



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE IBN KHALDOUN - TIARET

# MEMOIRE

Présenté à :

Faculté des SCIENCES APPLIQUEES

Département de GENIE ELECTRIQUE

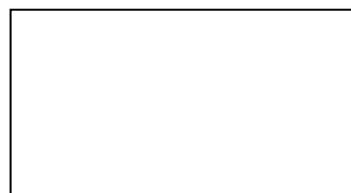
Pour l'obtention du diplôme de **Master**

Spécialité : *Automatique et Informatique Industrielle.*

## En vue de créer une startup



Par :



**Assam Zakaria Abderrahmane**

**Chibani Mohamed Abdelali**

Sur le thème :

---

## Supervision des ascenseurs avec un système intégré d'autodiagnostic

---

Soutenu publiquement le 25 / 06 / 2024 à Tiaret devant le jury composé de :

|                              |                  |                      |                                       |
|------------------------------|------------------|----------------------|---------------------------------------|
| Mr ADDA Benatia Abderrahmane | MCB              | Université de Tiaret | Président                             |
| Mr Morsli Sebaa              | Pr               | Université de Tiaret | Encadrant                             |
| Mr Nasri Djillali            | Pr               | Université de Tiaret | Co-Encadrant                          |
| Mr Allaoui Tayeb             | Pr               | Université de Tiaret | Examineur                             |
| M Beladjine Khaldia          | MCA              | Université de Tiaret | Représentant de l'incubateur          |
| Mr Bouchatta Azzedine        | Directeur de PME |                      | Représentant du partenaire économique |

# Remerciements

---

*Au début, Nous remercions avant tout Allah pour nous avoir donné la force et la persévérance nécessaires pour mener à bien ce projet.*

*Nous exprimons également notre profonde gratitude aux membres des jurys pour leurs précieux conseils, leur soutien continu et leur expertise, qui ont été essentiels à la réalisation de notre système et souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont apporté leur aide et qui ont contribué à l'élaboration de ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier tout particulièrement notre encadrant Dr. Sebaa pour nous avoir suivis et conseillés tout au long de la réalisation de ce mémoire.*

*Nous tenons à remercier, Dr. Nasri notre Co-encadrant pour la qualité des renseignements qu'il nous a offerts.*

*Nous tenons aussi à remercier, Mr. Sassi Walid pour le soutien et l'encouragement dont nous avons besoin pour accélérer notre travail.*

*Ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif des membres de notre famille, surtout nos parents qu'ils nous ont toujours encouragé moralement et matériellement et à qui on tient à les remercier.*

*Enfin nous tenons à exprimer vivement nos remerciements avec une profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à sa réalisation, car un projet ne peut pas être le fruit d'une seule personne.*

# Dédicaces

---

*À ma famille aimante et dévouée, qui m'a soutenu tout au long de ce parcours académique. Votre encouragement constant et votre soutien inconditionnel m'ont donné la force de persévérer.*

*Je vous dédie ce mémoire avec tout mon amour et ma gratitude.*

*À toutes les personnes qui ont participé à cette étude en tant que participants ou répondants, je vous suis reconnaissant de votre contribution précieuse. Votre participation a été essentielle pour la réalisation de cette recherche.*

# SOMMAIRE

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| Liste des Figures .....                                                     | vii |
| Liste des Tableaux .....                                                    | ix  |
| Liste des Abréviations.....                                                 | ix  |
| Introduction générale : .....                                               | I   |
| <i>CHAPITRE I</i> : Les systèmes automatisés .....                          | 1   |
| I. Les systèmes automatisés.....                                            | 2   |
| I.1 Introduction : .....                                                    | 2   |
| I.2 Définition d'un système automatisé : .....                              | 2   |
| I.3 Description structurelle d'un système automatisé : .....                | 2   |
| I.3.1 La Partie Commande (PC) : .....                                       | 3   |
| I.3.2 La Partie Opérative (PO) : .....                                      | 3   |
| I.3.3 La Partie Supervision (PS) : .....                                    | 3   |
| I.4 Outils de Représentation d'un système automatisé (Modélisation) : ..... | 3   |
| I.4.1 GRAFCET : .....                                                       | 4   |
| 1) Définition.....                                                          | 4   |
| 2) Description du GRAFCET .....                                             | 4   |
| 3) Les concepts de base du GRAFCET : .....                                  | 5   |
| I.4.2 GEMMA : .....                                                         | 6   |
| 1) Définition : .....                                                       | 6   |
| 2) Guide graphique : .....                                                  | 7   |
| 3) Les trois familles de procédures : .....                                 | 8   |
| 4) Types de Boucles dans le GEMMA : .....                                   | 11  |
| 5) Utilisation du GEMMA : .....                                             | 12  |
| I.5 Matérialisation d'un système automatique : .....                        | 13  |
| I.6 Définition d'un API : .....                                             | 13  |
| I.7 Composition interne d'un automate programmable industriel : .....       | 14  |
| I.8 Architecture des API : .....                                            | 15  |
| I.9 Introduction à l'automate S7-1200 : .....                               | 20  |
| I.10 Concepts concernant les automates programmables : .....                | 21  |
| I.11 Communication : .....                                                  | 23  |
| I.12 Langages de programmation d'un API : .....                             | 25  |
| I.12.1 Langage ladder (LD) : .....                                          | 26  |
| I.12.1.1 Le Principe de Fonctionnement du Diagramme Ladder : .....          | 26  |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| I.13 Le dispositif de programmation et l'interface homme-machine :..... | 27 |
| I.14 Conclusion :.....                                                  | 28 |
| <i>Chapitre II : La supervision industrielle</i> .....                  | 29 |
| II. La supervision industrielle.....                                    | 30 |
| II.1 Introduction :.....                                                | 30 |
| II.2 Définition de système de contrôle industriel :.....                | 31 |
| II.3 Fonctionnement des ICS :.....                                      | 32 |
| II.4 Composants clés des ICS :.....                                     | 33 |
| II.4.1 Les composants de contrôle :.....                                | 33 |
| II.4.2 Les composants de Réseau :.....                                  | 34 |
| II.5 Types de systèmes de contrôle :.....                               | 36 |
| II.5.1 Les systèmes de contrôle distribué (DCS) :.....                  | 36 |
| II.5.2 Les systèmes SCADA :.....                                        | 37 |
| II.6 Les systèmes SCADA :.....                                          | 38 |
| II.6.1 Définition :.....                                                | 38 |
| II.6.2 Composants d'un système SCADA :.....                             | 39 |
| II.6.3 Théorie et application des système SCADA :.....                  | 41 |
| II.6.4 Analyse et évaluation des SCADA :.....                           | 42 |
| II.6.5 Communications des systèmes SCADA :.....                         | 42 |
| II.7 Les interfaces homme-machine :.....                                | 45 |
| II.7.1 Définition :.....                                                | 45 |
| II.7.2 Les composants clés des systèmes HMI :.....                      | 46 |
| II.7.3 Principe de supervision homme-machine :.....                     | 47 |
| II.7.4 Évolution technologique des interfaces homme-machine :.....      | 49 |
| II.8 Logiciels de supervision et programmation d'IHM :.....             | 50 |
| II.8.1 TIA portal :.....                                                | 50 |
| 1) Logiciel de programmation STEP 7 Professional :.....                 | 51 |
| 2) Contrôle-commande avec WinCC :.....                                  | 52 |
| 3) Sm@rtServer :.....                                                   | 53 |
| II.9 Conclusion :.....                                                  | 53 |
| <i>Chapitre III : Les ascenseurs</i> .....                              | 54 |
| III. Les ascenseurs.....                                                | 55 |
| III.1 Introduction :.....                                               | 55 |
| III.2 Historique :.....                                                 | 56 |
| III.3 Définition :.....                                                 | 58 |
| III.4 Appellations :.....                                               | 59 |

|                                                                               |           |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| III.5 Types d'ascenseurs :.....                                               | 59        |
| III.5.1 Ascenseurs classiques (à traction à câbles) :.....                    | 60        |
| III.5.2 Ascenseurs hydrauliques :.....                                        | 60        |
| III.5.3 Ascenseur pneumatique :.....                                          | 60        |
| III.6 Descriptif des principaux éléments d'un ascenseur :.....                | 61        |
| III.7 Le principe de fonctionnement d'un ascenseur :.....                     | 63        |
| III.8 Dangers pouvant compromettre la sécurité d'un ascenseur :.....          | 64        |
| III.9 Caractéristiques et technologies pour la sécurité des ascenseurs :..... | 65        |
| III.10 Conclusion :.....                                                      | 66        |
| <i>Chapitre IV : Les technologies de contrôle à distance.....</i>             | <i>67</i> |
| IV. Les technologies de contrôle à distance.....                              | 68        |
| IV.1 Introduction :.....                                                      | 68        |
| IV.2 Historique :.....                                                        | 69        |
| IV.3 Définition de l'industrie 4.0 :.....                                     | 71        |
| IV.4 Les API dans l'industrie 4.0 :.....                                      | 72        |
| IV.5 SCADA dans l'industrie 4.0 :.....                                        | 73        |
| IV.6 Les microcontrôleurs dans l'industrie 4.0 :.....                         | 73        |
| IV.7 La carte Arduino :.....                                                  | 74        |
| IV.7.1 Définition :.....                                                      | 74        |
| IV.7.2 Description :.....                                                     | 74        |
| IV.7.2.1 Hardware :.....                                                      | 74        |
| IV.7.2.2 Software :.....                                                      | 75        |
| IV.7.3 Arduino IoT Cloud :.....                                               | 75        |
| IV.7.4 Arduino IoT GSM :.....                                                 | 76        |
| IV.7.5 Les cartes d'interfaces d'Arduino (Shields) :.....                     | 76        |
| IV.7.5.1 Un module GSM Arduino :.....                                         | 76        |
| IV.7.5.2 Détecteur de flamme KY-026 :.....                                    | 77        |
| IV.7.5.3 Détecteur de gaz et fumée MQ2 :.....                                 | 77        |
| IV.8 L'internet des objets (IoT) :.....                                       | 78        |
| IV.8.1 Fonctionnement de la technologie IoT :.....                            | 79        |
| IV.9 L'internet des objets industriel (IIoT) :.....                           | 80        |
| IV.9.1 Fonctionnement de la technologie IIoT :.....                           | 81        |
| IV.10 IIoT vs IoT :.....                                                      | 83        |
| IV.11 Conclusion :.....                                                       | 84        |
| <i>Chapitre V : Commande et supervision d'un ascenseur.....</i>               | <i>85</i> |
| V. Commande et supervision d'un ascenseur.....                                | 86        |

|                                                                             |     |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----|
| V.1 Introduction :                                                          | 86  |
| V.2 Matériels utilisées dans la commande et la supervision d'un ascenseur : | 86  |
| V.3 La Modélisation du système :                                            | 94  |
| V.3.1 Le flux d'informations entre les composants du système :              | 94  |
| V.3.2 Les interactions entre les utilisateurs et l'ascenseur :              | 96  |
| V.4 Le Fonctionnement du système :                                          | 98  |
| V.4.1 La Partie Simulation :                                                | 98  |
| V.4.1.1 Programmation de système :                                          | 98  |
| V.4.1.2 Configuration des système SCADA :                                   | 103 |
| V.4.1.3 Intégration d'un Système de sécurité externe :                      | 110 |
| V.4.2 La Partie Réalisation :                                               | 116 |
| V.4.2.1 Réalisation de Système d'Ascenseur :                                | 116 |
| V.4.2.2 Intégration de l'IHM :                                              | 119 |
| V.4.2.3 Sm@rt client service :                                              | 120 |
| V.4.2.4 Intégration de système de sécurité externe :                        | 121 |
| V.5 Conclusion :                                                            | 126 |
| Conclusion générale :                                                       | 128 |
| Bibliographies :                                                            | 130 |
| Références :                                                                | 131 |
| Annexes :                                                                   | 137 |

# Liste des Figures

## *Chapitre I : Automates Programmables Industriels*

|                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 1. 1 : Structure d'un système automatisé. [66] .....                       | 2  |
| Figure 1. 2 : Composants et Symboles dans un GRAFCET. ....                        | 4  |
| Figure 1. 3 : Types d'Étapes dans un GRAFCET.....                                 | 5  |
| Figure 1. 4 : Actions associées aux étapes.....                                   | 5  |
| Figure 1. 5 : Schéma de Transition et Réceptivité dans un GRAFCET. ....           | 6  |
| Figure 1. 6 : GEMMA. [83] .....                                                   | 8  |
| Figure 1. 7 : Les rectangles-états des procédures de fonctionnement F.....        | 9  |
| Figure 1. 8 : Les rectangles-états de procédure d'arrêt A.....                    | 10 |
| Figure 1. 9 : Les rectangles-états procédure de défaillance. ....                 | 11 |
| Figure 1. 10 : Automates programmables industriels (Siemens). [69] .....          | 13 |
| Figure 1. 11 : Facteurs essentiels de la performance des systèmes API. [70] ..... | 14 |
| Figure 1. 12 : Composition interne d'un API. [71] .....                           | 14 |
| Figure 1. 13 : Architecture d'un API modulaire.....                               | 16 |
| Figure 1. 14 : Architecture Compact.....                                          | 17 |
| Figure 1. 15 : Architecture Modulaire.....                                        | 18 |
| Figure 1. 16 : Architecture Distribuée. ....                                      | 19 |
| Figure 1. 17 : Représentation de l'automate s7-1200.....                          | 20 |
| Figure 1. 18 : Type de blocs de programmation des API. ....                       | 21 |
| Figure 1. 19 : Communication PROFINET.....                                        | 23 |
| Figure 1. 20 : Commutation Ethernet.....                                          | 24 |
| Figure 1. 21 : Communication PROFIBUS.....                                        | 24 |
| Figure 1. 22 : Communication AS-i.....                                            | 25 |
| Figure 1. 23 : Diagramme Ladder.....                                              | 26 |
| Figure 1. 24 : interface homme machine.....                                       | 27 |

## *Chapitre II : La Supervision Industrielle*

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 2. 1 : système de contrôle industriel. [19].....                | 32 |
| Figure 2. 2 : Distributed control system.....                          | 36 |
| Figure 2. 3 : Description d'un Réseau SCADA complet. [81] .....        | 39 |
| Figure 2. 4 : interface humain-machine dans le domaine industriel..... | 45 |
| Figure 2. 5 : Système de supervision centré sur l'homme.....           | 49 |
| Figure 2. 6 : TIA Portal.....                                          | 50 |
| Figure 2. 7 : TIA Portal vue projet.....                               | 51 |
| Figure 2. 8 : Sm@rt service. [82] .....                                | 53 |

## *Chapitre III : Les Ascenseurs*

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| Figure 3. 1 : Ascenseur. [72].....              | 55 |
| Figure 3. 2 : Schéma D'ascenseur. [73] .....    | 58 |
| Figure 3. 3 : Ascenseur Classique.....          | 60 |
| Figure 3. 4 : Ascenseur hydraulique. [74] ..... | 60 |

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| Figure 3. 5 : Cabine d'ascenseur. [75]            | 61 |
| Figure 3. 6 : Contrôleur à relais. [76]           | 62 |
| Figure 3. 7 : Contrôleur à microprocesseurs. [77] | 62 |

## *Chapitre IV : Les technologies de contrôle à distance*

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 4. 1 : Industrie 4.0. [78]                                                                 | 68 |
| Figure 4. 2 : la chronologie des révolutions industrielles. [3]                                   | 69 |
| Figure 4. 3 : Les technologies de l'industrie 4.0.                                                | 72 |
| Figure 4. 4 : la carte Arduino Uno.                                                               | 74 |
| Figure 4. 5 : Capteur de flamme.                                                                  | 77 |
| Figure 4. 6 : Capteur de gaz et de fumée.                                                         | 78 |
| Figure 4. 7 : L'Internet des objets. [79]                                                         | 79 |
| Figure 4. 8 : Industrial IOT (IIOT).                                                              | 81 |
| Figure 4. 9 : IIoT integration into ISA-95 model. [4]                                             | 81 |
| Figure 4. 10 : L'Amélioration des processus de travaux avec la transformation Industrie 4.0. [80] | 83 |

## *Chapitre V : Commande et supervision d'un ascenseur*

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 5. 1 : Ascenseur à 3 cages et N niveaux (rez de chaussée et N-1 étages).             | 87  |
| Figure 5. 2 : Description de l'ascenseur ASC89.                                             | 88  |
| Figure 5. 3 : L'automate programmable SIMATIC 1215C DC/DC/DC.                               | 90  |
| Figure 5. 4 : KTP700 Basic PN.                                                              | 90  |
| Figure 5. 5 : L'ASMAT.                                                                      | 91  |
| Figure 5. 6 : la carte Arduino Uno.                                                         | 92  |
| Figure 5. 7 : synoptique de parties principales dans la structure de notre système.         | 93  |
| Figure 5. 8 : Les interactions et les flux d'informations dans un système d'ascenseur.      | 94  |
| Figure 5. 9 : diagramme de séquence du fonctionnement d'ascenseur.                          | 97  |
| Figure 5. 10 : Grafset du fonctionnement normal d'un ascenseur.                             | 99  |
| Figure 5. 11 : Le GEMMA proposer.                                                           | 100 |
| Figure 5. 12 : Programme Ladder d'ascenseur.                                                | 101 |
| Figure 5. 13 : Testes et simulation (PLCSIM).                                               | 102 |
| Figure 5. 14 : Interface homme machine (accueil).                                           | 103 |
| Figure 5. 15 : L'écran principal de fonctionnement de l'ascenseur (System fonctionnement).  | 104 |
| Figure 5. 16 : Zone de Test.                                                                | 105 |
| Figure 5. 17 : Ecran test des moteurs.                                                      | 106 |
| Figure 5. 18 : Ecran test des capteurs.                                                     | 108 |
| Figure 5. 19 : Ecran test des boutons.                                                      | 109 |
| Figure 5. 20 : simulation de système dans Proteus.                                          | 111 |
| Figure 5. 21 : programmation d'Arduino.                                                     | 115 |
| Figure 5. 22 : Câblage d'API avec L'interface de connexion.                                 | 116 |
| Figure 5. 23 : Interface de Connexion pour le Contrôle de l'Ascenseur ASC89.                | 117 |
| Figure 5. 24 : Système d'Ascenseur ASC89 avec API Siemens S7-1200 et Interface de Commande. | 118 |
| Figure 5. 25 : Intégration de l'interface homme machine                                     | 119 |
| Figure 5. 26 : Sm@rt client service.                                                        | 120 |

|                                                                                                |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Figure 5. 27 : Configuration d'un Test du Système de Sécurité Externe.</b> .....            | 121 |
| <b>Figure 5. 28 : Montage Arduino avec un module GSM SIM900.</b> .....                         | 122 |
| <b>Figure 5. 29 : Montage Arduino avec les différents composants de sécurité.</b> .....        | 123 |
| <b>Figure 5. 30 : Testes et Vérification</b> .....                                             | 124 |
| <b>Figure 5. 31 : Réalisation finale : Intégration d'un système de sécurité externe.</b> ..... | 125 |

# Liste des Tableaux

## *Chapitre I : Automates Programmables Industriels*

|                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tableau 1. 1 : Comparaison entre les différentes architectures d'API.</b> ..... | 19 |
|------------------------------------------------------------------------------------|----|

# Liste des Abréviations

|                     |                                                     |
|---------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>API :</b>        | Automate programmable industriel                    |
| <b>RTU :</b>        | Unité terminal distante                             |
| <b>SCADA :</b>      | Supervisory control and data acquisition            |
| <b>PLC :</b>        | Programmable logic controller                       |
| <b>IHM :</b>        | Interface homme-machine                             |
| <b>ICS :</b>        | Industrial control system                           |
| <b>IA :</b>         | Intelligence artificielle                           |
| <b>IOT :</b>        | Internet of things                                  |
| <b>IIOT :</b>       | Industrial Internet of things                       |
| <b>SOA :</b>        | Service-Oriented Architecture                       |
| <b>CPS :</b>        | Cyber-physical system                               |
| <b>TIA PORTAL :</b> | Totally integrated automation portal                |
| <b>CPU :</b>        | Central Processing Unit                             |
| <b>RAM :</b>        | La mémoire vive                                     |
| <b>EEPROM :</b>     | Electrically erasable programmable read-only memory |
| <b>TOR :</b>        | Tout ou Rien                                        |
| <b>Tcp/Ip :</b>     | Transmission Control Protocol/Internet Protocol     |
| <b>Profinet :</b>   | Process Field Network                               |

|                   |                                              |
|-------------------|----------------------------------------------|
| <b>Profibus :</b> | Process Field Bus                            |
| <b>Wan :</b>      | Wide area network                            |
| <b>IEC :</b>      | International Electrotechnical Commission    |
| <b>AS-I :</b>     | Actuator Sensor Interface                    |
| <b>OT :</b>       | Operational technology                       |
| <b>DCS :</b>      | Distributed control system                   |
| <b>MTU :</b>      | Master terminal unit                         |
| <b>PDA :</b>      | Personal digital assistant                   |
| <b>CAN :</b>      | Convertisseur analogique-numérique           |
| <b>BCP :</b>      | Business Continuity Plan                     |
| <b>DRP :</b>      | Disaster recovery plan                       |
| <b>DTE :</b>      | Data Terminal Equipment                      |
| <b>OSI :</b>      | Open Systems Interconnection                 |
| <b>ISO :</b>      | Organisation internationale de normalisation |
| <b>UHF :</b>      | Ultra high frequency                         |
| <b>SNCC :</b>     | Système numérique de contrôle-commande       |
| <b>FDI :</b>      | Fault Detection and Isolation                |
| <b>DOD :</b>      | Departement of defense                       |
| <b>PWM :</b>      | Pulse width modulation                       |
| <b>GSM :</b>      | Global System for Mobile Communications      |
| <b>GPRS :</b>     | General packet radio service                 |
| <b>M2M :</b>      | Machine to machine                           |
| <b>IDE :</b>      | Environnement de développement intégré       |

*Introduction*  
*Générale*

## **Introduction générale :**

Les systèmes d'automatisation et de supervision sont d'une importance extrême dans tout processus productif, contrôlent des infrastructures vitales pour le bon fonctionnement de la société, incluant les systèmes de transport, de santé, l'approvisionnement en eau et énergie, ainsi que l'économie et la sécurité nationale. [1]

Depuis plusieurs décennies, face à une concurrence accrue et à une quête constante de compétitivité, l'industrie s'adapte continuellement aux nouvelles technologies et techniques. Celles-ci permettent d'automatiser et d'optimiser les procédés de fabrication et de production de manière radicalement nouvelle. Les structures d'automatisation industrielle sont utilisées pour la surveillance des conditions, les programmes de contrôle et la main-d'œuvre mobile. Commun à tous les programmes d'automatisation commerciale, on retrouve la nécessité d'une disponibilité mondiale des composants, la coexistence entre les technologies filaires et sans fil, la durée de vie, la sécurité et l'interopérabilité, sous l'égide du paradigme Industrie 4.0, cette dernière décennie a vu la transformation digitale dans le domaine de l'automatisation industrielle, exploitant pleinement le potentiel des systèmes de Contrôle et d'Acquisition de Données (SCADA) au sein du concept d'usine intelligente. Un système SCADA est composé de trois composants principaux du système. Ensemble, ils garantissent que les données sont transmises de l'équipement qui doit être surveillé et contrôlé (capteurs, moteurs, etc.) vers une interface sur laquelle les données peuvent être analysées et utilisées pour des rapports. Le lien de connexion dans l'architecture SCADA est constitué des Automates Programmables Industriels (API) ou des Unités Terminales Distantes (RTU). Ces micro-ordinateurs interagissent avec les équipements (également appelé dispositifs de terrain) et les interfaces homme-machine pour surveiller et contrôler les processus industriels. [2][3]

Les SCADA ont considérablement évolué en termes de capacités, structures, fonctionnalités et perception générale, jouant un rôle indispensable dans le système de contrôle industriel (ICS). Ce concept repose sur la fusion des mondes physique et virtuel, interconnectés et intégrés à travers l'ensemble des chaînes de valeur, s'appuyant sur des technologies émergentes telles que l'Internet des Objets (IoT), les mégadonnées, l'intelligence artificielle (IA), le cloud computing, l'architecture orientée services (SOA) et les systèmes cyber-physiques (CPS). Ces technologies facilitent une gestion intelligente du processus de fabrication en augmentant le niveau de flexibilité, d'autonomie, d'interopérabilité, d'efficacité des équipements, de qualité des produits/processus et de productivité globale. [4]

Aujourd'hui, les systèmes numériques dans l'industrie ont la possibilité d'enregistrer, de surveiller et de corriger les interactions entre les dispositifs. Ainsi, les mondes physique et numérique vont de pair et peuvent coopérer l'un avec l'autre. L'industrie des ascenseurs est l'un des secteurs les

plus intéressants de tels systèmes, puisque la plupart de leurs opérations sont contrôlées automatiquement par des microprocesseurs, y compris les API. Étant à l'origine la solution de base de levage de charges à l'ère de la première génération de civilisation, ils sont aujourd'hui devenus un système de contrôle de manœuvre complexe cherchant à optimiser le trafic vertical des passagers, des charges, etc. Cette industrie a connu une évolution constante tout au long de son histoire, notamment grâce aux progrès techniques et à la propagation des nouvelles technologies dans le secteur, tout comme dans le reste de la société.

De nos jours, grâce à la connectivité des ascenseurs, il est désormais possible de collecter en temps réel des données sur leur fonctionnement. Ces informations peuvent être analysées et utilisées pour prévoir les éventuels problèmes de maintenance avant qu'ils ne se produisent réellement. Cela permet de réduire considérablement les temps d'arrêt et les coûts de maintenance, tout en assurant un fonctionnement plus fiable et sécurisé des ascenseurs. De plus, les ascenseurs connectés offrent également la possibilité de faciliter la communication entre les utilisateurs et les techniciens de maintenance, garantissant ainsi une assistance rapide et efficace en cas de besoin. [5][6][7]

Le travail est structuré comme suit :

**Le premier chapitre** : une description des automates programmables industriels pour comprendre le rôle et l'utilisation de ces dispositifs dans l'automatisation des processus industriels.

**Le deuxième chapitre** : une mise au point sur les systèmes de supervision industriels, basés sur les systèmes de contrôle industriels, expliquant le SCADA, l'IHM, les logiciels de programmation et de supervision (TIA PORTAL), ainsi que leur application dans le contrôle et la surveillance des systèmes dans les processus industriels.

**Le troisième chapitre** : une discussion sur les ascenseurs, incluant leurs types, caractéristiques et leur utilisation dans l'industrie du transport vertical et de la manutention de charges. De plus, nous aborderons les dangers potentiels et les techniques pour améliorer la technologie de sécurité.

**Le quatrième chapitre** : se concentrera sur les tendances actuelles et les avancées futures dans le domaine industriel, en examinant les nouvelles technologies émergentes telles que l'apprentissage automatique et l'Internet des objets, et en discutant de leur potentiel pour améliorer encore plus l'efficacité et les performances des processus industriels automatisés.

**Le cinquième chapitre** : Concerne la réalisation de la commande et supervision de notre système.

La dernière partie de ce mémoire comprendra une conclusion générale qui résumera les principales idées de chaque chapitre et mettra en évidence les contributions du travail.

# *CHAPITRE I :*

Systemes

Automatisés

# I. Les systèmes automatisés

## I.1 Introduction :

L'automatisation industrielle est un large éventail de machines, d'actionneurs, de capteurs, de processeurs et de réseaux qui travaillent pour connecter un environnement industriel. Des PLC, API, IA, apprentissage automatique, et des appareils IoT, l'automatisation industrielle moderne se concentre sur la meilleure façon d'exploiter la technologie. Ce qui suit présentera l'automatisation industrielle, ses types, et ses avantages qui dirigent les industries mondiales, élargissent les marchés, et font évoluer la concurrence et pour accomplir des tâches dans le but de rendre la production automatique. [8]

## I.2 Définition d'un système automatisé :

Un système automatisé est un ensemble d'éléments qui effectue des actions sans intervention de l'utilisateur (**l'opérateur**). Celui-ci se contente de donner des ordres de départ et si besoin d'arrêt. [66]

## I.3 Description structurelle d'un système automatisé :

Tous les Système Automatisés de Production (SAP) possèdent une structure qui se présente sous la forme suivante :

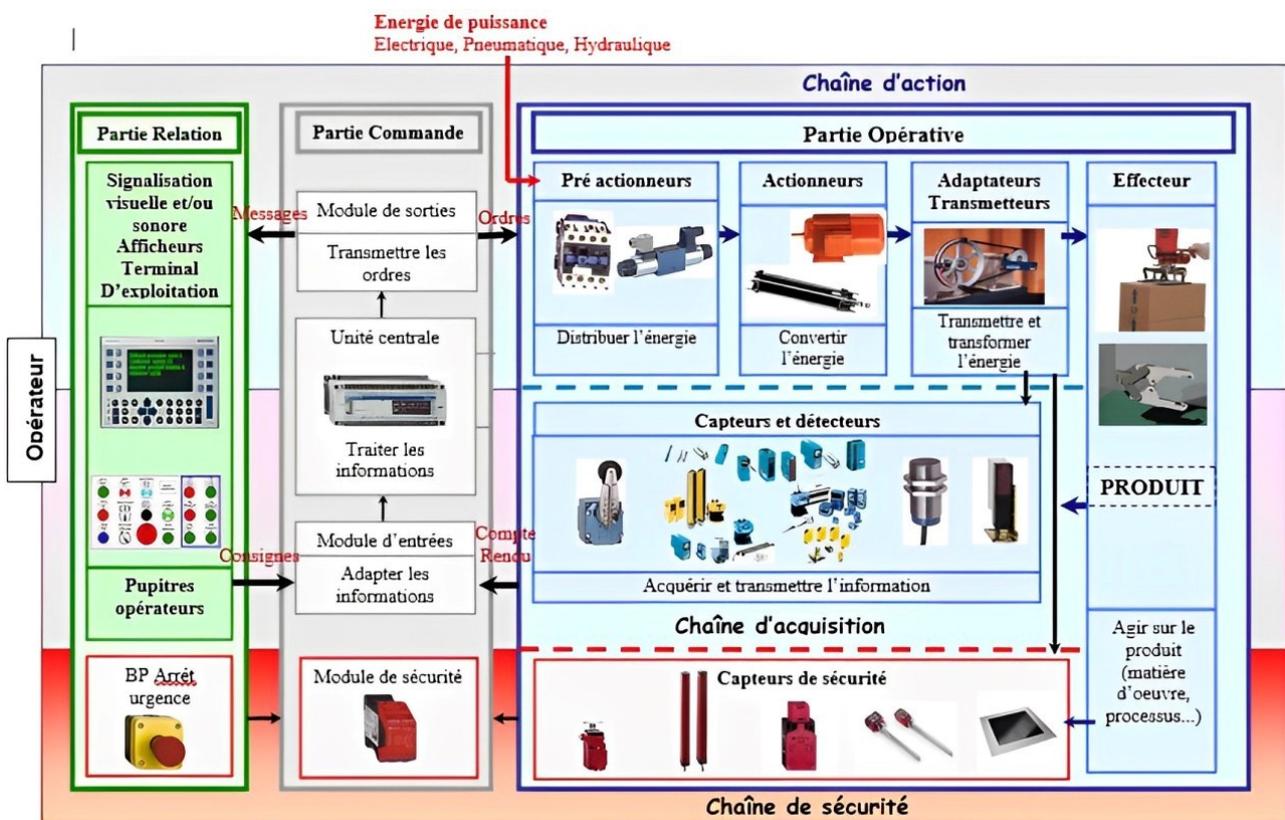


Figure 1. 1 : Structure d'un système automatisé. [66]

### **I.3.1 La Partie Commande (PC) :**

Cette partie regroupe les composants (relais électromagnétique, opérateur logique, etc.) et les constituants (API, cartes à microprocesseur, micro-ordinateurs, etc.) destinés au traitement des informations émises par les organes de commande de la PS et capteurs de la PO. Les ordres résultants sont transmis aux pré actionneurs de la PO et aux composants de signalisation de la PS afin d'indiquer à l'opérateur l'état et la situation du système. La dimension « point de vue » caractérise la situation de l'observateur décrivant le système automatisé.

### **I.3.2 La Partie Opérative (PO) :**

C'est la partie qui opère sur la matière d'œuvre et le produit. Elle regroupe :

- Les effecteurs : dispositifs terminaux qui agissent directement sur la matière d'œuvre pour lui donner sa valeur ajoutée (outils de coupe, pompes, têtes de soudure, etc.),
- Les actionneurs : éléments chargés de convertir l'énergie afin de l'adapter au besoin de la partie opérative ; cette énergie étant ensuite consommée par les effecteurs (moteur, vérin, électroaimant, résistance de chauffage, etc.),
- Les pré actionneurs : éléments chargés d'adapter le faible niveau énergétique disponible en sortie de la P.C. au besoin de la P.O, de distribuer ou de moduler l'énergie délivrée aux actionneurs (contacteur, distributeur, variateur de vitesse...).
- Les capteurs : qui assument l'ensemble des fonctions de la chaîne d'acquisition de données (fin de course de vérin, détecteur de position, capteur de température, etc.) [67]

### **I.3.3 La Partie Supervision (PS) :**

Elle comporte le pupitre de dialogue homme-machine équipé des organes de commande permettant la mise en/hors énergie de l'installation, la sélection des modes de marche, la commande manuelle des actionneurs, la mise en référence, le départ des cycles, l'arrêt d'urgence... ainsi que des signalisations diverses telles que voyants lumineux, afficheurs, écrans vidéo, sonneries, etc.

## **I.4 Outils de Représentation d'un système automatisé (Modélisation) :**

Les différents travaux effectués par l'AF CET (association française pour la cybernétique et technique) et l'ADEPA (agence pour le développement de la production appliquées) dans le domaine des automatismes industriels ont conduit à une représentation graphique des spécifications fonctionnelles (Grafcet, gemma, logigramme, chronogramme, schéma a contact) d'un cahier de charge dont la formulation est indépendante de toute technologie de réalisation, que celle-ci soit câblée ou programmée. [69]

## I.4.1 GRAFCET :

### 1) Définition

Le GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande par Étapes et Transitions), ou SFC (Sequential Function Chart), est un outil graphique utilisé pour décrire les comportements séquentiels d'un système automatisé. Il établit une correspondance structurée entre les informations transférées (les entrées) de la Partie Opérative vers la Partie Commande, et les informations envoyées de la Partie Commande vers la Partie Opérative (les sorties). Cet outil graphique est puissant et directement exploitable, car il est aussi compatible avec le langage de programmation de nombreux automates programmables industriels (API) disponibles sur le marché. Le terme "GRAFCET", lorsqu'il est écrit en lettres majuscules, fait référence à l'outil de modélisation lui-même. En revanche, "grafcet", en minuscules, désigne le modèle résultant des règles du GRAFCET. Un GRAFCET est constitué de plusieurs éléments clés : des étapes, chacune associée à des actions spécifiques ; des transitions, qui sont liées à des réceptivités ou conditions devant être remplies pour que la transition se produise ; et des liaisons orientées, qui connectent les étapes et les transitions, guidant ainsi le flux séquentiel du processus. [59]

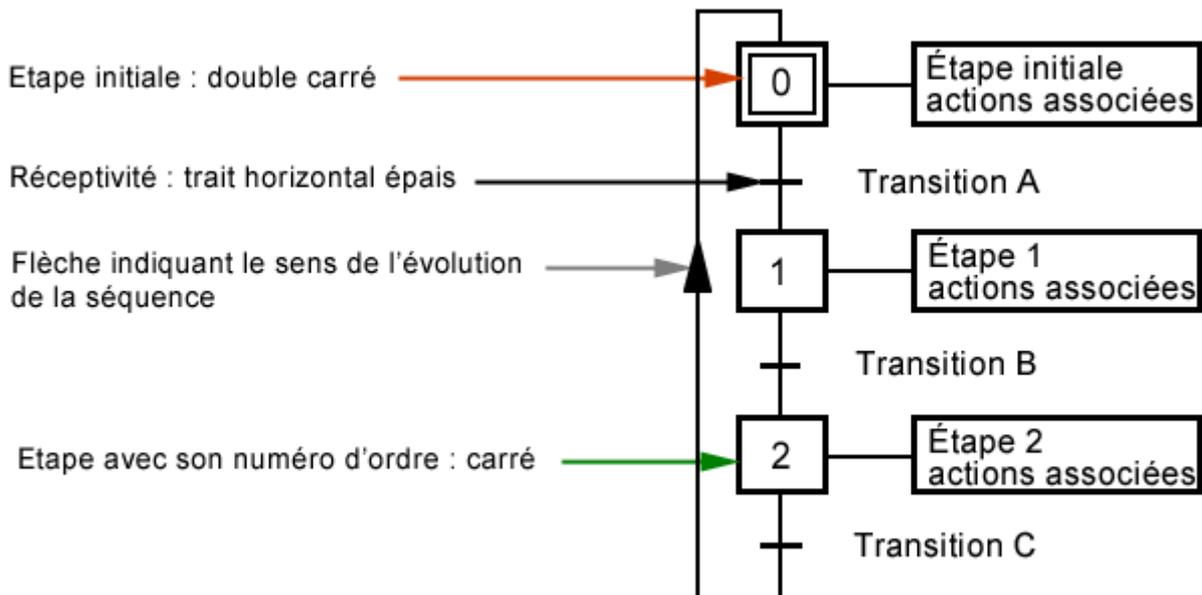


Figure 1. 2 : Composants et Symboles dans un GRAFCET.

### 2) Description du GRAFCET

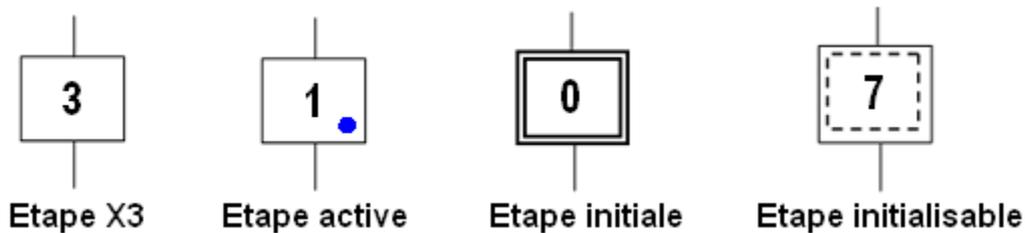
La représentation du comportement attendu d'un système automatisé à travers un GRAFCET peut être adaptée à différents "niveaux", en fonction de trois dimensions clés : le point de vue, la spécification et la finesse. Le point de vue détermine l'angle sous lequel l'observateur perçoit et décrit le fonctionnement du système, et peut se diviser en trois perspectives distinctes : le point de vue global du système, le point de vue focalisé sur la Partie Opérative, et celui centré sur la Partie Commande.

La spécification concerne les exigences techniques que la Partie Commande doit satisfaire, incluant les spécifications fonctionnelles (décrivant les fonctions que le système doit accomplir), les spécifications technologiques (concernant les contraintes et choix technologiques), et les spécifications opérationnelles (détaillant les conditions de fonctionnement et les performances requises). Enfin, la finesse se réfère au niveau de détail dans la description du fonctionnement du système, allant d'une vue macro (représentation globale simplifiée des principales fonctions) à une vue micro, où toutes les actions et interactions élémentaires sont minutieusement décrites. En combinant ces dimensions, le GRAFCET permet de créer des représentations qui varient du cadre général stratégique aux analyses détaillées des processus, facilitant ainsi une compréhension approfondie et un contrôle précis des systèmes automatisés.

**3) Les concepts de base du GRAFCET :**

*3.1 Etape :*

Une étape symbolise un état ou une partie de l'état du système automatisé. L'étape possède deux états possibles : active représentée par un jeton dans l'étape ou inactive. L'étape *i*, représentée par un carré repéré numériquement, possède ainsi une variable d'état, appelée variable d'étape *X<sub>i</sub>*. Cette variable est une variable booléenne valant 1 si l'étape est active, sinon 0. La situation initiale d'un système automatisé est indiquée par une étape dite étape initiale et représentée par un carré double.

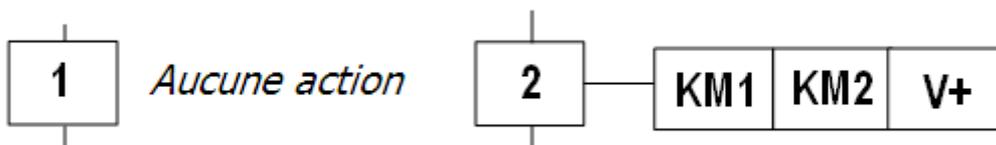


**Figure 1. 3 : Types d'Étapes dans un GRAFCET.**

**Remarque :** Dans un **grafcet** il doit y avoir au moins une étape initiale.

*3.2 Actions associées aux étapes :*

A chaque étape est associée une action ou plusieurs, c'est à dire un ordre vers la partie opérative ou vers d'autres grafkets. Mais on peut rencontrer aussi une même action associée à plusieurs étapes ou une étape vide (sans action).

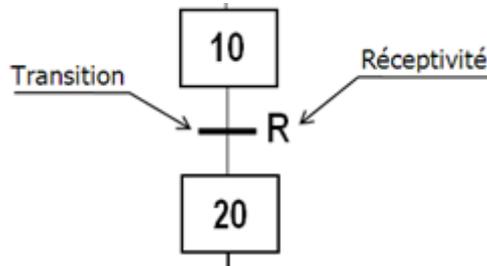


**Figure 1. 4 : Actions associées aux étapes.**

### 3.3 Transition :

Dans un GRAFCET, une transition représente le passage potentiel entre deux étapes successives, marquant ainsi la progression d'une activité à une autre au sein de la partie opérative. Ce franchissement permet au système d'évoluer d'une étape à une autre. Chaque transition est régie par une condition logique appelée réceptivité, qui définit les critères nécessaires pour que cette progression se produise. La réceptivité, en tant qu'information d'entrée, peut être fournie par plusieurs sources :

- L'opérateur, via des commandes depuis le pupitre de commande.
- La partie opérative, à travers les états des capteurs qui détectent les conditions physiques.
- Le temps ou d'autres opérations, telles que le comptage ou des calculs logiques et arithmétiques, spécifiant des délais ou des critères quantitatifs à respecter.
- Le grafcet lui-même, où d'autres GRAFCET peut influencer la transition, ou encore l'état courant des étapes internes du GRAFCET (les Xi) qui déterminent les conditions de progression.
- D'autres systèmes, par le biais de dialogues et interactions entre différents systèmes automatisés. [59]



**Figure 1. 5 : Schéma de Transition et Réceptivité dans un GRAFCET.**

**Remarque :** Si la réceptivité n'est pas précisée, alors cela signifie qu'elle est toujours vraie.

## **I.4.2 GEMMA :**

### **1) Définition :**

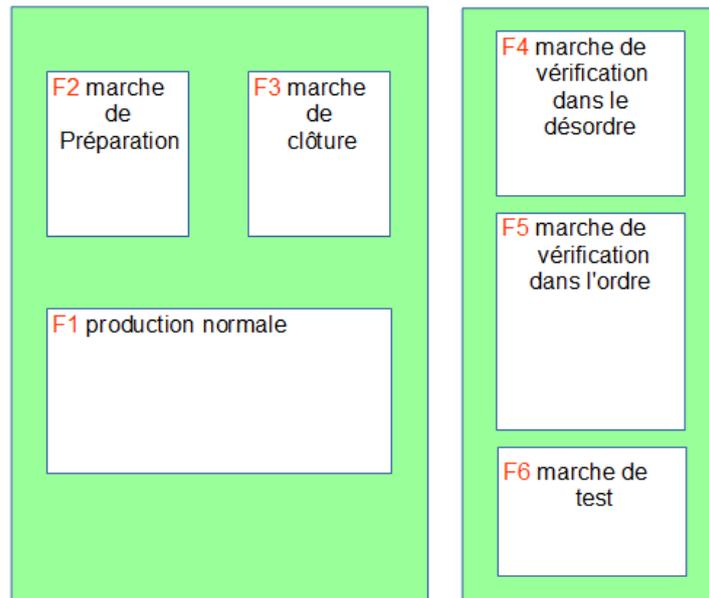
Le GEMMA (Guide d'Étude des Modes de Marches et d'Arrêts), développé en 1981 par des experts rassemblés à l'ADEPA (Agence nationale pour le Développement de la Production Automatisée), est un outil graphique essentiel pour caractériser l'état de fonctionnement d'un système automatisé. Utilisé comme une méthode progressive, il est rempli au fur et à mesure de la conception d'un système automatisé. L'objectif principal de ces systèmes est de produire de la valeur ajoutée, ce qui les place en situation de "PRODUCTION NORMALE". Cependant, au cours de leur cycle de vie,

les systèmes ne fonctionnent pas toujours en continu, ils peuvent subir des pannes, nécessiter des opérations de maintenance ou des réglages. Le GEMMA identifie trois grandes familles de modes de marches et d'arrêts pour ces situations : la Famille A regroupe les procédures d'arrêt et de remise en route, la Famille F concerne les procédures de fonctionnement, et la Famille D englobe les procédures en cas de défaillance de la Partie Opérative (PO). Ces modes traitent les défauts de production de l'équipement automatisé, les différentes phases d'exploitation de la machine, ainsi que les états et procédures de mise en sécurité en cas de défaut, de défaillance ou de consigne de sécurité. Les normes françaises et européennes encadrent et définissent ces modes pour assurer la sécurité des machines, garantissant ainsi que les systèmes automatisés sont conçus pour fonctionner de manière sûre et efficace à travers tous leurs états de marche et d'arrêt.

## **2) Guide graphique :**

Le guide graphique GEMMA est un outil structuré, divisé en "rectangles-états", chacun ayant une position spécifique sur le guide. Ces rectangles sont interconnectés par des flèches orientées, symbolisant le passage d'un état à un autre, de manière similaire aux transitions dans un GRAFCET. Le GEMMA n'est pas un outil figé ; il est adaptable en fonction des spécifications nécessaires pour le système en question. Il est principalement utilisé pour établir un cahier des charges précis avec le client, détaillant les modes de marche et d'arrêt du système automatisé. Ce guide décrit en détail le comportement du système lors de la mise sous ou hors tension de la partie commande et de la partie puissance. L'analyse effectuée à l'aide du GEMMA permet de structurer le fonctionnement global du système, qui peut ensuite être traduit en GMMA (GRAFCET des Modes de Marche et d'Arrêt) ou en GCH (GRAFCET de Conduite Hiérarchisée). Cependant, pour assurer une priorité absolue à la sécurité, il est fortement recommandé de développer un G.S. (GRAFCET de Sécurité), qui travaille en redondance avec une chaîne de sécurité câblée. Cela garantit que le système est non seulement efficace, mais aussi sécurisé à chaque étape de son fonctionnement. [60]





**Figure 1. 7 : Les rectangles-états des procédures de fonctionnement F.**

- **F1 Production normale** : Cet état correspond à la machine opérant de manière normale, comme prévu lors de sa conception. Ce rectangle état est souvent encadré de manière épaisse, et peut être associé à un GRAFCET de production normale, appelé GRAFCET de base.
- **F2 Marche de préparation** : Utilisé pour les opérations préparatoires telles que le préchauffage, le remplissage ou les mises en route nécessaires avant la production normale.
- **F3 Marche de clôture** : Requis pour les machines qui doivent être vidées ou nettoyées en fin de cycle ou de journée.
- **F4 Marche de vérification dans le désordre** : Permet de tester certaines fonctions ou mouvements sans suivre l'ordre du cycle de production.
- **F5 Marche de vérification dans l'ordre** : Permet d'explorer le cycle de fonctionnement à un rythme contrôlé par l'opérateur, avec ou sans production.
- **F6 Marche de test** : Utilisée pour régler ou étalonner les machines de contrôle ou de tri, assurant que les capteurs fonctionnent correctement.

