الجمهـوريـــة الجزائـريـــة الديمقـراطيـــة الشـعبيـــة
République Algérienne Démocratique et Populaire
وزارة التـــعلـــيـــم العـــالـــي والبـحـــث العـلمـــي
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
جامعة وهران 2 محمد بن أ حمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département Maintenance en instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie industrielle

Spécialité : Maintenance en automatisme et instrumentation

Thème

Aperçu de la technologie IOT et proposition dans l'automatisation des bacs tampons

Présenté et soutenu publiquement par :

Nom : BEKADDOUR **Prénom** : IKRAM

Nom : DAOUD **Prénom** : AYA

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
CHENOUFI Mohamed	MCA	IMSI-Univ.D'oran2	**Président**
AISSANI Nassima	MCA	IMSI-Univ.D'oran2	**Encadreur**
ROUAN-SERIK Mehdi	MCA	IMSI-Univ.D'oran2	**Examinateur**
HAMMOU Mohamed	Ingénieur	Entreprise AFIA International Algérie « Groupe SAVOLA »	**Co-Encadrant**

Année universitaire 2024/2025

Remerciement

بسم الله الرحمن الرحيم

Nous remercions tout d'abord, Allah le plus puissant de nous avoir donné la force et le courage pour terminer nos études et élaborer ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements aux personnes qui nous ont aidés et qui ont contribué à l'élaboration de cette thèse.

Nous tenons à remercier particulièrement notre encadrante académique Dr. AISSANI NASSIMA pour nous avoir suivi et conseillé tout au long de la réalisation de ce mémoire et pour ses encouragements.

Nos remerciements s'étendent également à notre encadrant professionnel Mr. HAMMOU MOHAMED qui nous a constamment guidé pour réaliser ce travail, pour sa disponibilité et ses efforts.

Nos remerciements vont également aux membres du jury Mme. et Mr. qui ont accepté sans réserve d'évaluer ce travail.

Nous tenons à remercier tout le personnel de l'entreprise AFIA international Algérie qui nous a permis de réaliser notre stage dans les meilleures conditions. Nous tenons également à remercier toute l'équipe du département automatisme pour sa collaboration et ses conseils lors de notre stage pratique.

Nous n'oublierons pas de remercier tous les professeurs du département d'instrumentation pour leurs efforts et nos collègues de la spécialité MAII PROMO 2025.

Enfin, ce mémoire n'aurait jamais pu voir le jour sans le soutien actif des membres de nos familles, surtout nos parents qu'ils nous ont toujours encouragé et que nous tenons remercier.

Dédicaces

À ma chère grand-mère

Toi qui as toujours été mon refuge, ma source de réconfort et de prières sincères, ton amour et ton soutien m'ont guidée dans les moments difficiles. Je prie Allah de te préserver, de t'accorder une vie longue et pleine de santé. Ce travail est un humble témoignage de ma gratitude infinie.

À mon cher grand-père

Tu as toujours été une source d'inspiration et de sagesse pour moi. Ta bienveillance, ta force et ton amour inébranlable m'ont guidée tout au long de ma vie. Ce mémoire est dédié à toi, pour te rendre hommage et te remercier de tout ce que tu m'as appris.

À ma chère tante Fatima

Toi qui as été bien plus qu'une simple tante, mais une seconde mère, ta présence constante, ton amour inébranlable et tes précieux conseils m'ont toujours portée. En te remerciant du fond du cœur pour tout ce que tu as fait pour moi, et je prie Allah de te bénir, de te protéger et de te récompenser par tout le bien que tu as semé autour de toi.

A toute ma famille et mes amis

À travers ses lignes je ne peux pas vous décrire tous mes sentiments d'amour, le seul mot que je peux dire est merci, vraiment merci beaucoup à toute personne qui a contribué à la réalisation de ce mémoire.

Enfin, je demande à Allah de rendre ce travail pur et sincère, qu'il soit une source de bien pour moi et pour tous ceux qui en bénéficieront.

Que cette réussite soit une bénédiction et un fruit de l'effort, de la persévérance et de la foi.

IKRAM

Dédicaces

A ma chère Maman

Source infinie de soutien et d'inspiration, Ton amour inconditionnel et ta confiance en moi ont été les piliers de ma réussite. Je suis profondément reconnaissant pour tes encouragements incessants, tes conseils avisés et ta présence constante dans ma vie. Ce mémoire est le fruit de ton amour et de ton dévouement. Merci du fondu cœur.

À mon cher Père

Tu m'as toujours montré l'importance du travail acharné, de la persévérance et de l'ambition. Tes encouragements et ton soutien infaillibles m'ont motivé à donner le meilleur de moi-même. Ce mémoire est dédié à toi, en témoignage de ma gratitude pour ton rôle essentiel dans mon parcours académique.

A mes deux frères, Zakaria et Yacine

Vos encouragements, vos rires et votre soutien constant ont été ma source de réconfort tout au long de ce projet. Vous avez toujours cru en moi et avez été mes plus grands fans. Cette dédicace est une marque de reconnaissance envers votre présence inestimable dans ma vie. Je vous suis éternellement reconnaissant.

À tous mes amis de la résidence universitaire, en particulier à KARIMA,
Votre amitié et votre compagnie ont illuminé mes journées.

Enfin, à tous mes collègues de la promotion MAI,

Notre parcours ensemble a été rempli de défis et de moments de joie. Vos discussions animées, vos partages de connaissances et votre esprit de collaboration ont été une source d'inspiration pour moi. Cette dédicace est un témoignage de mon respect et de mon appréciation envers chacun d'entre vous.

AYA

Sommaire

Introduction générale....1
Chapitre I : Présentation de l'industrie agroalimentaire et description de l'entreprise AFIA international Algérie « Groupe SAVOLA »....4
Introduction....4
I.1. L'industrie agroalimentaire....4
I.1.1. Définition de l'industrie agroalimentaire....4
I.1.2. Historique....4
I.1.3. L'industrie agroalimentaire mondiale....5
I.1.4. Les types d'industries de transformation agroalimentaire....5
I.1.5. L'industrie agroalimentaire en Algérie....5
I.1.6. Les filières agroalimentaires en Algérie et les principaux acteurs....6
I.1.6.1. Filière céréalière....6
I.1.6.2. Filière laitière....6
I.1.6.3. Filière huile et corps gras....7
I.1.6.4. Filière eaux et boissons non alcooliques....7
I.1.6.5. La filière des fruits et légumes....8
I.2. Généralités sur l'huile de Soja....8
I.2.1. Définition de l'huile de Soja....8
I.2.2. Historique....8
I.2.3. La plante Origine de l'huile de Soja....9
I.2.4. Composition de l'huile de soja....10
I.2.5. Le marché mondial du l'huile de Soja....10
I.2.5.1. La production mondiale....10
I.2.5.2. Les entreprises connues de l'huile en Algérie....11
I.3. Présentation de l'entreprise....12
I.3.1. Présentation d'AFIA International Algérie....12
I.3.2. Présentation du groupe SAVOLA :....13
I.3.3. Historique de l'entreprise....14
I.3.4. L'activité d'entreprise....14
I.3.5. Les sources d'énergies....15
I.3.6. L'organigramme de l'entreprise....16
I.3.7. Processus de production....17
I.3.8. La capacité de production....17
I.3.9. Les étapes de la production....17

I.3.9.1. Stockage des huiles brutes 17
I.3.9.2. Raffinage 18
I.3.9.2.1. Les étapes de raffinage 18
I.3.9.3. Contrôle de la qualité 19
I.3.9.4. Packaging 21
I.3.9.5. Logistique 22
Conclusion 22
Chapitre II : Etude et caractérisation d'une gestion des bacs de stockage 24
Introduction 24
II.1. Les bacs de stockage 24
II.1.1. Définition 24
II.1.2. Objectif des bacs de stockage 24
II.1.3. Les différents types de réservoirs 25
II.1.3.1. Réservoirs en acier inoxydable (inox 304-316) 25
II.1.3.2. Réservoirs en acier galvanisé 26
II.1.3.3. Réservoirs en plastique alimentaire (PEHD, PP) 26
II.1.3.4. Réservoirs en fibre de verre (avec résine alimentaire) 27
II.1.4. Les formes et les installations de réservoirs 28
II.1.4.1. Réservoirs verticaux 28
II.1.4.2. Réservoirs horizontaux 29
II.1.4.3. Réservoirs enterrés 29
II.1.4.4. Réservoirs mobiles (citernes) 30
II.1.5. Classification des réservoirs selon leur fonction et le type de produits stocké 30
II.1.5.1. Réservoirs de stockage 30
II.1.5.2. Cuve de fermentation 30
II.1.5.3. Cuve de mélange 30
II.1.5.4. Réservoirs tampons 31
II.2. Gestion des bacs tampon 31
II.2.1. Définition 31
II.2.2. Fonctionnement d'un bac tampon 31
II.2.3. Les avantages 32
II.2.4. Equipement et accessoires d'un bac tampon 32
II.2.4.1. Equipements 32
II.2.4.2. Accessoires 33
Conclusion 36

Chapitre III : Généralité sur l'automatisme 38
Introduction 38
III.1. Système automatisé 38
III.1.1. Définition 38
III.1.2. Objectifs de l'automatisation 38
III.1.2.1. Objectifs visant le personnel 38
III.1.2.2. Objectifs visant le produit 38
III.1.2.3. Objectifs visant l'entreprise 38
III.1.3. Structure d'un système automatisé 39
III.1.4. Les parties d'un système automatisé 39
III.1.4.1. La partie opérative (PO) 39
III.1.4.2. La partie commande (PC) 40
III.1.4.3. La partie relation (PR) 40
III.2. Automates Programmables industriels (A.P.I) 40
III.2.1. Historique 40
III.2.2. Définition 41
III.2.3. Domaines d'emploi des automates 41
III.2.4. Nature des informations traitées par l'automate 41
III.2.5. Architecture des A.P.I. 42
III.2.5.1. Aspect extérieur 42
III.2.5.2. Structure interne de l'automate 43
III.2.6. Principe de fonctionnement d'un A.P.I : Le cycle d'un A.P.I 44
III.2.7. Le langage des A.P.I 45
III.3. Présentation des automates utilisés 46
III.3.1. L'automate S7-1500 CPU 1515-2PN 46
III.4. Logiciel TIA Portal 47
III.4.1. Définition 47
III.4.2. Description du logiciel TiaPortal V16 48
III.4.2.1. SIMATIC STEP 7 48
III.4.2.2. SIMATIC Win CC 49
III.4.3. Les avantages du logiciel 49
III.4.4. Vue du portail et vue du projet 49
III.4.4.1. Vue du Portail 50
III.4.3.2. Vue du projet 50
III.4.5. Création d'un projet et configuration d'une station de travail 51

III.4.5.1. Création d'un projet 51
III.4.5.2. Configuration et paramétrage du matériel 52
III.4.5.3. Adressage des E/S 53
III.4.5.4. Compilation et chargement de la configuration matérielle 53
III.4.6. Types de blocs de programme 56
III.4.6.1. Les blocs d'organisation – OB 56
III.4.6.2. Les fonctions – FC 58
III.4.6.3. Les blocs fonctionnels – FB 58
III.4.6.4. Bloc de données DB 58
III.5. Supervision industriel 59
III.5.1. Fonctions de la supervision 59
III.5.1.1. Synoptique 60
III.5.1.2. Courbes 60
III.5.1.3. Alarmes 60
III.5.1.4. Historisation du procédé 60
III.5.2. Interface homme-machine (IHM) 61
III.5.2.1. Le rôle d'une IHM 61
III.5.2.2 Création et configuration de L'IHM 61
III.5.2.3. Choix de l'interface homme-machine 62
III.5.2.4. Etablissement de La liaison entre la CPU et L'IHM 62
III.5.3. Logiciel de supervision 63
III.5.3.1. Principales fonctions offertes par ce logiciel 63
III.6. Communication 65
III.6.1. Protocoles de communication 65
III.6.1.1. Modbus 65
III.6.1.2. Profibus 65
III.6.1.3. Profinet 66
III.6.1.3.1. Classes de fonctions de PROFINET 66
III.6.1.3.2. Concept de communication PROFINET 66
III.6.1.3.3. Concept de sécurité PROFINET 67
III.7. Logiciel de Simulation 67
III.7.1. PLCSIM V16 67
III.7.2. Simatic WinCC Runtime Advanced 68
Conclusion 68
Chapitre IV : L'internet des objets (IOT) 70

Sommaire

Introduction....70
IV.1. L'Internet des Objets (IOT)....70
IV.1.1. Définition....70
IV.1.2. Historique sur l'Internet des objets....70
IV.1.3. L'IOT aujourd'hui....71
IV.1.4. Le futur de l'IOT....71
IV.1.5. Internet des objets et son importance....71
IV.1.6. Internet des objets comme un système....72
IV.1.6.1. L'Internet des objets comme un système des systèmes....72
IV.1.6.2. Réseaux et Internet des Objets....72
IV.1.6.3. L'Internet des Objets et les données....72
IV.1.6.4. L'Internet des Objets et les nouveaux services....73
IV.1.7. C'est quoi un objet connecté ?....73
IV.1.8. Caractéristiques d'un objet connecté....73
IV.1.9. Les applications de l'Internet des objets....74
IV.1.10. Fonctionnement de l'Internet des Objets (IOT)....74
IV.1.10.1. Composants de l'IOT....74
IV.1.10.2. Technologies de l'IOT....76
IV.1.11. L'architecture de l'IOT....78
IV.1.12. Caractéristiques d'une application de l'IOT....78
IV.1.13. Les protocoles de l'IOT....79
IV.2. Logiciel NODE - RED....81
IV.2.1. Présentations de Node-Red....81
IV.2.2. Installations de Node-Red....82
IV.2.3. Interface....83
IV.2.4. Ajout d'une catégorie de nodes à la palette....84
IV.2.5. Créations d'un dashboard (tableau de bord IHM)....85
IV.2.6. Importation et exportation des flows....85
IV.2.6.1. Importation des flows....85
IV.2.6.2. Exportations des flows....86
IV.2.7. Principe de la programmation....87
Conclusion....88
Chapitre V : Conception et résultats....90
Introduction....90
V.1. Automatisation....90

V.1.1. Création d'un projet et la configuration matérielle 91
V.1.1.1. La configuration matérielle.....91
V.1.2. Tables des Mnémoniques (tables des variables API) 92
V.1.3 Elaboration du programme.....92
V.1.3.1 Démarrage de cycle bac 1 AFIA.....92
V.1.3.2. Démarrage des vannes bac 1 AFIA.....93
V.1.3.3. Démarrage de cycle bac 2 OLÈOR.....94
V.1.3.4. Démarrage des vannes bac 2 OLÈOR.....94
V.1.3.5. Logique d'incrémentation et de décrémentation 95
V.1.3.6. La mise à l'échelle du compteur B1 pour obtenir le niveau d'huile 96
V.1.3.7. Contrôle du niveau d'huile.....97
V.1.3.8. Commande la vanne de vidange 97
V.2. Supervision 98
V.2.1. Création et configuration de L'IHM.....98
V.2.2. Tables des Mnémoniques (tables des variables IHM).....98
V.2.3. Création des Vues.....99
V.2.4. Présentation des différentes vues du projet.....99
V.2.4.1. La vue principal (HOME).....99
V.2.4.2. Vue d'alarme.....100
V.3. Communication.....101
V.3.1. Configuration de la communication 101
V.3.1.1. Configuration matérielle.....101
V.3.1.2. Configuration des adresses IP.....102
V.4. Simulation.....102
V.4.1. Chargement et simulation du programme.....102
V.4.1.1. Les vues de simulations :.....105
V.4.1.1. Vue de Simulation du bac 1 AFIA.....105
V.5 Communication à distance avec l'automate via node red.....108
V.5.1 Pré-requis pour le tutoriel : outils et logiciels nécessaires.....108
V.5.2. Node-RED – Configuration 108
V.5.3. Node-RED – Programmation.....110
V.5.4. Que va-t-il changer après l'ajout de MQTT ?.....111
V.5.4.1. Nœuds MQTT.....112
V.5.4.2. Remplacement ou liaison des nœuds existants avec MQTT 112
V.5.4.3. Avantages de MQTT.....112

V.5.5. Tableau de bord de l'automate Siemens TIA Portal Node-Red.....113
V.5.6. Exécution de l'intégration entre Node-RED et TIA Portal à l'aide du simulateur S7-PLCSIM Advanced.....114
V.5.6. Présentation de l'application MY MQTT 117
V.5.6.1. Définition le broker MQTT 117
V.5.7. Les vues de simulations 118
V.5.6. Analyse des résultats de la simulation 120
Conclusion 120
Conclusion générale 122
REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 124

Chapitre I

Figure I. 1 : Répartition des laiteries par wilaya 6
Figure I. 2 : Aspect général de la plante de soja et le fruit qui est une Gousse qui contient les graines9
Figure I. 3 : Les huiles en Algérie 11
Figure I. 4 : AFIA huile de table 12
Figure I. 5 : GROUPE SAVOLA.....13
Figure I. 6 : Stockage huile brute 17
Figure I. 7 : Mesure de la qualité 20

Chapitre II

Figure II. 1 : Cuves en inox (acier inoxydable).....25
Figure II. 2 : Réservoirs en acier galvanisé.....26
Figure II. 3 : Réservoir en plastique alimentaire (PEHD, PP) 27
Figure II. 4 : Réservoirs en fibre de verre (avec résine alimentaire) 28
Figure II. 5 : Réservoirs verticaux.....28
Figure II. 6 : Réservoirs horizontaux.....29
Figure II. 7 : Réservoirs enterrées 29
Figure II. 8 : Réservoirs mobiles (citernes) 30
Figure II. 9 : Types d'équipements de la structure des bacs. 32
Figure II. 10 : Accessoires d'accès des bacs 33
Figure II. 11 : Accessoires de contrôle 34
Figure II. 12 : Le manomètre 34
Figure II. 13 : PT100 35
Figure II. 14 : Détecteur de niveau.....35
Figure II. 15 : La composition d'une vanne TOR 36

Chapitre III

Figure III. 1: Structure d'un système automatisé 39
Figure III. 2: Automate compact 42
Figure III. 3: Automate modulaire 43
Figure III. 4: Structure générale d'un A.P.I 43
Figure III. 5: Structure interne d'un A.P.I 44
Figure III. 6: Fonctionnement cyclique d'un API.....45
Figure III. 7: CPU 1515-2PN.....46
Figure III. 8: Modules de configuration S7-1500.....47
Figure III. 9: Illustration de la composition logicielle de Tia portal 48
Figure III. 10: Vue du portail 50
Figure III. 11: Fenêtre de projet 50
Figure III. 12: Création d'un projet.....51
Figure III. 13: Première méthode de configuration et paramétrage du matériel 52
Figure III. 14: Deuxième méthode de configuration et paramétrage du matériel 52
Figure III. 15: Adresses des entrées analogiques 53
Figure III. 16: Compilation et configuration matérielle 54
Figure III. 17: Compilation et chargement en mode de connexion PN/IE.....54

Figure III. 18: Programme chargé et affichages des messages d'avertissements/confirmations 55
Figure III. 19: Diffèrent types de bloc de programme 56
Figure III. 20: Les blocs OB utilisés dans ce projet 57
Figure III. 21: Supervision des procédés 59
Figure III. 22: Insertion d'une station IHM dans Tia Portal 62
Figure III. 23: Liaison entre PLC et IHM 63
Figure III. 24: Les différents composants de la fenêtre de l'IHM 64

Chapitre IV

Figure IV. 1 : L'Internet des objets aujourd'hui. 71
Figure IV. 2: Fonctionnement de l'Internet des Objets 76
Figure IV. 3: Fonctionnement du protocole MQTT 80
Figure IV. 4: Aperçu sur Node Red 82
Figure IV. 5: Sous linux 83
Figure IV. 6: Sous Windows 83
Figure IV. 7: Execution de node-red dans le terminal 83
Figure IV. 8: IHM de node-red 84
Figure IV. 9: Accéder au gestionnaire de palette 84
Figure IV. 10: Ajout de la catégorie Dashboard à la Palette 85
Figure IV. 11: Importation des flows 86
Figure IV. 12: Exportations des flows. 87
Figure IV. 13: Jauge pilotée par un slider 88

Chapitre V

Figure V. 1: Architecture générale du système 90
Figure V. 2: Configurations matérielle 91
Figure V. 3: Table des variables API 92
Figure V. 4: Réseau démarrage de cycle bac 1 AFIA 92
Figure V. 5: Réseau vanne 1 bac1 AFIA 93
Figure V. 6: Réseau vanne 2 bacs 1 AFIA 93
Figure V. 7: Réseau démarrage de cycle bac 2 OLÈOR 94
Figure V. 8: Réseau vanne 1 bac 2 OLÈOR 94
Figure V. 9: Réseau vanne 2 bac2 OLÈOR 95
Figure V. 10: Réseau de d'incrémentation et de décrémentation du compteur B1 96
Figure V. 11: La mise à l'échelle du compteur B1 pour obtenir le niveau d'huile réservoir B1 96
Figure V. 12: Système de contrôle du niveau d'huile B1 97
Figure V. 13: Réseau démarrage de vidange B1 97
Figure V. 14: Variable IHM 98
Figure V. 15: Vues de notre IHM 99
Figure V. 16: Vue home 100
Figure V. 17: Vue d'alarme 100
Figure V. 18: Configuration matérielle des deux automates 101
Figure V. 19: Configuration des adresses IP 102
Figure V. 20: Lancement de la simulation 103
Figure V. 21: Chargement du programme dans plcsim V16 103

Liste des figures

Figure V. 22: S7 PLCSIM V16 104
Figure V. 23: Simulation de blocs d'organisation main OB 1 104
Figure V. 24: Simulation de démarrage et de l'arrêt de cycle B1 105
Figure V. 25: Simulation de démarrage et de l'arrêt des vannes 105
Figure V. 26: Simulation de d'incrémentation et de décrémentation du compteur B1 106
Figure V. 27: Simulation de la mise à l'échelle du compteur B1 pour obtenir le niveau d'huile du réservoir B1 106
Figure V. 28: Simulation du système de contrôle du niveau d'huile B1 107
Figure V. 29: Simulation de la vidange du Bac 1 107
Figure V. 30: Utilisation de Node-Red avec la programmation d'API Siemens TIA Portal | Nœuds d'entrée et de sortie S7 108
Figure V. 31: Utilisation de Node-Red avec la programmation d'API Siemens TIA Portal | Variables de point de terminaison 109
Figure V. 32: Utilisation de Node-Red avec Siemens TIA Portal Programmation PLC | Programme final Node-RED 110
Figure V. 33: Interface de contrôle Node-RED pour la gestion des vannes et du niveau avec MQTT 111
Figure V. 34: Tableau de bord de l'automate Siemens TIA Portal Node-Red 113
Figure V. 35: Tableau de bord de l'automate Siemens TIA Portal Node-Red 114
Figure V. 36: Utilisation de Node-Red avec la programmation d'API Siemens TIA Portal | Instance PLCSim Advanced 115
Figure V. 37: Utilisation de Node-Red avec la programmation d'API du portail TIA de Siemens 116
Figure V. 38: L'interface de broker MQTT 117
Figure V. 39: Interface de publish 118
Figure V. 40: Interface de subscribe 119
Figure V. 41: Les résultats du Dashboar 119

Liste des abréviations

AFIA : Afia international Algérie
PEHD : Polyéthylène haute densité
PP : polypropylène
PLC : Programmable logic controller
API : Automate programmable industriel
CPU : Central Processing Unit
TOR : Tout Ou Rien
RAM : Randam Acces Memory
ROM : Read Only Memory
PROM : Programmable Read Only Memory
SAP : Systéme Automatisé de production
PO : Partie Opérative
PC : Partie commande
PR: La partie relation
E/S : Entrée/Sortie
PS : Module d'Alimentation
UL : Unité Logique
SM : Module de signaux
LOG : langage logigramme
LIST : Langage liste
CONT : Langage contact
TIA PORTAL : Totally Integrated Automation Portal.
WINCC : Windows Control Center
STEP7 : Logiciel de programmation et de supervision
SCADA : Supervisory control and data acquisition
IHM : Interface Homme –Machine
DB : Data Bloc
FC : Function
FB : Function Bloc
OB : Organisation Bloc
PG : Consol de programmation
PC : Portable computer
IoT : Internet of Things
MIT : Massachusetts Institute of Technology
RFID : Radio Frequency Identification
NFC : Near Field Communication
BLE : Bluetooth LowEnergy
MQTT : Message Queue Telemetry Transport

Résumé

Au sein d'AFIA International en Algérie, les bacs tampons d'huile jouent un rôle crucial dans le maintien d'un flux de production stable. Notre travail consiste à automatiser et contrôler le niveau d'huile dans ces bacs en utilisant un automate programmable industriel (API) et le logiciel TIAPORTAL. Afin d'améliorer le suivi et la surveillance de ce processus, nous avons développé des interfaces homme-machine (IHM) graphiques permettant de visualiser en temps réel l'état des bacs. L'intégration de l'Internet des Objets (IOT) et du logiciel Node-RED complète ce système pour une supervision et une gestion à distance.

