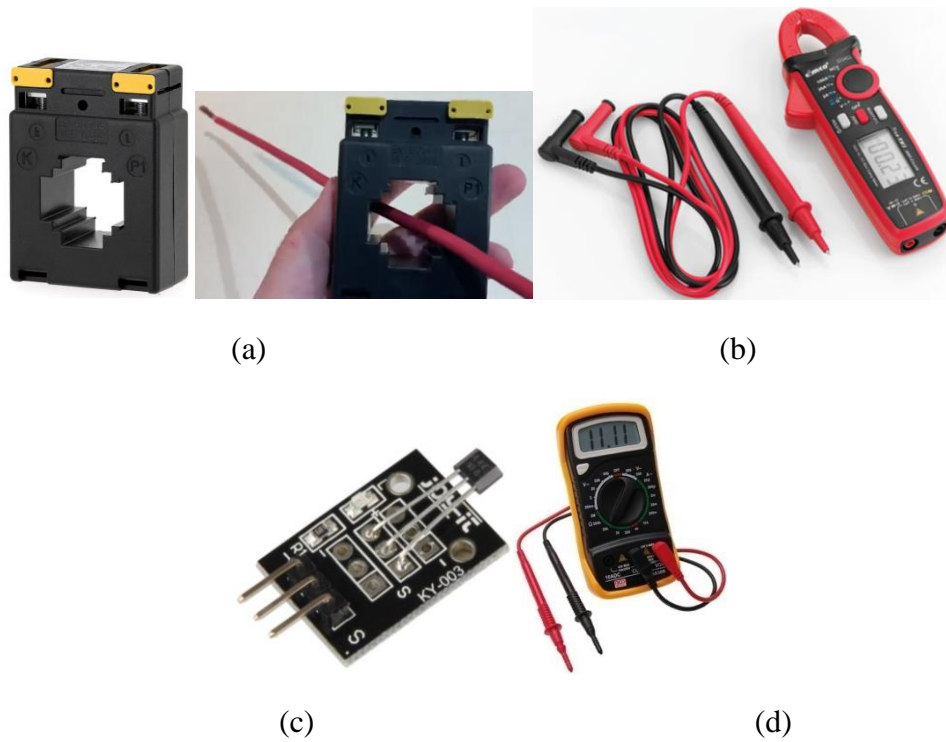
**Figure 1.21** Quelques outils de mesure des grandeurs d'un MI

- **Mesure de la vitesse** : La vitesse de rotation de la MI est mesurée pour évaluer les performances de la machine et détecter d'éventuels problèmes de déséquilibre ou de dysfonctionnement du système de commande.

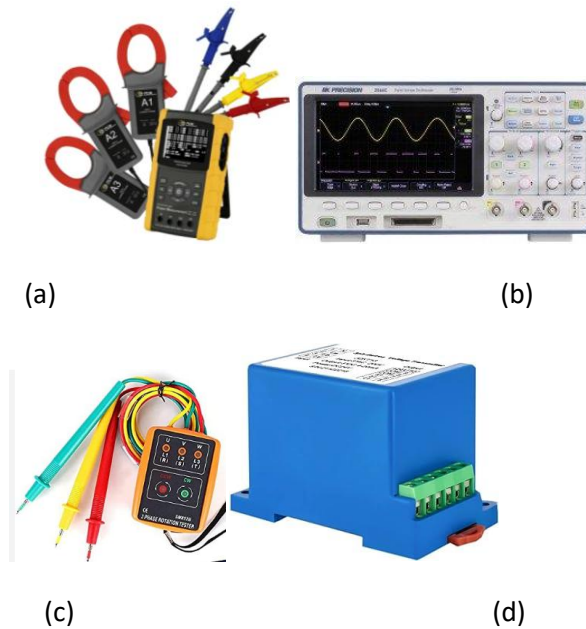
- **Mesure de la température** : La température de la MI est mesurée pour évaluer la dissipation de chaleur et détecter les surchauffes potentielles qui pourraient endommager la machine.
- **Mesure des vibrations** : Les vibrations de la MI sont mesurées pour évaluer l'état mécanique de la machine et détecter d'éventuels problèmes de déséquilibre, de défauts de roulement ou de désalignement.
- **Mesure du rendement** : Le rendement de la MI est mesuré pour évaluer l'efficacité énergétique de la machine et identifier les possibilités d'amélioration.
- **Mesure du facteur de puissance** : Le facteur de puissance de la MI est mesuré pour évaluer l'efficacité énergétique et la qualité de l'alimentation électrique. Pour mesurer le rendement des MI, divers outils et méthodes peuvent être utilisés, en fonction des besoins spécifiques de l'application et du niveau de précision requis.

**Tableau 1.3** Outils de mesure à utiliser par grandeurs citées en exemple

Grandeur	Outil utilisé
Courant statorique	Transformateurs de Courant (TC)
	Pincès Ampèremétriques
	Capteurs à Effet Hall
	Multimètre Numérique
Mesure de la tension	Multimètre Numérique
	Analyseur de Puissance
	Oscilloscope
	Testeur de Tension Triphasée
	Capteur de tension triphasé
Vibration	Analyseur de Vibrations
	Capteurs de Vibrations
	Accéléromètres
	Analyseurs de Spectre FFT
Vitesse	Tachymètre Numérique
	Tachymètre Optique (Stroboscope)
	Capteurs de Vitesse



**Figure 1.22** Outils pour la mesure du courant statorique  
(a) Transformateurs de Courant (TC) (b) Pincettes Ampèremétriques  
(c) Capteurs à Effet Hall (d) Multimètre Numérique



**Figure 1.23** Outils pour la mesure de la tension  
(a) Multimètre Numérique (b) Oscilloscope  
(c) Testeur de Tension Triphasée (d) Capteur de tension triphasé



**Figure 1.24** Outils pour la mesure de la vitesse  
(a) Tachymètre Numérique (b) Tachymètre Optique (c) Capteurs de Vitesse

## 1.7 Contrôle thermique des MI

La gestion thermique des moteurs à induction est cruciale car elle permet de maintenir leur performance optimale et de prolonger leur durée de vie. En effet, une température trop élevée peut endommager les composants internes du moteur, réduire son efficacité et entraîner des pannes. Par conséquent, il est essentiel de surveiller et de contrôler la température pour éviter ces problèmes et garantir le bon fonctionnement du moteur.

### 1.7.1 Effets de la température sur la performance et la durée de vie des MI

La température a un impact significatif sur les performances et la durabilité des moteurs à induction. Ci-dessous, quelques-uns des principaux effets :

- **Diminution de l'efficacité** : À des températures élevées, la résistance des enroulements statoriques et rotoriques augmente, ce qui entraîne des pertes ohmiques augmentées et une diminution de l'efficacité du moteur.
- **Dégradation de l'isolation** : La chaleur excessive peut accélérer la dégradation des matériaux isolants utilisés dans les enroulements. Une isolation dégradée peut provoquer des courts-circuits et des pannes électriques.

➤ **Usure mécanique** : Les composants mécaniques, tels que les roulements et les engrenages, sont soumis à des contraintes thermiques qui peuvent accélérer leur usure et réduire leur durée de vie[25]

### 1.7.2 Solutions pour éviter les effets de la température sur les MI

Pour minimiser les effets négatifs de la température sur les MI, plusieurs solutions peuvent être mises en œuvre. Parmi lesquelles on peut citer[26]

➤ **Amélioration de la ventilation** : le MI dispose d'un système de ventilation pour dissiper la chaleur. Ainsi, utilisation des ventilateurs externes peut aider à maintenir des températures appropriées.

➤ **Entretien régulier** : Effectuer des inspections et un entretien réguliers pour identifier et corriger les problèmes de surchauffe avant qu'ils ne causent des dommages. Remplacer les composants usés ou endommagés peut prévenir les pannes.

➤ **Utilisation de variateurs de fréquence** : Les variateurs de fréquence peuvent ajuster la vitesse du moteur pour éviter les surcharges et réduire la production de chaleur. Ils permettent également un démarrage en douceur, ce qui réduit les pics de courant et les effets thermiques associés. En cas de surchauffe, la vitesse du moteur à induction est réduite, et son fonctionnement est ralenti jusqu'à ce que la température atteigne un niveau approprié. Ensuite, le moteur reprend progressivement son fonctionnement normal jusqu'à atteindre la vitesse de consigne.

➤ **Environnement contrôlé** : Maintien des MI dans des environnements à température contrôlée pour éviter les fluctuations extrêmes de température. Les emplacements où se trouvent les moteurs à induction peuvent être climatisés.

### 1.7.3 Techniques de mesure de la température

Plusieurs techniques sont disponibles pour mesurer la température des MI, chacune ayant ses propres avantages et inconvénients. Les techniques couramment utilisées incluent[27]:

➤ **Thermocouples** : Les thermocouples sont des capteurs de température simples et robustes qui génèrent une tension proportionnelle à la température. Ils sont largement utilisés pour mesurer la température des enroulements et des carters des moteurs.

- **Résistances à la température (RTD)** : Les RTD, comme les capteurs PT100, offrent une grande précision et une bonne stabilité à long terme. Ils sont souvent utilisés pour des mesures de température précises dans les applications industrielles.
- **Thermistances** : Les thermistances sont des capteurs de température dont la résistance varie avec la température. Elles sont couramment utilisées pour la surveillance de la température dans des applications où des réponses rapides sont nécessaires.
- **Caméras thermiques** : Les caméras thermiques permettent de visualiser la distribution de la température sur la surface du moteur. Elles sont utiles pour détecter les points chauds et les anomalies thermiques.
- **Capteurs infrarouges sans contact** : Ces capteurs mesurent la température en détectant le rayonnement infrarouge émis par les surfaces chaudes. Ils sont utilisés pour surveiller la température sans contact direct avec les composants du moteur.

#### **1.7.4 Surveillance de la température en temps réel**

La surveillance en temps réel de la température des MI est essentielle pour prévenir les surchauffes et les défaillances. Plusieurs méthodes peuvent être mises en œuvre. Parmi lesquelles on peut citer :

- - **Surveillance en temps réel de la température** : Utilisation des capteurs de température pour surveiller en continu les températures des enroulements et des composants critiques. Les systèmes de surveillance en temps réel peuvent donner des alertes en cas de surchauffe, ce qui permet des interventions rapides.

*Ce cas est inclus dans notre étude et sera abordé dans les chapitres suivants.*

- Surveillance à distance : Les technologies avancées permettent de surveiller la température des moteurs à distance en temps réel. Les données de température peuvent être transmises à des systèmes de gestion centralisés pour une analyse et une intervention rapides.

*Le principe de cette particularité est inclus dans notre étude et sera abordé dans les chapitres suivants.*

#### **1.8 Conclusion**

Ce chapitre a permis de dresser un aperçu des fondements théoriques des MI. À travers une analyse approfondie de la littérature, nous avons pu comprendre en détail la constitution des MI. Les recherches ont souligné l'importance de la surveillance de l'état des MI, révélant que des techniques de démarrage appropriées et une

surveillance continue sont essentielles pour optimiser leur performance et prolonger leur durée de vie.

En étudiant les mesures appliquées sur les MI, nous avons découvert diverses méthodes permettant de garantir leur bon fonctionnement, tandis que le contrôle thermique s'est avéré essentiel pour prévenir les dégradations dues à la surchauffe. Les techniques de mesure de la température et la surveillance en temps réel ont été identifiées comme des outils indispensables pour maintenir les MI en état optimal.

Par conséquent, cette étude a fourni une compréhension claire des éléments théoriques essentiels des MI, posant ainsi les bases nécessaires pour les recherches pratiques et les applications techniques abordées dans les chapitres suivants. Le démarrage et la surveillance de la température feront l'objet d'une étude pratique plus approfondie dans le chapitre dédié à ce domaine.

---

## Chapitre 2

# Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino

---



### 2.1 Introduction

La carte Arduino, bien que puissante en elle-même, ne peut fonctionner seule. Elle dépend étroitement des périphériques d'entrées et de sorties, communément appelés ressources matérielles, pour interagir avec son environnement et exécuter les commandes souhaitées. Ainsi, comprendre le système à base d'Arduino dans son ensemble nécessite une enquête approfondie de ces ressources matérielles.

Dans ce contexte, ce chapitre vise à examiner de près les différents aspects liés aux ressources matérielles d'un système de commande utilisant la plateforme Arduino. Nous commencerons par définir quelques termes clés pour établir un cadre conceptuel solide. Ensuite, nous explorerons un système représentatif basé sur Arduino, mettant en évidence ses domaines d'application et les outils de développement disponibles.

Une attention particulière sera accordée aux ressources matérielles indispensables à la mise en œuvre d'un tel système, notamment les périphériques d'entrées et de sorties. Nous analyserons également les avantages et les inconvénients inhérents à l'utilisation d'un système basé sur Arduino. Enfin, nous aborderons les systèmes intégrant des modules de communication mobile, examinant les différents types de modules disponibles, leurs applications spécifiques, ainsi que les avantages et les inconvénients associés à leur utilisation.

Cette étude des ressources matérielles fournira une compréhension approfondie pour comprendre les possibilités et les limites des systèmes de commande à base d'Arduino. Ces connaissances seront particulièrement utiles dans le chapitre dédié au côté pratique de notre étude.

### 2.2 Définitions [28]

- **Gsm** : est une norme numérique utilisant plusieurs bandes de fréquences pour la communication du système mobile [
- **Module GSM** : est une puce ou un circuit qui va servir à établir une communication entre un appareil mobile ou une machine informatique et un système GSM .
- **Arduino** : est une plateforme open-source de prototypage électronique basée sur du matériel et des logiciels

## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino

---

- **Carte Arduino** :une carte électronique dotée d'un microcontrôleur et de diverses interfaces permettant de connecter des composants électroniques et des capteurs.
- **Capteur** :Organe qui élabore, à partir d'une grandeur physique, une autre grandeur physique, souvent de nature électrique, utilisable à des fins de mesure ou de commande.
- **Circuit de puissance** :Un circuit de puissance est défini comme tout circuit utilisé pour transporter de l'électricité nécessaire au fonctionnement une charge .
- **Téléphone mobile** :est un appareil conçu pour pouvoir communiquer à distance .
- **Commande** :est défini comme étant un dispositif qui permet de diriger ou de réguler le comportement d'autres dispositifs ou systèmes pour obtenir un résultat souhaité..
- **Contrôle** :ensemble d'activités techniques et de technologies destinées à l'automatisation des procédés et de systèmes de fabrication industrielle .
- **Acquisition de données** :correspond à la mesure d'un phénomène physique ou électrique tel que le courant, la tension,...à l'aide d'un dispositif à base de capteurs .
- **Actionneur** : un actionneur est un objet qui transforme l'énergie qui lui est fournie en un phénomène physique qui fournit un travail, modifie le comportement ou l'état d'un système .
- **Pré-actionneur** : est un constituant dont le rôle est de distribuer, sur ordre de la P.C., l'énergie utile aux actionneurs .
- **SMS** :Message alphanumérique de longueur limitée, que l'on peut recevoir ou envoyer sur un terminal mobile ou sur un ordinateur .

### 2.3Système à base d'Arduino

Les systèmes à base d'Arduino sont utilisés dans divers domaines tels que la domotique, la robotique, le contrôle environnemental, les projets artistiques interactifs et l'éducation. Pour développer ces projets, l'Arduino IDE est l'outil de développement principal, soutenu par une gamme de plates-formes de prototypage, de capteurs et d'actionneurs compatibles avec Arduino.

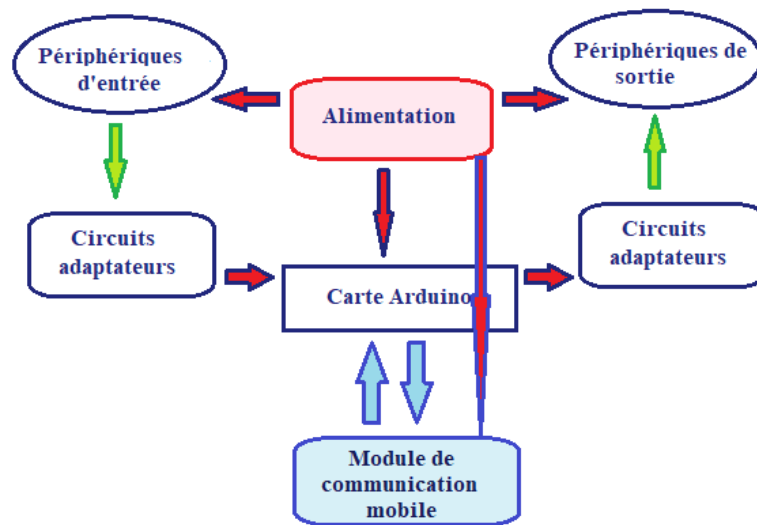


Figure 2.1 Structure générale du système à base d'Arduino

### 2.3.1 Domaines d'application

#### 1. Systèmes innovants dans le secteur agricole

- Contrôle précis de l'eau en fonction des besoins des cultures, en utilisant des capteurs d'humidité et des relais
- Surveillance de la température, de l'humidité, et des niveaux de lumière pour optimiser la croissance des plantes.
- Gestion des serres par automatisation des systèmes de ventilation, de chauffage et de refroidissement pour maintenir des conditions optimales.
- Utilisation de capteurs pour identifier les signes précoces de maladies des plantes et prendre des mesures préventives.
- Suivi de la qualité du sol par la mesure des niveaux de nutriments et du pH du sol pour améliorer la fertilisation.

2. **Élevage des animaux** : Systèmes d'alimentation automatisée, Surveillance de la santé animale, Contrôle des conditions d'habitat, Suivi de localisation, et Gestion des lumières

3. **Industrie** (contrôle des moteurs, sécurité, alarme de prévention, alarme de protection,...)

4. **Médical**(Température corporelle, Pression artérielle, Glycémie,...)

5. **Appareils ménagers** (machines à laver, les climatiseurs, les fours à micro-ondes, les aspirateurs et les réfrigérateurs,...)

### 2.3.2 Outils de développement des arduino

Les outils de développement des Arduino sont des logiciels et des environnements de programmation qui permettent de programmer et de développer des applications pour les cartes Arduino. Nous donnons quelques-uns des outils les plus populaires :

- **Arduino IDE** : L'IDE Arduino (IntegratedDevelopmentEnvironment) est l'outil de développement officiel pour les cartes Arduino. Il offre une interface conviviale pour écrire, compiler et téléverser du code sur les cartes Arduino. L'IDE Arduino est disponible en téléchargement sur le site officiel d'Arduino[29].

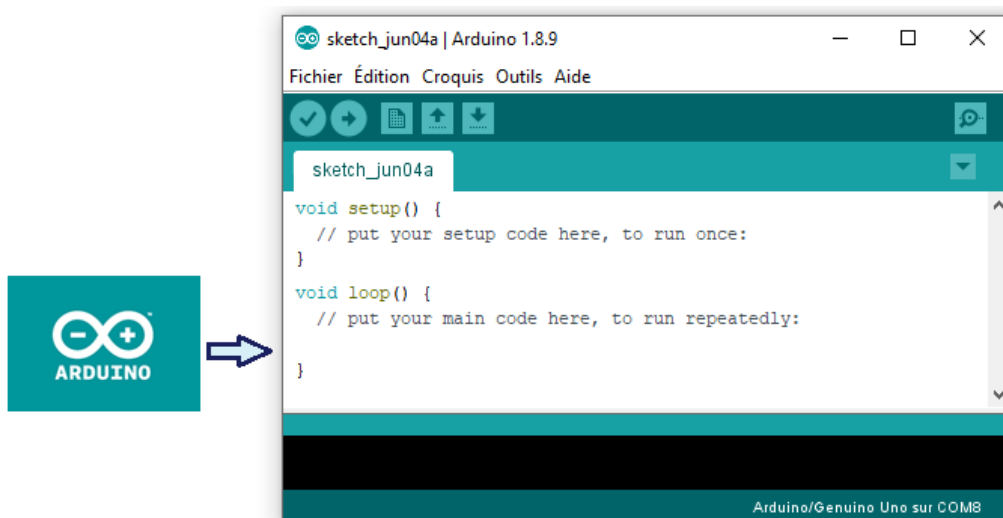


Figure 2.2 Présentation de l'environnement Arduino IDE

- **Logiciels alternatifs** : Il existe également plusieurs logiciels alternatifs qui permettent de programmer les cartes Arduino. Ces logiciels offrent souvent des fonctionnalités supplémentaires et une interface utilisateur différente. Certains exemples de logiciels alternatifs sont **PlatformIO**, Visual Studio Code avec l'extension Arduino, et Eclipse avec le plugin Arduino[30].