*Famille A : Les Procédures d'Arrêt*

La Famille A inclut tous les modes où le système doit être arrêté pour des raisons externes, regroupés dans la zone A du GEMMA. Ces modes incluent les arrêts nécessaires pour la maintenance, la fin de journée, ou des arrêts commandés. Les principaux états de la Famille A sont :

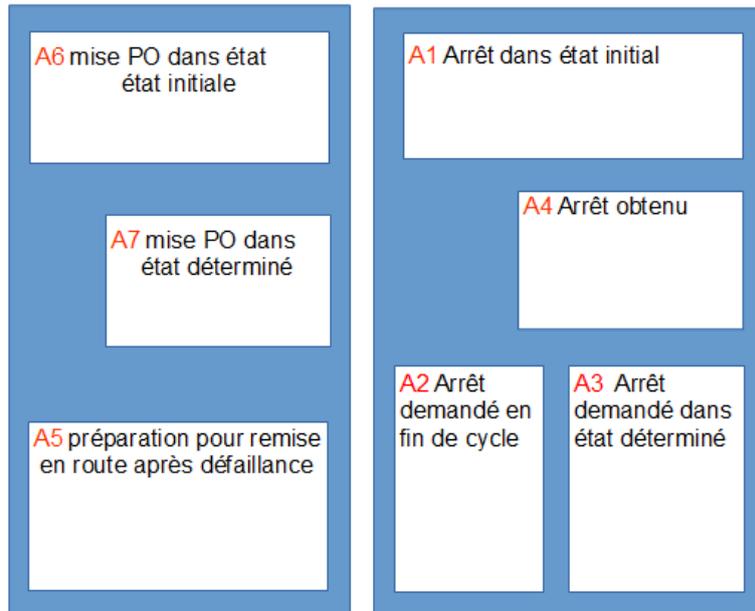
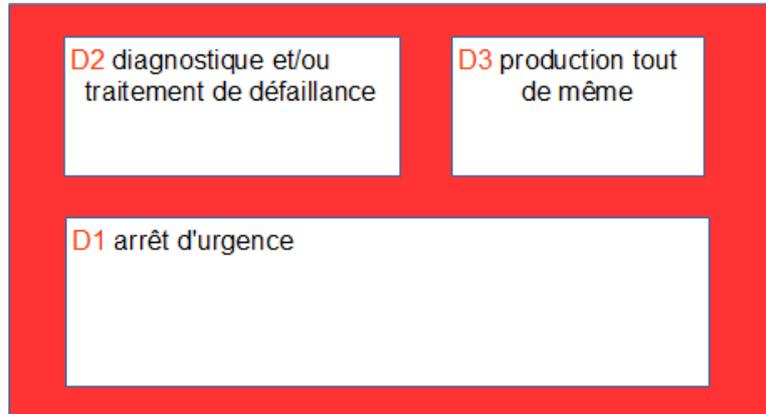


Figure 1. 8 : Les rectangles-états de procédure d'arrêt A.

- **A1 Arrêt dans état initial** : La machine est en position de repos, souvent marquée par un double cadre, comme une étape initiale du GRAFCET.
- **A2 Arrêt demandé en fin de cycle** : La production continue jusqu'à la fin du cycle actuel avant que la machine ne s'arrête.
- **A3 Arrêt demandé dans état déterminé** : La production continue jusqu'à ce que la machine atteigne une position autre que la fin de cycle, menant à l'état A4.
- **A4 Arrêt obtenu** : La machine s'arrête dans une position non finale.
- **A5 Préparation pour remise en route après défaillance** : Toutes les opérations nécessaires, comme le dégagement ou le nettoyage, sont effectuées pour redémarrer la machine après une défaillance.
- **A6 Mise P.O. dans un état initial** : La machine est remise manuellement ou automatiquement en position pour redémarrer dans un état initial.
- **A7 Mise P.O. dans un état déterminé** : La machine est positionnée pour redémarrer dans une position autre que l'état initial.

*Famille D : Les Procédures en Cas de Défaillance*

La Famille D regroupe les modes où le système doit s'arrêter en raison de défaillances internes, spécifiquement celles liées à la Partie Opérative (PO), dans la zone D du GEMMA. Ces modes sont critiques pour la gestion des incidents et la maintenance du système. Les états clés de la Famille D comprennent :



**Figure 1. 9 : Les rectangles-états procédure de défaillance.**

- **D1 Arrêt d'urgence** : Ce mode est déclenché lors d'une urgence. Il inclut non seulement l'arrêt immédiat mais aussi les cycles de dégagement et les procédures pour minimiser les conséquences de la défaillance.
- **D2 Diagnostic et/ou traitement de défaillance** : Dans cet état, la machine est examinée pour diagnostiquer et traiter les problèmes avant le redémarrage.
- **D3 Production tout de même** : Dans certains cas, il est nécessaire de continuer la production malgré la défaillance, ce qui peut mener à une production dégradée ou aidée par des opérateurs supplémentaires.

**4) Types de Boucles dans le GEMMA :**

Dans le guide GEMMA, plusieurs types de boucles opérationnelles sont utilisées pour caractériser le fonctionnement séquentiel d'un système automatisé. Une **boucle** est une succession d'états permettant au système de passer d'un état à un autre, à condition que les critères d'évolution soient respectés. Souvent, un état intermédiaire est nécessaire pour atteindre un état final sans mettre en danger le système.

*1. Boucle de Marche Normale :*

La boucle **A1 → F1 → A2 → A1**, représente le cycle de fonctionnement normal du système. Permettant au système de revenir à sa position de départ après chaque cycle de production, assurant ainsi qu'il est prêt pour la prochaine série de cycles.

*2. Boucle de Marche de Réglage :*

La boucle **A1** → **F4** → **A6** → **A1**, est utilisée pour tester et régler le système. Cette boucle est essentielle pour les opérations de test et de vérification, permettant de s'assurer que chaque composant du système fonctionne correctement avant de retourner à l'état initial.

*3. Boucle d'Arrêt de Sécurité :*

La boucle **F1** → **D1** → **A5** → **A6** → **A1** → **F1**, gère les transitions du système en cas d'arrêt d'urgence. Elle assure que le système peut être arrêté en toute sécurité depuis n'importe quel état et être préparé pour un redémarrage en toute sécurité. [61]

**5) Utilisation du GEMMA :**

Le GEMMA est un outil méthodologique puissant pour définir le cahier des charges des systèmes automatisés séquentiels. Il permet de représenter graphiquement et de planifier les modes de marche et d'arrêt dès la phase de conception. En intégrant le GEMMA dans une étude, on s'assure que ces modes sont prévus et incorporés dès le début, ce qui facilite l'intégration des procédures de sécurité et le choix des composants de la partie opérative (PO). Voici une approche structurée pour l'utilisation du GEMMA dans la conception des systèmes automatisés : [60]

1. *Étude du Processus* : Analyse initiale du fonctionnement et des objectifs du système.
2. *Partition des Tâches Fonctionnelles* : Décomposition des tâches en fonctions spécifiques.
3. *GRAF CET Système* : Modélisation globale du système à l'aide du GRAF CET.
4. *GRAF CET des Tâches Opératives* : Détail des opérations spécifiques.
5. *GRAF CET de Coordination des Tâches* : Coordination entre les différentes opérations.
6. *Étude du GEMMA et des Procédures de Sécurité* : Planification des modes de marche et d'arrêt et des mesures de sécurité.
7. *Définition de la Technologie des Préactionneurs et Actionneurs* : Choix des composants techniques.
8. *GRAF CET GLOBAL* : Intégration complète du système.
9. *GRAF CET de Sécurité* : Mise en place des mesures de sécurité redondantes.
10. *GRAF CET de Conduite Machine* : Gestion de la machine pendant l'opération.
11. *GRAF CET de Production Normale* : Modélisation du cycle de production standard.
12. *Logiciel d'Application* : Développement du logiciel pour la mise en œuvre du système.

## **I.5 Matérialisation d'un système automatique :**

**Câblée** : la PC est réalisée soit en interconnectant judicieusement des opérateurs matériels soit en utilisant des portes logiques et/ou des bascules.

**Programmée** : la réalisation de la PC est basée sur une architecture intégrant un microprocesseur qui exécute un programme. [68]

Par exemple : L'automate programmable industriel, ou **API**, est largement répandu dans tous les domaines de l'industrie des processus et de la fabrication aujourd'hui. Initialement conçus pour remplacer les systèmes de relais électromécaniques, les API offrent une solution plus simple pour modifier le fonctionnement d'un système de contrôle. Au lieu de devoir refaire le câblage d'une grande banque de relais, un simple téléchargement depuis un PC ou un dispositif de programmation permet de modifier la logique de contrôle en quelques secondes. [9]



**Figure 1. 10 : Automates programmables industriels (Siemens). [69]**

## **I.6 Définition d'un API :**

Un automate programmable industriel est une forme particulière de contrôleur à microprocesseur qui utilise une mémoire programmable pour stocker les instructions et qui implémente différentes fonctions, qu'elles soient logiques, de séquençement, de temporisation, de comptage ou arithmétiques, pour commander les machines et les processus. [10]

Les Automates Programmables Industriels (API ou PLC pour Programmable Logic Controller) sont utilisés dans de nombreux secteurs d'activité pour gérer de manière automatique les systèmes de commande des installations électriques industrielles tels que : machines, des chaînes de production,

la régulation de processus ou encore dans le secteur du bâtiment, pour le contrôle de l'éclairage, du chauffage, de la sécurité. [11]

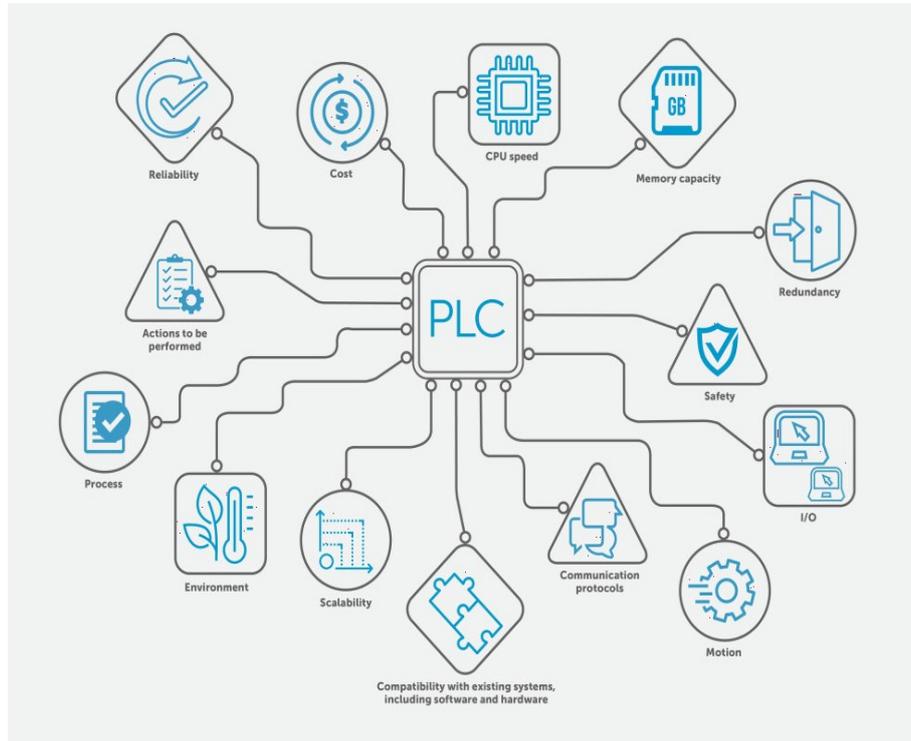


Figure 1. 11 : Facteurs essentiels de la performance des systèmes API. [70]

### I.7 Composition interne d'un automate programmable industriel :

L'automate programmable industriel est un dispositif complexe qui vise à collecter des données appropriées sur l'état du système et à contrôler les pré-actionneurs selon le programme enregistré dans sa mémoire. Ce système essentiel est composé de divers éléments de base décrite ci-dessous :

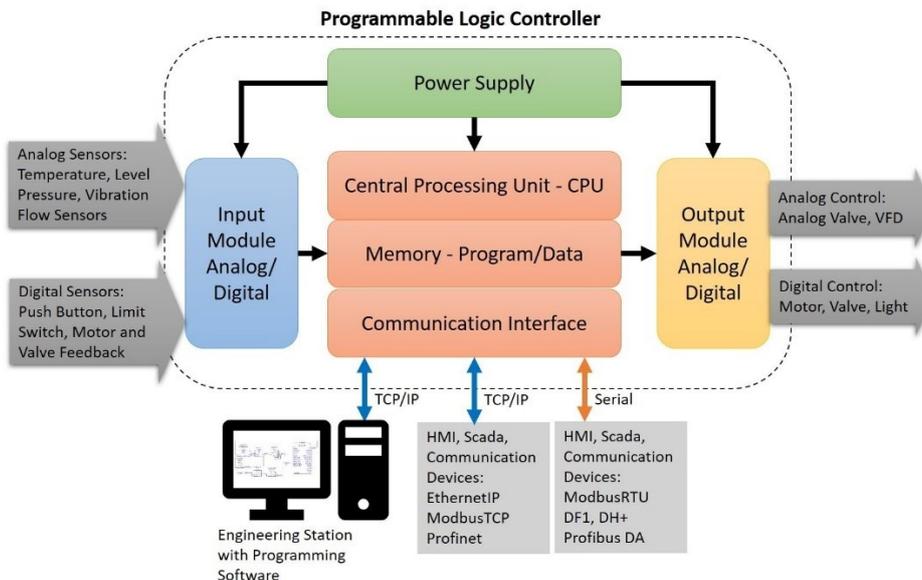


Figure 1. 12 : Composition interne d'un API. [71]

**L'alimentation** : est indispensable puisqu'elle convertit une tension alternative en une basse tension continue (24V) requise par le processeur et les modules d'entrées-sorties. Il est important de noter que l'alimentation n'est pas toujours intégrée à l'automate lui-même, mais peut être fournie directement par une source de tension externe.

**Un processeur** : les opérations du processeur sont importantes dans le fonctionnement d'une application. Il traite les instructions du programme, gère les entrées et sorties, surveille et diagnostique l'automate en lançant des tests réguliers, et établit un dialogue avec le terminal de programmation.

**Une mémoire** : est un composant essentiel qui permet de conserver les instructions qui constituent le programme d'exploitation ainsi que diverses données. Cette mémoire peut être de deux types : la mémoire vive (RAM), qui peut être modifiée à volonté mais qui est perdue en cas de coupure de courant, et la mémoire morte (EEPROM), qui ne permet que la lecture des données stockées.

**Les interfaces entrées/sorties** : sont des modules nécessaires qui permettent au processeur de recevoir et de transmettre des informations. Ces dispositifs peuvent générer des signaux discrets, numériques (c'est-à-dire des sorties de type "tout ou rien") ou de type analogique dont les dispositifs génèrent des signaux dont l'amplitude est proportionnelle à la valeur de la variable surveillée.

**Interface de communication** : est un composant qui est utilisé pour recevoir et transmettre des données via des réseaux de communication. Ces réseaux connectent l'API à d'autres API distantes ou à différents équipements, en fonction des protocoles choisis. Cette interface intervient dans diverses opérations, telles que la vérification d'un périphérique, l'acquisition de données, la synchronisation entre différentes applications et la gestion de la connexion.

**Périphérique de programmation** : est un outil qui permet d'introduire le programme dans la mémoire du processeur. Ce programme est élaboré sur le périphérique lui-même, puis transféré dans la mémoire de l'API pour son exécution.

## **I.8 Architecture des API :**

Un API est généralement constitué d'une unité centrale de traitement (CPU, Central Processing Unit) qui comprend le microprocesseur, la mémoire et les entrées-sorties du système. Il peut en réalité être vu comme une entité composée d'un grand nombre de relais, compteurs, temporisateurs et unités de stockage de données, même si ces éléments n'existent pas physiquement dans l'API et sont simulés de façon logicielle.

Les systèmes API se présentent principalement sous deux formes : en boîtier unique et en version modulaire. Les systèmes non modulaires, qui sont généralement moins coûteux, ont un nombre fixe d'entrées/sorties (entre 10 et 30 E/S) et offrent souvent des performances limitées. En revanche, la plupart des installations utilisent une solution modulaire qui, grâce à des extensions,

permet d'augmenter le nombre d'entrées/sorties de l'automate ainsi que les interfaces de communication.

Un API modulaire est composé de modules distincts pour l'alimentation, le processeur, les entrées/sorties et les interfaces de communication. Ces modules sont connectés les uns après les autres dans un rack. Pour ajouter un module, il suffit de l'insérer sur le rack et de le configurer dans le logiciel. Le rack de base fournit le bus de communication et l'alimentation du module.

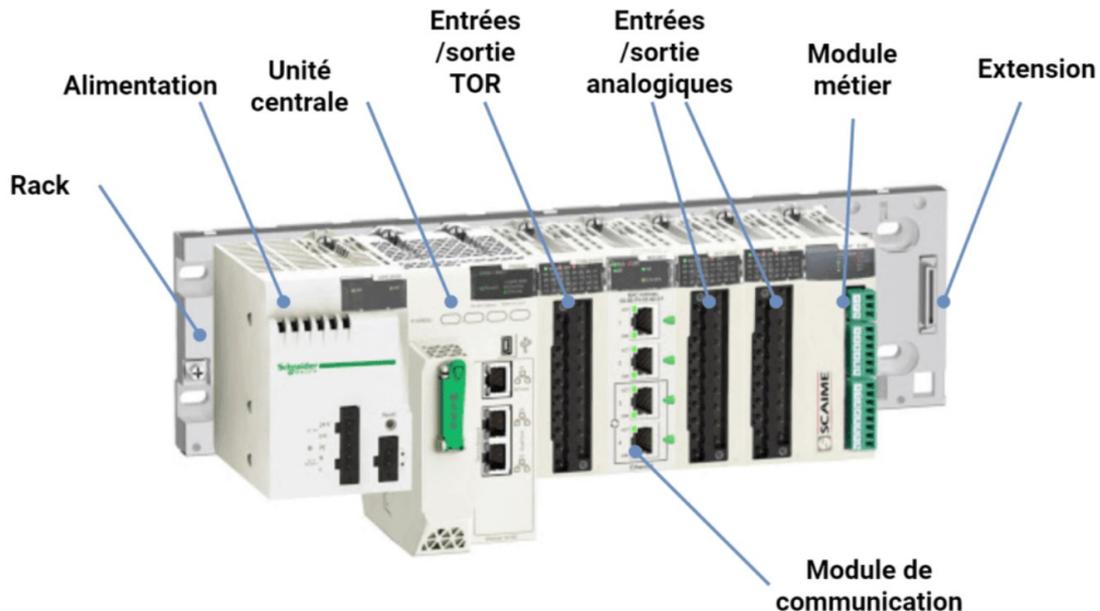


Figure 1. 13 : Architecture d'un API modulaire.

**Le rack :** Certains rack sont distingués pour leur installation en fond de panier, tandis que d'autres sont reconnus pour leur montage en rack. Par ailleurs, il existe des automates modulaires sans rack, où les modules s'interconnectent mutuellement.

**Unité centrale :** Les processeurs se déclinent en diverses versions en fonction de leur capacité d'E/S et de mémoire. Certaines unités peuvent intégrer une ou plusieurs interfaces de communication, ainsi que quelques entrées/sorties. Un connecteur de communication facilite la programmation de l'automate. L'unité centrale dispose d'une mémoire externe (carte SD) et d'une pile pour maintenir la sauvegarde.

**Entrées-sorties TOR :** Modules d'entrées/sortie digitale (tout ou rien), il existe en version 8, 16, 32 ou 64 E/S. Il existe avec des variantes de tensions, ou de courant admissibles. Les sorties peuvent être à commande à relais (puissance), ou à transistors.

**Entrées-sorties analogiques :** Les modules d'entrées-sorties analogiques réalisent les conversions A/N et N/A, avec une résolution allant jusqu'à 16 bits. Nous avons plusieurs gammes de tension/courant disponibles, les plus utilisés étant le 0-10V et le 4-20mA.

**Modules de communication :** Des modules de communication peuvent être utilisés pour augmenter le nombre de ports de communication du processeur ou utiliser d'autres protocoles de communications.

**Module métier :** Les fabricants offrent des modules destinés à des usages plus spécifiques. Par exemple, la commande d'axe qui assure le positionnement précis d'un élément mécanique selon un ou plusieurs axes, le comptage rapide qui permet de recueillir des informations à haute fréquence incompatibles avec le temps de traitement de l'automate, et la mesure de température.

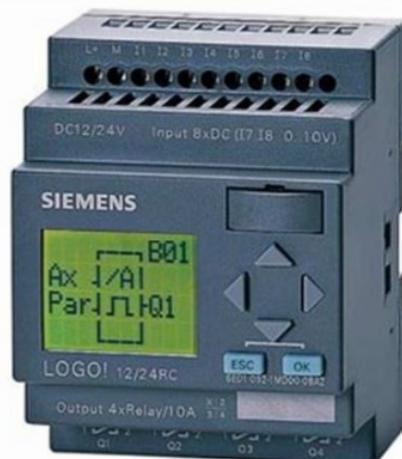
**Extensions :** Il est possible d'augmenter la capacité de son rack en incorporant un autre rack, des entrées/sorties délocalisées grâce à un bus de communication, ou un automate additionnel en configuration esclave. [12]

### **I.4.1 Types d'architecture d'API :**

Il existe trois types distincts d'architecture d'API. Ils sont les suivants :

**Architecture fixe :** L'architecture fixe de l'API est le type d'architecture le plus basique. Cette disposition a un seul processeur central qui contrôle toutes les entrées et les sorties. Il peut être utilisé dans des applications avec seulement quelques signaux d'entrée et des commandes de sortie à contrôler.

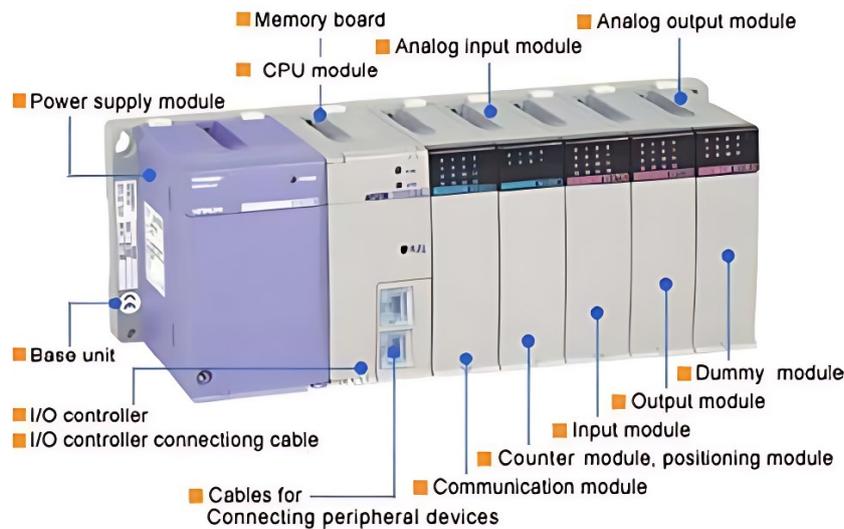
Le principal avantage de cette configuration est sa simplicité ; cependant, elle limite la scalabilité du système global car des points d'E/S supplémentaires doivent être ajoutés avec un module externe ou une carte d'extension. De plus, ces systèmes sont généralement plus coûteux que les architectures modulaires en raison de leur nature fixe.



**Figure 1. 14 : Architecture Compact.**

**Architecture modulaire :** Les architectures modulaires d'API se composent de plusieurs modules individuels connectés par un bus commun ou une connexion réseau comme Ethernet ou Modbus TCP/IP. Cela permet à chaque module d'agir indépendamment tout en étant capable de communiquer avec les autres modules du système.

Elle offre une flexibilité accrue lors de la construction d'un système d'automatisation à partir de zéro ou lors de la tentative d'adaptation d'un système existant à des fins différentes. Les modules peuvent aller de simples cartes d'E/S numériques à des contrôleurs de mouvement complexes capables de contrôler facilement des bras robotiques sophistiqués et d'autres dispositifs robotiques.



**Figure 1. 15 : Architecture Modulaire.**

**Architecture distribuée :** L'architecture distribuée d'API implique plusieurs composants séparés répartis dans une installation qui travaillent ensemble dans le cadre d'une solution d'automatisation globale sans avoir un emplacement centralisé pour tous les éléments impliqués dans le schéma de contrôle du processus.

Des exemples incluent les communications sans fil entre divers capteurs situés tout au long d'une ligne de production qui fournissent des informations sur les performances des machines, telles que les relevés de température, les niveaux de pression, etc. Cela permet aux opérateurs à des emplacements distants (tels que les bureaux) d'accéder à des données en temps réel sans avoir besoin d'un accès physique à eux sur site à tout moment, ce qui favorise l'efficacité. [13]

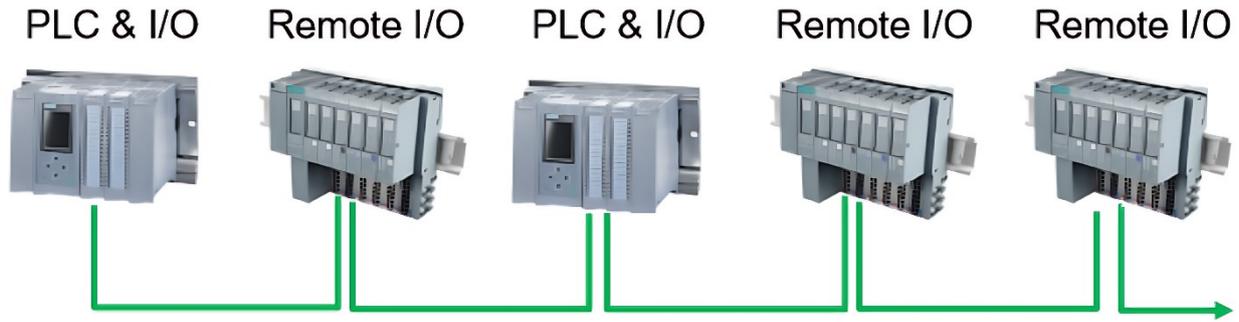


Figure 1. 16 : Architecture Distribuée.

| Paramètres                                  | API Fixe                                                           | API Modulaire                                                                       | API Distribuée                                                                                                   |
|---------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Performance du CPU                          | Basse                                                              | Moyenne - Haute                                                                     | Haute                                                                                                            |
| Programme & Taille de la mémoire de données | Basse                                                              | Moyenne – Haute                                                                     | Haute                                                                                                            |
| Alimentation                                | Inclut                                                             | Module                                                                              | Module                                                                                                           |
| Interface d'entrée                          | Inclut                                                             | Module                                                                              | Module                                                                                                           |
| Interface de sortie                         | Inclut                                                             | Module                                                                              | Module                                                                                                           |
| Interface de communication                  | Inclut                                                             | Module                                                                              | Module                                                                                                           |
| Système de montage                          | Unité unique                                                       | Rack, plan arriere, Rail, or Chassis.                                               | Rack, plan arriere, Rail, or Chassis.                                                                            |
| Taille physique                             | Petite                                                             | Moyenne à grande                                                                    | Moyenne à grande                                                                                                 |
| Flexibilité                                 | Non                                                                | Oui                                                                                 | Oui                                                                                                              |
| Personnalisable                             | Non                                                                | Oui                                                                                 | Oui                                                                                                              |
| Applications                                | Applications de base avec un petit nombre d'entrées et de sorties. | Applications moyennes à haut de gamme avec un grand nombre d'entrées et de sorties. | Applications haut de gamme et contrôle à l'échelle de l'usine avec un très grand nombre d'entrées et de sorties. |
| Coût                                        | Bas                                                                | Moyen                                                                               | Haut                                                                                                             |

Tableau 1. 1 : Comparaison entre les différentes architectures d'API.

## I.9 Introduction à l'automate S7-1200 :

Le contrôleur S7-1200 propose la flexibilité et la puissance nécessaires pour gérer une variété d'appareils et répondre à vos besoins en matière d'automatisation. Sa structure compacte, sa configuration souple et son important jeu d'instructions en font une solution idéale pour contrôler diverses applications. La CPU intègre, entre autres, les éléments suivants dans un boîtier compact pour créer un système d'automatisation robuste :

- Un microprocesseur
- Une alimentation intégrée
- Des circuits d'entrée et de sortie
- PROFINET intégré
- Des E/S Motion Control rapides

Une fois que le programme est chargé, la CPU contient la logique nécessaire pour contrôler et commander les appareils dans votre application. Elle surveille les entrées et ajuste les sorties en fonction de la logique de votre programme utilisateur, qui peut inclure des instructions booléennes, des instructions de comptage, des instructions de temporisation, des instructions mathématiques complexes, des instructions de Motion Control, ainsi que des commandes pour communiquer avec d'autres appareils intelligents.

La CPU fournit également un port PROFINET pour la communication via un réseau PROFINET. De plus, des modules supplémentaires sont disponibles pour la communication via d'autres réseaux et protocoles : PROFIBUS, GPRS, LTE, WAN, RS485, RS232, RS422, IEC, DNP3, USS, MODBUS.

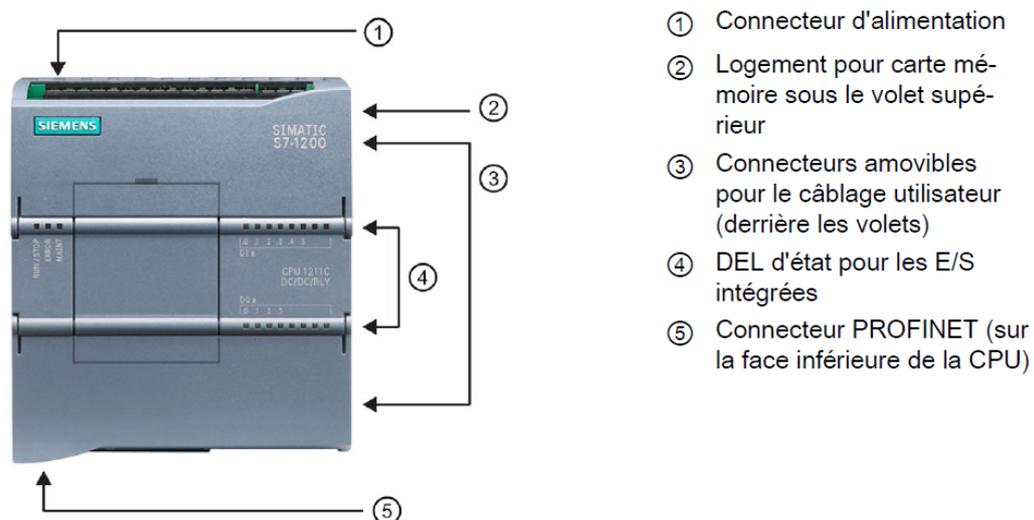


Figure 1. 17 : Représentation de l'automate s7-1200.

## I.10 Concepts concernant les automates programmables :

La CPU fournit les types suivants de blocs de code qui permet de créer une structure efficace pour le programme utilisateur :

**Les blocs d'organisation (OB) :** sont essentiel dans la structuration des programmes. Certains OB sont dotés d'événements déclencheurs et d'un comportement prédéfini, mais il est également possible de créer des OB avec des événements déclencheurs personnalisés. Cette approche permet une flexibilité accrue dans la conception et la gestion des programmes d'automatisation.

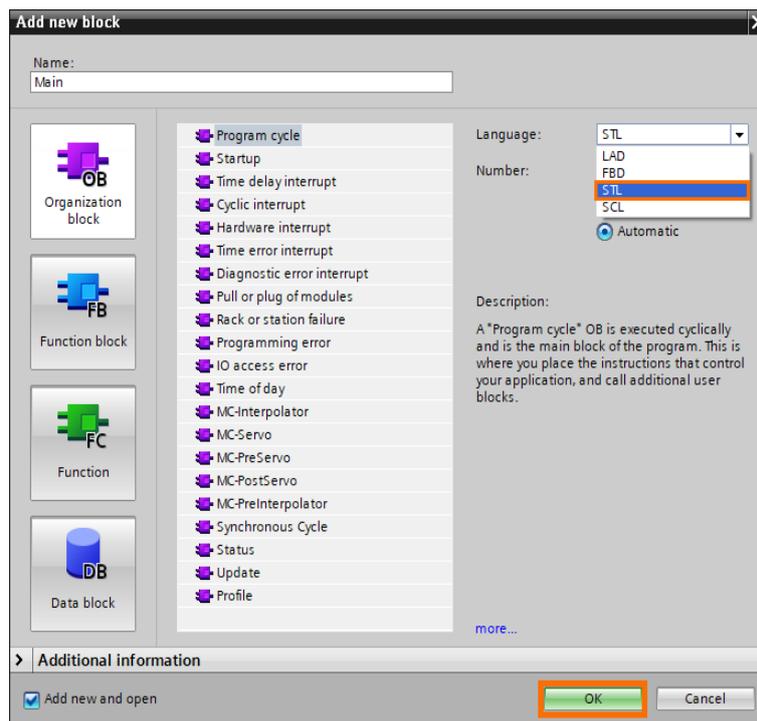


Figure 1. 18 : Type de blocs de programmation des API.

**Les fonctions (FC) et blocs fonctionnels (FB) :** renferment le code de programme correspondant à des tâches spécifiques ou à des combinaisons de paramètres. Chaque FC ou FB fournit un ensemble de paramètres d'entrée et de sortie pour partager des données avec le bloc appelant. De plus, un FB utilise un bloc de données associé, appelé **DB d'instance**, pour conserver les valeurs de données spécifiques à cette instance d'appel du FB. Il est possible d'appeler un FB plusieurs fois, chaque fois avec un DB d'instance unique. L'utilisation de différents DB d'instance pour appeler le même FB n'affecte pas les valeurs de données dans les autres DB d'instance. Cette approche offre une grande flexibilité dans la conception et la gestion des programmes d'automatisation.

**Les blocs de données (DB) :** mémorisent des données qui peuvent être utilisées par les blocs de programme.

L'exécution du programme utilisateur débute par un ou plusieurs blocs d'organisation (OB) de démarrage optionnel qui s'exécutent une fois lors du passage à l'état MARCHE. Ils sont ensuite suivis par un ou plusieurs OB du cycle de programme qui s'exécutent de manière cyclique.

Il est possible d'associer un OB à un événement d'alarme (qu'il s'agisse d'un événement standard ou d'une erreur). Ces OB s'exécutent chaque fois que l'événement correspondant se produit.

De plus, une fonction (FC) ou un bloc fonctionnel (FB) est un ensemble de code pouvant être appelé depuis un OB, un autre FB ou un autre FC, en respectant les profondeurs d'imbrication spécifiées. Cette approche offre une grande flexibilité dans la conception et la gestion des programmes d'automatisation.

- 16 en cas d'appel depuis l'OB de cycle de programme ou de démarrage.
- 06 en cas d'appel depuis un OB d'alarme associé à un événement.

**Remarque :** Les programmes de sécurité utilisent deux niveaux d'imbrication. Le programme utilisateur a donc une profondeur d'imbrication de quatre dans les programmes de sécurité.

Dans le contexte de l'automatisation S7-1200, les fonctions de contrôle (FC) ne sont pas spécifiquement associées à un bloc de données (DB), tandis que les blocs de fonction (FB) sont directement liés à un DB pour la transmission des paramètres et le stockage des valeurs intermédiaires et des résultats. La taille du programme utilisateur, des données et de la configuration est restreinte par la mémoire de chargement et la mémoire de travail disponibles dans la CPU. Bien qu'il n'y ait pas de limite spécifique au nombre de blocs de chaque type (OB, FC, FB ou DB), le nombre total de blocs est limité à 1024. Chaque cycle d'opération comprend l'écriture dans les sorties, la lecture des entrées, l'exécution des instructions du programme utilisateur et l'exécution du traitement d'arrière-plan, ce qui est parfois appelé cycle d'exploration.

La solution d'automatisation peut comprendre un châssis central contenant la CPU S7-1200 et des modules supplémentaires. Les modules (SM, SB, BB, CB, CM ou CP) sont détectés et pris en compte uniquement lors de la mise sous tension. Le terme "châssis central" fait référence au châssis ou au panneau d'installation de la CPU et des modules associés.

## I.11 Communication :

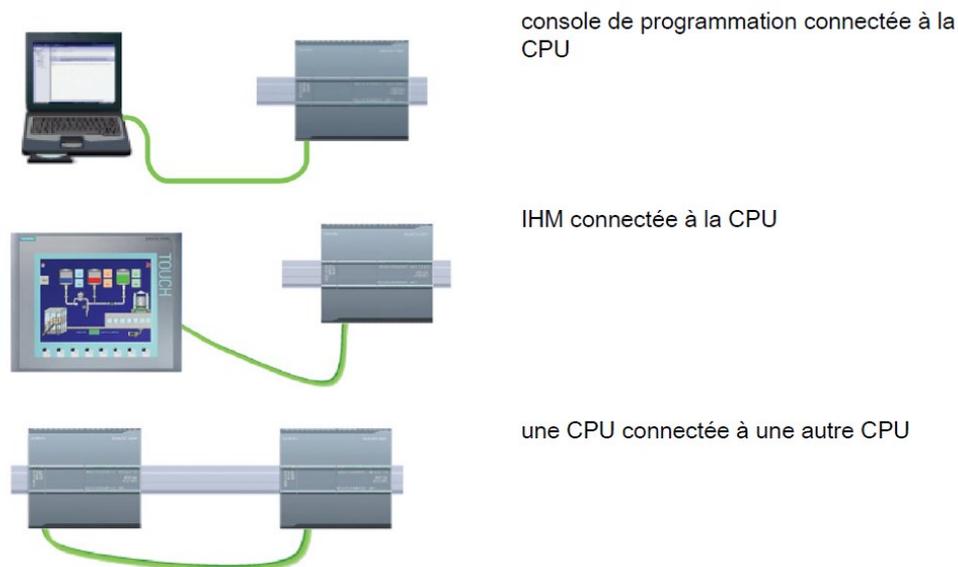
Le S7-1200 offre plusieurs types de communication entre les CPU et les consoles de programmation, IHM et autres CPU.

### PROFINET :

PROFINET est utilisé pour l'échange de données par le biais du programme utilisateur avec d'autres partenaires de communication via Ethernet :

- Dans le S7-1200, PROFINET prend en charge 16 périphériques ES avec 256 sous modules au maximum, et PROFIBUS autorise 3 maîtres PROFIBUS DP indépendants, prenant en charge 32 esclaves par maître DP, avec 512 modules au maximum par maître DP.

- Communication S7
- User Datagram Protocol (UDP)
- ISO sur TCP (RFC 1006)
- Transport Control Protocol (TCP)

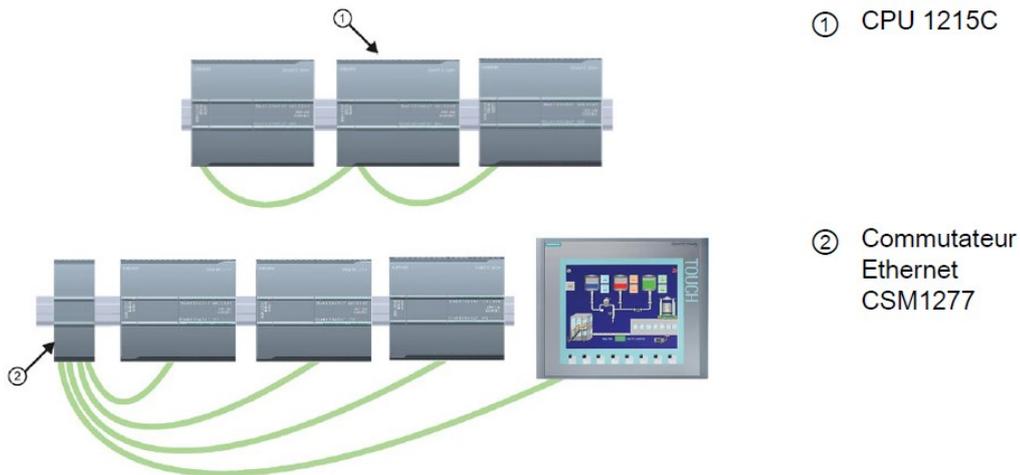


**Figure 1. 19 : Communication PROFINET.**

La CPU peut communiquer avec d'autres CPU, avec des consoles de programmation, avec des appareils IHM et avec des appareils non Siemens utilisant des protocoles de communication TCP standard.

### Commutation Ethernet :

Les CPU 1211C, 1212C et 1214C ont un port Ethernet unique et ne comprennent pas de commutateur Ethernet intégré. Une connexion directe entre une console de programmation ou une IHM et une CPU ne nécessite pas de commutateur Ethernet. Toutefois, un commutateur Ethernet est obligatoire pour un réseau comportant plus de deux CPU ou appareils IHM.



**Figure 1. 20 : Commutation Ethernet.**

La CPU 1215C et la CPU 1217C comprennent un commutateur Ethernet intégré à 2 ports. La CPU 1215C peut avoir un réseau avec deux autres CPU S7-1200. Ils permettent d'utiliser le commutateur Ethernet à 4 ports CSM1277, monté sur châssis, pour connecter plusieurs CPU et appareils IHM.

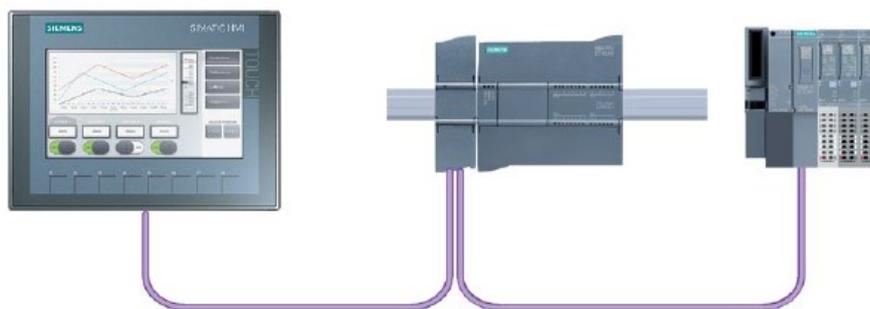
**Contrôleur PROFINET IO :**

En tant qu'automate d'E/S utilisant PROFINET IO, la CPU communique avec 16 périphériques PN au plus sur le réseau PN local ou via un coupleur (link) PN/PN.

**PROFIBUS :**

PROFIBUS est utilisé pour l'échange de données par le biais du programme utilisateur avec d'autres partenaires de communication via le réseau PROFIBUS :

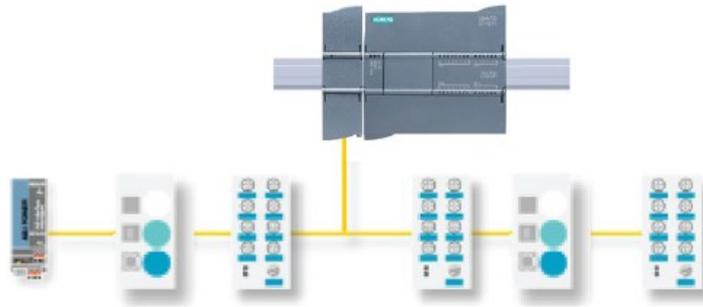
- Avec le CM 1242-5, la CPU fonctionne en tant qu'esclave PROFIBUS DP.
- Avec le CM 1243-5, la CPU fonctionne en tant que maître PROFIBUS DP de classe 1.
- Les esclaves PROFIBUS DP, maîtres PROFIBUS DP et interfaces AS-i (les trois modules de communication du côté gauche) et PROFINET sont des réseaux de communications indépendants qui ne se limitent pas les uns les autres.



**Figure 1. 21 : Communication PROFIBUS.**

**AS-i :**

Le module CM 1243-2 maître AS-i S7-1200 permet le raccordement d'un réseau interface AC à une CPU S7-1200.



**Figure 1. 22 : Communication AS-i.**

**Communication CPU à CPU S7 :**

Vous pouvez créer une connexion de communication sur une station partenaire et utiliser les instructions GET et PUT pour communiquer avec des CPU S7.

**Communication Téléservice :**

Avec Téléservice via GPRS, une station d'ingénierie sur laquelle STEP7 est installée communique via le réseau GSM et Internet avec une station SIMATIC S7-1200 munie d'un CP1242-7. La liaison passe par un serveur TeleControl qui sert d'intermédiaire et qui est connecté à Internet.

**IO-Link :**

Le maître S7-1200 SM 1278 4xIO-Link active des périphériques IO-Link pour se connecter à un S7-1200 CPU. [14]

**I.12 Langages de programmation d'un API :**

Les interfaces de programmation d'API offrent une flexibilité et une réutilisabilité essentielles dans le développement logiciel, ce qui signifie qu'un même automate peut être utilisé pour diverses applications. Il suffit de modifier le programme contenu dans l'API pour adapter son comportement. Un programme est une séquence d'instructions qui, lorsqu'elles sont formulées correctement, permettent l'exécution des opérations nécessaires au bon fonctionnement du système.

La norme industrielle CEI 61131-3 définit plusieurs langages de programmation pour les automates programmables industriels :

**LD (Ladder Diagram) - Le langage à contacts :** Il se base sur une approche visuelle évoquant des schémas électriques.

**IL (Instruction List) - Les listes d'instructions :** Ce langage est très proche du langage informatique dit assembleur.

**FBD (Function Block Diagram) - Les diagrammes de schémas fonctionnels :** C'est un langage graphique qui permet la construction d'équations complexes.

**ST (Structured Text) - Le texte structuré :** Il s'agit d'un langage textuel de haut niveau qui est utilisé pour décrire des procédures complexes.

**SFC (Sequential Function Charts) - Les graphes de fonction séquentielle :** Ce langage est dérivé du langage GRAFCET.

### I.12.1 Langage ladder (LD) :

Le langage LD (ladder Diagram) est une représentation graphique d'équations booléennes combinant des contacts (en entrée) et des relais (en sortie). Il permet la manipulation de données booléennes, à l'aide de symboles graphiques organisés dans un diagramme comme les éléments d'un schéma électrique à contacts. Les diagrammes LD sont limités à gauche et à droite par des barres d'alimentation. [62]

#### I.12.1.1 Le Principe de Fonctionnement du Diagramme Ladder :

Le Diagramme Ladder est un type de langage graphique utilisé pour les systèmes de contrôle automatique. Il est employé depuis longtemps, remontant à la Seconde Guerre mondiale. À ce jour, c'est le langage le plus ancien et le plus populaire pour les systèmes de contrôle automatique. À l'origine, seuls quelques éléments de base étaient disponibles, tels que le contact A (Normalement Fermé), le contact B (Normalement Ouvert), la bobine de sortie, les temporisateurs et les compteurs. Ce n'est qu'avec l'apparition des automates programmables basés sur microprocesseur que de nouveaux éléments pour les diagrammes Ladder, tels que les contacts différentiels, les bobines rémanentes et d'autres instructions que les systèmes conventionnels ne pouvaient pas fournir, sont devenus disponibles.

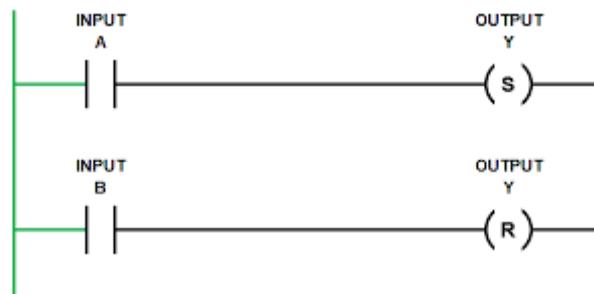


Figure 1. 23 : Diagramme Ladder.

Le principe de fonctionnement de base des diagrammes Ladder, qu'ils soient conventionnels ou pour API, est le même. La différence entre les deux systèmes réside dans la représentation des symboles : pour les diagrammes Ladder conventionnels, les symboles sont plus proches des dispositifs réels, tandis que pour les systèmes API, les symboles sont simplifiés pour un affichage sur ordinateur. Il existe deux types de systèmes logiques pour les diagrammes Ladder : la logique combinatoire et la logique séquentielle. [63]

### **I.13 Le dispositif de programmation et l'interface homme-machine :**

En dehors d'API lui-même, deux composants sont essentiels : le dispositif de programmation et l'interface homme-machine (IHM). Le dispositif de programmation peut être un ordinateur de bureau, un ordinateur portable ou un instrument portatif du même fabricant. Certains petits API ont même des boutons à l'avant qui permettent de programmer des opérations logiques très basiques sans avoir besoin d'un ordinateur.

Tandis que le dispositif de programmation permet à l'utilisateur de visualiser et de modifier le code s'exécutant sur l'API, l'IHM fournit une méthode pour afficher des informations et obtenir des entrées, modélisant ainsi le système de contrôle dans son ensemble. Les IHM ne fournissent généralement pas de moyen de modifier le programme logique. [9]



**Figure 1. 24 : interface homme machine.**

## **I.14 Conclusion :**

Les Automates Programmables Industriels (API) sont des outils majeurs dans le domaine de l'automatisation industrielle et pour les entreprises modernes. Ils permettent de contrôler avec précision et efficacité une grande variété de processus, rendant ainsi les entreprises plus compétitives et rentables.

Grâce à l'intégration de technologies avancées comme l'IOT et l'IA, les API continuent d'évoluer et de gagner en popularité, promettant d'amener l'automatisation industrielle vers de nouveaux sommets. Cependant, il est nécessaire de relever les défis liés à la cybersécurité et à la compétence technique pour maximiser leur potentiel. En prenant un rôle important dans la transformation numérique des entreprises, l'avenir des API est brillant et leur fonction dans l'optimisation des processus industriels est destinée à se renforcer encore davantage. Leur adoption est donc essentielle pour rester compétitif dans un environnement commercial en constante évolution.