Mots clés

TIA Portal, WINCC (ou interface IHM équivalente), API, AFIA International, bac tampon d'huile, contrôle de niveau, IOT, Node-RED.

Abstract

At AFIA International in Algeria, oil buffer tanks play a crucial role in maintaining a stable production flow. Our work involves automating and controlling the oil level in these tanks using a Programmable Logic Controller (PLC) and the TIAPORTAL software. To enhance monitoring and supervision of this process, we have developed graphical Human-Machine Interfaces (HMIs) that provide real-time visualization of the tanks' status. The integration of the Internet of Things (IoT) and Node-RED software complements this system for remote supervision and management.

Keywords

TIA Portal, WINCC (or equivalent HMI interface), PLC, AFIA International, oil buffer tank, level control, IoT, Node-RED.

INTRODUCTION GÉNÉRALE

INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le secteur de l'industrie agroalimentaire algérien est un pilier majeur de l'économie, contribuant significativement à la production nationale et aux exportations. Il joue un rôle essentiel dans la sécurité alimentaire, en assurant une production de qualité et une sécurité sanitaire rigoureuse. Face à la concurrence croissante des produits importés, les entreprises agroalimentaires algériennes doivent impérativement se moderniser et développer leurs installations pour renforcer leur compétitivité.

AFIA International, acteur de premier plan dans l'industrie agroalimentaire en Algérie, est engagée dans une démarche de modernisation de ses processus industriels. Dans cette optique, l'entreprise a identifié l'optimisation de la gestion de ses bacs tampons d'huile comme un levier d'amélioration crucial. Ces bacs sont essentiels pour assurer la fluidité et la continuité de l'approvisionnement en huile des différentes étapes de production. Cependant, une gestion non automatisée de ces bacs peut entraîner des variations de niveau, des risques de débordement ou de pénurie, et une efficacité globale réduite.

Notre projet de fin d'études s'inscrit dans cette perspective et vise à automatiser la gestion des bacs tampons d'huile d'AFIA International en Algérie. Pour ce faire, nous proposons l'intégration de l'Internet des Objets (IOT) pour la collecte de données en temps réel et l'utilisation conjointe d'un automate programmable industriel (API) et des logiciels Node-RED et TIA Portal. L'objectif principal est d'optimiser le fonctionnement de ces bacs en assurant un niveau d'huile adéquat et constant, garantissant ainsi une production fluide et ininterrompue. L'API assurera le contrôle précis des équipements, tandis que l'IOT permettra une acquisition de données fiables et que Node-RED offrira une interface de supervision et de visualisation conviviale.

L'intégration de l'Internet des Objets (IoT), nous avons opté pour l'utilisation du protocole **MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)**, reconnu pour sa légèreté, sa fiabilité et son efficacité dans les environnements industriels. Ce protocole facilite la transmission des données entre les capteurs connectés aux bacs tampons et le système de supervision. Pour tester la communication entre les différents éléments du système et visualiser en temps réel les messages échangés via MQTT, nous avons utilisé l'application mobile **MyMQTT**.

Ce mémoire a pour objectif d'analyser en détail la conception et la mise en œuvre de ce système d'automatisation pour la gestion des bacs tampons d'huile chez AFIA International en Algérie, en s'appuyant sur l'IOT, un API et les logiciels Node-RED et TIA Portal. Nous mettrons en lumière les défis techniques spécifiques liés à ce type de projet dans un contexte industriel et présenterons les solutions envisagées, en détaillant l'architecture du système, la communication entre les différents composants et la programmation de l'API. Nous espérons ainsi apporter une contribution significative à l'amélioration de l'efficacité et de la fiabilité des processus de production d'AFIA International, tout en explorant le potentiel de ces technologies dans le domaine de l'automatisation industrielle agroalimentaire.

Chapitre 01 : Présentation de l'industrie agroalimentaire mondiale et en Algérie, et description de l'entreprise AFIA International. Ce chapitre offrira un aperçu de l'entreprise et de son rôle dans le secteur.

Chapitre 02 : Description des différents types de bacs tampons alimentaires utilisés chez AFIA International, en mettant l'accent sur les bacs tampons d'huile. Ce chapitre présentera également les principes de la régulation de niveau et les équipements de mesure et de contrôle envisagés pour le projet.

Chapitre 03 : Principes fondamentaux des automates programmables industriels (API), avec une orientation sur les systèmes Siemens. Présentation de l'architecture du système d'automatisation envisagé pour la gestion des bacs tampons, ainsi qu'une introduction au logiciel TIA Portal pour la programmation des API et aux concepts de supervision industrielle.

Chapitre 04 : Intégration de l'Internet des Objets (IOT) et du logiciel Node-RED pour la supervision et la gestion des bacs tampons. Ce chapitre détaillera les aspects liés à la collecte de données via l'IOT, la configuration de Node-RED pour la visualisation des données et la création d'une interface de supervision conviviale.

Chapitre 05 : Présentation et analyse des résultats de la simulation du système d'automatisation développé à l'aide du logiciel TIA Portal et de l'interface de supervision Node-RED. Discussion des performances du système simulé et des améliorations potentielles pour la gestion des bacs tampons d'huile et autres bacs alimentaires.

Enfin, une conclusion générale récapitulera les principaux résultats du projet et les perspectives futures.

CHAPITRE I

Présentation de l'industrie agroalimentaire et description de l'entreprise AFIA Int

Introduction

Ce chapitre propose une présentation de l'industrie agroalimentaire en Algérie et de ses principales filières. Nous fournirons des informations générales sur l'huile de soja. Enfin, nous aborderons l'historique du groupe SAVOLA (AFIA international Algérie), en mettant en lumière ses différentes activités ainsi que son organigramme.

I.1. L'industrie agroalimentaire

I.1.1. Définition de l'industrie agroalimentaire

La réforme de l'industrie agroalimentaire englobe toutes les activités industrielles qui transforment les produits agricoles, de la chasse et de la pêche en produits destinés à la consommation humaine ou animale. Cela comprend la transformation des produits issus de l'agriculture, de la chasse, de la pêche et de la cueillette en produits alimentaires. L'industrie agroalimentaire dépend de l'exploitation des ressources naturelles et des matières premières destinées à l'alimentation, qui sont transformées dans des usines spécifiques pour être consommées par l'homme ou l'animal. [1]

I.1.2. Historique

L'industrie alimentaire est probablement apparue en même temps que l'agriculture et la sédentarisation, durant le Néolithique, il y a environ onze mille ans. Toutefois, lorsqu'on s'intéresse aux origines de l'industrie agroalimentaire, ce sont les dernières décennies du XVIIe siècle qui retiennent l'attention. Avant cette période, l'agriculture et l'élevage constituaient les principales activités assurant la subsistance des familles. Cependant, au milieu du XVIIe siècle, l'exode rural s'intensifie, entraînant des pénuries alimentaires dans les villes densément peuplées. C'est dans ce contexte qu'émerge une nouvelle approche de la production alimentaire.

L'industrie alimentaire, telle qu'on la connaît aujourd'hui, ne voit véritablement le jour qu'à la fin du XIXe siècle, avec la révolution industrielle. À l'instar d'autres secteurs comme le textile ou la métallurgie, elle s'appuie sur des avancées technologiques majeures : extraction du sucre de la betterave, stérilisation thermique pour le stockage, production de chocolat et de biscuits, réfrigération à l'ammoniac, invention de l'écrémeuse, etc.

C'est également à cette époque, entre la fin du XIXe et le début du XXe siècle, que naissent les grandes entreprises agroalimentaires, telles que Nestlé en Suisse, Unilever aux États-Unis et au Royaume-Uni, Armour aux États-Unis ou encore Liebig en Allemagne. En revanche, depuis la Seconde Guerre mondiale, les structures du marché agroalimentaire n'ont pas connu de transformations majeures. [2]

I.1.3. L'industrie agroalimentaire mondiale

L'industrie agroalimentaire, pilier économique mondial, représente 10 à 30 % du PIB de nombreux pays. Ce secteur diversifié, allant de la production agricole à la transformation des aliments, est confronté au défi majeur de nourrir une population mondiale en croissance constante, passée de 6,114 milliards en 2000, 6,922 milliards en 2010 et 8 ,05 milliards en 2023, avec un taux de croissance annuel de 1,3 %. En 2024, son chiffre d'affaires a atteint 9000 milliards de d'euros. Pour assurer la sécurité alimentaire de tous, l'industrie doit innover et s'adapter en tenant compte des enjeux environnementaux et sociaux. [3]

I.1.4. Les types d'industries de transformation agroalimentaire

Le secteur agroalimentaire regroupe l'ensemble des activités impliquées dans la transformation, l'élaboration et le conditionnement des produits principalement d'origine agricole, destinés à la consommation humaine ou animale.

L'industrie alimentaire se divise en plusieurs grandes catégories :

- **Industrie laitière :** transformation du lait cru réfrigéré en produits tels que le yaourt, le beurre, ainsi qu'en sous-produits comme la poudre de lait.
- **Production des produits alimentaires élaborés :** transformation de fruits, légumes, poissons, plats cuisinés et fabrication de conserves.
- **Industrie céréalière :** production de farine, pain, pâtisseries industrielles, biscuits, biscottes, semoules, pâtes alimentaires, malt, amidon et ses dérivés, ainsi que d'aliments pour animaux domestiques et d'élevage.
- **Fabrication d'huiles et de matières grasses :** production d'huiles végétales brutes et raffinées, de graisses animales, de margarines et de dérivés d'acides gras.
- **Fabrication de boissons** : divisée en deux catégories principales. D'un côté, les boissons non alcoolisées, comprenant les sirops, eaux, jus de fruits, cafés et thés. De l'autre, les boissons alcoolisées, incluant les spiritueux, le vin et la bière.
- **Industrie de la viande** : regroupe les entreprises spécialisées dans la transformation des animaux d'élevage en produits destinés à l'alimentation humaine. [4]

I.1.5. L'industrie agroalimentaire en Algérie

Dans les années 1970, l'industrie agroalimentaire en Algérie a connu une expansion significative grâce aux initiatives de développement de l'État visant à créer des entreprises nationales, notamment dans les domaines des céréales, des produits laitiers, de l'eau et des boissons. Ces industries demeurent les plus importantes, bien qu'elles soient désormais suivies par le sucre, les graisses, l'huile, les conserves, la viande et d'autres produits. Au cours des 15 dernières années, l'industrie agroalimentaire algérienne a enregistré une croissance notable, stimulée par des investissements publics et privés, ainsi que par une demande intérieure croissante. Cependant, le secteur reste confronté à des défis tels que la dépendance aux importations de certaines matières premières, la nécessité de moderniser les outils de production et d'améliorer la compétitivité des entreprises. [5]

I.1.6. Les filières agroalimentaires en Algérie et les principaux acteurs

Un large éventail d'entreprises agroalimentaires, de toutes tailles et spécialisations, opèrent dans différents secteurs de l'industrie. Certaines filières comptent des centaines de producteurs, tandis que la majeure partie de la production est dominée par quelques grandes entreprises, accompagnées d'un nombre limité de petites structures. [6]

I.1.6.1. Filière céréalière

Première branche de l'industrie agroalimentaire algérienne. Elle a longtemps été dominée par l'OAIC (Office Algérien Interprofessionnel des Céréales), un office d'État qui contrôlait la filière jusqu'à la première transformation.

Cependant, plusieurs entreprises privées importantes opèrent dans ce secteur, notamment **le groupe SIM, le conglomérat BENHAMADI, le groupe MITIDJ, l'entreprise des FRERES ACHOURI, le groupe MOULA, les GRANDS MOULINS DU SUD et le groupe BENAMOR.**

I.1.6.2. Filière laitière

Le secteur laitier est un autre pilier de l'industrie agroalimentaire algérienne. L'ONIL (Office National Interprofessionnel du Lait) joue un rôle important dans l'approvisionnement des laiteries, notamment les 105 laiteries publiques du groupe GIPLAIT.

Parmi les principaux producteurs de yaourts, on peut citer **SOUMAM, DANONE, HODNA, TREFLE et BETOUCHE.** Le marché du fromage est dominé par **BEL ALGERIE (avec ses marques Vache qui rit, Kiri et Picon**), **PROMASIDOR (Berbère) et FALAIT (Chezzy et Tartino). CANDIA, HODNA et SOUMMAM** sont les principaux producteurs de lait UHT.

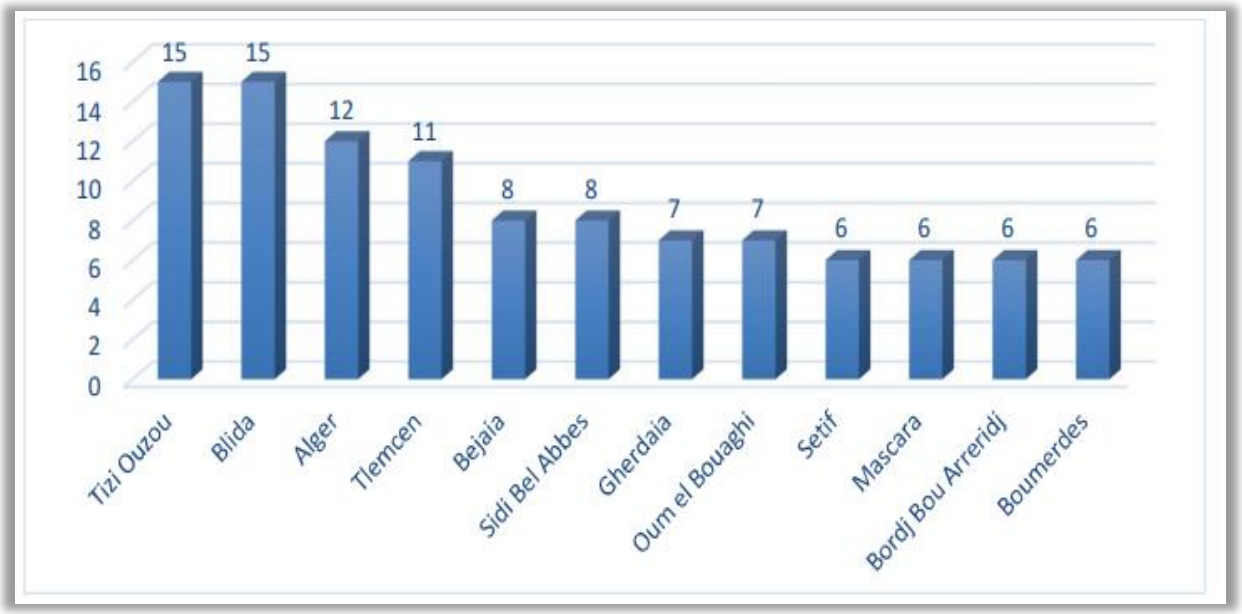


Figure I. 1 : Répartition des laiteries par wilaya

I.1.6.3. Filière huile et corps gras

La production d'huile et de corps gras est un secteur concentré, avec **CEVITAL** qui assure à lui seul 75% de la production nationale. Les autres acteurs importants de ce marché sont **SAFIA, AFIA Algérie et le groupe LABELLE.** En ce qui concerne la margarine, le marché est dominé par **CEVITAL, LABELLE, ALMAG**

MARQUE	NATURE DE L'HUILE
Huile ELIO	80% Soja, 20% Tournesol
Huile FLEURIAL	100% Tournesol
Huile AFIA	95% Soja, 5% Mais
Huile HUILOR	100% Soja
Huile BONAL	100% Soja
Huile LYNOR	90% Soja, 10% Palme
Huile SAFIA	100% Soja
Huile LABELLE	100% Soja

Tableau I. 1 : Les différentes compositions des huiles alimentaires fabriquées en Algérie

I.1.6.4. Filière eaux et boissons non alcooliques

L'Algérie produit 98% des boissons non alcoolisées consommées dans le pays, avec seulement 2% d'importations. Les principales sociétés de production de limonades et de sodas sont **COCA-COLA, HAMOUD BOUALEM, IFRI, ATLAS, PEPSI et CHREA**. Dans le domaine des jus de fruits, on trouve **ROUIBA, N'GAOUS, CANDIA et TOUDJA**. Quant aux eaux minérales, les principaux producteurs sont **CEVITAL (avec sa marque LALA KHEDIDJA), SAIDA, IFRI et NESTLÉ.**

I.1.6.5. La filière des fruits et légumes

L'Algérie produit une grande variété de fruits et légumes, grâce à son climat favorable. Cette filière est importante pour l'alimentation de la population et pour l'exportation.

Secteurs productifs	Entreprises
Filière des céréales	Groupe public ERIAD, SIM, Metidji, Amor Benamor, Moula, Sosemie, Amour, La belle, Chikhoune …
Eaux & Boissons	Castel, Fruital, Hamoud Boualem, NCA Rouiba, Vitajus, Ifri, ABC Pepsi, N'Gaous, Toudja, La belle, Cevital, …
Huiles et corps gras	Cevital, COGB Labelle, Bellat, Almag, Entreprise public Cogral, Mateg, …
Produits laitiers	Groupe public Giplait, Soummam, Danone, Hodna, Candia Tchin Lait, Trèfle …
Conserves fruits et légumes	Conserverie Benamor, conserverie Amour, conserverie SIM, complexe Izdihar, …
Raffinage de sucre	Cevital, Cristal Union, Groupe Berrahal, …

Tableau I. 2 : Les industries les plus importantes par secteur d'activité

I.2. Généralités sur l'huile de Soja

I.2.1. Définition de l'huile de Soja

L'huile de soja est fluide et d'un jaune plus ou moins foncé suivant la nature des graines et les procédés d'extraction. Fraîche, elle a une saveur assez prononcée d'haricot qui s'atténue peu à peu. Elle est riche en acides gras polyinsaturés et notamment en acide gras essentiel alpha-linoléique. Elle est recommandée pour les assaisonnements.

Sa richesse en lécithine la rend précieuse pour la reconstitution des cellules nerveuses et cérébrales, sa bonne digestibilité en fait une bonne remplaçante de l'huile d'olive pour ceux qui ne peuvent la tolérer**.**

I.2.2. Historique

Les archives chinoises datant d'avant 2000 av. J.-C. mentionnent l'utilisation des graines de soja cultivées pour la production d'huile comestible. La littérature chinoise ancienne indique que le soja était largement cultivé et apprécié pour son rôle dans la fabrication de cette huile, bien avant l'existence de registres écrits. Son extraction repose sur plusieurs étapes : les graines sont concassées, ajustées en humidité, chauffées entre 60 et 88 °C, transformées en flocons, puis extraites au solvant avec des hexanes. L'huile obtenue est

ensuite raffinée, mélangée selon les usages et parfois hydrogénée. Elle est commercialisée sous l'appellation « huile végétale » et entre dans la composition de nombreux aliments transformés. Quant aux résidus de production, ils servent principalement d'aliments pour animaux.

Lors de la saison 2002-2003, la production mondiale d'huile de soja atteignait 30,6 millions de tonnes (MT), représentant environ la moitié de l'huile végétale comestible produite dans le monde et 30 % de l'ensemble des graisses et huiles, y compris celles d'origine animale et végétale. En 2018-2019, cette production s'élevait à 57,4 MT, avec pour principaux producteurs la Chine (16,6 MT), les États-Unis (10,9 MT), l'Argentine (8,4 MT), le Brésil (8,2 MT) et l'Union européenne (3,2 MT). [9]

I.2.3. La plante Origine de l'huile de Soja

Le soja [*Glycine max* (L.) Merrill] appartient à la famille des Fabacées, sous-famille des Faboideae, tribu des Phaseoleae, sous tribu des Glycininae, genre Glycine.

La plante est annuelle, herbacée, dressée, et peut atteindre une hauteur de 1,5 m. La gousse est droite ou légèrement courbée, d'une longueur de deux à sept cm. Elle est formée par les deux moitiés du carpelle, soudées le long de leurs bords dorsal et ventral**.**

Figure I. 2 : Aspect général de la plante de soja et le fruit qui est une Gousse qui contient les graines

I.2.4. Composition de l'huile de soja

La principale différence de l'huile de soja par rapport aux autres huiles végétales, c'est qu'elle se situe au niveau de la forme d'insaturation et de la présence d'acide linolénique (C18 :3) en quantité appréciable. Cet acide gras étant très sensible à 1'oxydation, il conviendrait d'éviter au maximum le contact de l'huile avec l'oxygène de l'air. L'huile brute de soja est définie en termes d'humidité, impuretés, teneur en phosphatides, en acides gras libres et aussi en termes de couleur, caractéristiques d'oxydation et traces métalliques (Platon, 1988).

Types d'acides gras	Pourcentage %
Acide Palmitique (C16 : 0)	11,5
Acide Stéarique (C18 : 0)	4,0
Acide Oléique (C18 : 1)	25,0
Acide Linoléique (C18 : 2)	51,5
Acide Linoléique (C18 : 3)	7,5
Acide Arachidique	0,5

Tableau I. 3 : Composition en acide gras de l'huile de soja

I.2.5. Le marché mondial du l'huile de Soja

I.2.5.1. La production mondiale

En 2023/2024, la production mondiale d'huile de soja devrait atteindre environ 62 millions de tonnes, selon les estimations du Département de l'Agriculture des États-Unis (USDA). Les principaux pays producteurs d'huile de soja sont l'Argentine, le Brésil, les États-Unis et la Chine. Ces quatre pays représentent à eux seuls plus de 80 % de la production mondiale.

L'huile de soja est la deuxième huile végétale la plus produite au monde, après l'huile de palme. Elle est principalement utilisée dans l'alimentation humaine, mais également dans l'industrie (biodiesel, encres, etc.).

La production mondiale d'huile de soja est en constante augmentation depuis plusieurs années, en raison de la demande croissante pour cette huile, notamment dans les pays en développement. [10]

I.2.5.2. Les entreprises connues de l'huile en Algérie

En Algérie, plusieurs entreprises sont spécialisées dans la production et la commercialisation de l'huile végétale, notamment l'huile de table.