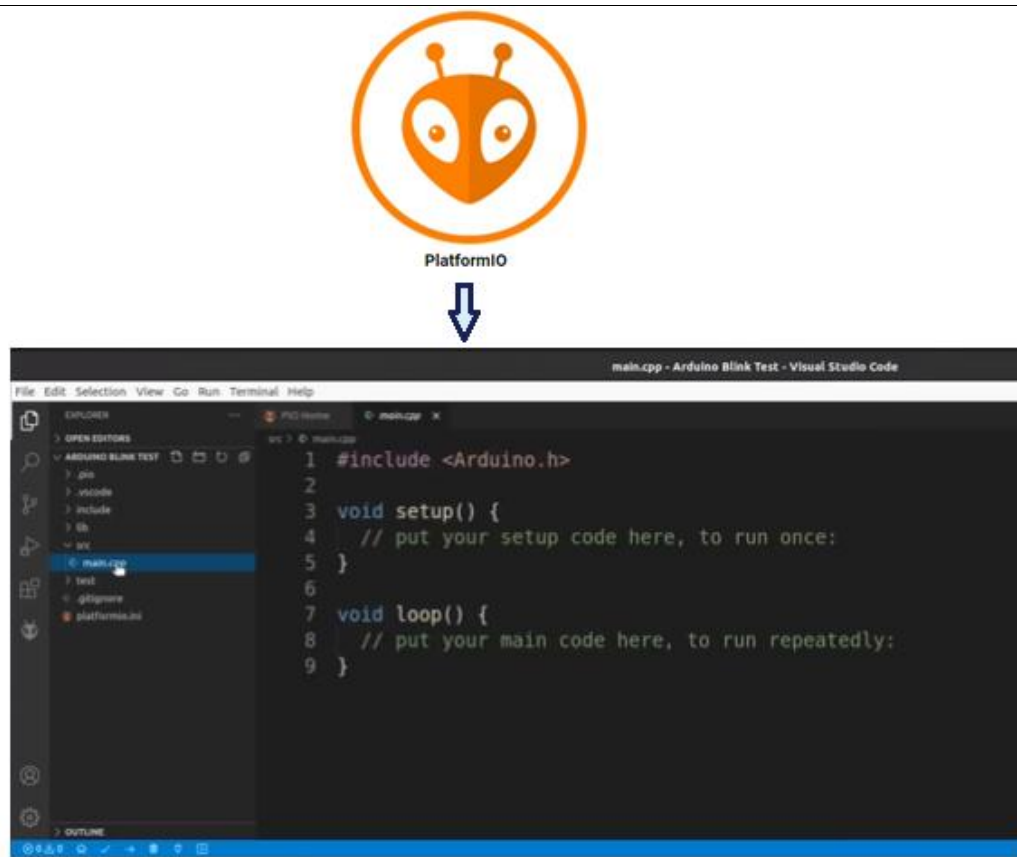


Figure 2.3 Présentation de la plateforme IO

- **MicroPython avec Arduino** : MicroPython est une version allégée du langage de programmation Python qui peut être utilisée pour programmer les cartes Arduino. Il offre une syntaxe plus simple et plus conviviale que le langage C/C++ traditionnellement utilisé avec Arduino. Pour programmer les cartes Arduino avec MicroPython, vous pouvez visiter la page [MicroPython avec Arduino](#) pour télécharger les outils nécessaires [31].

## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino

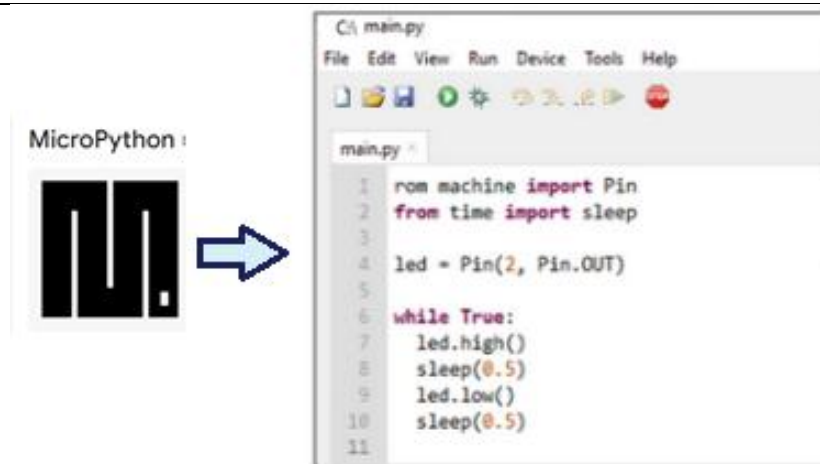


Figure 2.4L'environnement MicroPython

- **Arduino PLC IDE** : Arduino PLC IDE est un environnement de développement spécialement conçu pour programmer les cartes Arduino utilisées dans les applications d'automatisation industrielle. Il prend en charge les langages de programmation IEC 61131-3 et permet de mélanger des croquis Arduino avec du code IEC 61131-3. Arduino PLC IDE offre également des outils de débogage avancés [32].

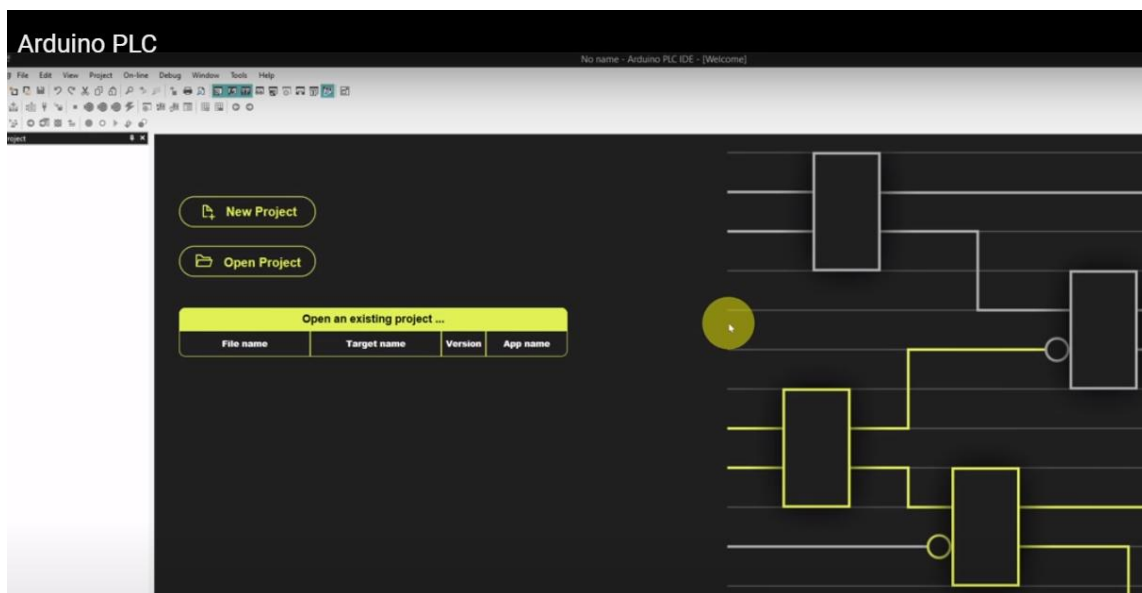


Figure 2.5Arduino PLC

### 2.3.3 Les périphériques d'entrée

Un périphérique d'entrée est un composant utilisé en amont d'un système opérationnel pour fournir des données et des signaux de commande à un dispositif de traitement de l'information, tel qu'un Arduino. Les types de périphériques d'entrée comprennent les interrupteurs, les microphones, les capteurs, et divers autres dispositifs.

Les capteurs Arduino sont parmi les périphériques d'entrée les plus couramment utilisés. Leur classification peut être basée sur différents critères tels que le type de grandeur mesurée, la technologie utilisée ou encore l'application spécifique du capteur. Cette classification permet de mieux comprendre la diversité des capteurs disponibles pour les projets Arduino, Nous donnons une classification générale des capteurs Arduino [33] :

#### ➤ Capteurs de température :

- Capteurs analogiques : LM35, TMP36
- Capteurs numériques : DS18B20, DHT11, DHT22

#### ➤ Capteurs d'humidité :

- Capteurs analogiques : HR202, FC-28
- Capteurs numériques : DHT11, DHT22

#### ➤ Capteurs de pression :

- Capteurs analogiques : MPX5100, BMP180
- Capteurs numériques : BMP280, BME280

#### ➤ Capteurs de lumière :

- Capteurs analogiques : LDR (Résistance dépendante de la lumière)
- Capteurs numériques : TSL2561, BH1750

#### ➤ Capteurs de mouvement :

- Capteurs d'accélération : ADXL335, MPU6050
- Capteurs de distance : HC-SR04 (ultrasons), VL53L0X (temps de vol)
- Capteurs de présence : PIR (Passive Infrared)
- Capteurs infrarouges : HC-SR501

## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino

---

### ➤ Capteurs de gaz :

- Capteurs de monoxyde de carbone (CO) : MQ-7
- Capteurs de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) : MH-Z19
- Capteurs de gaz multiples : MQ-135 (gaz dangereux, pollution de l'air)

### ➤ Capteurs de son :

- Capteurs analogiques : Microphone à condensateur
- Capteurs numériques : KY-038 (module de détection sonore)

### Capteurs de flux et de niveau :

- Capteurs de flux : YF-S201 (débitmètre)
- Capteurs de niveau : Capteurs de niveau d'eau (floatsensor)

### ➤ Capteurs de position et de rotation :

- Capteurs de position : Potentiomètre
- Capteurs de rotation : Encodeurs rotatifs (rotary encoders)

### ➤ Capteurs biométriques :

- Capteurs de fréquence cardiaque : Pulse Sensor
- Capteurs d'empreintes digitales : R305 (module de capteur d'empreintes digitales)

### ➤ Capteurs de champ magnétique :

- Capteurs de champ magnétique : HMC5883L (compas magnétique)

### ➤ Capteurs de vibration :

- Capteurs de vibration : SW-420 (module de détection de vibration)

Il est important de noter que certains de ces capteurs génèrent des tensions très faibles, de l'ordre du millivolt. Il est donc nécessaire de prendre des précautions particulières pour éviter que leur connexion au circuit de traitement (par exemple, Arduino) n'introduise des erreurs inacceptables. La tendance actuelle en matière de capteurs est de recourir à des techniques numériques. La figure suivante illustre un exemple de circuits utilisés dans des applications avec des microcontrôleurs tels que Arduino, Raspberry Pi, PIC, 8051, AVR, MSP, et d'autres.





Figure 2.6 *Quelques périphériques d'entrée*

### 2.3.4. Les périphériques de sortie

Un périphérique de sortie est un élément d'un système fonctionnel qui convertit les informations en une forme perceptible par l'utilisateur. Cela peut inclure des sorties textuelles, graphiques, sonores, audio, rotatives, lumineuses, etc. Tout comme pour les périphériques d'entrée, la classification des périphériques de sortie Arduino peut être basée sur le type de sortie qu'ils fournissent ou sur leur fonction spécifique. Nous donnons une classification générale des périphériques de sortie Arduino :

## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino

---

### ➤ Afficheurs :

- Afficheurs LCD : Ils permettent d'afficher du texte ou des informations sur un écran LCD. Certains modèles peuvent également afficher des graphiques.
- Afficheurs LED : Utilisés pour afficher des informations sous forme de chiffres, de lettres ou de symboles lumineux.
- Afficheurs OLED : Ces afficheurs utilisent la technologie OLED pour afficher des informations avec une meilleure qualité d'image et une plus grande flexibilité.

### ➤ Actionneurs :

- Moteurs : Permettent de générer un mouvement mécanique. Il existe différents types de moteurs, tels que les moteurs pas à pas, les moteurs à courant continu (DC) et les moteurs à courant alternatif (AC).
- Servomoteurs : Moteurs spéciaux permettant un contrôle précis de la position angulaire. Utilisés dans les projets nécessitant un mouvement précis.
- Actionneurs linéaires : Permettent de générer un mouvement linéaire, par exemple pour déplacer un objet d'avant en arrière.

### ➤ Modules de communication :

- Modules Wi-Fi : Permettent à votre Arduino de se connecter à un réseau Wi-Fi pour la communication sans fil avec d'autres appareils ou services.
- Modules Bluetooth : Facilitent la communication sans fil avec d'autres appareils compatibles Bluetooth, tels que les smartphones ou les ordinateurs.
- Modules RF (Radio Frequency) : Permettent la communication sans fil à courte distance en utilisant des signaux radio.

### ➤ Modules audio :

- Haut-parleurs : Produisent des sons ou de la musique à partir de votre Arduino.
- Modules MP3 : Permettent de lire des fichiers audio au format MP3 à partir de cartes SD ou d'autres supports de stockage.

### ➤ Modules d'éclairage :

- LED : Les LED (Light Emitting Diode) sont utilisées pour générer de la lumière dans différentes couleurs. Elles peuvent être utilisées pour des indicateurs visuels ou pour créer des effets lumineux.
- Bandes de LED : Composées de plusieurs LED et utilisées pour créer des effets d'éclairage décoratifs ou pour l'éclairage ambiant.

## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino

---

### ➤ Modules de contrôle :

- Relais: Permettent de contrôler des charges électriques plus importantes que ce que l'Arduino peut gérer directement. Utilisés pour contrôler des appareils électriques tels que des moteurs ou des lampes.
- Modules de contrôle de puissance : Permettent de contrôler la puissance fournie à un appareil, par exemple pour réguler la vitesse d'un moteur.

### ➤ Autres périphériques de sortie :

- Vibrateurs : Utilisés pour fournir des retours haptiques dans les dispositifs.
- Electroaimants : Utilisés pour des applications où des actions de verrouillage ou de déclenchement sont nécessaires.
- Pompes : Utilisées pour déplacer des fluides dans des applications telles que l'irrigation ou les systèmes de refroidissement.

Ces périphériques de sortie permettent à l'Arduino d'interagir avec le monde extérieur en fournissant des informations visuelles, auditives ou mécaniques, en facilitant la communication sans fil, et en contrôlant divers appareils et systèmes.

## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino



Figure 2.7 Quelques périphériques de sortie

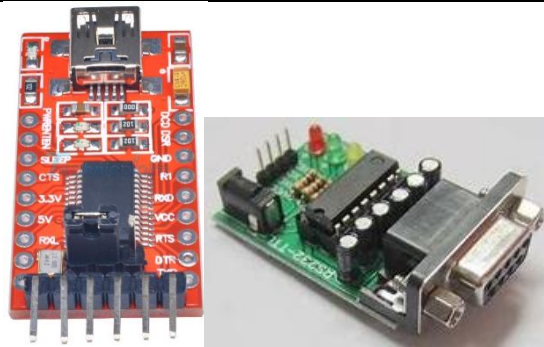


Figure 2.8 Quelques périphériques d'entrée/de sortie

### 2.3.5. Avantages et inconvénients d'un système à base d'Arduino

Un système à base d'Arduino est un système électrique, caractérisé par une combinaison de matériel et de logiciel. Ainsi, nous donnons quelques de ses avantages et inconvénients [34][35] :

- Son coût de réalisation et sa taille selon le nombre de composants utilisés sont moindres.
- Comme il est fonctionnel à base d'actionneurs de faible puissance, il peut l'être dans le cas en haute puissance.
- Il a très peu d'interconnexions.
- Il peut répondre aux actions en un minimum de temps (temps réel).
- Les opérations effectuées par le système à microcontrôleur sont plus précises car elles sont conçues à l'aide de logiciels avancés.

#### Inconvénients d'un système à base d'Arduino

- Si le système est endommagé, une grande partie de sa circuiterie peut être modifiée ou supprimée.
- Les erreurs de tel système sont moins difficiles à rectifier et à résoudre.
- Le système à microcontrôleur sont très difficiles à mettre à niveau et à mettre jour.
- D'énormes modifications ne peuvent pas être mises en œuvre sur ces systèmes.
- Ressources limitées pour la mémoire
- Moins de durabilité de l'alimentation dans le cas où le système est complètement autonome.

## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino

- Limitations pour le matériel, en raison de sa réalisation pour une tâche spécifique.
- Plus difficile de déplacer des données d'un système à un autre système.

### 2.4 Système à base de modules de communication

De nos jours, la technologie de communication a presque révolutionné tous les secteurs, ce qui a permis de pouvoir minimiser l'intervention humaine, et plus particulièrement dans des lieux considérés très difficiles à atteindre où dans des entreprises modernes ayant des systèmes à grandes échelles faisant référence à l'utilisation des technologies modernes telles que les courriels, les téléphones portables, la figure suivante montre qu'un système programmable peut être fonctionnel à la base de technologies de communication.

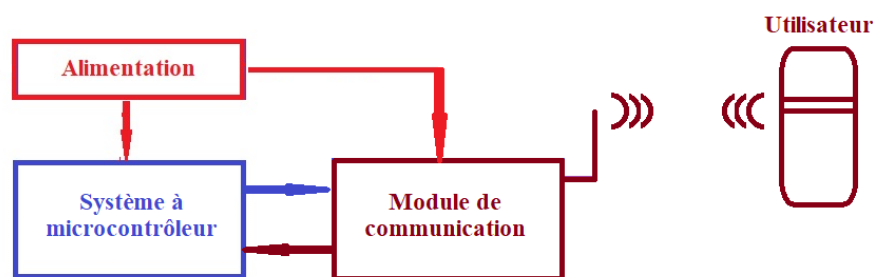


Figure 2.9 Structure générale du système à base de module de communication

#### 2.4.1 Les modules de communication

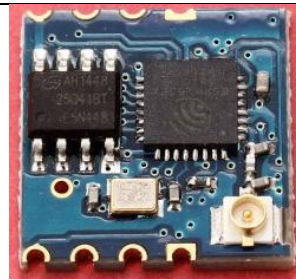
##### A- Module Wifi

Un **module wifi** est conçu sous la forme d'un système sur puce. il intègre :

- des couches de **protocole de communication TCP/IP**,
- une mémoire de **4 Mo**
- des circuits (régulateurs, amplificateurs, etc.).

Un module wifi permet à n'importe quel microcontrôleur d'accéder au réseau Wifi depuis un projet connecté. La figure 1.6 montre un exemple de module wifi, il s'agit d'ESP8266.

Prix d'achat : 52.90 Euro = 8227,77 DA.



**Figure 2.10** Cas d'un module de communication wifi

### B- Module Gsm

Un module GSM, ou modem GSM, ou Contrôleur GSM est un boîtier électronique muni d'une carte SIM, qui se connecte au réseau téléphonique comme un téléphone portable. Ainsi il dispose de son propre numéro de téléphone, et fonctionne partout dans le monde où il existe un réseau cellulaire GSM. La figure 1.7 représente le cas du module GSM SIM900.

Prix d'achat : 14.85 Euro = 2309,69 DA



**Figure 2.11** Exemple de module GSM

### C- Module GPS

Les récepteurs GPS sont généralement utilisés dans les smartphones, les systèmes de gestion de flotte, l'armée, etc. pour le suivi ou la localisation.

Le système de positionnement global (GPS) est un système de satellites qui utilise des satellites et des stations au sol pour mesurer et calculer sa position sur terre.

Le GPS est également connu sous le nom de système de navigation avec temps et distance (NAVSTAR) GPS.

Le récepteur GPS doit recevoir des données d'au moins 4 satellites à des fins de précision. Le récepteur GPS ne transmet aucune information aux satellites.



## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino

---

Prix d'achat : 46.54 Euro = 7238,57 DA



**Figure 2.12** *Module GPS*

### **D- Module Bluetooth**

Les modules Bluetooth sont des composants de liaison sans fil qui sont généralement attachés à une carte-mère pour permettre au dispositif de diffuser et se connecter via un signal Bluetooth. Un module Bluetooth peut être installé dans de nombreux périphériques différents et peut améliorer considérablement leurs fonctions de base. La technologie Bluetooth est répartie en "classes" qui sont 1, 2 ou 3. Le niveau de la classe détermine la gamme de l'appareil, la classe 1 étant la meilleure dans cette gamme pour la plage de fonctionnement.

Bluetooth consomme très peu d'énergie.

Prix d'achat : 5.40 Euro = 839,89 DA



**Figure 2.13** *Module de communication Bluetooth*

### **2.4.2 Domaine d'application d'un système à module de communication**

#### **A- Module wifi**

Application dans le domaine agricole. Un module WIFI utilisé permettant de connecter le système d'irrigation à Internet avec différents types de capteurs. Ce qui permet d'informer l'agriculteur sur l'approvisionnement en eau du sol[36]



## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino

---



**Figure2.14** *Système d'irrigation à Internet*

Dans cette application un IoT est utilisé pour contrôler le dispositif de combustion d'un déchet organique via un accès Wifi

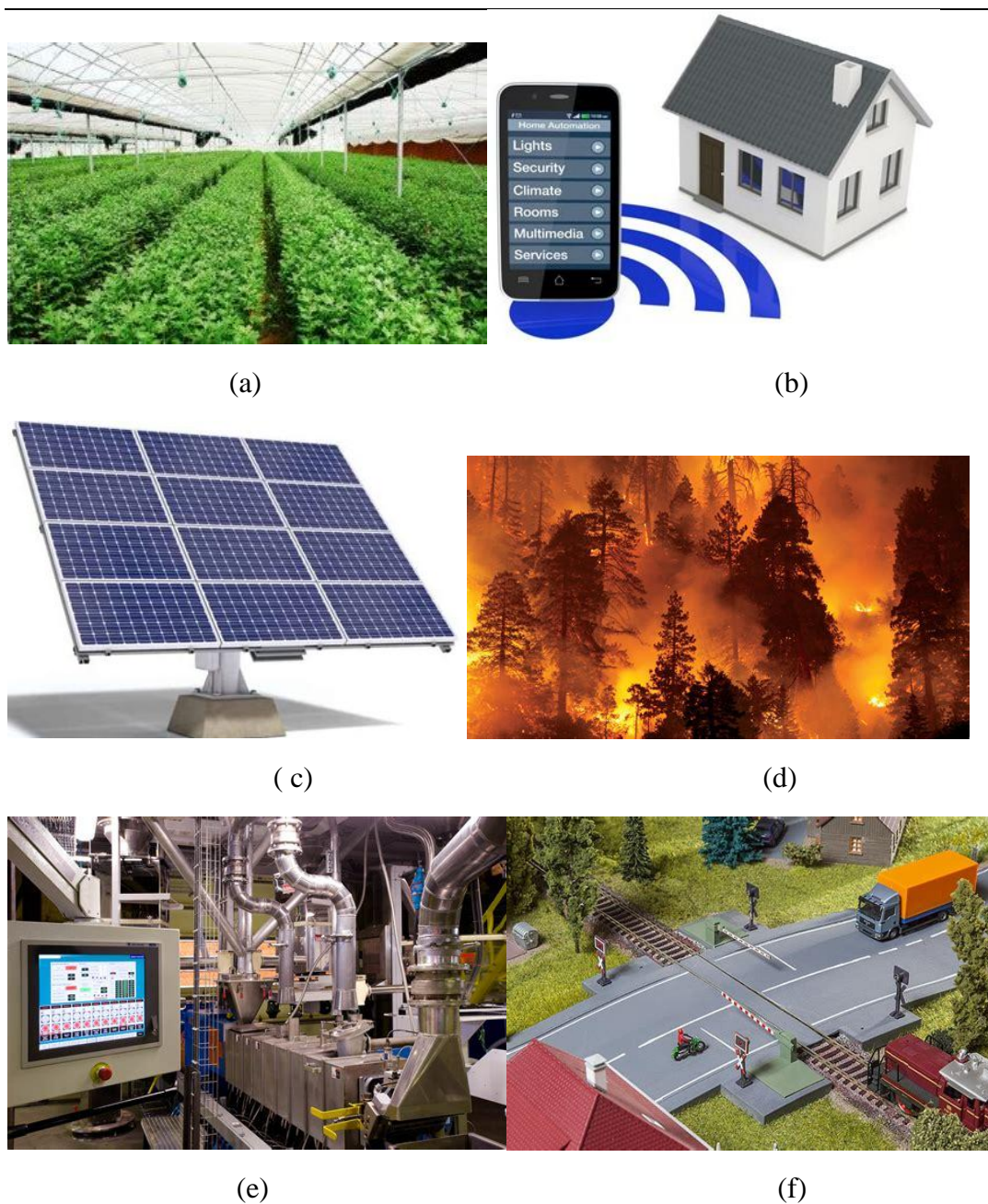
### **B- Gsm**

- Système de contrôle et d'acquisition de données (SCADA) des processus industriels localement ou à distance
- Système de détection et de surveillance du niveau de liquide dans toute unité de production disposant de grands réservoirs pour le stockage et l'approvisionnement en liquide connecté à un module GSM
- Système d'appareils de surveillance des rayonnements tels qu'un radiomètre sans fils via SMS.
- Système d'irrigation automatique dans le domaine agricole basé sur la communication sans fils .
- Système de sécurité des lieux (maison, parking, entrepôt,..)



**Figure2.15** *Système de sécurité d'un entrepôt à base de GSM*

## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino



**Figure 2.16** Système de sécurité d'un entrepôt à base de GSM

- (a) Surveillance et contrôle de serre basés sur GSM
- (b) Système de sécurité domestique basé sur GSM
- (c) Système de suivi solaire à GSM
- (d) Système de détection d'incendie de forêt utilisant
- (e) Système industrielle basé sur GSM pour le contrôle automatique
- (f) Passage à niveau ferroviaire contrôlé par GSM

### C- GPS

- Appliqué dans le cas de dispositif embarqué à l'intérieur d'un véhicule dont les positions doivent être déterminées et suivies en temps réel .
- Situation pour pouvoir détecter les accidents à l'aide d'un élément de détection de vibration et un véhicule peut être localisé par un module GPS. Les alertes d'accident sont ensuite envoyées à l'équipe de secours .
- Un système de suivi automatique incorporant la technologie GPS sous la forme d'un appareil qui serait attaché au corps d'un animal et surveillerait en permanence la position de l'animal par rapport aux limites définies par GPS à l'intérieur d'une réserve .

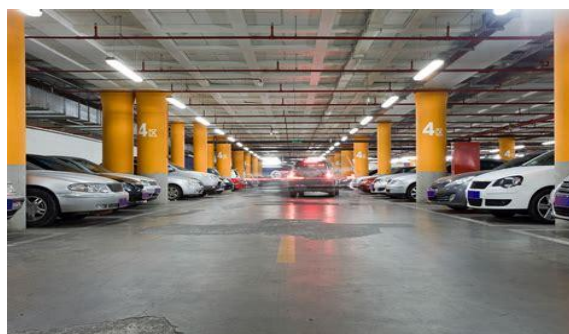


**Figure2.17** Collier GPS pour animaux de compagnie

- Utilisation du GPS dans l'agriculture pour le guidage des tracteurs en pilote automatique

### D- Bluetooth

lieux intelligents utilisant des appareils connectés via la technologie Bluetooth à un portable.



**Figure2.18** Parking souterrain à base de Bluetooth

## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino

---

Dans le processus de lutte contre l'incendie, afin d'éviter certains facteurs incontrôlables qui risquent de toucher les pompiers pendant leur travail d'extinction, un extincteur intelligent basé sur le téléphone portable Bluetooth est conçu et mis en œuvre.

### 2.4.3 Avantages et inconvénients d'un système à module de communication

#### ➤ Avantages[37]

2. **Absence de fils** : Peut-être configuré avec l'utilisation de n'importe quelle connexion physique.
3. **Facile à installer** : Le réseau sans fil est facile à étendre et à configurer
4. **Couverture meilleure ou globale** : Il offre une portée mondiale en fournissant un réseautage dans des endroits tels que les zones rurales, les champs de bataille, etc. où le câblage n'est pas possible.
5. **Flexibilité** : Le réseau sans fil est plus flexible et adaptable que le réseau câblé.
6. **Rentabilité** : Comme il est facile à installer et ne nécessite pas de câbles, le réseau sans fil est relativement moins cher.
7. **Mobile et portable** : Le réseau sans fil est facile à transporter et à réinstaller dans un autre endroit.
8. **Mobilité** : Il a une bonne mobilité d'utilisation.

#### ➤ Inconvénients

1. Comme la communication se fait à travers un espace ouvert, elle est moins sécurisée.
2. Fiabilité
3. Plus ouvert aux interférences.
4. Risque accru de brouillage.
5. La vitesse de transmission est comparativement inférieure.
6. il dispose d'une quantité limitée de bande passante pour la communication et les violations de la sécurité du réseau.
7. Les réseaux sans fil peuvent être facilement piratés.
8. Les réseaux sans fil nécessitent une fréquence radio prudente lors de leur installation.

### 2.5 Communication IoT via Firebase et ESP32

#### 2.5.1 L'Internet des objets (IoT)

La meilleure définition de l'Internet des objets serait : « Un réseau ouvert et complet d'objets intelligents capables de s'auto-organiser, de partager des informations, des données et des ressources, en réagissant et en agissant face aux situations et aux changements de l'environnement. »

L'Internet des objets peut également être considéré comme un réseau mondial permettant la communication entre humains, entre humains et objets, et entre objets, en fournissant une identité unique à chaque objet. La plupart d'entre nous pensent à la « connexion » en termes de dispositifs électroniques tels que des serveurs, des ordinateurs, des tablettes, des téléphones et des smartphones. Dans ce que l'on appelle l'Internet des objets, des capteurs et des actionneurs intégrés dans des objets physiques - des routes aux stimulateurs cardiaques - sont reliés par des réseaux filaires et sans fil.[38]

#### 2.6.2.2 Utilisation de la base de données en temps réel –Firebase

Firebase, est une plateforme de développement d'applications mobiles proposée par Google, permet de créer rapidement des applications de haute qualité en étant intégrée à Google Cloud Platform. Au cœur de cette plateforme se trouve une base de données temps réel efficace et à faible latence, idéale pour les applications nécessitant une synchronisation immédiate des données entre différents appareils. Cela garantit aux utilisateurs une information constamment à jour

Firebase est particulièrement adaptée pour les applications nécessitant une synchronisation des données en temps réel, telles que la diffusion en direct (live streaming) ou la messagerie instantanée. Sa structure NoSQL permet cette synchronisation sur tous les types d'appareils (iOS, Android et Web) sans actualisation de l'écran. De plus, les applications bénéficient d'une connexion sécurisée au serveur et d'un tableau de bord intuitif pour la gestion des différents services.[39]



**Figure 2.19** *Logo de Firebase*

### 2.5.2 Fonctionnalités de Firebase

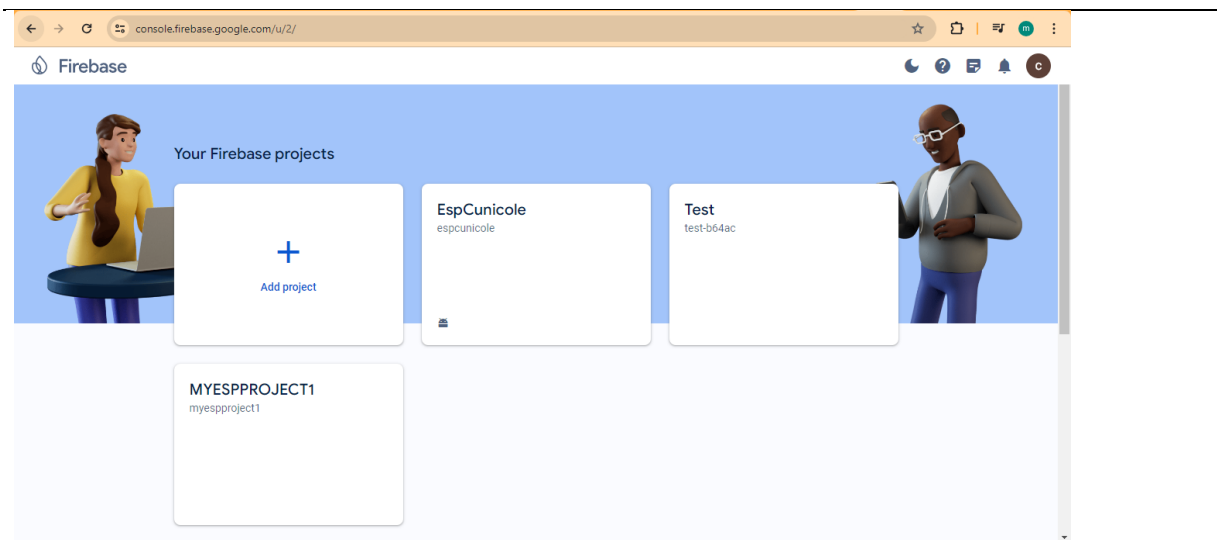
1. **Authentification** : La fonctionnalité d'authentification de Firebase vous permet de limiter l'accès à votre application aux seuls utilisateurs autorisés.
2. **Hébergement** : L'hébergement est un service de contenu Web de qualité production qui facilite la tâche des développeurs. Avec Hébergement, vous pouvez envoyer rapidement et efficacement des applications Web.
3. **Messagerie** : Il s'agit d'une solution de messagerie multiplateforme qui vous permet de transmettre des messages de manière fiable et gratuite.
4. **Analytiques**: Cette fonctionnalité permet au développeur d'application de comprendre comment les utilisateurs utilisent son application. Le SDK capture automatiquement des événements et des propriétés, et vous permet également d'obtenir des données personnalisées..
5. **Stockage** : Firebase propose également un service de stockage. Il permet de stocker et de récupérer du contenu tel que des images, des vidéos et de l'audio.
6. **Base de données en temps réel** : La base de données dans Firebase est une base de données cloud et ne nécessite pas de requêtes SQL pour stocker et récupérer des données. La base de données est hautement fiable, donc même en cas de perte de connexion, les données sont conservées, Ce qui nous a aidés dans notre système a récupéré les données depuis la carte ESP32, puis à y accéder via l'application créée.

### 2.5.3 Firebase Realtime (temps réel)

Selon son nom, la base de données en temps réel de Firebase est en temps réel, ce qui signifie que si un utilisateur de l'application met à jour des données, alors les données sur le serveur Google seront immédiatement mises à jour, et le système Firebase mettra immédiatement à jour toutes les données sur tous les autres utilisateurs qui utilisent l'application.[40]



## Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino



**Figure 2.20** Google Firebase

### 2.6 Conclusion

Ce chapitre a examiné les ressources matérielles essentielles nécessaires à la mise en œuvre d'un système de commande à base d'Arduino. Nous avons commencé par mettre en évidence l'importance des périphériques d'entrées et de sorties dans le fonctionnement des cartes Arduino, soulignant ainsi la nécessité de comprendre le système dans son ensemble. En explorant les différents domaines d'application des systèmes à base d'Arduino, nous avons constaté leur polyvalence dans des domaines aussi variés que la domotique, la robotique, le contrôle environnemental, les projets artistiques interactifs et l'éducation.

De plus, nous avons examiné les outils de développement indispensables pour réaliser des projets Arduino, notamment l'Arduino IDE et une variété de plates-formes de prototypage, de capteurs et d'actionneurs.

Ainsi, ce chapitre a fourni un aperçu des ressources matérielles nécessaires à la création de systèmes de commande à base d'Arduino, mettant en lumière leurs applications et les outils disponibles pour les développer. Cette compréhension jettera les bases nécessaires pour aborder les aspects pratiques de notre étude dans le chapitre suivant.

## **Chapitre 2 : Ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino**

---



---

Chapitre 3

Étude du système à base du moteur à  
induction

---

## **Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction**

### **3.1 Introduction**

Ce chapitre est consacré à l'étude approfondie des systèmes basés sur les moteurs à induction, avec une attention particulière sur le démarrage direct du MI. Nous commencerons par une représentation générale du système afin de fournir une vue d'ensemble de l'architecture et des composants impliqués. Ensuite, nous analyserons divers systèmes de démarrage, incluant les méthodes contrôlées par interaction utilisateur, les démarrages via la carte Arduino, ainsi que ceux utilisant un système de communication mobile.

La surveillance de la température des MI sera également explorée, avec un intérêt sur les solutions basées sur la carte Arduino et les systèmes de communication mobile, offrant ainsi une compréhension complète des techniques de protection des moteurs. Par la suite, nous aborderons la réalisation pratique du système de fonctionnement du MI à base de microcontrôleur, en détaillant l'organigramme de fonctionnement, les simulations et programmations, la conception des circuits imprimés, et les figures des circuits réalisés.

Enfin, une étude économique sera menée pour évaluer la viabilité et les coûts associés à ces systèmes.

### **3.2 Représentation générale du système**

#### **3.2.1 Etude des systèmes de démarrage**

Ce système de commande et de surveillance utilise une carte Arduino pour gérer le démarrage et l'arrêt d'un moteur à induction. Le système est équipé d'un capteur de température pour surveiller la température du moteur et d'un module GSM pour transmettre des messages à l'utilisateur et recevoir des commandes de celui-ci. L'ensemble du système comprend des blocs distincts pour chaque fonction clé, détaillés ci-dessous.

Schéma bloc d'un système de commande et de surveillance d'un moteur à induction avec Arduino est donné par la figure suivante :

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

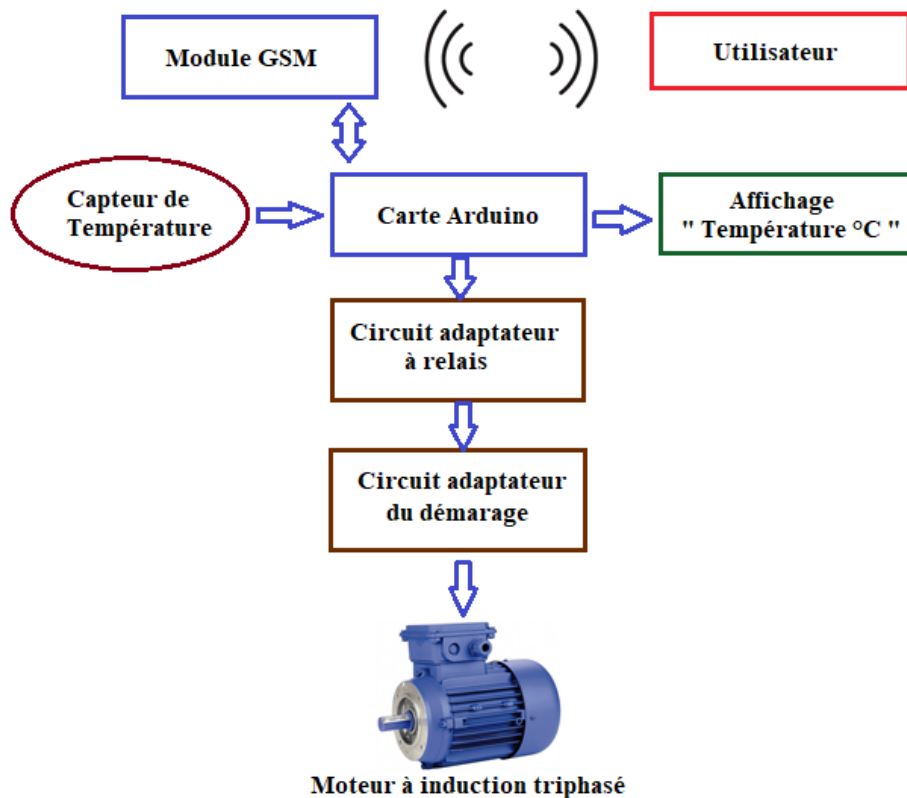


Figure3.1 Structure générale du système à base d'un module GSM

### 3.2.2 Description du schéma bloc

#### 1. Capteur de température

- Fonction : Mesurer la température du moteur à induction en temps réel.
- Connexion : Le capteur de température est connecté à l'entrée analogique de la carte Arduino.