*Chapitre II :*  
La Supervision  
Industrielle

## **II. La supervision industrielle**

### **II.1 Introduction :**

Dans le monde de plus en plus complexe et numérisé d'aujourd'hui, les réseaux électriques servent de composant d'infrastructure critique. Ces réseaux sont composés de systèmes électriques interconnectés qui sont responsables de la génération, du transport et de la livraison de l'énergie électrique aux consommateurs. Essentielles à la fonctionnalité et à la fiabilité de ces systèmes est l'intégration de technologies de contrôle et de surveillance sophistiquées, y compris la Technologie Opérationnelle (OT), les Systèmes de Contrôle Industriel (ICS) et les Systèmes d'Acquisition de Données et de Contrôle Supervisé (SCADA). [15]

Historiquement, les systèmes de contrôle dans diverses industries, y compris l'industrie électrique, étaient principalement mécaniques ou pneumatiques. Cependant, l'évolution vers des systèmes informatisés a marqué des avancées significatives. Le rôle de l'OT est de gérer les opérations industrielles, avec les ICS comme sous-ensemble qui surveille et contrôle des processus. SCADA, fournissant des interfaces utilisateur graphiques, est spécifiquement axé sur le contrôle supervisé et la collecte de données, améliorant encore l'efficacité opérationnelle. [16]

Les opérations de réseau électrique moderne reposent fortement sur un ensemble complexe de réseaux et de systèmes informatiques. En comprenant et en abordant la dynamique complexe de ces systèmes, nous pouvons assurer la livraison ininterrompue et efficace de l'électricité, essentielle pour soutenir les tissus socio-économiques de la société contemporaine. Les systèmes de supervision permettent aux opérateurs de recevoir des mises à jour en temps réel et de contrôler à distance les processus surveillés. Avec l'évolution des interfaces homme-machine, le rôle des opérateurs est passé d'une opération directe à un contrôle supervisé. Pour optimiser la performance homme-machine, ces systèmes nécessitent une présentation dynamique des informations, une organisation efficace et une sélection pertinente des données. [17]

La communauté de surveillance scientifique et opérationnelle est confrontée au défi de comprendre des systèmes de contrôle numérique de plus en plus sophistiqués. Il est essentiel de reconnaître que les perturbations dans un réseau électrique peuvent entraîner de graves conséquences sociétales, économiques et politiques donc elle a poussée à approfondir l'analyse et la discussion robuste de ces réseaux. Cela implique d'examiner la diversité de conception, les comportements opérationnels et les protocoles de communication fondamentaux qui soutiennent la fiabilité et la sécurité de ces systèmes.

L'audit et la maintenance de ces systèmes posent des défis uniques en raison de leur complexité et de la nature critique des environnements qu'ils contrôlent. Cette complexité nécessite un cadre de

système d'information coopératif pour soutenir les opérateurs humains, transcendant les solutions automatisées traditionnelles pour améliorer la prise de décision et la compréhension opérationnelle.

## **II.2 Définition de système de contrôle industriel :**

Système de contrôle industriel (ICS) est un terme général qui englobe plusieurs types de systèmes de contrôle, y compris les systèmes de contrôle et d'acquisition de données (SCADA), les systèmes de contrôle distribués (DCS), et d'autres configurations de système de contrôle plus petites telles que les automates programmables industriels (API) montés sur patins souvent trouvés dans les secteurs industriels et les infrastructures critiques. Les ICS sont généralement utilisées dans des industries telles que l'électricité, l'eau, la chimie, le transport, la pharmaceutique, le papier, l'alimentation et les boissons, et la fabrication discrète (par exemple : l'automobile, l'aérospatiale et les biens durables).

À l'origine, les Systèmes d'Information et de Contrôle (ICS) avaient peu de points communs avec les systèmes informatiques classiques car ils étaient des systèmes isolés utilisant des protocoles de contrôle propriétaires avec du matériel et des logiciels spécialisés. Cependant, avec l'évolution vers l'usage de technologies standard et l'intégration d'Internet, ils commencent à intégrer des éléments typiques des systèmes informatiques, augmentant ainsi leur vulnérabilité aux cyberattaques. La modernisation apporte des avantages en termes de connectivité et de fonctionnalités, mais réduit la protection contre les interférences extérieures, nécessitant des mesures de sécurité renforcées et souvent spécifiques. Les caractéristiques uniques des ICS, telles que leur impact direct sur le monde physique et leurs exigences en termes de performance et de fiabilité, demandent une attention particulière, surtout quand les aspects de sécurité peuvent entrer en conflit avec les objectifs de sûreté et d'efficacité. L'augmentation des risques de sécurité, notamment à travers les réseaux sans fil et les menaces externes diversifiées, souligne l'importance cruciale de protéger l'intégrité et la disponibilité des systèmes ICS tout en ne négligeant pas les enjeux de confidentialité. [18]

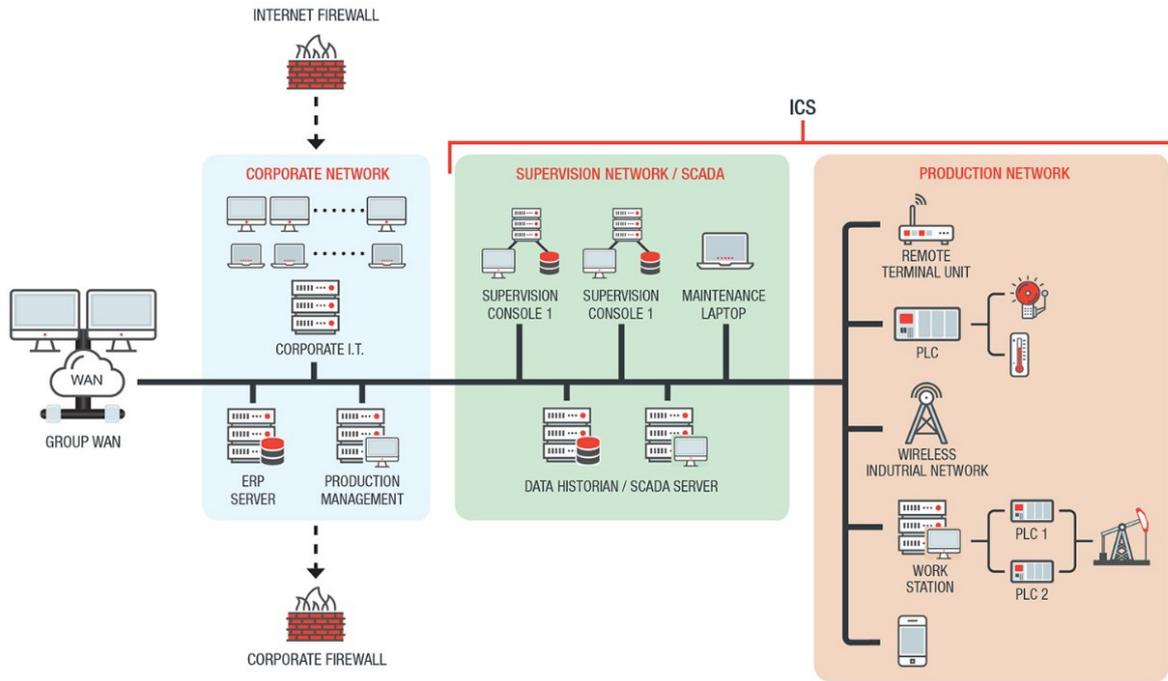


Figure 2. 1 : système de contrôle industriel. [19]

### II.3 Fonctionnement des ICS :

Le fonctionnement de base d'un ICS repose sur plusieurs composants clés, incluant les éléments suivants :

**Boucle de contrôle :** Une boucle de contrôle est composée de capteurs pour la mesure, de matériel de contrôle tel que des APIs, d'actionneurs tels que des vannes de régulation, des disjoncteurs, des interrupteurs et des moteurs, et de la communication des variables. Les variables contrôlées sont transmises au contrôleur par les capteurs. Le contrôleur interprète les signaux et génère des variables manipulées correspondantes, basées sur des consignes, qu'il transmet aux actionneurs. Les changements de processus dus aux perturbations résultent en de nouveaux signaux de capteurs, identifiant l'état du processus, pour être à nouveau transmis au contrôleur.

**Interface Homme-Machine (IHM) :** Les opérateurs et les ingénieurs utilisent les IHM pour configurer les consignes, les algorithmes de contrôle, et ajuster et établir les paramètres dans le contrôleur. L'IHM affiche également les informations sur l'état du processus et les informations historiques.

**Utilitaires de Diagnostic et de Maintenance à Distance :** Les utilitaires de diagnostic et de maintenance sont utilisés pour prévenir, identifier et récupérer des défaillances.

Un ICS typique contient une prolifération de boucles de contrôle, d'IHM, et d'outils de diagnostic et de maintenance à distance construits en utilisant un éventail de protocoles de réseau sur des architectures de réseau superposées. Parfois, ces boucles de contrôle sont imbriquées et/ou en

cascade où le point de consigne pour une boucle est basé sur la variable de processus déterminée par une autre boucle. Les boucles de niveau de supervision et les boucles de niveau inférieur fonctionnent continuellement pendant la durée d'un processus avec des temps de cycle allant de l'ordre de millisecondes à des minutes.

## **II.4 Composants clés des ICS :**

Cette partie définit les composants clés des ICS utilisés dans le contrôle et la mise en réseau. Certains de ces composants peuvent être décrits de manière générique pour une utilisation dans les systèmes SCADA, les DCS et les API, tandis que d'autres sont spécifiques à l'un d'eux.

### **II.4.1 Les composants de contrôle :**

**Serveur de Contrôle :** Le serveur de contrôle héberge le logiciel de contrôle supervisé DCS ou PLC conçu pour communiquer avec des dispositifs de contrôle de niveau inférieur. Le serveur de contrôle accède aux modules de contrôle subordonnés via un réseau ICS.

**Serveur SCADA ou Unité Terminale Maître (MTU) :** Le serveur SCADA est l'appareil qui agit comme le maître dans un système SCADA. Les unités terminales distantes et les dispositifs API situés sur des sites éloignés agissent généralement comme des esclaves.

**Unité Terminale Distant (RTU) :** Le RTU, également appelé unité de télémétrie distante, est une unité spéciale d'acquisition de données et de contrôle conçue pour soutenir les stations distantes SCADA. Les RTUs sont des dispositifs de terrain souvent équipés d'interfaces radio sans fil pour soutenir des situations éloignées où les communications basées sur des fils ne sont pas disponibles. Parfois, les APIs sont mis en œuvre comme dispositifs de terrain pour servir de RTUs, dans ce cas, l'API est souvent désignée comme un RTU.

**Automate Programmable Industriel (API) :** L'API est un petit ordinateur industriel initialement conçu pour effectuer les fonctions logiques exécutées par le matériel électrique (relais, commutateurs à tambour et compteurs/minuteurs mécaniques). Les APIs ont évolué en contrôleurs capables de contrôler des processus complexes, et ils sont largement utilisés dans les systèmes SCADA et les DCS. D'autres contrôleurs utilisés au niveau du terrain sont les contrôleurs de processus et les RTUs ; ils fournissent le même contrôle que les APIs mais sont conçus pour des applications de contrôle spécifiques. Dans les environnements SCADA, les APIs sont souvent utilisés comme dispositifs de terrain car ils sont plus économiques, polyvalents, flexibles et configurables que les RTUs à usage spécifique.

**Dispositifs Électroniques Intelligents (IED) :** Un IED est un capteur/actionneur “intelligent” contenant l’intelligence nécessaire pour acquérir des données, communiquer avec d’autres dispositifs et effectuer un traitement et un contrôle locaux. Un IED pourrait combiner un capteur d’entrée analogique, une sortie analogique, des capacités de contrôle de bas niveau, un système de communication et une mémoire de programme en un seul dispositif. L’utilisation des IEDs dans les systèmes SCADA et DCS permet un contrôle automatique au niveau local.

**Interface Homme-Machine (IHM) :** L’IHM est un logiciel et un matériel qui permettent aux opérateurs humains de surveiller l’état d’un processus sous contrôle, de modifier les paramètres de contrôle pour changer l’objectif de contrôle et de passer outre les opérations de contrôle automatiques en cas d’urgence. L’IHM permet également à un ingénieur de contrôle ou à un opérateur de configurer des points de consigne ou des algorithmes et paramètres de contrôle dans le contrôleur. L’IHM affiche également des informations sur l’état du processus, des informations historiques, des rapports et d’autres informations aux opérateurs, administrateurs, gestionnaires, partenaires commerciaux et autres utilisateurs autorisés. L’emplacement, la plateforme et l’interface peuvent varier considérablement. Par exemple, un IHM pourrait être une plateforme dédiée dans le centre de contrôle, un ordinateur portable sur un LAN sans fil ou un navigateur sur n’importe quel système connecté à Internet.

**L’historien des données :** L’historien de données est une base de données centralisée pour enregistrer toutes les informations de processus au sein d’un ICS. Les informations stockées dans cette base de données peuvent être consultées pour soutenir diverses analyses, du contrôle de processus statistique à la planification au niveau de l’entreprise.

**Serveur Entrée/Sortie (IO) :** Le serveur IO est un composant de contrôle responsable de la collecte, du tamponnage et de la mise à disposition d’informations de processus provenant de sous-composants de contrôle tels que les APIs, les RTUs et les IEDs. Un serveur IO peut résider sur le serveur de contrôle ou sur une plateforme informatique séparée. Les serveurs IO sont également utilisés pour l’interface avec des composants de contrôle tiers, tels qu’un HMI et un serveur de contrôle.

## **II.4.2 Les composants de Réseau :**

Il existe différentes caractéristiques de réseau pour chaque couche au sein d’une hiérarchie de système de contrôle. Les topologies de réseau à travers différentes mises en œuvre de Systèmes de Contrôle Industriel (SCI) varient, les systèmes modernes utilisant des stratégies d’intégration IT basées sur Internet et d’entreprise. Les réseaux de contrôle ont fusionné avec les réseaux d’entreprise pour permettre aux ingénieurs de surveiller et de contrôler les systèmes depuis l’extérieur du réseau de système de contrôle. La connexion peut également permettre aux décideurs au niveau de

l'entreprise d'obtenir un accès aux données de processus. Voici une liste des principaux composants d'un réseau SCI, indépendamment des topologies de réseau utilisées :

**Réseau Fieldbus :** Le réseau fieldbus relie les capteurs et autres dispositifs à un PLC ou à un autre contrôleur. L'utilisation des technologies fieldbus élimine le besoin de câblage point à point entre le contrôleur et chaque dispositif. Les capteurs communiquent avec le contrôleur fieldbus en utilisant un protocole spécifique. Les messages envoyés entre les capteurs et le contrôleur identifient de manière unique chacun des capteurs.

**Réseau de Contrôle :** Le réseau de contrôle connecte le niveau de contrôle de supervision aux modules de contrôle de niveau inférieur.

**Routeurs de Communication :** Un routeur est un dispositif de communication qui transfère les messages entre deux réseaux. Les utilisations courantes pour les routeurs incluent la connexion d'un LAN à un WAN, et la connexion des MTU et RTU à un support de réseau à longue distance pour la communication SCADA.

**Pare-feu :** Un pare-feu protège les dispositifs sur un réseau en surveillant et en contrôlant les paquets de communication en utilisant des politiques de filtrage prédéfinies. Les pare-feux sont également utiles dans la gestion des stratégies de ségrégation de réseau SCI.

**Modems :** Un modem est un dispositif utilisé pour convertir entre des données numériques sérieelles et un signal adapté à la transmission sur une ligne téléphonique pour permettre aux dispositifs de communiquer. Les modems sont souvent utilisés dans les systèmes SCADA pour permettre des communications sérieelles à longue distance entre les MTU et les dispositifs de terrain éloignés. Ils sont également utilisés dans les systèmes SCADA, les DCS et les PLC pour obtenir un accès à distance pour des fonctions opérationnelles telles que l'entrée de commande ou la modification de paramètres, et à des fins de diagnostic.

**Points d'Accès à Distance :** Les points d'accès à distance sont des dispositifs, des zones et des emplacements distincts d'un réseau de contrôle pour configurer à distance les systèmes de contrôle et accéder aux données de processus. Des exemples incluent l'utilisation d'un assistant numérique personnel (PDA) pour accéder aux données via un LAN par le biais d'un point d'accès sans fil, et l'utilisation d'un ordinateur portable et d'une connexion modem pour accéder à distance à un ICS.

## II.5 Types de systèmes de contrôle :

Il existe deux types principaux de systèmes de contrôle :

### II.5.1 Les systèmes de contrôle distribué (DCS) :

Un DCS est un système utilisé pour contrôler des systèmes de production situés dans un même emplacement. Dans un DCS, un point de consigne est envoyé au contrôleur, qui est capable de commander des actionneurs, afin de fonctionner de manière à maintenir le point de consigne souhaité. Les données du terrain peuvent être soit stockées pour référence future, utilisées pour un contrôle de processus simple, ou même exploitées pour des stratégies de contrôle avancées avec des données provenant d'une autre partie de l'usine. Chaque DCS utilise une boucle de contrôle centralisée pour gérer plusieurs contrôleurs locaux ou dispositifs faisant partie du processus de production global. Cela permet aux industries d'accéder rapidement aux données de production et d'exploitation. En utilisant plusieurs dispositifs dans le processus de production, un DCS peut réduire l'impact d'une seule défaillance sur l'ensemble du système. Les DCS sont également couramment utilisés dans des secteurs tels que la fabrication, la production d'énergie électrique, la fabrication chimique, ainsi que le traitement de l'eau et des eaux usées.



Figure 2. 2 : Distributed control system.

#### Caractéristiques principales :

*Centralisation des opérations* : Bien que le terme "distribué" suggère une dispersion, le DCS centralise la gestion du contrôle dans un système pour assurer la cohérence et la facilité de maintenance.

*Contrôle en temps réel* : Le DCS offre un contrôle précis et en temps réel sur le processus de production, optimisant ainsi l'efficacité et la réactivité face aux variations des conditions de processus.

*Haute fiabilité* : Les architectures DCS sont souvent conçues avec des redondances et des capacités de tolérance aux pannes pour minimiser les interruptions de processus.

*Applications typiques* : Les DCS sont largement utilisés dans les industries où la précision et l'intégrité des processus sont critiques, telles que les industries chimiques, pharmaceutiques, et alimentaires.

## **II.5.2 Les systèmes SCADA :**

SCADA n'est pas un système qui peut fournir un contrôle complet. Au contraire, ses capacités se concentrent sur la fourniture d'un contrôle au niveau de supervision. Les systèmes SCADA sont composés de dispositifs (généralement des automates programmables (PLC) ou d'autres modules matériels commerciaux) qui sont distribués à divers endroits. Les systèmes SCADA peuvent acquérir et transmettre des données, et sont intégrés à une Interface Homme-Machine (IHM) qui offre une surveillance et un contrôle centralisés pour de nombreuses entrées et sorties de processus.

L'objectif principal de l'utilisation de SCADA est la surveillance et le contrôle à distance de sites de terrain via un système de contrôle centralisé. Au lieu que des travailleurs aient à parcourir de longues distances pour effectuer des tâches ou recueillir des données, un système SCADA peut automatiser cette tâche. Les dispositifs de terrain contrôlent les opérations locales telles que l'ouverture ou la fermeture de vannes et de disjoncteurs, la collecte de données à partir des systèmes de capteurs, et la surveillance de l'environnement local pour les conditions d'alarme.

Les systèmes SCADA sont couramment utilisés dans les industries impliquant la surveillance et le contrôle de pipelines, les centres de traitement et de distribution d'eau, ainsi que la transmission et la distribution d'énergie électrique. [19]

### **Caractéristiques principales :**

*Surveillance à distance* : SCADA permet aux opérateurs de surveiller et de contrôler les processus à distance, ce qui est crucial pour les infrastructures étendues.

*Acquisition de données* : Ce système collecte des données en continu à partir de capteurs situés dans différents sites, permettant une analyse et une réponse rapide aux conditions changeantes. [3]

*Interface utilisateur graphique* : Les systèmes SCADA fournissent des interfaces visuelles (GUI) qui affichent des graphiques, des diagrammes et des alarmes pour aider les opérateurs à comprendre rapidement l'état du système.

*Applications typiques* : Les systèmes SCADA sont souvent utilisés dans les secteurs de l'eau, de l'énergie, du pétrole et du gaz, où il est essentiel de surveiller et de contrôler des opérations étendues et complexes. [20]

## **II.6 Les systèmes SCADA :**

### **II.6.1 Définition :**

SCADA est l'acronyme de "Supervision, Contrôle et Acquisition de Données". Ce terme désigne une architecture de système de contrôle utilisée pour relier des dispositifs en réseau dans des systèmes cyber-physiques (CPS) nécessitant une surveillance et un contrôle en temps réel, souvent depuis un site distant. On trouve généralement les systèmes SCADA dans les infrastructures de contrôle industriel, comme dans les secteurs de la production et de la distribution d'énergie. Ces systèmes incluent des capteurs et actionneurs pour le suivi et le contrôle des composantes physiques du CPS, ainsi que des dispositifs numériques pour exécuter des programmes d'automatisation, surveiller le système, et communiquer l'information aux opérateurs distants, et des interfaces homme-machine qui permettent aux opérateurs de visualiser les données du système et d'émettre des commandes au besoin. Les systèmes SCADA fonctionnent principalement à distance et s'appuient sur l'automatisation numérique.

Depuis sa création dans les années 1960, les systèmes SCADA commençant par l'industrie électrique et ont subi une transformation extensive. Fonctionnant initialement sur des réseaux simples basés sur des relais, ces systèmes ont avancé pour utiliser des communications numériques élevées, y compris des protocoles standard de l'industrie tels que Modbus/TCP et IEC 60870-5-104, assurant une surveillance et un contrôle en temps réel à travers de vastes localités géographiques. Peu à peu, elles ont été intégrées dans d'autres industries pendant les années 1970, période à laquelle le terme SCADA a émergé. L'objectif de conception était de convertir tous les paramètres en signaux électriques avant leur transmission par câbles au centre de commande. Cette pratique s'est poursuivie, mais le signal est maintenant converti en signal numérique à l'aide d'un convertisseur analogique-numérique (CAN), qui est intégré soit en tant que partie du contrôleur logique programmable (PLC) soit le capteur lui-même possède une unité intégrée de sorte que cette logique soit accomplie et intégrée dans le réseau. Il existe cinq langages de programmation pour programmer un PLC selon la norme IEC 61,131-3 : Schéma à barreaux, Graphes de séquences fonctionnelles, Schéma de blocs fonctionnels, Texte structuré et Liste d'instructions. [21]

Ces systèmes ont évolué à travers trois générations. La première génération présentait une architecture monolithique avec des dispositifs numériques distants communiquant presque exclusivement avec un ordinateur central. Il n'y avait pas d'interconnexion ni de partage de données entre eux. La deuxième génération a vu l'émergence de réseaux distribués où plusieurs serveurs et interfaces communiquaient via un réseau local (LAN), mais seulement le serveur de communication principal interagissait avec le réseau de dispositifs numériques, souvent en utilisant des protocoles propriétaires. Ils nécessitent une infrastructure de télécommunications à grande échelle et s'appuient

sur des protocoles industriels pour établir un format de message prédéterminé et un ensemble de messages et de réponses. Les communications SCADA sont passées de la lente technologie de communication série analogique par téléphone/radio des années 1960 à la technologie de mise en réseau à haute vitesse de la fin des années 1990.

Les systèmes SCADA modernes adoptent une architecture ouverte, permettant à tous les dispositifs de communiquer au sein d'un réseau étendu (WAN) via des protocoles ouverts comme le protocole Internet (IP), facilitant ainsi la communication entre les nouveaux dispositifs numériques et les serveurs ainsi que les interfaces opérateurs distants. [22]

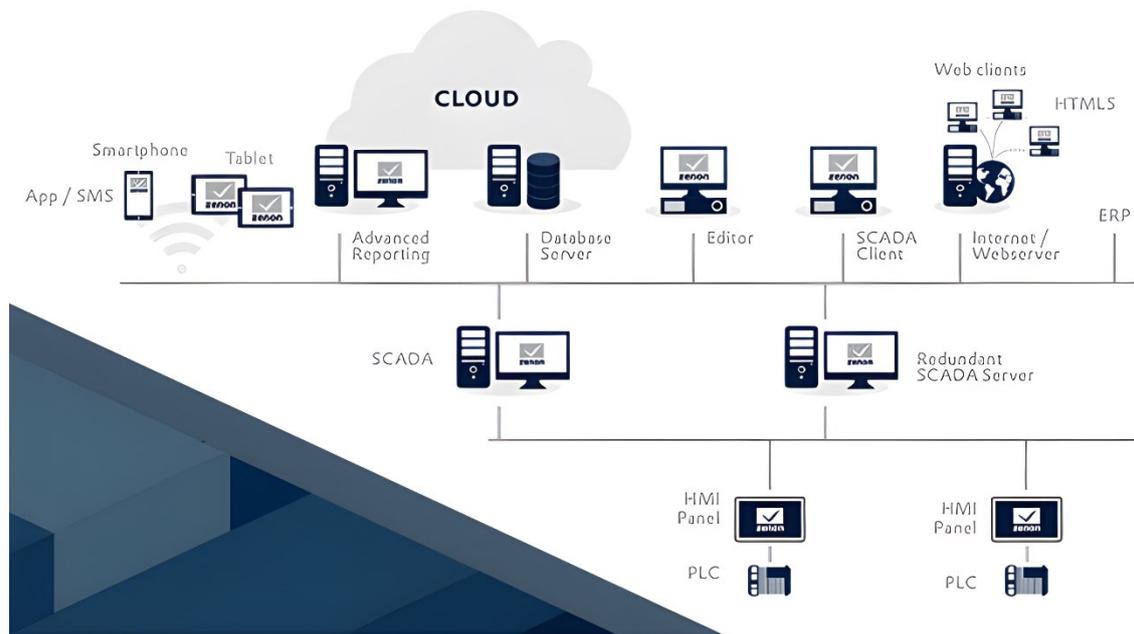


Figure 2. 3 : Description d'un Réseau SCADA complet. [81]

### II.6.2 Composants d'un système SCADA :

Un système SCADA est composé de plusieurs composants clés, chacun jouant un rôle crucial dans le fonctionnement global du système. Ces composants incluent des capteurs et des relais de commande, des Unités Terminales à Distance (RTU), des Contrôleurs Logiques Programmables (PLC), un réseau de communication et un ordinateur hôte central. Les capteurs et les relais de commande sont les dispositifs physiques qui interagissent avec le processus industriel. Ils collectent des données sur divers paramètres, tels que la température, la pression et le débit, et envoient ces données aux RTU ou API. Les RTU et API traitent ensuite ces données et les envoient à l'ordinateur hôte central via le réseau de communication.

**Capteurs et Relais de Commande :** Les capteurs et les relais de commande sont les yeux et les oreilles d'un système SCADA. Ils sont placés stratégiquement à travers le processus industriel pour surveiller divers paramètres. Les capteurs peuvent mesurer une large gamme de variables, y compris la température, la pression, le débit et l'humidité, entre autres. Les relais de commande, d'autre part, sont utilisés pour contrôler l'équipement, tel que les pompes, les moteurs et les vannes. Ces dispositifs sont essentiels au fonctionnement d'un système SCADA, car ils fournissent les données brutes que le système utilise pour surveiller et contrôler le processus industriel. Sans ces dispositifs, le système SCADA serait aveugle et sourd, incapable de recueillir les données nécessaires pour prendre des décisions éclairées.

**RTU et API :** Les Unités Terminales à Distance (RTU) et les Automates Programmables industriels (API) sont le cerveau d'un système SCADA. Ils reçoivent des données des capteurs et des relais de commande, traitent ces données, puis les envoient à l'ordinateur hôte central. Dans certains cas, ils peuvent également contrôler directement l'équipement, en fonction des données traitées. Les RTU et API sont généralement des dispositifs robustes, conçus pour fonctionner dans des environnements industriels difficiles. Ils sont capables de traiter de grandes quantités de données en temps réel, ce qui les rend critiques pour le fonctionnement d'un système SCADA.

**Réseau de Communication :** Le réseau de communication est l'épine dorsale d'un système SCADA. Il connecte tous les composants du système, leur permettant de communiquer les uns avec les autres. Ce réseau peut être câblé ou sans fil, en fonction des exigences spécifiques du processus industriel. Le réseau de communication doit être fiable et robuste, car toute perturbation dans la communication peut affecter le fonctionnement du système SCADA. Il doit également être sécurisé, pour protéger le système SCADA contre les menaces cybernétiques.

**Ordinateur Hôte Central :** L'ordinateur hôte central est le cœur d'un système SCADA. Il reçoit des données des RTU et PLC, traite ces données, puis les utilise pour contrôler le processus industriel. L'ordinateur hôte central fournit également une interface utilisateur, permettant aux opérateurs de surveiller et de contrôler le processus. L'ordinateur hôte central doit être suffisamment puissant pour traiter de grandes quantités de données en temps réel. Il doit également être fiable, car toute défaillance peut affecter le fonctionnement du système SCADA. [23]

**Interface Homme-Machine :** L'IHM est l'appareil qui présente les données recueillies à partir des RTU et des PLC à un opérateur humain, permettant à l'opérateur d'interagir avec le processus. L'IHM est l'Interface Graphique Utilisateur (GUI) du système SCADA, elle collecte les données des serveurs DA et les traite en rapports, graphiques, tendances, alarmes, notifications, etc. [21]

### **II.6.3 Théorie et application des système SCADA :**

Les réseaux SCADA sont plus hiérarchisés que les réseaux d'entreprise, avec des niveaux distincts pour les réseaux d'équipements de terrain, les réseaux de contrôleurs, les réseaux d'applications, les réseaux de supervision et d'autres connexions nécessaires selon le concepteur du système. L'équipement de terrain comprend les capteurs et les actionneurs associés aux composants physiques du CPS, qui surveillent et modifient directement la partie physique du CPS. Les niveaux supérieurs de la hiérarchie réseau sont composés de dispositifs de contrôle numérique, d'interfaces homme-machine (IHM), de serveurs de données et de tout autre dispositif utilisé pour opérer le CPS.

Ces dispositifs de contrôle numérique peuvent être désignés par différents noms : unités terminales distantes (RTU), systèmes de contrôle numérique (DCS) ou automates programmables industriels (API). Ces dispositifs sont utilisés pour surveiller les lectures des capteurs du système physique, envoyer des commandes aux actionneurs, exécuter des programmes d'automatisation du système et échanger des données avec les IHM.

Les protocoles de réseau couramment trouvés dans les réseaux SCADA incluent le protocole de réseau distribué 3 (DNP3), le réseau de terrain de processus (Profinet), Ethernet/IP et Modbus.

La nature des systèmes contrôlés par SCADA entraîne une criticité accrue en cas de défaillance du système. Les CPS contiennent de grands composants physiques, dont les défaillances peuvent entraîner des dommages matériels coûteux, des dommages environnementaux et la perte de vies humaines. Ces défaillances peuvent être le résultat d'erreurs système ou de comportements malveillants causés par des pirates ou d'autres individus ayant accès au système. Les erreurs du système SCADA peuvent inclure des défaillances réseau, des dysfonctionnements de pièces physiques, des fautes de programmation de contrôleurs numériques, et plus encore.

Les données SCADA peuvent être accessibles de l'extérieur du réseau du système pour permettre aux opérateurs de contrôler et de surveiller le système à distance. Cela entraîne des préoccupations supplémentaires en matière de sécurité, car l'accès externe présente une menace supplémentaire qui peut être exploitée par des acteurs malveillants. C'est un facteur contribuant à l'augmentation des tentatives d'attaques sur les systèmes SCADA au cours des 20 dernières années.

Un autre facteur aggravant le danger pour les systèmes SCADA est l'âge des dispositifs en réseau, en particulier les automates programmables industriels. Ces dispositifs n'ont pas été créés avec des mesures de sécurité à l'esprit, et beaucoup n'ont pas été mis à jour avec des logiciels plus récents. [22]

#### **II.6.4 Analyse et évaluation des SCADA :**

Selon l'Association de l'Audit et du Contrôle des Systèmes d'Information (ISACA) le cadre de sécurité SCADA comprend six domaines :

**Contrôles administratifs de gouvernance, de risque et de conformité :** Ces contrôles concernent les politiques, les normes, les règles et la gestion des exceptions. Les contrôles sont issus du cadre de Gouvernance, Risque et Conformité (GRC) et sont de nature non technique.

**Contrôles SCADA :** SCADA présente ses propres défis uniques tels que les problèmes de gestion de l'accessibilité et des correctifs discutés précédemment. Ils doivent également maintenir une séparation des réseaux. Ces exigences sont capturées dans le cadre des contrôles SCADA.

**Sécurité des données et des applications :** Les fournisseurs externes développent souvent des logiciels SCADA. Il est essentiel que le cycle de vie du développement des logiciels SCADA soit normalisé pour répondre aux directives de développement de logiciels. Les données des systèmes SCADA doivent être facilement accessibles et précises, et confidentielles. La sécurité des données aide à atténuer les risques liés aux données SCADA.

**Système d'assurance :** Le système SCADA dans son ensemble peut devoir être disponible. Des plans de continuité d'activité (BCP) et de reprise après sinistre (DRP) devront être mis en place pour garantir que l'entreprise continue de fonctionner en cas d'interruption inattendue.

**Contrôles de surveillance :** Les incidents SCADA devront être gérés de manière efficace et standardisée. De plus, les systèmes SCADA devront être continuellement surveillés pour détecter les menaces afin de s'assurer que les activités suspectes soient suivies.

**Gestion des intervenants externes :** Ces contrôles concernent la gestion des fournisseurs ayant accès aux systèmes SCADA. Des contrôles supplémentaires peuvent devoir être mis en place pour garantir que les fournisseurs n'abusent pas de leur accès administratif au système, intentionnellement ou par mégarde. De mauvais contrôles des tiers peuvent entraîner un accès non autorisé aux données ou une indisponibilité des données. [20]

#### **II.6.5 Communications des systèmes SCADA :**

Les communications correspondent au transfert de données ou d'informations d'un lieu à un autre. Pour que les communications aient lieu, plusieurs éléments doivent être réunis. Tout d'abord, un chemin de communication doit exister, un support doit être sélectionné pour le transport des données. Ensuite, un équipement doit être présent à l'extrémité émettrice du chemin de communication pour préparer les données et les mettre sous une forme pouvant être envoyée via le support de communication. De plus, un équipement doit exister à l'extrémité réceptrice du chemin pour extraire le message du support et en comprendre le sens.

**Les communications rendent le SCADA possible :** Un système SCADA se compose d'une ou plusieurs MTU (unités terminales maîtres) envoyant des instructions et recevant des données d'une ou plusieurs RTU (unités terminales distantes). Il est donc évident que les communications assurent une tâche essentielle dans le fonctionnement du système. L'installation de SCADA est généralement justifiée par l'éloignement du site et la difficulté ou le coût de sa gestion. Dans certains cas, il peut être dangereux, malsain ou désagréable pour une personne de se trouver sur un site. Dans la plupart des cas, il est simplement trop coûteux de maintenir un opérateur sur le site pendant de longues périodes ou même de visiter le site une fois par quart de travail ou par jour.

**La conversion analogique-numérique :** Toutes les données échangées entre les MTU et les RTU sont des données binaires. Elles peuvent être originellement binaires, comme l'état d'un interrupteur marche/arrêt, ou converties de la forme analogique à la forme numérique. Un bit représente un chiffre binaire, un registre à un bit, ou bascule, convertit l'état d'un système analogique en une sortie binaire. Cette conversion est cruciale pour le traitement des signaux dans les systèmes SCADA.

**Les communications à longue distance sont séries :** Dans un système SCADA, toutes les données échangées entre les MTU (unités terminales maîtres) et les RTU (unités terminales distantes) sont transmises de manière sérielle, c'est-à-dire qu'une chaîne de caractères binaires est envoyée successivement. À l'opposé de la transmission série, la transmission parallèle est utilisée à l'intérieur des ordinateurs et de ces derniers vers les imprimantes, mais le coût du support de communication supplémentaire devient prohibitif pour les communications à longue distance. Pour transmettre le mot numérique depuis le convertisseur analogique-numérique en format série, une convention doit être définie pour transmettre d'abord le bit le plus significatif, puis les suivants jusqu'à ce que tous les bits soient envoyés.

**Communication des composants du système :** Dans un système de télécommunications SCADA simplifié, les équipements MTU et RTU sont appelés équipements terminaux de données (DTE). Ils ont chacun la capacité de formuler un signal contenant les informations à transmettre et de déchiffrer un signal reçu pour en extraire les informations. Toutefois, ils manquent de la capacité de se connecter directement avec le support de communication. L'Organisation Internationale de Normalisation (ISO) a développé le modèle OSI (Interconnexion de Systèmes Ouverts), qui comprend sept couches. Ce modèle définit la fonction de chaque couche, facilitant ainsi la communication entre deux machines lorsque le nombre approprié de couches est utilisé. Pour la plupart des systèmes de communication SCADA, les couches sept, deux et une sont suffisantes.

**Protocole :** Le protocole est un ensemble de règles qui définit la signification d'une séquence de mots binaires. Il est essentiel que les messages envoyés de la MTU à la RTU soient une série de chiffres binaires, mais le protocole détermine la signification de chaque bit de cette série. Ce code, utilisé aussi bien par l'émetteur que par le récepteur, permet de décoder le message reçu. Il est crucial que le même protocole soit utilisé aux deux extrémités de la communication pour garantir l'intégrité et l'efficacité de la transmission. De nombreux protocoles ont été développés par les fabricants d'équipements avant que des organisations de normalisation s'intéressent à créer des standards ouverts. Certaines normes propriétaires continuent d'être utilisées même après la disponibilité des standards ouverts.

**Modems :** Les modems opèrent aux deux niveaux les plus bas du modèle OSI à sept couches de l'ISO. Ce sont des équipements qui vérifient si le support de communication est utilisé et activent l'émetteur radio. Une fois prêts, ils transforment les signaux binaires de faible puissance provenant des MTU ou RTU en une forme pouvant voyager jusqu'à l'autre extrémité du support et être reçue par un autre modem. Le terme "modem" est un acronyme pour "modulateur-démodulateur", ce qui signifie qu'il module et démodule les ondes porteuses en fonction d'un modèle de données.

**Modulation et démodulation :** La modulation consiste à modifier une onde porteuse en fonction des données à transmettre, en ajustant l'une de ses trois caractéristiques : amplitude, fréquence ou phase. La modulation d'amplitude (AM) varie l'amplitude de l'onde porteuse haute fréquence en la multipliant par l'amplitude des données. La modulation de fréquence (FM) change la fréquence de l'onde porteuse selon l'amplitude des données, avec une amplitude de sortie constante. La modulation de phase (PM), également connue sous le nom de modulation par déplacement de phase (PSK), modifie l'angle de phase de l'onde porteuse en réponse à un changement dans l'amplitude des données. Ces techniques permettent de résister à différentes formes de bruits et de distorsions qui peuvent affecter la qualité de la transmission des données.

**Synchronisation :** Les modems peuvent être synchrones ou asynchrones, ce qui se réfère à la nécessité d'un signal de synchronisation transmis avec les données. Les modems synchrones transmettent une impulsion d'horloge utilisée pour assurer que l'émetteur et le récepteur fonctionnent à la même vitesse d'horloge. Les modems asynchrones, quant à eux, ne nécessitent pas que l'horloge du récepteur soit synchronisée avec celle de l'émetteur, utilisant des signaux de début et de fin de message pour gérer la transmission des données.

**Choix du support de communication :** Le choix du support de communication (câble téléphonique ou radio) dépend de plusieurs facteurs, notamment le taux de données, le coût et la sécurité des données. Pour des applications SCADA nécessitant des intervalles de balayage courts et des débits très élevés, des supports à large bande comme les câbles à fibres optiques ou les radios

micro-ondes sont nécessaires. Pour des débits modérés, des lignes téléphoniques de grade vocal ou des radios UHF économiques peuvent suffire. La sécurité des données peut être supérieure avec des câbles à fibres optiques enterrés par rapport aux communications radio, offrant ainsi une protection accrue contre l'interception ou le sabotage. [20]

## **II.7 Les interfaces homme-machine :**

### **II.7.1 Définition :**

Une Interface Homme-Machine (IHM), souvent appelée interface utilisateur ou UI, est un terminal qui facilite l'interaction entre les humains et les machines. Elle se compose généralement d'écrans et de divers contrôles qui permettent aux utilisateurs d'envoyer des données à un ordinateur et de recevoir des données de celui-ci. Les IHM vont de dispositifs simples comme les boutons-poussoirs sur les feux de circulation à des assistants domestiques avancés activés par la voix. Cette interface sert de tableau de bord permettant aux utilisateurs de surveiller, contrôler et manipuler les opérations des machines, les processus ou les systèmes via des représentations graphiques, des boutons, des interrupteurs et d'autres dispositifs d'entrée/sortie. [24]

L'objectif principal d'une IHM est de rendre les opérations complexes plus simples, améliorant ainsi l'efficacité et augmentant la sécurité et la fiabilité des processus industriels et d'autres applications. Une IHM bien conçue prend en compte des facteurs tels que l'expérience utilisateur, l'accessibilité et la sécurité, visant à créer une interface intuitive et facile à utiliser qui simplifie l'interaction des utilisateurs. En fin de compte, l'IHM agit comme un pont entre les opérateurs humains et les machines, favorisant une communication et une collaboration efficaces pour atteindre les résultats souhaités. [25]



**Figure 2. 4 : interface humain-machine dans le domaine industriel.**

## **II.7.2 Les composants clés des systèmes HMI :**

Un système HMI est composé de divers composants qui travaillent ensemble pour faciliter une communication et une interaction efficaces entre les opérateurs humains et les machines. Ces composants peuvent être globalement classifiés en trois catégories : matériel, logiciel et communication.

**Matériel :** Les composants matériels d'un système HMI incluent des dispositifs d'entrée/sortie, des unités d'affichage, et des unités de traitement. Les dispositifs d'entrée comme les écrans tactiles, les claviers, les souris et les boutons permettent aux utilisateurs d'interagir avec le système en fournissant des commandes ou en effectuant des sélections. Les dispositifs de sortie tels que les moniteurs, les affichages LED et les haut-parleurs fournissent un retour visuel ou auditif à l'utilisateur. Ce retour reflète l'état actuel de la machine ou du système. L'unité de traitement, qui peut être un ordinateur embarqué ou un PC indépendant, est chargée de traiter les entrées des utilisateurs, d'exécuter les applications logicielles et de gérer la communication avec la machine ou le système.

**Logiciel :** Le logiciel a une importance centrale dans tout système IHM. Il définit l'interface utilisateur, gère la communication des données et permet la création et l'exécution de diverses fonctions de contrôle. Le logiciel inclut des outils de conception graphique qui vous permettent de créer des interfaces personnalisées. Vous pouvez y incorporer des éléments tels que des boutons, des curseurs, des graphiques et des diagrammes. De plus, le logiciel facilite la journalisation des données, la production de rapports et l'analyse, aidant ainsi les utilisateurs à surveiller et optimiser les performances du système. Les plateformes logicielles HMI modernes sont hautement personnalisables et prennent en charge une large gamme de langages de programmation, ce qui permet le développement d'applications HMI complexes et sophistiquées.

**Communication :** La communication est un composant essentiel des systèmes HMI, car elle facilite l'échange d'informations entre l'opérateur humain et la machine ou le système. Les systèmes HMI utilisent généralement des protocoles de communication standards tels que l'Ethernet, RS-232, RS-485 et Fieldbus pour transmettre les données entre le matériel HMI et le contrôleur de machine ou le PLC (Contrôleur Logique Programmable). Ces protocoles de communication garantissent une transmission des données fiable et efficace, permettant une surveillance et un contrôle en temps réel du système sous-jacent. En plus de la communication filaire, les technologies sans fil telles que le Wi-Fi et le Bluetooth gagnent en popularité dans les systèmes HMI, offrant une plus grande flexibilité et mobilité aux utilisateurs.

### **II.7.3 Principe de supervision homme-machine :**

**Le rôle de l'opérateur en salle de conduite :** L'opérateur de conduite est primordial en tant que superviseur dans le processus de fabrication. Il accomplit diverses tâches qui dépendent fortement du contexte et qui sont difficilement automatisables, nécessitant une surveillance constante du processus et de son système numérique de contrôle-commande (SNCC). En tant qu'élément d'adaptation du SNCC, l'opérateur réagit aux changements de mode de fonctionnement, aux perturbations extérieures et aux événements imprévus, étant le dernier décideur dans la chaîne de décision.

Pratiquement, l'opérateur est chargé d'exécuter des procédures, d'ajuster les paramètres de fonctionnement, d'adapter le processus en fonction des contraintes de production, d'anticiper les actions à prendre en fonction des délais de production et de contribuer à un objectif commun.

Ces activités peuvent être analysées selon trois dimensions : opératoire (actions et tâches effectuées), cognitive (ajustement, adaptation, anticipation) et collective ou sociale (coordination entre opérateurs).

**Opérateur et automatisation :** L'opérateur en salle de conduite sont des composantes vitales dans la supervision du processus de fabrication, collaborant étroitement avec des systèmes automatisés. Historiquement, dès la fin des années 1980, l'automatisation intégrée a commencé à prendre en compte la dimension humaine dans la conception des systèmes, nécessitant l'intégration de l'intelligence artificielle pour gérer la complexité accrue.

Les opérateurs humains sont essentiels pour surveiller le système et pour intervenir en cas de changement de régime ou de dysfonctionnement, car certaines décisions ne peuvent pas être entièrement automatisées. Ils gèrent des tâches de supervision qui incluent la surveillance des opérations et la réaction aux situations exceptionnelles grâce à une interface homme-machine. Cependant, malgré les progrès de l'informatique industrielle, les opérateurs sont souvent submergés par un excès d'informations, ce qui peut limiter leur efficacité et conduire à des erreurs ou des arrêts imprévus, affectant la performance économique du procédé.

En pratique, la contribution des opérateurs reste indispensable, surtout en face de dysfonctionnements non répertoriés où leur connaissance empirique du processus devient cruciale. Le défi actuel réside dans la capacité à équilibrer la quantité d'informations fournies aux opérateurs avec leur pertinence, afin de maximiser à la fois la sécurité et l'efficacité opérationnelle.

**Surveiller et diagnostiquer :** L'automatisation dans la surveillance et le diagnostic de processus de fabrication vise à mettre en œuvre des actions systématiques pour une production contrôlée. Toutefois, la réalité pratique diverge souvent de cette théorie idéale, principalement en raison de la dépendance aux fonctions correctes des éléments de base tels que les capteurs et les

régulateurs. Cela souligne la nécessité d'un niveau de surveillance robuste qui maintient une connaissance continue de l'état du procédé et fournit des données fiables pour améliorer la disponibilité et la maintenabilité du système.

Bien que les méthodes de diagnostic avancées, telles que les algorithmes de détection et d'isolation de défaillances (FDI), aient été largement discutées dans la littérature académique, leur application pratique sur des procédés industriels complexes reste limitée. Seuls quelques exemples dans les études de cas montrent une capacité à gérer de multiples pannes dans des systèmes complexes.

Le défi actuel est de développer des systèmes de supervision qui ne marginalisent pas l'opérateur humain mais qui, au contraire, assistent et renforcent son rôle dans la gestion des situations critiques. La tendance est d'évoluer vers une supervision "active" ou automatisation cognitive, où le système de surveillance alimente directement le SNCC (système numérique de contrôle-commande) avec des données validées pour recalculer les commandes en cas de dysfonctionnement. Toutefois, cette approche tend à écarter l'opérateur des décisions cruciales.

À l'inverse, une approche de supervision "passive", bien que moins valorisée, vise à fournir une aide réelle à l'opérateur pour comprendre et réagir efficacement aux dysfonctionnements. Les systèmes de supervision doivent offrir une vue synthétique et en temps réel de l'état du système, détecter et localiser les pannes, et surtout, soutenir l'opérateur dans ses décisions, sans le submerger d'informations inutilement complexes. Cette orientation combine des principes d'automatique et d'intelligence artificielle pour développer des modèles qui facilitent l'assistance cognitive de l'opérateur dans des environnements industriels complexes.

**Caractéristiques des modèles utiles à la supervision** : Les modèles de supervision doivent choisir avec soin les variables à utiliser pour l'interface opérateur et la modélisation, pour assurer une aide efficace à la supervision. Ceux-ci doivent permettre la détection de perturbations, la prédiction d'évolutions, et la localisation de défaillances, tout en privilégiant l'explication des phénomènes plutôt que la précision des données.

Un modèle idéal doit être compréhensible, multifonctionnel et dynamique. Il devrait prendre en compte les variables pertinentes, soutenir divers types de raisonnements comme la prédiction et le diagnostic, et illustrer la causalité des phénomènes physiques. Importamment, il doit représenter le comportement dynamique du processus et intégrer des aspects temporels pour aider à gérer les phases complexes de fonctionnement.

L'intégration de l'intelligence artificielle renforce les modèles de supervision en permettant des raisonnements qualitatifs et causaux, ainsi qu'une vue multi-perspective. Ces techniques aident à

formaliser les analyses, améliorant ainsi la prise de décision en temps réel et la simulation de phénomènes dynamiques.