❖ **CEVITAL**

- L'un des plus grands groupes agroalimentaires en Algérie.
- Produit des huiles végétales sous la marque "La Belle".

❖ **SAFI (GROUPE SIM)**

- Entreprise spécialisée dans les produits agroalimentaires.
- Commercialise l'huile sous la marque "Safi".

❖ **MAZOLA Algérie**

- Filiale de la marque internationale MAZOLA.
- Produit de l'huile de maïs et d'autres huiles végétales.

❖ **AFIA Algérie (GROUPE SAVOLA)**

- Marque d'huile végétale populaire en Algérie.
- Produit notamment de l'huile de tournesol et de maïs.

❖ **LA BELLE (MARQUE de CEVITAL)**

L'une des huiles les plus consommées en Algérie.

Ces entreprises dominent le marché algérien avec une large distribution dans les grandes surfaces et les commerces de proximité.

Figure I. 3 : Les huiles en Algérie

I.3. Présentation de l'entreprise

I.3.1. Présentation d'AFIA International Algérie

AFIA INTERNATIONAL ALGERIE est une entreprise de droit algérien et une filiale du groupe SAVOLA, un leader mondial dans le secteur des huiles de table. Située dans la zone industrielle de Hassi Ameur, dans la wilaya d'Oran, l'entreprise dispose d'une usine ultramoderne équipée des dernières technologies, avec une capacité importante de raffinage et de conditionnement, tirant parti de l'expertise et du savoir-faire du groupe.

Représentant un investissement arabe direct de plus de 4,5 milliards de dinars, AFIA INTERNATIONAL ALGERIE considère l'Algérie comme un marché stratégique dans le cadre du développement du groupe SAVOLA. Depuis son implantation en Algérie en octobre 2008, l'entreprise a généré environ 1 000 emplois, dont 400 directs. Elle emploie exclusivement des Algériens, avec une moyenne d'âge de 30 ans, et a mis en place un programme de formation intensif aussi bien en Algérie qu'à l'international. À ce jour, ses employés ont cumulé plus de 4 500 jours de formation.

AFIA se distingue par une culture d'entreprise forte, une approche concurrentielle axée sur la performance et la pérennité, ainsi qu'une vision à long terme visant le leadership sur le marché algérien du secteur agroalimentaire. L'entreprise favorise également un management multiculturel et une communication ouverte à la diversité. [11]

Figure I. 4 : AFIA huile de table

I.3.2. Présentation du groupe SAVOLA :

SAVOLA est une entreprise familiale appartenant à la famille FAQIEH, fondée en 1979 avec un capital de 40 millions de riyals saoudiens et comptant 200 employés. Aujourd'hui, elle figure parmi les 10 plus grandes entreprises d'Arabie saoudite. Initialement spécialisée dans la production d'huile de table, l'entreprise a progressivement diversifié ses activités en intégrant l'emballage ainsi que d'autres secteurs tels que le sucre, les pommes de terre et l'investissement foncier.

Actuellement, le groupe SAVOLA est l'un des acteurs industriels majeurs du Royaume d'Arabie saoudite. Ses principales filiales se concentrent sur la fourniture de sucre, de produits laitiers frais, d'huiles alimentaires et d'ingrédients pour les chaînes de restauration rapide en Arabie saoudite, au Moyen-Orient et en Afrique du Nord. Par ailleurs, SAVOLA détient la plus grande chaîne de distribution alimentaire du Moyen-Orient, avec les supermarchés Panda et Aziza.

En plus de ses activités dans l'agroalimentaire, SAVOLA est également un investisseur majeur dans l'immobilier et d'autres industries. Présent dans neuf pays à travers des sites de production et/ou des hypermarchés, le groupe commercialise ses produits dans environ 40 pays.

Figure I. 5 : GROUPE SAVOLA

I.3.3. Historique de l'entreprise

AFIA International Algérie a été créée en janvier 2006. Dès le mois de mai 2006, l'entreprise a fait l'acquisition d'un terrain pour y construire son usine. L'étude technique du projet a été finalisée en décembre 2006, et en mars 2007, la construction et l'installation de l'usine ont été lancées. Il est important de noter que ce projet ambitieux a été mené à bien par une équipe de moins de 10 personnes, mais possédant une expertise variée. L'usine, à la pointe de la technologie et entièrement automatisée, a été mise en service en août 2008. Finalement, en octobre 2008, la première bouteille d'huile AFIA a été commercialisée sur le marché algérien, marquant ainsi le début d'une nouvelle aventure entrepreneuriale. [11]

I.3.4. L'activité d'entreprise

AFIA International Algérie mène actuellement plusieurs activités, notamment :

- L'importation d'huile brute et de matières premières.
- Le raffinage des huiles alimentaires, principalement l'huile de soja et l'huile de maïs.
- La commercialisation d'huiles raffinées, conditionnées ou en vrac, destinées aux industriels.
- L'exportation d'huiles conditionnées.

L'entreprise propose une gamme de produits distribuée à travers un réseau de distributeurs, grossistes et grossistes privilégiés. [11]

- **AFIA** (Huile de table 100 % végétale mélange de soja et de maïs, Acide citrique) disponible en palettes de :

FORMAT	Nombre de fardeaux	Nombre de bouteilles par fardeau
Format 1L	84	10
Format 2L	68	06
Format 5L	96	02

Tableau I. 4 : Types de palettes AFIA

- **OLEOR** (Huile de table 100% végétale de soja & Acide citrique) existe en palettes de :

FORMAT	Nombre de fardeaux	Nombre de bouteilles par fardeau
Format 1L	85	10
Format 2L	80	06
Format 5L	96	02

Tableau I. 5 : Types de palettes OLEOR.

I.3.5. Les sources d'énergies

La société utilise pour son fonctionnement différentes sources d'énergie comme :

Energie électrique

- 03 transformateurs (chaque transformateur a une puissance de 2000KVa)
- 01 groupe électrogène fixe pour l'éclairage d'une puissance de 800KVa

Gaz

- La station gaz appartient à SONELGAZ, située à l'intérieur du périmètre du site d'un débit de 04 bars

Eau

- Alimentation en eau à partir du réseau SEOR et d'un puits Réserve eau incendie de capacité de 350 m^3.

Chaudière

- L'usine dispose de deux chaudières fonctionnant au gaz naturel pour la production de la vapeur d'eau (chaque chaudière a une puissance de 6977KVa.

I.3.6. L'organigramme de l'entreprise

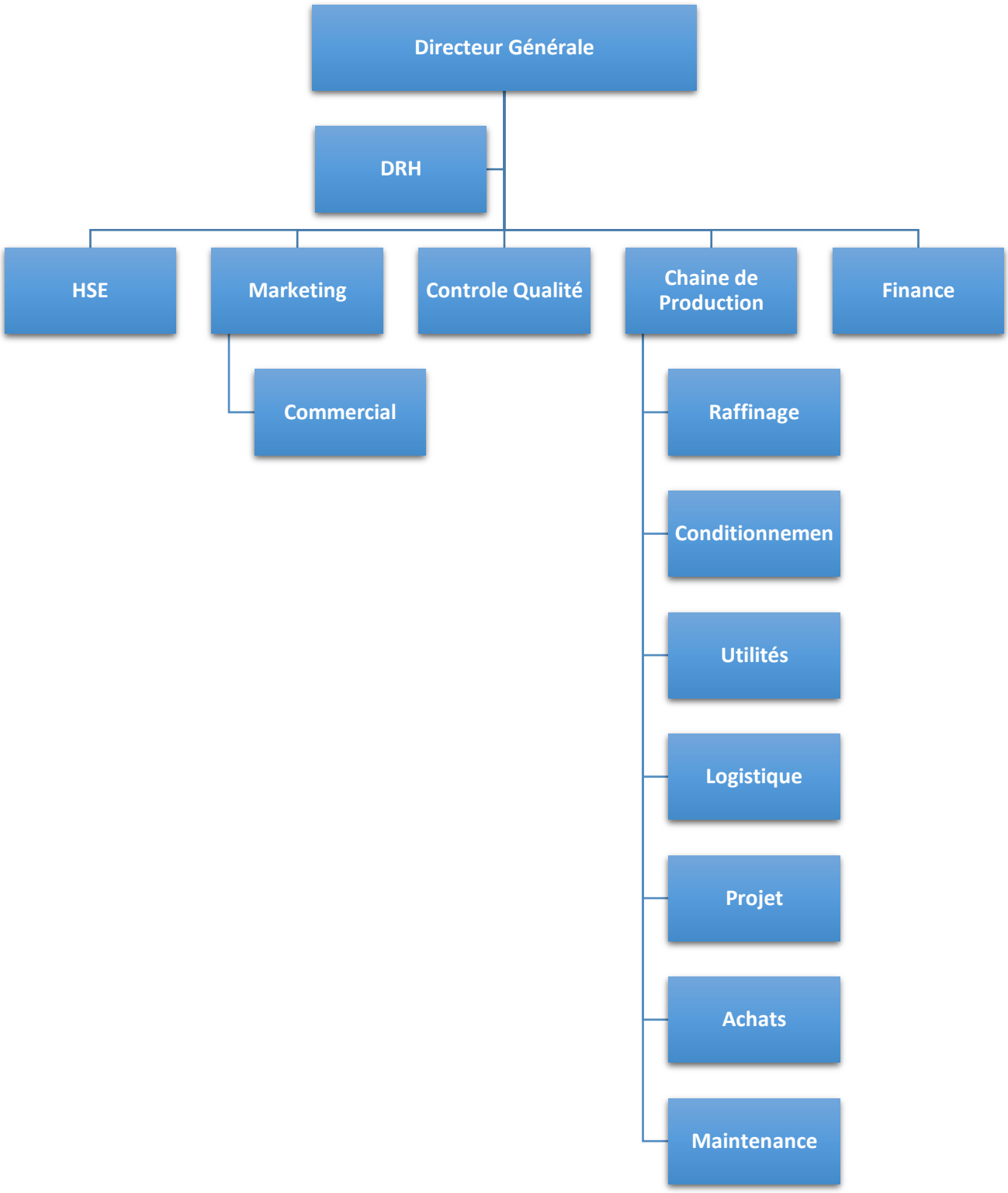


Schéma I. 1 : L'organigramme de l'entreprise

I.3.7. Processus de production

AFIA International Algeria considère la qualité comme un objectif permanent et prioritaire aussi bien pour les besoins et les intérêts de la société que pour les exigences des clients.

L'usine assure toutes les étapes du processus de production à savoir le stockage des huiles brutes, raffinage, contrôle qualité et packaging.

Les deux ateliers de production principaux sont : raffinerie et packaging.

Nous nous sommes concentrées sur la raffinerie, aussi, nous allons détailler les étapes de cet atelier. [11]

I.3.8. La capacité de production

La capacité de production annuelle d'AFIA INTERNATIONAL ALGERIA est d'environ 40% du marché Algérien. AIA assure la distribution et de ce fait la disponibilité de ses produits sur tout le territoire Algérien. La production d'huile est passée par la mise à disposition sur le marché Algérien.

I.3.9. Les étapes de la production

I.3.9.1. Stockage des huiles brutes

La matière première est importée de l'étranger et stockée dans des grands bacs sous forme d'huile brute et ce qui converti en huile alimentaire en passent par plusieurs étapes.

Figure I. 6 : Stockage huile brute

I.3.9.2. Raffinage

Les huiles brutes renferment un certain nombre d'impuretés indésirable, responsables du goût et d'odeur désagréables et de leur mauvaise conservation. Le raffinage a pour but d'éliminer les acides gras libres, les produits d'oxydation, les aromes désagréables, les colorants. Autrement dit le raffinage consiste à éliminer les composés nuisibles à la qualité ou à la santé.

I.3.9.2.1. Les étapes de raffinage

Afin d'éliminer les constituants indésirables et d'obtenir des huiles raffinées et

Consommables, les huiles brutes subissent les étapes ci-dessous :

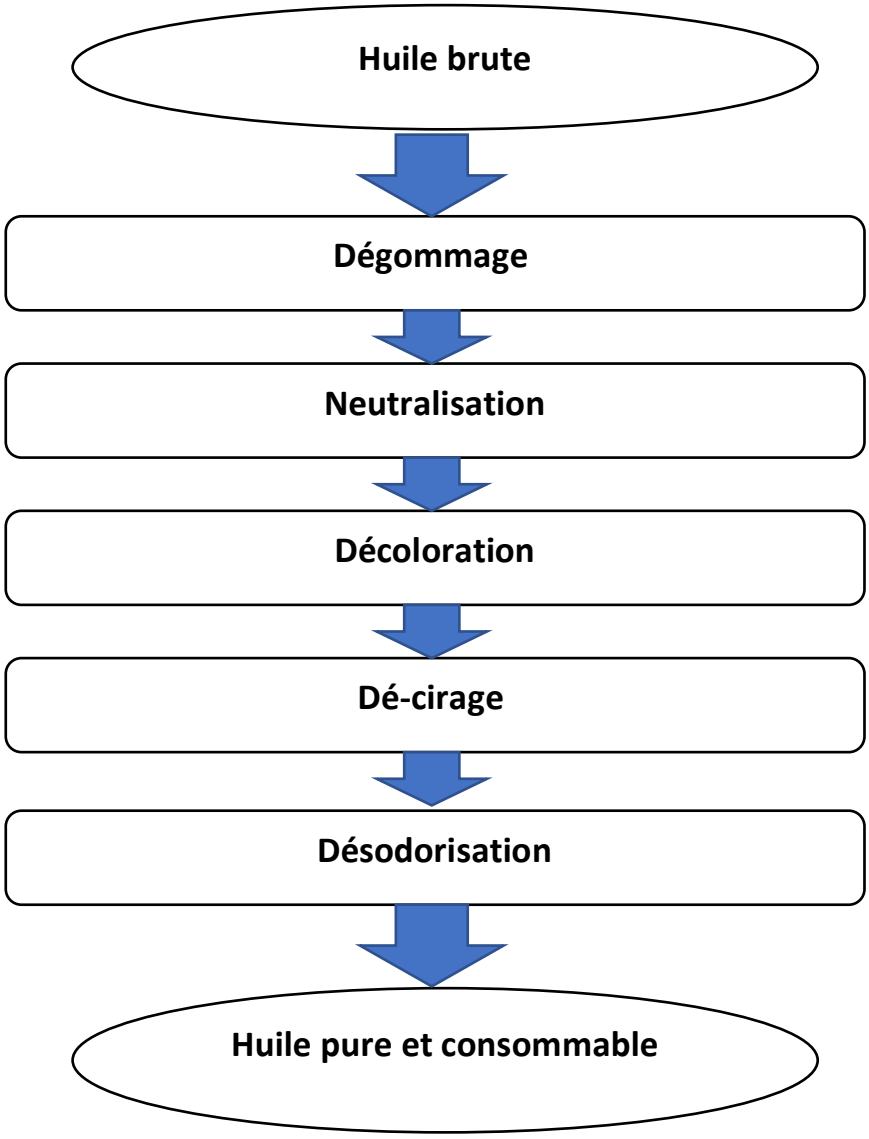


Schéma I. 2 : Schéma fonctionnel des étapes de raffinage

- **Dégommage :** Eliminer les gommes et les phospholipides
- **Neutralisation :** éliminer les acides gras libres. La neutralisation se fait selon les différentes étapes suivantes : (l'acidification, la neutralisation, la séparation, le lavage, et le séchage).
- **Décoloration :** enlever les pigments colorants (la chlorophylle, et les betas carotène) avec une quantité de terre décolorante dosée, à une température supérieure à 85°C et la pression de vide est inférieur à 100 mbar.
- **Dé-cirage :** Eliminer les cires.
- **Désodorisation :** Eliminer toutes les odeurs, (cette étape réalisée par distillation et entrainement des composés volatiles sous un vide poussé (3 à 5 mbar), à une température élevée (230 à 250) et avec injection de vapeur surchauffée pendant 60 à 90 minutes. [12]

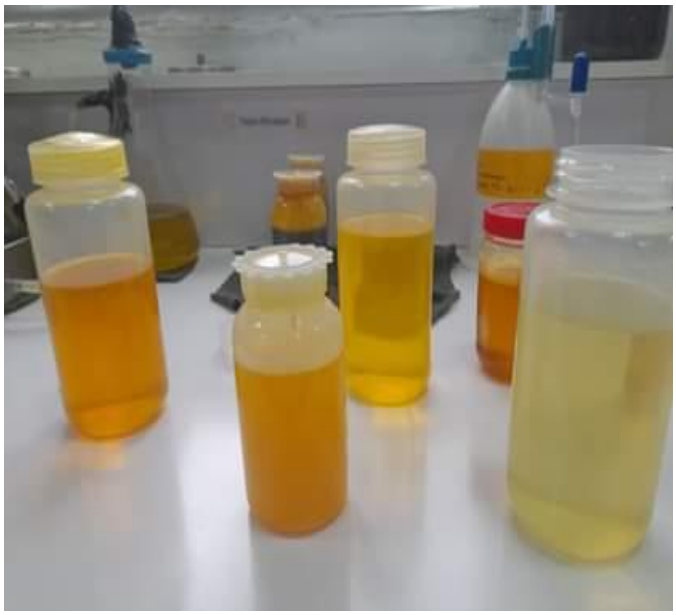
I.3.9.3. Contrôle de la qualité

Après raffinage de l'huile, sa qualité est contrôlée et en prélevant des échantillons et en les calibrant en laboratoire par oxydoréduction à l'aide de NaOH et HCl, et chaque une heure ils contrôlent la qualité d'huile Au laboratoire se fait : les analyses physicochimiques et les analyses dimensionnel [12]

- Vérification de la matière si elle est alimentaire ou pas
- Analyser des acides gras libres (FFA)
- Test de filtration
- Contrôle de qualité des bouteilles et des bouchons

Les appareils suivants sont utilisés dans le laboratoire pour assurer le contrôle de la qualité de l'huile, notamment au niveau de ses propriétés physico-chimiques.

Les appareilles



Spectrocolorimètre

Les balances

Spectrophotomètre

Turbidimètre

Figure I. 7 : Mesure de la qualité

I.3.9.4. Packaging

Cette procédure a pour objet de décrire les tenants et les aboutissants dans le domaine du conditionnement de l'huile raffinée alimentaire, qui fait quoi, quand et comment, elle définit aussi les responsabilités de chaque intervenant dans ce processus et ceci durant chaque étape de ce dernier

- **Soufflage :**

Opération de réalisation de la bouteille à partir de la préforme. Cette opération consiste en 03 étapes :

- Introduction des performes
- Chauffage des performes par des lampes infrarouges
- Etirage et soufflage : après chauffe des préformes ; elles sont emprisonnées dans un moule.

- **Remplissage et capsulage :**

Remplissage des bouteilles suivant le volume demandé et mise en place de bouchon pour scellage, soit par vissage ou bien par pression suivant le type de bouchon.

- **Etiquetage :**

Mise en place d'étiquettes sur les bouteilles remplies, on distingue deux types d'étiquettes :

- Rondes : pour les bouteilles rondes, l'étiquette fait le tour et est collée aux extrémités
- Adhésives (autocollantes) : elles sont appliquées par pression sur les deux faces de la bouteille

- **Codage :**

Mise en place d'un code sur les bouteilles, ce code consiste en :

- Date de fabrication
- Heure de fabrication
- Date d'expiration
- Numéro du lot conditionné

La mise en place du code peut se faire soit par jet d'encre, soit par gravure laser

La mise en place des poignées se fait par la poigneuse automatique.

- **Fardelage :**

Groupage des bouteilles en pack pour faciliter leur transport ainsi que pour l'amélioration de la stabilité des palettes de produit fini

Cette opération consiste par la couverture des packs de bouteilles par un film Thermo-rétractable et puis chauffé dans un four

- **Palettisation :**

Opération de placement des fardeaux de bouteilles sur une palette en bois

I.3.9.5. Logistique

La logistique désigne l'ensemble des activités et des processus qui visent à gérer l'approvisionnement, le stockage, le service au sein d'une organisation. Elle comprend plusieurs étapes notamment :

- Stockage temporaire

  Les produits sont stockés dans des entrepôts contrôlés à température stable pour préserver leur qualité.

- Transport interne

  L'huile est acheminée vers le port d'Oran par des camions-citernes ou des conteneurs réfrigérés si nécessaire.

- Expédition maritime

  Les cargaisons sont exportées via des conteneurs maritimes à partir du port d'Oran.

  L'entreprise veille au respect strict des exigences en matière d'emballage, d'étiquetage, de documentation douanière et d'analyses de qualité demandées par les pays importateurs.

- Livraison au client final

  L'huile est généralement livrée à des distributeurs agréés dans les pays de destination (comme l'Inde, les pays du Golfe, voire certains marchés européens).

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté l'industrie agroalimentaire et donné un aperçu des fondamentaux de l'huile de soja, avant de passer à la présentation du groupe SAVOLA (AFIA international Algérie), notamment son histoire et ses diverses activités.

Le chapitre suivant contiendra une description de la gestion des bacs tampons, ainsi qu'une présentation de la régulation et des équipements utilisés dans le projet.

CHAPITRE II

Etude et caractérisation d'une gestion des bacs tampon de stockage

Introduction

La gestion des bacs de stockage dans l'industrie de l'huile repose sur l'organisation, le suivi et l'entretien des destinés à conserver temporairement le produit avant son utilisation, transformation ou distribution. Ces bacs de stockage, conçus en fonction des caractéristiques des huiles et des exigences de sécurité, permettent de garantir la qualité du produit tout en optimisant les opérations logistiques.

Dans ce chapitre, nous présentons les Généralité sur la gestion des bacs de stockage dans l'industrie de l'huile, en abordant les objectifs des bacs de stockage et les différents types, ainsi que les équipements et accessoires essentiels à leur bon fonctionnement.

II.1. Les bacs de stockage

II.1.1. Définition

Un bac de stockage est un réservoir conçu pour contenir des liquides (l'huile) de manière temporaire ou permanente. Il permet de réguler les flux de production, de garantir la disponibilité du produit et d'assurer la sécurité du stockage.

II.1.2. Objectif des bacs de stockage

Les bacs de stockage visent à optimiser le stockage, la conservation et la distribution des matières premières et des produits finis. Les principaux objectifs poursuivis :

- **Sécurité alimentaire :** Prévenir la contamination des huiles par des agents extérieurs (bactéries, impuretés, etc.) afin de garantir la qualité et la sécurité des aliments préparés.

- **Protection de l'environnement :** Assurer une collecte et un traitement appropriés des huiles usagées pour éviter la pollution des sols et des eaux.

- **Optimisation des ressources :** Faciliter la récupération et la valorisation des huiles usagées (biodiesel, etc.) pour réduire les déchets et promouvoir l'économie circulaire.

- **Conformité réglementaire :** Respecter les normes et les réglementations en vigueur concernant le stockage et l'élimination des huiles alimentaires.

II.1.3. Les différents types de réservoirs

II.1.3.1. Réservoirs en acier inoxydable (inox 304-316)

Les réservoirs en acier inoxydable sont adaptés au stockage d'une large gamme de fluides industriels (eaux, huiles, intrants, effluents, etc.). L'inox 304 est fréquemment utilisé dans le secteur agroalimentaire en raison de sa bonne résistance à la corrosion. Il convient particulièrement au stockage des huiles alimentaires telles que l'huile d'olive, de colza, de tournesol, de sésame, de lin, de chanvre ou de noix. Pour des environnements plus agressifs, notamment salins ou acides, l'inox 316L, enrichi en molybdène, offre une résistance accrue. Il est ainsi recommandé pour le stockage d'huiles sensibles ou en conditions spécifiques.