#### 2. Carte Arduino

- Fonction : Servir de contrôleur central pour le système.
- Entrée :
  - Capteur de température : La carte Arduino reçoit les données de température du capteur.
- Sortie :
  - Affichage : La carte Arduino envoie les valeurs mesurées de la température à un dispositif d'affichage (comme un écran LCD) pour une lecture en temps réel.
  - Module GSM : En cas de dépassement de température, l'Arduino transmet un message d'alerte via le module GSM.
  - Circuit adaptateur à base de relais : La carte Arduino envoie des signaux pour activer ou désactiver le relais afin de contrôler le démarrage ou l'arrêt du moteur.

#### 3. Affichage des valeurs de la température

- Fonction : Afficher les valeurs de la température mesurées par le capteur en temps réel.

## **Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction**

- Connexion : Connecté à une sortie de la carte Arduino.

### **4. Module GSM**

- Fonction : Transmettre des messages d'alerte à l'utilisateur et recevoir des commandes.
- Connexion : Connecté à la carte Arduino pour l'envoi et la réception de messages.
- Opérations :
  - Transmission : Envoie un message d'alerte à l'utilisateur lorsque la température dépasse un seuil critique.
  - Réception : Reçoit des commandes de l'utilisateur pour arrêter le moteur.

### **5. Relais (Circuit adaptateur)**

- Fonction : Agir comme un interrupteur contrôlé électroniquement pour arrêter le moteur à induction.
- Connexion :
  - Entrée : Connecté à une sortie numérique de la carte Arduino.
  - Sortie : Connecté au circuit adaptateur de démarrage du moteur à induction.

### **6. Circuit adaptateur de démarrage du moteur à induction**

- Fonction : Contrôler l'alimentation électrique du moteur à induction pour son démarrage et son arrêt.
- Connexion :
  - Entrée : Connecté au relais pour recevoir les signaux de commande.
  - Sortie : Connecté au moteur à induction pour gérer son alimentation.

### **7. Moteur à induction**

- Fonction : Le moteur principal dont la température et l'état de fonctionnement sont surveillés et contrôlés par le système.

## **3.2.3 Fonctionnement global du système**

### **1. Surveillance de la température :**

- Le capteur de température mesure en continu la température du moteur.
- Les données de température sont envoyées à la carte Arduino.

### **2. Affichage des valeurs :**

- La carte Arduino affiche les valeurs de température sur un écran pour une surveillance visuelle.

### **3. Alerte en cas de surchauffe :**

- Si la température dépasse un seuil critique, l'Arduino envoie un message d'alerte à l'utilisateur via le module GSM.

### **4. Commande utilisateur :**

- L'utilisateur reçoit le message d'alerte et peut envoyer une commande pour arrêter le moteur.
- La commande de l'utilisateur est reçue par le module GSM et transmise à l'Arduino.

### **5. Contrôle du moteur :**

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

- Sur réception de la commande d'arrêt, l'Arduino active le relais.
- Le relais ouvre le circuit adaptateur de démarrage, coupant ainsi l'alimentation du moteur à induction et l'arrêtant.

### 3.3 Etude des systèmes de démarrages

#### 3.3.1 Démarrage contrôlé avec interaction utilisateur.

Cette section se concentre sur un schéma basé sur le démarrage direct du moteur à induction contrôlé avec interaction utilisateur. Cette étude est primordiale car elle permet de comprendre le principe et les conditions de fonctionnement du système. En analysant ce schéma, nous pouvons mieux explorer les différentes possibilités pour un fonctionnement programmé, en nous basant sur l'utilisation de la carte Arduino. Cette compréhension fondamentale est essentielle pour développer un système programmable.

Le schéma bloc simple pour le démarrage direct d'un moteur à induction triphasé est donné comme suit :

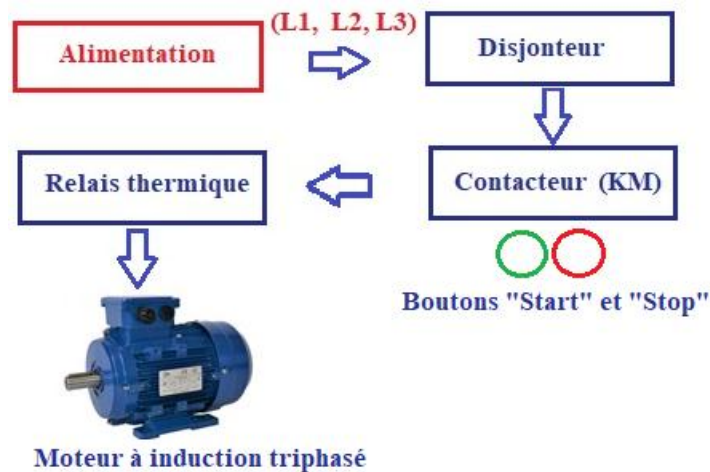


Figure3.2 Démarrage manuel du MI

#### Principe de fonctionnement

- Alimentation : Fournit l'énergie électrique nécessaire pour faire fonctionner le moteur.
- Disjoncteur : Protège le circuit contre les surcharges et les courts-circuits. En cas de problème, il coupe l'alimentation.
- Contacteur : Utilisé pour connecter ou déconnecter le moteur de l'alimentation électrique. Il est contrôlé par un circuit de commande (constitué des boutons-poussoirs (Start et Stop) et de la bobine du contacteur principal (KM). Ces

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

composants travaillent ensemble pour contrôler l'activation et la désactivation du moteur).

- Relais thermique : Protège le moteur contre les surcharges en mesurant le courant et en ouvrant le circuit si le courant dépasse un certain seuil pendant une période prolongée.

- Moteur à induction triphasé : Convertit l'énergie électrique en énergie mécanique pour faire tourner la charge connectée.

Dans un démarrage direct, le contacteur est fermé pour permettre à la pleine tension de l'alimentation d'atteindre le moteur, ce qui entraîne un courant de démarrage élevé. Une fois démarré, le relais thermique assure que le moteur fonctionne dans des conditions sûres, et le disjoncteur protège l'ensemble du circuit.

Le MI utilisé dans les différentes configurations de notre étude présente les spécifications de sa plaque signalétique comme suit :

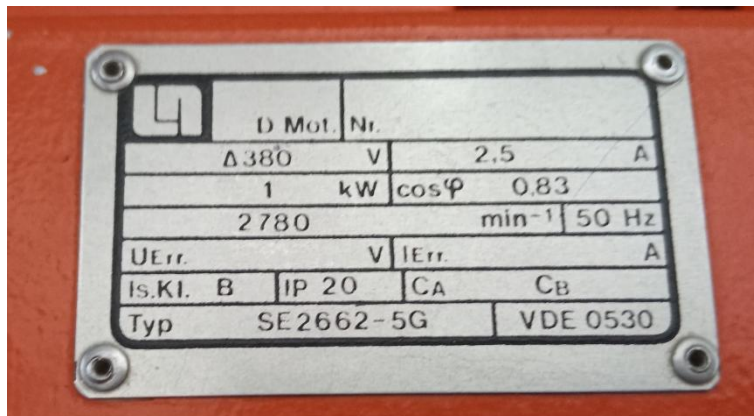


Figure3.3 Plaque signalétique du MI

### Le choix des composants

#### ➤ Le Choix du Disjoncteur

Le choix du disjoncteur est une étape importante pour assurer la protection et le bon fonctionnement du système de commande d'un moteur à induction. Un disjoncteur inadapté peut entraîner des interruptions fréquentes ou ne pas fournir la protection nécessaire contre les surcharges et les courts-circuits.

#### 1. Courant nominal ( $I_n$ )

- Le courant nominal du disjoncteur doit correspondre au courant nominal du moteur à induction. Pour déterminer le courant nominal, nous utilisons la plaque signalétique du MI ou calculons-le à l'aide de la formule suivante :

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos(\phi)}$$

où :

- $P$  est la puissance du moteur (en watts),
- $U$  est la tension d'alimentation (en volts),
- $\cos(\phi)$  est le facteur de puissance du moteur.

Les spécifications du MI triphasé sont :

- Puissance  $P$  : 1 kW
- Tension  $U$  : 380 V
- Facteur de puissance  $\cos(\phi)$  : 0.83

Calcul du courant nominal :

$$I = \frac{1000}{\sqrt{3} * 380 * 0.83} \approx 1.83 \text{ A}$$

- Le disjoncteur doit avoir un courant nominal légèrement supérieur à 1.83 A, par exemple, un disjoncteur de 2 A.

### 3. Courant de démarrage

- Les MI peuvent tirer un courant de démarrage beaucoup plus élevé que leur courant nominal. Le disjoncteur doit donc pouvoir supporter ce pic sans déclencher intempestivement. En général, le courant de démarrage peut atteindre 6 à 8 fois le courant nominal du moteur.

- Avec un courant de démarrage de 6 à 8 fois le courant nominal, le disjoncteur doit être capable de supporter un pic de 12 A à 16 A sans déclencher intempestivement.

### 4. Caractéristiques de déclenchement

- Pour les moteurs, il est recommandé d'utiliser des disjoncteurs avec une courbe de déclenchement de type D ou K, qui sont conçus pour supporter les courants de démarrage élevés.

#### ➤ Le Choix du Contacteur

Le contacteur est un dispositif essentiel dans le système de commande des MI, utilisé pour contrôler l'alimentation du moteur en établissant ou interrompant le circuit électrique.

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

- Le courant nominal ( $I_n$ ) du contacteur doit correspondre au courant nominal du moteur à induction.

- Selon le calcul donné ci-dessus, le contacteur doit avoir un courant nominal légèrement supérieur à 1.83 A, par exemple, un contacteur de 2A à 3A.

### 2. Courant de démarrage

- Les moteurs à induction peuvent tirer un courant de démarrage beaucoup plus élevé que leur courant nominal. Le contacteur doit pouvoir supporter ce pic sans dommage. En général, le courant de démarrage peut atteindre 6 à 8 fois le courant nominal du moteur.

### 4. Catégorie d'utilisation

- Les contacteurs sont classés selon différentes catégories d'utilisation en fonction des types de charges qu'ils contrôlent. Pour les MI, les catégories AC-3 ou AC-4 sont généralement appropriées.

- AC-3 : Utilisé pour les démarrages normaux et les arrêts du moteur.

- AC-4 : Utilisé pour les démarrages fréquents et les commandes de marche-arrêt répétitives.

Dans notre cas, un contacteur de catégorie AC-3 est approprié pour les démarrages et arrêts normaux du moteur.

### ➤ Le Choix du Relais Thermique

Le relais thermique est un dispositif de protection essentiel pour les moteurs électriques, notamment les moteurs à induction. Il protège le moteur contre les surcharges prolongées en interrompant le circuit lorsque le courant dépasse une certaine limite pendant une durée prolongée. Le choix du relais thermique doit être précis pour assurer une protection efficace sans provoquer des déclenchements intempestifs.

- Le courant nominal du relais thermique doit correspondre au courant nominal du moteur.

### 2. Réglage du courant

- Le relais thermique doit permettre un réglage précis du courant de déclenchement. Il doit être réglé à environ 1.05 à 1.25 fois le courant nominal du moteur pour assurer une protection adéquate.

- Le relais thermique doit avoir une plage de réglage qui inclut 1.83 A. Par exemple, un relais avec une plage de réglage de 1.5-3 A serait approprié.



### Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

- Le relais thermique doit être compatible avec le contacteur de 2 A à 3 A choisi précédemment. Ainsi, le relais thermique doit être compatible avec le contacteur utilisé pour le moteur.

#### 4. Classes de déclenchement

- Les relais thermiques sont classés en différentes classes de déclenchement (par exemple, classe 10, classe 20). La classe de déclenchement indique le temps de réponse du relais sous surcharge. La classe 10 est couramment utilisée pour les moteurs standards.

- Pour ce moteur, un relais thermique de classe 10 serait approprié, offrant un bon compromis entre protection rapide et tolérance aux démarrages fréquents.

Les photos suivantes représentent les différents composants utilisés dans le circuit appliqué pour le démarrage direct du moteur à induction.



(a) (b)



(c) (d)

**Figure3.4** (a)Disjoncteur triphase (b)Contacteur  
(c)Relais thermique (d)Porte fusible

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

### 3.3.2 Démarrage via la carte Arduino

Ce travail représente une évolution de notre précédent schéma de démarrage direct du MI, qui reposait sur l'intervention de l'utilisateur. Cette fois-ci, nous avons amélioré le système en intégrant la carte Arduino. Cette démarche permet une automatisation un peu avancée du processus de démarrage, offrant ainsi une solution plus efficace et programmable. En nous appuyant sur notre compréhension préalable du fonctionnement du système et de ses conditions, nous avons examiné les possibilités offertes par l'utilisation de la carte Arduino pour un fonctionnement amélioré du démarrage du MI.

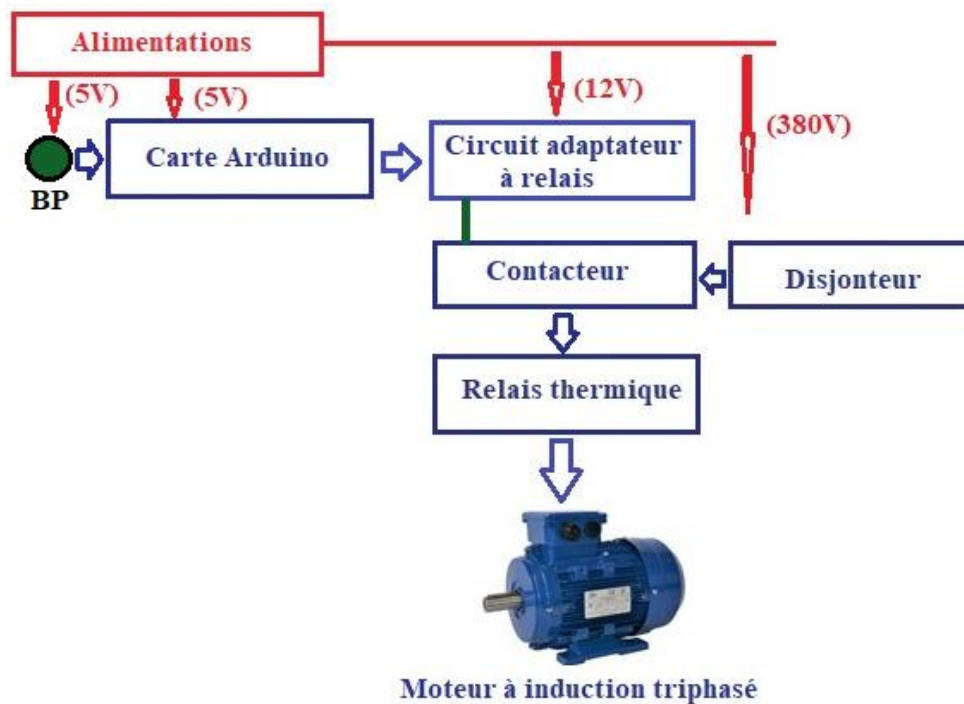


Figure 3.5 Commande du MI via carte Arduino

#### Description du Système représenté par un schéma bloc

##### Étape 1 : Bouton Poussoir et Carte Arduino

- Carte Arduino : La carte Arduino est le microcontrôleur central de notre système, responsable de l'exécution du programme qui contrôle le MI.
- Entrée : Initialement, un bouton poussoir est connecté à l'entrée de la carte Arduino. Ce bouton permet de donner des commandes manuelles pour démarrer et arrêter le moteur.
- Programmation : Le programme sur l'Arduino est conçu pour interpréter les signaux du bouton poussoir. Lorsque le bouton est enfoncé, l'Arduino envoie un signal pour

## **Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction**

démarrer le moteur, et lorsqu'il est relâché, un autre signal est envoyé pour arrêter le moteur.

### **Étape 2 : Élimination des Boutons Poussoirs**

- Suppression des Boutons Poussoirs : Pour automatiser et moderniser le système, les boutons poussoirs physiques sont supprimés du circuit.

- Circuit Adaptateur à Base d'un Relais : En remplacement des boutons poussoirs, nous intégrons un circuit adaptateur basé sur un relais de 12 volts. Ce relais permet à l'Arduino de contrôler le moteur sans intervention manuelle directe.

### **Étape 3 : Fonctionnement du Circuit Adaptateur à Base d'un Relais**

- Relais de 12 Volts : Le relais fonctionne comme un interrupteur contrôlé électroniquement. Il reçoit des signaux de l'Arduino pour ouvrir ou fermer le circuit.

- Commande du Contacteur : Le relais de 12 volts est configuré pour activer ou désactiver un contacteur. Le contacteur est un interrupteur électromécanique capable de gérer les courants élevés nécessaires pour le moteur à induction.

- Processus :

- Lorsque l'Arduino envoie un signal de démarrage, le relais ferme le circuit, activant le contacteur, qui connecte le moteur au réseau triphasé, démarrant ainsi le moteur.

- Lorsque l'Arduino envoie un signal d'arrêt, le relais ouvre le circuit, désactivant le contacteur, qui déconnecte le moteur du réseau triphasé, arrêtant le moteur.

### **Étape 4 : Adaptation du Réseau Triphasé**

- Adaptation du Réseau : Le relais et le contacteur permettent une adaptation efficace du réseau électrique triphasé pour le moteur à induction.

- Contrôle du MI : Le relais commandé par l'Arduino contrôle indirectement le contacteur, qui lui-même gère la connexion entre le réseau triphasé et le moteur. Cela permet à l'Arduino de démarrer et d'arrêter le moteur en fonction des commandes programmées, sans nécessiter d'intervention manuelle.

### **3.3.3 Démarrage utilisant un système de communication mobile.**

Cette fois-ci, une amélioration significative est apportée au système. En plus de l'Arduino, ce dernier fait appel à un module de communication, à savoir le GSM.

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

Cette évolution ouvre la voie à une fonctionnalité avancée : le démarrage du MI peut maintenant être réalisé à distance.