Les modèles doivent également servir de pont entre les perspectives objectives des ingénieurs et les besoins subjectifs des opérateurs, favorisant une coopération efficace plutôt qu'une substitution totale par l'automatisation. En rendant les analyses compréhensibles et justifiables, l'intelligence artificielle peut améliorer le partenariat entre l'opérateur et le système de surveillance, et soutenir les décisions opérationnelles de manière plus informée et efficace. [26]

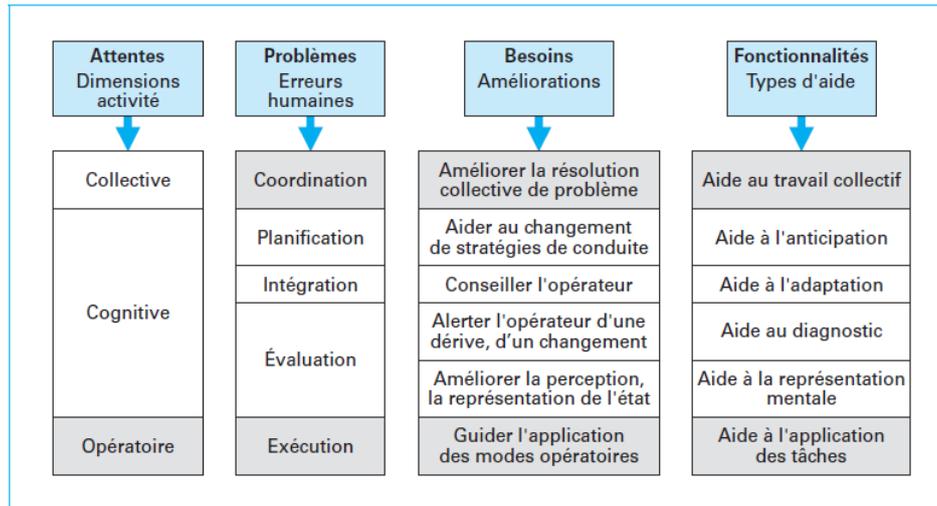


Figure 2. 5 : Système de supervision centré sur l'homme.

#### II.7.4 Évolution technologique des interfaces homme-machine :

Les interfaces homme-machine (IHM) ont évolué à travers diverses étapes, chacune marquée par la technologie d'interface dominante de l'époque.

Au début de l'informatique, l'interaction homme-ordinateur se faisait par le traitement de cartes perforées contenant des instructions spécifiées. Cette communication n'était pas en temps réel et prenait généralement des heures pour traiter les données et obtenir un résultat.

Les développeurs ont commencé à se concentrer sur l'IHM en tant que discipline dans les années 80. Ils ont commencé à imaginer des ordinateurs accessibles dans les foyers et les bureaux, qui devraient donc être utilisables avec un minimum de connaissances techniques.

Avec le lancement de l'Apple Macintosh en 1984, l'interaction homme-ordinateur a fait un bond considérable. Cette ère a vu l'interface entre l'ordinateur et l'opérateur être augmentée avec des dispositifs externes tels que le clavier, la souris et l'écran. Les progrès ultérieurs dans les IHM sont venus avec une interface utilisateur basée sur des icônes par le système d'exploitation Windows de Microsoft dans les années 90. L'avènement du World Wide Web (WWW) a élargi la fonction des IHM, qui ne servaient plus seulement à accomplir des tâches mais aussi à interagir et communiquer.

Cela a initié la tendance connue sous le nom de computing social. Les pavés tactiles sont apparus non seulement sur les ordinateurs personnels, mais aussi sur des machines destinées au public, telles que les distributeurs automatiques de billets, les terminaux de billetterie et les distributeurs automatiques. Cette interface a évolué vers la technologie tactile, les principes directeurs de la conception des IHM évoluant vers la rendant les interactions plus intuitives. [24]

## II.8 Logiciels de supervision et programmation d'IHM :

### II.8.1 TIA portal :

Le TIA portail (Totally Integrated Automation) est une plateforme qui rassemble divers produits SIMATIC dans une seule application logicielle, optimisant ainsi votre productivité et votre efficacité. Le TIA Portal offre un accès complet à l'ensemble de l'automatisation numérisée, allant de la planification numérique et de l'ingénierie intégrée à une exploitation transparente. [27]

En tant que partie de la suite logicielle Digital Enterprise, il rejoint PLM et MES pour compléter l'offre globale de Siemens pour les entreprises sur la voie de l'Industrie moderne (l'industrie 4.0), ce qui en fait l'accès idéal à l'automatisation dans l'entreprise numérique. Les produits TIA travaillent ensemble au sein du TIA portail pour accompagner de manière qualifiée dans toutes les étapes nécessaires à l'élaboration d'une solution d'automatisation.

Une solution d'automatisation typique comprend :

- Un PLC qui contrôle le processus à l'aide du programme.
- Un appareil IHM qui permet de piloter et de visualiser le processus. [28]

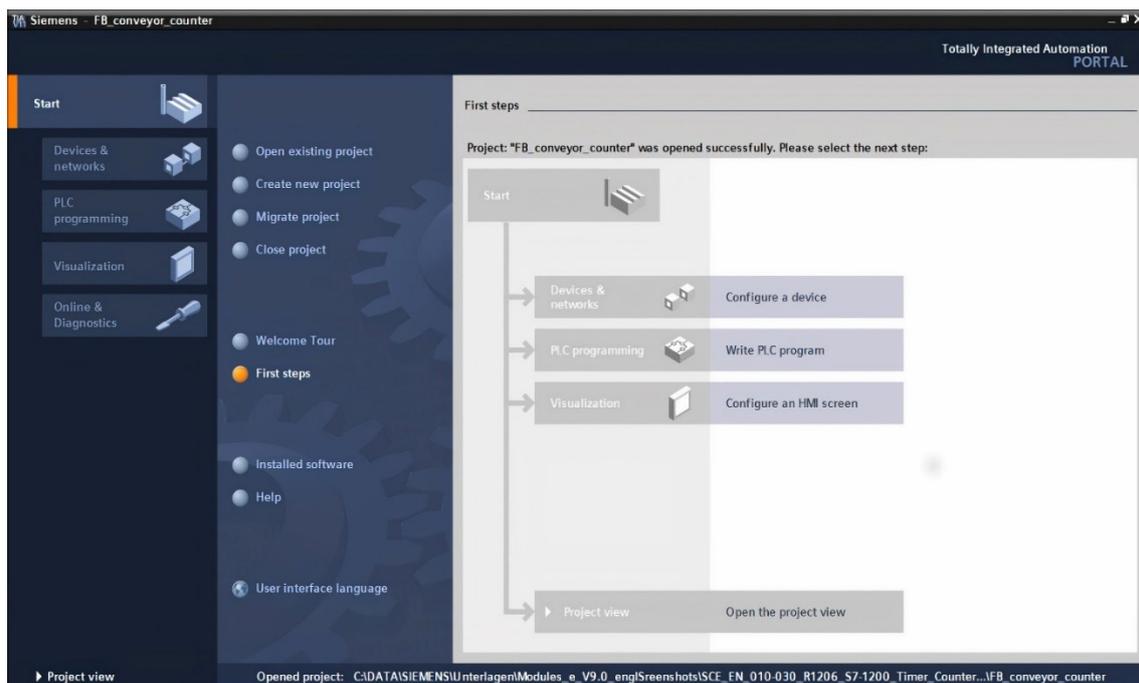


Figure 2. 6 : TIA Portal.

La plateforme Totally Integrated Automation Portal est le nouvel environnement de travail Siemens qui permet de mettre en œuvre des solutions d'automatisation avec un système d'ingénierie intégré comprenant les logiciels SIMATIC STEP 7 et SIMATIC WinCC. [29]

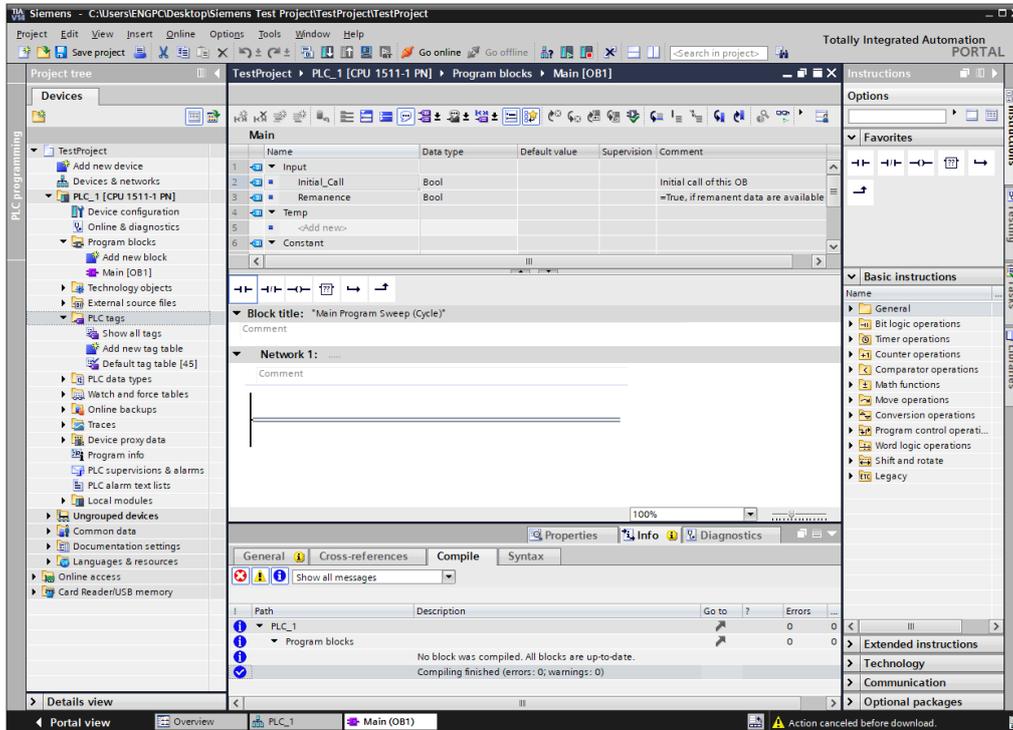


Figure 2. 7 : TIA Portal vue projet.

### 1) Logiciel de programmation STEP 7 Professional :

Le logiciel STEP 7 Professional est l'outil de programmation des automates :

- SIMATIC S7-1200,
- SIMATIC S7-300,
- SIMATIC S7-400,
- SIMATIC WinAC.

Avec STEP 7 Professional, les fonctions suivantes peuvent être utilisées pour automatiser une installation :

- Configuration et paramétrage du matériel,
- Paramétrage de la communication,
- Programmation,
- Test, mise en service et dépannage avec les fonctions d'exploitation et de diagnostic,
- Documentation,
- Génération d'écrans de visualisation pour les Basic Panels SIMATIC avec WinCC Basic intégré,

- Il est également possible de générer des écrans de visualisation pour les PC et autres Panels à l'aide d'autres progiciels WinCC.

Toutes les fonctions sont détaillées dans l'aide en ligne.

## **2) Contrôle-commande avec WinCC :**

*Description du système :* Sachant que les process deviennent de plus en plus complexes et que les machines et les systèmes doivent être toujours plus opérationnels, l'opérateur a besoin d'un outil efficace pour superviser et contrôler les équipements de production. Un système IHM (Interface Homme Machine) représente l'interface entre l'être humain (l'opérateur) et le process (machine/système). Le contrôle effectif du process s'effectue à travers le système de contrôle. Il y a donc une interface entre l'opérateur et WinCC (sur le pupitre opérateur) et une interface entre WinCC et le système de contrôle.

WinCC est le logiciel que vous utiliserez pour réaliser toutes les tâches de configuration requises.

WinCC Runtime est le logiciel qui permet de visualiser les process. Au Runtime, le projet est exécuté en mode process.

WinCC gère les tâches suivantes :

- Représentation du process : Le process est représenté sur le pupitre opérateur. Si, par exemple, un changement intervient dans le process, l'affichage est mis à jour sur le pupitre opérateur.
- Commande du process : L'opérateur peut commander le process via l'interface graphique. Par exemple, l'opérateur peut définir une consigne pour l'automate ou démarrer un moteur.
- Affichage d'alarmes : Si des états critiques surviennent dans le process, une alarme se déclenche automatiquement. Par exemple, quand une limite fixée est dépassée.
- Archivage des valeurs de process et des alarmes : Le système IHM peut archiver des alarmes et des valeurs de process. Cela vous permet de documenter les caractéristiques du process ou d'accéder ultérieurement à des données de production plus anciennes.
- Documentation des valeurs et des alarmes : Le système IHM peut afficher les alarmes et les valeurs de process sous forme de protocole. Vous pouvez ainsi afficher les données de production à chaque changement d'équipe.
- Gestion des paramètres du process et des machines : Le système IHM peut enregistrer les paramètres de process et des machines dans des recettes. Cela vous permet de transférer ces paramètres en une seule fois du pupitre opérateur à l'automate, par exemple pour modifier une variante de production. TIA Portal. [30]

### 3) Sm@rtServer :

L'option Sm@rtServer de WinCC permet le contrôle opérateur et la surveillance des panneaux opérateurs via l'intranet/internet. Le Sm@rtServer fournit son interface utilisateur aux Sm@rtClient. Divers dispositifs peuvent être utilisés comme Sm@rtClient, par exemple un PC standard, un smartphone ou un autre panneau SIMATIC HMI. Le concept Sm@rtClient est utilisé non seulement pour le contrôle opérateur et la surveillance lors de travaux de service, mais il peut également être utilisé pour des machines et installations larges et géographiquement distribuées. L'option d'utilisation mobile en bout de chaîne rend cette solution également adaptée pour la mise en service, car vous pouvez vous déplacer dans toute l'installation, indépendamment du lieu d'installation du panneau opérateur.

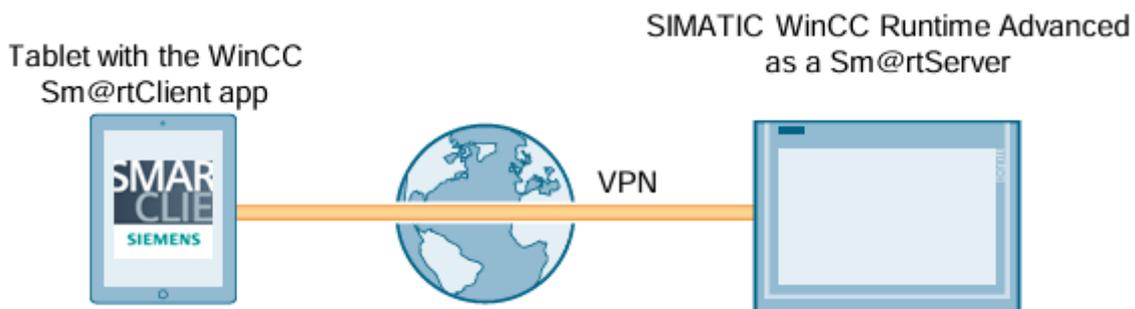


Figure 2. 8 : Sm@rt service. [82]

## II.9 Conclusion :

Dans le domaine de la fabrication industrielle, la sécurité des systèmes de contrôle industriel (ICS) est confrontée à des défis significatifs, notamment des vulnérabilités connues et des solutions de sécurité souvent inadaptées aux systèmes hérités. Ces systèmes sont essentiels pour maintenir l'efficacité opérationnelle et la sécurité, mais leur mise à jour et leur re-certification peuvent être coûteuses et techniquement difficiles.

Les systèmes SCADA sont des éléments clés dans l'automatisation et la supervision des processus, offrant une vue d'ensemble qui permet une prise de décision éclairée et une amélioration de la qualité. L'interface homme-machine (IHM) est au cœur de cette interaction, son design impactant directement l'efficacité et la sécurité. Avec l'évolution de l'IA, de la réalité augmentée et des technologies mobiles, l'IHM devrait devenir plus intuitive et avancée. Pour une intégration réussie, il est essentiel d'aligner la logique de la machine sur le modèle mental de l'utilisateur, en mettant l'accent sur la performance humaine et en évitant une confiance excessive dans l'automatisation. En résumé, la sécurité des ICS, l'efficacité des SCADA et l'ergonomie des IHM sont interdépendantes et cruciales pour l'avenir de la fabrication industrielle.

*Chapitre III :*  
Les ascenseurs

### III. Les ascenseurs

#### III.1 Introduction :

La tendance de la civilisation moderne s'oriente vers une technologie domestique rationnelle : chauffage, distribution d'eau chaude, climatisation et ascenseurs. [31]

Une circulation verticale efficace, sûre et rapide est une caractéristique essentielle pour la plupart des immeubles commerciaux et des grands ensembles résidentiels. Les ascenseurs et les escalators sont devenus un élément important de la vie moderne assurent principalement le transport des personnes, des marchandises et du matériel entre les différents niveaux des bâtiments. Les escaliers restent cependant nécessaires comme issue de secours en cas d'incendie ou lorsque l'ascenseur ou l'escalator est indisponible (par exemple, pour des travaux de maintenance). Préfabriqués en usine par quelques fabricants, les ascenseurs et les escalators sont transportés sur site, installés et mis en service avant d'être utilisés. Leur conception et leur mise en service relèvent du travail des ingénieurs, or une quantité considérable de travaux de construction est également requise pour garantir que l'équipement soit installé en toute sécurité. [32]

L'ascenseur est devenu, au fil des années, un dispositif de transport indispensable à beaucoup d'utilisateurs. C'est un élément familier et incontournable de nos immeubles d'habitation, de nos bureaux, des musées, aéroports, centres de soins, et bâtiments publics. En effet, l'ascenseur s'ouvre à toutes catégories de personnes, il est facile d'utilisation, confortable, rapide et possède un accès sécurisé et simplifié aux différents étages. [33]



Figure 3. 1 : Ascenseur. [72]

## **III.2 Historique :**

En remontant dans l'histoire des techniques de manutention verticale, on peut trouver des essais. Par exemple, Vitruve, un architecte romain du Ier siècle avant Jésus-Christ, a décrit un appareil élévateur de personnes qui se composait d'un treuil commandé à bras. En 1743, une "chaise volante" a été installée au Château de Versailles sur ordre de Louis XV pour permettre d'accéder directement au deuxième étage des appartements de la Duchesse de Châteauroux. Cette chaise volante consistait en une cabine équilibrée que l'occupant pouvait faire monter ou descendre par la force musculaire en tirant sur une corde. En 1855, aux États-Unis, un élévateur actionné par une machine à vapeur est apparu pour la première fois. Robert M. Vogel signale dans une publication du "United States national museum" que le premier ascenseur pour le transport des personnes dans un grand magasin de Broadway à New-York a probablement été installé en 1857. À partir de 1867, Otis et Tufts, puis Watermann et Fox, ont construit des élévateurs mus par des machines à vapeur, utilisés principalement pour l'élévation de l'eau dans les réservoirs.

En Europe, Léon Edoux, entrepreneur de travaux publics, est crédité de l'essor de l'ascenseur hydraulique. À son arrivée à Paris en 1864, il a cherché à utiliser l'énergie de l'eau de ville sous pression comme force ascensionnelle pour faciliter la manutention de ses matériaux. Il a commencé par installer des "balances hydrauliques" sur les chantiers de construction. Il a ensuite inventé l'ascenseur à piston plongeur pour le transport de personnes. Le principe était simple : les utilisateurs entraient dans la cabine de l'appareil, équilibrée par des contrepoids, et, selon qu'ils voulaient monter ou descendre, actionnaient la vanne d'admission d'eau de ville sous pression, qui, en raison de l'équilibrage de la cabine, n'avait à soulever que le poids des utilisateurs, ou la vanne d'évacuation de l'eau à l'air fibre. La réalisation la plus remarquable de Léon Edoux était l'ascenseur hydraulique installé dans l'une des deux tours du Palais du Trocadéro construit pour l'Exposition universelle. Cet ascenseur pouvait transporter 80 personnes sur une dénivellation de 60 m. Cependant, son exploit le plus audacieux, selon le décret du 3 janvier 1892 par lequel Léon Edoux a été promu officier de la Légion d'honneur, restait à faire. Ce fut quelques années plus tard, lorsqu'il construisit l'ascenseur double de la Tour Eiffel, inauguré lors de l'Exposition universelle de Paris en 1889. Cet ascenseur pouvait transporter 65 personnes du deuxième au troisième étage de la Tour Eiffel, soit sur une hauteur de 160,40 m (avec un arrêt et un changement de cabine en milieu de parcours) à une vitesse de 0,80 m/s.

Aux États-Unis, une certaine avance apparaît déjà : les ascenseurs sont entraînés avec les machines à vapeur par l'intermédiaire d'un treuil à tambour. Mais ce système (utilisé encore de nos jours dans certains cas particuliers, mais avec l'énergie électrique) fut rapidement dépassé en raison

de la hauteur de plus en plus grande des buildings américains, les dimensions des tambours devenant trop importantes pour l'enroulement des câbles nécessaires.

En 1871, Zenobe Gramme a inventé la première dynamo industrielle à courant continu, et en 1873, il a présenté le moteur réversible à l'exposition d'électricité de Vienne. Par conséquent, les techniciens ont orienté leurs recherches vers la réalisation d'ascenseurs mus par le courant électrique. En 1880, l'électricien allemand Werner von Siemens a construit le premier ascenseur électrique présenté à l'occasion de l'Exposition universelle de Palatinat. Vers 1895, un manque d'eau affectant les grandes villes de France a conduit à accuser les ascenseurs hydrauliques de provoquer un gaspillage important, en partie à cause de cette pénurie. Le prix de l'eau que consommaient ces appareils a été doublé. Cette décision a incité les constructeurs à se tourner vers l'énergie électrique. C'est à cette époque que Léon Edoux a commencé à utiliser l'énergie électrique, ce qui a permis la suppression du piston et son remplacement par un moteur électrique actionnant un treuil d'enroulement des câbles de traction de la cabine. Il a également inventé le "parachute à billes", un organe de sécurité destiné à immobiliser la cabine presque instantanément en cas de rupture des câbles porteurs. Lors de l'Exposition universelle de 1900, la charge utile de cet ascenseur a été portée de 65 à 80 personnes et la vitesse de 0,80 m/s à 1m/s. Il est intéressant de noter que ces ascenseurs sont toujours en service de nos jours : la capacité est actuellement de 75 personnes, et la vitesse de 0,90 m/s. Cependant, les constructeurs américains gardaient encore une certaine avance. On peut considérer que dès 1891, l'ascenseur électrique, aux États-Unis, a pris sa forme commerciale avec la firme Morse Williams and Co.

Un moteur électrique est directement couplé à un treuil mécanique constitué d'une roue hélicoïdale et d'une vis tangente. Ce dispositif est encore utilisé de nos jours. Des améliorations importantes ont été apportées dans les détails de construction, et l'électricité a pris une importance croissante, en particulier dans les dispositifs de commande. Les machines-outils perfectionnées permettent de parfaire les usinages, tandis que les instruments de mesure assurent un contrôle rigoureux des fabrications. Enfin, ces dernières années, des techniques avancées et des matériaux nouveaux ont été appliqués, tels que l'électronique et les plastiques. La nomenclature officielle des activités classe les ascenseurs et les monte-charges dans la branche 11 du groupe 28 « Construction électrique », et non dans les groupes 33 « Bâtiment » ou 34 « Travaux publics ». [31]

### III.3 Définition :

L'ascenseur est un équipement technique qui peut être installée à l'intérieur ou à l'extérieur d'un bâtiment. Il est utilisé pour transporter des personnes et des objets entre les différents étages. C'est le moyen de transport le plus utilisé au monde. Il est très pratique et très sûr, car il peut transporter des personnes et des objets rapidement et en toute sécurité. La cabine de l'ascenseur est déplacée verticalement par un système d'entraînement mécanique dans la majorité des cas. Les ascenseurs sont fréquemment utilisés pour aider les personnes âgées, handicapées ou à mobilité réduite. Ces appareils peuvent également être utilisés comme des monte-charges, avec une utilisation professionnelle. [34]

Dans le monde des ascenseurs il y a quatre grands noms connus, reconnaissables par tous les usagers sont : Otis, Koné, Schindler et ThyssenKrupp, ainsi que leurs nombreuses filiales. Mais les règles de sécurité sont communes à toutes ces compagnies. [35]

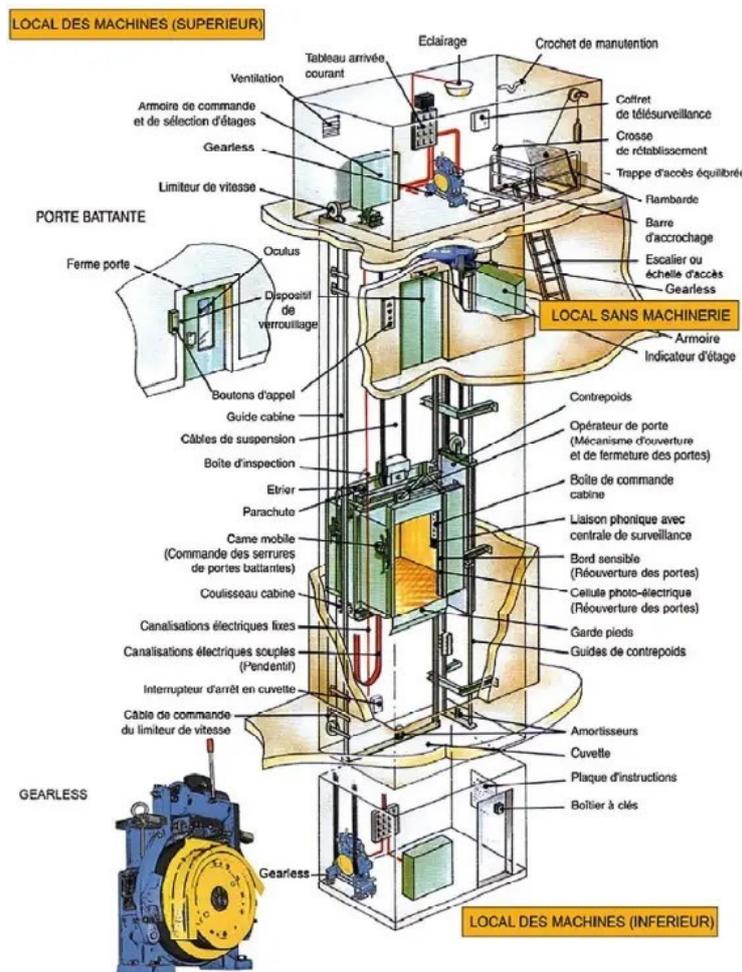


Figure 3. 2 : Schéma D'ascenseur. [73]

### III.4 Appellations :

Le terme d'ascenseur est réservé aux appareils qui permettent de transporter verticalement des personnes entre différents niveaux.

Lorsqu'il s'agit de déplacer des produits, des matériaux, des objets, etc. on emploie le terme général de monte-charge. Suivant la nature de la charge transportée on rencontre :

- Les monte-voitures (garages).
- Les monte-chariots (usines).
- Les monte-décors (théâtres).
- Les monte-fûts (magasins).

**Note** : Certains de ces appareils peuvent également transporter en même temps des personnes : Les monte-charge accompagnés, Les monte-malades. [36]

### III.5 Types d'ascenseurs :

Les ascenseurs font partie intégrante de notre quotidien et il existe plus de 3 types d'ascenseurs qui peuvent être installés dans un bâtiment. Certains ascenseurs sont conçus exclusivement pour le transport de personnes, tandis que d'autres peuvent également être utilisés pour transporter des marchandises. [34]

Les différents modèles d'ascenseurs sont catégorisés selon leur mode de fonctionnement et leur utilisation. Ces types se déclinent sous différents types de mécanismes :

- Électrique, machinerie classique haute, basse ou latérale.
- Électrique, sans machinerie (machine intégrée dans l'armoire palière ou dans la gaine, au-dessus des guides).
- Hydraulique, avec une machinerie comprise dans un rayon de 15m ou avec une cuve d'huile dans la fosse. [36]

Ces différents types d'ascenseurs correspondent chacun à des usages et besoins spécifiques qu'il convient d'avoir en tête lorsque l'on cherche l'ascenseur idéal pour un projet. Par exemple, on n'utilisera pas nécessairement le même système pour un usage public ou du moins collectif, que pour une utilisation privée ; de même, un immeuble de grande hauteur et un immeuble de taille moyenne ne nécessiteront pas le même système de fonctionnement. [37]

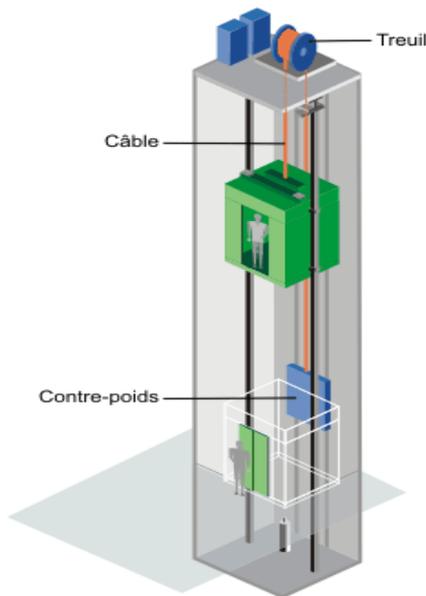


Figure 3. 3 : Ascenseur Classique.

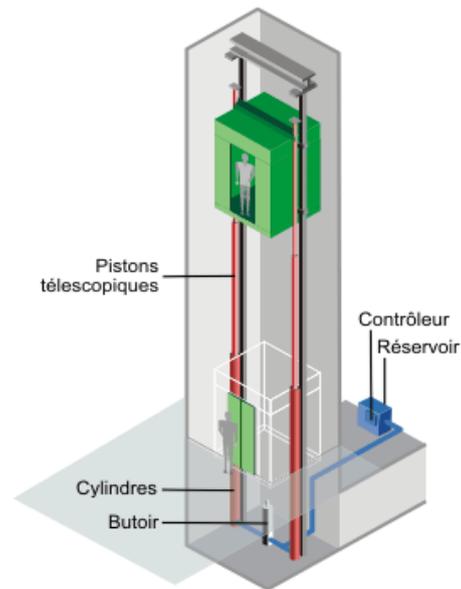


Figure 3. 4 : Ascenseur hydraulique. [74]

### III.5.1 Ascenseurs classiques (à traction à câbles) :

Plus souvent utilisés, notamment quand les dimensions le permettent, les ascenseurs à traction électrique sont la deuxième option à envisager dans le cas d'une copropriété.

Dans ce type d'ascenseur, la cabine est tractée grâce à un système de poulie et de contre-poids, activé par un moteur électrique. Dans certains cas, c'est tout simplement un treuil qui élève la cabine. Si ce type de motorisation nécessite plus d'espace, il permet cependant une puissance supérieure et donc une vitesse plus élevée, ce qui en fait le candidat idéal dans le cas d'un immeuble de grande hauteur. De plus, les progrès techniques amènent sur le marché de plus en plus de modèles dits gearless, c'est à dire qui ne nécessite plus de salle des machines.

### III.5.2 Ascenseurs hydrauliques :

Les ascenseurs hydrauliques sont une option intéressante dans le cas d'un espace restreint et d'une hauteur moyenne, en cela qu'ils disposent d'une gestion de charge importante pour une vitesse modérée. La cabine est hissée sans contrepoids, par un système de piston télescopique déployé par l'injection d'une huile sous pression. Par opposition, l'évacuation de cette huile permet à la cabine de descendre. Ils sont pratiques dans le cas d'un immeuble existant disposant de peu d'espace disponible, comme les immeubles anciens par exemple, ce type d'ascenseur représente en revanche une consommation énergétique plus importante que les ascenseurs à traction électrique. [37]

### III.5.3 Ascenseur pneumatique :

Assez rare, les ascenseurs pneumatiques sont généralement réservés à une utilisation domestique. L'avantage principale reste leur faible encombrement, mais ils sont très limités techniquement pour leur permettre de desservir plusieurs étages. [34]

### III.6 Descriptif des principaux éléments d'un ascenseur :

**Une gaine :** C'est la structure maçonnée dans laquelle se déplacent la cage de votre ascenseur et le contrepoids de l'appareil. Elle enveloppe aussi divers éléments, comme les rails verticaux, les câbles et les guides du contrepoids. On parle de pylône de guidage quand elle laisse entrevoir tous les mécanismes de la cabine, comme c'est le cas dans un ascenseur panoramique privatif.

**Une cabine :** Aussi appelée cage, elle représente le compartiment qui vous transporte à travers les étages d'un immeuble quand vous prenez un ascenseur. Elle se constitue de parois, soit en acier soit en verre, supportées par une structure métallique robuste. La cabine en acier évolue en général dans une gaine construite à l'intérieur ou à l'extérieur du bâtiment. La cage en verre permet, quant à elle, une vision panoramique pour ses passagers. On parle alors d'ascenseur vitré ou ascenseur panoramique.



Figure 3. 5 : Cabine d'ascenseur. [75]

**Des portes palières :** Elles constituent le dispositif destiné à isoler la cabine pour mieux protéger les passagers durant le transport. Elles se ferment et s'ouvrent conjointement aux portes de la cabine grâce à un mécanisme de synchronisation automatique, dit sabre rétractable. Entre les deux portes, la commande vient toujours de celles de la cabine. Autrement dit, les portes palières se déverrouillent uniquement sous l'effet des portes de la cabine, dont l'activation vient de leur propre moteur. La fermeture, elle s'actionne grâce à un contrepoids. [38]

Elles sont soit :

**Automatiques** : les vantaux coulissent de part et d'autre de la baie. Ils peuvent être pleins ou vitrés.

**Battantes** : un vantail, suspendu à des pivots, pivote à droite ou à gauche. Ce vantail peut être plein ou avec oculus. Les verres garnissant les vantaux peuvent être : soit armés ou du type sécurité.

[36]

**Un tableau de commande** : Celui-ci vous permet d'appeler ou de diriger la cabine. Pour ce faire, il dispose de plusieurs boutons : les boutons d'appel, à chaque niveau de l'immeuble, et les boutons d'étages, dans la cabine elle-même. Son rôle consiste à transmettre vos requêtes directement à l'armoire de commande, le cerveau électronique de votre ascenseur. Si les ascensoristes peuvent proposer une large gamme d'ascenseurs, la disposition des tableaux de commande doit toujours se faire selon notamment la norme NF EN 81-70. Ainsi, chaque inscription des boutons doit être en relief et le bouton de téléalarme doit être facilement identifiable pour prévenir les secours en cas d'urgence.

**Une armoire de commande** : Elle reçoit toutes les informations de la part du tableau de commande et des différents capteurs installés sur votre ascenseur avant de transmettre les ordres à la machinerie. Lorsque la cabine arrive par exemple près du rez-de-chaussée, c'est elle qui ordonne au moteur de ralentir sa course avant l'arrêt. Elle est aussi montée en série avec les portes palières et les systèmes de sécurité embarqués : si un élément est défaillant, tout le mécanisme se met en arrêt d'urgence, ce qui permet de prévenir toute anomalie.



Figure 3. 6 : Contrôleur à relais. [76]

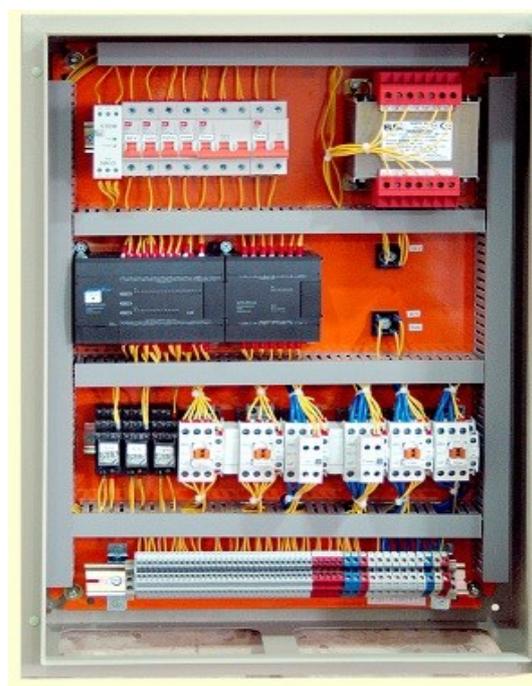


Figure 3. 7 : Contrôleur à microprocesseurs. [77]

**Des rails :** Ils guident la cabine à l'intérieur de la gaine. Les modèles les plus populaires restent les profilés en acier en forme de T, mais leurs configurations dépendent généralement de celles de votre ascenseur, c'est-à-dire le poids de la cabine, la hauteur de l'immeuble ou le système de freinage intégré.

**Une machinerie :** Sa place peut être sur le toit de l'immeuble, dans le sous-sol du bâtiment, à l'intérieur ou bien sur un côté de la gaine. Elle est chargée de piloter la montée ou la descente de la cabine, avec ou sans charge. Si la machinerie d'un vieil ascenseur se compose essentiellement d'un moteur électrique, celle d'un ascenseur de dernière génération peut fonctionner avec un moteur hydraulique, pneumatique, voire à application magnétique.

**Un contrepoids :** Pour contrebalancer le poids de la cabine et de la charge, on a installé un contrepoids dans le mécanisme d'un ascenseur, ce qui permet par la même occasion de limiter les effets directs de la charge à la machinerie. Son poids équivaut à la somme de celui de la cabine et de la moitié de la charge maximale de l'ascenseur.

**Un frein parachute :** Ce mécanisme constitue l'un des éléments les plus importants de l'ascenseur. Il peut se diviser en trois parties : le limiteur de vitesse, la poulie en cuvette et le bloc parachute. Chacun de ces éléments permet de prévenir la chute de la cabine en cas de dysfonctionnement du système.

### **III.7 Le principe de fonctionnement d'un ascenseur :**

Le principe de fonctionnement d'un ascenseur classique se base en principe sur le système de poulie. Celui-ci démultiplie la force nécessaire au moteur pour amorcer notamment la montée de la cabine. À l'intérieur de la gaine, les câbles assurent la transmission de la puissance du moteur électrique vers la cabine, avec l'aide d'un mouflage. Ce dernier constitue la technique adaptée à la manutention lourde, ce qui garantit également une bonne fixation des câbles à la cage de votre ascenseur.

D'autres composants concourent aussi au bon fonctionnement de l'appareil, dont :

- Le contrepoids,
- Le système de contrôle de vitesse,
- Le moteur électrique,
- Les portes palières,
- Le système de frein parachute.

Chacun de ces éléments doit respecter les normes en vigueur de manière à privilégier votre sécurité durant le transport. [38]

**Note :** le fonctionnement d'un ascenseur dépend du système de levage utilisé : Électrique, Hydraulique, Pneumatique.

### **III.8 Dangers pouvant compromettre la sécurité d'un ascenseur :**

Parmi les dangers potentiels pouvant compromettre la sécurité des ascenseurs, la plupart d'entre eux peuvent être évités. La conception et la fabrication des ascenseurs sont la partie la plus importante du processus pour éviter les accidents potentiels, en plus de l'installation correcte et de la maintenance ultérieure.

**Portes bloquées :** Si les portes de l'ascenseur sont bloquées ou ne se ferment pas correctement, il peut y avoir un risque d'incidents, tels que des personnes coincées entre les portes ou des objets empêchant les portes de se fermer.

**Arrêts brusques :** Les arrêts brusques ou soudains de l'ascenseur peuvent provoquer des chocs ou des chutes à l'intérieur de la cabine, mettant en danger la sécurité des passagers.

**Problèmes mécaniques :** Des problèmes mécaniques tels que la défaillance du système de freinage, la rupture des câbles de suspension ou la défaillance des composants essentiels peuvent entraîner des situations dangereuses telles que des chutes libres ou des pannes de l'ascenseur.

**Incendie :** En cas d'incendie dans un bâtiment, l'ascenseur peut devenir un piège potentiel si des mesures de sécurité appropriées ne sont pas mises en œuvre. La fumée et la chaleur peuvent pénétrer dans la cabine, rendant l'évacuation difficile, voire impossible.

**Surcharge :** Si la capacité de charge maximale de l'ascenseur est dépassée, la sécurité est compromise en surchargeant les composants et en réduisant la stabilité de l'ascenseur.

**Pannes électriques :** Les pannes de courant ou les défaillances électriques peuvent provoquer l'arrêt de l'ascenseur, laissant les passagers piégés à l'intérieur, parfois dans le noir, ce qui peut entraîner de l'anxiété et des situations d'urgence.

**Manque d'entretien :** Un entretien inadéquat ou négligé peut entraîner des défaillances du système, une usure des pièces et une augmentation des risques pour la sécurité. Le manque d'entretien régulier peut également retarder la détection et la résolution des problèmes.

Il est essentiel de mettre en place des mesures de sécurité adéquates pour prévenir ces dangers et garantir la sécurité dans les ascenseurs. [39]

### III.9 Caractéristiques et technologies pour la sécurité des ascenseurs :

La sécurité des ascenseurs est essentielle pour garantir la protection et le bien-être des personnes qui les utilisent. Il existe plusieurs caractéristiques clés et technologies qui contribuent à maintenir un environnement d'ascenseur sûr :

**Système de freinage d'urgence :** Les ascenseurs modernes sont équipés d'un système de freinage d'urgence qui agit en cas de défaillance du système principal. Ce mécanisme arrête l'ascenseur en toute sécurité en cas de situation imprévue, telle qu'une chute libre ou une rupture des câbles de suspension.

**Portes de sécurité et capteurs :** Les portes des ascenseurs sont conçues avec des mécanismes de fermeture automatique et des capteurs de sécurité. Ces capteurs détectent la présence d'objets ou de personnes dans les portes et empêchent leur fermeture en cas d'obstacle, réduisant ainsi le risque d'enfermement ou de blessure.

**Système de communication :** Les ascenseurs doivent être équipés d'un système de communication, tel qu'un interphone ou un téléphone d'urgence, qui permet aux passagers d'appeler à l'aide en cas d'urgence ou de panne. Cela garantit une réponse rapide et efficace à toute situation problématique.

**Maintenance régulière :** La sécurité des ascenseurs dépend également dans une large mesure d'une maintenance régulière. Des techniciens spécialisés doivent effectuer des inspections régulières, vérifier les composants clés et s'assurer que l'ensemble du système fonctionne correctement. Cela permet de prévenir les défaillances potentielles et d'assurer des performances optimales.

**Mise à niveau technologique :** La technologie continue de progresser, et les ascenseurs ne font pas exception. Les dernières innovations comprennent des systèmes de contrôle intelligents, une surveillance à distance et des capteurs de haute précision. Ces technologies améliorent la sécurité en fournissant un contrôle plus précis et en détectant les problèmes potentiels avant qu'ils ne deviennent de réels risques. [39]

### **III.10 Conclusion :**

Les ascenseurs sont devenus un outil de transport incontournable, largement utilisés font désormais partie du quotidien des gens, leur permettant de se déplacer plus facilement et plus rapidement, et pouvant satisfaire les besoins des personnes à mobilité réduite. Ils sont également très pratiques pour le transport des objets lourds et/ou volumineux, avec l'utilisation de monte-charges. Ils sont désormais un élément fondamental des infrastructures modernes, notamment dans les bâtiments commerciaux et industriels. Ils offrent aux professionnels une plus grande facilité d'utilisation, une productivité accrue et une sécurité renforcée, surtout lorsqu'ils sont équipés de technologies intelligentes ou connectées.

Cependant, le choix de l'ascenseur approprié peut être complexe et nécessite une attention particulière à plusieurs critères essentiels, tels que la taille, la capacité de charge, la vitesse et le type d'accès, qu'il soit manuel ou automatique, ces facteurs doivent être pris en compte par les professionnels avant de faire leur choix.

Pour garantir la sécurité et l'efficacité dans les bâtiments professionnels, le choix d'ascenseurs de fabricants réputés est indispensable. Ces ascenseurs doivent offrir des performances stables et un support technique efficace, contribuant ainsi à l'optimisation des activités quotidiennes et à la sécurité et au confort des usagers. Il est également essentiel d'assurer la conformité des ascenseurs avec les réglementations en vigueur, y compris celles concernant l'accessibilité des personnes à mobilité réduite, ce qui peut nécessiter des travaux de modernisation pour répondre à ces normes.

Enfin, l'ascenseur a toujours su tirer parti des avancées technologiques, conférant ainsi une image dynamique et innovante à l'ensemble de la profession. L'industrie des ascenseurs ne se contente pas de suivre les progrès technologiques, mais les utilise activement pour améliorer ses produits et services, démontrant ainsi son adaptabilité et sa réactivité. En adoptant les dernières technologies, elle projette une image de modernité et d'innovation, renforçant la confiance des utilisateurs et des professionnels en étant en phase avec les besoins actuels et futurs. L'impact des avancées technologiques se généralise à toute l'industrie, bénéficiant non seulement aux fabricants, mais aussi aux installateurs, aux mainteneurs, et finalement aux utilisateurs finaux.

# *Chapitre IV :*

## Les technologies de contrôle à distance

## IV. Les technologies de contrôle à distance

### IV.1 Introduction :

L'industrie numérique subit une transformation majeure en raison des développements récents dans les technologies de l'information et de la communication. Ces avancées ont un impact massif sur tous les aspects technologiques connus, offrant une connectivité à une vitesse auparavant inatteignable. En conséquence, la barrière entre les mondes physique et numérique se réduit. Cela entraîne un progrès rapide, qui génère de nouvelles tendances dans le monde industriel, telles que : les Systèmes Cyber-Physiques (CPS), l'Internet des Objets (IoT), l'Internet industriel des objets (IIOT), le cloud computing, l'Industrie 4.0 et les Réseaux Intelligents. Cette technologie peut répondre aux exigences de l'automatisation industrielle moderne.

Le paradigme de la fabrication numérique exige que chaque partie d'une ligne de production soit interconnectée via des systèmes embarqués, c'est-à-dire de petits ordinateurs, capteurs et actionneurs intégrés aux machines qui forment un Internet des objets (IoT) universel. L'Internet des objets (IoT) est populaire dans de nombreux domaines, connectant un grand nombre d'appareils physiques via Internet. Il permet le développement d'applications avancées pour de nombreux scénarios, tels que la maison, les soins médicaux, l'automatisation, l'industrie, voire l'Océanie. Elle a également un rôle nécessaire dans le cycle de vie du service, en permettant de mieux intégrer les données et de fournir des informations et analyses précieuses aux parties prenantes.

Dans le but de fournir des services informatiques efficaces, intelligents et en atténuant l'intervention humaine constante, l'Industrie 4.0 originaire d'Allemagne, est devenue l'objectif de l'industrie pour atteindre un niveau supérieur d'opération, d'automatisation et de productivité. L'innovation liée aux technologies 4.0 a permis la transformation industrielle d'un modèle traditionnel vers l'usine du futur. [40]



Figure 4. 1 : Industrie 4.0. [78]

## IV.2 Historique :

Le secteur industriel a toujours été nécessaire pour le développement économique des pays. Depuis la fin du 18ème siècle, les industries ont connu d'énormes changements qui ont révolutionné la façon dont les produits sont fabriqués et apporté divers avantages, principalement liés à l'augmentation de la productivité. Au cours des trois premières révolutions industrielles, les humains ont été témoins et ont créé des technologies mécaniques, électriques et informatiques qui visaient à améliorer la productivité des processus industriels. Le début de la première révolution industrielle est daté de la fin du 18ème siècle et a été entraîné par des usines de production mécanique basées sur la force de la vapeur. Au début du 20ème siècle, une deuxième révolution a eu lieu, basée sur la production de masse utilisant l'énergie électrique. Ensuite, la troisième révolution industrielle a commencé dans les années 1970 et a été entraînée par la production automatique basée sur l'électronique et la technologie Internet. De nos jours, après trois révolutions industrielles, la combinaison de technologies avancées et d'Internet transforme à nouveau le paysage industriel et est appelée la 4e révolution industrielle ou Industrie 4.0. L'idée d'Industrie 4.0 a été initialement proposée comme moyen de développer l'économie allemande en 2011. [40][41]

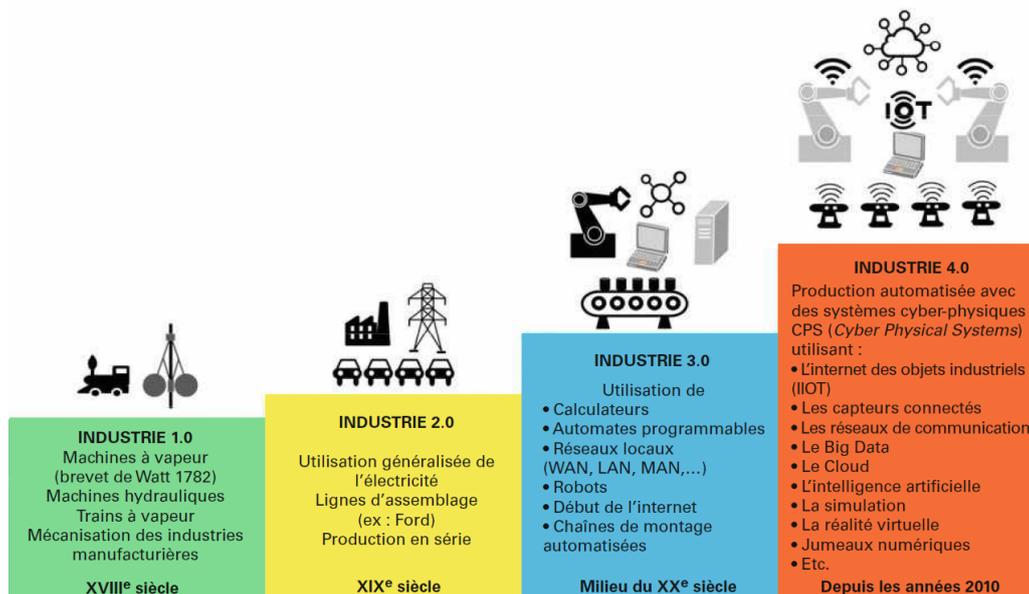


Figure 4. 2 : la chronologie des révolutions industrielles. [3]

**L'industrie 1.0 (18<sup>ème</sup> siècle) :** La première véritable révolution industrielle. Elle s'est développée notamment grâce à l'invention de la machine à vapeur (brevet déposé en 1784 par James Watt) qui utilisait comme source d'énergie primaire le charbon en substituant peu à peu l'énergie de l'eau dans les machines hydrauliques. Puis très rapidement dans les industries manufacturières (textile, métallurgie) où l'on installe de puissantes machines et préfigure le début du machinisme. L'énergie produite par le charbon a rapidement été utilisée dans les transports ferroviaires et

maritimes. Cette révolution a contribué à modifier le paysage et entraîné une forte pollution de l'air par les fumées produites par la combustion du charbon.