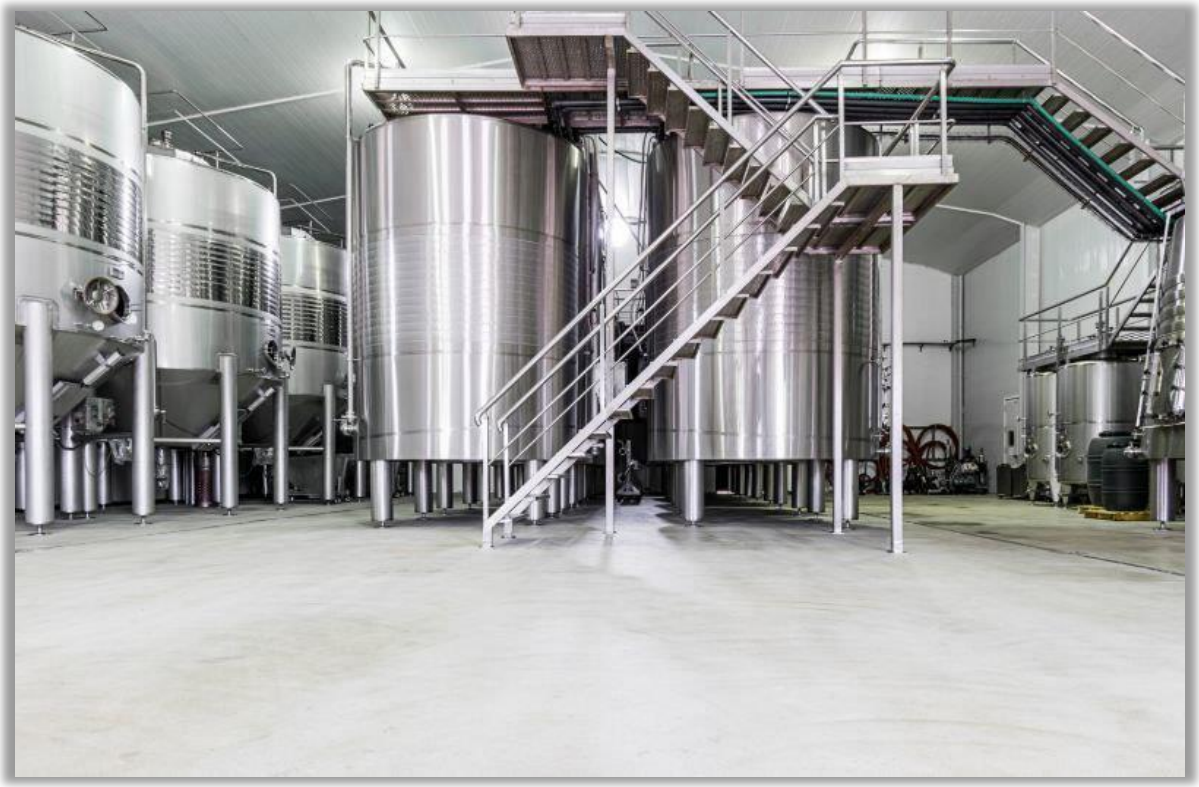


Figure II. 1 : Cuves en inox (acier inoxydable)

II.1.3.2. Réservoirs en acier galvanisé

Les réservoirs en acier galvanisé sont des réservoirs moins coûteux, ils peuvent être utilisés pour certaines huiles végétales brutes ou non raffinées. Cependant, un revêtement intérieur de qualité alimentaire est souvent nécessaire pour éviter la migration du zinc dans l'huile, ce qui pourrait altérer son goût et sa qualité. Leur usage est plus limité que l'inox.

Figure II. 2 : Réservoirs en acier galvanisé

II.1.3.3. Réservoirs en plastique alimentaire (PEHD, PP)

Les réservoirs en plastique alimentaire, fabriqués à partir de matériaux tels que le polyéthylène haute densité (PEHD) et le polypropylène (PP), sont utilisés pour le stockage, le transport et le traitement des produits alimentaires, qu'ils soient liquides ou solides. Ces matériaux sont choisis pour leur conformité aux normes sanitaires, garantissant qu'ils n'altèrent pas les caractéristiques organoleptiques des produits (goût, odeur, couleur). Le PEHD se distingue par sa résistance chimique, sa légèreté et sa bonne résistance aux chocs et aux températures basses, ce qui en fait un excellent choix pour le stockage de l'eau potable, du lait, des jus ou des huiles végétales. Il est également certifié pour le contact alimentaire (certifications CE, FDA). Le PP, quant à lui, est particulièrement adapté aux applications nécessitant des températures plus élevées (jusqu'à 100-120°C) et présente une bonne résistance aux produits gras et aux substances chimiques.

Il est plus rigide que le PEHD et est facilement soudable, permettant une fabrication sur mesure. Ces réservoirs offrent de nombreux avantages dans l'industrie agroalimentaire, tels

qu'une hygiène optimale grâce à leur surface non poreuse, une grande durabilité, et une facilité de nettoyage.

Ils sont également légers, ce qui facilite leur transport et leur installation, tout en étant personnalisables en termes de forme, de volume et d'accessoires comme les vannes et les couvercles. En somme, ces réservoirs en PEHD et PP offrent des solutions efficaces et conformes pour le stockage des produits alimentaires tout en respectant les normes de sécurité alimentaire internationales.

Figure II. 3 : Réservoir en plastique alimentaire (PEHD, PP)

II.1.3.4. Réservoirs en fibre de verre (avec résine alimentaire)

Un réservoir en fibre de verre avec résine alimentaire est un contenant destiné au stockage de liquides ou de solides, fabriqué à partir d'un composite de fibres de verre et de résine thermodurcissable (généralement polyester ou vinylester), certifiée pour un usage alimentaire. Ce type de réservoir est conçu pour être inertiel chimiquement, résistant à la corrosion et compatible avec les normes sanitaires en vigueur pour le contact direct avec des denrées alimentaires (comme l'eau potable, le lait, les jus, les huiles, etc.). Il offre une alternative légère, durable et hygiénique aux matériaux traditionnels comme l'inox ou le béton. Il est largement utilisé dans les secteurs agroalimentaire, vinicole, laitier, ou encore dans le stockage d'eau potable.

Figure II. 4 : Réservoirs en fibre de verre (avec résine alimentaire)

II.1.4. Les formes et les installations de réservoirs

II.1.4.1. Réservoirs verticaux

Ils prennent moins de place au sol et sont adaptés aux grands volumes de stockage. La vidange par gravité est facilitée.

Figure II. 5 : Réservoirs verticaux

II.1.4.2. Réservoirs horizontaux

Ils offrent une meilleure stabilité pour les grandes quantités et facilitent le nettoyage et l'inspection. Ils peuvent être fixes ou montés sur des remorques (citernes) pour le transport.

Figure II. 6 : Réservoirs horizontaux

II.1.4.3. Réservoirs enterrés

Ils permettent de maintenir une température plus stable et de gagner de la place en surface. Ils sont principalement utilisés pour le stockage de grandes quantités et nécessitent une installation et une maintenance spécifiques.

Figure II. 7 : Réservoirs enterrées

II.1.4.4. Réservoirs mobiles (citernes)

Utilisés pour le transport d'huile en vrac, ils sont généralement en acier inoxydable et doivent respecter des normes strictes d'hygiène et de sécurité.

Figure II. 8 : Réservoirs mobiles (citernes)

II.1.5. Classification des réservoirs selon leur fonction et le type de produits stocké

II.1.5.1. Réservoirs de stockage

- Contiennent des matières premières ou produits finis : eau, lait, huile, sirop.
- Capacité de 100 L à plus de 100 000 L.

II.1.5.2. Cuve de fermentation

- Conçues pour les processus biologiques : vin, bière, yaourt.
- Nécessitent une régulation de température, des évents, et parfois un agitateur.

II.1.5.3. Cuve de mélange

- Équipées d'un agitateur pour homogénéiser les ingrédients.
- Utilisées pour les sauces, les jus, les préparations liquides ou pâteuses.

II.1.5.4. Réservoirs tampons

- Stockage temporaire entre deux étapes de production.
- Permettent de réguler les flux dans les chaînes de transformation.

Dans le cadre de notre projet, nous prévoyons d'utiliser principalement des réservoirs tampons. Ces cuves joueront un rôle essentiel dans la gestion des flux de production en assurant un stockage intermédiaire entre différentes étapes du processus. Elles permettront d'optimiser la continuité de la chaîne de transformation, d'éviter les interruptions et de garantir une meilleure régulation des volumes traités.

II.2. Gestion des bacs tampon

II.2.1. Définition

Un bac de stockage tampon est un élément essentiel dans les industries où les flux de production varient. Il sert de réservoir intermédiaire pour stocker temporairement des matériaux, des liquides ou des produits entre différentes étapes d'un processus.

Dans ce contexte, un bac tampon a été employé pour assurer la liaison entre l'unité de raffinage et celle de conditionnement.

II.2.2. Fonctionnement d'un bac tampon

Le fonctionnement principal d'un bac de stockage tampon dans une entreprise de production d'huile repose sur sa capacité à lisser les flux de production.

- **Réception et stockage temporaire**

  Après l'extraction et le raffinage de l'huile, celle-ci est dirigée vers un bac tampon. Ce réservoir sert à stocker temporairement l'huile avant qu'elle ne soit transférée vers l'étape suivante, évitant ainsi les interruptions de production en cas de variations de débit.

- **Régulation du flux de production**

  Le bac tampon compense les écarts entre la production d'huile raffinée et son conditionnement. Si l'unité de raffinage produit plus rapidement que l'unité de conditionnement ne peut traiter, l'excédent est stocké temporairement dans le bac. Inversement, si l'unité de raffinage ralentit, le bac tampon permet de maintenir un approvisionnement continu en huile pour le conditionnement.

- **Homogénéisation et maintien de la qualité**

  Certains bacs tampon sont équipés d'agitateurs pour éviter la séparation des phases ou la décantation des impuretés. Ils peuvent également être chauffés pour maintenir l'huile

à une température optimale, évitant ainsi la solidification des huiles végétales à haute viscosité.

- **Transfert vers l'unité de conditionnement**

  Une fois stabilisée, l'huile est pompée depuis le bac tampon vers l'unité de conditionnement, où elle est filtrée, dosée et emballée dans des contenants destinés à la distribution. Ce transfert est souvent automatisé pour garantir un débit constant et éviter toute contamination.

II.2.3. Les avantages

- **Optimisation de la production :** Évite les arrêts entre les étapes de raffinage et de conditionnement.
- **Amélioration de la qualité :** Permet un stockage contrôlé, évitant la dégradation de l'huile.
- **Flexibilité opérationnelle :** Absorbe les variations de production et assure une continuité du processus.

II.2.4. Equipement et accessoires d'un bac tampon

II.2.4.1. Equipements

- **La robe :** c'est une paroi verticale constituée de tôles cintrées au diamètre du réservoir.
- **La virole :** c'est un anneau constitué de tôles dont la succession donne la robe.
- **La cuvette :** c'est un compartiment construit autour d'un bac ou d'un ensemble de bacs destiné à recevoir le contenu du bac ou de l'ensemble de bacs en cas de fuite accidentelle.
- **Le fond :** c'est la base du réservoir, il est fait également d'un ensemble de tôles.
- **L'assise :** c'est la fondation sur laquelle repose le réservoir.
- **Le toit :** c'est la partie supérieure du réservoir, il est fait d'un assemblage de tôles il peut être fixe ou flottant. [12]

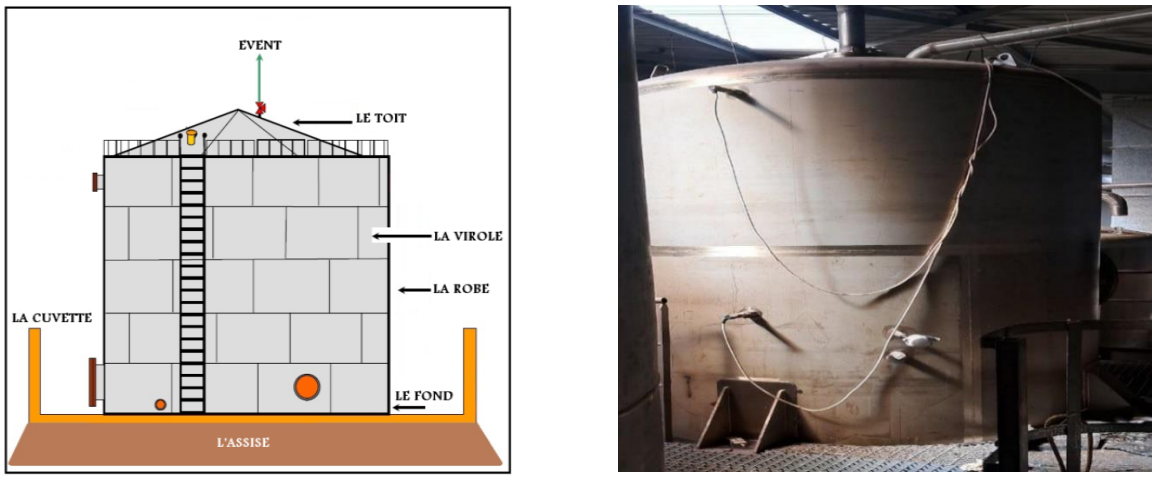


Figure II. 9 : Types d'équipements de la structure des bacs.

II.2.4.2. Accessoires

➢ Accessoires d'accès

- ***Les escaliers :*** de forme hélicoïdale ou verticale, destinés aux opérations de vérification, de contrôle, de réparation et de nettoyage.
- ***L'échelle basculante :*** celle-ci change de position lorsqu'un toit se déplace pour un toit flottant.
- ***Les trous d'homme :*** ceux-ci permettent l'accès à l'intérieur du réservoir des agents d'entretien, de nettoyage et de réparation. Il existe deux types d'accès :
    - Accès au réservoir à partir du toit.
    - Accès à partir de la robe du réservoir.

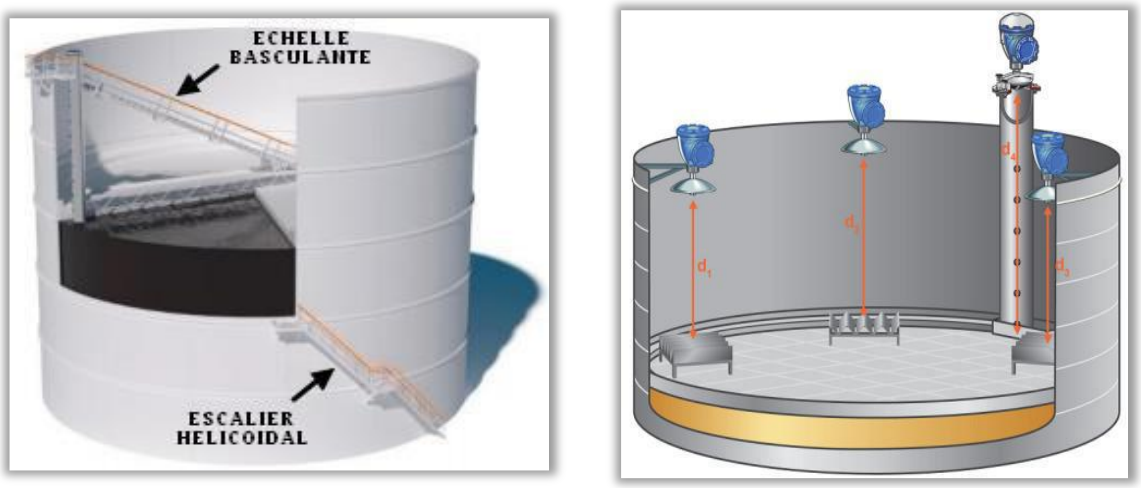


Figure II. 10 : Accessoires d'accès des bacs

➢ Accessoires de contrôle

Dans ce bac, nous avons utilisé ces accessoires dans le processus des bacs tampons afin d'assurer un bon suivi des paramètres comme le niveau, la température, etc…. C'est un outil essentiel qui va m'aider à mieux comprendre et maîtriser le fonctionnement du système.

Figure II. 11 : Accessoires de contrôle

❖ **Le manomètre :** Le manomètre EN 13190 types TG 54 de la marque WIKA, est un dispositif qui mesure et affiche la température de l'huile contenue dans un réservoir de stockage, Il permet de contrôler et de surveiller en temps réel la température de l'huile, Cela est crucial pour maintenir la qualité de l'huile, prévenir les risques d'incendie et optimiser les conditions de stockage. Dans le cas spécifique d'un manomètre de température avec une plage de 25 à 30 C.

Marque : WIKA

Matériau : acier inox

Dimension : 16*10*8 centimètres

Taille de l'écran : 2 pouces

Code article international : 08022474186822

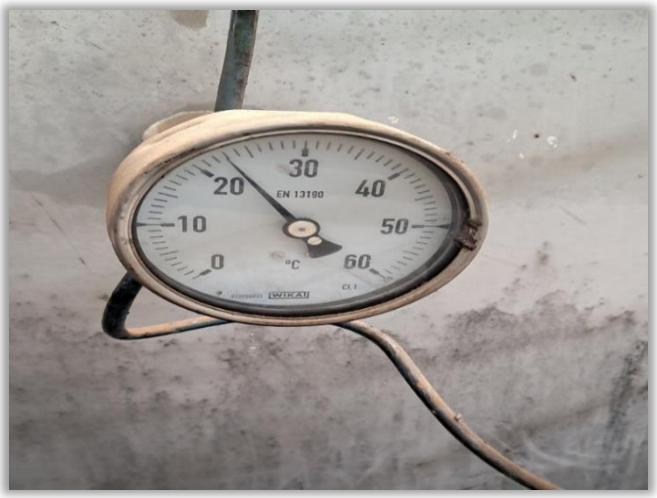


Figure II. 12 : Le manomètre

- **Le capteur de température (PT100) :** Un capteur PT100 est un type de capteur de température à résistance (RTD) utilisé pour surveiller la température de l'huile stockée dans les bacs.

Le PT100 va envoyer un signal électrique, qui sera traduit en une valeur de température, affichée sur un cadran, ou envoyée à un système de contrôle.

Matériau : acier inox

Tète de raccordement : type B

Dimension : 6*350 mm

Température d'utilisation : 0+60 C

La sortie : 4-20 mA

Mod : SPTCO635—60

Figure II. 13 : PT100

- **Le détecteur de niveau :** Le VEGASWING 51 est un détecteur de niveau dans un bac de stockage d'huile est un dispositif conçu pour surveiller et signaler le niveau de l'huile à l'intérieur du réservoir (haut, bas ou intermédiaire) et d'envoyer un signal d'alerte, Son rôle principal est d'assurer un contrôle précis du niveau, prévenant ainsi les débordements, les pénuries et d'autres problèmes opérationnels.

Détecteur de niveau d'alerte Fluides : liquides
Sortie : PNP/3 fils
Raccord processus : G 3/4 (316)
Densité de fluide : > 0,7 g/cm³
Tension d'alimentation : 9,6...35 V CC
Plage de température processus : -40...100 °C
Plage de pression processus : -1...64 bar
Matériau du boîtier : acier inoxydable (316L)
Indice de protection : IP65
Raccordement : connecteur à vanne (ISO4400)

Figure II. 14 : Détecteur de niveau

- **Electrovanne TOR :** Dans un système de contrôle de processus, une électrovanne TOR (Tout ou Rien) est un dispositif qui permet d'interrompre ou d'autoriser le passage d'un fluide (liquide ou gaz) dans un circuit.
  L'électrovanne est activée par un signal électrique qui alimente une bobine électromagnétique (solénoïde). Lorsque cette bobine est sous tension, elle génère un champ magnétique qui déplace un noyau mobile, provoquant ainsi l'ouverture ou la fermeture de

l'orifice de passage du fluide. L'électrovanne fonctionne donc en mode binaire : ouverte ou fermée.

L'électrovanne est commandée électriquement et son action est instantanée. Elle peut être alimentée en courant continu (CC) ou alternatif (CA) et fonctionne généralement à basse tension (12V, 24V) ou à tension secteur (110V, 220V).

Un contrôleur de pression, de niveau, de température ou de débit peut envoyer un signal électrique pour activer l'électrovanne. Lorsque le signal est coupé, le ressort de rappel ramène automatiquement le noyau à sa position initiale, fermant ainsi le passage du fluide.

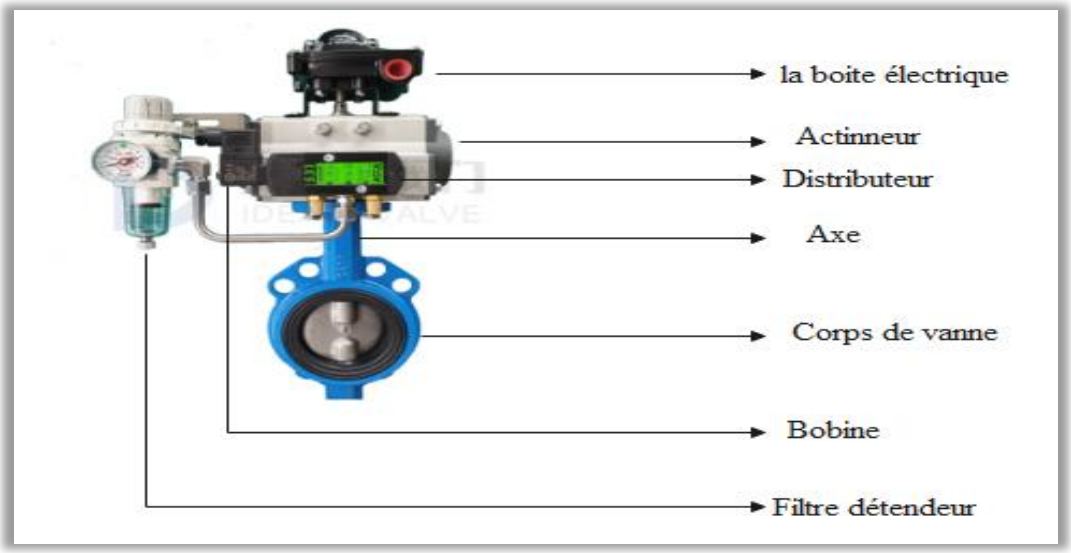


Figure II. 15 : La composition d'une vanne TOR

- **Le rôle de la vanne TOR**
  - Maintien du niveau d'huile
  - Gestion des flux
  - Automatisation du processus

Conclusion

Dans ce deuxième chapitre, nous avons réalisé une étude détaillée sur la gestion des bacs tampons, en analysant les différents types de réservoirs, leur fonctionnement ainsi que les équipements associés.

Le chapitre suivant, nous approfondirons l'aspect automatisation de la gestion des bacs tampons, en modélisant leur fonctionnement et en explorant les solutions de pilotage programmables pour optimiser leur contrôle.

CHAPITRE III

Généralité sur l'automatisme

Introduction

Ce chapitre est dédié à l'automatisation industrielle, un domaine essentiel en matière d'automatisme industriel. Nous étudierons les systèmes automatisés, les automates programmables industriels, l'équipement employé ainsi que le logiciel TIA Portal proposé par Siemens. En outre, nous expliquerons les phases de mise en place du projet, l'interface utilisateur et la communication industrielle.