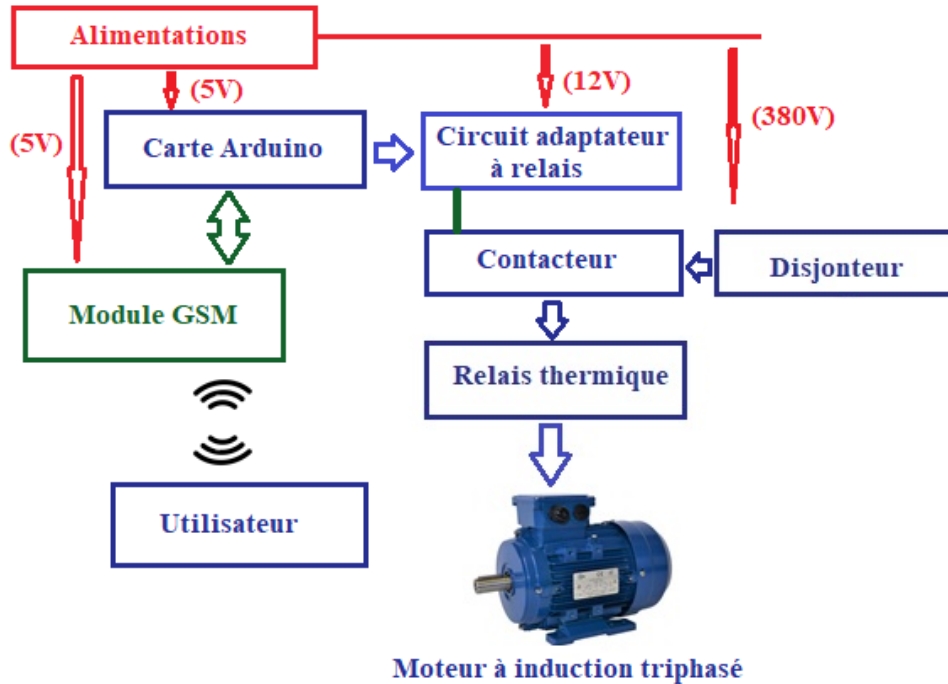


Figure3.6 Commande du MI à base d'un module GSM

### Description

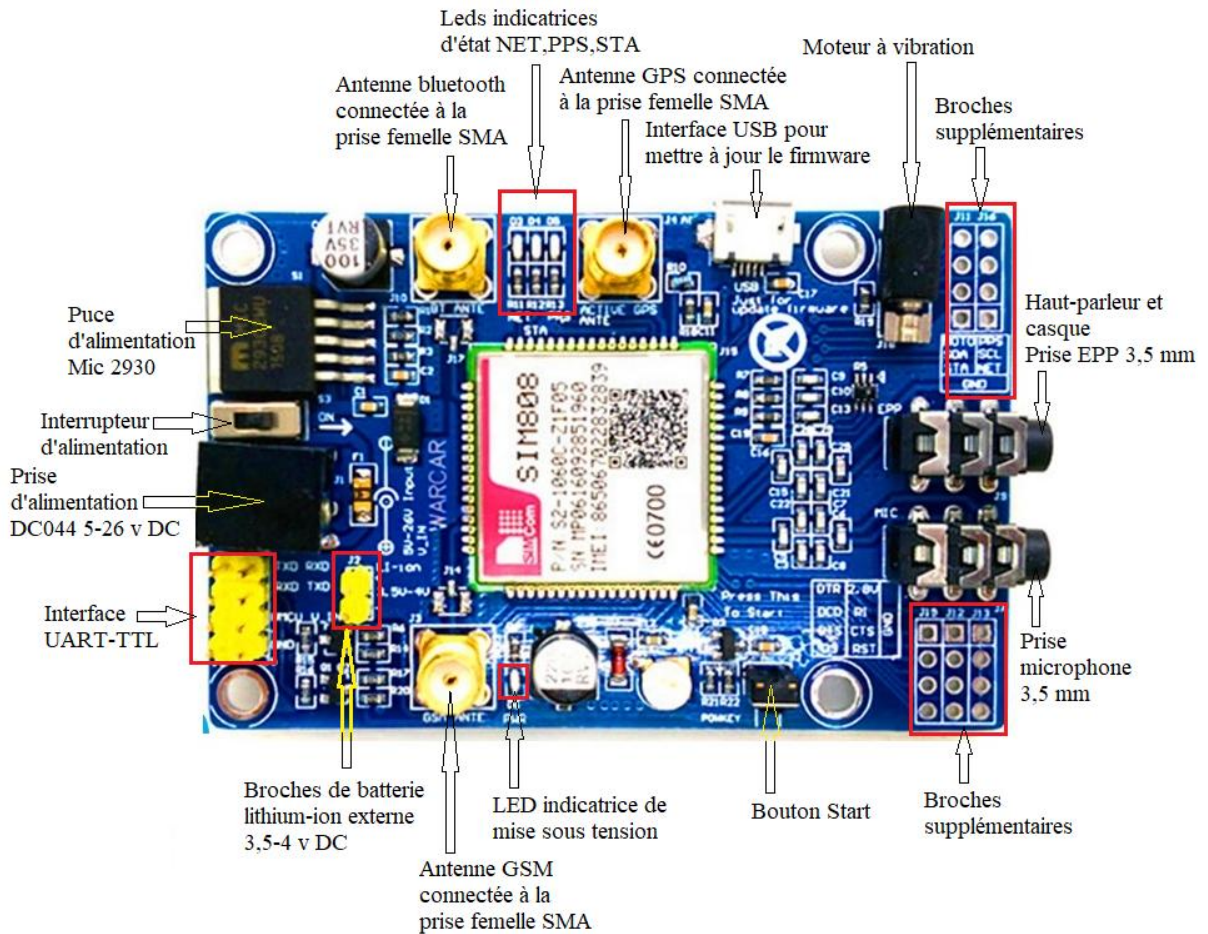
#### Présentation du module GSM

##### A- Désignation

Le module SIM808 utilisé dans notre système est une carte de développement de SIMCOM qui nous permet d'utiliser les fonctionnalités de communication GSM, GPS et Bluetooth. Avec ce module, nous pouvons envoyer et recevoir des SMS, suivre un emplacement et même créer notre propre téléphone portable. Le module est contrôlé via la commande AT via UART et prend en charge les niveaux logiques 3,3V et 5V

##### B- Brochage

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction



**Figure 3.7** Présentation du module GSM SIM 808

- Prend en charge le quadri-bande 850/900/1800/1900MHz, compatible avec tous les réseaux 2G du monde entier.
- Récepteur GPS interne MT3337, précision -165dBm, contrôle sur un même port série.
- Sorties écouteur/microphone sur carte ou haut-parleur externe 32 ohms + prend en charge les appels vocaux avec un microphone à électret.
- Envoi et réception de SMS.
- Envoi et réception de données GPRS (TCP/IP, HTTP).
- Communication UART avec réglages automatiques du débit en bauds.
- GPRS multi-slot classe 12/10
- Station mobile GPRS classe B
- Conforme GSM phase 2/2 +
  - Classe 4 (2 W @ 850 / 900MHz)
  - Classe 1 (1 W @ 1800 / 1900MHz)

### Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

- Prend en charge le mode de faible consommation d'énergie : 100 mA @ 7 V-GSM
- Prise en charge du contrôle des commandes AT (3GPP TS 27.007, 27.005 et commandes AT améliorées SIMCOM)
- Prend en charge la technologie de navigation par satellite GPS
- Indicateur d'état LED de prise en charge : état de l'alimentation, état du réseau et modes de fonctionnement
- Environnement de travail : -40 ~ 85 °C
- L'alimentation
  - La tension d'entrée est de 5 à 26V. A noter que lorsque la tension d'entrée est inférieure à 9V, le courant devrait être de 2A.
  - Un autre port d'alimentation 3.5 à 4.2V (adapté à l'alimentation par batterie au lithium)

Le module SIM808 GSM/GPRS se compose de quatre composants clés, qui jouent un rôle important dans son fonctionnement. Ces composants clés sont la puce cellulaire GSM SIM808, les indicateurs d'état LED, les antennes pour recevoir et envoyer les données et la prise Micro-SIM. Ces éléments sont montrés dans les figures suivantes :

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction



**Figure3.8** *Module de communication*

(a) *Encoche de la carte SIM* (b) *Antennes GPS et GSM, Bluetooth*

### Convertisseur USB TTL

En règle générale, l'utilisation d'un convertisseur USB permet de gérer l'interface de communication série entre un microcontrôleur et un ordinateur via USB. Différents types de convertisseurs sont disponibles, comme illustré dans la figure ci-dessous :



## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

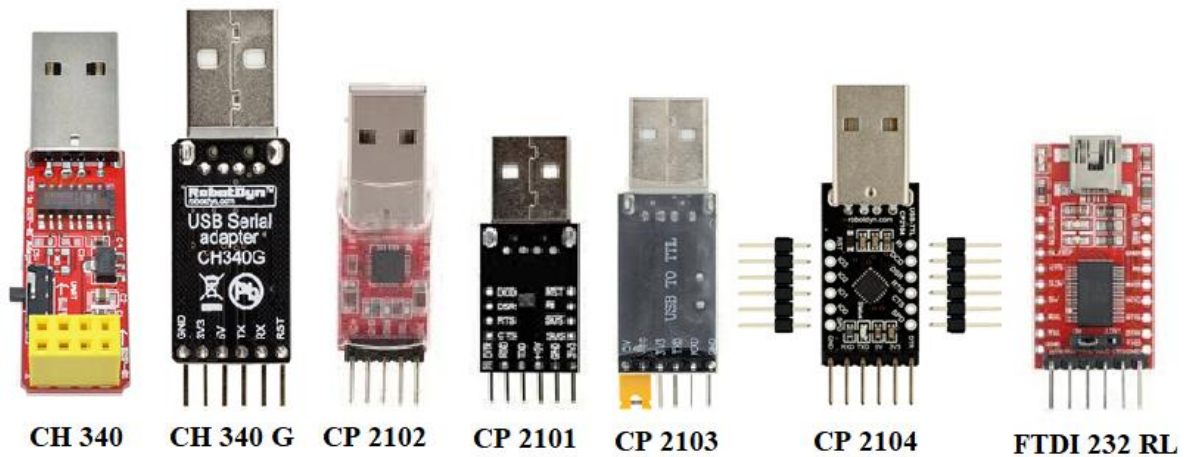


Figure3.9 Types de convertisseurs USB TTL

Pour être fonctionnel, il est nécessaire d'installer d'abord le pilote du convertisseur série USB vers TTL afin qu'il soit reconnu par Windows. Il est important de vérifier son installation dans le gestionnaire de périphériques de Windows. Dans notre cas, nous avons utilisé le FTDI FT232.

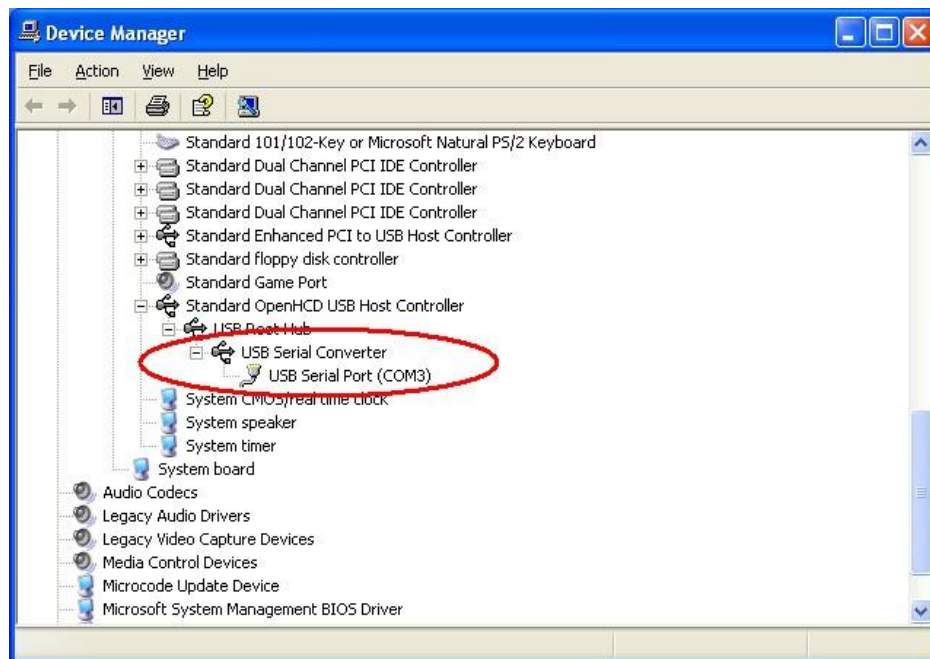


Figure3.10 Installation du pilote USB TTL sous Windows

### A- Configurations matérielles FTDI232 avec GSM SIM 808



## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

- 1- Connection du convertisseur USB TTL à l'interface UART USB TTL SIM 808
  - TXT – RXD
  - RXD – TXD
  - GND – GND
- 2- Insertion de la carte SIM valide dans le support SIMCARD.
- 3- Connexion l'antenne GSM à la carte.
- 4- Connexion l'adaptateur secteur à l'interface DC044.
- 5- Changement l'interrupteur.
- 6- Action sur le bouton START pendant 3 secondes, le module SIM808 fonctionnera et les 3 autres LED s'allumeront.

### B- Configurations Software de l'HyperTerminal avec GSM SIM 808

Une fois le module GSM SIM 808 est lié avec le PC et mis sous tension. On procède à son test grâce à un HyperTerminal et un émulateur virtuel de port série à l'aide des commandes AT qui seront discutées en bas.

#### ➤ **Hyperterminal**

C'est un logiciel qui permet de se connecter à des systèmes (Ordinateurs, modem, module etc.....) afin d'envoyer des commandes pour s'assurer qu'ils sont correctement connectés. La communication entre HyperTerminal et les équipements est en textuelle « interface textuelle ».

Il peut être inclus dans Windows ou téléchargé séparément.

Il existe différents types de logiciel terminal dont nous citons quelques uns :

- RealTerm Serial capture program 2...0.0.7
- YAT
- PUTTY
- Project1
- HyperTerminal Windows

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

Dans notre cas nous avons l'HyperTerminal YAT.

### ➤ **Emulateur port série**

Ce sont des ports série virtuels **pour établir une liaison entre un équipement virtuel ou physique et une application afin de communiquer entre eux**, sont spécifiés pour configurer une interface virtuelle. Ils se comportent comme de vrais ports COM, de manière à ce que les applications n'y voient aucune différence. Il permet ainsi à l'utilisateur de créer un nombre illimité de port COM virtuel série qui est détecté automatiquement par le périphérique ou logiciel série.

Il existe plusieurs modèles dans le marché :

- ComPort Data Emulateur
- Advanced Serial Port Terminal
- VSPE Emulateur
- Virtuel Serial Port Driver

Il très simple à configurer un fois lance après l'installation :

- Ajouter une paire de ports COM
- Lier le modèle de COM de l'application et utilisez le terminal de port série pour vous connecter.

Dans notre cas nous avons utilisé le VSPE Emulateur pour créer une liaison entre l'HyperTerminal et le module GSM SIM 808 dans Windows, les paramètres de configuration de l'HyperTerminal pour permettre une communication sont :

- Port COM5
- 9600 bps
- 8 bits de data
- Pas de bit de parité
- 1 bit d'arrêt
- Aucun contrôle de flux
- FIFO désactivés

L'étape suivante pour terminer les tests du module GSM SIM 808, ces tests ne sont que les commandes envoyer entre l'HyperTerminal et le module appelés sous le nom de commandes AT.

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

### Commandes AT

Les commandes AT sont définies dans la norme GSM (pour les SMS cf. GSM 07.05). AT est l'abréviation de 'Attention'. Ces 2 caractères sont toujours présents pour commencer une ligne de commande sous forme de texte (codes ASCII). Les commandes permettent :

- de composer un numéro de téléphone.
- de commander le raccordement du modem à la ligne (l'équivalent de décrocher le téléphone).
- de connaître l'état de la ligne : tonalité d'invitation à transmettre, ligne occupée...
- de spécifier le type de transmission et le protocole de liaison à utiliser
- de régler le volume sonore du haut-parleur interne du modem.
- d'envoyer les caractères transmis simultanément vers l'écran.
- d'afficher certains renseignements concernant le modem.
- de manipuler les registres internes du modem.

Composer et modifier les paramètres de connexion pour les modems.

#### A- Structure et Syntaxe d'une commande AT

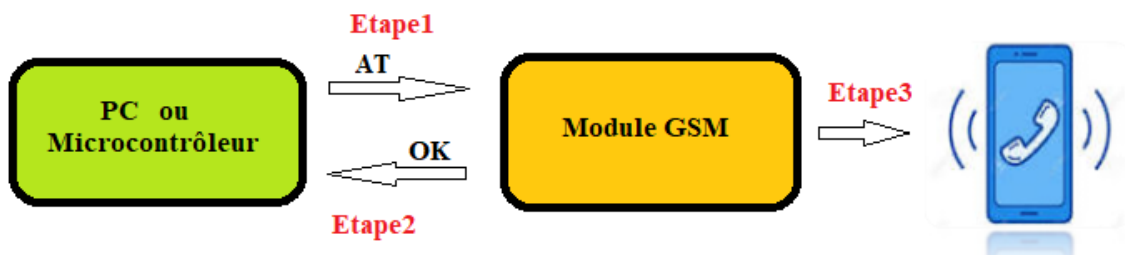


Figure 3.11 Transmission commande AT

AT est le préfixe d'une ligne de commande qui indique au module qu'une commande ou une séquence de commande est entrée. Il existe deux modes pour configurer les commandes afin d'envoyer un sms :

- Mode texte
- Mode PdU

Pour les SMS, on n'a exploité que le mode texte.

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

### B- Types des AT COMMANDS et les réponses

Commande de test	AT+<X> = ?	Le ME renvoie la liste des paramètres et des plages de valeurs définies avec la commande d'écriture correspondante par processus internes.
Commande pour lire	AT+<X> ?	Cette commande renvoie la valeur actuellement définie du paramètre ou des paramètres.
Commande pour écrire	AT+<X> = <...>	Cette commande définit les valeurs de paramètre défini par l'utilisateur.
Commande d'exécution	AT+<X>	La commande d'exécution lit les paramètres non variables affectés par les processus internes dans le GSM.

### C- Commandes dédiées au service sms

Ce tableau ne désigne que quelques commandes AT pour gérer la manipulation des sms

AT	Répond par OK pour accusé la réception
AT+CPIN ?	Vérifier la qualité du signal
AT+ COPS ?	Chercher le nom du fournisseur
AT+CMGR	AT+CMGR=1 lit le premier message en position
AT+ CMGD =1	Supprime le premier en position
AT+CMGDA="DELALL"	Supprime tous les messages
AT+ CMGL ="ALL"	Supprime tous les messages
AT+ CMGF = 0	Configurer sms en mode PDU
AT+ CMGF =1	Configurer sms en mode texte
AT+ CMGS = "+91 968837XXXX"	Envoyer un sms à un numéro particulier
AT+ CPMS	Sélection de ta zone mémoire pour le stockage des SMS
AT+ CMNI	Indication concernant un nouveau message

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

AT+CMGL

Lister les sms stockés en mémoire

### 3.4 Systèmes de surveillance de la température d'un moteur à induction

#### 3.4.1 Démarrage via carte Arduino avec interaction utilisateur

Le travail qui va suivre se concentrera sur le fonctionnement du MI, cette fois-ci avec l'application de l'Arduino en relation avec un capteur de mesure d'un paramètre du MI. À travers cette section, nous allons étudier l'acquisition de données issues du MI et le comportement du système en fonction de ces données. Avant d'aborder l'application d'un système de communication en ligne et en temps réel, nous avons jugé nécessaire de comprendre le suivi des paramètres au niveau local du système. Cette compréhension est fondamentale pour garantir une surveillance des performances du MI.