**L'industrie 2.0 (19ème siècle) :** La deuxième révolution industrielle concerne, pour la majorité des historiens, la période comprise entre 1870 et 1914. Caractérisée par de nombreuses inventions fondamentales telles que l'électricité (Thomas Edison), le moteur à explosion (Otto, Daimler et Benz), la production d'acier (Bessemer)... Dans l'industrie 2.0, les industries de production utilisent de plus en plus l'électricité au détriment de la vapeur avec les moteurs électriques. C'est à cette époque que les chaînes de montage ont vu le jour pour des productions de masse fondées sur une méthode de division du travail développée par l'américain Frederick Winslow Taylor. Cette méthode de travail appelée « taylorisme » a pour but d'augmenter la productivité. Elle a été appliquée par Henri Ford en 1909 pour la fabrication de la Ford T. À la fin du XIXe siècle, le pétrole, l'or noir, donne naissance à de nouvelles branches industrielles dans les secteurs de l'énergie et de la chimie.

**L'industrie 3.0 (20ème siècle) :** La troisième révolution industrielle représente une transition entre l'évolution de la productivité d'Henri Ford et la première ère informatique apparue dans les années 1970 où les premiers ordinateurs ont fait leur apparition. La troisième révolution industrielle est caractérisée par la montée en puissance des ordinateurs, le développement de l'informatique industrielle avec les automates programmables et la supervision, l'utilisation de plus en plus massive des réseaux informatiques, l'utilisation croissante de la robotique dans les chaînes de fabrication, de la connectivité et bien évidemment des premières utilisations de l'Internet (créé en 1969 par le département de la défense américaine – DOD). Elle a introduit davantage de systèmes automatisés sur les chaînes de montage pour effectuer des tâches manuelles. Il est important cependant de souligner l'importance de l'intervention humaine dans les systèmes automatisés. L'émergence de ces nouvelles technologies a entraîné une augmentation significative de la quantité d'éléments électroniques, informatiques et électriques nécessaires à la fabrication de ces produits. C'est également sur cette période que la maintenance préventive a vu le jour en lieu et place de l'entretien et de la réparation accompagnée de l'apparition de la GMAO (gestion de la maintenance par ordinateur). La GMAO a tiré profit de l'utilisation des réseaux informatiques et des banques de données informatiques.

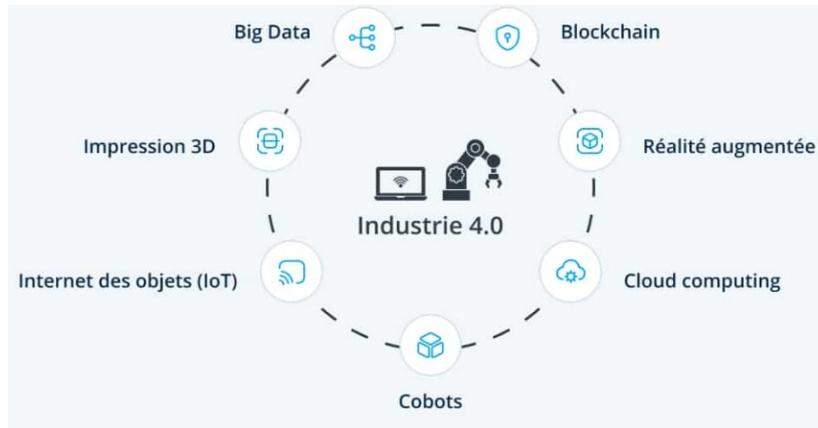
**L'industrie 4.0 (21ème siècle) :** La quatrième révolution industrielle est une suite logique des conséquences de l'introduction des ordinateurs et des technologies développées lors de la troisième révolution. Elle repose sur le concept de l'usine intelligente – ou industrie 4.0 – caractérisée par une interconnectivité entre les machines et des systèmes dans les sites de production. L'intelligence décentralisée aide à créer une intelligence mise en réseau d'objets et la gestion de processus indépendante avec l'interaction des mondes réels et virtuels représentant un nouvel aspect de la

production de biens et de services et processus de production. Le concept d'industrie 4.0 a été présenté pour la première fois lors la foire de Hanovre (Salon de la technologie industrielle) de 2011. L'objectif de cette quatrième révolution a été souligné pendant la séance d'ouverture de la chancelière Angela Merkel ; elle indiquait que : « L'Europe doit se rassembler et avancer vite, c'est la seule façon de garder notre avance sur les Asiatiques » Ensuite un rapport décrivant l'industrie 4.0 a été publié en 2013 par le GTAI (Germany Trade & Invest) qui est l'agence de développement économique de la république fédérale allemande. Par la suite, ce concept a été repris au niveau mondial (USA, Chine, France, pays asiatiques, Inde).

La quatrième révolution industrielle est caractérisée par l'utilisation généralisée des environnements numériques et physiques appelés systèmes cyber physiques (Cyber Physical Systems) dans le domaine de la fabrication. Elle réalise la convergence des technologies de l'information, l'Internet des objets, le big data, le cloud, l'analytique des données (Analytics), etc., avec des accélérateurs supplémentaires, tels que la robotique coopérative, l'intelligence artificielle et les sciences cognitives, etc. Ces techniques seront décrites plus en détail dans la suite de cet article en soulignant leurs rôles respectifs dans le cadre de la maintenance prédictive intelligente. Cet ensemble de techniques et technologies permet à l'industrie 4.0 d'automatiser et d'optimiser de manière entièrement nouvelle les procédés de fabrication, offrant ainsi de nombreuses opportunités d'innovation et de développement. [42]

### **IV.3 Définition de l'industrie 4.0 :**

L'industrie 4.0, aussi appelée industrie du futur, est la quatrième révolution industrielle. Elle fait référence à la transformation de l'industrie et des systèmes de production, grâce à l'émergence de nouvelles technologies. Cette évolution de l'industrie garantit un fonctionnement rapide et efficace des machines, afin d'optimiser le temps lors de baisse d'activité ou de la détection d'une anomalie. L'usine devient "intelligente" pour s'adapter plus facilement aux nécessités et processus de production. Grâce à l'avancée récente des technologies, l'investissement dans ces nouvelles solutions est plus simple et économique qu'auparavant. De nombreuses études montrent que ces technologies de l'industrie 4.0, représentent un avantage concurrentiel énorme en termes de gains de productivité pour les entreprises. [43]



**Figure 4. 3 : Les technologies de l'industrie 4.0.**

#### **IV.4 Les API dans l'industrie 4.0 :**

Les automates programmables industriels (API) sont généralement utilisés pour développement dans l'automatisation industrielle et le contrôle des processus. Ils contrôlent des capteurs analogiques et numériques, une large gamme d'actionneurs, et communiquent par le biais d'interfaces complexes selon différents protocoles. L'automatisation industrielle, visant à contrôler les dispositifs exécutant des fonctions avancées telles que la connectivité IIoT et la reconfiguration des machines, permet au personnel de prendre des décisions éclairées sur les opérations.

L'objectif ultime d'un environnement industriel automatisé est d'augmenter la productivité et la qualité du travail. Cela repose sur le retour d'information en temps réel des machines et des données opérationnelles, ainsi que sur des interactions avancées entre dispositifs numériques. Les API améliorent le fonctionnement des usines en recevant et renvoyant des informations, et parfois en transmettant des données à des systèmes de supervision comme SCADA. Les API avancées peuvent même effectuer des opérations de supervision.

Grâce à l'Internet industriel des objets (IIoT), les API sont devenus populaires dans les applications numériques, exécutant des processus séquentiels et répétitifs. L'API a pris une place principale dans l'industrie 4.0, améliorant efficacement les installations des usines et facilitant la transformation en "usines intelligentes". [44]

## **IV.5 SCADA dans l'industrie 4.0 :**

Le SCADA peut contribuer de différentes manières à l'Industrie 4.0 :

**Surveillance en temps réel :** Le SCADA permet la collecte et l'analyse continues des données provenant de diverses sources en temps réel. Cela améliore la visibilité et le contrôle des processus industriels en identifiant rapidement les problèmes et en y répondant avant qu'ils ne deviennent majeurs. De plus, la surveillance à distance grâce aux systèmes SCADA permet d'améliorer l'efficacité et de réduire les temps d'arrêt.

**Maintenance prédictive :** Les systèmes SCADA peuvent être intégrés à des outils de maintenance prédictive basés sur l'apprentissage automatique. Ces outils permettent de prédire les pannes potentielles de l'équipement, permettant ainsi de planifier proactivement la maintenance plutôt que de réagir à des pannes inattendues. Cela réduit les coûts et améliore l'efficacité en minimisant les perturbations des opérations.

**Visualisation et analyse des données :** ils génèrent une grande quantité de données provenant des capteurs et d'autres sources. La visualisation et l'analyse de ces données sont facilitées grâce à des outils spécifiques. Cela permet aux opérateurs d'identifier les tendances, les modèles et les anomalies dans les données.

**Contrôle à distance :** permet le contrôle à distance des processus industriels, offrant aux opérateurs la possibilité d'ajuster les paramètres et de faire des changements depuis un emplacement central. Dans le cadre de l'Industrie 4.0, ce contrôle peut également être étendu aux appareils mobiles, permettant aux opérateurs de surveiller et de contrôler les processus de n'importe où et à tout moment. [45]

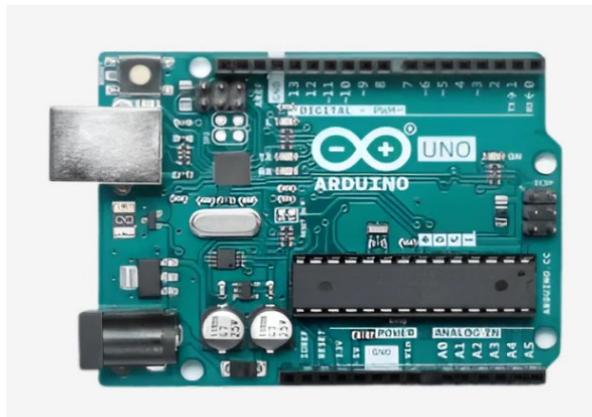
## **IV.6 Les microcontrôleurs dans l'industrie 4.0 :**

Les microcontrôleurs sont des composants essentiels pour développer des dispositifs électroniques performants. Microcontrôleurs Industriels dans l'Industrie 4.0 prend un rôle essentiel en automatisant et en optimisant les processus industriels. Populaires pour leur polyvalence et leur compatibilité, comme les Arduino, ils sont utilisés dans divers domaines tels que l'automatisation des systèmes, le contrôle des processus, la surveillance des données, la robotique, les systèmes SCADA, la gestion de l'énergie et le contrôle des moteurs. Ils permettent une communication en temps réel entre les machines et les systèmes de gestion, favorisant une production plus flexible et efficace. Grâce à ces dispositifs, les usines peuvent atteindre un haut niveau d'automatisation et d'optimisation, facilitant la maintenance prédictive et l'amélioration continue, transformant ainsi les industries en "smart factories" intégrant l'IoT, l'intelligence artificielle et le big data. [46]

## **IV.7 La carte Arduino :**

### **IV.7.1 Définition :**

Arduino est une carte électronique programmable et munie d'un logiciel qui est à la fois facile d'accès et d'exploitation. En plus du microcontrôleur interne contrôlant les traitements logiques et calculs que peut faire la carte, celle-ci est équipée de plusieurs ports d'inputs, qui permettent de lui envoyer des données à traiter (SMS, un clic, un signal d'un capteur de mouvement, etc.) et d'outputs, qui donnent généralement des ordres ou transmettent des messages après traitement des inputs. Pour transformer les inputs en outputs, Arduino se base sur des instructions données par le biais du langage de programmation Arduino. Il peut être utilisé pour construire des objets interactifs indépendants (prototypage rapide), ou bien peut être connecté à un ordinateur pour communiquer avec ses logiciels (ex : Macromedia Flash, Processing, Max/MSP, Pure Data, SuperCollider). [47][48]



**Figure 4. 4 : la carte Arduino Uno.**

### **IV.7.2 Description :**

#### **IV.7.2.1 Hardware :**

Un module Arduino est généralement construit autour d'un microcontrôleur Atmel AVR (ATmega328 ou ATmega1280 pour les versions récentes, ATmega168 ou ATmega8 pour les plus anciennes), et de composants complémentaires qui facilitent la programmation et l'interfaçage avec d'autres circuits. Chaque module possède au moins un régulateur linéaire 5V et un oscillateur à quartz 16 MHz (ou un résonnateur céramique dans certains modèles). Le microcontrôleur est préprogrammé avec un bootloader de façon à ce qu'un programmeur dédié ne soit pas nécessaire.

Les modules sont programmés au travers d'une connexion série RS-232, mais les connexions permettant cette programmation diffèrent selon les modèles. Les premiers Arduino possédaient un port série, puis l'USB est apparu sur les modèles Diecimila, tandis que certains modules destinés à une utilisation portable se sont affranchis de l'interface de programmation, relocalisée sur un module USB-série dédié (sous forme de carte ou de câble).

L'Arduino utilise la plupart des entrées/sorties du microcontrôleur pour l'interfaçage avec les autres circuits. Le modèle Diecimila par exemple, possède 14 entrées/sorties numériques, dont 6 peuvent produire des signaux PWM, et 6 entrées analogiques. Les connexions sont établies au travers de connecteurs femelle HE14 situés sur le dessus de la carte, les modules d'extension venant s'empiler sur l'Arduino. Plusieurs sortes d'extensions sont disponibles dans le commerce.

Les modules non officiels « BoArduino » et « Barebones », compatibles avec la technologie Arduino, utilisent des connecteurs mâles pour une utilisation aisée avec des plaques de test.

#### **IV.7.2.2 Software :**

Le logiciel de programmation des modules Arduino est une application Java multi-plateformes (fonctionnant sur tout système d'exploitation), servant d'éditeur de code et de compilateur, et qui peut transférer le firmware (et le programme) au travers de la liaison série (RS232, Bluetooth ou USB selon le module).

Le langage de programmation est une variante du C/C++, allégée et restreinte à l'utilisation de la carte, de ses entrées/sorties et des bibliothèques associées. Toute personne habituée à ces langages peut facilement développer des programmes sur les plates-formes Arduino. [49]

#### **IV.7.3 Arduino IoT Cloud :**

Arduino IoT Cloud est un moyen simple et sûr de connecter des capteurs à distance à une application ou une interface de gestion d'entreprise qui permet à des millions d'utilisateurs d'accéder aux données, par exemple sous la forme d'une carte, d'un graphique ou d'une autre représentation graphique. De plus, Arduino IoT Cloud permet d'adresser et d'accéder à partir de l'interface utilisateur à un emplacement donné qui nécessite une inspection ou un service pour une raison quelconque. L'accès est possible depuis n'importe quel endroit dans le monde où il est possible d'avoir une connexion au cloud, que ce soit via un PC ou un appareil mobile. Surtout, les personnes intéressées par le développement de telles applications ont accès à des milliers de lignes de code prêtes à être utilisées dans leur propre solution, démontrant le fonctionnement de divers types de capteurs et d'actionneurs.

Arduino sont les cartes plus connues pour le prototypage électronique rapide et les applications artisanales. Cependant, leurs capacités et leur flexibilité restent largement sous-estimées dans les environnements industriels. [50]

#### **IV.7.4 Arduino IoT GSM :**

L'IoT est composé d'un grand nombre d'appareils, devices, machines, humains et animaux, qui ont un identifiant unique et sont capables de recevoir et envoyer des données à travers un réseau de façon automatique, et sans intervention humaine. Avec le développement de cette technologie depuis plusieurs années, nous assistons à l'émergence de nouveaux types d'appareils, solutions et possibilités qui touchent tous les domaines de la vie moderne. Avec ce nouveau concept, tous les objets technologiques que nous utilisons au quotidien peuvent devenir "smart", ce qui élargit leurs champs d'application et étend leurs capacités. Un exemple simple serait une alarme qui envoie à distance et automatiquement des alertes à un destinataire prédéfini lorsqu'elle est déclenchée. Pour fonctionner, l'IoT a besoin d'une connectivité flexible, fiable et économique sont des conditions indispensables pour mettre en place des objets connectés efficaces. Il existe plusieurs réseaux et protocoles qui peuvent être utilisés pour exploiter les avantages de l'IoT. Ils ont chacun leurs avantages et inconvénients. Et si chaque réseau tend à être le plus efficace dans une situation spécifique, le réseau GSM se distingue comme l'une des solutions les plus viables réussir tout type de projet IoT.

Le GSM (Global System for Mobile Communications) est un protocole de communication sans fil utilisé initialement pour les téléphones mobiles. Il est particulièrement adapté aux objets connectés, car il permet de transmettre et de recevoir des données de divers types (voix, texte, vidéos, etc.), sur de très grandes distances et en temps réel. Le tout, en étant très économique. [51]

#### **IV.7.5 Les cartes d'interfaces d'Arduino (Shields) :**

##### **IV.7.5.1 Un module GSM Arduino :**

Le module GSM Arduino est un modem qu'il est possible d'installer sur la carte Arduino pour lui donner la possibilité d'exploiter la bibliothèque GSM. Cette dernière est un ensemble de classes, commandes et instruction accessibles via le langage de programmation Arduino. Cet ensemble permet à la carte d'avoir accès à Internet, d'envoyer des SMS, et même d'émettre et recevoir des appels téléphoniques. Il existe plusieurs modèles de module GSM. Chacun d'eux présente des caractéristiques qui leur sont propres, mais tous fonctionnent selon le même principe. Parmi les plus populaires nous pouvons retrouver le module GSM SIM900A ainsi que l'Arduino GSM Shield 2. Ce dernier a par ailleurs été remplacé par un meilleur module, à savoir le Arduino MKR GSM 1400. À la fois plus petit et plus puissant, ce modèle est nettement plus facile à manipuler que son prédécesseur pour un projet IoT. Et ce, même pour des personnes ayant peu d'expériences en infrastructures réseaux. [51]

#### **IV.7.5.2 Détecteur de flamme KY-026 :**

Le module de capteur de flamme KY-026 détecte la lumière infrarouge émise par le feu. Le module possède des sorties numériques et analogiques et un potentiomètre pour ajuster la sensibilité. Couramment utilisé dans les systèmes de détection d'incendie.



**Figure 4. 5 : Capteur de flamme.**

Le détecteur de flamme KY-026 est un dispositif utilisé pour détecter la présence d'une flamme ou d'autres sources de rayonnement infrarouge. Il se compose d'une photodiode et d'un circuit amplificateur, et il est sensible aux longueurs d'onde de la lumière dans le spectre infrarouge.

Pour utiliser le détecteur de flamme KY-026 avec une carte Arduino, vous devrez connecter le capteur à la carte et écrire un programme à l'aide de l'environnement de développement intégré Arduino (IDE) pour lire et traiter les données du capteur.

Pour connecter le détecteur de flamme KY-026 à la carte Arduino, vous aurez besoin de trois fils : un pour l'alimentation, un pour la masse et un pour les données. Les fils d'alimentation et de masse peuvent être connectés à n'importe quelles broches d'alimentation ou de masse sur la carte Arduino, et le fil de données doit être connecté à une des broches d'entrée/sortie numériques (E/S).

Une fois que le capteur est connecté à la carte Arduino, vous pouvez utiliser l'IDE Arduino pour écrire un programme pour lire les données du capteur. Le détecteur de flamme KY-026 produit un signal numérique, vous pouvez donc utiliser la fonction `digitalRead()` dans votre programme pour lire les données. [65]

#### **IV.7.5.3 Détecteur de gaz et fumée MQ2 :**

Le module MQ2 capteur d'incendie est un dispositif électronique conçu pour détecter la présence de gaz inflammables et de fumée dans l'environnement. Il est largement utilisé dans les systèmes de détection d'incendie et de sécurité pour fournir une alerte précoce en cas de risque d'incendie. [66]



Figure 4. 6 : Capteur de gaz et de fumée.

Il utilise un capteur de gaz de type semi-conducteur pour détecter les gaz inflammables tels que le méthane, le butane, le propane, l'alcool et d'autres composés organiques volatils. Le capteur réagit aux changements de concentration de ces gaz dans l'air et produit un signal électrique proportionnel à la quantité détectée. En plus de la détection des gaz inflammables, le module MQ2 est également sensible à la présence de fumée, ce qui en fait un dispositif polyvalent pour la détection d'incendie. Lorsqu'il détecte des niveaux élevés de gaz inflammables ou de fumée, le module MQ2 émet un signal d'alarme, généralement sous forme de signal sonore ou de signal électrique, pour avertir les utilisateurs du danger potentiel.

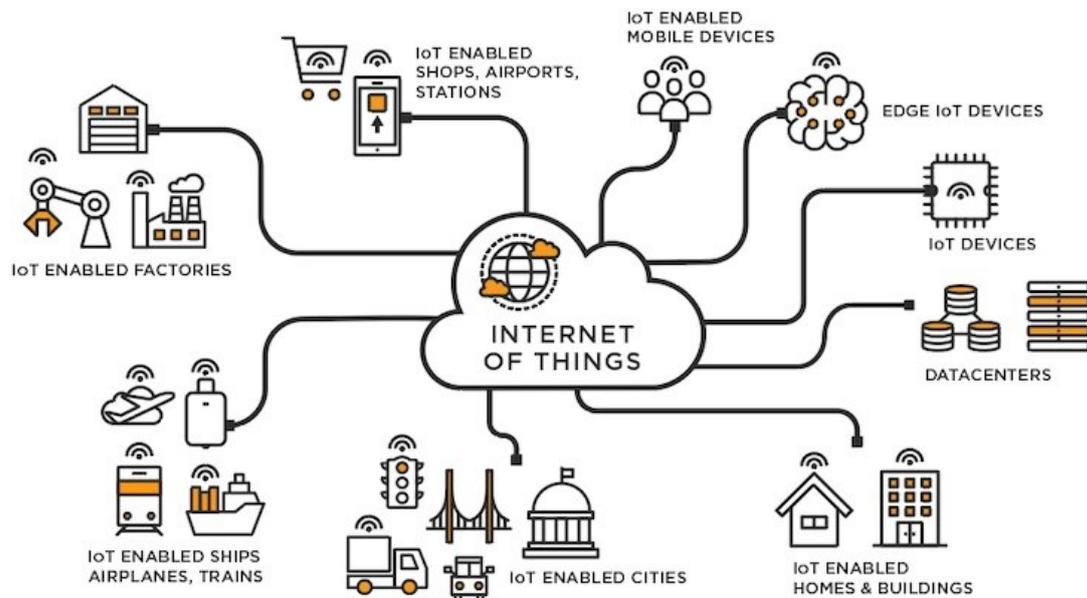
Le module MQ2 capteur d'incendie est généralement compact et facile à intégrer dans les systèmes de sécurité existants. Il est souvent utilisé dans les bâtiments résidentiels, les locaux commerciaux, les entrepôts et autres espaces où la détection précoce d'incendie est essentielle pour la sécurité des personnes et des biens.

Le MQ-2 est un capteur qui permet de détecter du gaz ou de fumée à des concentrations de 300 ppm à 10000 ppm. Après calibration, le MQ-2 peut détecter différents gaz comme le GPL (LPG), l'i-butane, le propane, le méthane, l'alcool, l'hydrogène ainsi que les fumées. Il est conçu pour un usage intérieur à température ambiante. Le MQ2 doit être alimenté en 5V pour le capteur physico-chimique puisse atteindre sa température de fonctionnement. Il dispose d'une sortie analogique et d'un réglage de la sensibilité par potentiomètre.

## IV.8 L'internet des objets (IoT) :

L'Union internationale des télécommunications (UIT) définit l'IoT comme "une infrastructure mondiale destinée à la société de l'information, permettant des services avancés en interconnectant (physiquement et virtuellement) des objets basés sur des technologies de l'information et de la communication interopérables existantes et évolutives". L'infrastructure qui permet aux appareils et/ou aux actifs de se connecter les uns aux autres est appelée l'IoT. Le terme IoT a été utilisé dans de nombreux domaines différents et prend le nom du domaine correspondant ; par exemple, l'Internet des objets industriels (IIoT), l'Internet des services (IoS). La fusion des technologies de la robotique et de l'IoT donne naissance à un nouveau concept appelé Robots assistés par l'IoT ou Internet des

objets robotiques (IoRT). Dans les systèmes de fabrication, chaque composant, y compris les capteurs, les actionneurs et les logiciels électroniques, est intégré à des dispositifs physiques et connecté à divers réseaux Internet. L'Internet des objets permet aux dispositifs de fabrication de partager et d'échanger des données entre eux, avec d'autres dispositifs de fabrication ainsi qu'avec les fournisseurs de services et les clients des dispositifs de fabrication. Récemment, de nombreuses études ont été menées sur l'IIoT et ses utilisations dans l'industrie et d'autres applications. Un certain nombre d'études ont apporté des idées et des contributions axées sur les problématiques liées aux protocoles et aux normalisations, à l'architecture et à la connectivité, ainsi qu'aux questions sémantiques et ontologiques pour l'Industrie 4.0. D'autres études se sont concentrées sur la fusion d'une plateforme IoT avec des CPS (cyber-physical systems) pour la fabrication numérique intelligente par fabrication additive, dans le cadre de l'usine intelligente et de la fabrication intelligente.



**Figure 4. 7 : L'Internet des objets. [79]**

### **IV.8.1 Fonctionnement de la technologie IoT :**

Là où nous ne pouvons être physiquement présents, les terminaux IoT sont nos yeux et nos oreilles. Ils capturent toutes les données pour lesquelles ils sont programmés. Ces données peuvent ensuite être collectées et analysées pour nous aider à guider et automatiser les futures décisions et mesures à prendre. Ce processus se divise en quatre étapes :

**Capture des données :** Grâce aux capteurs, les terminaux IoT capturent les données dans leurs environnements. Une tâche qui peut être aussi simple qu'un relevé de températures ou aussi complexe qu'un flux vidéo en temps réel.

**Partage des données :** À l'aide des connexions réseau disponibles, les terminaux IoT envoient ces données à un système cloud public ou privé (terminal-système-terminal) ou à un autre terminal (terminal-terminal), ou les stockent localement à des fins de traitement en périphérie.

**Traitement des données :** À ce stade, le logiciel est programmé pour lancer une action sur la base de ces données, comme allumer un ventilateur ou envoyer un avertissement.

**Exploitation des données :** Les données collectées de tous les terminaux d'un réseau IoT sont analysées. Il en ressort de solides insights qui aident à prendre des décisions et des mesures en toute confiance. [53]

## **IV.9 L'internet des objets industriel (IIoT) :**

L'Internet industriel des objets, traduit de l'anglais Industrial Internet of things (ou IIoT), est l'utilisation des technologies de l'Internet des Objets dans le secteur industriel (machines, appareils et capteurs connectés). Suivant la définition de l'Industrie du Futur française, Les réseaux IIoT grâce à une technologie embarquée (capteurs, actionneurs, puces RFID...) supportent généralement la communication de machine à machine (M2M) et la transmission régulière de données entre le système central et tous les dispositifs intégrés à IIoT (machines, produits en cours de fabrication, finis et en cours d'utilisation, collaborateurs, fournisseurs, clients, infrastructures...) et tous les éléments des chaînes de valeur que l'on peut désigner comme des « objets ». Lorsqu'elles sont gérées par un ERP moderne doté de fonctionnalités d'IA et de Machine Learning, les données générées par les terminaux IIoT peuvent être analysées et exploitées pour améliorer l'efficacité, la productivité, la visibilité, etc. La technologie IIoT est également une composante fondamentale des technologies de l'Industrie 4.0. [54]



Figure 4. 8 : Industrial IOT (IIOT).

### IV.9.1 Fonctionnement de la technologie IIoT :

Pour qu'un réseau IIoT soit efficace, il doit faire deux choses essentielles : connecter les appareils et les actifs entre eux et un système central, et permettre que les données qu'ils collectent et transmettent soient stockées, gérées, analysées et mises à profit. Pour ce faire, les réseaux IIoT s'appuient sur les technologies suivantes :

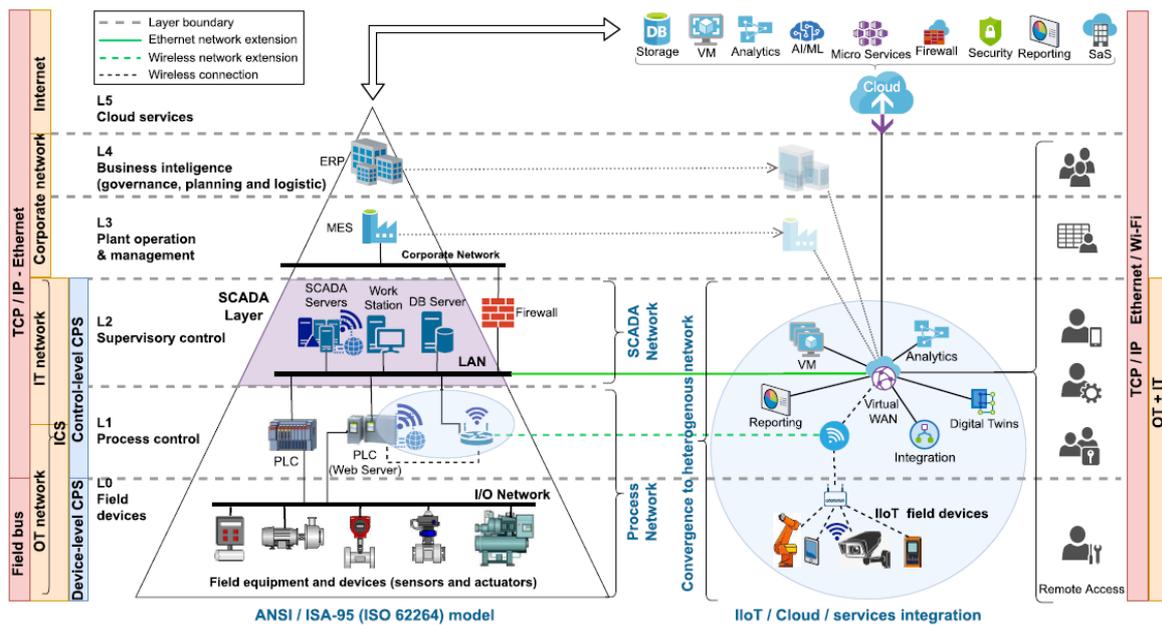


Figure 4. 9 : IIoT integration into ISA-95 model. [4]

**Connectivité (et 5G) :** Les réseaux IIoT ont besoin de la capacité nécessaire pour envoyer et recevoir les volumes massifs de données générés par les machines et les appareils. Cela a traditionnellement été à la fois activé et limité par la puissance de la connectivité Wi-Fi. Mais la 5G et d'autres avancées dans les réseaux cellulaires modifient ce calcul, augmentant la bande passante pour gérer de plus grands ensembles de données, tout en réduisant la latence et la consommation d'énergie. Ces caractéristiques peuvent supporter un plus grand nombre de dispositifs capables

d'envoyer et de recevoir des signaux plus rapidement pour un traitement des données plus efficace et une plus longue durée de vie de la batterie.

**Capteurs IIoT :** Aujourd'hui, les capteurs sont généralement intégrés dans de nouveaux équipements industriels et machines. Mais les machines analogiques et les équipements de fabrication peuvent également être équipés de dispositifs de passerelle IoT tels que des caméras et des jauges. Cela permet aux actifs IIoT de détecter les conditions dans leur environnement, y compris la proximité d'autres objets, la pression de l'air ou l'humidité – ainsi que la vitesse du moteur, les niveaux de fluide et d'autres conditions mécaniques. Toutes ces informations peuvent ensuite être traitées localement pour informer des actions en temps réel ou être transmises à un système central (tel qu'un ERP) via le cloud pour une analyse avancée.

**Puissance de calcul dans le cloud et calcul de pointe :** les technologies de calcul en nuage et de pointe ont grandement amélioré la flexibilité et l'utilisabilité de l'IIoT. Grâce au cloud, les réseaux IIoT peuvent exploiter un haut degré de puissance de traitement et de capacité de stockage à la demande. Cela signifie que les appareils du réseau peuvent collecter et transmettre des ensembles de données plus volumineux et plus complexes. L'informatique avancée signifie simplement prendre des systèmes capables de traiter et d'analyser ces données et de les rapprocher physiquement du réseau IIoT. Cela permet de réduire la latence et les retards et de traiter les données IIoT sensibles au temps en temps réel. Pour une analyse plus approfondie et moins urgente, les données IIoT peuvent être envoyées périodiquement au système central alimenté par l'IA.

**IA et Machine Learning:** les technologies d'intelligence artificielle et de Machine Learning permettent aux entreprises de traiter les données IIoT à l'aide d'outils d'analyse avancés et prédictifs. Les bases de données modernes et les algorithmes de Machine Learning aident également les entreprises à gérer et à donner du sens à divers ensembles de données et à des données non structurées et complexes. Grâce à ces outils, les données IIoT peuvent être analysées dans des combinaisons presque illimitées avec d'autres types d'informations telles que les commentaires des clients, les rapports météorologiques, les analyses marketing, etc. À mesure que les systèmes apprennent au fil du temps et que les ensembles de données deviennent de plus en plus précis, les entreprises peuvent commencer à collecter des informations et des apprentissages de plus en plus complexes et sophistiqués pour les aider à être compétitives, à économiser de l'argent et à répondre aux demandes des clients.

**Sécurité pour les systèmes cyber-physiques :** la même connexion qui donne vie aux réseaux IIoT les met également en danger. Bien que la plupart des entreprises disposent de protocoles de sécurité et d'accès stricts autour de leurs systèmes centraux et de leurs bases de données, leurs appareils IoT sont parfois relativement peu protégés. Essentiellement, ils peuvent agir comme des

fenêtres de sous-sol, donnant un accès complet à un système qui est par ailleurs assez sécurisé via ses points d'entrée conventionnels. Heureusement, les protocoles et les technologies de sécurité suivent largement les progrès de l'IIoT. Ce qui est souvent à la traîne, cependant, ce sont les protocoles de sécurité interentreprises qui sont clairement communiqués et renforcés à chaque employé et opérateur. Si ce n'est pas déjà le cas, les stratégies de sécurité doivent devenir une priorité absolue pour toute entreprise moderne. [54]

## IV.10 IIoT vs IoT :

Les différences entre ces technologies résident moins dans leur mode de fonctionnement et plus dans leur utilisation. La majeure partie des solutions IoT au monde ont tendance à avoir des utilisateurs finaux individuels et sont le plus souvent intégrées dans des éléments tels que les montres intelligentes, les assistants numériques à commande vocale ou les appareils et téléviseurs intelligents.

L'IIoT est un sous-ensemble de l'IoT et, bien qu'elle soit pilotée par les mêmes technologies de base, son objectif est beaucoup plus l'automatisation et l'efficacité dans tout un écosystème organisationnel connecté, par opposition à un utilisateur isolé. Dans les réseaux IIoT, la collecte et la conservation des données ne sont que la première étape d'un processus plus complexe. Pour offrir un maximum d'avantages à une entreprise, l'intelligence artificielle et le Machine Learning doivent être appliqués à ces données pour fournir une visibilité précise et optimiser les workflows et les tâches automatisées. Les utilisateurs humains doivent également pouvoir interagir le plus facilement possible avec ces dispositifs afin de créer des réseaux cyber-physiques dans lesquels le meilleur des capacités humaines et technologiques peut s'accroître mutuellement. [54]

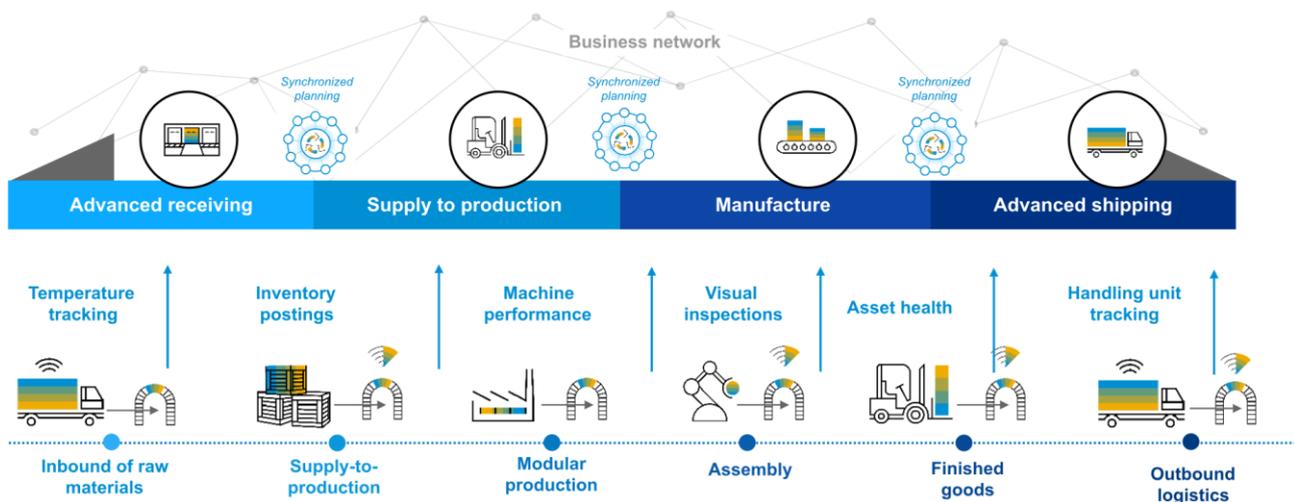


Figure 4. 10 : L'Amélioration des processus de travaux avec la transformation Industrie 4.0. [80]

## **IV.11 Conclusion :**

L'Industrie 4.0 vise à digitaliser la production en intégrant les technologies de l'information et de l'automatisation. En réduisant le besoin d'intervention humaine directe et continue, les API sont majeures dans de nombreux systèmes industriels modernes, permettant d'automatiser et de commander des tâches répétitives. De plus, l'intégration des systèmes SCADA offre les moyens de la supervision et le contrôle des différents équipements et d'information de l'usine. Grâce à ces systèmes, tous les membres d'une organisation, qu'il s'agisse de hauts dirigeants, de contremaîtres, d'opérateurs, de techniciens ou d'ouvriers, peuvent accéder, visualiser et même interagir avec les processus industriels via des représentations graphiques.

Par ailleurs, l'IoT, l'IA et l'apprentissage automatique, permet d'extraire des informations uniques sur les processus de production et leur optimisation à partir des données collectées par les capteurs intégrés. L'écosystème Arduino, avec ses cartes et son environnement de développement intégré (IDE), offre aux développeurs les systèmes et les ressources nécessaires pour s'engager dans l'analyse IoT pour l'intelligence industrielle. Cela abaisse les barrières à l'entrée pour des milliers de développeurs de systèmes embarqués et facilite l'adoption de l'Industrie 4.0.

La révolution des processus de production est en train de se transformer grâce à la digitalisation et à l'automatisation. Les systèmes SCADA, les API, les microcontrôleurs, et les technologies modernes comme l'IOT, l'IA, et l'analyse des données sont des tâches principales dans cette transformation. Les entreprises doivent donc saisir les opportunités offertes par ces technologies pour rester compétitives dans l'ère de l'Industrie 4.0.

*Chapitre V :*  
Commande et  
supervision  
d'une ascenseur

## **V. Commande et supervision d'un ascenseur**

### **V.1 Introduction :**

Dans l'ère de l'industrie 4.0, la supervision et la commande des ascenseurs se transforment radicalement, intégrant des technologies avancées pour améliorer l'efficacité et la sécurité. Pour faire la gestion des bâtiments modernes, ce domaine utilise l'Internet des Objets (IoT), le cloud computing, et l'intelligence artificielle pour optimiser et sécuriser le transport vertical. Les capteurs intelligents collectent des données en continu, permettant non seulement une surveillance en temps réel mais aussi une maintenance prédictive grâce à l'analyse avancée de données. Ces innovations représentent un bond en avant dans la manière dont les ascenseurs sont gérés, offrant une fiabilité accrue et une meilleure expérience utilisateur tout en réduisant les coûts opérationnels. Cette introduction à la supervision et la commande des ascenseurs dans le contexte de l'industrie 4.0 démontre comment les principes de connectivité, d'automatisation et d'analyse transforment les infrastructures de base en systèmes intelligents et auto-régulés. [55][56][57][58]

Dans ce chapitre, nous aborderons la commande et la supervision de l'ascenseur. La configuration de notre système basé sur les automates programmables industriels et des systèmes SCADA permet la surveillance et le contrôle des processus automatisés tout en fournissant des outils avancés. Ces fonctionnalités s'intègrent avec les principes de l'industrie 4.0, contribuant à une meilleure efficacité et réactivité des chaînes de production. L'adoption de notre système est essentielle pour la modernisation et l'optimisation des opérations industrielles, incarnant les dernières innovations en matière d'automatisation et de gestion numérique.

### **V.2 Matériels utilisées dans la commande et la supervision d'un ascenseur :**

Nous souhaitons modéliser le fonctionnement et la supervision de M cages d'ascenseurs desservant N étages, ou plusieurs ascenseurs dans des zones différentes. Le modèle de l'ascenseur comprend quatre types d'automates : Cage, Bouton, Porte et Client. Les instances de Bouton, Porte et Client représentent respectivement les boutons, les portes et les clients à chaque étage. La synchronisation entre les processus s'effectue via des canaux.



**Figure 5. 1 : Ascenseur à 3 cages et N niveaux (rez de chaussée et N-1 étages).**

Les ascenseurs peuvent être commandés par contrôleurs à relais, hydraulique ou à microprocesseurs (automates programmables industriels). Ces systèmes utilisaient des relais électromagnétiques ou des microprocesseurs pour contrôler la vitesse, la position et le fonctionnement des portes.

**Note :** En raison de l'absence d'équipement adéquat pour concevoir notre propre prototype, nous avons opté pour l'utilisation de dispositifs didactiques (l'ascenseur ASC89, l'automate programmable industriel S7-1200 et le logiciel TIA portal) mis à disposition par l'université. C'est pourquoi nous limitons la commande de l'ascenseur à seulement deux étages, car nous rencontrons un problème d'E/S insuffisantes lié à l'API S7-1215 C DC/DC/DC.

### **1. L'Ascenseur ASC89 :**

L'Ascenseur ASC89 est une maquette conçue pour être raccordée à un automate programmable, ou à un quelconque système à microprocesseur. Il comporte 24 sorties et 21 entrées. Il est possible de n'en utiliser qu'une partie si l'on désire réaliser des programmes simples. [11]

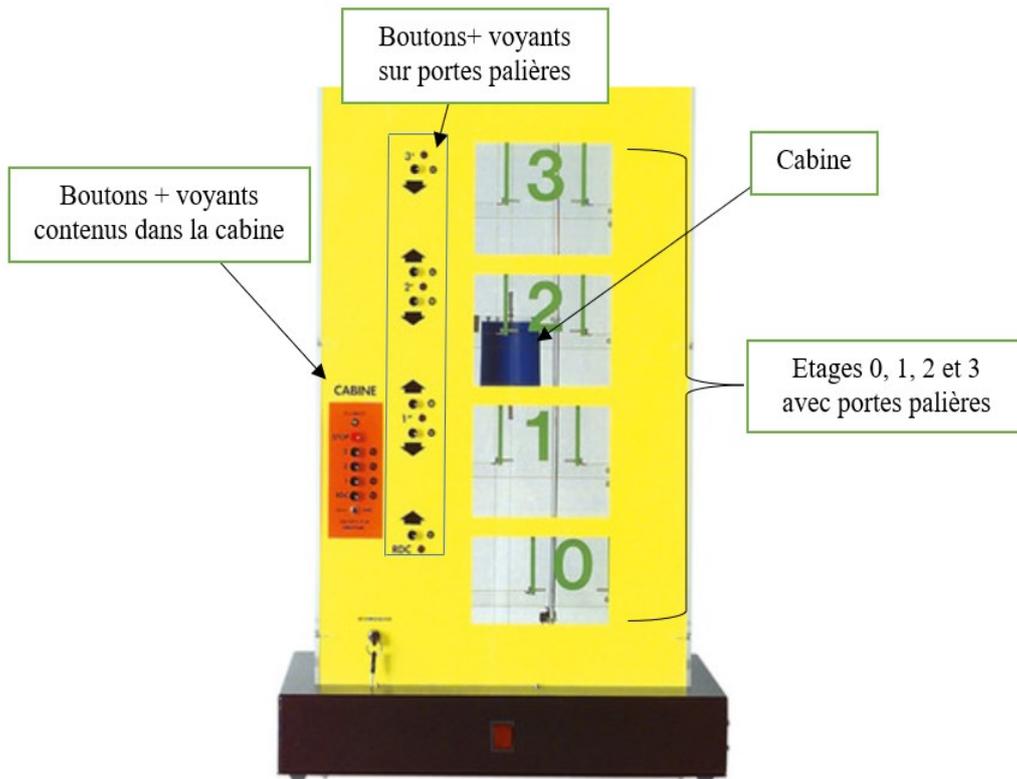


Figure 5. 2 : Description de l'ascenseur ASC89.

#### Caractéristiques principales :

- Ouverture et fermeture des portes d'étages par motoréducteurs électriques,
- Côtés transparents et cabine de couleur pour une meilleure visibilité,
- Détection du passage de la cabine à chaque étage par des barrières opto électriques,
- En cas d'erreur de programmation, 2 fin de course haut et bas (sans accès de programmation possible) stoppent la cabine,
- Tous les poussoirs et contacts sont équipés de circuits antirebonds,
- Les sorties sont protégées d'éventuels courts-circuits,
- Les portes glissant derrière une plaque en plexiglas transparente, il n'y a pas d'accès manuel possible risquant d'abîmer un motoréducteur.

Les organes mécaniques robustes supportent toutes les fausses manipulations.

*4 Etages avec chacun :*

- 1 porte s'ouvrant électriquement - 1 optodétecteur porte fermée et 1 porte ouverte.
- 2 fin de course de sécurité porte fermée/ouverte (sans accès de programmation possible).
- 1 bouton d'appel pour la montée (sauf 3ème étage) avec voyant d'enregistrement.
- 1 bouton d'appel de descente (sauf rez-de chaussée) avec voyant d'enregistrement.
- 1 voyant présence cabine - 1 optodétecteur présence cabine.

*Commandes intérieures de la cabine :*

- 4 boutons d'étage - 1 bouton stop

1 switch simulant un obstacle à la fermeture de la porte

4 voyants d'étage - 1 voyant éclairage cabine.

*Sources intégrées :*

Alimentant les moteurs - les diodes luminescentes - la logique interne propre à la maquette.

DIVERS Dimensions 780 x 480 x 440mm. Poids 15kg.

Existe en niveau logique 24V ou 5V. Alimentation 230V 50Hz. [1]

## **2. Automate SIMATIC S7-1200 :**

Siemens présente l'automate SIMATIC S7-1200 comme étant modulaire, compact, polyvalent et constituant donc un investissement sûr et une solution adaptée à une grande variété d'applications.

Il comprend :

- un contrôleur avec interface PROFINET intégrée pour la communication avec une console de programmation, une interface homme-machine ou d'autres contrôleurs SIMATIC,
- des fonctions technologiques performantes intégrées, par ex. comptage, mesure, régulation et Motion Control - entrées/sorties TOR et analogiques intégrées,
- des Signal Boards utilisables directement sur un contrôleur,
- des modules d'entrées/sorties pour l'extension des contrôleurs par des canaux d'entrées/sorties,
- des modules de communication pour l'extension des contrôleurs par des interfaces de communication,
- des accessoires, par ex. alimentation, modules de commutation ou SIMATIC Memory Card.

Nous pouvons ainsi citer les qualités suivantes :

- un effet d'automatisation maximal pour un coût raisonnable,
- simplicité de montage, de programmation et de manipulation,
- hautement intégré, peu encombrant,
- convenant pour les applications d'automatisation de petite à moyenne envergure,
- convenant pour les applications fermées jusqu'ici à la logique programmée pour des raisons de coûts,
- toutes les CPU utilisables en mode autonome, en réseau et dans des architectures décentralisées.

Pour la réalisation de ce projet, nous avons utilisé l'automate SIMATIC S7-1200 – Unité centrale 1215C DC/DC/DC compact qui a les caractéristiques techniques suivantes :



Figure 5. 3 : L'automate programmable SIMATIC 1215C DC/DC/DC.