III.1. Système automatisé

III.1.1. Définition

Un système automatisé, également appelé système automatique, est un ensemble d'éléments interconnectés (machines, capteurs, actionneurs, contrôleurs) qui fonctionnent ensemble de manière coordonnée pour réaliser une tâche ou un processus industriel sans intervention humaine directe, une fois le système initialement configuré.

III.1.2. Objectifs de l'automatisation

III.1.2.1. Objectifs visant le personnel

- Améliorer les conditions de travail en éliminant les tâches les plus pénibles.
- Accroître la sécurité pour le personnel.

III.1.2.2. Objectifs visant le produit

- Améliorer la faisabilité du produit.
- Assurer la qualité conforme aux spécifications.
- Accroître la fiabilité du produit sur le long terme.

III.1.2.3. Objectifs visant l'entreprise

- Améliorer la compétitivité en réduisant les coûts de production.
- Accroître la productivité de l'entreprise.
- Améliorer la qualité de la production.
- Renforcer la capacité de contrôle, de gestion et de planification de l'entreprise. [1]

III.1.3. Structure d'un système automatisé

Tout système automatisé est composé d'une partie commande (PC) et d'une partie opérative (PO). Pour faire fonctionner le système, l'opérateur doit donner des consignes à la partie commande (PC), qui va les traduire en ordres exécutés par la partie opérative (PO). Une fois les ordres exécutés, la partie opérative (PO) signale à la partie commande (PC) que le travail a été accompli. Enfin, la partie commande (PC) signale à l'opérateur que le travail a été réalisé avec succès.

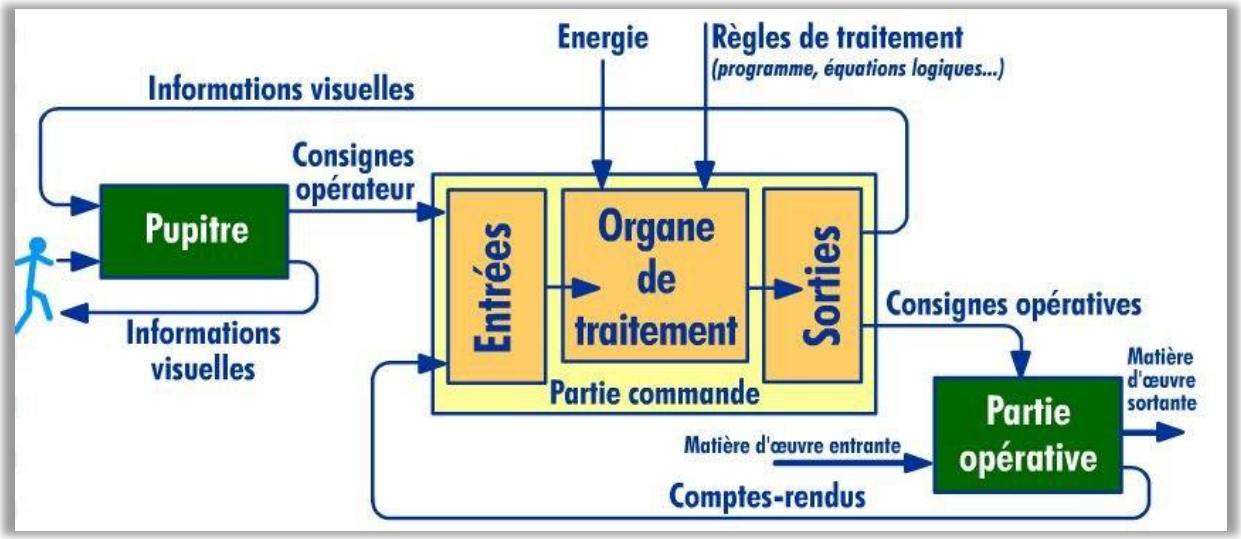


Figure III. 1: Structure d'un système automatisé

III.1.4. Les parties d'un système automatisé

III.1.4.1. La partie opérative (PO)

La partie opérative (PO) du système est la composante visible qui comprend les éléments mécaniques du mécanisme. Elle comprend :

- **Pré-actionneurs :** Ce sont des dispositifs tels que les distributeurs et les contacteurs, qui reçoivent des ordres de la partie commande.

- **Actionneurs :** Il s'agit de vérins-moteurs qui ont pour rôle d'exécuter les ordres reçus. Ils convertissent l'énergie pneumatique (air comprimé), hydraulique (huile sous pression) ou électrique en énergie mécanique. Ils existent sous différentes formes, notamment :
  Moteurs : hydrauliques, pneumatiques, électriques.
  Vérins : linéaires (à une ou deux tiges), rotatifs, sans tige.

- **Capteurs :** Ce sont des dispositifs qui fournissent des informations à la partie commande sur l'exécution du travail. Ils se présentent sous différents types, tels que :
  Capteurs mécaniques, pneumatiques ou électriques.
  Capteurs magnétiques montés sur les vérins.
  Capteurs pneumatiques basés sur la chute de pression.

Dans un système automatisé de production, ce secteur de détection représente le service de surveillance et renseignement du mécanisme. Il contrôle, mesure, surveille et informe la PC sur l'évolution du système. [1]

III.1.4.2. La partie commande (PC)

La partie commande d'un système d'automatisme est responsable de la gestion et du contrôle global du système. Elle assure la coordination des différentes étapes du processus automatisé en utilisant les informations reçues des capteurs de la partie opérative (PO) et en envoyant des ordres aux pré-actionneurs de la PO.

La partie commande comprend généralement un dispositif de contrôle centralisé, tel qu'un automate programmable ou un système de contrôle informatisé. Ce dispositif analyse les données des capteurs, prend des décisions en fonction de la logique de contrôle programmée et génère les ordres nécessaires pour activer les pré-actionneurs et assurer le bon déroulement des opérations.

III.1.4.3. La partie relation (PR)

La partie Relation (PR) d'un système dépend de l'ampleur du système et peut varier en termes de complexité et de taille. Elle rassemble les différentes commandes essentielles au bon déroulement du processus, telles que les commandes de démarrage, d'arrêt, d'arrêt d'urgence, de fonctionnement automatique, de cycle/marche, etc.

III.2. Automates Programmables industriels (A.P.I)

III.2.1. Historique

Les API ont été inventées dans les années 1960 pour remplacer les systèmes de contrôle complexes à base de relais électromécaniques utilisés dans l'industrie automobile. Le premier API a été développée par Bedford Associates en 1968 pour General Motors.
Les principales étapes de l'évolution des API :

* **Années 1960** : Apparition des premiers API, conçus pour remplacer les systèmes de contrôle à relais. Ils étaient programmés en langage Ladder (logique câblée).
* **Années 1970** : Développement des microprocesseurs, ce qui a permis d'améliorer les performances et les fonctionnalités des API. Introduction de langages de programmation plus évolués comme le langage Grafcet.
* **Années 1980** : Les API deviennent plus compacts et plus modulaires. Ils sont utilisés dans un large éventail d'applications industrielles.
* **Années 1990** : Les API intègrent de plus en plus de fonctions de communication et de connectivité (Ethernet, Modbus, etc.).
* **Années 2000 et au-delà** : Les API sont de plus en plus puissants et polyvalents. Ils peuvent gérer des applications complexes et sont connectés aux réseaux industriels. [13]

III.2.2. Définition

Un automate programmable industriel (API), également appelé Programmable Logic Controller (PLC) en anglais, est un dispositif électronique programmable utilisé pour automatiser des processus industriels. Il reçoit des données de capteurs (entrées), les traite selon un programme enregistré et envoie des commandes à des actionneurs (sorties) pour contrôler des machines ou des équipements. [13]

III.2.3. Domaines d'emploi des automates

Les automates programmables industriels (API) sont des outils polyvalents largement utilisés dans l'industrie pour automatiser et contrôler divers processus. On les retrouve dans de nombreux secteurs, notamment la fabrication (commande de machines telles que les convoyeurs et les machines d'emballage, chaînes de production dans l'automobile et l'agroalimentaire), la transformation (régulation de processus en métallurgie et chimie) et le bâtiment (contrôle du chauffage, de l'éclairage, de la sécurité et des alarmes). Les API offrent des avantages tels que la fiabilité, la simplicité de mise en œuvre, la flexibilité et la facilité de maintenance, ce qui en fait des outils indispensables pour l'automatisation moderne. [14]

III.2.4. Nature des informations traitées par l'automate

Les données traitées par un Automate Programmable Industriel (API) peuvent être classées en différents types :

- **Tout ou Rien (T.O.R.) ou logique :** ces informations ne peuvent prendre que deux états, généralement représentés par 0 ou 1. Ce type de données est généré par des détecteurs, des boutons poussoirs, etc.

- **Analogique :** ces informations sont continuées et peuvent prendre des valeurs dans une plage spécifique. Il s'agit notamment des données fournies par des capteurs mesurant des grandeurs telles que la pression, la température, etc.

- **Numérique :** ces informations sont encodées sous forme de mots binaires. Il s'agit du type de données générées par un ordinateur ou un module intelligent. [14]

III.2.5. Architecture des A.P.I

III.2.5.1. Aspect extérieur

On distingue deux types d'automates : les automates compacts et les automates modulaires.

- **Automates compacts :** Aussi appelés micro-automates, ils regroupent dans un seul boîtier le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées/sorties. En fonction du modèle et du fabricant, ils peuvent offrir des fonctionnalités supplémentaires comme le comptage rapide ou des entrées/sorties analogiques. Bien qu'ils puissent être étendus, leur capacité d'extension reste limitée. Parmi les exemples les plus connus, on trouve le LOGO de Siemens, le ZELIO de Schneider et le S7-200 de Siemens. Ces automates sont principalement destinés à des applications simples, notamment la commande de petits systèmes automatisés. [14]

Figure III. 2: Automate compact

- **Automates modulaires :** Contrairement aux automates compacts, leurs composants – processeur, alimentation et interfaces d'entrées/sorties – sont séparés sous forme de modules indépendants. Ces modules sont assemblés sur un ou plusieurs racks contenant le "fond de panier", qui assure la communication entre eux via un bus intégré. Grâce à leur puissance de calcul élevée, leur grande capacité de traitement et leur flexibilité, les automates modulaires sont particulièrement adaptés aux systèmes automatisés complexes nécessitant des performances avancées et une adaptation aux exigences spécifiques.

Figure III. 3: Automate modulaire

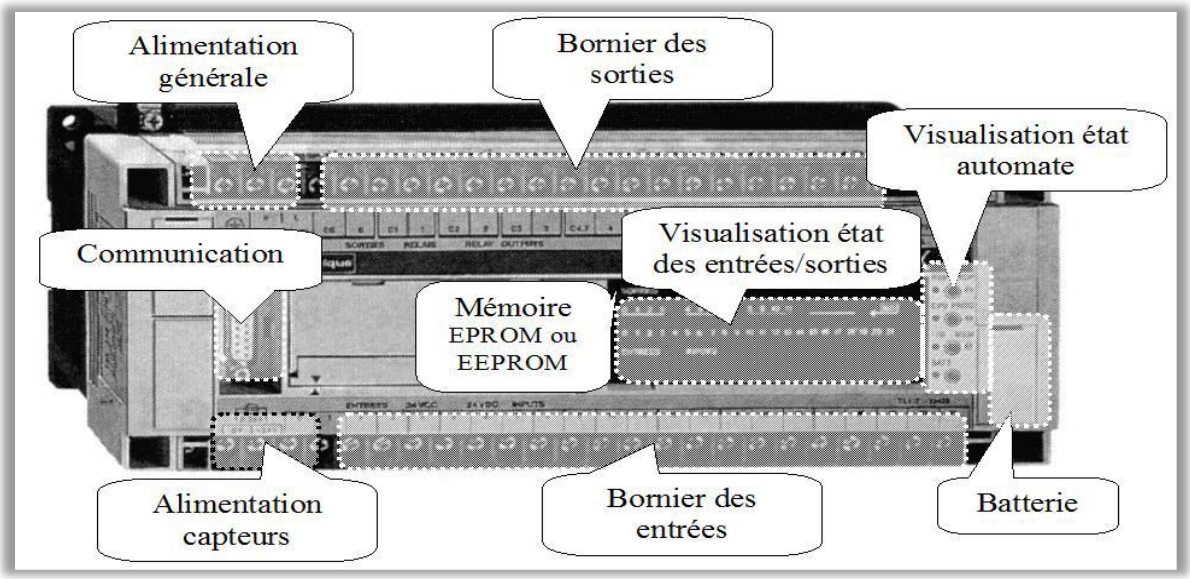


Figure III. 4: Structure générale d'un A.P.I

III.2.5.2. Structure interne de l'automate

Des éléments constitutifs d'un automate programmable industriel (API) :

Module d'alimentation : Assure la distribution d'énergie aux différents modules de l'API.

Unité centrale : Basée sur un microprocesseur, réalise les fonctions logiques, arithmétiques et de traitement numérique (transfert, comptage, temporisation, etc.).

Bus interne : Permet la communication entre tous les blocs de l'API et les éventuelles extensions.

Mémoires : Stockent le système d'exploitation (ROM ou PROM), Stockent le programme utilisateur (EEPROM), Stockent les données système pendant le fonctionnement (RAM), généralement sauvegardées par pile ou batterie, Possibilité d'augmenter la capacité mémoire par ajout de barrettes mémoire (type PCMCIA).

Interfaces d'entrées/sorties :

* Interface d'entrée : Reçoit les informations du Système Automatisé de Production (SAP) ou du pupitre, Met en forme les signaux (filtrage, etc.), Assure l'isolation électrique (optocouplage).

* Interface de sortie : Commande les pré-actionneurs et les éléments de signalisation du SAP, Assure l'isolation électrique.

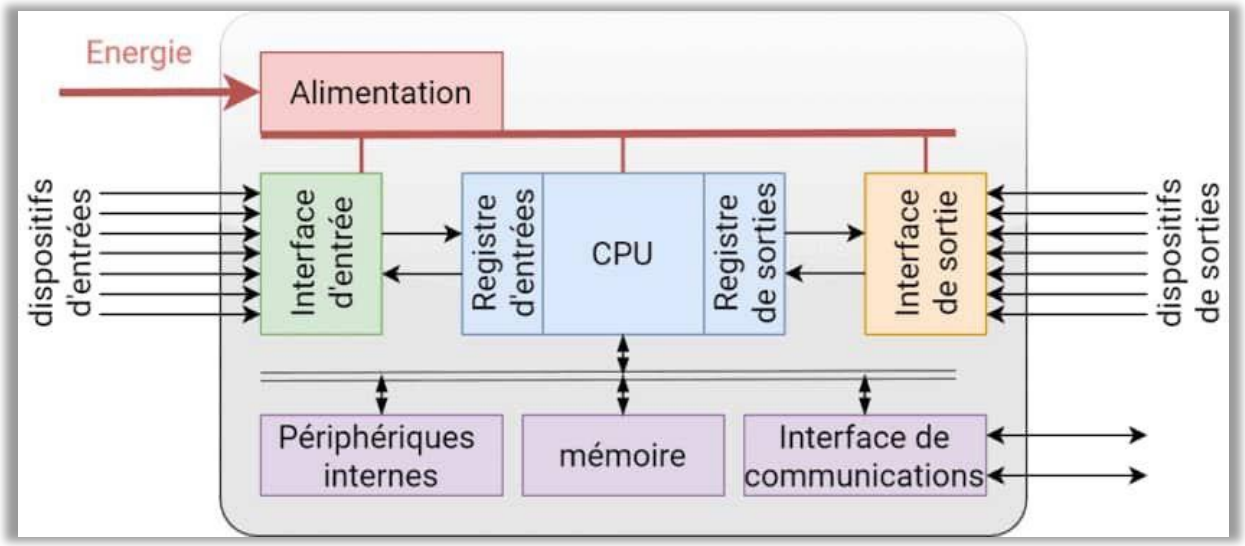


Figure III. 5: Structure interne d'un A.P.I

III.2.6. Principe de fonctionnement d'un A.P.I : Le cycle d'un A.P.I

L'automate programmable contrôle les pré-actionneurs en fonction des informations reçues sur l'état du système et du programme stocké en mémoire. Son fonctionnement est généralement cyclique : le microprocesseur exécute des opérations logiques, de temporisation, de comptage et de calcul, en s'appuyant sur des liaisons "BUS" pour échanger des données sous forme binaire. En mode synchrone, il enregistre les entrées en mémoire au début du cycle, exécute le programme instruction par instruction, puis met à jour les sorties en fin de cycle. Le

temps de réponse à un changement d'entrée varie entre un et deux cycles, d'une durée moyenne de 5 à 15 ms. [15]

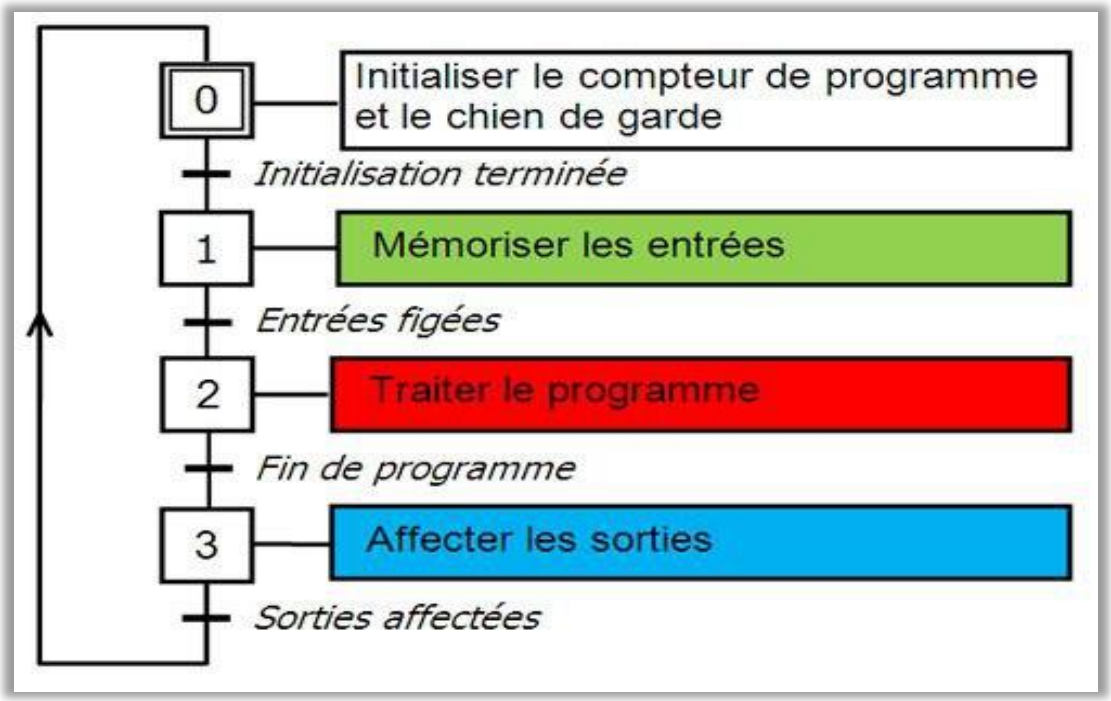


Figure III. 6: Fonctionnement cyclique d'un API

III.2.7. Le langage des A.P.I

Malheureusement, il n'existe pas de standard unique parmi les constructeurs en matière de langage de programmation. Cependant, quatre langages sont parmi les plus couramment utilisés selon la norme CEI 61131-3 :

Le langage LADDER (LD : Ladder Diagram) : Également appelé langage à contact, à relais ou en échelle, il a été conçu par les Américains pour être plus intuitif pour les automaticiens. Il repose sur des symboles graphiques tels que les contacts, relais, bobines et blocs fonctionnels, organisés en réseaux (labels). C'est le langage le plus répandu.

Le langage booléen (FBD : Function Block Diagram) : Basé sur les symboles des logigrammes, ce langage peut être aisément converti en langage machine.

Le langage mnémonique (IL : Instruction List) : De nature littérale, il s'apparente au langage d'assemblage et est largement utilisé en informatique, mais reste peu employé par les automaticiens.

Le langage littéral structuré (ST : Structured Text) : Proche du langage Pascal, il repose sur

des structures conditionnelles telles que : if ... then... else (si... alors... sinon...). Il est également peu utilisé en automatisme. [14]

III.3. Présentation des automates utilisés

III.3.1. L'automate S7-1500 CPU 1515-2PN

La gamme SIMATIC S7-1500 (Figure III.7) est une gamme de contrôleurs pour les applications moyenne et haute de gamme. Il existe un éventail complet de modules pour une adaptation optimisée à la tâche d'automatisation. SIMATIC S7- 1500 est un perfectionnement des systèmes d'automatisation précédents SIMATIC
S7-300 et S7-400 avec de nouvelles performances. Cette nouvelle génération de contrôleurs est caractérisée par :

- Le protocole de communication, PROFINET IO.
- Ecran intégré pour une commande et un diagnostic près de la machine.
- Une haute performance.
- Une haute efficacité.

Il comporte une multitude de fonctions intégrées en standard, comme :

- Le Motion Control**.**
- Les fonctions sécurité, pour une sécurité maximale en production et en développement.
- Les fonctions de diagnostic configurables, permettent de superviser l'état de l'installation. [16]

Figure III. 7: CPU 1515-2PN

Son intégration dans TIA Portal, le logiciel de programmation des contrôleurs de la marque Siemens, permet de concevoir simplement des projets en optimisant les couts de développement.

La configuration matérielle de la station S7-1500 dans TIA Portal de la cellule est illustrée sur la (Figure III. 8).

Figure III. 8: Modules de configuration S7-1500

III.4. Logiciel TIA Portal

III.4.1. Définition

TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) est un puissant logiciel d'ingénierie développé par Siemens pour l'automatisation industrielle. Il offre un environnement de travail unifié pour configurer, programmer et mettre en service l'ensemble des composants d'un système d'automatisation, tels que les automates programmables (PLC), les interfaces homme-machine (IHM), les variateurs de fréquence et les systèmes de sécurité.

III.4.2. Description du logiciel TiaPortal V16

TIA Portal est un environnement d'ingénierie développé par Siemens pour répondre à l'ensemble des besoins en automatisation. Il permet de concevoir et de mettre en œuvre des solutions automatisées grâce à un système d'ingénierie intégré, incluant les logiciels SIMATIC Step7 V16 et SIMATIC WinCC V16.

Ce logiciel intègre de manière transparente les contrôleurs, les entrées/sorties distribuées, les interfaces homme-machine (IHM), les variateurs, la commande de mouvement et la gestion des moteurs, le tout dans un même environnement. Grâce à son interface unifiée, TIA Portal facilite la réalisation des différentes étapes d'un projet, optimisant ainsi le flux de travail en ingénierie.

La version V16, lancée en 2020, est compatible avec les automates programmables SIMATIC S7-1200, S7-1500 et S7-300/400. Elle permet également de programmer certains modèles d'interfaces homme-machine SIMATIC HMI ainsi que d'autres équipements, comme les variateurs de fréquence SIMATIC ET 200. Parmi ses fonctionnalités clés, on retrouve la programmation, la configuration et la mise en service des automates SIMATIC, ainsi que la gestion complète des projets d'automatisation.