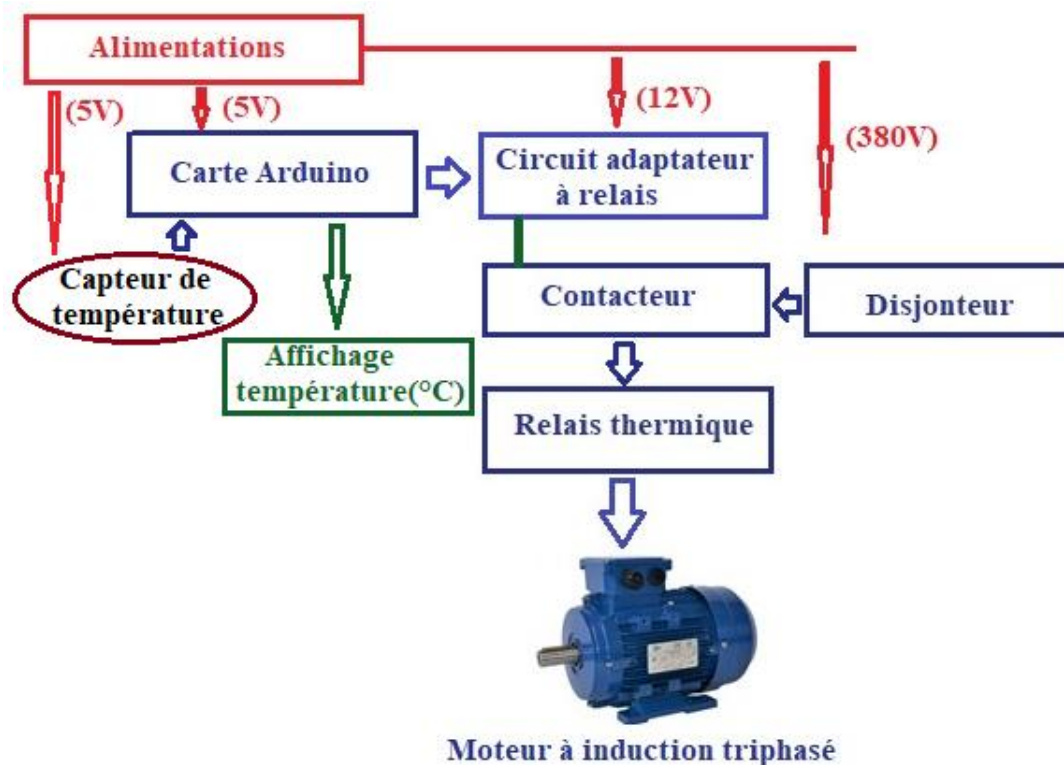


Figure3.12 Structure générale du système à base d'un module GSM

#### Description

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

### Capteur de température

Les capteurs de température sont des dispositifs indispensables pour mesurer la température dans de nombreuses applications. Ci-dessous, nous présentons une vue d'ensemble des différents types de capteurs de température :

#### Type de capteurs

Capteur	Principe	Type
<b>Thermocouple</b>	produit une tension électrique en réponse à une différence de température entre deux jonctions métalliques différentes.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Type J : Fer-constantan, utilisé pour des plages de température moyennes. (0°C to 760°C)</li> <li>• Type K : Chromel-alumel, largement utilisé pour sa large plage de température et sa durabilité. (-100°C to 1250°C)</li> <li>• Type T : Cuivre-constantan, utilisé pour des mesures à basse température. (-200°C to 370°C)</li> <li>• Type E : Chromel-constantan, offre une haute sensibilité. (-200°C to 870°C)</li> </ul>
<b>Thermistance</b>	Valeur de sa résistance varie de manière significative avec la température	<ul style="list-style-type: none"> <li>• NTC (Negative Temperature Coefficient) : La résistance diminue avec l'augmentation de la température.</li> <li>• PTC (Positive Temperature Coefficient) : La résistance augmente avec l'augmentation de la température.</li> </ul>
<b>Capteur de Température à Résistance (RTD)</b>	Sa résistance varie avec la température	<ul style="list-style-type: none"> <li>• PT100 : Une des RTD les plus courantes, avec une résistance de 100 ohms à 0°C.</li> <li>• PT1000 : Similaire au PT100 mais avec une résistance de 1000 ohms à 0°C.</li> </ul>
<b>Capteur à Semiconducteurs</b>	utilise les propriétés de semi-conducteurs pour mesurer la température	<ul style="list-style-type: none"> <li>• LM35 : Offre une sortie analogique proportionnelle à la température en °C.</li> <li>• TMP36 : Similaire au LM35 mais calibré pour une plage de température différente.</li> </ul>
<b>Capteur Infrarouge (IR)</b>	mesure la température en détectant le rayonnement infrarouge émis par un objet.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermomètres infrarouges sans contact : Mesurent la température de surface sans contact physique.</li> <li>• Caméras thermiques : Fournissent des images thermiques pour l'analyse de la température sur une large surface.</li> </ul>
<b>Capteur à Dilatation de Liquide (Thermomètres à Liquide)</b>	utilise la dilatation d'un liquide (comme le mercure ou l'alcool coloré) pour mesurer la	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Thermomètres au mercure : Traditionnellement utilisés mais de moins en moins courants en raison des préoccupations environnementales.</li> <li>• Thermomètres à alcool : Plus sûrs que les thermomètres au mercure, utilisés dans les</li> </ul>

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

---

température environnements domestiques et éducatifs.

---

### Domaines d'application

Capteur	Domaines d'application
<b>Thermocouple</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Industrie de Processus</b> : Utilisés dans les industries chimiques et pétrochimiques pour surveiller les températures des réacteurs et des chaudières.</li><li>• <b>Fabrication de Métaux</b> : Essentiels pour surveiller les températures dans les fours de traitement thermique, les coulées de métal en fusion et les traitements de surface.</li><li>• <b>Aéronautique et Aérospatiale</b> : Mesurent les températures des moteurs à réaction, des turbines et des composants structurels exposés à des températures extrêmes.</li><li>• <b>Automobile</b> : Utilisés dans les systèmes de gestion thermique des moteurs et dans les capteurs de gaz d'échappement pour surveiller les émissions.</li><li>• <b>Applications de Laboratoire</b> : Utilisés pour les expérimentations nécessitant des mesures de température précises dans une large gamme.</li></ul>
<b>Thermistance</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Électronique Grand Public</b> : Utilisés dans les appareils ménagers comme les réfrigérateurs, les climatiseurs et les fours à micro-ondes pour contrôler la température.</li><li>• <b>Automobile</b> : Utilisés pour surveiller les températures des fluides, comme le liquide de refroidissement et l'huile moteur.</li><li>• <b>Dispositifs Médicaux</b> : Utilisés dans les thermomètres électroniques pour mesurer la température corporelle.</li><li>• <b>Batteries</b> : Surveillance de la température des batteries dans les dispositifs portables et les véhicules électriques.</li><li>• <b>Équipements de Réseaux</b> : Utilisés dans les serveurs et les centres de données pour surveiller les températures et prévenir la surchauffe.</li></ul>
<b>Capteur de Température à Résistance (RTD)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• <b>Industrie Chimique et Pétrochimique</b> : Utilisés pour des mesures de température précises et stables dans les procédés de fabrication.</li><li>• <b>Laboratoires de Recherche</b> : Favorisés pour leur haute précision et leur stabilité à long terme dans les expériences scientifiques.</li><li>• <b>Industrie Alimentaire</b> : Utilisés dans les processus de cuisson et de pasteurisation pour assurer la sécurité alimentaire.</li><li>• <b>Énergie et Production d'Électricité</b> : Surveillance des températures dans les centrales électriques et les turbines.</li><li>• <b>Systèmes HVAC</b> (Heating, Ventilation, and Air Conditioning) : Utilisés pour le contrôle précis de la température dans les systèmes de chauffage, ventilation et climatisation.</li></ul>

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

---

### Capteur à Semiconducteurs

- **Électronique Grand Public** : Utilisés dans les téléphones mobiles, les ordinateurs et les appareils électroménagers pour la gestion thermique.
  - **Systèmes Embarqués** : Intégrés dans les microcontrôleurs pour surveiller la température des circuits et des processeurs.
  - **Applications de Santé** : Utilisés dans les dispositifs portables pour surveiller la température corporelle et environnementale.
  - **Automobile** : Utilisés dans les systèmes de gestion thermique des véhicules pour surveiller les températures des composants électroniques.
- 

### Capteur Infrarouge (IR)

- **Médical** : Utilisés dans les thermomètres infrarouges sans contact pour mesurer la température corporelle.
  - **Industriel** : Utilisés pour la surveillance de la température des machines et des processus à distance.
  - **Bâtiment et Sécurité** : Utilisés dans les systèmes de surveillance et de détection des incendies.
  - **Électronique Grand Public** : Utilisés dans les appareils ménagers pour des mesures de température sans contact.
  - **Aérospatiale** : Surveillance des températures des surfaces des engins spatiaux et des satellites.
- 

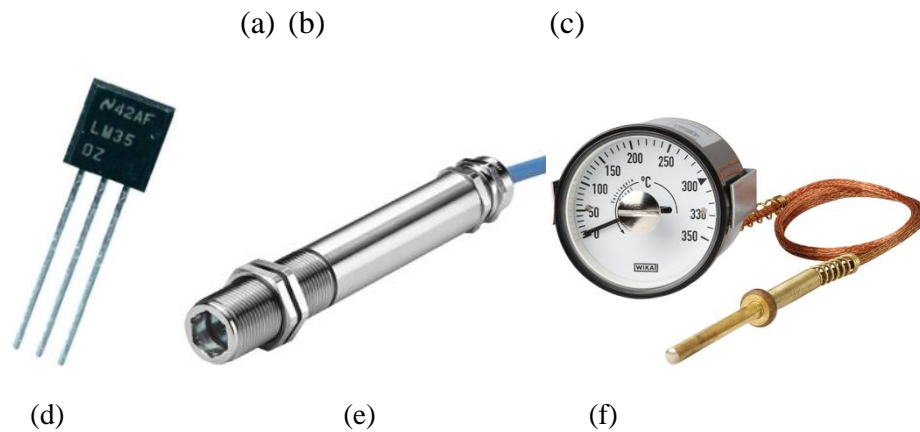
### Capteur à Dilatation de Liquide (Thermomètres à Liquide)

- **Laboratoires** : Utilisés pour des mesures de température précises dans des expériences scientifiques.
  - **Médical** : Utilisés dans les thermomètres médicaux traditionnels pour mesurer la température corporelle.
  - **Environnement** : Utilisés dans les thermomètres de jardin et les stations météorologiques pour mesurer les températures ambiantes.
  - **Appareils Ménagers** : Utilisés dans les thermomètres de cuisine pour surveiller la température des aliments.
  - **Industrie Alimentaire** : Utilisés pour la surveillance des températures de stockage des aliments.
- 





## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction



**Figure3.13** Diversité des Modèles de capteurs de température

- (a) *K-Type Thermocouple*    (b) *Thermistance NTC*    (c) *Capteur de température RTD*  
(d) *Capteur de température à Semi conducteurs* (e) *Capteur de température à infrarouge*  
(f) *Thermomètre à dilatation de liquide*

### Choix du capteur de température

Les capteurs de température sont adaptés à différentes applications en fonction de leurs caractéristiques spécifiques, leur choix du capteur dépend :

- de la plage de température,
- de la précision requise,
- de l'environnement d'utilisation
- des contraintes économiques.

Parmi les types de capteurs de température mentionnés ci-dessus, nous avons choisi le capteur LM35. Son choix repose sur

1. Il fournit une sortie analogique proportionnelle à la température en degrés Celsius, ce qui simplifie l'interfaçage avec la carte ArduinoUno utilisée.
2. Sa capacité de mesurer des températures sur une plage étendue, et sa consommation électrique est faible, donc adapté à notre application.

### Caractéristiques du capteur de température LM35

Les caractéristiques principales de ce capteur sont les suivantes :

- **Haute Précision** : Le LM35 offre une précision de  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  à température ambiante ( $25^{\circ}\text{C}$ ), ce qui le rend extrêmement fiable pour les applications nécessitant des mesures de température précises.

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

- **Sortie Analogique Linéaire** : Le LM35 génère une tension de sortie proportionnelle de manière linéaire à la température en degrés Celsius. Chaque variation de 1°C de la température correspond à un changement de 10 mV dans la sortie.
- **Calibration Directe en Celsius** : Le capteur est directement calibré en degrés Celsius
- **Interface Simple** : en fonction de ses trois broches (Vout, Vcc, et GND), le LM35 est facile à intégrer dans une variété systèmes électroniques.
- **Large Plage de Mesure** : Le LM35 peut mesurer des températures allant de -55°C à +150°C, ce qui le rend adapté à une variété d'applications.
- **Compatibilité avec Divers Systèmes** : Le LM35 peut être facilement interfacé avec des microcontrôleurs, des convertisseurs analogique-numérique (ADC), et d'autres dispositifs de mesure et de contrôle, ce qui le rend polyvalent.

Ce type de capteur se présente avec trois broches comme le montre la figure suivante :

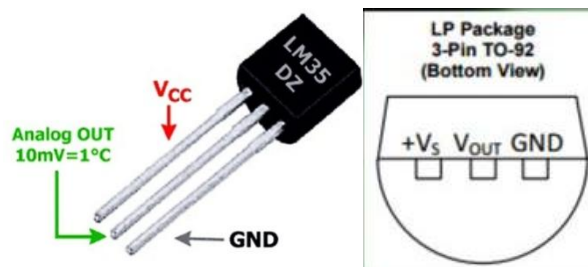


Figure3.14 Brochage LM 35

### 3.4.2 Démarrage à l'aide d'un système de communication mobile

Cette partie de l'étude considère l'utilisation d'un module de communication pour le suivi des paramètres d'un moteur à induction (MI). L'intégration de ce module permet une amélioration significative du suivi et de la surveillance des paramètres du MI. En utilisant des technologies de communication avancées, nous pouvons non seulement surveiller les performances du moteur en temps réel, mais aussi recevoir des alertes et des mises à jour à distance. Cette amélioration facilite la détection précoce des anomalies et permet des interventions rapides, ce qui optimise la fiabilité et l'efficacité

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

du système. En approfondissant cette étude, nous explorerons comment ce module de communication peut être mis en œuvre pour offrir un suivi et une gestion efficace du moteur à induction.

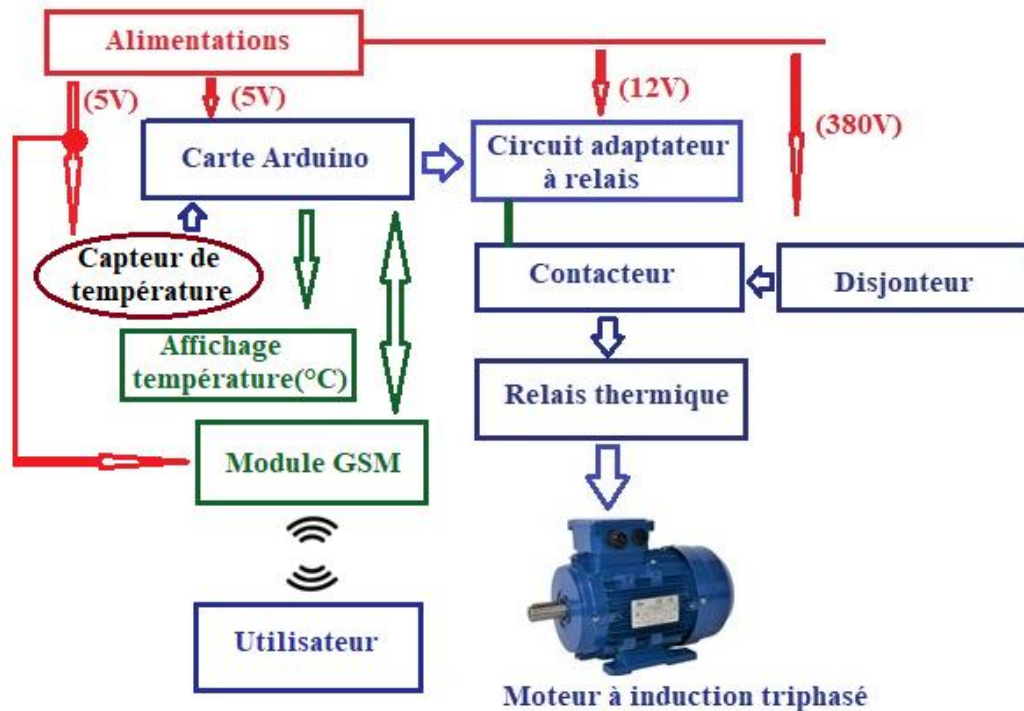


Figure3.15 Structure générale du système à base d'un module GSM avec interaction utilisateur

### Description

## 3.5 Réalisation du système de fonctionnement du moteur à induction à base de microcontrôleur

### 3.5.1 Organigramme de fonctionnement

Dans cette partie, nous avons élaboré un organigramme de fonctionnement du système pour mettre en lumière les différentes étapes qui composent son processus opérationnel. Cet organigramme offre une vue d'ensemble claire et synthétique des différentes séquences d'actions qui se succèdent dans le fonctionnement du système. Cette visualisation des étapes permettra une meilleure compréhension des processus impliqués et des interactions entre eux, contribuant ainsi à une analyse approfondie de notre sujet d'étude.

### Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

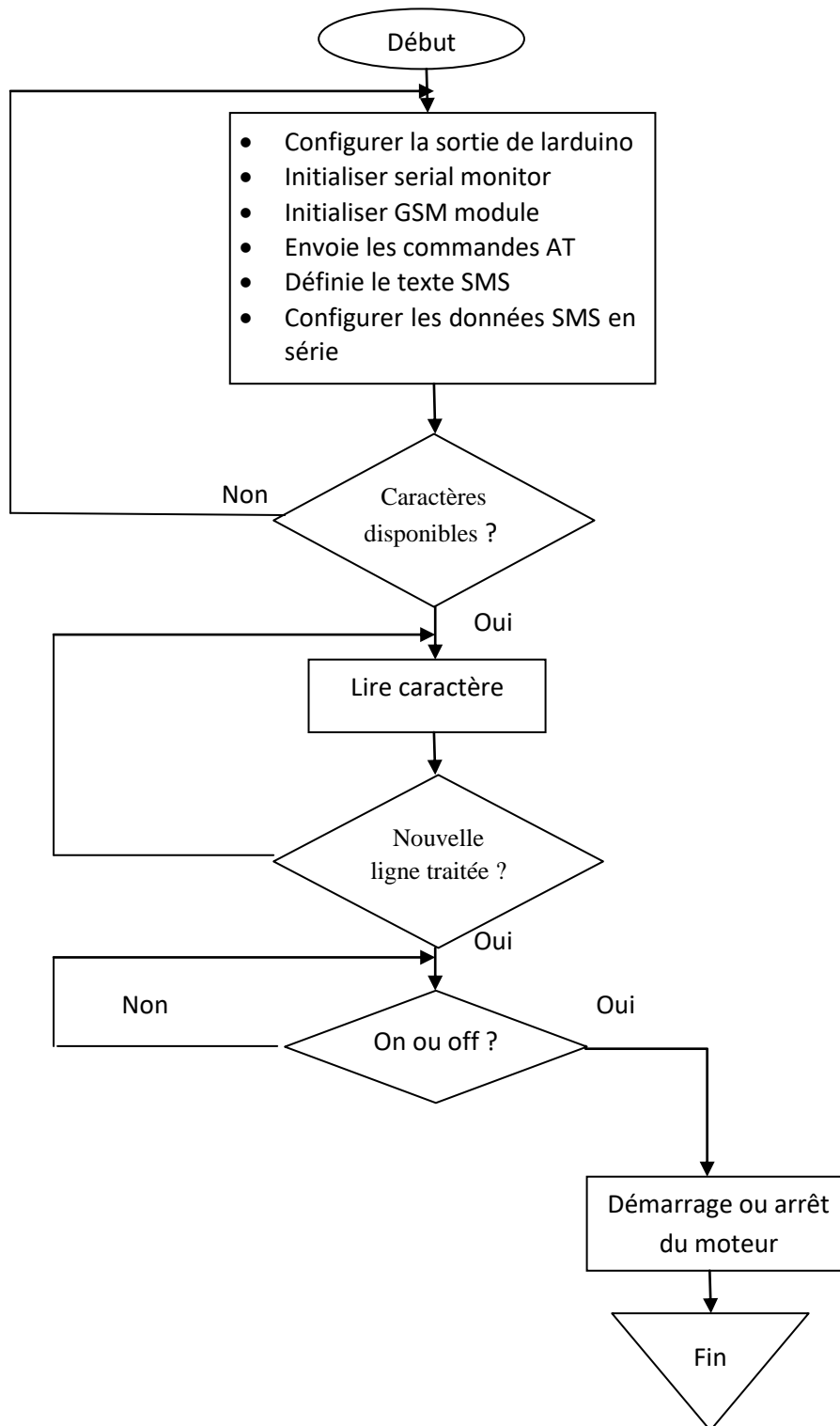


Figure 3.16- ?Etapes pour démarrage d'un MI via un Module GSM et un Arduino

## **Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction**

L'organigramme décrit un programme pour un microcontrôleur Arduino, qui utilise un module GSM pour envoyer et recevoir des SMS et contrôler un moteur en fonction des messages reçus. Les étapes de cet organigramme sont comme suit :

### **1. Initialisation**

- Configurer la sortie de l'Arduino : Définir les broches de l'Arduino comme sorties (pour contrôler le moteur).
- Initialiser le Serial Monitor : Configurer la communication série pour l'affichage des messages de débogage.
- Initialiser le Module GSM : Préparer le module GSM pour envoyer et recevoir des SMS.
- Envoyer les commandes AT : Envoyer les commandes de configuration au module GSM pour qu'il soit prêt à communiquer.
- Définir le texte du SMS : Préparer le contenu des messages SMS à envoyer, si nécessaire.
- Configurer les données SMS en série : S'assurer que les données des SMS peuvent être envoyées et reçues correctement via la communication série.