- 2 ports PROFINET,
- 14 entrées numériques 24V CC (6 HSC-compteur rapide),
- 10 sorties numériques 24V CC (4 Sortie de trains d'impulsions 100 KHz),
- Courant d'entrée 1 mA,
- Courant permanent sorties 0,5 A,
- 2 entrées analogiques 0-10V et 2 sorties analogiques 0-20mA,
- Tension D'alimentation : 20,4 - 28,8V CC,
- Programme/stockage des données : 125 KB.

### 3. SIMATIC HMI Panel KTP700 Basic :

La gamme de produits SIMATIC HMI Basic Panels est constituée de pupitres tactiles et à clavier (commande par clavier et écran tactile).



Figure 5. 4 : KTP700 Basic PN.

Le logiciel WinCC Basic (TIA Portal) est nécessaire pour la configuration et la programmation. Ce logiciel est inclus dans la livraison du package SCE pour formateurs "SIMATIC HMI KTP700 BASIC Color PANEL pour S7-1200".

Le pupitre tactile Panel KTP700 Basic est peu comme tous les pupitres tactiles, être commandé directement à l'écran. Pour faciliter la commande, utilisez un stylet tactile spécial ou branchez une souris sur le port USB du pupitre.

Une fois le pupitre démarré, la fenêtre 'Start Center' du apparaît. Les boutons dans le Start Center :

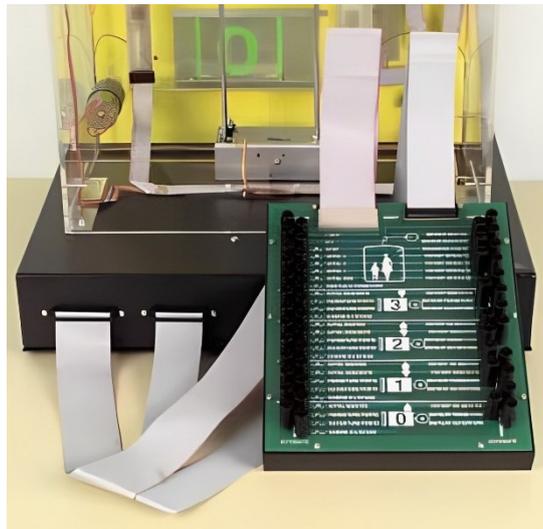
*Transfert (Transfer)* : Le transfert de données est activé et le pupitre attend le téléchargement des données de configurations par WinCC Basic sur le PC. Le mode de fonctionnement "Transfer" ne peut être activé que si au moins une voie de données est validée pour le transfert.

*Démarrage (Start)* : Le Runtime est démarré et la visualisation de processus s'affiche sur le pupitre. Le pupitre est souvent paramétré de telle sorte que le démarrage s'effectue automatiquement au bout de quelques secondes.

*Paramètres (Settings)* : La boîte de dialogue de configuration de Windows CE est appelée. Vous pouvez définir ici des paramètres pour le pupitre. Vous définissez différents paramètres à cet endroit, par ex. les paramètres pour le transfert.

#### **4. L'ASMAT :**

Cette interface est spécialement conçue pour connecter l'ascenseur à un automate. Le synoptique, grâce à un symbole et un texte, permet d'identifier rapidement chaque douille et sa fonction. Des flèches verticales indiquent la direction des informations entre l'automate et l'ascenseur. Le boîtier métallique mesure 22 x 272 x 32 mm et pèse 250 g.



**Figure 5. 5 : L'ASMAT.**

Un câble plat équipé de connecteurs est relié aux entrées, tandis qu'un autre câble est relié aux sorties. La face avant comporte deux colonnes de douilles de diamètre 4 mm que l'utilisateur connecte au bornier de l'automate à l'aide de cordons standards. Les douilles de gauche sont reliées aux entrées de l'automate, tandis que celles de droite sont reliées aux sorties.

## 5. La carte Arduino Uno :

La carte Arduino Uno est basée sur un ATmega328 cadencé à 16 MHz. C'est la plus simple et la plus économique carte à microcontrôleur d'Arduino. Cette carte peut être programmée en USB avec le logiciel Arduino. Le microcontrôleur ATmega328 contient un bootloader qui permet de modifier le programme sans passer par un programmeur. De plus, des connecteurs situés sur les bords extérieurs du circuit imprimé permettent d'enfiler une série de modules complémentaires.

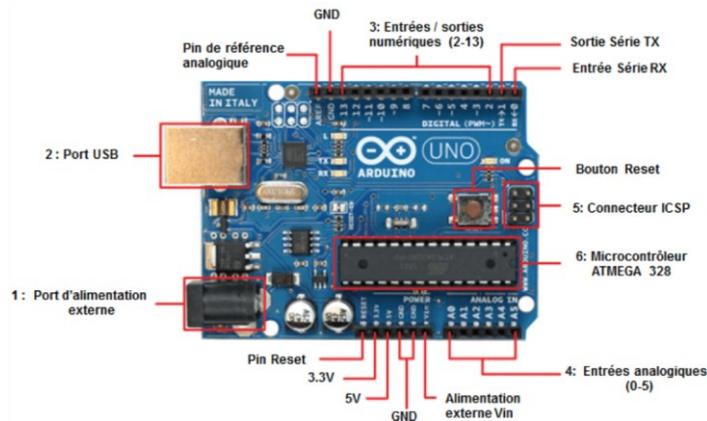


Figure 5. 6 : la carte Arduino Uno.

### Caractéristiques :

Alimentation : via port USB ou 7 à 12 V sur connecteur alim 5,5 x 2,1 mm,

Microcontrôleur : ATmega328,

Mémoire flash : 32 kb, Mémoire SRAM : 2 kb, Mémoire EEPROM : 1 kb,

Interfaces : 14 broches d'E/S dont 6 PWM, 6 entrées analogiques 10 bits, Bus série, I2C et SPI,

Intensité par E/S : 40 mA,

Cadencement : 16 MHz

Gestion des interruptions,

Connecteur USB B,

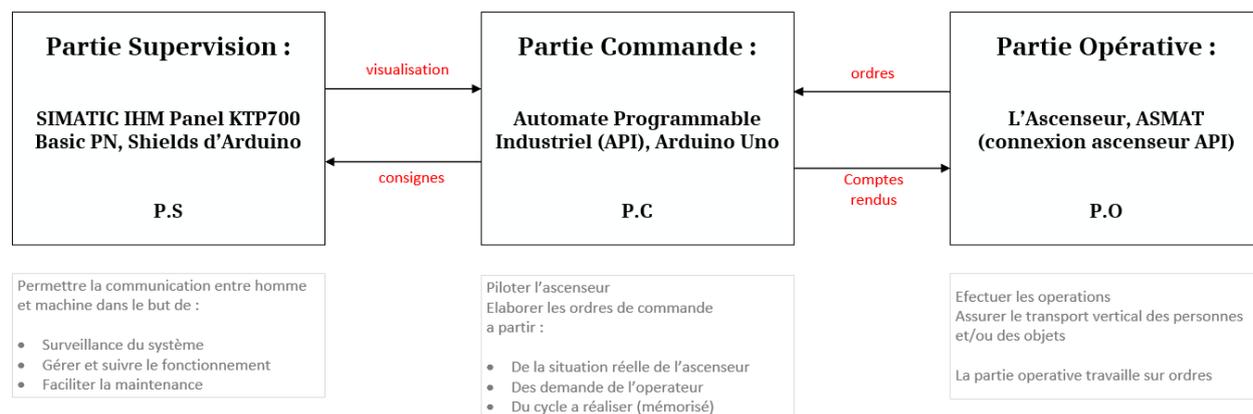
Dimensions : 74 x 53 x 15 mm.

## 6. Les circuits d'interface (Shields) :

Certains périphériques sont spécifiquement conçus pour fonctionner avec un Arduino. On les appelle carte d'interface, ou shield (appelé aussi bouclier en français). Ces cartes ont des dimensions sensiblement voisines de la carte Arduino et peuvent s'enfiler directement sur les connecteurs.

**Note :** Nous avons utilisé la carte Arduino et les circuits d'interfaces comme un système de sécurité pour vérifier le fonctionnement de l'ascenseur en raison des E/S limitées de l'API utilisée dans notre travail.

Notre système se compose de trois parties principales dans la structure des systèmes automatisés. Chaque partie à une tâche spécifique dans son fonctionnement :



**Figure 5. 7 : synoptique de parties principales dans la structure de notre système.**

### 1. Partie Commande (P.C) :

*API S7-1215 C DC/DC/DC :* C'est le cerveau du système. Il gère les ordres des utilisateurs, surveille la vitesse et assure la sécurité.

*La Carte Arduino Uno :* la carte Arduino contribue à la sécurité externe en surveillant les capteurs et en prenant des mesures en cas d'anomalies.

### 2. Partie Opérative (P.O) :

*Ascenseur AC89 :* C'est le cœur du système. Il comprend la cabine, le contrepoids et les câbles de traction. Le moteur électrique fait pivoter les poulies pour déplacer la cabine.

*ASMAT :* Il sert à connecter l'ascenseur à l'API et à gérer les communications entre les différents composants.

### 3. Partie Supervision (P.S) :

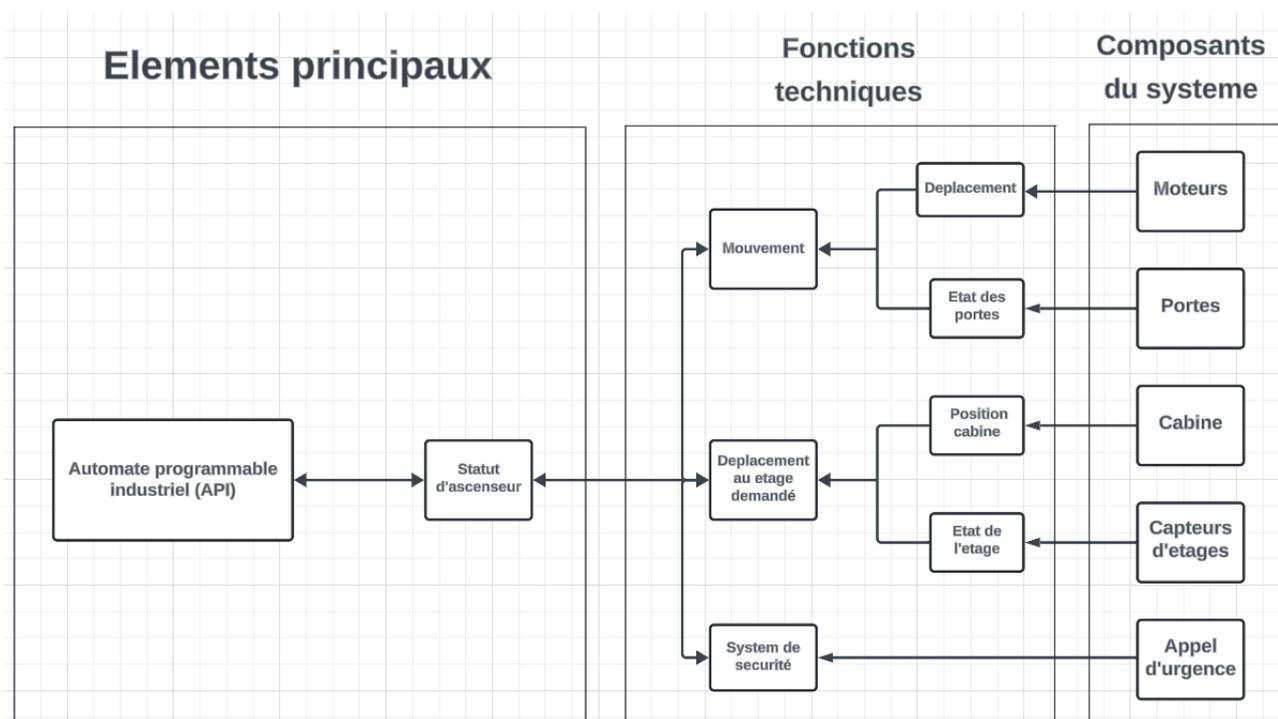
*SIMATIC HMI Panel KTP700 Basic :* C'est l'interface homme-machine. Elle permet aux utilisateurs d'interagir avec l'ascenseur via des boutons et des écrans.

*Les circuits d'interface d'Arduino (Shields) :* Ils peuvent également servir à afficher des alertes visuelles ou sonores pour les utilisateurs.

## V.3 La Modélisation du système :

### V.3.1 Le flux d'informations entre les composants du système :

Les diagrammes flux des données (Data Flow Diagrams ou DFD) sont des outils de modélisation utilisés pour représenter graphiquement les flux de données dans un système. Dans les systèmes automatisés, les DFD sont particulièrement utiles pour visualiser les interactions entre les différents composants du système, les processus automatisés, et les entités externes. Ils permettent de comprendre comment les données circulent, sont transformées, stockées, et communiquées dans l'ensemble du système automatisé.



**Figure 5. 8 : Les interactions et les flux d'informations dans un système d'ascenseur.**

Ce diagramme de flux de données (DFD) illustre les interactions et les flux d'informations dans un système d'ascenseur contrôlé par un automate programmable industriel (API). Voici une explication détaillée des différents éléments et de leurs interactions :

#### Éléments principaux :

*Automate programmable industriel (API) :* C'est le cœur du système qui contrôle et coordonne tous les composants de l'ascenseur.

*Statut d'ascenseur (État de l'ascenseur) :* Représente l'état actuel de l'ascenseur, incluant la position de la cabine, l'état des portes, etc.

**Composants du système :**

*Moteurs* : des actionneurs contrôle le déplacement de l'ascenseur. Reçoit des commandes de déplacement de l'API.

*Portes* : Gère l'ouverture et la fermeture des portes de l'ascenseur. Reçoit des commandes de mouvement de l'API.

*Cabine* : Représente la position de la cabine de l'ascenseur. Envoie la position actuelle de la cabine à l'API.

*Capteurs d'étages* : Détecte l'état des étages (comme la position de la cabine par rapport aux étages). Transmet ces informations à l'API.

*Appel d'urgence* : Système permettant de faire un appel d'urgence. Transmet les signaux d'urgence à l'API.

*Système de sécurité* : Comprend les contrôles de sécurité pour le bon fonctionnement de l'ascenseur. Reçoit et envoie des informations de sécurité à l'API.

**Flux de données :**

*Déplacement* : L'API envoie des commandes de déplacement aux moteurs et reçoit des informations sur les déplacements.

*État des portes* : L'API envoie des commandes pour ouvrir ou fermer les portes et reçoit des informations sur leur état.

*Position cabine* : La cabine envoie sa position actuelle à l'API.

*État de l'étage* : Les capteurs d'étages envoient des informations sur l'état des étages à l'API.

*Signal d'urgence* : Le système d'appel d'urgence envoie des signaux d'urgence à l'API.

*Contrôles de sécurité* : L'API communique avec le système de sécurité pour s'assurer que toutes les mesures de sécurité sont en place.

*Mouvement* : L'API envoie des commandes de mouvement aux portes et aux moteurs, et reçoit des informations sur leur état.

**Explication des flux :**

- *Déplacement à l'étage demandé* : L'API commande le déplacement de la cabine vers l'étage demandé en fonction des signaux reçus des capteurs d'étages et des commandes de l'utilisateur.

- *Statut d'ascenseur* : L'API surveille en permanence le statut de l'ascenseur, incluant l'état des portes, la position de la cabine, et les signaux d'urgence.

### **V.3.2 Les interactions entre les utilisateurs et l'ascenseur :**

À chaque étage, un client arrive et agit de la manière suivante :

- Le client se présente devant l'ascenseur. Il appuie sur le bouton poussoir pour appeler la cabine d'ascenseur. Une fois le bouton d'appel est appuyé, il attend l'arrivée de l'ascenseur (optionnel car la cage est peut-être déjà à l'étage). Ensuite, il attend que la porte s'ouvre et entre dans la cage.
- Une fois dans la cage, il attend la fermeture de la porte, puis appuie sur le boîtier interne de la cage pour choisir un étage (le choix de l'étage dépend des clients). La porte doit être fermée avant que l'étage demandé soit pris en compte.
- Il attend la fin du déplacement de l'ascenseur. Une fois arrivé à l'étage demandé, il attend l'ouverture de la porte et sort de l'ascenseur.

Par simplification, nous considérons que, si la cage est en déplacement pour servir un client, aucune demande d'un autre client ne peut être prise en compte jusqu'à ce que le client précédent soit sorti de l'ascenseur (pas de mémorisation cumulée des demandes). Le comportement de la cage de l'ascenseur est le suivant :

- Si la cage est déjà à l'étage demandé ou si la porte est ouverte, la cage ne bouge pas.
- Si la cage est au-dessus de l'étage demandé et si la porte de l'étage courant est fermée, la cage descend jusqu'à l'étage.
- Si la cage est en dessous de l'étage demandé et si la porte de l'étage courant est fermée, la cage monte jusqu'à l'étage.

Le fonctionnement des portes à chaque étage est régi par les règles suivantes :

- Si la cabine de l'ascenseur est présente à un étage donné, la porte correspondante peut s'ouvrir car elle n'est pas verrouillée.
- Dans le cas contraire, la porte reste fermée et ne peut pas être ouverte car elle est verrouillée.

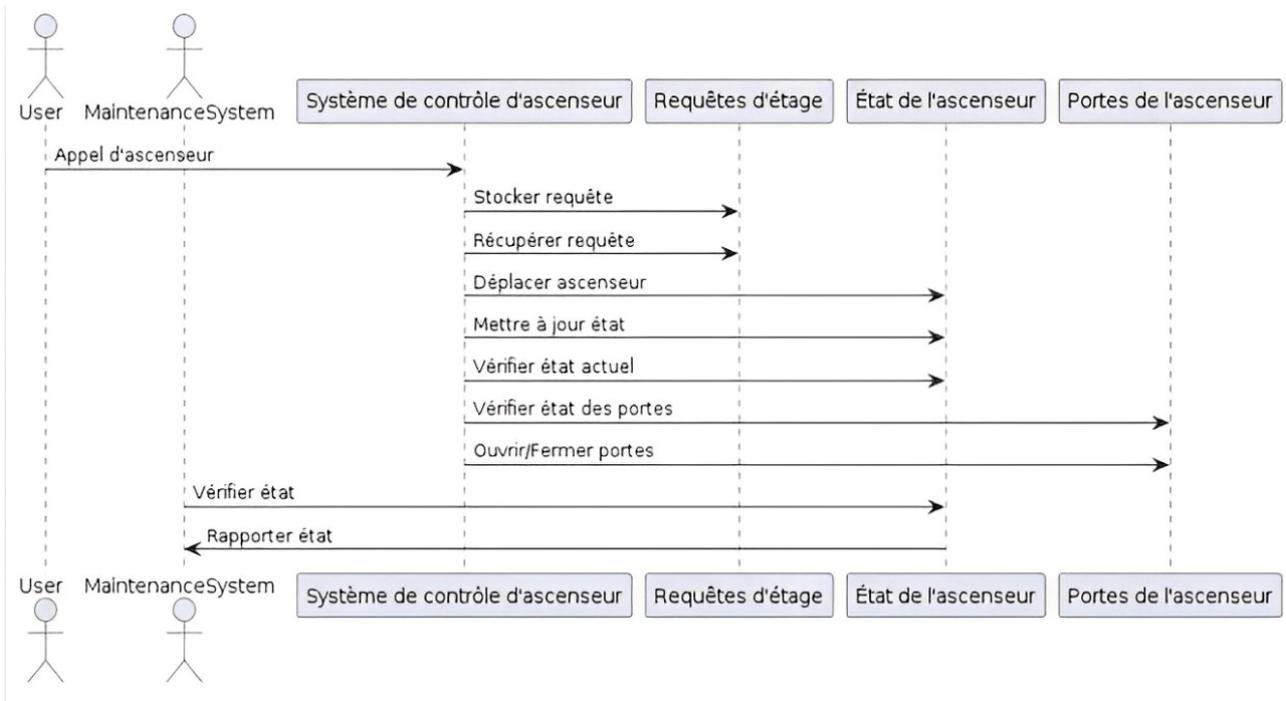


Figure 5.9 : diagramme de séquence du fonctionnement d'ascenseur.

Ce diagramme est un exemple de diagramme de séquence, qui fait partie des techniques de la modélisation. Il est utilisé pour montrer comment les objets interagissent dans un système en fonction du temps. La figure 5.9 représente une explication des éléments de ce diagramme spécifique, qui semble modéliser le fonctionnement d'un système de contrôle d'ascenseur :

### 1. Acteurs et Systèmes :

- *Utilisateur* : Représente l'utilisateur de l'ascenseur.
- *Maintenance System* : Système de maintenance qui peut interagir avec le système de contrôle de l'ascenseur pour des opérations de maintenance ou de vérification.
- *Système de contrôle d'ascenseur* : Le système central qui gère le fonctionnement de l'ascenseur.
- *Requêtes d'étage et Portes de l'ascenseur* : Entités qui reçoivent des commandes du système de contrôle.

### 2. Flux de processus :

- *Appel d'ascenseur* : L'utilisateur envoie une requête pour appeler l'ascenseur.
- *Stocker requête* : Le système de contrôle d'ascenseur reçoit et stocke la requête.
- *Récupérer requête* : Le système récupère la requête stockée pour la traiter.
- *Déplacer ascenseur* : Le système commande le déplacement de l'ascenseur vers l'étage requis.
- *Mettre à jour état* : L'état de l'ascenseur est mis à jour en fonction de sa position actuelle.

- *Vérifier état actuel et Vérifier état des portes* : Vérifications périodiques de l'état de l'ascenseur et de l'état des portes.
- *Ouvrir/Fermer portes* : Commande pour ouvrir ou fermer les portes de l'ascenseur.

### **3. Communication entre systèmes :**

- Les flèches montrent la direction de la communication entre les acteurs et les systèmes. Par exemple, après que l'utilisateur ait appelé l'ascenseur, le système de contrôle de l'ascenseur prend en charge la gestion des requêtes et de l'ascenseur lui-même.
- *Vérifier état et Rapporter état* : Le Maintenance System peut vérifier l'état de l'ascenseur et recevoir des rapports sur l'état pour la maintenance.

## **V.4 Le Fonctionnement du système :**

### **V.4.1 La Partie Simulation :**

#### **V.4.1.1 Programmation de système :**

Pour concevoir notre système de contrôle d'ascenseur, nous commençons par élaborer un **GRAFCET** qui détaille chaque étape du fonctionnement de l'ascenseur. Ce diagramme permet de visualiser les transitions entre les états, depuis la réception des appels des utilisateurs jusqu'à la gestion des mouvements et l'ouverture ou la fermeture des portes... etc.

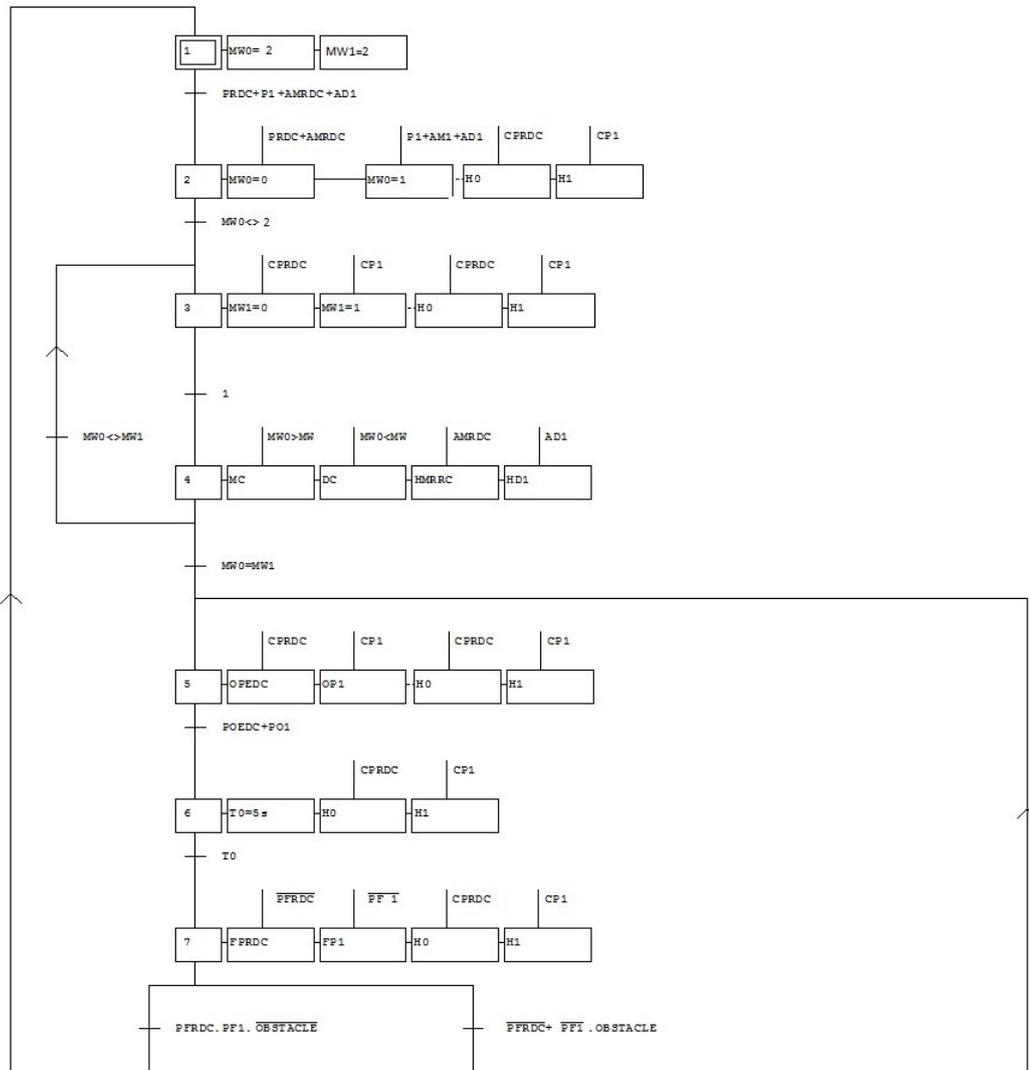


Figure 5. 10 : Grafcet du fonctionnement normal d'un ascenseur.

Cette figure représente les structures pour contrôler les opérations de l'ascenseur entre le rez-de-chaussée et le premier étage. Il utilise des mémoires internes (MW0, MW1, MW2) pour gérer l'état de l'ascenseur et ses réponses aux pressions des boutons et aux lectures des capteurs. Chaque étape gère des actions spécifiques et des transitions basées sur les entrées l'état actuel de l'ascenseur.

À l'étape initiale (Étape 1), l'ascenseur attend soit une commande du bouton d'appel du rez-de-chaussée (PRDC) soit une combinaison de boutons pressés à l'étage 1 (P1 ou AD1). Si ces conditions sont remplies, le système passe à l'étape 2 pour vérifier les requêtes. Cette étape évalue si la mémoire interne indique une nécessité de déplacement, selon MW0 ou MW1. Si aucune condition de déplacement n'est remplie, le système retourne à l'étape 1 (Étape 3). Sinon, l'ascenseur se dirige vers l'étape 4, où les moteurs de montée (MC) ou de descente (DC) sont activés en fonction de la destination demandée. Le positionnement de la cabine est confirmé par les capteurs CPRDC (pour le rez-de-chaussée) ou CP1 (pour l'étage 1), ce qui détermine si l'ascenseur doit s'arrêter à l'étage actuel (Étape 5). À cette étape, les portes s'ouvrent respectivement avec les moteurs OP RDC ou OP 1. Après l'ouverture des portes, une temporisation de 5 secondes (T0) est appliquée à l'étape 6, avant que le



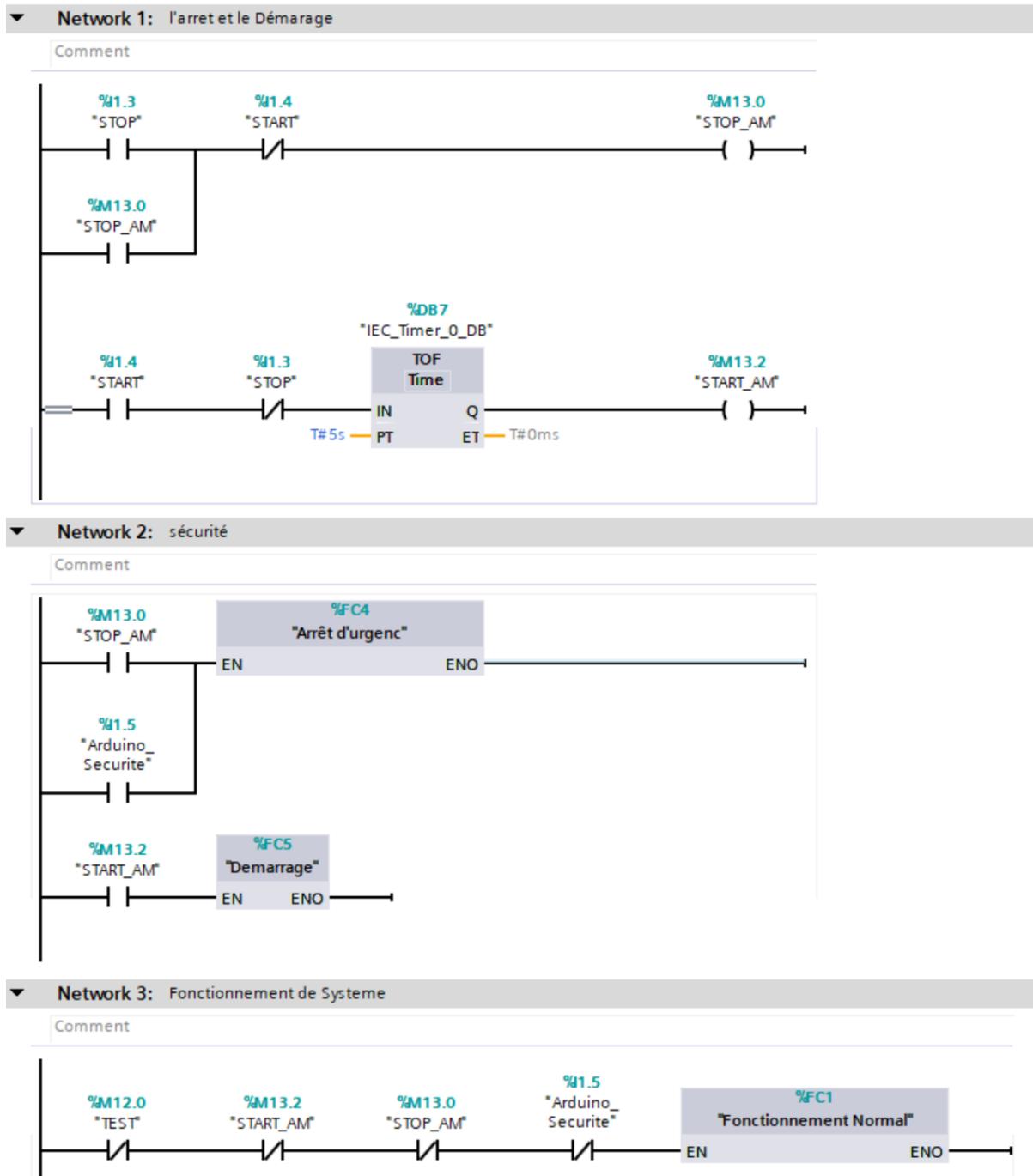


Figure 5. 12 : Programme Ladder d'ascenseur.

Ce diagramme ladder représente le contrôle d'un ascenseur à travers trois réseaux : arrêt et démarrage, sécurité, et fonctionnement du système.

Le premier réseau gère les commandes de démarrage et d'arrêt avec des boutons (des entrées), activant des mémoires internes pour contrôler l'état de l'ascenseur, incluant un temporisateur pour démarrer après un délai de 5 secondes.

Le deuxième réseau intègre des dispositifs de sécurité, comme un arrêt manuel et un dispositif de sécurité externe, pour déclencher des arrêts d'urgence et permettre le démarrage sécurisé.

Le troisième réseau assure le fonctionnement normal de l'ascenseur en vérifiant que toutes les conditions de sécurité sont remplies et que l'ascenseur n'est pas en mode test.

Pour assurer le fonctionnement de notre système, nous passons par la partie simulation en utilisant le logiciel **PLCSIM**. PLCSIM est un logiciel de simulation intégré au TIA Portal de Siemens, une plateforme de développement qui unifie la programmation, la configuration et la maintenance des systèmes d'automatisation industrielle. Il permet de simuler le comportement des API Siemens, comme les S7-1200 et S7-1500, sans avoir besoin de matériel physique. Cela inclut la vérification des programmes, le test des séquences logiques, et l'analyse des réactions aux entrées et sorties.

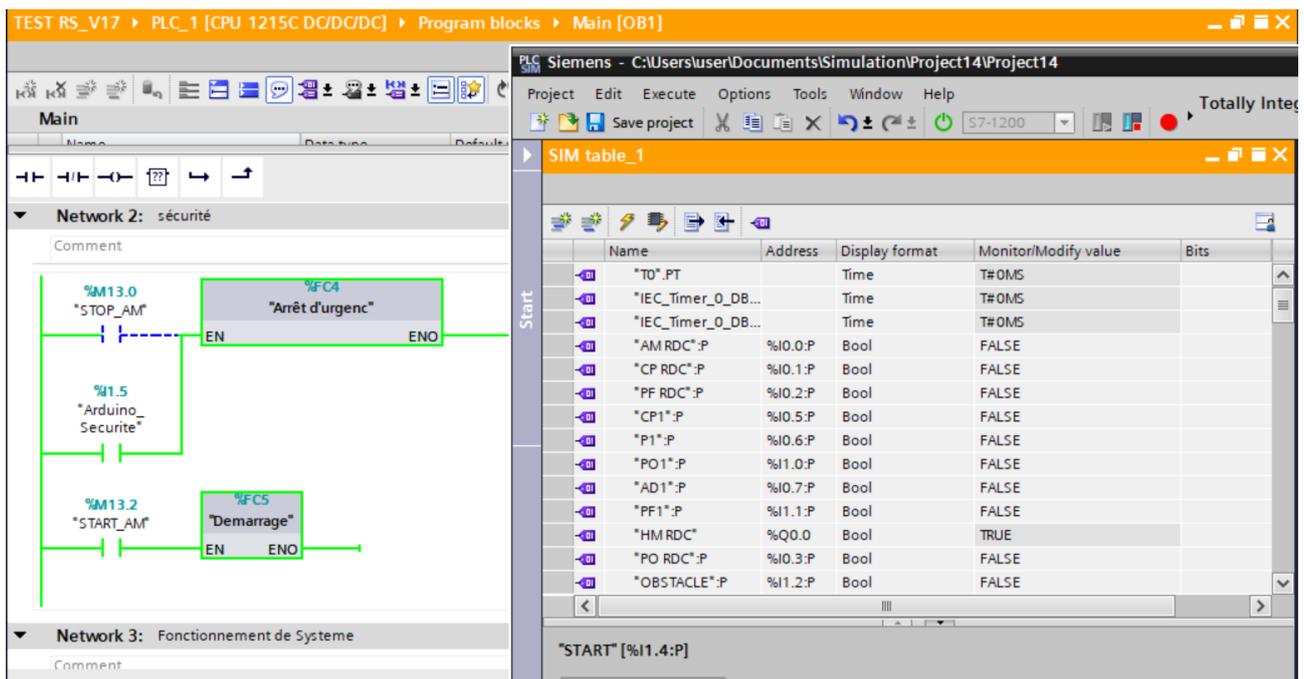
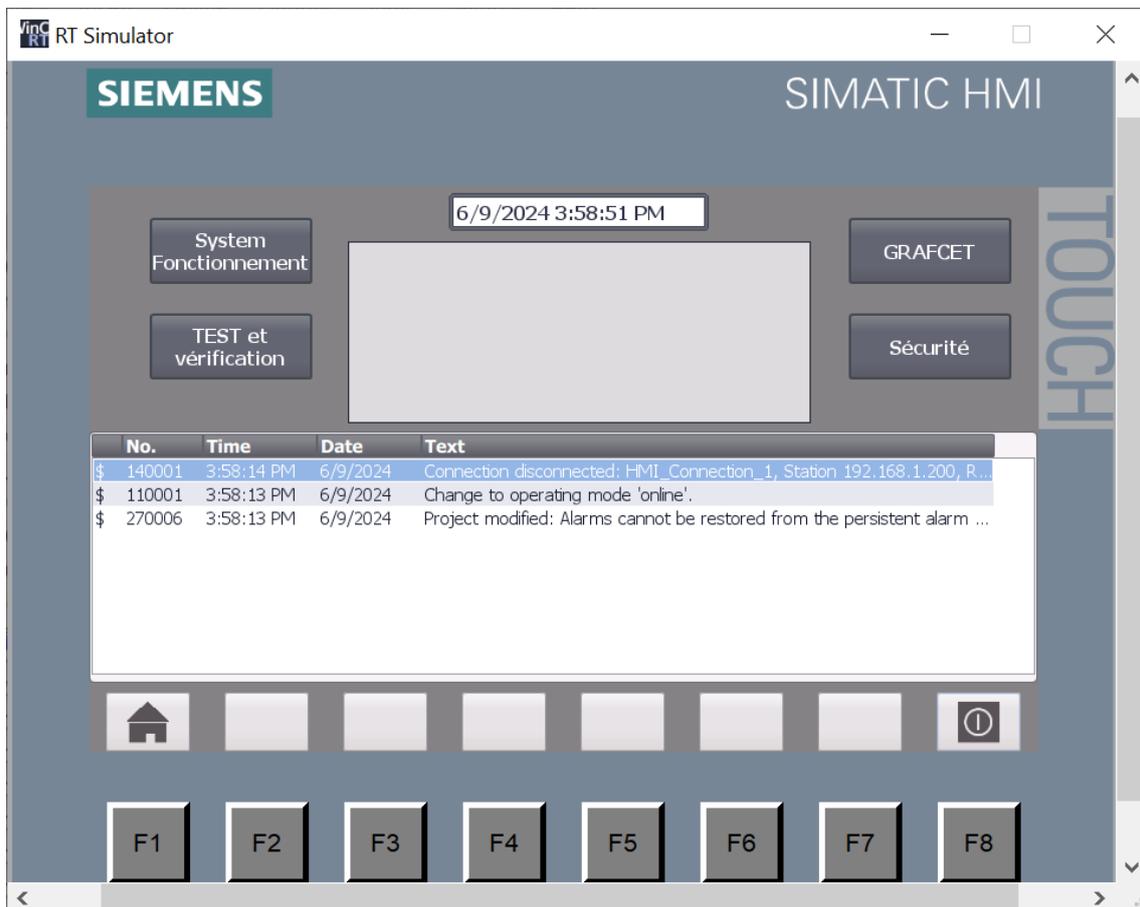


Figure 5. 13 : Testes et simulation (PLCSIM).

Le processus de test et de simulation avec PLCSIM dans le TIA Portal permet de valider les programmes des API de Siemens sans utiliser de matériel physique. Il commence par la création et la configuration du projet dans TIA Portal, suivie du téléchargement du programme dans PLCSIM. Une fois chargé, vous pouvez ajuster les signaux d'entrée pour simuler différentes conditions de fonctionnement et démarrer la simulation. Les outils de surveillance permettent d'observer le comportement en temps réel et de tester les réponses aux événements variés et possibles. Si des anomalies sont détectées, le débogage et les ajustements peuvent être effectués directement dans TIA Portal. La simulation garantit ainsi que le programme fonctionne correctement avant son déploiement, réduisant les coûts et les risques liés à des erreurs potentielles sur le matériel réel.

**V.4.1.2 Configuration des système SCADA :**

Dans le contexte de notre système d'ascenseur, la configuration des systèmes SCADA avec WinCC et leur intégration avec STEP 7 dans le TIA Portal de Siemens offrent une solution complète pour la programmation des API et la supervision en temps réel. Les variables utilisées dans la programmation des API sont ensuite référencées dans WinCC, ce qui permet de créer une interface homme-machine (IHM) intuitive. Cette IHM permet de surveiller et de contrôler les opérations de l'ascenseur en temps réel, afficher l'état des étages, la direction du mouvement, et alerter les opérateurs en cas de pannes ou de situations d'urgence. WinCC facilite également l'archivage des données, pour conserver un historique des opérations de l'ascenseur pour une analyse ultérieure. L'intégration entre STEP 7 et WinCC garantit que toute modification apportée au programme de l'API est instantanément synchronisée avec le système SCADA, simplifiant le diagnostic et le débogage. Cela assure une communication fiable et sécurisée, optimisant ainsi la performance et la sécurité de l'ascenseur.



**Figure 5. 14 : Interface homme machine (accueil).**

Cette interface est composée de :

**System Fonctionnement** : Ce bouton pourrait accéder à l'écran principal de fonctionnement de l'ascenseur.

**TEST et vérification** : Ce bouton pourrait être utilisé pour accéder à un écran dédié aux tests et diagnostics.

**Sécurité** : Ce bouton pourrait accéder à un écran dédié aux fonctions de sécurité de l'ascenseur.

**Zone d'Alarme (Affichage des Alarmes)** : La partie inférieure de l'écran montre une liste des alarmes et des événements qui se produisent dans le système d'ascenseur. Cette zone permet aux opérateurs de surveiller en temps réel les problèmes potentiels ou les conditions opérationnelles importantes. Chaque entrée inclut un numéro d'identification, l'heure, la date, et une description textuelle.

### 1. System Fonctionnement :

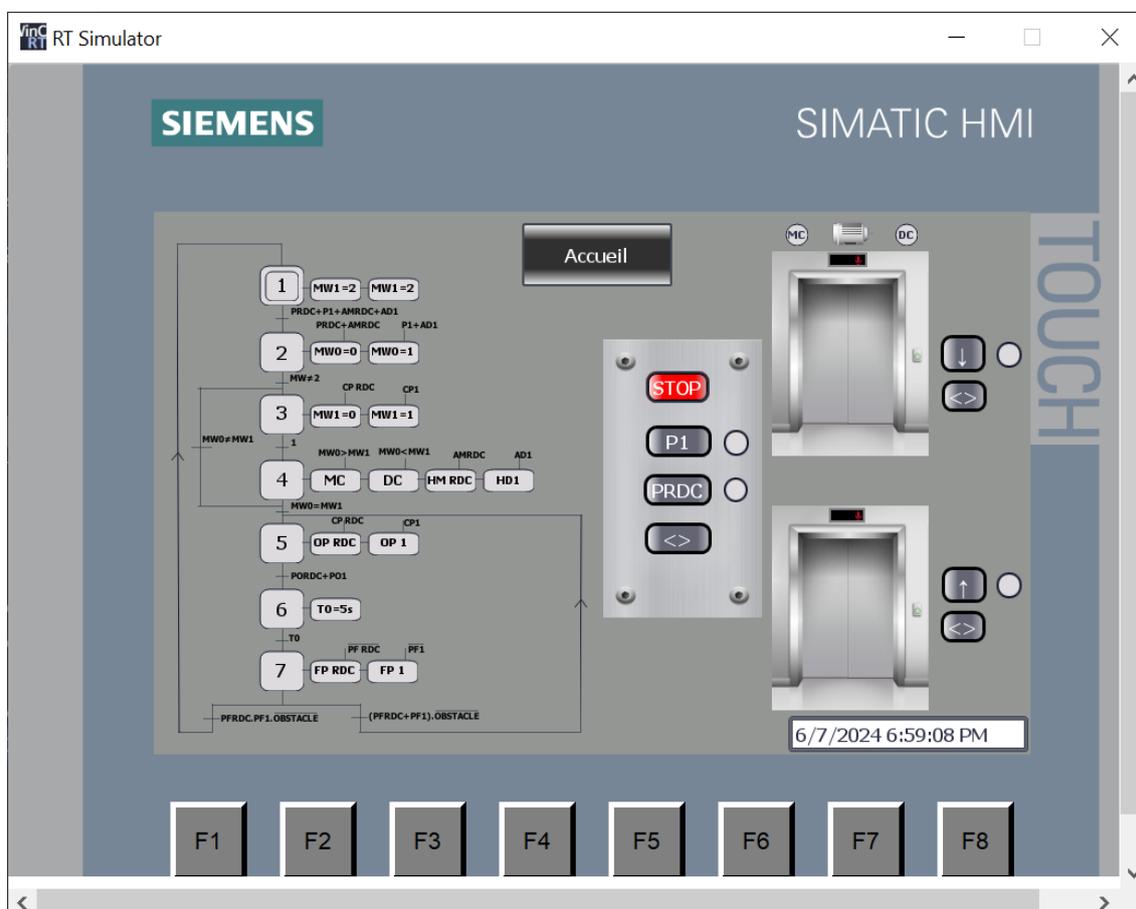


Figure 5. 15 : L'écran principal de fonctionnement de l'ascenseur (System fonctionnement).

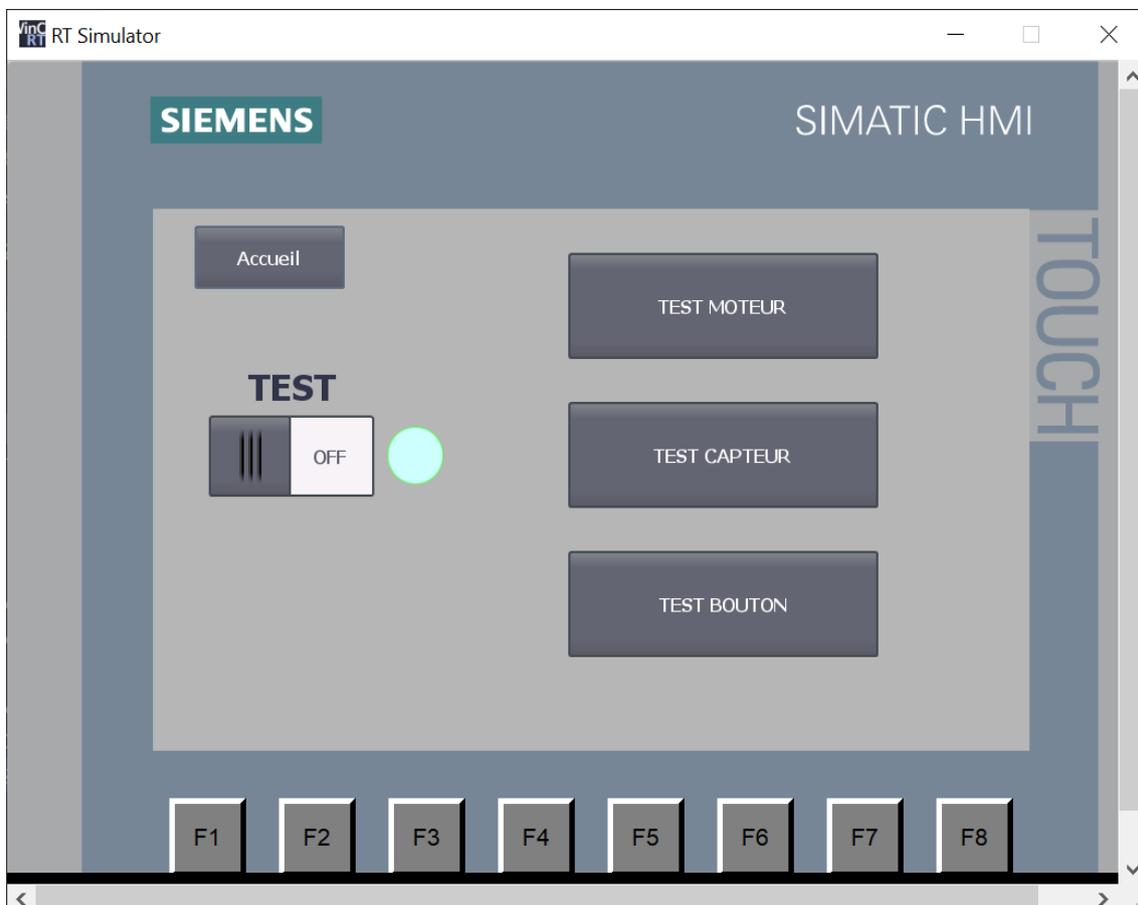
Sur cet écran, les opérateurs peuvent voir les informations essentielles telles que la position actuelle de l'ascenseur, son état (en mouvement, arrêté, porte ouverte, etc.), et les commandes de base pour appeler ou envoyer l'ascenseur à un étage particulier.

- Bouton "Accueil" : Ce bouton est commun dans tous les écrans de l'IHM permet de revenir à l'écran principal ou à l'accueil de l'IHM. Cela peut être utilisé pour réinitialiser l'affichage ou revenir à une vue de base après avoir navigué à travers différents écrans ou menus.
- Boutons "P1" et "PRDC" : Ces boutons permettent aux utilisateurs de sélectionner l'étage, " PRDC" (le rez-de-chaussée) "P1" (premier étage), ce qui est particulièrement utile pour les appels prioritaires ou pour les commandes de déplacement de la cabine.
- Boutons de Direction (↑, ↓) : Ces boutons sont utilisés pour contrôler la direction de l'ascenseur. Ils permettent de déplacer l'ascenseur vers le haut ou vers le bas.
- Écrans de Visualisation des Ascenseurs : Ces zones montrent des représentations visuelles des cabines d'ascenseur. Elles affichent les positions actuelles des ascenseurs dans le bâtiment, avec des indicateurs numériques montrant l'étage où se trouve chaque ascenseur.