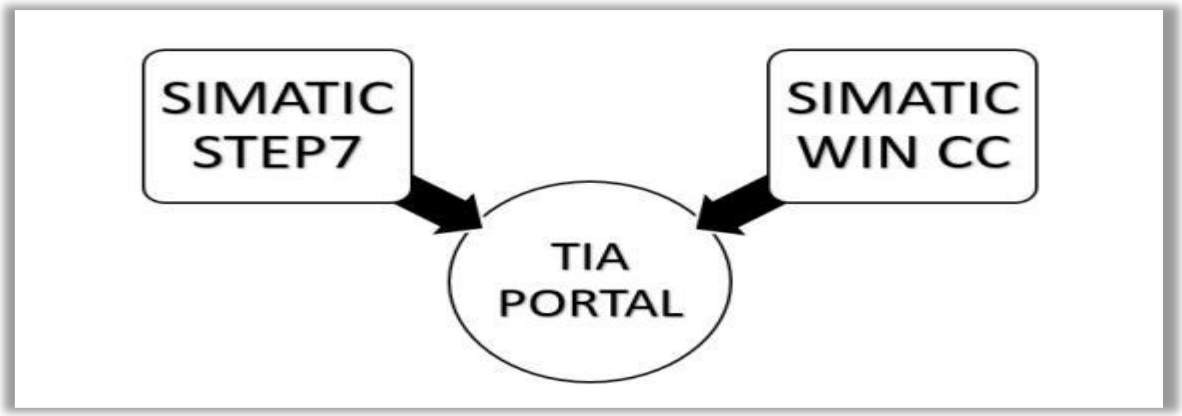


Figure III. 9: Illustration de la composition logicielle de Tia portal

III.4.2.1. SIMATIC STEP 7

SIMATIC STEP 7 est le logiciel intégré au TIA Portal qui permet la configuration, la programmation, les tests et le diagnostic de tous les contrôleurs SIMATIC. Grâce à ses nombreuses fonctionnalités conviviales, SIMATIC STEP 7 améliore significativement la productivité de toutes les opérations d'automatisation, notamment la programmation, la simulation, la mise en service et la maintenance. [17]

III.4.2.2. SIMATIC Win CC

Le Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal), qui intègre SIMATIC Win CC, fait partie d'un nouveau concept d'ingénierie intégrée offrant un environnement cohérent pour la programmation et la configuration de solutions de commande, de visualisation et d'entraînement. Le logiciel utilisé pour toutes les applications IHM (Interface Homme-Machine) dans le TIA Portal est Win CC, qui couvre un large éventail de fonctionnalités, allant des solutions de commande simples avec des panneaux de base aux applications SCADA pour les systèmes multipostes basés sur PC. La gamme de solutions SIMATIC Win CC flexible a ainsi été considérablement étendue par rapport à son prédécesseur. [17]

III.4.3. Les avantages du logiciel

La programmation est simple et rapide grâce aux nouveaux éditeurs de programmation : SCL, CONT, LOG, LIST et GRAPH.

Augmentation d'efficacité grâce aux innovations linguistiques de TEP7 : programmation symbolique unifiée, arithmétique de boites, ajout de blocs pendant l'exécution, et bien plus encore.

Des performances accrues grâce à des fonctions intégrées : simulation avec PLCSIM, télémaintenance avec Télé Service et système de diagnostic cohérent.
Technologie flexible : La fonction de commande de mouvement évolutive et efficace des PLC S7-1500 et S7-1200.

Avec Security Integrated, vous bénéficiez d'une sécurité complète : protection de la propriété intellectuelle, protection contre la copie, protection de l'accès et protection contre la falsification. [4]

III.4.4. Vue du portail et vue du projet

Lors de l'utilisation du portail TIA, l'environnement de travail est divisé en deux types de vue :

- Vue du portail : elle se concentre sur les tâches qui doivent être effectuées et traitées très rapidement.
- Vue du projet : comprend une arborescence avec différents éléments du projet. Les éditeurs requis s'ouvrent en fonction des tâches à effectuer. Les données, les paramètres et les éditeurs peuvent être affichés dans une seule vue.

III.4.4.1. Vue du Portail

Chaque portail permet de traiter une catégorie de tâche (actions). La fenêtre affiche la liste des actions pouvant être réalisées pour la tâche sélectionnée.

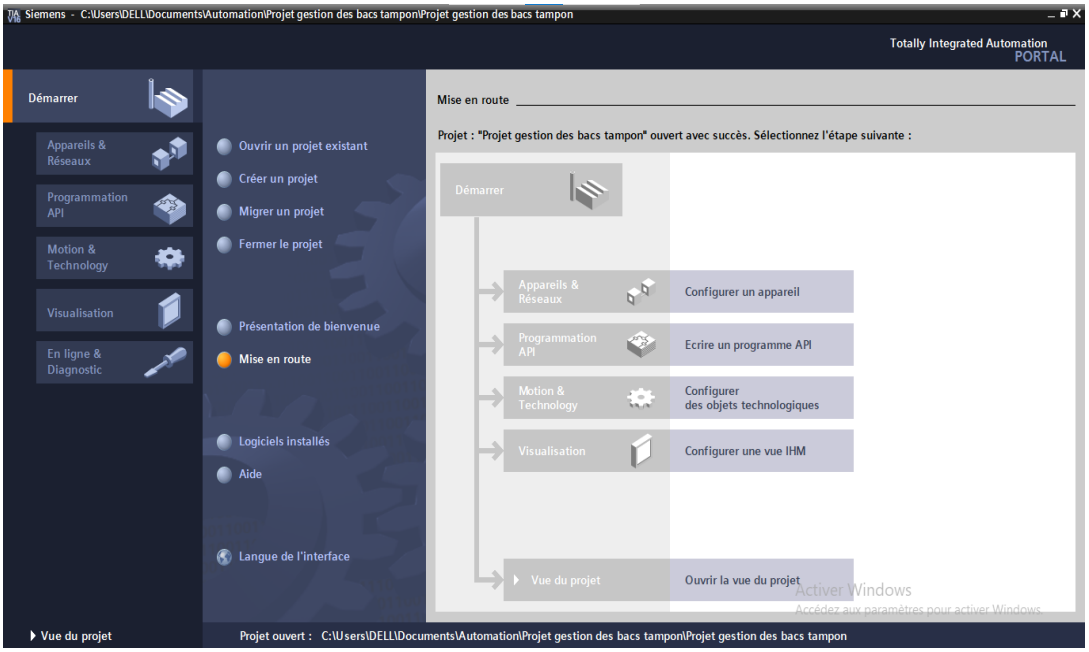


Figure III. 10: Vue du portail

III.4.3.2. Vue du projet

L'élément Projet contient tous les éléments et données nécessaires à la mise en œuvre de la solution d'automatisation requise. La figue suivante montre la vue de projet TIA PORTAL :

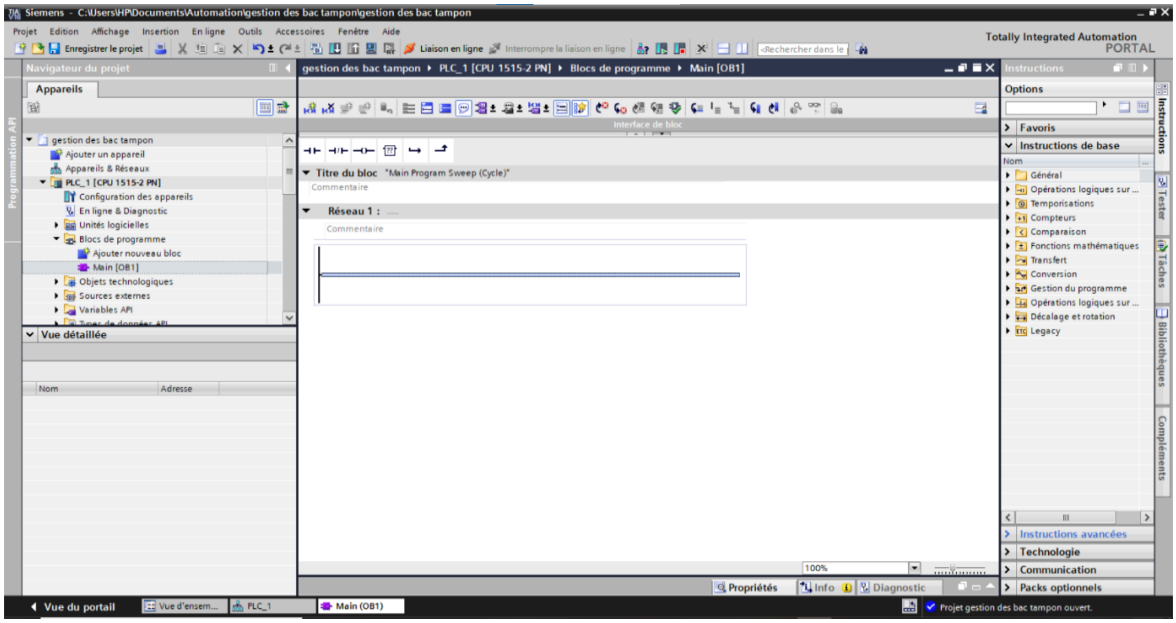


Figure III. 11: Fenêtre de projet

- **La fenêtre de travail :** permet d'afficher les objets sélectionnés dans le projet à traiter. Il peut s'agir de composants matériels, de blocs logiciels, de tables de variables, d'IHM, etc.

- **La fenêtre d'inspection :** permet d'afficher des informations supplémentaires sur un objet spécifique ou sur les actions en cours (propriété de l'équipement spécifié, messages d'erreur lors de la compilation des blocs de programme, etc.).

- **Les onglets de sélection de tâches :** contiennent un contenu qui varie en fonction de l'objet sélectionné (Configuration matérielle → Bibliothèques de composants, Bloc de programme → Instructions de code).

Cet environnement de travail contient une grande quantité de données. Il est possible de masquer ou de minimiser certaines de ces fenêtres lorsqu'elles ne sont pas utilisées. Il est également possible de redimensionner, réorganiser et désancrer les différentes fenêtres.

III.4.5. Création d'un projet et configuration d'une station de travail

III.4.5.1. Création d'un projet

Pour créer un projet dans la vue du portail, il faut sélectionner l'action **« Créer un projet ».** On peut donner un nom au projet, choisir un chemin ou il sera enregistré, indiquer un commentaire ou encore définir l'auteur du projet.
Une fois que ces informations sont entrées, il suffit de cliquer sur le bouton **« créer »**

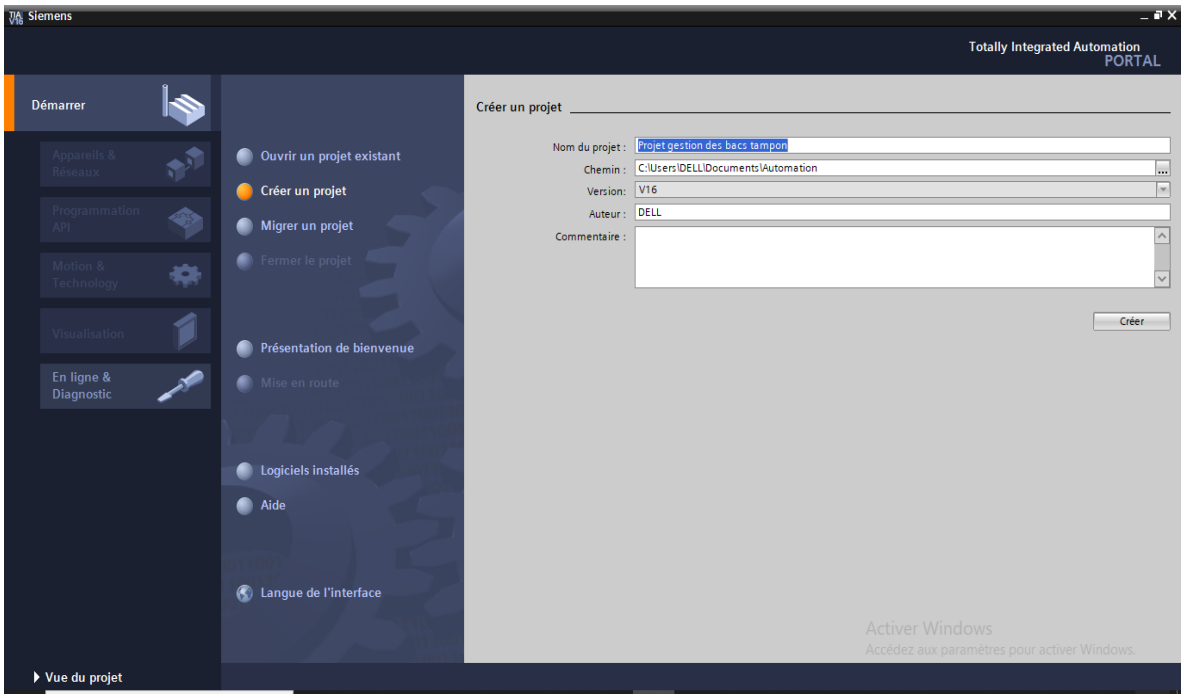


Figure III. 12: Création d'un projet

III.4.5.2. Configuration et paramétrage du matériel

Une fois votre projet crée, on peut configurer la station de travail.
La première étape consiste à définir le matériel existant. Pour cela, on peut passer par la **vue du projet** et cliquer sur **« ajouter un appareil »** dans le navigateur du projet. La liste des éléments que l'on peut ajouter apparait (API, HMI, système PC). On commencera par faire le choix de notre CPU pour ensuite venir ajouter les modules complémentaires (alimentation, E/S TOR ou analogiques, module de communication AS-i, …)

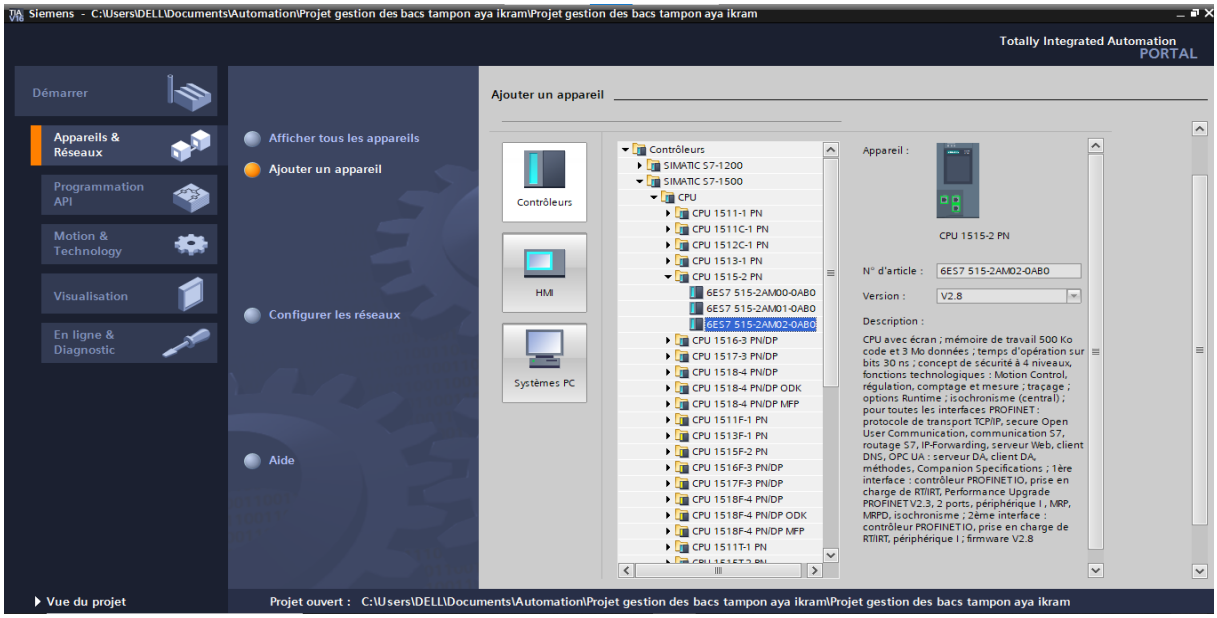


Figure III. 13: Première méthode de configuration et paramétrage du matériel

Des modules complémentaires API peuvent être ajoutés à l'aide du catalogue. Si vous souhaitez ajouter un écran ou une autre API, vous devez utiliser la commande Ajouter un appareil dans le navigateur du projet. Lorsque vous sélectionnez un élément à inclure dans le projet, une description est donnée dans l'onglet Informations. La figure ci-dessous représente la deuxième méthode de la configuration et du paramétrage du matériel :

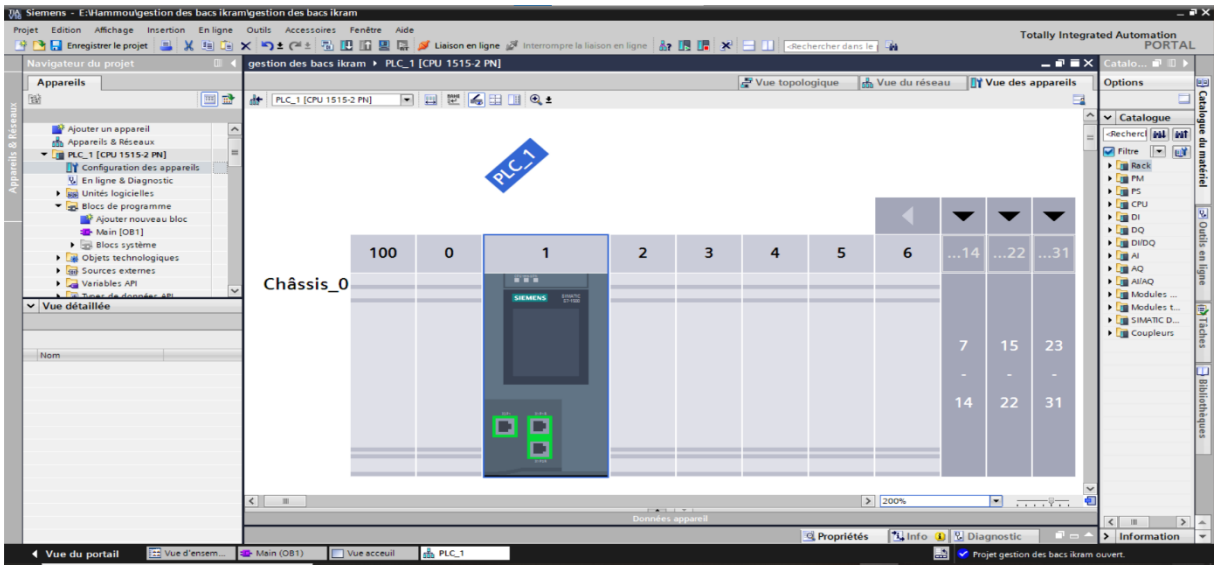


Figure III. 14: Deuxième méthode de configuration et paramétrage du matériel

III.4.5.3. Adressage des E/S

Pour connaitre l'adressage des entrées et sorties présentes dans la configuration matérielle, il faut aller dans **« appareil et réseau »** dans le navigateur du projet. Dans la fenêtre de travail, on doit s'assurer d'être dans l'onglet **« Vue des appareils »** et de sélectionner l'appareil souhaité.

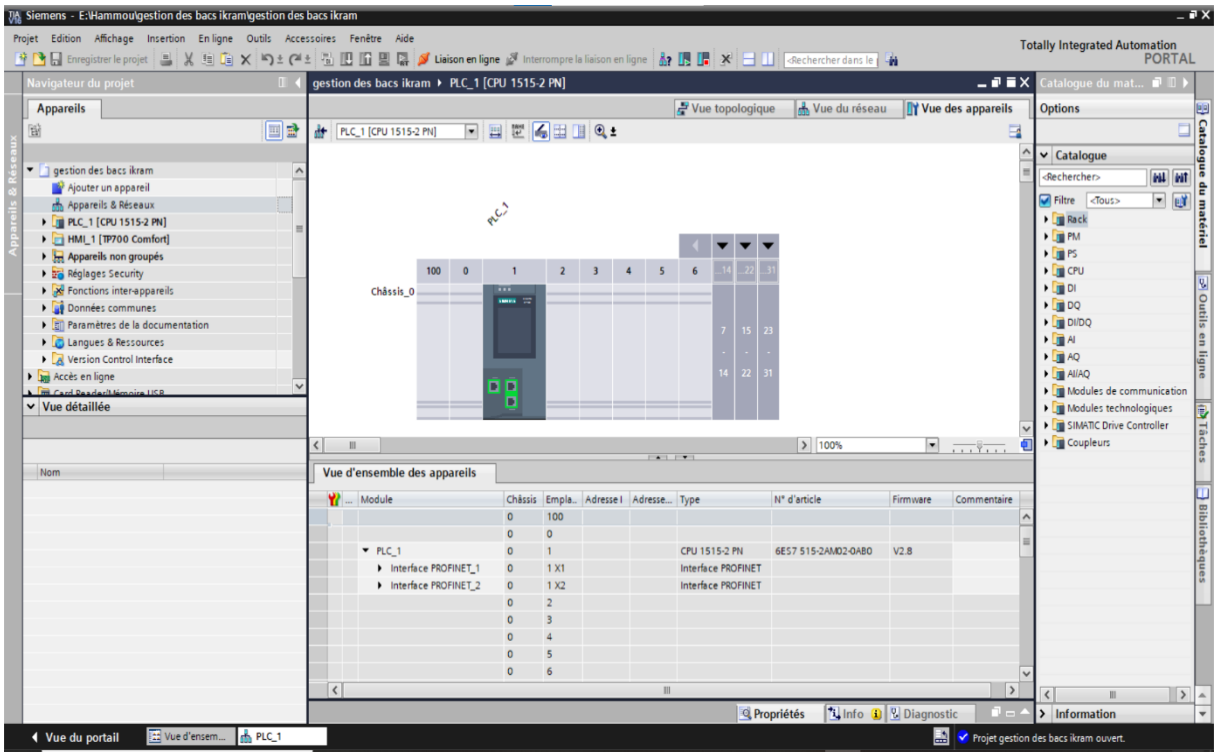


Figure III. 15: Adresses des entrées analogiques

III.4.5.4. Compilation et chargement de la configuration matérielle

Après avoir finalisé la configuration matérielle, il est nécessaire de la compiler et de la charger dans l'automate. Pour cela, utilisez l'icône **« Compiler »** située dans la barre des tâches. Sélectionnez l'API dans le projet, puis cliquez sur cette icône pour lancer la compilation, qui inclut à la fois les aspects matériels et logiciels.