### **2. Vérifier si des caractères sont disponibles à lire depuis le module GSM.**

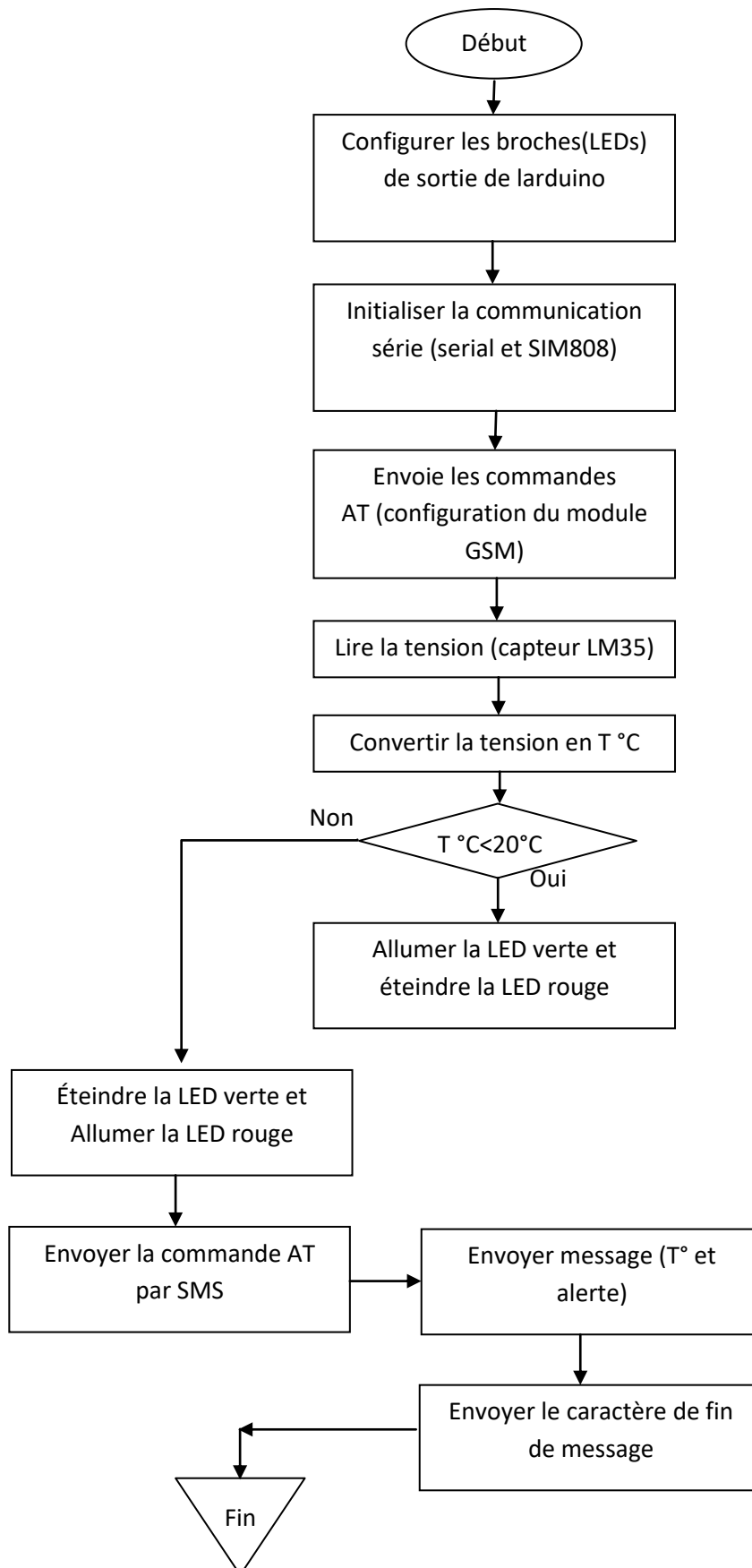
### **3. Lire un caractère du flux de données série reçu.**

**4. Vérifier toutes lignes qui représentent les réponses du module GSM sont complètes. Dans le cas affirmatif, c'est que le module est prêt pour transmettre les messages à l'Arduino.**

### **5. Vérifier le contenu du message :**

- Si le message contient "ON", démarre le moteur.
  - Si le message contient "OFF", arrête le moteur.
- Si Non : éventuellement retourner, dans ce cas, à l'attente d'un nouveau message.

### Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction



## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

Figure 3.17- Etapes pour contrôle de température du MI

### Commentaire

L'organigramme décrit un programme pour un microcontrôleur Arduino, intégrant un module GSM (SIM808) et un capteur de température (LM35) pour surveiller la température et envoyer des alertes par SMS si les conditions prédéfinies ne sont pas respectées. Les étapes sont comme suit :

1. Définir les broches de l'Arduino comme sorties pour contrôler les LEDs, ce qui permet, durant le fonctionnement, de pouvoir signaler visuellement l'état du système de surveillance de la température.
2. Configurer la communication série pour l'Arduino et initialiser le module GSM SIM808, ce qui permet, par la suite, la communication entre l'Arduino et le module GSM, ainsi que pour le débogage via le Serial Monitor.
3. Envoyer les commandes AT nécessaires pour configurer le module GSM pour l'envoi de SMS, ce qui garantit que le module GSM est correctement configuré pour la communication mobile.
4. Lire la tension analogique par le capteur LM35, ce qui permet la collecte des données de température en temps réel.
5. Convertir la tension mesurée en une valeur de température en degrés Celsius, ce qui permet d'interpréter correctement les données fournies par le capteur LM35.
6. Comparer la température mesurée avec une température de référence prédéfinie, ce qui permet de décider des actions à prendre (allumer ou éteindre les LEDs, envoyer des alertes).
  - Allumer la LED verte et éteindre la LED rouge si la température est inférieure à la référence, ce qui permet d'indiquer visuellement que la température est dans les limites acceptables.

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

- Éteindre la LED verte et allumer la LED rouge si la température dépasse la référence, ce qui permet d'indiquer visuellement que la température a dépassé la limite acceptée.

7. Préparer le module GSM pour l'envoi d'un SMS, ce qui permet d'assurer que le module GSM est prêt pour la communication.

8. Envoyer un SMS contenant les informations de température et une alerte, ce qui permet d'avertir l'utilisateur en temps réel.

9. Envoyer le caractère de fin de message, ce qui permet de s'assurer que le message SMS est bien formé et complet.

### 3.5.2 programmations et réalisation

Cette phase de notre travail se concentre sur la programmation et la réalisation dans le cadre de notre projet. La programmation a été réalisée à l'aide de l'Arduino IDE. Ces étapes revêtent une importance primordiale dans la réalisation de notre projet, Les photos fournies ci-dessous représentent les différentes versions de nos conceptions de circuits, illustrant ainsi les étapes de mise en œuvre de notre projet.

#### 3.5.2.1 Démarrage direct du MI manuellement

On a d'abord commence par le démarrage direct manuellement du moteur, la tableau est constitue de deux parties une partie puissance qui se compose d'un disjoncteur triphasé un contacteur un relais thermique et le moteur et une partie commande qui est constituée d'un disjoncteur monophasé une porte fusible l'arrêt d'urgence et les boutons poussoir.

Le boutons poussoir vert a un contacte normalement ouvert il sert à démarrer le moteur, alors que le bouton poussoir rouge a un contacte normalement ferme il assure l'arrêt du moteur.

Les photos fournies ci-dessous représentent le démarrage direct manuel du MI



## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

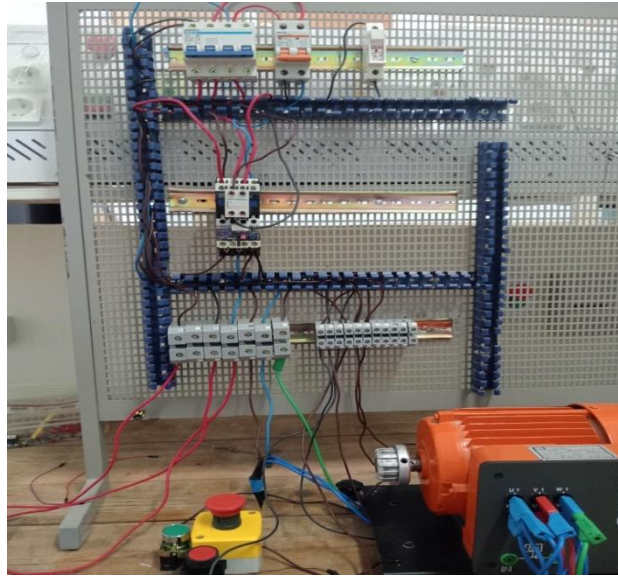


Figure3.18 Démarrage direct manuel du MI

### 3.5.2.2 Circuit à relais permettant le démarrage et l'arrêt du moteur

Dans cette phase on remplace les boutons poussoir par un circuit intermédiaire à base d'un relais, de dernier va jouer à la fois le rôle du bouton poussoir marche et celui de l'arrêt, on utilise le contact normalement ouvert du relais

Lorsque le contact et ferme le moteur marche ,lorsque le contact et ouvert le moteur s'arrête

La figure suivante représente le circuit utilisé dans ce processus

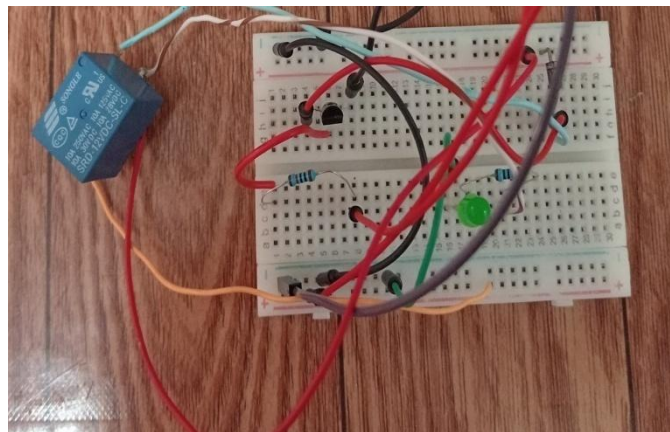


Figure3.19 Circuit intermédiaire à base de relais

### 3.5.2.3 Circuit à relais permettant le démarrage et l'arrêt du moteur

Dans cette partie on va ajouter une carte Arduino à notre circuit permettant le démarrage et l'arrêt du moteur

La figure suivante représente le circuit qui assure cette fonction

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

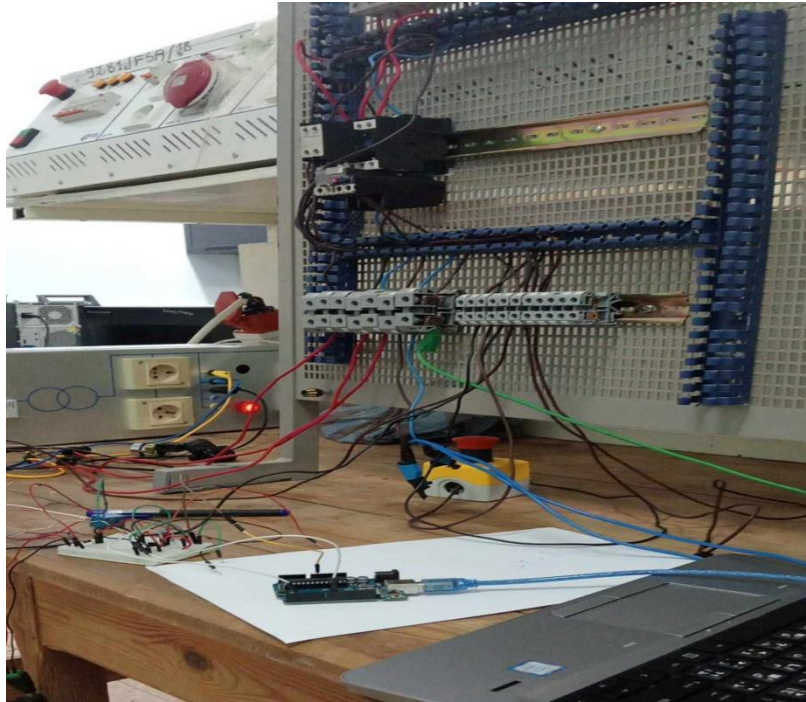


Figure3.20 démarrage et arrêt du moteur via carte Arduino

La figure qui suit représente le programme utilisé dans cette phase

```
// Définition des broches utilisées
const int bouton1Pin = 2; // Broche pour le bouton poussoir 1
const int sortiePin = 5; // Broche pour la sortie 2 de l'Arduino

void setup() {
  // Configuration des broches en entrée ou en sortie
  pinMode(bouton1Pin, INPUT);
  pinMode(sortiePin, OUTPUT);
}

void loop() {
  // Lecture de l'état des boutons poussoirs
  int etatBouton1 = digitalRead(bouton1Pin);

  // Condition pour déterminer l'état des sorties
  if (etatBouton1 == HIGH
    | digitalWrite(sortie1Pin, HIGH);
  } else if (etatBouton1 == LOW
    | digitalWrite(sortie1Pin, LOW);
  }
}
```

Figure3.21 Programmation démarrage et arrêt du moteur via carte Arduino

### 3.5.2.4 Commande du moteur à distance via GSM

### Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

Dans cette partie on va assurer le démarrage et l'arrêt du moteur via GSM, en envoyant un message par le téléphone

On va d'abord tester le circuit en recevant un message du Gsm

La figure suivante représente le programme démission du GSM vers le telephone portable

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial sim808(3,2); //Rx Tx (de l'arduino)
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sim808.begin(9600);
  Serial.println("Initializing .....");
  delay(1000);
  sim808.println("AT");
  updateSerial();
  sim808.println("AT+CMGF=1"); //Sets the GSM Module in Text Mode
  updateSerial();
  sim808.println("AT+CMGS= \"+213792838587\""); //Mobile phone number to send message
  //sim808.println("AT+CMGS= \"+213699816421\""); //Mobile phone number to send message
  updateSerial();
  sim808.print("Salam");
  updateSerial();
  sim808.write(0x1A); // ASCII code of CTRL+Z
}
void loop() {
}
void updateSerial(){
  delay(1000);
  while(Serial.available()){
    sim808.write(Serial.read());
  }
  while(sim808.available()){
    Serial.write(sim808.read());
  }
}
```

**Figure3.22**Programme GSM emission

Ensuite on va tester le programme de réception c'est à dire le GSM reçoit un message du téléphone de l'operateur

Les figures suivantes représentent le programme de réception du GSM

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

```
#include <SoftwareSerial.h>
SoftwareSerial gsm(3, 2); // RX, TX
const int ledPin = 8;
String message = "";
void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  digitalWrite(ledPin, LOW);
  Serial.begin(9600); // Serial monitor
  gsm.begin(9600); // GSM module
  Serial.println("GSM Module test");
  delay(1000);
  gsm.println("AT");
  delay(1000);
  if (gsm.available()) {
    Serial.println("AT response: " + readGsmResponse());
  }
  gsm.println("AT+CMGF=1"); // Set SMS to text mode
  delay(1000);
  if (gsm.available()) {
    Serial.println("AT+CMGF=1 response: " + readGsmResponse());
  }
  gsm.println("AT+CNMI=1,2,0,0,0"); // Configure module to send SMS data to serial out
  delay(1000);
  if (gsm.available()) {
    Serial.println("AT+CNMI=1,2,0,0,0 response: " + readGsmResponse());
  }
}

void loop() {
  if (gsm.available()) {
    char c = gsm.read();
    Serial.print(c); // Debug: print incoming characters from GSM module
    if (c == '\n' || c == '\r') {
      Serial.println("Message received: " + message); // Debug: print the whole message
      if (message.indexOf("on") != -1) {
        digitalWrite(ledPin, HIGH);
        Serial.println("LED ON");
      } else if (message.indexOf("off") != -1) {
        digitalWrite(ledPin, LOW);
        Serial.println("LED OFF");
      }
      message = "";
    } else {
      message += c;
    }
  }
  if (Serial.available()) {
    gsm.write(Serial.read());
  }
}

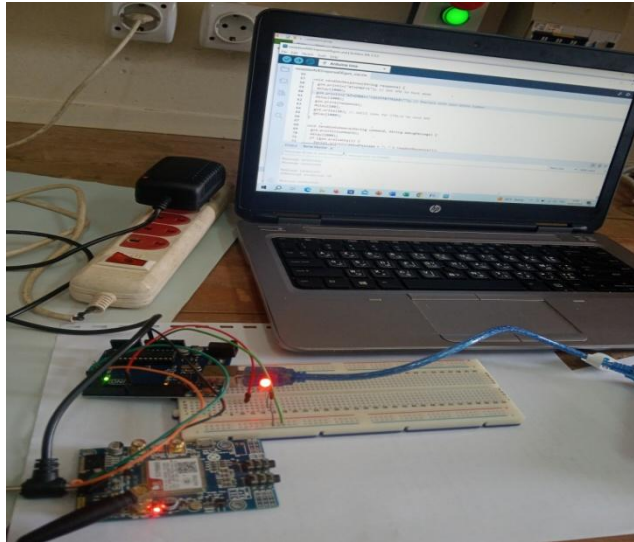
String readGsmResponse() {
  String response = "";
  while (gsm.available()) {
    response += char(gsm.read());
  }
  return response;
}
```

Figure 3.23 Programme GSM reception

### Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

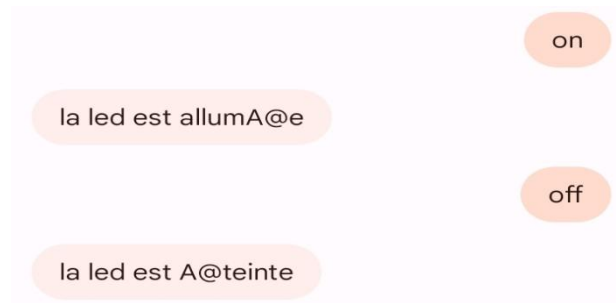
L'étape qui suit sera de fusionner l'émission et la réception en un seul programme qui va nous permettre d'envoyer une commande de démarrage ou d'arrêt au moteur et de recevoir au même temps un message sur l'état du moteur

La figure suivante représente le circuit de cette étape



**Figure3.24** *Circuit émission et réception GSM*

La figure suivante représente les messages envoyés et reçu du GSM



**Figure3.25** *messages envoyés et reçu du GSM*

Les figures suivantes représentent le programme d'émission et de la réception au même temps

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

```
#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial gsm(3, 2); // RX, TX

const int ledPin = 8;
String message = "";

void setup() {
  pinMode(ledPin, OUTPUT);
  digitalWrite(ledPin, LOW);

  Serial.begin(9600); // Serial monitor
  gsm.begin(9600); // GSM module

  Serial.println("GSM Module test");
  delay(1000);

  // Initialize GSM module
  sendGsmCommand("AT", "AT response");
  sendGsmCommand("AT+CMGF=1", "AT+CMGF=1 response"); // Set SMS to text mode
  sendGsmCommand("AT+CNMI=1,2,0,0,0", "AT+CNMI=1,2,0,0,0 response"); // Configure module to send SMS data to serial out
}

void loop() {
  if (gsm.available()) {
    char c = gsm.read();
    Serial.print(c); // Debug: print incoming characters from GSM module
    if (c == '\n' || c == '\r') {
      Serial.println("Message received: " + message); // Debug: print the whole message
      handleMessage(message);
      message = "";
    } else {
      message += c;
    }
  }

  if (Serial.available()) {
    gsm.write(Serial.read());
  }
}

void handleMessage(String message) {
  if (message.indexOf("ON") != -1) {
    digitalWrite(ledPin, HIGH);
    Serial.println("LED ON");
    sendSmsResponse("la led est allumée");
  } else if (message.indexOf("OFF") != -1) {
    digitalWrite(ledPin, LOW);
    Serial.println("LED OFF");
    sendSmsResponse("la led est éteinte");
  } else if (message.indexOf("STATUS") != -1) {
    String ledState = digitalRead(ledPin) == HIGH ? "la led est allumée" : "la led est éteinte";
    sendSmsResponse(ledState);
  }
}
```



### Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