L'opérateur peut rapidement voir où se trouve chaque ascenseur et son état opérationnel actuel (en mouvement, arrêté, portes ouvertes ou fermées).

- Indicateurs de Porte (MC, DC) : Ces indicateurs montrent le mouvement de la cabine de l'ascenseur.
  - o MC : Indicateur de déplacement du moteur de l'ascenseur (la monte).
  - o DC : Indicateur de déplacement du moteur (la descente).

## 2. TEST et vérification :



**Figure 5. 16 : Zone de Test.**

Les techniciens peuvent utiliser cet écran pour exécuter des diagnostics sur le système d'ascenseur, tester les composants (comme les moteurs, les capteurs de porte... etc.), et vérifier les réponses des systèmes de sécurité.

- Interrupteur de Test (ON/OFF) : Cet interrupteur active ou désactive le mode de test.

Lorsque l'interrupteur est en position "ON", les fonctions de test sont actives, permettant aux opérateurs de tester les composants de l'ascenseur. En position "OFF", le mode de test est désactivé, ce qui prévient toute modification ou action involontaire pendant le fonctionnement normal de l'ascenseur.

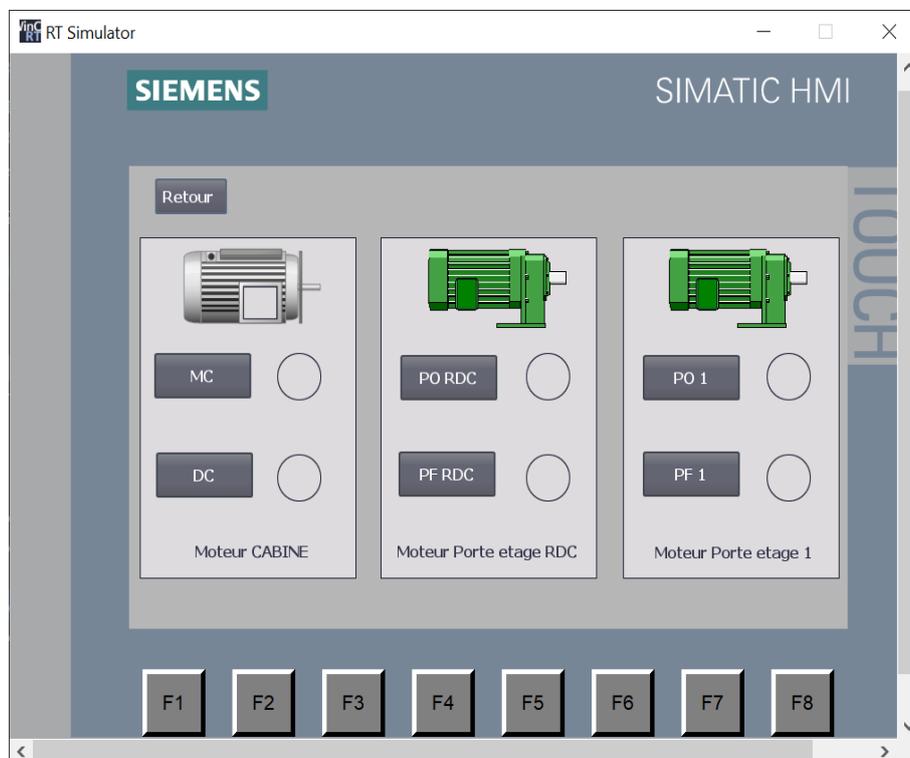
- Indicateur Lumineux (Vert) : Cet indicateur montre l'état du mode de test.

Lorsque le mode de test est activé (interrupteur sur "ON"), cet indicateur s'allume, signalant aux opérateurs que l'ascenseur est actuellement en mode de test. Si le voyant est éteint, cela signifie que le mode de test est désactivé.

- Boutons de Test :

1) Bouton "TEST MOTEUR" : Lance un test du moteur de l'ascenseur.

Ce bouton permet aux techniciens de vérifier le fonctionnement du moteur. Le test pourrait inclure des actions telles que l'ouverture ou la fermeture des portes, la montée ou la descente de l'ascenseur sans passagers pour vérifier les performances du moteur et détecter tout problème mécanique ou électrique.



**Figure 5. 17 : Ecran test des moteurs.**

Cette figure représente un écran de test conçu pour la vérification des moteurs. Ce panneau permet de tester de manière indépendante les moteurs qui contrôlent le mouvement de la cabine ainsi que ceux qui gèrent l'ouverture et la fermeture des portes à chaque étage.

Moteur de la Cabine :

- MC (Moteur Montée Cabine) : Contrôle la montée de la cabine.
- DC (Moteur Descente Cabine) : Contrôle la descente de la cabine.
- Indicateurs : Les voyants à côté de ces boutons montrent l'état actuel des moteurs de la cabine (actif ou inactif).

Moteur de Porte au Rez-de-Chaussée :

- OP RDC (Moteur Ouverture Porte RDC) : Ouvre la porte au rez-de-chaussée.
- FP RDC (Moteur Fermeture Porte RDC) : Ferme la porte au rez-de-chaussée.
- Indicateurs : Les voyants montrent l'état des moteurs de la porte au rez-de-chaussée (ouverture ou fermeture).

Moteur de Porte à l'Étage 1 :

- OP 1 (Moteur Ouverture Porte Étage 1) : Ouvre la porte à l'étage 1.
- FP 1 (Moteur Fermeture Porte Étage 1) : Ferme la porte à l'étage 1.
- Indicateurs : Les voyants montrent l'état des moteurs de la porte à l'étage 1 (ouverture ou fermeture).

Il est possible de s'assurer que chaque moteur fonctionne correctement, en simulant leur activation dans différentes conditions et en visualisant leurs états en temps réel.

2) Bouton "TEST CAPTEUR" : Exécute un test des capteurs de l'ascenseur.

Les capteurs surveillent divers aspects de l'ascenseur, comme la position de la cabine, la présence d'obstacles, ou l'état des portes. Ce test permet de s'assurer que tous les capteurs fonctionnent correctement et transmettent les bonnes informations au système de contrôle.

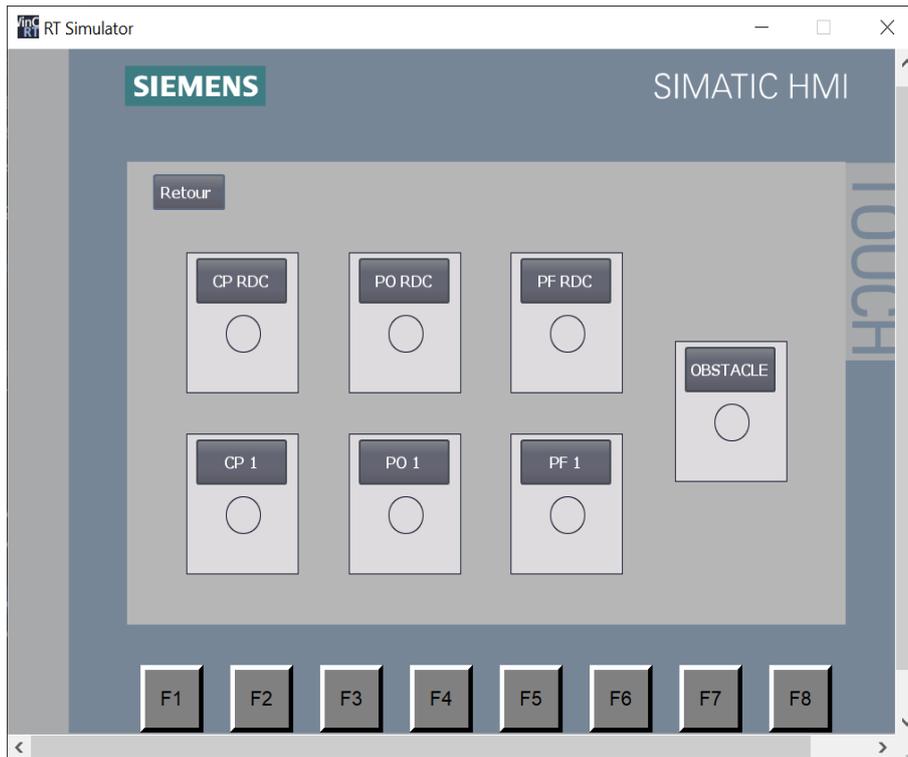


Figure 5. 18 : Ecran test des capteurs.

Cette figure montre un écran de test dédié à la vérification des capteurs. Cet écran permet de vérifier le bon fonctionnement des différents capteurs essentiels pour le contrôle sécurisé et efficace de l'ascenseur. Chaque capteur est représenté par un bouton spécifique sur l'écran, permettant aux utilisateurs d'activer des tests individuels et de visualiser l'état des capteurs en temps réel.

Capteurs de Position et de Portes :

- CP RDC (Capteur Position Rez-de-Chaussée) : Vérifie si la cabine est correctement positionnée au rez-de-chaussée.
- CP 1 (Capteur Position Étage 1) : Vérifie si la cabine est correctement positionnée à l'étage 1.
- PO RDC (Porte Ouverte Rez-de-Chaussée) : Teste l'état du capteur qui détecte si la porte au rez-de-chaussée est ouverte.
- PF RDC (Porte Fermée Rez-de-Chaussée) : Teste l'état du capteur qui détecte si la porte au rez-de-chaussée est fermée.
- PO 1 (Porte Ouverte Étage 1) : Teste l'état du capteur qui détecte si la porte à l'étage 1 est ouverte.
- PF 1 (Porte Fermée Étage 1) : Teste l'état du capteur qui détecte si la porte à l'étage 1 est fermée.

Capteur de Sécurité :

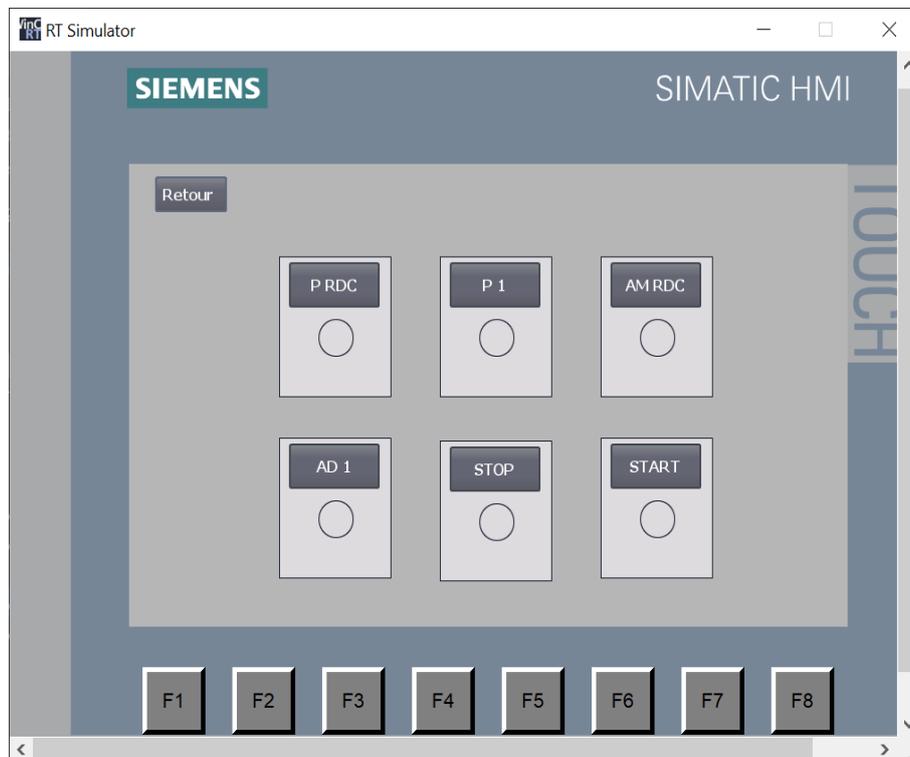
- OBSTACLE : Vérifie le capteur de présence d'obstacles dans la trajectoire de la cabine ou des portes de l'ascenseur. Ce capteur permet de détecter tout objet ou personne susceptible d'entraver le fonctionnement de l'ascenseur.

Indicateurs Visuels :

- Chaque bouton est accompagné d'un voyant lumineux. Ces voyants s'allument pour indiquer que le capteur correspondant est actif ou qu'il détecte correctement l'état attendu.

3) Bouton "TEST BOUTON" : Effectue un test des boutons de commande de l'ascenseur.

Ce test vérifie que tous les boutons de commande (comme ceux pour appeler l'ascenseur, sélectionner les étages... etc.) fonctionnent correctement. Il s'assure que les commandes de l'utilisateur sont reconnues et exécutées par le système.



**Figure 5. 19 : Ecran test des boutons.**

La figure montre un écran de test pour vérifier des boutons de commande d'un système d'ascenseur. Cet écran permet de tester chaque bouton de commande utilisé pour contrôler l'ascenseur, assurant que chaque interaction de l'utilisateur est reconnue et traitée correctement par le système de contrôle de l'ascenseur.

Boutons de Commande Principaux :

- PRDC (Bouton d'Appel Rez-de-Chaussée) : Teste le bouton utilisé pour appeler l'ascenseur au rez-de-chaussée.
- P1 (Bouton d'Appel Étage 1) : Teste le bouton utilisé pour appeler l'ascenseur à l'étage 1.
- AMRDC (Appel Montée Rez-de-Chaussée) : Vérifie le bouton d'appel pour la montée depuis le rez-de-chaussée.
- AD1 (Appel Descente Étage 1) : Vérifie le bouton d'appel pour la descente depuis l'étage 1.

Boutons de Contrôle Général :

- START : Teste le bouton de démarrage du système d'ascenseur.
- STOP : Teste le bouton d'arrêt d'urgence du système d'ascenseur.

Indicateurs Visuels :

- Chaque bouton sur l'écran est associé à un voyant qui s'allume pour indiquer si le bouton est activé et si le système reconnaît la commande.
- Ces indicateurs permettent de visualiser en temps réel le statut des boutons testés.

#### **V.4.1.3 Intégration d'un Système de sécurité externe :**

Pour renforcer la sécurité de notre système, et en raison de l'insuffisance des I/O de l'api S7-1215 nous avons renforcé la sécurité en ajoutant un système externe basé sur Arduino. Ce système Arduino est équipé de divers capteurs et modules de sécurité, tels que des capteurs de flamme, des détecteurs de fumée et d'autres dispositifs de surveillance. Il est connecté en parallèle avec l'API, fonctionnant comme une couche de sécurité supplémentaire indépendante.

##### *1. Conception avec Proteus :*

Nous avons commencé par utiliser **Proteus**, un logiciel de simulation et de conception de circuits, pour modéliser le schéma complet du système d'ascenseur. Cette étape nous a permis de visualiser et de concevoir le câblage et les connexions entre l'Arduino, les circuits d'interface (Shields). En utilisant Proteus, nous avons pu simuler le comportement des composants et nous assurer que tous les éléments sont correctement intégrés avant de passer à la phase de programmation.

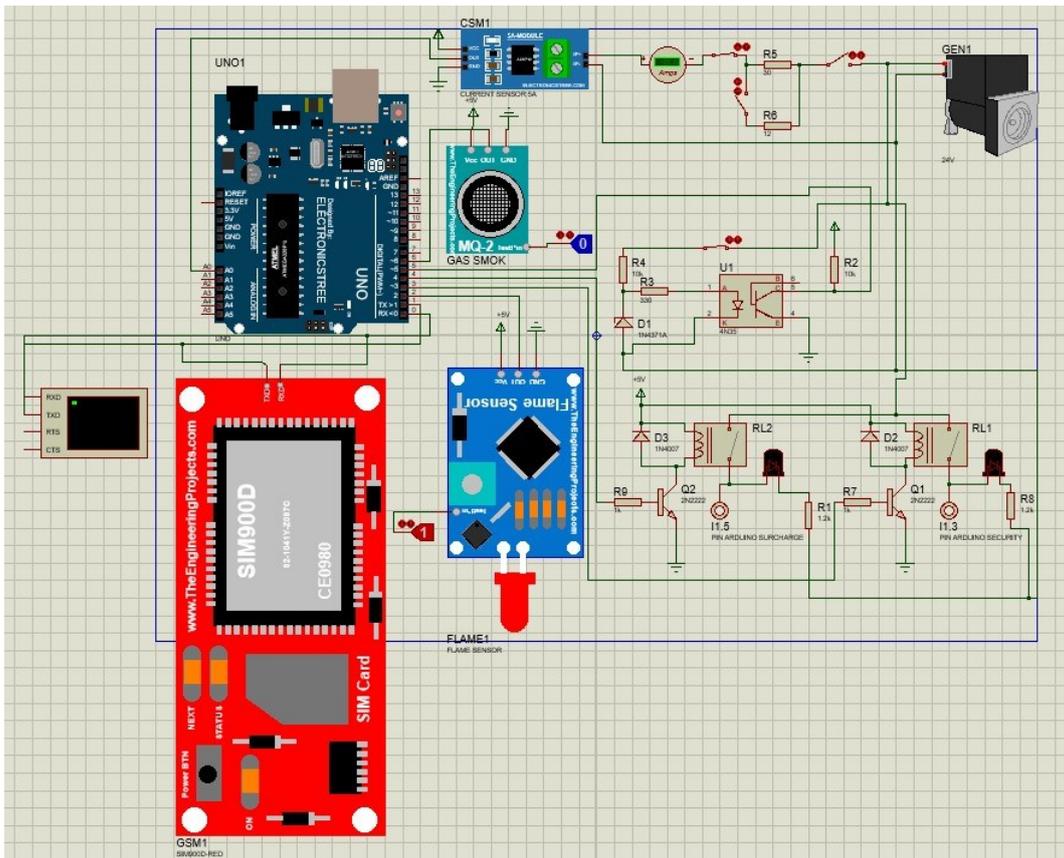


Figure 5. 20 : simulation de système dans Proteus.

La figure représente un schéma de travail détaillé montrant l'intégration de composants de sécurité dans un système d'ascenseur utilisant une carte Arduino UNO. Ce schéma inclut plusieurs dispositifs de sécurité et de surveillance, tels qu'un capteur de flamme, un capteur de courant, et un circuit de protection contre les surcharges.

1) Composants Principaux :

Carte Arduino UNO : Sert de cœur du système de sécurité, recevant des signaux des capteurs et commandant les actions de sécurité. Connectée à divers capteurs et dispositifs, elle reçoit des entrées numériques et analogiques pour traiter et prendre des décisions.

- Les cartes d'interface d'Arduino (Shields) :

Capteur de Flamme (Flame Sensor) : Détecte la présence de flammes ou d'incendies potentiels à proximité de l'ascenseur. Relie l'information au port d'entrée numérique de l'Arduino pour déclencher des actions appropriées en cas de détection.

Capteur de Gaz (MQ-2 Gas Smoke Sensor) : Détecte la présence de gaz dangereux ou de fumée dans l'environnement. Connecté à l'Arduino pour fournir des lectures en temps réel sur la qualité de l'air.

Capteur de Courant (CSM1 - Current Sensor) : Mesure le courant passant à travers le système pour détecter des conditions de surcharge. Transmet les données à l'Arduino pour surveiller les niveaux de courant et déclencher des actions si des valeurs anormales sont détectées.

1) Circuit de Protection Contre les Surcharges : Ce circuit est essentiel pour la protection contre les surcharges. En surveillant le courant et en déconnectant le système lorsque des surcharges sont détectées, il empêche les dommages aux composants critiques et assure la sécurité du système d'ascenseur.

Composants Principaux :

- Capteur de Courant (CSM1) : Mesure le courant dans le circuit pour détecter les surcharges.
- Amplificateur Opérationnel (U1 - 4N35) : Amplifie le signal provenant du capteur de courant.
- Diode D1 (1N4371A) : Protège contre les surtensions inverses.
- Diode D3 (1N4007) : Protège contre les courants inverses générés par la désactivation du relais.
- Relais RL2 : Déconnecte le circuit pour éviter les dommages en cas de surcharge.
- Transistor Q2 (2N2222) : Commande le relais RL2 en fonction du signal de l'amplificateur.
- Résistances (R1, R2, R3, R4) : Ajustent les niveaux de tension et de courant pour le bon fonctionnement du circuit.

Fonctionnement :

- Détection de la Surcharge : Le capteur de courant (CSM1) surveille le courant dans le système. Si le courant dépasse un seuil prédéfini, il envoie un signal correspondant.
- Amplification du Signal : Ce signal est ensuite amplifié par l'amplificateur opérationnel U1. L'amplification permet de rendre le signal suffisamment fort pour activer les composants de commande.
- Protection Contre les Surtensions : La diode D1 protège l'amplificateur opérationnel contre les surtensions inverses qui pourraient survenir lors de l'amplification. La diode D3 protège contre les courants inverses générés par la bobine du relais RL2.
- Activation du Relais : Le signal amplifié est utilisé pour activer le transistor Q2, qui à son tour commande le relais RL2.
- Déconnexion du Circuit : Lorsque RL2 est activé, il coupe l'alimentation du circuit principal pour protéger le système contre la surcharge.

2) Circuit de Sécurité pour les Arrêts d'Urgence : Ce circuit la gestion des arrêts d'urgence. En permettant de couper rapidement l'alimentation du système en cas d'urgence, il protège l'ascenseur et ses utilisateurs contre les dangers potentiels.

Composants Principaux :

- Relais RL1 : Utilisé pour interrompre l'alimentation en cas d'urgence.
- Diode D2 (1N4007) : Protège contre les courants inverses générés par la désactivation du relais.

- Transistor Q1 (2N2222) : Commande le relais RL1 en réponse aux signaux d'urgence.
- Résistances (R7, R8) : Ajustent les niveaux de signal pour le contrôle du relais.

Fonctionnement :

- Détection d'Urgence : Le système détecte une condition d'urgence (par exemple, la présence de gaz ou de flamme détectée par d'autres capteurs).
- Activation du Transistor : L'Arduino envoie un signal au transistor Q1 en réponse à l'urgence détectée.
- Commande du Relais : Q1 active le relais RL1, qui coupe l'alimentation du circuit principal.
- Protection Contre les Courants Inverses : La diode D2 fournit un chemin sécurisé pour les courants inverses générés par la bobine du relais lorsqu'il est désactivé, protégeant ainsi le reste du circuit contre les surtensions.

Fonctionnement Général du système :

Le schéma représente, un générateur en fournissant l'alimentation électrique nécessaire à l'ensemble des composants internes du système. Cette alimentation stable et continue permet de fonctionner correctement et de contrôler les opérations de l'ascenseur. Le générateur assure que l'amplificateur, les relais, et les autres composants critiques sont alimentés en énergie. Pendant ce temps, un système externe basé sur Arduino, fonctionnant indépendamment comme un système externe, sert de dispositif de sécurité supplémentaire. Cet Arduino surveille des conditions spécifiques comme la détection de flammes ou de gaz, et active des réponses de sécurité en parallèle avec les fonctions de l'API.

- Surveillance en Temps Réel :
  - Les capteurs de courant, de gaz et de flamme surveillent en permanence les conditions environnementales et électriques.
  - L'Arduino analyse les données reçues et détermine si des actions de sécurité sont nécessaires.
- Gestion des Surcharges :
  - Lorsque le capteur de courant détecte une surcharge, le signal est amplifié par l'amplificateur opérationnel (U1) et transmis à l'Arduino.
  - L'Arduino active le relais RL2 pour déconnecter le circuit et protéger le système contre les dommages causés par la surcharge.
- Réponse aux Urgences :
  - En cas de détection de gaz ou de flamme, l'Arduino réagit en activant le relais RL1, qui met le système en état d'arrêt d'urgence pour prévenir les accidents.

- Interactions et Commandes :
  - L'Arduino communique avec les différents capteurs et modules pour surveiller les conditions en temps réel et exécuter des actions basées sur les données recueillies.
  - L'écran d'affichage et les indicateurs visuels aident les opérateurs à surveiller l'état du système et à réagir rapidement en cas de besoin.

3) Le module GSM : ce module est intégré au système de sécurité externe de l'ascenseur pour fournir des capacités de communication GSM. Ce module permet au système de surveiller à distance et d'envoyer des alertes en cas de détection de conditions anormales ou de situations d'urgence.

Fonctionnalités du Module GSM :

- Surveillance à Distance et Notifications :

Le module GSM permet au système d'ascenseur de se connecter à un réseau pour envoyer des SMS ou passer des appels en réponse à des conditions de sécurité détectées. Lorsqu'une situation d'urgence est détectée (par exemple, la présence de gaz ou de flamme), l'Arduino peut utiliser ce module pour envoyer une alerte SMS aux opérateurs ou aux services de sécurité. Cela assure une notification rapide et permet une intervention rapide pour résoudre le problème.

- Communication avec le Contrôleur Principal (Arduino UNO) :

Le GSM communique avec l'Arduino UNO via une interface série (UART), permettant à l'Arduino d'envoyer des commandes et de recevoir des réponses du module GSM.

L'Arduino peut envoyer des commandes au GSM pour initier des appels, envoyer des messages ou vérifier l'état de la connexion GSM. Cela permet à l'Arduino de gérer les communications à distance de manière autonome en fonction des données recueillies par les capteurs.

- Amélioration de la Sécurité du Système :

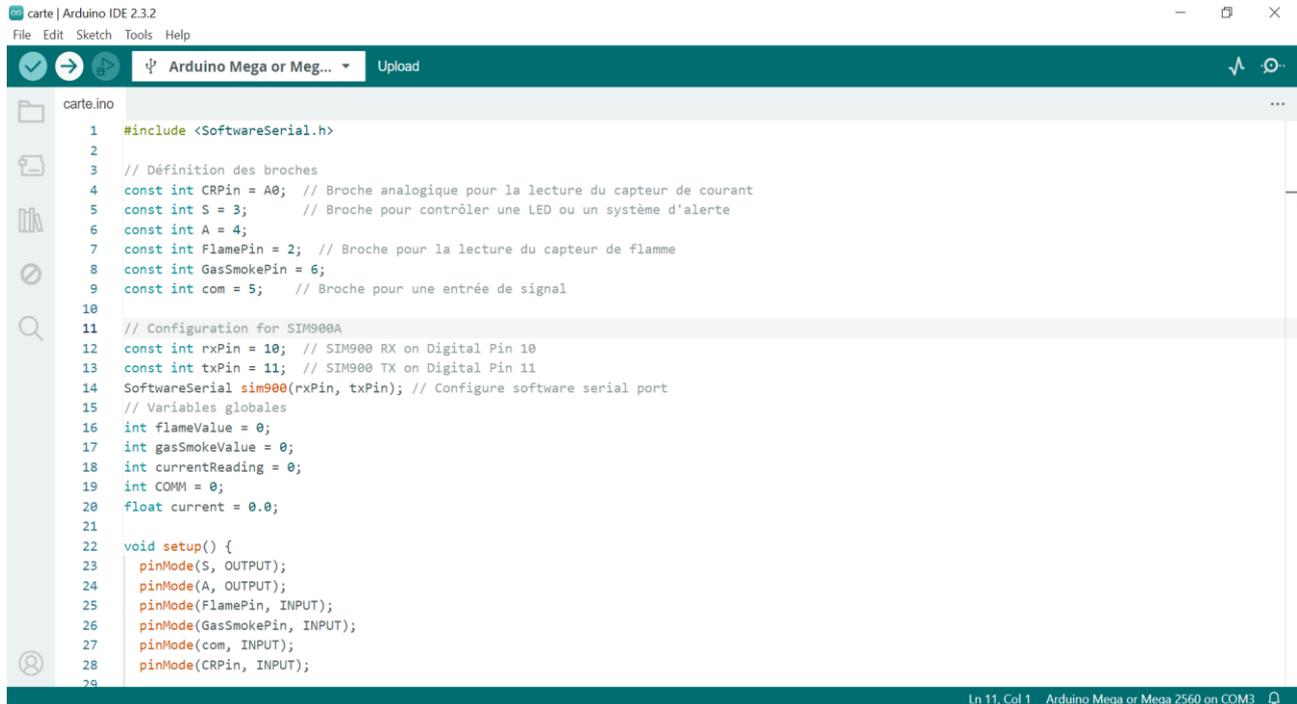
Le module GSM améliore la sécurité globale du système. Il permet une réponse automatisée aux conditions critiques. En cas de détection de surcharge ou d'urgence, l'Arduino peut immédiatement utiliser le GSM pour alerter les responsables. Par exemple, si le capteur de courant détecte une surcharge, le relais RL2 peut être activé pour déconnecter le circuit, et simultanément, un message SMS peut être envoyé pour notifier le personnel de maintenance.

- 4) Intégration de GSM dans le Système :

Détection et Notification : Les capteurs de flamme, de gaz et de courant surveillent en permanence les conditions de sécurité. En cas de détection d'anomalie, l'Arduino reçoit les signaux des capteurs et traite les informations. L'Arduino envoie des commandes GSM pour initier des alertes SMS ou des appels vocaux, informant les opérateurs des conditions critiques.

### 2. Programmation Arduino :

Nous avons écrit le programme de contrôle pour l'Arduino en utilisant l'**IDE Arduino**. Le code a été développé pour gérer la surveillance des capteurs de sécurité, et pour envoyer des alertes à l'API en cas de détection d'anomalies.



```
1 #include <SoftwareSerial.h>
2
3 // Définition des broches
4 const int CRPin = A0; // Broche analogique pour la lecture du capteur de courant
5 const int S = 3; // Broche pour contrôler une LED ou un système d'alerte
6 const int A = 4;
7 const int FlamePin = 2; // Broche pour la lecture du capteur de flamme
8 const int GasSmokePin = 6;
9 const int com = 5; // Broche pour une entrée de signal
10
11 // Configuration for SIM900A
12 const int rxPin = 10; // SIM900 RX on Digital Pin 10
13 const int txPin = 11; // SIM900 TX on Digital Pin 11
14 SoftwareSerial sim900(rxPin, txPin); // Configure software serial port
15 // Variables globales
16 int flameValue = 0;
17 int gasSmokeValue = 0;
18 int currentReading = 0;
19 int COMM = 0;
20 float current = 0.0;
21
22 void setup() {
23   pinMode(S, OUTPUT);
24   pinMode(A, OUTPUT);
25   pinMode(FlamePin, INPUT);
26   pinMode(GasSmokePin, INPUT);
27   pinMode(com, INPUT);
28   pinMode(CRPin, INPUT);
29 }
```

**Figure 5. 21 : programmation d'Arduino.**

Ce programme Arduino est conçu pour surveiller et réagir aux conditions de sécurité dans un système, notamment la détection de courant, de flamme, de gaz ou de fumée. Le programme utilise plusieurs capteurs pour recueillir des données et déclencher des alertes appropriées en fonction des conditions détectées.

**Note :** Parallèlement, en tant qu'une entrée dans l'API, si le système Arduino détecte un problème, il réagira en conséquence, en déclenchant un arrêt d'urgence.

### 3. Vérification par Simulation :

Avant de déployer le système sur le matériel réel, nous avons vérifié nos conceptions en simulant le comportement des programmes sur leurs environnements respectifs. En utilisant Proteus, nous avons simulé le programme d'Arduino pour nous assurer que le système répondait correctement aux commandes et aux conditions de sécurité. Cette phase de simulation est nécessaire pour identifier et résoudre les problèmes potentiels sans risquer des dommages matériels.

## V.4.2 La Partie Réalisation :

### V.4.2.1 Réalisation de Système d'Ascenseur :

Pour réaliser le système d'ascenseur, nous avons configuré et installé l'Ascenseur ASC89 et le connecter Utilisant les câbles pour relier les entrées et sorties nécessaires à l'automate SIMATIC S7-1215 C DC/DC/DC via l'interface ASMAT. Ensuite, nous chargeons le programme (configuration des entrées/sorties selon les besoins spécifiques de notre système) à l'automate en utilisant l'interface PROFINET pour la communication et le contrôle d'ascenseur.

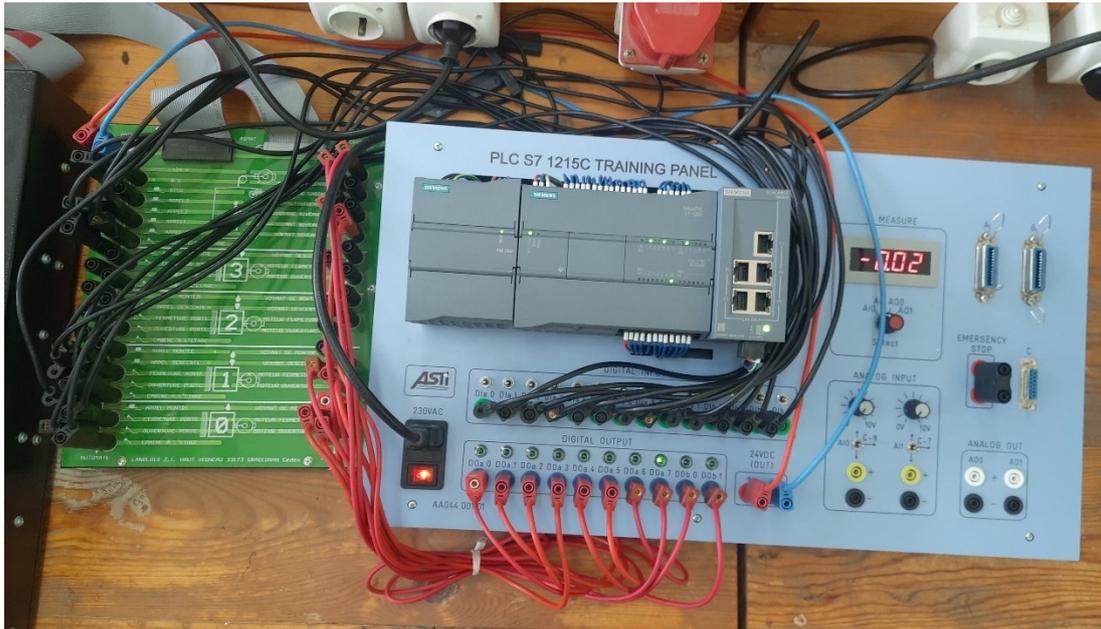


Figure 5. 22 : Câblage d'API avec L'interface de connexion.

L'interface de connexion "l'ASMAT" utilisée pour gérer les commandes d'ascenseur ASC89. Cette interface est équipée de nombreuses bornes pour connecter les divers composants nécessaires au fonctionnement de l'ascenseur.



Figure 5. 23 : Interface de Connexion pour le Contrôle de l'Ascenseur ASC89.

Elle est conçue pour faciliter le branchement des divers composants essentiels à son fonctionnement. La carte comporte plusieurs bornes de connexion clairement étiquetées pour différentes fonctions. Les étiquettes indiquent les connexions spécifiques pour les moteurs, les voyants, et les capteurs à chaque étage, permettant de brancher facilement chaque composant de l'ascenseur aux entrées ou sorties appropriées de l'API. Les câbles plats et les connecteurs standard utilisés simplifient la connexion et la déconnexion rapide des composants, facilitant ainsi la maintenance et la reconfiguration. L'organisation soignée du câblage minimise les erreurs de connexion et assure une distribution efficace des signaux et de l'alimentation. De plus, les symboles et les textes sur la carte identifient les fonctions spécifiques, telles que "Moteur Montée/Descente", "Ouverture/Fermeture Porte", et "Voyant Cabine", ce qui aide à identifier rapidement les connexions et à vérifier le branchement des composants, garantissant une installation précise et efficace.

Pour réaliser le fonctionnement de notre système d'ascenseur à deux étages, comprenant le rez-de-chaussée et l'étage 1, nous avons suivi une série de démarches précises. Nous avons d'abord identifié tous les composants nécessaires : les moteurs de montée et de descente pour le déplacement de la cabine, les motoréducteurs pour l'ouverture et la fermeture des portes à chaque étage, les capteurs optoélectriques de position pour détecter la présence de la cabine et/ou l'ouverture et la fermeture des portes, et les voyants pour indiquer l'état opérationnel de l'ascenseur. Ensuite, nous

avons préparé les câbles et les connecteurs requis. Les moteurs de montée et de descente ont été connectés aux bornes appropriées sur l'interface, assurant qu'ils reçoivent les signaux corrects pour leurs fonctions respectives. De même, les motoréducteurs pour les portes ont été reliés aux bornes spécifiques pour les actions d'ouverture et de fermeture, garantissant un mouvement précis des portes. Enfin, nous avons branché les capteurs de position aux bornes correspondant à chaque étage, permettant de détecter la présence de la cabine.

Une fois la connexion des composants de notre système d'ascenseur à deux étages est terminée, l'étape suivante a été de procéder à la vérification et à l'intégration avec l'API. Nous avons d'abord effectué une vérification visuelle minutieuse de toutes les connexions pour s'assurer qu'elles étaient correctement branchées selon les étiquettes de l'interface. Cette inspection a inclus la vérification de la solidité des fils et la correction de tout câble desserrer ou mal connecté. Ensuite, nous avons configuré les entrées et sorties de l'API Siemens S7-1200 pour qu'elles correspondent aux connexions de l'interface de l'ascenseur. Chaque composant, qu'il s'agisse des moteurs, des motoréducteurs ou des capteurs, a été correctement adressé dans le programme API. Enfin, nous avons téléchargé le programme de contrôle de l'ascenseur dans l'API. Ce programme gère les mouvements de la cabine entre le rez-de-chaussée et l'étage 1, l'ouverture et la fermeture des portes, ainsi que la réponse aux signaux des capteurs de position, assurant ainsi un fonctionnement coordonné et efficace du système.



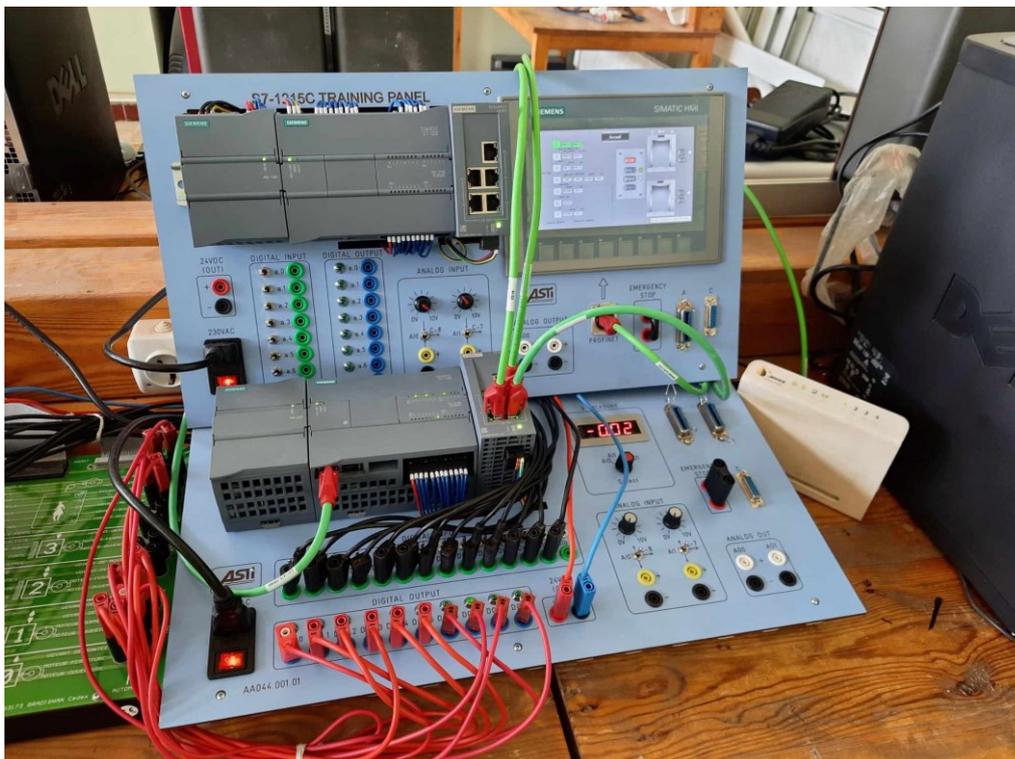
**Figure 5. 24 : Système d'Ascenseur ASC89 avec API Siemens S7-1200 et Interface de Commande.**

Notre système est composé d'une maquette didactique d'ascenseur ASC89 intégrée à un automate programmable industriel (API) Siemens S7-1200 et une interface de commande ASMAT. Cette configuration est utilisée pour tester le fonctionnement d'un ascenseur dans un environnement contrôlé. Suite à la vérification de toutes les connexions de notre système, nous avons exécuté une série de tests fonctionnels pour assurer son bon fonctionnement. Nous avons d'abord testé le déplacement de la cabine entre les deux étages (RDC et Niveau 1) pour nous assurer que les moteurs de montée et de descente fonctionnaient comme prévu, en vérifiant que la cabine s'arrêtait précisément à chaque étage. Cette étape nous a également permis de tester les motoréducteurs utilisés pour l'ouverture et la fermeture des portes à chaque étage, ce qui a confirmé le bon fonctionnement des moteurs et des motoréducteurs. Nous avons ensuite vérifié que les capteurs de porte détectaient correctement tout obstacle, empêchant ainsi la fermeture en cas de détection, ce qui assure la sécurité des utilisateurs. Enfin, nous avons testé les capteurs optoélectriques installés à chaque étage pour garantir qu'ils détectaient précisément la présence de la cabine.

Nous avons confirmé que les signaux étaient correctement transmis et que l'API réagissait adéquatement à ces signaux, permettant un contrôle précis des commandes d'appel, des mouvements de la cabine et des opérations des portes.

#### **V.4.2.2 Intégration de l'IHM :**

Après la vérification toutes les connexions et exécuté les tests fonctionnels initiaux pour assurer le bon fonctionnement de l'ascenseur ASC89, l'étape suivante consistait à intégrer une Interface Homme-Machine (IHM) pour améliorer l'interaction utilisateur et le contrôle du système.



**Figure 5. 25 : Intégration de l'interface homme machine.**

Cette figure montre cette configuration avancée où l'IHM SIMATIC KTP700 basic PN est ajoutée pour permettre une gestion intuitive des opérations de l'ascenseur. L'IHM, connectée à l'API Siemens S7-1200, affiche en temps réel l'état de l'ascenseur, les positions de la cabine, et les alarmes de sécurité. Nous avons configuré les écrans de l'IHM pour fournir des informations essentielles et pour permettre le contrôle direct de la cabine et des portes. Ensuite, nous avons testé l'interactivité en s'assurant que les commandes tactiles de l'IHM déclenchaient les actions correctes et que les changements d'état de l'ascenseur étaient immédiatement reflétés à l'écran. En surveillant les opérations de l'ascenseur via l'IHM, nous avons vérifié que les données étaient précises et actualisées en temps réel. Finalement, nous avons vérifié que les signaux échangés entre l'API et l'IHM étaient synchronisés, ce qui permet un contrôle fluide et coordonné des fonctions de l'ascenseur, garantissant ainsi une utilisation efficace et sécurisée du système.

### V.4.2.3 Sm@rt client service :

Nous avons étendu les capacités de gestion de l'ascenseur ASC89 en intégrant le service **Siemens Sm@rtClient**, permettant une surveillance et un contrôle à distance depuis des appareils mobiles et des ordinateurs.



**Figure 5. 26 : Sm@rt client service.**

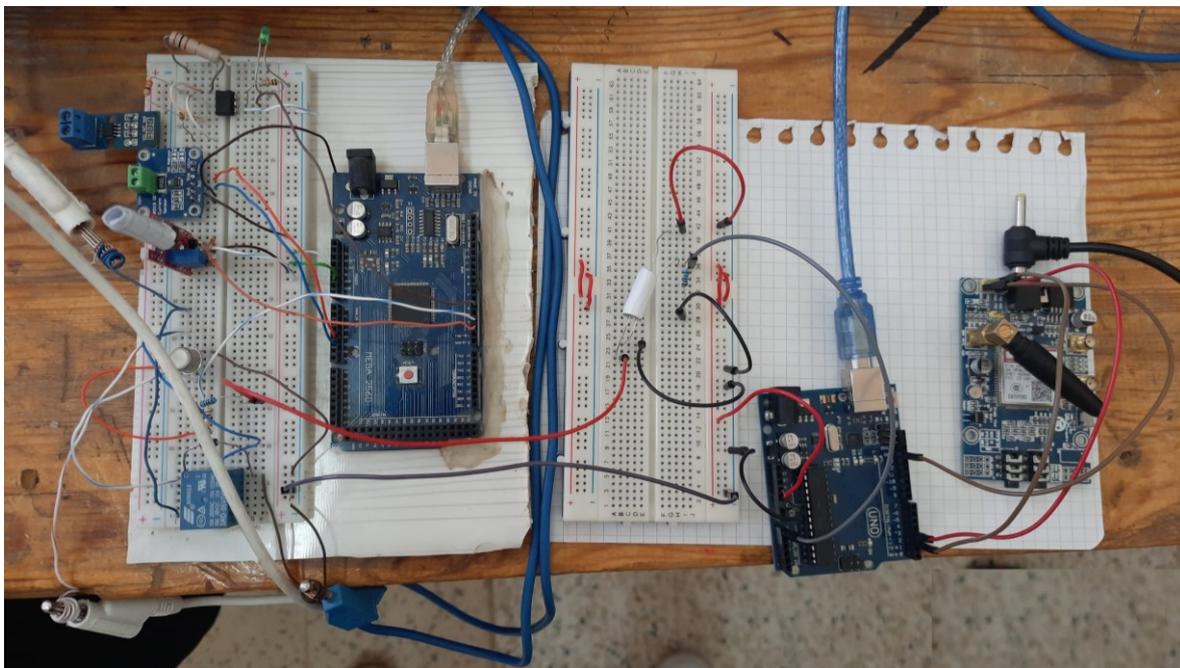
Cette figure montre l'aboutissement de cette extension, où le **Sm@rtClient** permet aux opérateurs d'interagir avec le système d'ascenseur non seulement via l'IHM locale, mais aussi à distance à l'aide de smartphones et de PC. En utilisant le Sm@rtClient, l'interface de l'IHM SIMATIC HMI est accessible sur des dispositifs mobiles, ce qui permet de superviser et de contrôler les opérations de l'ascenseur de manière flexible et efficace, indépendamment de la localisation physique. Nous avons configuré le Sm@rtClient sur l'IHM, en activant le service pour diffuser son interface sur

le réseau local, ce qui permet aux appareils compatibles de se connecter et d'accéder aux fonctionnalités de l'ascenseur. Cette configuration comprenait la mise en place de paramètres réseau appropriés pour garantir une communication fluide et sécurisée. Une fois configuré, nous avons installé l'application Sm@rtClient sur un smartphone et avons accédé à l'IHM via un ordinateur portable, démontrant ainsi la capacité de gérer l'ascenseur à distance. Les tests fonctionnels ont confirmé que les commandes envoyées depuis les appareils à distance, telles que les déplacements de la cabine et les ouvertures et fermetures des portes, étaient exécutées correctement, et que les mises à jour de l'état de l'ascenseur étaient synchronisées en temps réel sur les écrans des dispositifs connectés. Cette extension du système d'ascenseur avec le service Sm@rtClient permet non seulement une plus grande flexibilité et accessibilité, mais aussi une gestion améliorée de la sécurité et de la réactivité aux événements.

#### **V.4.2.4 Intégration de système de sécurité externe :**

*Réalisation de système :*

Après la finalisation de la configuration et le test d'intégration des composants du système d'ascenseur, nous avons également mis en place un système de sécurité externe pour garantir la réactivité et la fiabilité en cas de conditions d'urgence.

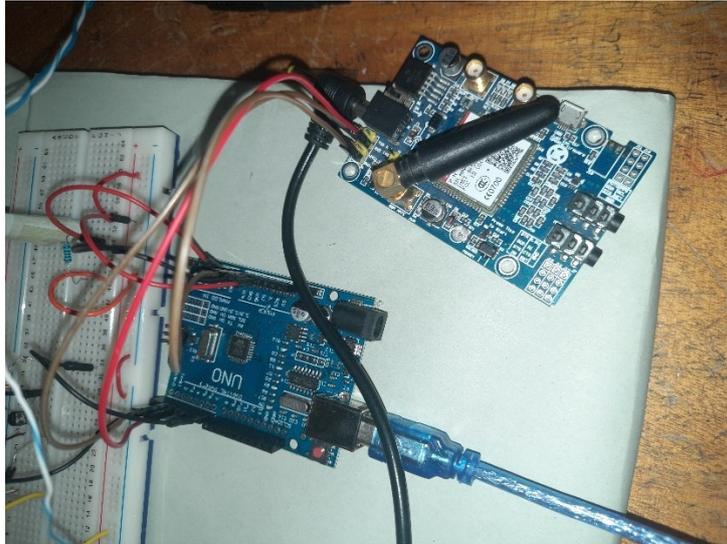


**Figure 5. 27 : Configuration d'un Test du Système de Sécurité Externe.**

Cette figure représente une configuration de test pour le système de sécurité externe, où divers composants électroniques sont mis en œuvre pour simuler et vérifier les réponses aux conditions de sécurité. En utilisant une carte Arduino et un générateur de 24V, permettant de tester la fonctionnalité et la robustesse du système de sécurité avant son intégration complète avec l'API de l'ascenseur.