Une autre méthode consiste à effectuer un clic droit sur l'API dans la fenêtre du projet, puis à choisir l'option **« Compiler puis Configuration matérielle ».**

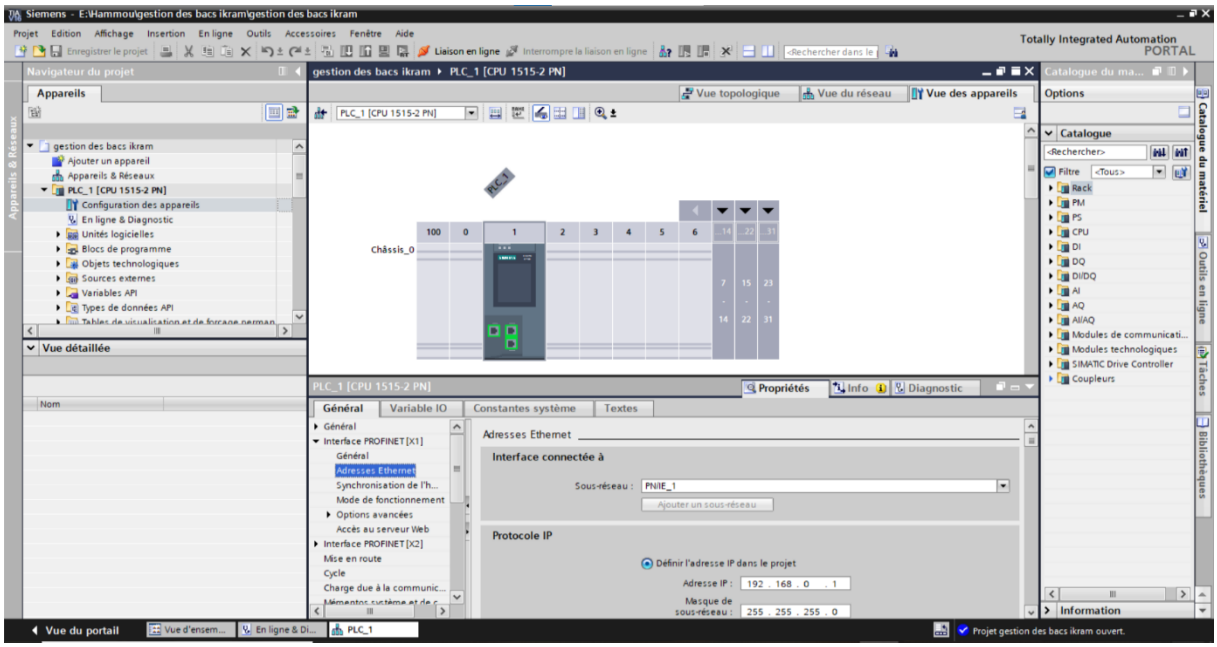


Figure III. 16: Compilation et configuration matérielle

Pour charger la configuration dans l'automate, cliquez sur l'icône « **Charger dans l'appareil** ». Une fenêtre s'ouvrira, vous permettant de sélectionner le mode de connexion approprié (PN/IE, PROFIBUS, MPI). Si vous optez pour le mode PN/IE, assurez-vous que l'API dispose d'une adresse IP.

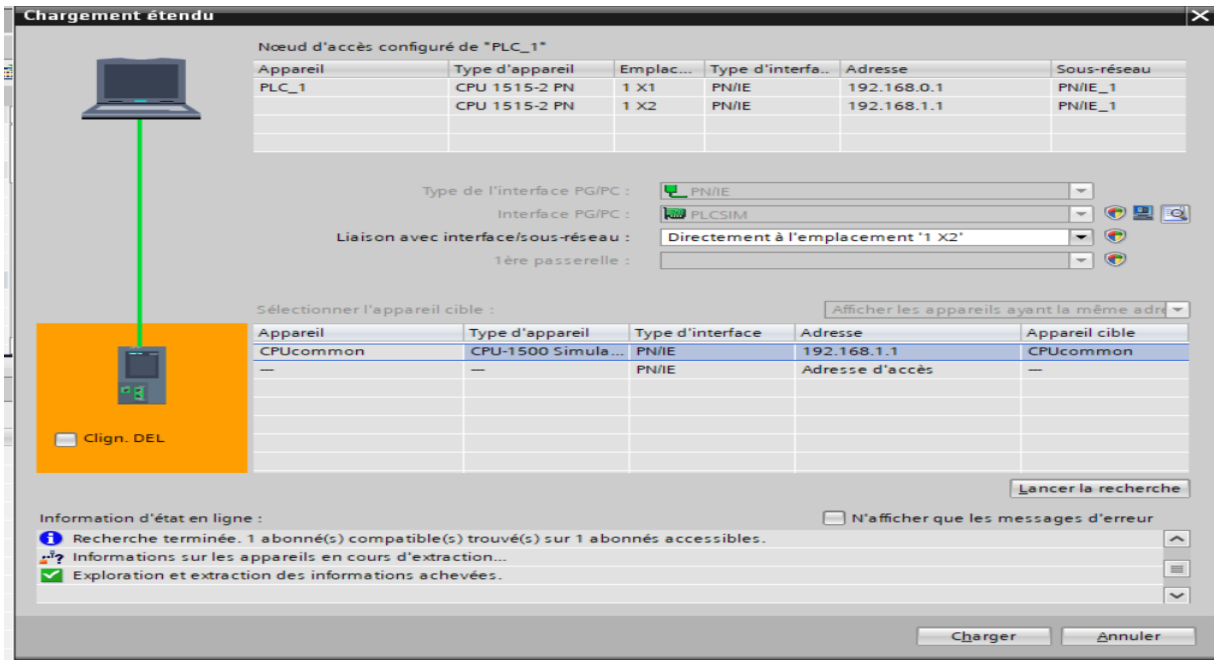


Figure III. 17: Compilation et chargement en mode de connexion PN/IE.

Pour une première connexion ou pour attribuer une adresse IP à la CPU, il est plus simple d'utiliser le mode de connexion MPI et de relier le PC à la CPU via le **« PC Adapter »**. Si un appareil est détecté, il apparaîtra dans la liste en bas de la fenêtre.

Le bouton **« Clign. DEL »** permet d'activer le clignotement d'une LED sur la face avant de l'appareil afin de vérifier que la connexion s'établit avec le bon équipement.

Une fois la configuration terminée, il est possible de la charger dans l'appareil. Lors de cette opération, des avertissements ou confirmations peuvent être requis. En cas d'erreurs, elles seront affichées dans la fenêtre, et le programme ne pourra pas être chargé tant qu'elles ne seront pas corrigées.

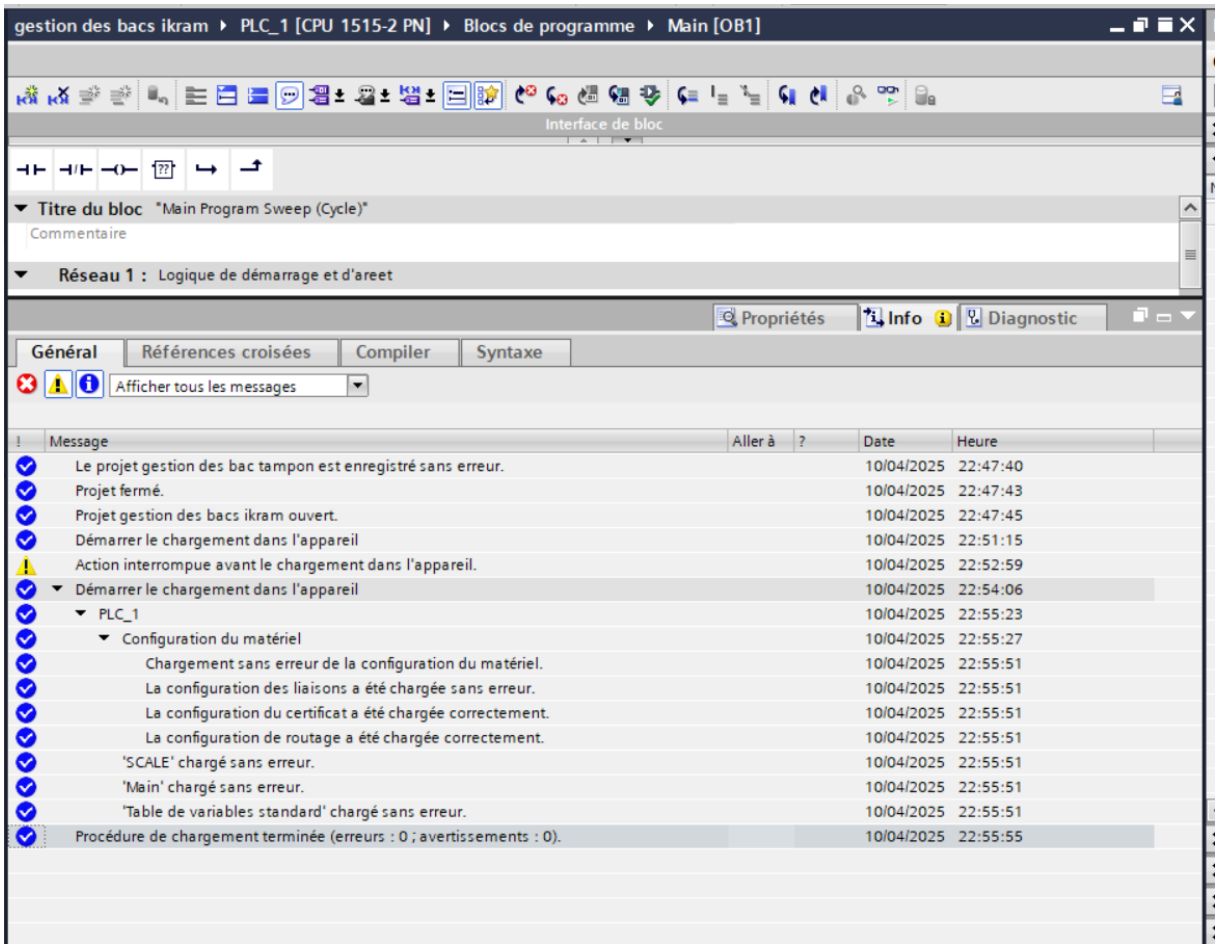


Figure III. 18: Programme chargé et affichages des messages d'avertissements/confirmations

III.4.6. Types de blocs de programme

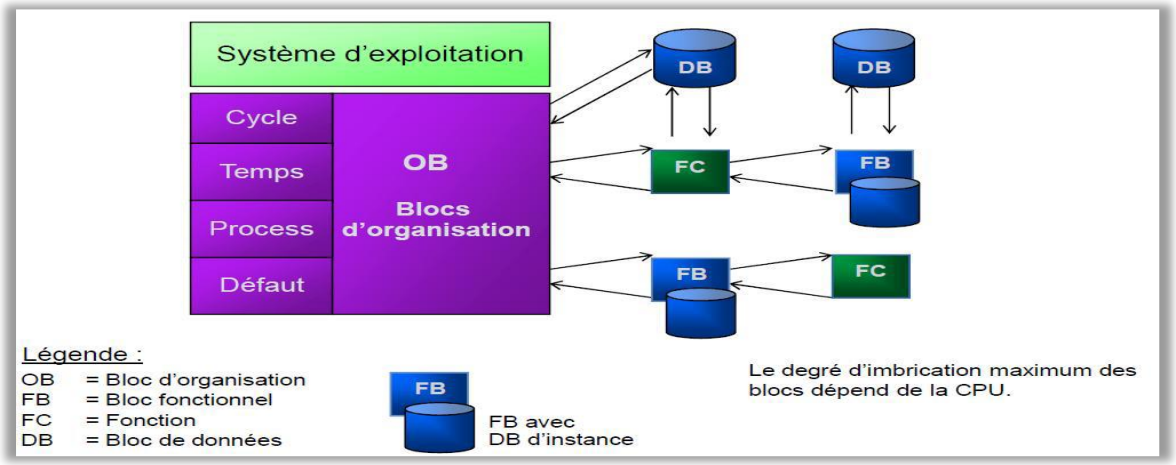
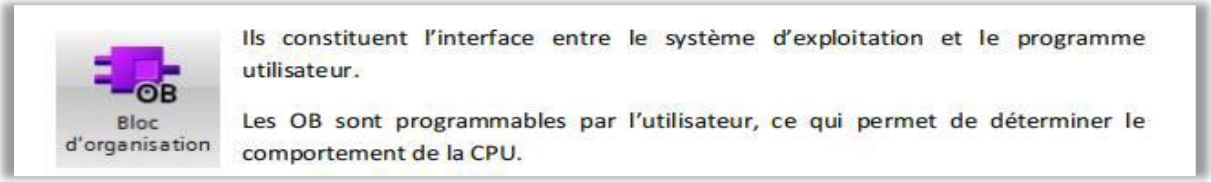


Figure III. 19: Diffèrent types de bloc de programme

L'automate met à disposition différents types de blocs qui contiennent le programme et les données correspondantes. Selon les exigences et la complexité du processus, il est possible de structurer le programme en différents blocs : **OB, FB et FC.**

III.4.6.1. Les blocs d'organisation – OB



Les OB sont sollicités par le système d'exploitation en réponse aux événements suivants :

- Comportement lors du démarrage
- Exécution cyclique du programme
- Exécution déclenchée par des alarmes (qu'elles soient cycliques, liées à un processus, à un diagnostic, etc.)
- Gestion des erreurs

Pour que l'exécution du programme puisse démarrer, le projet doit inclure au moins un OB cyclique, tel que l'OB 1.

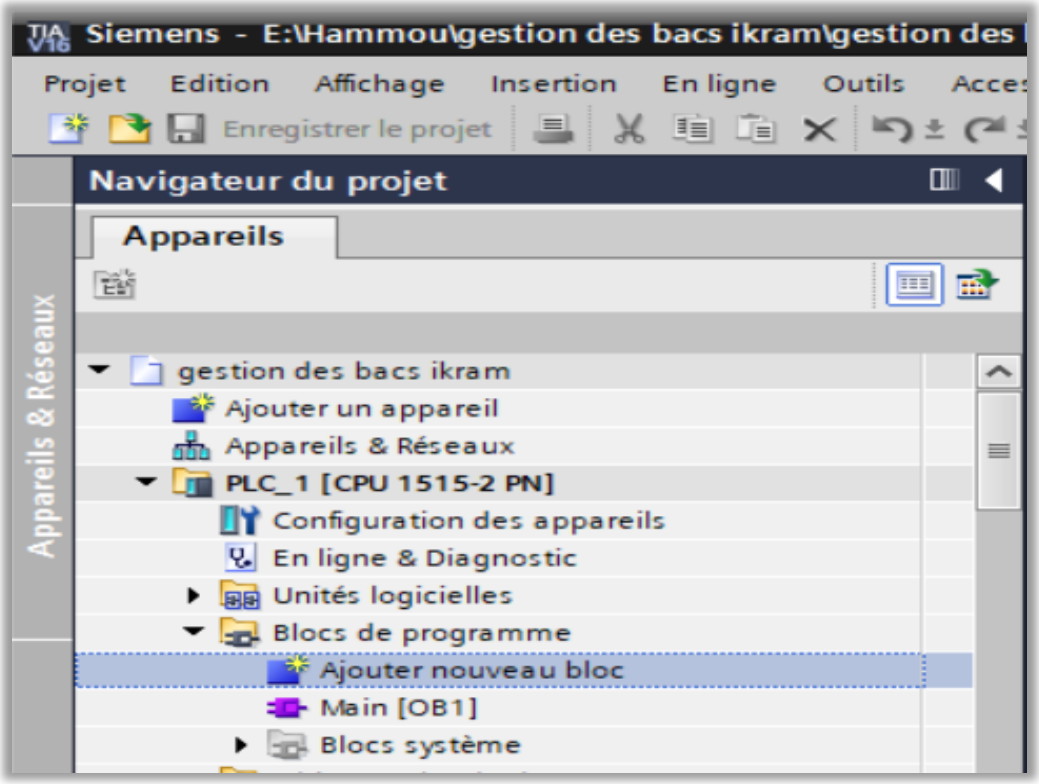


Figure III. 20: Les blocs OB utilisés dans ce projet

OB 100 « Les OB de démarrage »

Ils sont traités une seule fois, lorsque le mode de fonctionnement passe de STOP à RUN. Après le traitement de l'OB de démarrage, c'est le traitement de l'OB cyclique qui démarre

OB1 « Programme Cyclique »

Ils sont traités cycliquement. Les OB cycliques sont des blocs de code de niveau supérieur dans le programme, dans lesquels on peut appeler d'autres blocs

OB35 « Cyclic interrupt »

L'OB d'interruption cyclique est utilisé lorsqu'il y a une exigence d'exécution cyclique. L'OB cyclique est principalement utilisé avec le contrôleur PID et lorsqu'un calcul est nécessaire.

Par exemple, nous avons notre programme principal écrit dans l'OB1, nous avons utilisé un bloc d'interruption cyclique entre les échelles, lorsque l'exécution se produit, le bloc se transforme en OB d'interruption pour un intervalle de temps défini et revient à l'OB principal là où il s'est arrêté

OB122 « OB d'Erreur d'accès à la périphérie »

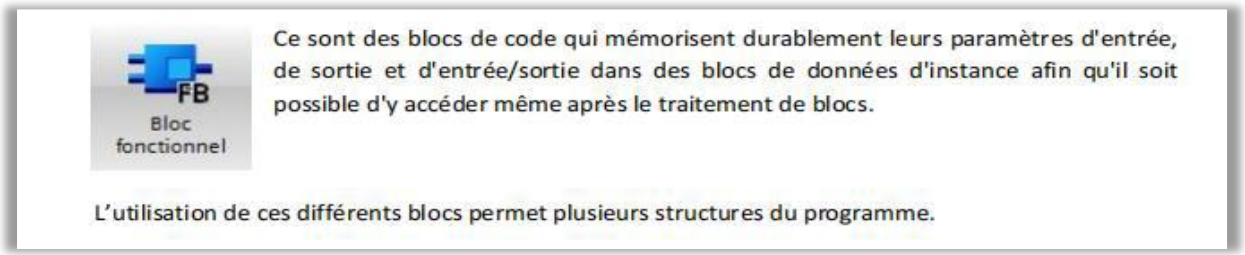
Lorsqu'une erreur se produit pendant l'accès aux données d'un module, le système d'exploitation de la CPU appelle OB122.

OB121 « OB d'Erreur de programmation »

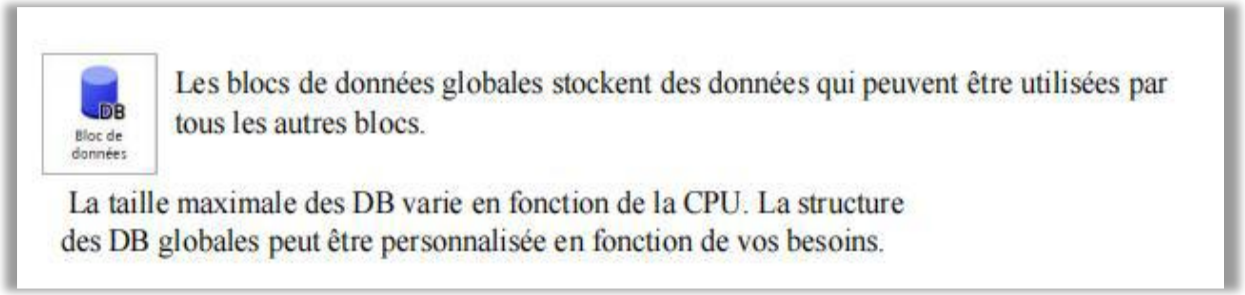
Lorsqu'un événement se produit à la suite d'une erreur pendant le traitement du programme, le système d'exploitation de la CPU appelle l'OB121.

III.4.6.2. Les fonctions – FC

III.4.6.3. Les blocs fonctionnels – FB



III.4.6.4. Bloc de données DB



L'utilisation de ces différents blocs permet plusieurs structures du programme.

III.5. Supervision industrielle

La supervision industrielle est une méthode essentielle pour le suivi et le contrôle informatisé des processus de fabrication automatisés, impliquant la collecte de données cruciales telles que les mesures, les alarmes et l'état de fonctionnement, ainsi que la gestion des paramètres de commande généralement pilotés par des automates programmables. Dans le contexte de l'informatique industrielle, cette supervision est réalisée via un pupitre de commande avancé, permettant de surveiller et de contrôler l'exécution des tâches du processus. L'objectif principal de la supervision est de faciliter l'interaction entre les automates, les capteurs et les moteurs, d'une part, et les superviseurs et opérateurs, d'autre part, afin d'améliorer la réactivité du processus, d'augmenter la production, de réduire les temps d'arrêt et de signaler les besoins de maintenance des équipements.

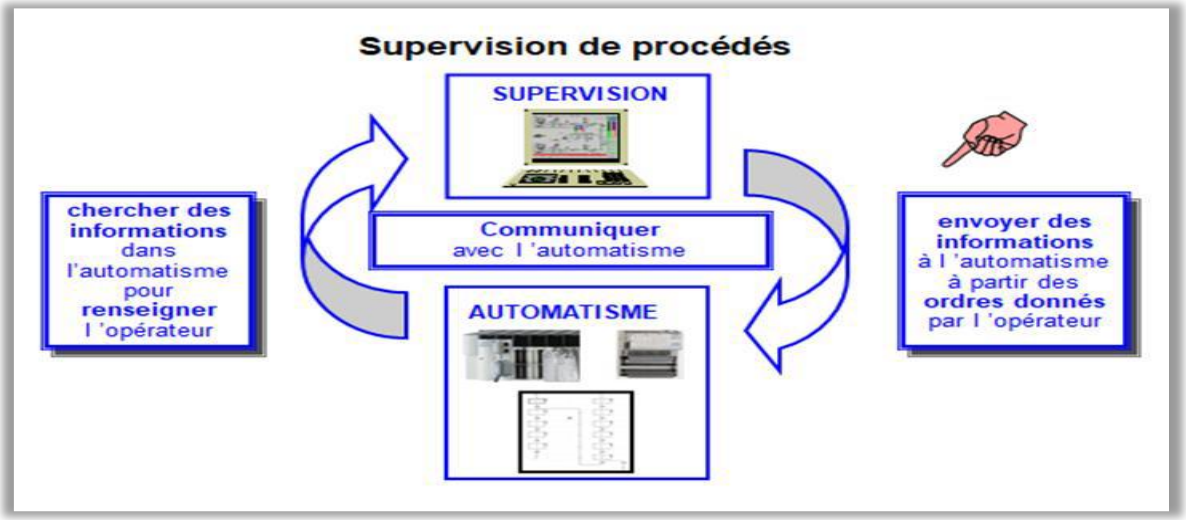


Figure III. 21: Supervision des procédés

III.5.1. Fonctions de la supervision

Un logiciel de supervision, élément clé des systèmes de production, remplit plusieurs rôles essentiels :

*** Assistance à l'opérateur :** Il facilite le contrôle des processus de production grâce à une interface homme-machine dynamique et intuitive.

*** Visualisation en temps réel :** Il offre une vue claire de l'état et de l'évolution des installations de contrôle automatisées, signalant immédiatement toute anomalie ou alarme.

*** Collecte et archivage des données :** Il recueille et enregistre en temps réel les informations provenant de diverses sources distantes (machines, ateliers, usines), permettant ainsi un suivi précis des opérations.

*** Aide à la décision :** Il soutient les opérateurs dans leurs tâches et leurs décisions en fournissant des recommandations de paramètres, en signalant les valeurs hors normes et en assistant dans la résolution des problèmes.

III.5.1.1. Synoptique

La supervision joue un rôle essentiel en offrant une vue synthétique, dynamique et en temps réel de l'ensemble des ressources de production de l'unité. Elle permet à l'opérateur d'interagir avec le processus et d'observer son fonctionnement normal. Grâce à un éditeur de synoptiques, il est possible de concevoir aisément des interfaces homme-machine alliant une apparence moderne et une interaction efficace, incluant des fonctionnalités telles que le zoom en exploitation et les effets de transparence. [18]

III.5.1.2. Courbes

Elles donnent :

- Une représentation graphique de différentes données du processus.

- Les outils d'analyse des variables historiées. [18]

III.5.1.3. Alarmes

Elle a pour rôle de :

- calculer en temps réel les conditions de déclenchement des alarmes.

- afficher l'ensemble des alarmes selon des règles de priorité.

- donner les outils de gestion depuis la prise en compte jusqu'à la résolution complète.

- assurer l'enregistrement de toutes les étapes de traitement de l'alarme.