```
void sendSmsResponse(String response) {
  gsm.println("AT+CMGF=1"); // Set SMS to text mode
  delay(1000);
  gsm.println("AT+CMGS=\"+213673310305\"); // Replace with your phone number
  delay(1000);
  gsm.print(response);
  delay(100);
  gsm.write(26); // ASCII code for CTRL+Z to send SMS
  delay(1000);
}

void sendGsmCommand(String command, String debugMessage) {
  gsm.println(command);
  delay(1000);
  if (gsm.available()) {
    Serial.println(debugMessage + ": " + readGsmResponse());
  }
}

String readGsmResponse() {
  String response = "";
  while (gsm.available()) {
    response += char(gsm.read());
  }
  return response;
}
```

**Figure3.26** Programme émission et réception GSM

La dernière étape sera d'ajouter le capteur de température LM35, d'afficher la température sur le LCD et de recevoir des alertes téléphoniques lorsque la température est critique

La figure suivante représente le circuit du capteur de température avec LCD et GSM





## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

```
// Convert the voltage into the temperature in Celsius
float temperatureC = voltage * 100;

// Print the temperature in Celsius
Serial.print("Temperature: ");
Serial.print(temperatureC);
Serial.print("\xC2\xB0"); // shows degree symbol
Serial.print("C | ");

// Print the temperature in Fahrenheit
float temperatureF = (temperatureC * 9.0 / 5.0) + 32.0;
Serial.print(temperatureF);
Serial.print("\xC2\xB0"); // shows degree symbol
Serial.println("F");

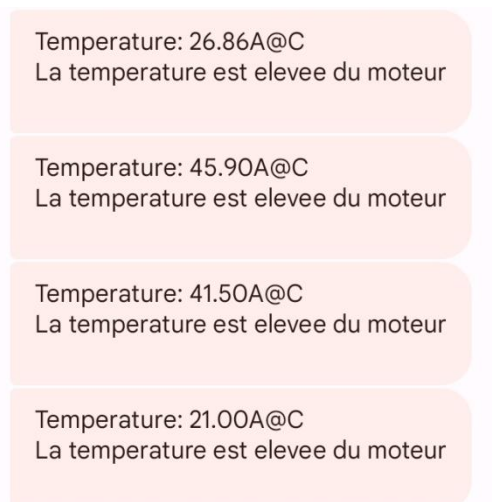
// Affiche la température en Celsius sur l'écran LCD
lcd.setCursor(0, 1); // Déplace le curseur sur la deuxième ligne
lcd.print("Temp: ");
lcd.print(temperatureC);
lcd.print((char)223); // Affiche le symbole de degré
lcd.print("C ");

// Délai d'une seconde entre les lectures
delay(1000); // wait a second between readings

// Efface la deuxième ligne de l'écran LCD
```

**Figure3.28** Programme LM35+LCD

La figure ci-dessous représente les alertes téléphoniques reçus du GSM



Temperature: 26.86A@C  
La temperature est elevee du moteur

Temperature: 45.90A@C  
La temperature est elevee du moteur

Temperature: 41.50A@C  
La temperature est elevee du moteur

Temperature: 21.00A@C  
La temperature est elevee du moteur

**Figure3.29** Alertes de température envoyées par GSM

## Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction

### 3.6 Etude économique

Généralement, l'estimation des coûts est une estimation quantifiée du nombre de ressources nécessaires pour réaliser un projet ou des parties d'un projet.

Le tableau suivant donne, approximativement, le coût de notre projet réalisé selon différents composants utilisés.

**Tableau 3.1** *Coût détaillé et globale du système réalisé*

Désignation	PU (DA)	Quantité	Total ligne (DA)
Disjoncteur triphase	3100	1	3100
Disjoncteur monophasé	900	1	900
contacteur	2300	1	2300
Relais thermique	3600	1	3600
Bornier			
Breadboard	3300	1	3300
Câble de connexion : USB to Micro-USB Câble	200	1	200
Fils de liaison pour plaque d'essais électronique ( breadbordjumperwires)	200		200
Module GSM	1400	1	1400
Carte ARDUINO	3000	2	6000
Capteur de température LM35	350	1	350
ESP32	2000	1	2000
2004A LCD 20x4 caractères LCD Rétro éclairage	1200	1	1200
Potentiomètre 10K	150	1	150
Résistance 1K	5	2	10
Résistance 220 Ohm	5	1	5
TransistorBC570	1000	1	1000
LED	5	3	15
<b>Total</b>			<b>23930</b>

## **Chapitre\_3 : Étude du système à base du moteur à induction**

### **3.7 Conclusion**

Dans ce chapitre, nous avons effectué une étude détaillée sur le système basé sur un moteur à induction, en explorant ses différents aspects et méthodes de fonctionnement.

La représentation schématique globale nous a permis de mieux comprendre l'architecture et le fonctionnement du système. Ensuite, l'étude du démarrage du MI contrôlé avec interaction utilisateur et celle de la surveillance de sa température nous ont conduit à l'étape où le fonctionnement du moteur devait être programmé, nécessitant l'intégration de la carte Arduino aux circuits. Par la suite, le système a été élargi avec l'application de systèmes de communication mobile, tels que le module GSM et l'ESP32. Le choix des différents composants a été déterminé par des calculs et les caractéristiques spécifiques requises par le système.

La réalisation du système de fonctionnement du moteur à induction a été présentée en détaillant les étapes importantes telles que l'organigramme de fonctionnement, les simulations et programmations, la conception des circuits imprimés, ainsi que les figures des circuits réalisés. Ces étapes ont mis en évidence l'importance de chaque phase pour garantir la fiabilité et l'efficacité du système.

Enfin, une étude économique a été menée pour évaluer le coût financier de notre système, offrant une vue complète sur son implémentation éventuelle.

Ce chapitre nous a permis de couvrir de manière complète les divers aspects techniques et pratiques liés à l'utilisation des moteurs à induction, posant ainsi une base solide pour la suite de notre projet.

---

## Conclusion générale

---

## Conclusion générale

La présente étude sur l'application d'un système de communication mobile à un MI triphasé, bien que modeste, a permis d'explorer les fondements théoriques, les ressources matérielles et l'implémentation pratique d'un tel système. À travers les trois chapitres, nous avons approfondi notre compréhension et développé des solutions pratiques pour améliorer le contrôle et la surveillance des MI. De plus, il s'agit d'un domaine d'actualité qui est devenu de plus en plus très important dans l'industrie actuelle.

Dans le premier chapitre, nous avons posé les bases théoriques en présentant les moteurs électriques et plus spécifiquement les MI en soulignant leur importance dans le domaine industriel. Cette connaissance nous a donné un bagage théorique, essentiel pour les étapes suivantes de notre étude.

Nous avons également souligné l'importance de la surveillance de l'état des MI pour prévenir les pannes et améliorer la performance. Le démarrage des MI a été analysé sous différentes techniques, en comparant leurs avantages et inconvénients respectifs. Enfin, nous avons abordé les mesures appliquées aux MI et le contrôle thermique, soulignant les effets de la température sur la performance et la durée de vie des moteurs.

Le deuxième chapitre s'est concentré sur les ressources matérielles d'un système de commande à base d'Arduino. Nous avons introduit les éléments clés d'un tel système, en décrivant les périphériques d'entrée et de sortie, et en discutant des outils de développement associés. Nous avons également examiné les avantages et inconvénients des systèmes basés sur Arduino et sur des modules de communication mobile. L'intérêt tiré de ce chapitre réside dans la compréhension des outils nécessaires pour concevoir un système de commande adaptable. Cette analyse a permis de mettre en lumière les domaines d'application possibles, ainsi que les défis liés à l'utilisation de ces technologies.

Le troisième chapitre a été dédié à l'étude du système basé sur le MI, en présentant une représentation générale du système et son fonctionnement global. Nous avons exploré les différentes méthodes de démarrage, incluant le démarrage contrôlé par interaction utilisateur, via une carte Arduino et utilisant un système de communication mobile. Parmi les grandeurs du MI, nous avons choisi la température parce qu'elle est facile à appliquer, ce qui nous a permis de tirer parti de son emploi pour envisager des applications sur d'autres grandeurs à l'avenir. Cette focalisation sur la température délimite notre travail à cette grandeur spécifique pour le moment. La surveillance de la température a également été abordée, en intégrant des systèmes à base d'Arduino. Nous avons détaillé le processus de réalisation du système, de l'organigramme de fonctionnement à la conception et la simulation des circuits imprimés, en enfin la programmation. L'étude économique a complété cette analyse en évaluant la faisabilité financière du projet. L'intérêt porté aux modules de communication tels que

GSM et ESP32 a été bénéfique, nous permettant de voir de près comment un moteur à induction triphasé pourrait être commandé à distance. Les manipulations dans ce domaine étaient particulièrement intéressantes et enrichissantes.

Cependant, la réalisation pratique de ce projet n'a pas été sans difficultés. En particulier, nous avons rencontré des défis liés aux composants nécessaires pour le démarrage des MI. En raison de l'indisponibilité de ces composants au niveau de l'université, nous avons dû les emprunter de l'extérieur pour compléter nos réalisations pratiques. Cette démarche a non seulement permis de mener à bien notre projet, mais elle nous a également offert une expérience précieuse qui se rapproche des conditions réelles du domaine industriel.

De plus, ce travail nous a donné la possibilité d'apprendre et de connaître des principes que nous ignorions avant d'entamer cette étude, notamment la relation formelle entre les MI et le microcontrôleur, et plus particulièrement l'application des composants de communication mobiles pour le fonctionnement d'un système en général.

Par conséquent, l'intégration de systèmes de communication mobile dans le contrôle et la surveillance des MI triphasés offre des perspectives prometteuses pour améliorer leur efficacité. Les avancées technologiques, combinées à des solutions matérielles accessibles comme les cartes Arduino(Microcontrôleur), permettent de développer des systèmes de contrôle intelligents et adaptatifs.

Les futures travaux dans ce domaine, particulièrement impliquant les microcontrôleurs et systèmes de communication, en se basant sur les différentes grandeurs d'un moteur à induction (MI) triphasé qu'on peut suivre pour analyser son fonctionnement sont les suivantes :

- Courant Statorique
- Tension Statorique
- Vitesse de Rotation
- Vibrations
- Couple

---

## Références bibliographiques

---

## Bibliographie

- [1] <https://www.phoenixcontact.com/en-pc/industrial-remote-communication>
- [2] <https://www.intuz.com/case-studies/speck-pumps>
- [3] SwarajRavindra Jape, ArchanaThosar, Comparison of Electric Motors for Electric Vehicle Application, International Journal of Research in Engineering and Technology (IJRET), Vol. 06, Issue 09, 12-17, Sept.2017.
- [4] par John G. Kassakian, Martin F. Schlecht et George C. Verghese - Un livre approfondi sur l'électronique de puissance.
- [5] James W. Nilsson et Susan A. Riedel - Un livre de texte standard pour les cours de circuits électriques.
- [6] Energie spw, Les moteurs asynchrones-électrotechnique des moteurs dans les applications industrielles, Publications techniques, page d'information, Avril 2015. <https://energie.wallonie.be/fr/les-moteurs-asynchrones>
- [7] SubrataKarmakar, SurajitChattopadhyay, MadhuchhandaMitra, SamarjitSengupta, Induction Motor Fault Diagnosis. Approach through Current Signature Analysis,1st edition book, published by Power Systems, Springer,2016.
- [8] Schaeffer Emmanuel, Diagnostic des machines asynchrones : modèles et outils Paramétriques dédiés à la simulation et à la détection de défauts, Thèse de Doctorat, Université de Nantes, France, Décembre 1999.
- [9] ] Grant H. Müller, Charles F. Landy, A Novel Method to Detect Broken Rotor Bars in Squirrel Cage Induction Motors When Interbar Currents are Present, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 18, Issue 1, 71-79, March 2003.
- [10] Olivier Ondel, Diagnostic Par Reconnaissance Des Formes Application A Un Ensemble Convertisseur – Machine Asynchrone, Thèse de Doctorat, École Centrale de Lyon, France, Octobre 2006.
- [11] John G. Kassakian, Martin F. Schlecht et George C. Verghese - livre approfondi sur l'électronique de puissance..



[12] ] Grant H. Müller, Charles F. Landy, A Novel Method to Detect Broken Rotor Bars in Squirrel Cage Induction Motors When Interbar Currents are Present, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 18, Issue 1, 71-79, March 2003.

[13] Athmane BIR (2016) Démarrages et Protection des Moteurs Asynchrones Triphasés Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER PROFESSIONNEL UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

[14] ] Grant H. Müller, Charles F. Landy, A Novel Method to Detect Broken Rotor Bars in Squirrel Cage Induction Motors When Interbar Currents are Present, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 18, Issue 1, 71-79, March 2003.

[15] Olivier Ondel, Diagnostic Par Reconnaissance Des Formes Application A Un Ensemble Convertisseur – Machine Asynchrone, Thèse de Doctorat, École Centrale de Lyon, France, Octobre 2006.

[16] Théodore Wildi, Gilbert Sybille, Electrotechnique, livre 4<sup>e</sup> édition par De Boeck, 2005.

[17] O.I. Okoro, M.U. Agu, E. Chinkuni, Basic Principles and Functions of Electrical Machines, The Pacific Journal of Science and Technology, Spring, Vol.7, Issue 1, pp.45-52, May 2006.

[19] Olivier Ondel, Diagnostic Par Reconnaissance Des Formes Application A Un Ensemble Convertisseur – Machine Asynchrone, Thèse de Doctorat, École Centrale de Lyon, France, Octobre 2006.

[20] Jung JH, Lee JJ, Kwon BH, On line diagnosis of induction motors using MCSA. IEEE Transactions Industrial Electronics, Vol 53, Issue 6, 1842–1852, December 2006

[21] Thomas M. Wolbank, Peter E. Macheiner, Adjustment, measurement and on-line detection of air gap asymmetry in AC machines, European Conference on Power Electronics and Applications, Aalborg, Denmark, 2-5 September 2007.

[22] <https://elec13.wordpress.com/2016/10/01/demarrage-des-moteurs-asynchrone-triphases/>

[23] <https://elec13.wordpress.com/2016/10/01/demarrage-des-moteurs-asynchrone-triphases/>

[24] Athmane BIR (2016) Démarrages et Protection des Moteurs Asynchrones Triphasés Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER PROFESSIONNEL UNIVERSITE MOULOUD MAMMERI DE TIZI-OUZOU

[25] Dupont, J. (2019). *Effets de la température sur les performances et la durabilité des moteurs à induction*. Mémoire de fin d'études, Université de Technologie de Compiègne.

[26] Durand, L. (2020). Stratégies de gestion thermique pour améliorer la performance et prolonger la durée de vie des moteurs à induction. Mémoire de fin d'études, Université de Technologie de Belfort-Montbéliard.

[27] Khaled MEDANE, Mesure de la température dans le rotor d'une machine asynchrone à cage, PFE, Master, Université de Tiziouzu, 2014.

[28] BETTEFALDjaâfar Réalisation d'une Carte de Commande par Communication GSM.Application sur une Machine Electrique UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET2016

[29] <https://docs.arduino.cc/software/ide-v1/tutorials/arduino-ide-v1-basics/>

[30] <https://www.electronics-lab.com/?s=PlatformIO>

[31] <https://autonomylogic.com/docs/openplc-overview/>

[32] <https://robocraze.com/blogs/post/arduino-sensor-types-and-applications>

[33] <https://linuxhint.com/advantages-and-disadvantages-arduino/>

[34] BETTEFALDjaâfar Réalisation d'une Carte de Commande par Communication GSM.Application sur une Machine Electrique UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET2016

[35] BETTEFALDjaâfar Réalisation d'une Carte de Commande par Communication GSM.Application sur une Machine Electrique UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET2016

[36] BETTEFALDjaâfar Réalisation d'une Carte de Commande par Communication GSM.Application sur une Machine Electrique UNIVERSITÉ IBN-KHALDOUN DE TIARET2016

[37] aras, M., &Skotnicki, T. (2018). Thermoelectricity for IoT–A review. *Nano Energy*, 54, 461-476.

[38] Axmadjonov, M. F., &Mirzaraximov, M. A. (2022). Firebase in real-time systems based on client server technology. *Oriental renaissance Innovative, educational, natural and social sciences*, 2(1), 146-150.

[39] Khedkar, S., Thube, S., Estate, W. I., & Naka, C. (2017). Real time databases for applications. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(06)

[40] Sung, W. T., Devi, I. V., & Hsiao, S. J. (2022). Smart Lamp Using Google Firebase as Realtime Database. *Intelligent Automation & Soft Computing*, 33(2)

## Système de Communication Mobile - Application sur un Moteur à Induction Triphasé

**Résumé-** La communication mobile est essentielle dans les systèmes modernes pour assurer une surveillance et un contrôle à distance efficace, augmentant ainsi la flexibilité et la réactivité des opérations. Elle permet aux opérateurs de recevoir des alertes en temps réel et de prendre des décisions immédiates, améliorant la sécurité et la performance des systèmes industriels. Dans ce cas, ce travail de mémoire porte sur un système de communication mobile appliqué à un moteur à induction triphasé, en mettant en œuvre un démarrage direct contrôlé à distance via un microcontrôleur et un module GSM. La température du moteur a été choisie comme paramètre de surveillance critique. En cas de dépassement de la température prédéfinie, l'opérateur reçoit une alerte par SMS sur son mobile. En complément, une carte de développement ESP32 a été utilisée pour sa connectivité Wi-Fi intégrée, permettant un suivi en temps réel de la température du moteur. Le système a été validé par des simulations et des tests pratiques, ce qui a permis une meilleure compréhension de son fonctionnement.

**Mots-clés :** Communication Mobile, Moteur à induction triphasé, Module GSM, SMS, ESP32, Wi-Fi.

## Mobile Communication System - Application on a Three-Phase Induction Motor

**Abstract** Mobile communication is essential in modern systems to ensure effective remote monitoring and control, thereby increasing operational flexibility and responsiveness. It enables operators to receive real-time alerts and make immediate decisions, enhancing the safety and performance of industrial systems. In this case, this thesis work focuses on a mobile communication system applied to a three-phase induction motor, implementing remote controlled direct starting via a microcontroller and a GSM module. The motor temperature was chosen as a critical monitoring parameter. In case of exceeding the predefined temperature, the operator receives an alert via SMS on their mobile phone. In addition, an ESP32 development board was used for its integrated Wi-Fi connectivity, allowing real-time monitoring of the motor temperature. The system was validated through simulations and practical tests, resulting in a better understanding of its operation. **Keywords:** Mobile Communication, Three-phase Induction Motor, GSM Module, SMS, ESP32, Wi-Fi

**ملخص** الاتصال المتنقل أساسي في الأنظمة الحديثة لضمان مراقبة وتحكم فعالين عن بُعد، يتيح الاتصال عن بعد للمشغلين استلام تنبيهات في الوقت الحقيقي واتخاذ قرارات فورية، مما يعزز من سلامة وأداء الأنظمة الصناعية. في هذه الحالة، يركز هذا البحث على نظام اتصال متنقل مُطبق على محرك تيار لاتزامني ثلاثي الطور، يتم التشغيل المباشر عن بُعد من خلال ميكرومتحكم وتم اختيار درجة حرارة المحرك كمعلم مراقبة. في حال تجاوز الحرارة المحددة مسبقاً، اللاسلكي درجة يتلقى المشغل تنبيهًا عبر رسالة نصية على هاتفه المحمول. بالإضافة إلى ذلك، تم استخدام لوحة تطوير ESP32 لتنفيذ خاصية الواي فاي مما يسمح بمراقبة حرارة المحرك في الوقت الفعلي تم التأكد من فعالية النظام من خلال

المحاكاة و التجارب التطبيقية مما يسمح بفهم افضل للنظام

**الكلمات المفتاحية:** ESP32, Wi-Fi, SMS وحدة, GSM, الاتصال اللاسلكي, محرك لاتزامني ثلاثي الطور.