*1. Composants du système :*

Les configurations de test du système de sécurité externe (ESS) de l'ascenseur ASC89 reposent sur plusieurs composants essentiels. La carte Arduino Méga 2560 en tant qu'un contrôleur principal, surveillant continuellement les signaux des capteurs et réagissant aux conditions d'urgences. Elle est équipée pour recevoir des données de divers capteurs et pour exécuter des actions prédéfinies, telles que l'envoi de notifications via le shield GSM, qui permet d'envoyer des alertes par SMS en cas d'urgence.



**Figure 5. 28 : Montage Arduino avec un module GSM SIM900.**

La plaque d'essai (breadboard) est utilisée pour le prototypage des circuits, ce qui permet de connecter et de tester facilement des divers composants. Les différents capteurs nécessaires pour la réalisation du système. Enfin, les câbles et connecteurs assurent des connexions entre les composants, facilitant une distribution ordonnée et sécurisée des signaux électriques dans l'ensemble du système. L'organisation soignée des câbles réduit les risques d'erreurs de connexion et facilite le dépannage pendant les tests.

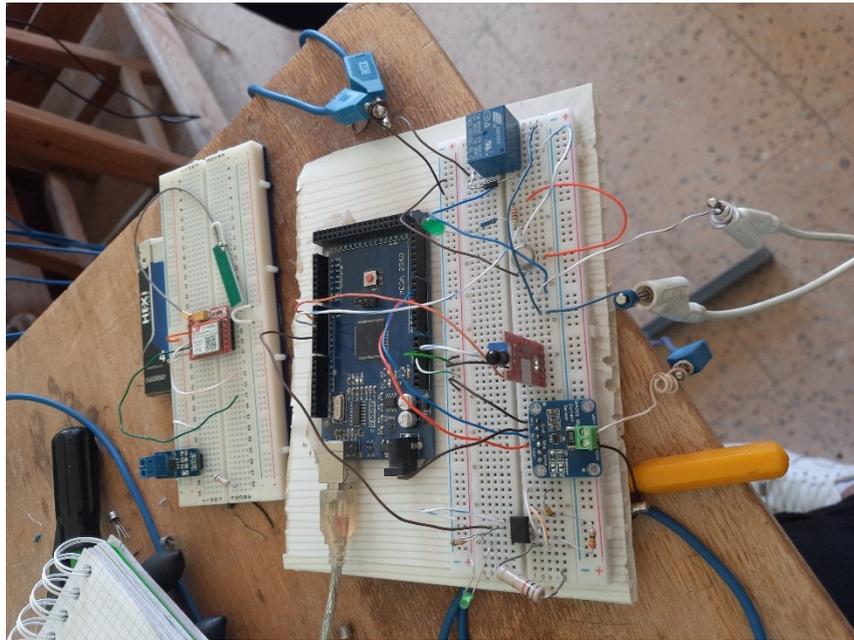


Figure 5. 29 : Montage Arduino avec les différents composants de sécurité.

## 2. Objectifs et Processus de Test :

Les tests des configurations visent principalement à simuler des conditions réelles et à vérifier la réactivité des capteurs de sécurité. La simulation des conditions réelles est réalisée en utilisant un générateur de 24V pour fournir une alimentation stable, remplaçant temporairement l'API de l'ascenseur. Cela permet de créer des conditions de fonctionnement réalistes et de vérifier la réponse du système de sécurité sous une tension contrôlée. L'objectif est de s'assurer que tous les composants, y compris les capteurs et l'Arduino, fonctionnent correctement et que le système peut gérer les événements simulés de danger. La vérification des capteurs de sécurité implique des tests détaillés pour s'assurer que les capteurs, comme le capteur de flamme, réagissent correctement aux conditions anormales. Les signaux de ces capteurs sont transmis à l'Arduino pour analyse. L'Arduino traite ces signaux en cas de détection d'anomalies, active les actions appropriées, telles que l'envoi d'alertes via le shield GSM ou l'activation de mécanismes de sécurité internes. Les instruments de mesure sont utilisés pour surveiller les niveaux de tension et de courant en temps réel, garantissant que les composants reçoivent les valeurs électriques appropriées et que le système reste dans les limites de sécurité. Les ajustements des paramètres de tension et de courant peuvent être effectués pendant les tests pour observer leur impact sur le système, permettant ainsi d'optimiser la configuration et de s'assurer que le système de sécurité est prêt pour une intégration complète avec l'API de l'ascenseur ASC89.

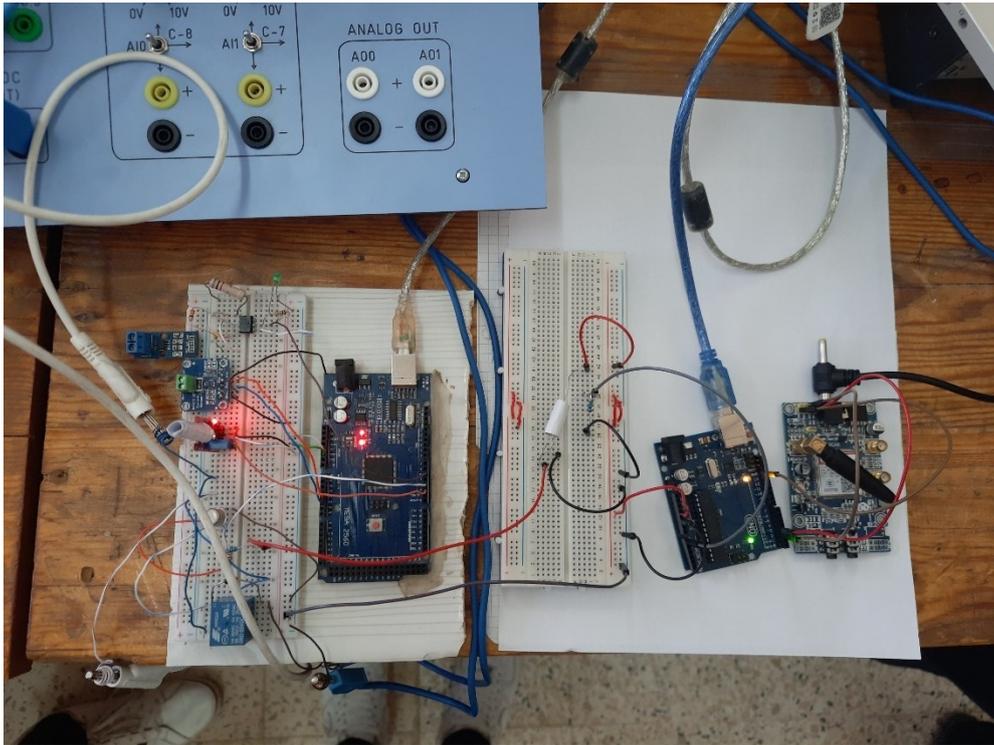


Figure 5. 30 : Testes et Vérification.

### 3. Fonctionnement en Parallèle et Surveillance de Sécurité :

L'API reste le contrôleur principal, exécutant les séquences normales de fonctionnement de l'ascenseur. Simultanément, l'Arduino surveille en temps réel les conditions de sécurité. Si une condition d'urgence est détectée, l'Arduino envoie immédiatement une alerte à l'API. Sur réception de ces alertes, l'API peut interrompre les opérations de l'ascenseur, activer des procédures d'urgence comme l'arrêt des mouvements et l'ouverture des portes pour permettre une évacuation sûre.

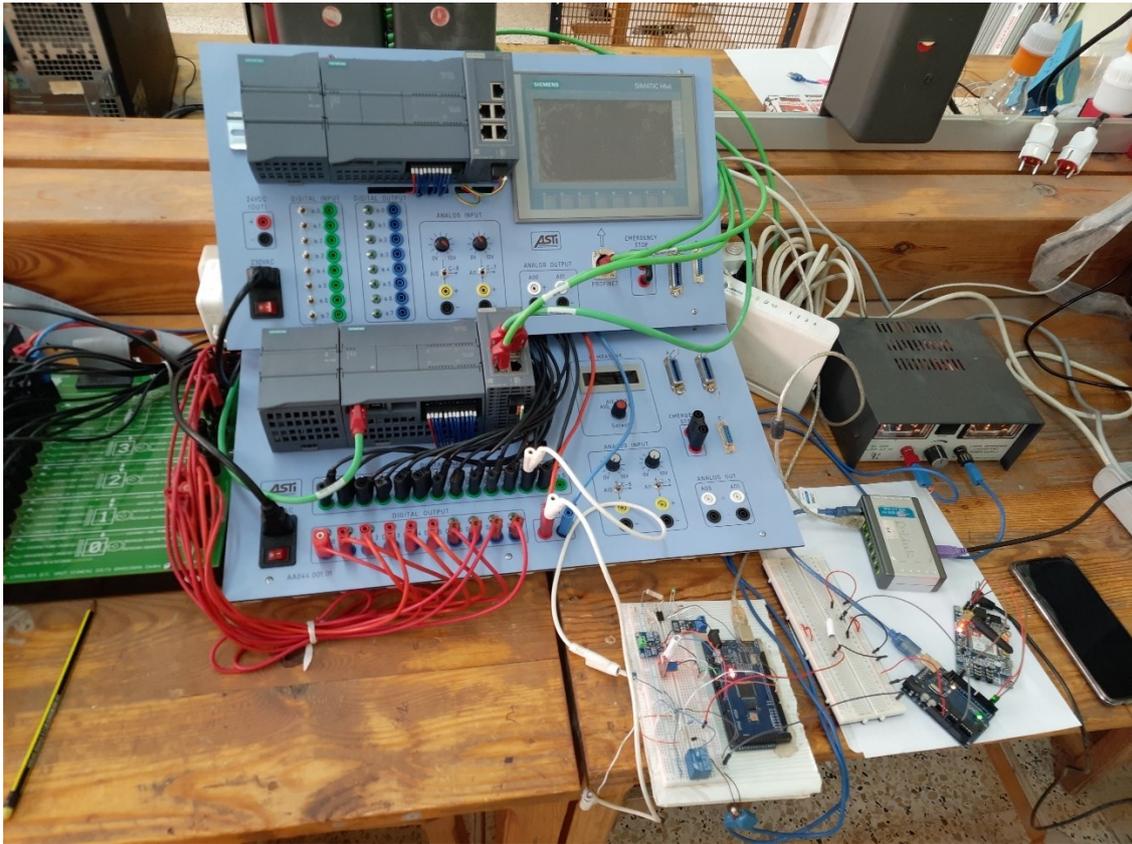


Figure 5. 31 : Réalisation finale : Intégration d'un système de sécurité externe.

#### 4. Synergie entre l'API et l'Arduino :

Cette configuration en parallèle assure que l'ascenseur fonctionne efficacement sous le contrôle de l'API, tout en bénéficiant d'une surveillance continue et d'une réponse rapide aux urgences grâce à l'Arduino. La double surveillance et la capacité de réaction rapide de l'Arduino garantissent une sécurité accrue, rendant l'ensemble du système d'ascenseur plus fiable et capable de gérer divers incidents de manière proactive.

## **V.5 Conclusion :**

Dans ce chapitre, nous avons présenté la conception et la mise en œuvre d'un système de contrôle et de supervision avancé pour un ascenseur. En partant d'une modélisation précise des opérations, nous avons développé un prototype intégrant des technologies de pointe et des pratiques de maintenance sophistiquées. L'objectif principal était d'assurer un système robuste capable de diagnostiquer et de maintenir automatiquement ses performances. Pour ce faire, nous avons élaboré une séquence de fonctionnement détaillée, analysé les interruptions possibles et développé une interface utilisateur intuitive pour la supervision en temps réel. La solution inclut l'intégration fluide de divers outils logiciels et matériels, garantissant ainsi une gestion efficace des API et une interaction utilisateur optimisée.

En réponse aux limitations techniques rencontrées, nous avons enrichi le système avec un dispositif de sécurité externe basé sur Arduino. Cette extension, équipée de divers capteurs de sécurité, fonctionne en parallèle avec l'API principale, ajoutant une couche de protection supplémentaire et indépendante.

# *Conclusion Générale*

## **Conclusion générale :**

En conclusion, nous devons avouer que rétrospectivement, nous avons exploré et mis en œuvre des concepts avancés en automatisation et technologie de contrôle industriel. Ce projet de fin d'études, sur le développement d'un Système de Supervision des Ascenseurs avec Carte d'Autodiagnostic Intégré, a non seulement relevé mais également illustré l'efficacité de notre approche face à des problématiques complexes en automatisation des ascenseurs.

Au cours de ce travail, nous avons exploré en profondeur les Automates Programmables Industriels (API), essentiels dans l'automatisation industriels. Nous avons été confrontés à des défis techniques majeurs, notamment le manque d'entrées/sorties de l'API adapté pour la conception de notre système. Ces défis ont nécessité des ajustements innovants en termes de programmation et de configuration matérielle, réalisés dans l'environnement TIA Portal.

Un aspect notable de notre projet a été le développement et l'intégration d'un système de sécurité externe. Face aux défis que nous rencontrons, nous avons conçu une solution sur mesure utilisant la carte Arduino qui augmentait la sécurité globale de l'installation sans compromettre les fonctionnalités existantes. Cette initiative a illustré notre capacité à développer des solutions de sécurité spécifiques, répondant aux exigences strictes du contrôle des ascenseurs.

L'utilisation des logiciels de modélisation et de simulation a été cruciale pour tester nos conceptions théoriques. Ces outils nous ont parfois menés à surestimer les capacités de notre système, mais la confrontation de ces résultats avec des tests pratiques a permis d'ajuster et d'affiner notre système pour atteindre les objectifs fixés.

La mise en œuvre pratique du système a révélé plusieurs problèmes, notamment en matière de programmation et de configuration du matériel. Grâce aux compétences acquises durant nos études et à l'assistance continue de notre encadrant, nous avons surmonté ces difficultés, affirmant ainsi notre capacité à résoudre des problèmes techniques complexes.

Enfin, nous prétendons avoir efficacement répondu au problème posé par ce projet, convaincus que le travail accompli constitue une base solide pour une future carrière professionnelle et pour des études plus approfondies dans le domaine de l'automatisation industrielle, ouvrant ainsi la voie à des rôles variés tels que l'automatisation, et le contrôle industriel, et à des opportunités dans l'innovation technologique, le développement durable, et l'entrepreneuriat dans le secteur industriel.

# *Références et Bibliographies*

## **Bibliographies :**

- [1] Review of Industry 4.0 from the Perspective of Automation and Supervision Systems: Definitions, Architectures and Recent Trends : Francisco Javier Folgado, David Calderón, Isaías González and Antonio José Calderón. Department of Electrical Engineering, Electronics and Automation, University of Extremadura, Avenida de Elvas, s/n, 06006 Badajoz, Spain. Le 16 February 2024
- [3] La maintenance prédictive intelligente pour l'industrie 4.0 par Gilles ZWINGELSTEIN, Cet article est issu de : Génie industriel, université Paris-Est Créteil, France. Le 10 octobre 2019.
- [4] SCADA Systems With Focus on Continuous Manufacturing and Steel Industry: A Survey on Architectures, Standards, Challenges and Industry 5.0: MLADEN SVERKO, TIHANA GALINAC GRBAC, (Member, IEEE), AND MILJENKO MIKUC, (Member, IEEE). supported by the Croatian Science Foundation under Project HRZZ-IP-2019-04-4216. Le 19 October 2022
- [14] SIMATIC S7 Automate programmable S7-1200 Manuel système. Siemens V4.2.3, le 08/2018
- [15] Maris Sekar: Machine Learning for Auditors Automating Fraud Investigations Through Artificial Intelligence. Calgary, AB, Canada, 2022
- [16] Robert Radvanovsky, Jacob Brodsky : Handbook of scada control system, CRC Press Taylor & Francis Group. Second edition Le 23/03/2016
- [18] Keith Stouffer, Joe Falco & Karen Kent: Guide to Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and Industrial Control Systems Security. Recommendations of the National institute of standards and technologies, Technology administration U.S department of commerce, January 2006
- [20] Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA): Systems and Applications par Stuart A. Boyer, Iliad Engineering Inc. ISA-The Instrumentation Systems and Automation Society. 3<sup>rd</sup> Edition 2004
- [21] Alexandru Ujvarosi: evolution of scada systems, Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series I: Engineering Sciences • Vol. 9 (58) No. 1 – 2016
- [22] SueAnne Griffith and Thomas H. Morris: Supervisory Control and Data Acquisition  
<sup>1</sup>Department of Electrical and Computer Engineering, Auburn University, Auburn, AL, USA  
<sup>2</sup>Center for Cybersecurity Research and Education, The University of Alabama in Huntsville, Huntsville, AL, USA. Springer Science+Business Media LLC 2021
- [26] Supervision homme-machine par Jacky MONTMAIN, Unité Mixte de Recherche sur la Complexité, École des Mines d'Alès – Commissariat à l'Énergie Atomique. Le 10 mars 2005
- [27] Siemens: Your gateway to automation in the Digital Enterprise Totally Integrated Automation Portal
- [28] Siemens : SIMATIC Portail TIA STEP 7 Basic V10.5 Mise en route 12/2009
- [30] HMI Panel KTP600 avec SIMATIC S7-1200 Présenté par : Ridha MAHJOUR Agrégé de Génie Electrique, Maître Technologue à l'ISSETSO
- [31] "Les Ascenseurs Et Monte-Charge Dans Le Bâtiment" Louis-Jacques Sesia 1970

- [33] "Ascenseurs : une réglementation pour la sécurité" Version courante de déc. 2019 par Michel Chalaux
- [40] Performance Analysis of Profinet Network in PLC-Based Automation : Teguh Imanto & Andi Adriansyah, Department of Electrical Engineering Universitas Mercu Buana, Jakarta, Indonesia. licensed use limited to : UNIVERSITY OF NEW MEXICO. May 16,2021
- [41] Industry 4.0: An Overview : B. Paiva Santos, F. Charrua-Santos, T.M. Lima, Energy, Materials and Sustainable Development, co-financed by the Portugal 2020
- [42] Security Challenges in Industry 4.0 PLC Systems : Janusz Hajda, Ryszard Jakuszcwski and Szymon Ogonowski. Department of Measurements and Control Systems, Silesian University of Technology, Akademicka 16, 44-100 Gliwice, Poland, Le 20 Oct 2021
- [53] Cloud for IoT - A Survey of Technologies and Security features of Public Cloud IoT solutions: Daniel Bastos, BT Adastral Park Research Labs British Telecommunications plc, Living in the Internet of Things 2019, London, UK, 1-2 May 2019
- [61] Le GEMMA : Olivier Company \_ GMP, Semestre 3, année 2016-2017
- [62] Polycopié pédagogique : PROGRAMMATION : M1AUTII PROG AVAN API Page 6 2022-2023
- [68] Polycopié pédagogique L3 AUT d'automatismes industrielles, Dr Meghni Bilel, année : 2022-2023

## **Références :**

- [2] <https://scada-international.com/what-is-scada/>, Consulté le 26/05/2024
- [5] <https://fainfrance.fr/blog/technologie-iot-destinee-aux-ascenseurs-comment-celle-ci-a-t-elle-revolutionne-lindustrie-de-ce-secteur/>,
- [6] [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/338304/PLC%20Controlling%20Program%20of%20an%20Elevator\\_Thai\\_Nguyen.pdf?sequence=5](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/338304/PLC%20Controlling%20Program%20of%20an%20Elevator_Thai_Nguyen.pdf?sequence=5), Consulté le 27/05/2024
- [7] <https://fainbelgique.be/blog/evolution-de-lindustrie-des-ascenseurs-a-travers-les-ages/>, Consulté le 27/05/2024
- [8] <https://www.machinemetrics.com/blog/industrial-automation#:~:text=Industrial%20Automation%20is%20the%20use,parts%20through%20an%20assembly%20line>. Consulté le 09/03/2024
- [9] <https://control.com/technical-articles/what-is-a-plc-an-introduction-to-programmable-logic-controllers/> Consulté le 09/03/2024
- [10] <https://www.se.com/fr/fr/work/products/product-launch/guides/plc.jsp> Consulté le 09/03/2024
- [11] <https://scietech.fr/architectures-des-automates-programmables-industriels-scietech/>, Consulté le 9/3/2024
- [12] <sup>1</sup>Etude des automates programmables industriels (API) Mr ROIZOT Sébastien (BAC STI GE), <sup>2</sup>Automates programmables industriels Mr Philippe LE BRUN (Décembre 1999), <sup>3</sup>Les Automates Programmables Mr Hû Jean-Louis (18/12/2002), <sup>4</sup>LES AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS Mr Alain GONZAGA (7/11/2004), <sup>5</sup>Automates

Programmables Industriels Mr L. BERGOUGNOUX (POLYTECH' Marseille 2004-2005) : <https://www.technologiepro.com/cours-automate-programmable-industriel/Les-automates-programmables-industriels-API.htm> : Consulté le 10/3/2024

[13] <https://trainings.internshala.com/blog/plc-architecture/> Consulté le 10/3/2024

[17] <https://telefonicatech.com/en/blog/what-is-scada-system-benefits-industry-4-0>, Consulté le 25/04/24

[19] <https://www.trendmicro.com/vinfo/us/security/definition/industrial-control-system>, Consulté le 26/04/2024

[23] <https://www.mingosmartfactory.com/scada-supervisory-control-and-data-acquisition-manufacturing-explained/> Consulté le 26/04/2024

[24] <sup>1</sup><https://www.renesas.com/eu/en/blogs/enhance-touch-and-gesture-ai>,  
<sup>2</sup><https://aws.amazon.com/what-is/iot/> : <https://www.wevolver.com/article/the-technology-behind-human-machine-interfaces> Consulté le 27/04/2024

[25] <sup>1</sup>Cannan, J., & Hu, H. (2011). Human-machine interaction (HMI): A survey. University of Essex, 27.  
<https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=54640f3a02beb8a61cd59395b74a3f46506a748d>,

<sup>2</sup>Andreoni, G., Parini, S., Maggi, L., Piccini, L., Panfili, G., & Torricelli, A. (2007). Human machine interface for healthcare and rehabilitation. *Advanced Computational Intelligence Paradigms in Healthcare-2*, 131-150.,

<sup>3</sup>Khalid, M. S., Yevsieiev, V., Nevliudov, I. S., Lyashenko, V., & Wahid, R. (2022). HMI development automation with GUI elements for object-Oriented programming Languages implementation. <https://openarchive.nure.ua/server/api/core/bitstreams/19d3f2a2-812c-4d3b-b3c8-c074d09d6567/content> :

<https://www.wevolver.com/article/human-machine-interface>, Consulté le 27/04/2024

[29] Hamadi Ben Sassi : Introduction sur l'utilisation du logiciel TIA portal pour la programmation des automates S71200 et S71500 : <https://fr.scribd.com/document/256910981/2-Introduction-Au-Logiciel-TIA-Portal>. Consulté le 27/04/2024

[32] 5 ELEVATORS AND ESCALATORS Notes.PD : <https://www.scribd.com/document/409423386/5-ELEVATORS-AND-ESCALATORS-Notes-PDF>, Consulté le 04/02/2024

[34] <https://groupekmy.com/single12.html>, Consulté le 02/05/2024

[35] Module ascenseur\_PBE.pdf : [https://enasis.fr/pluginfile.php/81193/mod\\_folder/content/0/1%200-%20Ressources%20documentaires/Les%20Ascenseurs%20.pdf?forcedownload=1](https://enasis.fr/pluginfile.php/81193/mod_folder/content/0/1%200-%20Ressources%20documentaires/Les%20Ascenseurs%20.pdf?forcedownload=1), Consulté le 04/05/2024

[36] [http://jsp-lyonrochat.com/wp-content/uploads/2022/09/PPBE-A3\\_Typologie-des-ascenseurs-V2.pdf](http://jsp-lyonrochat.com/wp-content/uploads/2022/09/PPBE-A3_Typologie-des-ascenseurs-V2.pdf), Consulté le 03/02/2024

[37] <https://www.tkelevator.com/fr-fr/blog/conseils/quels-sont-les-differents-types-d-ascenseurs.html#:~:text=Les%20diff%C3%A9rents%20mod%C3%A8les%20d'ascenseurs,appel%C3%A9s%20%C3%A9galement%20ascenseurs%20%C3%A0%20c%C3%A2bles>, Consulté le 04/05/2024

[38] <https://conseils.hellopro.fr/tout-savoir-sur-les-ascenseurs-1235.html> Consulté le 03/05/2024

- [39] <https://www.hidral.fr/actualites/limportance-de-la-securite-dans-les-ascenseurs-caracteristiques-cles#:~:text=Les%20portes%20des%20ascenseurs%20sont,d'enfermement%20ou%20de%20blessure.> Consulté le 03/02/2024
- [43] <https://open-prod.com/lexique/industrie-4-0-definition/>, Consulté le 18/05/2024
- [44] Marzena auteure et chef de produit chez Distrelec : <https://knowhow.distrelec.com/fr/automatisation/le-role-des-automates-dans-liot-industriel/>, Consulté le 18/05/2024
- [45] Vlerë Hyseni author and Digital Content Officer at PECB : <https://pecb.com/article/what-is-scadas-role-in-industry-4-0>, Consulté le 19/05/2024
- [46] The IoT Academy auteur : <https://www.theiotacademy.co/blog/industrial-microcontroller/>, Consulté le 19/05/2024
- [47] <https://www.lexhan-group.fr/blog/connectivite/module-gsm-arduino-pour-projet-iot/>, Consulté le 20/05/2024
- [48] <https://www.techno-science.net/glossaire-definition/Arduino.html>, Consulté le 20/05/2024
- [49] ARDUINO PRO – LA VOIE POUR LA RÉUSSITE FACILE ET NON CONVENTIONNELLE DE NOTRE APPLICATION IOT 2021-01-26 : <https://www.tme.com/ca/fr/news/about-product/page/42947/Arduino-Pro-la-voie-pour-la-reussite-facile-et-non-conventionnelle-de-notre-application-IoT/>, Consulté le 18/05/2024
- [50] <https://www.sap.com/france/products/artificial-intelligence/what-is-iiot.html>, Consulté le 22/05/2024
- [51] <https://www.sap.com/france/products/scm/industry-4-0/what-is-iiot.html>, Consulté le 22/05/2024
- [52] Le module GSM Arduino pour votre projet IoT - M2M Information (lexhan-group.fr), : <https://www.lexhan-group.fr/blog/connectivite/module-gsm-arduino-pour-projet-iot/> Consulté le 24/05/2024
- [54] <https://isit.fr/fr/article/renforcez-l-industrie-4-0-l-importance-de-la-programmation-isp.php>, Consulté le 24/05/2024
- [55] Blog Cloud, serveur et computing Informatique : IoT : Transformer la gestion des bâtiments, Retour au sommet avril 21, 2024 : <https://www.babillardelectronique.com/2024/04/21/iiot-transformer-la-gestion-des-batiments/#:~:text=L%E2%80%99utilisation%20de%20l%E2%80%99IoT%20permet%20aux%20gestionnaires%20d%E2%80%99optimiser%20la,les%20co%C3%BBts%20%C3%A9nerg%C3%A9tiques%20et%20les%20op%C3%A9rations%20de%20maintenance.> Consulté le 25/05/2024
- [56] <https://solvace.com/industry-4-0-best-practices/>, Consulté le 25/05/2024
- [57] Amir Ben-Assa, auteur VP Marketing & Product Strategy : <https://www.plataine.com/blog/more-with-less-the-dramatic-impact-of-ai-combined-with-iiot-on-reducing-manufacturing-operational-costs/>, Consulté le 27/05/2024
- [58] Transforming advanced manufacturing through Industry 4.0 June 27, 2022 | Article, auteurs: Enno de Boer, Yorgos Friligos, Yves Giraud, David Liang, Yogesh Malik, Nick Mellors, Rahul Shahani; and James Wallace.: <https://www.mckinsey.com/capabilities/operations/our-insights/transforming-advanced-manufacturing-through-industry-4-0>, Consulté le 27/05/2024

- [59] <sup>1</sup>Automates Programmables Industriels Mr L. BERGOUGNOUX (POLYTECH' Marseille 2004–2005), <sup>2</sup>Serveur GRAFCET, <sup>3</sup>Cours GRAFCET Mr Robert Valette  
[https://www.technologuepro.com/cours-automate-programmable-industriel/Cours-Grafcet-notions-de-base.htm#google\\_vignette](https://www.technologuepro.com/cours-automate-programmable-industriel/Cours-Grafcet-notions-de-base.htm#google_vignette), Consulté le 13/06/2024
- [60] G.E.M.M.A. : <https://jackadit.com/index.php?p=sysprod3>, Consulté le 13/06/2024
- [63] Gaby Khoury Chapter 1 PLC Ladder Diagram and the Coding Rules of Mnemonic 04/06/2001:  
[https://www.esea.cz/support/fatek/FBe\\_Manual/Basic/Chapter\\_1.pdf](https://www.esea.cz/support/fatek/FBe_Manual/Basic/Chapter_1.pdf), Consulté le 13/06/2024
- [64] Détecteur de flamme KY-026 30-07-2020 : <https://www.robotique.tech/tutoriel/detecteur-de-flamme-ky-026/>, Consulté le 13/06/2024
- [65] MQ2 capteur de gaz de fumée GPL butane : <https://powertech-dz.net/products/single/mq-2-capteur-de-gaz-de-fumee-gpl-butane-vente-composants-electronique-blida-algerie-144>, Consulté le 13/06/2024
- [66] Les systèmes automatisés. : <https://bpmei-prades.com/cours/les-systemes-automatisees/lessons/structure-generale-dun-systeme-automatise-de-production/> Consulté le 19/06/2024
- [67] Polycopié pédagogique : Architecture des Systèmes Automatisés :Belgacem Bekkar Université de Ghardaia October 2020 :  
[https://www.researchgate.net/publication/349641743\\_Polycopie\\_pedagogique\\_Architecture\\_des\\_Systemes\\_Automatisees?enrichId=rgreq-24b66ac6472f9c041379bd994b21ea66-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM0OTY0MTc0MztBUzo5OTU1NzQxNzgzODU5MjBAMTYxNDM3NDc4OTA4Mg%3D%3D&el=1\\_x\\_3&\\_esc=publicationCoverPdf?](https://www.researchgate.net/publication/349641743_Polycopie_pedagogique_Architecture_des_Systemes_Automatisees?enrichId=rgreq-24b66ac6472f9c041379bd994b21ea66-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzM0OTY0MTc0MztBUzo5OTU1NzQxNzgzODU5MjBAMTYxNDM3NDc4OTA4Mg%3D%3D&el=1_x_3&_esc=publicationCoverPdf?) Consulté le 19/06/2024
- 
- [69] <http://www.fizen-dz.com/accueil/37-moteurs-asynchrone.html>
- [70] <https://www.automationit.com/blog/80-choosing-a-plc-things-to-consider>
- [71] <https://plcenergy.com/what-is-plc/>
- [72] <https://www.metallerie-serrurerie.net/metallerie-et-tolerie-pour-ascenseurs/>
- [73] <https://www.scribd.com/document/379487754/Schema-Ascenseur>
- [74] <https://energieplus-lesite.be/techniques/ascenseurs7/types-d-ascenseurs/>
- [75] <https://curtilifts.co.uk/i01/>
- [76] <https://www.constguide.com/en/product/ELlevator-Control-XC-8>
- [77] <https://palcocontrol.com/clc-plc-lift-control-system>
- [78] <https://www.innovationcodotek.ca/industrie-4-0/>
- [79] <https://fredcavazza.net/internet-des-objets/>
- [80] <https://www.sap.com/croatia/products/scm/industry-4-0/industry-4-0-strategy.html>

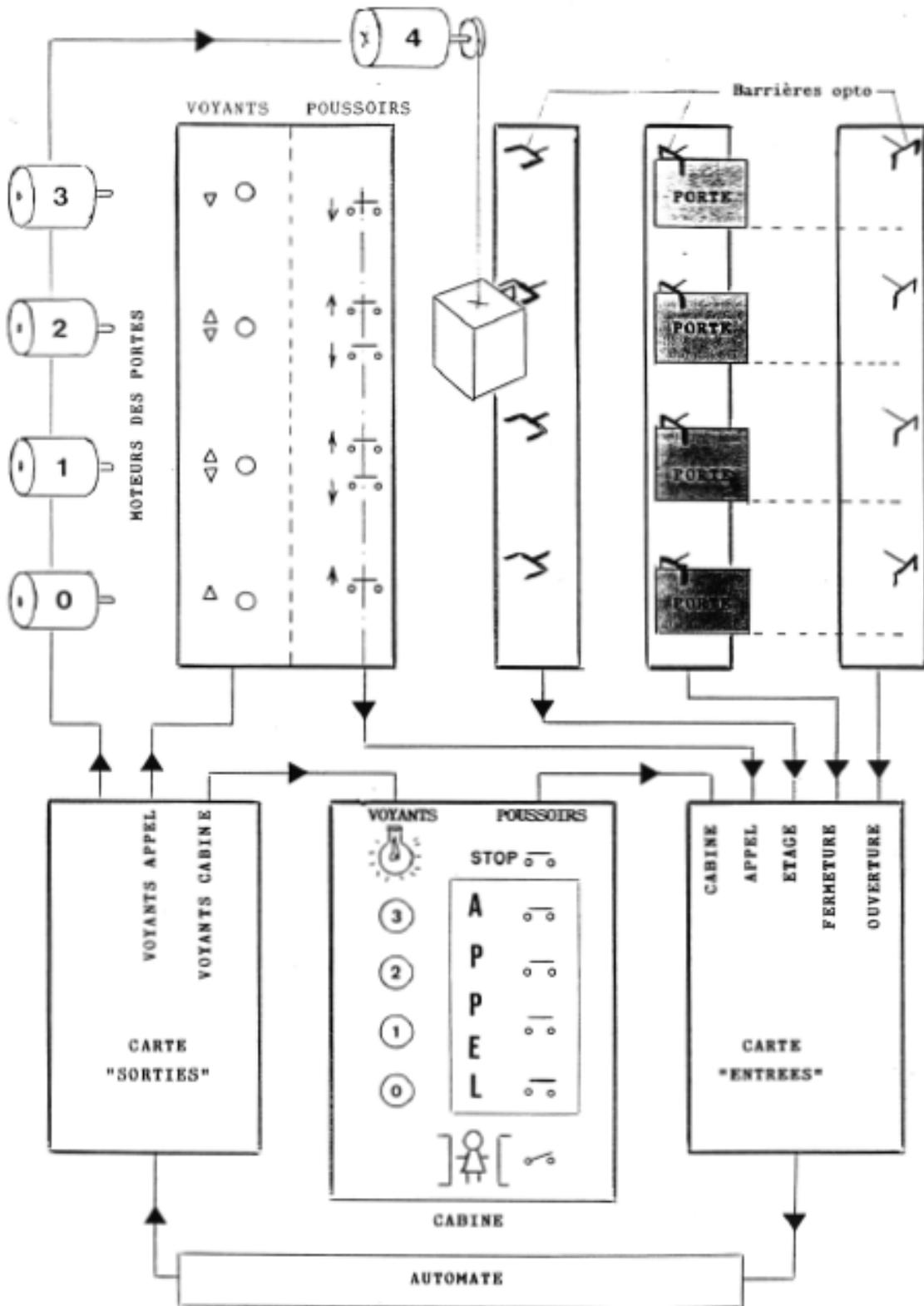
- [81] <https://www.copadata.com/fr/produits/zenon-software-platform/visualisation-contrôle/qu-est-ce-qu-un-scada-supervisory-control-and-data-acquisition-copa-data/>
- [82] [https://cache.industry.siemens.com/dl/files/153/109476153/att\\_959406/v1/109476153\\_Remote\\_Panels\\_RTAdv\\_DOC\\_en.pdf](https://cache.industry.siemens.com/dl/files/153/109476153/att_959406/v1/109476153_Remote_Panels_RTAdv_DOC_en.pdf)
- [83] <https://www.scribd.com/document/403731948/GEMMA-pdf>

# *Annexes*

**Annexes :**

**Annexe A :**

Schéma synoptique d'ascenseur AC89



## Description des entrées / sorties de la maquette

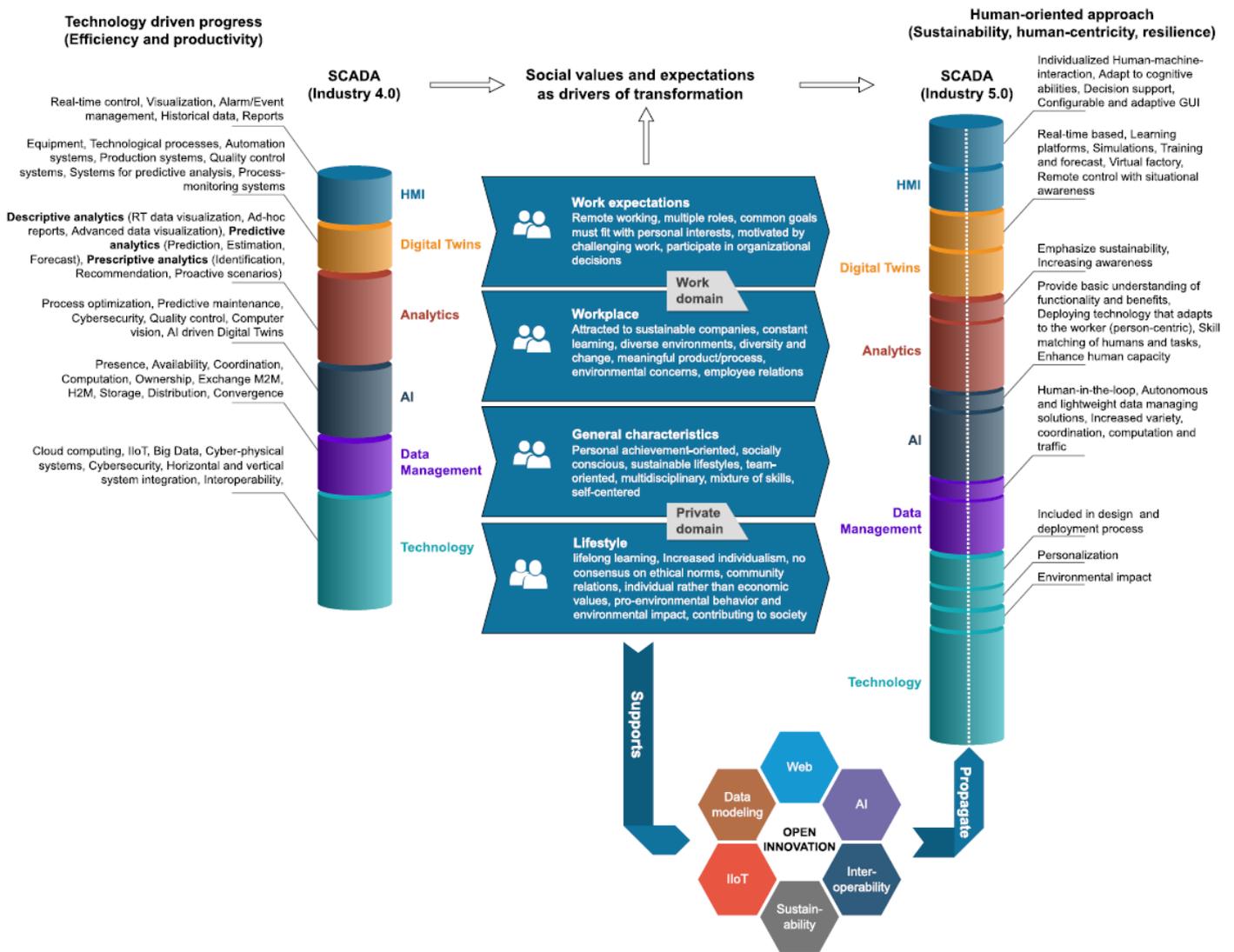
## 1. Entrées automates :

| <b>Réf entrées automate</b> | <b>Description des entrées</b> | <b>Réf grafcet</b> |
|-----------------------------|--------------------------------|--------------------|
| I0.9                        | Poussoir appel descente niv3   | AD 3               |
| I0.10                       | Poussoir appel monté niv2      | AM 2               |
| I0.11                       | Poussoir appel monté niv0      | AM RDC             |
| I0.12                       | Capteur position niv3          | CP 3               |
| I0.13                       | Capteur position niv0          | CP RDC             |
| I1.0                        | Capteur porte ouverte niv0     | PO RDC             |
| I1.1                        | Capteur porte ouverte niv3     | PO 3               |
| I1.2                        | Capteur position niv2          | CP 2               |
| I1.3                        | Capteur porte ouverte niv1     | PO 1               |
| I1.4                        | Capteur porte fermée niv0      | PF RDC             |
| I1.5                        | Capteur porte ouverte niv2     | PO 2               |
| I1.6                        | Capteur porte fermée niv3      | PF 3               |
| I1.8                        | Capteur porte fermée niv1      | PF 1               |
| I1.9                        | Capteur porte fermée niv2      | PF 2               |
| I1.7                        | Capteur position niv1          | CP 1               |
| I0.8                        | Poussoir STOP                  | STOP               |
| I0.6                        | Poussoir cabine niv1           | P 1                |
| I0.4                        | Interrupteur présence obstacle | OBSTACLE           |
| I0.2                        | Poussoir cabine niv0           | P RDC              |
| I0.1                        | Poussoir cabine niv3           | P 2                |
| I0.0                        | Poussoir cabine niv2           | P 3                |
| I0.3                        | Poussoir appel monté niv1      | AM 1               |
| I0.5                        | Poussoir appel descente niv1   | AD 1               |
| I0.7                        | Poussoir appel descente niv2   | AD 2               |

## 2. Sorties automatés :

| Réf sorties automate | Description des sorties      | Réf grafcet |
|----------------------|------------------------------|-------------|
| Q0.6                 | Moteur fermeture porte niv 3 | FP 3        |
| Q0.4                 | Moteur monter cabine         | MC          |
| Q0.2                 | Moteur descente cabine       | DC          |
| Q0.0                 | Moteur fermeture porte RDC   | FP RDC      |
| Q0.1                 | Moteur ouverture porte RDC   | OP RDC      |
| Q0.3                 | Moteur ouverture porte niv 1 | OP 1        |
| Q0.5                 | Moteur fermeture porte niv 1 | FP 1        |
| Q0.7                 | Moteur fermeture porte niv 2 | FP 2        |
| Q0.8                 | Moteur ouverture porte niv 2 | OP 2        |
| Q0.9                 | Moteur ouverture porte niv 3 | OP 3        |
| Q2.0                 | Voyant présence cabine RDC   | H0          |
| Q2.1                 | Voyant présence cabine niv 1 | H1          |
| Q2.2                 | Voyant présence cabine niv 2 | H2          |
| Q2.3                 | Voyant présence cabine niv 3 | H3          |
| Q2.4                 | Voyant appel descente niv 3  | HD3         |
| Q2.5                 | Voyant appel monté niv 2     | HM2         |
| Q2.6                 | Voyant appel monté niv RDC   | HM RDC      |
| Q2.7                 | Voyant appel descente niv 1  | HD1         |
| Q2.8                 | Voyant appel monté niv 1     | HM1         |
| Q2.9                 | Voyant appel descente niv 2  | HD2         |

**Annexe B : SCADA transition toward Industry 5.0 influenced by social values.**



| Features            | Industry 4.0                                                                                                         | Industry 5.0                                                                                                        |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Focus</i>        | Automation and technology for efficiency improvement in manufacturing and production                                 | Creation of sustainable, environmentally friendly manufacturing processes                                           |
| <i>Emphasis</i>     | Use of data and analytics to optimize processes                                                                      | Importance of human interaction and collaboration                                                                   |
| <i>Competencies</i> | IIoT, AI, ML for task and decision automation                                                                        | Combination of advanced technologies with human skills and creativity                                               |
| <i>Use</i>          | Robots and autonomous machines for repetitive, hazardous, or precision tasks                                         | Development of new skills and competencies among human workers                                                      |
| <i>Factories</i>    | Smart factories for self-optimization of production processes                                                        | Integrated, flexible production system for adaptation to customer requirements and market trends                    |
| <i>Technologies</i> | Digital twins and simulation tools for production process optimization                                               | Advanced technologies such as nanotechnology and biotechnology for creating new materials and products              |
| <i>Efficiency</i>   | Predictive maintenance, remote monitoring, and real-time data analysis for efficiency improvement and cost reduction | Prioritization of sustainability and ethical production practices to minimize waste and reduce environmental impact |

## **Annexe C : Quelques définition sur les techniques de communication industriel**

**RS-485** : is an industrial specification that defines the electrical interface and physical layer for point-to-point communication of electrical devices.

**RS-232 or Recommended Standard 232** : is a standard originally introduced in 1960 for serial communication transmission of data.

**The RS-422 (Recommended Standard-422) or also known EIA-422 (Electronic Industries Alliance-422)**: standard defines the characteristics of an electrical interface for serial communications in industrial control systems.

**Distributed Network Protocol (DNP or DNP3 or DNP 3.0)**: is a communications protocol used in Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) and remote monitoring systems.

**The USS protocol (Universal Serial Interface Protocol)** : defines an access technique according to the master- slave principle for communications via a serial bus. This also includes, as sub-quantity, the point-to-point connection.

**Modbus** : is a request-response protocol implemented using a master-slave relationship. In a master-slave relationship, communication always occurs in pairs—one device must initiate a request and then wait for a response—and the initiating device (the master) is responsible for initiating every interaction.

**SM (Signal Modules)** : Les modules d'entrées-sorties fournissent des fonctionnalités d'entrée et de sortie pour connecter des capteurs, des actionneurs et d'autres périphériques au PLC. Ils permettent au PLC de surveiller et de contrôler des signaux numériques et analogiques.

**SB (Signal Boards)** : Les Signal Boards sont également des modules d'entrées-sorties, mais ils sont spécifiquement conçus pour les signaux analogiques. Ils permettent la conversion entre signaux analogiques et numériques.

**BB (Bus Modules)** : Les Bus Modules sont utilisés pour étendre les capacités de communication du PLC. Ils permettent la connexion à des réseaux de communication tels que **PROFINET** ou **MODBUS**.

**CB (Communication Boards)** : Les Communication Boards sont similaires aux Bus Modules, mais ils sont spécifiquement destinés à la communication avec d'autres appareils via des protocoles de communication spécifiques.

**CM (Communication Modules)** : Les Communication Modules sont des modules de communication plus avancés qui prennent en charge divers protocoles de communication, tels qu'**Ethernet**, **Profibus**, etc.

**CP (Communication Processors)** : Les Communication Processors sont des modules de communication haut de gamme qui offrent des fonctionnalités avancées pour la communication avec

d'autres systèmes, tels que les systèmes SCADA ou les systèmes de gestion de niveau supérieur. Ces modules sont essentiels pour étendre les capacités du PLC et permettre une automatisation efficace dans diverses applications industrielles.

**SM (Signal Modules)** : Les modules d'entrées-sorties fournissent des fonctionnalités d'entrée et de sortie pour connecter des capteurs, des actionneurs et d'autres périphériques au PLC. Ils permettent au PLC de surveiller et de contrôler des signaux numériques et analogiques.

## ملخص:

يهدف مشروع المراقبة الذاتية لنظام المصاعد إلى التقليل من فترات توقف النظام عن العمل وتحسين عمليات الصيانة. اعتمادا على أحدث التقنيات وتكنولوجيا الثورة الصناعية الرابعة، مما يساهم في المعالجة اللحظية، التشخيص الذاتي واتخاذ الإجراءات اللازمة. تزيد هذه التقنيات من سلامة المصاعد وفعاليتها، وتقلل من الحاجة إلى التدخلات اليدوية الدورية. **الكلمات المفتاحية:** المراقبة الذاتية، نظام المصاعد، عمليات الصيانة، تكنولوجيا الثورة الصناعية الرابعة، المعالجة اللحظية، التشخيص الذاتي، التدخلات اليدوية.

## Abstract:

The elevator supervisory system with self-diagnostics project is designed to reduce downtime and streamline maintenance. Leveraging cutting-edge and industry 4.0 technologies, this system provides continuous monitoring, accurate diagnostics, and swift interventions. These capabilities not only enhance elevator safety and reliability but also diminish the need for frequent manual inspections.

**Key words:** elevator, supervisory, self-diagnostic, downtime, maintenance, industry 4.0, continuous monitoring, diagnostics, manual inspections.

## Résumé :

Le projet de système de supervision avec autodiagnostic pour les ascenseurs vise à réduire le temps d'arrêt et à optimiser la maintenance. En s'appuyant sur des technologies de pointe et de l'industrie 4.0, ce système offre une surveillance continue, des diagnostics précis et des interventions rapides. Ces fonctionnalités améliorent non seulement la sécurité et la fiabilité des ascenseurs, mais réduisent également la nécessité d'inspections manuelles fréquentes.

**Mots clés :** supervision, autodiagnostic, les ascenseurs, le temps d'arrêt, la maintenance, l'industrie 4.0, surveillance continue, diagnostics, inspections manuelles.