III.5.1.4. Historisation du procédé

L'historisation permet :

- La sauvegarde périodique de grandeurs (archivage au fil de l'eau)

- la sauvegarde d'événements horodatés (archivage sélectif)

-De fournir les outils de recherche dans les données archivées

-La possibilité de refaire fonctionner le synoptique avec les données archivées (fonction de magnétoscope ou de replay)

-De garder une trace validée de données critiques (traçabilité de données de production) [18]

III.5.2. Interface homme-machine (IHM)

Une Interface Homme-Machine (IHM) est un dispositif ou une interface utilisateur permettant la connexion entre une personne et une machine, un système ou un équipement. Bien que ce terme puisse désigner tout affichage facilitant l'interaction avec un appareil, il est généralement employé dans le cadre des processus industriels pour la surveillance et le contrôle des équipements de production. Par ailleurs, l'acronyme IHM correspond à « Human-Machine Interface » (HMI en anglais). Cette interface est également appelée pupitre opérateur, terminal opérateur ou encore interface opérateur.

III.5.2.1. Le rôle d'une IHM

L'Interface Homme-Machine (IHM) est un outil qui facilite l'échange d'informations entre l'opérateur et la machine. Elle remplit deux rôles principaux :

- Transmettre des informations à l'opérateur.

- Permettre à l'opérateur d'interagir avec le système en saisissant des commandes ou des instructions.

III.5.2.2 Création et configuration de L'IHM

Pour ajouter une station IHM, il faut Suivez ces étapes :

1) Cliquer sur « ajouter un appareil ».
2) Cliquer sur « IHM ».
3) Choisir L'IHM correspondant puis la version

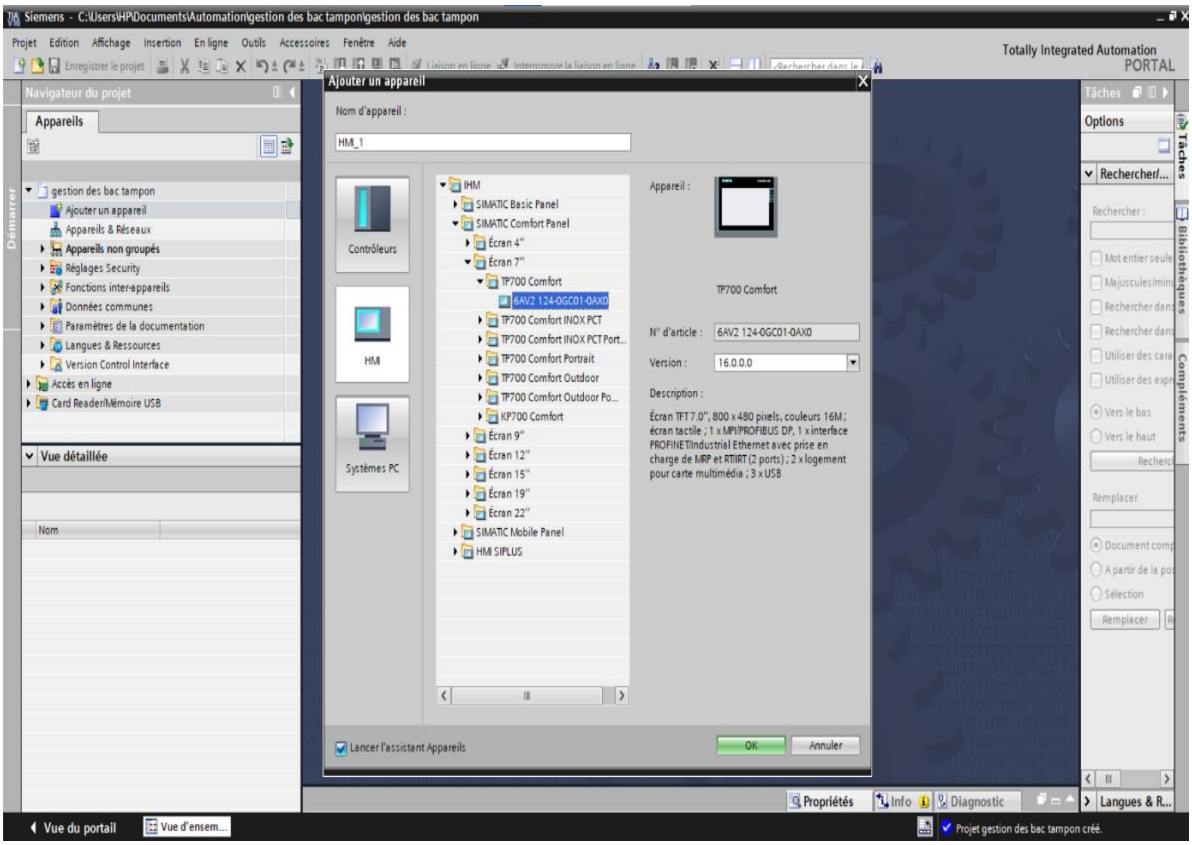


Figure III. 22: Insertion d'une station IHM dans Tia Portal

III.5.2.3. Choix de l'interface homme-machine

Il s'agit d'un pupitre SIEMENS de référence 6AV2 124-0GC01-0AX0 SIMATIC HMI TP700 Confort, Confort Panel, commande tactile, écran large TFT 7", 16 millions de couleurs, interface PROFINET, interface MPI/PROFIBUS DP, mémoire de configuration 12 Mo, Windows CE 6.0, configurable à partir de Win CC Confort V11.

III.5.2.4. Etablissement de La liaison entre la CPU et L'IHM

Pour établir la liaison entre la CPU et l'interface homme machine TP 700 confort on doit aller **« appareil et réseau »** La liaison entre la CPU 1515-2 PN et HMI TP 700 confort est faites par le bus de terrai PROFINET.

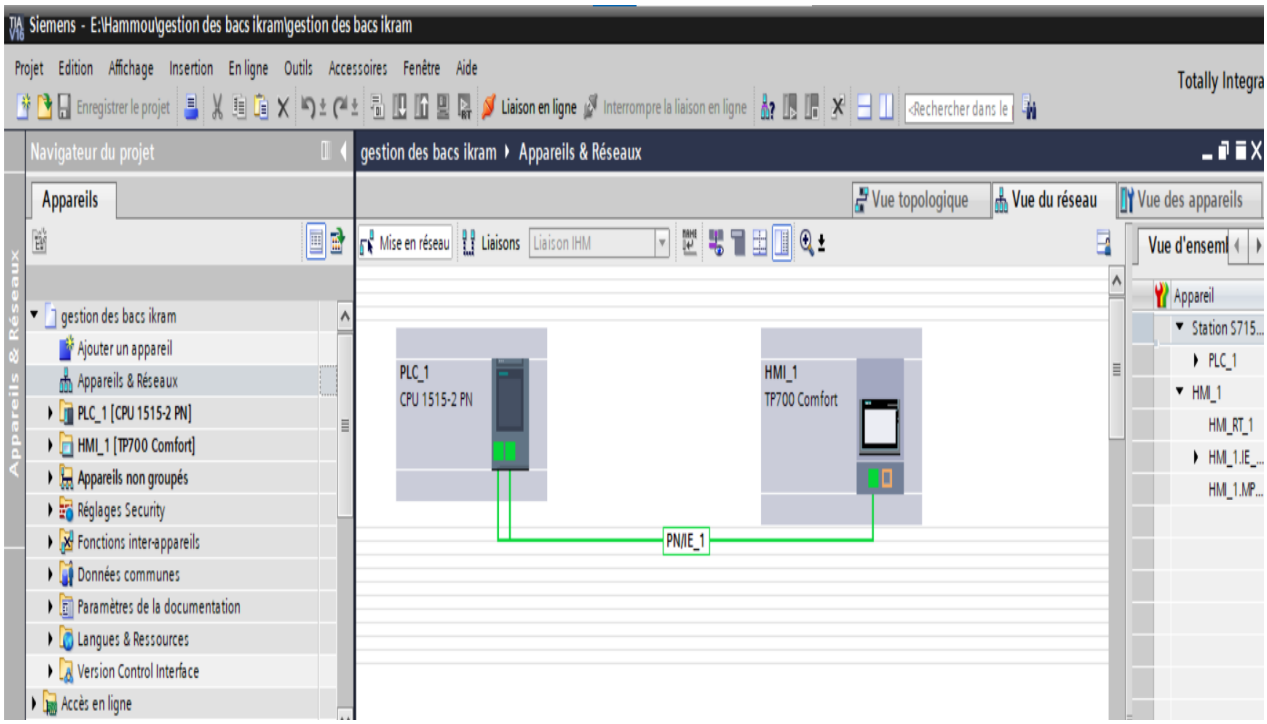


Figure III. 23: Liaison entre PLC et IHM

III.5.3. Logiciel de supervision

Pour la supervision, nous utilisons le logiciel TIA Portal V16 avec WINCC Flexible intégré. Son interface ergonomique offre aux développeurs tous les outils nécessaires pour concevoir des fenêtres, boutons, voyants, alarmes, historiques, recettes, ainsi que pour gérer les droits d'accès et les mots de passe. De plus, il permet de déclarer l'ensemble des automates, variateurs, lecteurs de code-barres et autres pupitres connectés au réseau.

III.5.3.1. Principales fonctions offertes par ce logiciel

- **Win cc flexible RT :** Gestion centrale du projet pour un accès rapide à toutes les données projets et aux paramètres centraux.
- **Communication :** Déclaration et adressage des variables. Les variables peuvent être internes à Win CC ou externes.
- **Vue :** Système graphique qui permet la visualisation librement configurable et le pilotage via des objets entièrement graphiques.
- **Historique :** Compression et archivage des mesures et des alarmes.

- **Gestion des alarmes :** Système de messages pour la saisie des alarmes analogiques et des alarmes TOR qui permet la visualisation des alarmes.

- **Paramétrages :** Système qui fait les paramétrages des alarmes.

- **Journaux :** Systèmes de journalisation pour la documentation à déclenchement temporel ou événementiel des messages, d'actions opérateur et des données de processus temps réel sous forme de rapport utilisateur ou de documentation de projet avec mise en page au choix.

- **Gestion utilisateur runtime :** Sécurité et paramétrage de runtime

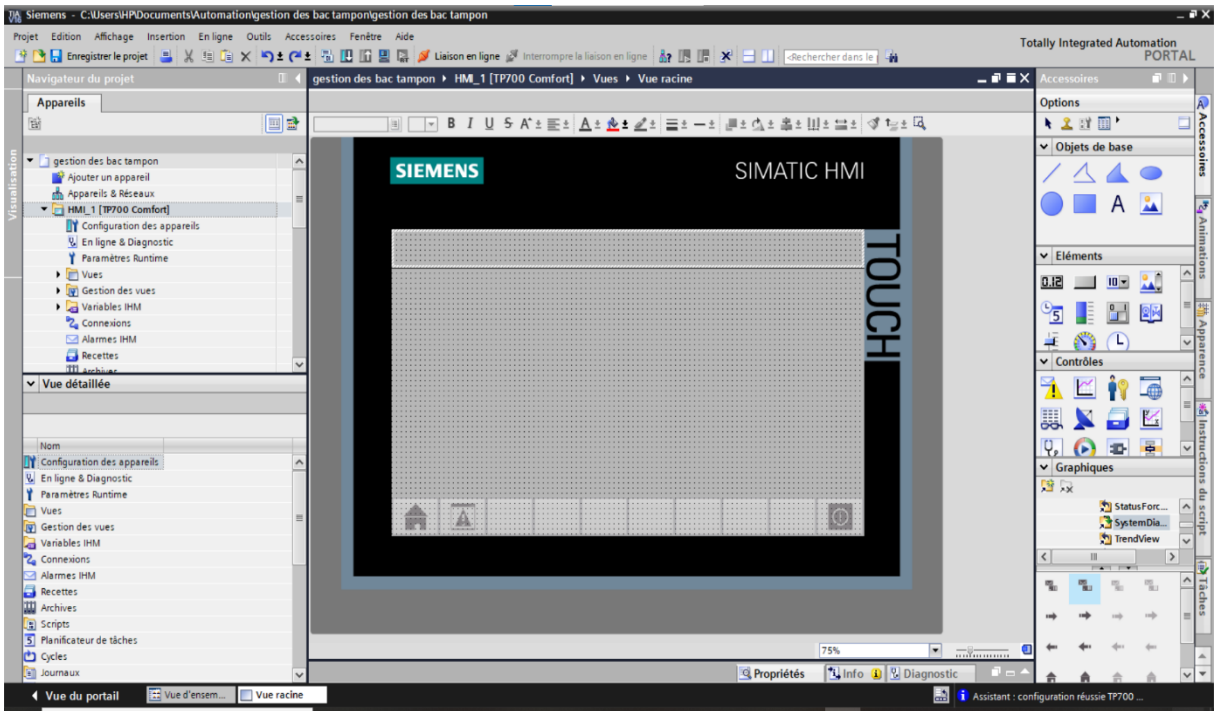


Figure III. 24: Les différents composants de la fenêtre de l'IHM

1) Zone de travail : est l'endroit où les différentes vues du projet sont construites.
2) Boîte à outils : nous permet d'importer les éléments de base nécessaires à la création des vues, tels que des boutons, des graphiques, des champs de texte, etc.
3) Fenêtre du projet : affiche la structure du projet. À partir de cette zone, il est possible de créer des vues, des variables configurées et des alarmes.
4) Fenêtre des propriétés : permet de modifier les caractéristiques d'un objet sélectionné dans la zone de travail.

III.6. Communication

Dans les systèmes automatisés modernes, la communication industrielle joue un rôle essentiel en facilitant l'échange d'informations vitales entre les équipements et automates d'un environnement industriel. Avec l'automatisation croissante des processus de production, la coordination efficace entre les différents composants devient cruciale pour optimiser les performances globales. La communication industrielle assure la transmission rapide et fiable de données, de signaux de commande et d'informations entre les capteurs, les actionneurs, les automates programmables et les interfaces homme-machine. Son objectif principal est de créer une connexion fluide et sécurisée entre ces éléments, permettant la surveillance, le contrôle et la gestion efficace des processus industriels. [1]

III.6.1. Protocoles de communication

Dans le domaine de l'automatisation industrielle, plusieurs protocoles de communication sont couramment utilisés pour permettre l'échange de données entre les automates programmables et d'autres dispositifs

III.6.1.1. Modbus

Modbus est un protocole de communication ouvert largement répandu dans le domaine industriel pour la connexion des automates programmables industriels (API). Il repose sur une architecture maître/esclave, où un dispositif maître peut interagir avec plusieurs dispositifs esclaves. Modbus peut être implémenté sur des liaisons série telles que RS-422 ou RS-485, ainsi que sur des réseaux Ethernet via le protocole Modbus TCP/IP. Il propose un ensemble de commandes standardisées permettant la lecture, l'écriture et le contrôle des données. Très présent dans les systèmes SCADA, il facilite la supervision et l'acquisition de données. En tant que protocole de la couche application du modèle OSI, Modbus assure la communication entre différents équipements connectés sur divers types de réseaux ou de bus. [1]

III.6.1.2. Profibus

Profibus (Process Field Bus) est un bus de terrain standardisé largement utilisé dans le domaine de l'automatisation industrielle. Il existe en deux principales versions : PROFIBUS-DP (Decentralized Peripherals) destiné aux applications industrielles de production, où il permet la connexion d'équipements actifs et de capteurs à un contrôleur central tout en intégrant des fonctions de diagnostic ; et PROFIBUS-PA (Process Automation), conçu pour les environnements à risque, notamment pour la mesure et la surveillance dans les processus industriels. Ces deux variantes peuvent être reliées via un adaptateur. Conforme aux normes CEI 61158 et EN 50170, Profibus se distingue par ses temps de réponse rapides, sa fiabilité dans l'échange de données et ses capacités avancées de diagnostic. Il est adapté aux environnements explosifs, aux applications à sécurité intrinsèque et aux appareils compatibles HART. Appuyé par de grands acteurs de l'automatisation, Profibus constitue une solution complète pour la gestion intégrée des systèmes de production et des procédés industriels.

III.6.1.3. Profinet

Profinet est une norme ouverte et avancée pour l'automatisation industrielle, fondée sur l'Ethernet industriel. Elle permet l'échange de données entre les machines et les systèmes de contrôle en utilisant l'Ethernet comme canal de communication, en remplacement des bus de terrain traditionnels. PROFINET répond pleinement aux exigences de l'automatisation moderne, en particulier dans les environnements de production et de traitement nécessitant des temps de réponse inférieurs à 100 millisecondes.
Cette technologie est également adaptée à des applications telles que les systèmes d'entraînement et le Motion Control synchronisé à l'horloge, avec des temps de réponse pouvant descendre en dessous d'une milliseconde. Pour les besoins liés à la sécurité industrielle, PROFINET intègre le protocole PROFIsafe, spécialement conçu pour garantir la sécurité des communications. Développé par l'organisation PROFIBUS Nutzerorganisation e.V. (PNO), PROFINET complète la technologie existante PROFIBUS en offrant une transmission de données plus rapide ainsi que l'intégration de standards informatiques comme TCP/IP et XML, utilisés pour la communication, la configuration et le diagnostic des équipements industriels.

Dans notre projet, la liaison entre les automates esclaves S7-1500 CPU 1515 -2 PN et HMI TP 700 confort est faites par le bus de terrain Profinet. [1]

III.6.1.3.1. Classes de fonctions de PROFINET

Profinet comprend deux classes de fonctions indépendantes : PROFINET IO pour les E/S distribuées et PROFINET CBA pour l'automatisation distribuée. PROFINET IO permet la connexion d'appareils de terrain décentralisés, utilisant trois canaux de communication pour les échanges de données avec le système de contrôle. PROFINET CBA est conçu pour l'automatisation industrielle distribuée, utilisant des composants technologiques autonomes qui communiquent entre eux via des interfaces uniformément définies. Les périphériques PROFINET IO peuvent être regroupés en tant que composants PROFINET, permettant l'interconnexion des composants dans la communication entre machines pour une automatisation distribuée via PROFINET.

III.6.1.3.2. Concept de communication PROFINET

PROFINET utilise Ethernet comme mécanisme de communication, nécessitant la mise en oeuvre des protocoles définis dans la norme IEEE 803.2. Pour le transport des données, les protocoles TCP ou UDP et IP sont utilisés. Cependant, d'autres protocoles d'application tels que HTTP, SNMP, SMTP, FTP, etc., sont également nécessaires pour traiter les données.

PROFINET utilise trois canaux de communication avec des performances différentes en fonction des besoins :

- NRT (Non Real Time) est utilisé pour les processus non critiques, avec transmission de paquets de données via TCP/IP et UDP/IP.
- RT (Real Time) est utilisé pour des performances optimisées d'échange de données. Les opérations de lecture-écriture dans l'automatisation industrielle nécessitent un transfert de données à grande vitesse qui ne peut pas être satisfait par TCP/IP ou UDP/IP.
- IRT (Isochronous Real Time) est utilisé pour une communication synchronisée avec l'horloge. Il est principalement utilisé pour des applications de pilotage telles que le Motion Control, offrant un temps de réponse inférieur à 1 milliseconde.

III.6.1.3.3. Concept de sécurité PROFINET

Le concept de sécurité Profinet repose sur la protection des réseaux au sein de zones de sécurité distinctes appelées "cellules". Ces cellules peuvent être interconnectées via un réseau central. Chaque cellule est connectée à la dorsale par le biais d'un point d'entrée et est protégée par des composants de réseau spécifiques à la sécurité, tels que des commutateurs ou d'autres dispositifs de sécurité. Ces composants vérifient l'autorisation et l'intégrité des données transmises. Pour accéder aux dispositifs d'automatisation sécurisés, un logiciel client de sécurité spécifique peut être utilisé. Le trafic de données entre les cellules sécurisées ou entre le logiciel client et la cellule peut également être crypté à l'aide d'algorithmes de cryptage standard. Cette connexion sécurisée permet d'empêcher la manipulation ou l'espionnage des données, ce qui est particulièrement important lorsque vous souhaitez accéder à des périphériques d'automatisation sécurisés via un réseau non sécurisé, tel qu'Internet.

III.7. Logiciel de Simulation

Dans le domaine de l'automatisation industrielle, la simulation joue un rôle clé en permettant de reproduire virtuellement le fonctionnement des systèmes automatisés avant leur mise en service. Les logiciels de simulation de Siemens, tels que PLC SIM et Simatic Win CC Runtime Advanced, offrent un environnement sécurisé où les professionnels peuvent concevoir, tester et optimiser leurs programmes et interfaces. Grâce à ces outils avancés, les ingénieurs et programmeurs peuvent limiter les risques, réduire les coûts et accélérer le déploiement des systèmes industriels, garantissant ainsi une efficacité et une fiabilité accrues des opérations.

III.7.1. PLCSIM V16

PLC Sim V16 est un logiciel de simulation d'automates programmables conçu par Siemens. Il s'intègre à TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal), la plateforme logicielle dédiée à la programmation et à la configuration des systèmes d'automatisation Siemens.

Ce logiciel permet aux ingénieurs et programmeurs de simuler le fonctionnement des automates programmables Siemens, notamment les séries S7-1200 et S7-300, dans un environnement

virtuel. Ainsi, ils peuvent concevoir, tester et valider leurs programmes sans nécessiter de matériel physique.

Avec PLC Sim V16, les utilisateurs peuvent créer des simulations, charger des programmes, surveiller l'état des automates, simuler des entrées/sorties, réaliser des tests de fonctionnalité et de performance, ainsi que déboguer leurs applications.

III.7.2. Simatic WinCC Runtime Advanced

Simatic Win CC Runtime Advanced est un logiciel performant et polyvalent, développé par Siemens, dédié à la supervision et au contrôle des processus industriels. Il permet de concevoir des Interfaces Homme-Machine (IHM) interactives et intuitives, offrant une visualisation et un pilotage en temps réel des systèmes automatisés.

Dans notre projet, nous utilisons Win CC Runtime Advanced pour simuler et valider notre IHM avant sa mise en service. Cet outil nous permet de tester les interactions avec les équipements, d'afficher les données en temps réel, de gérer les alarmes et d'exécuter des commandes afin de garantir le bon fonctionnement de notre interface.

Grâce à cette simulation, nous pouvons identifier d'éventuelles erreurs, optimiser les paramètres et nous assurer que l'IHM répond aux exigences de performance et d'ergonomie.

L'application Win CC Runtime permet à l'opérateur de surveiller et contrôler le processus en temps réel. Elle offre la possibilité de lire et afficher les données, d'échanger avec le PLC, de piloter le système en lançant ou stoppant des actions, et de détecter les alarmes en cas de besoin.

Conclusion

Ce chapitre a permis de couvrir les aspects essentiels de l'automatisation industrielle. En comprenant les systèmes automatisés, les automates programmables industriels et en utilisant des outils tels que TIA Portal, nous sommes équipés pour concevoir et mettre en œuvre des solutions efficaces en automatisation industrielle. La configuration du projet, de l'interface homme-machine et de la communication industrielle jouent un rôle crucial dans le déploiement de systèmes automatisés performants.

CHAPITRE IV

L’internet des objets (IOT)

Introduction

Internet des Objets (IdO ou IoT pour Internet of Things) est un réseau mondial d'objets qui repose sur l'idée que tous les objets peuvent être connectés un jour à l'internet, ces objets sont adressables de manière unique. Tout objet, y compris (des ordinateurs, des capteurs, des RFID et des téléphones mobiles) seront en mesure d'émettre de l'information et éventuellement de recevoir des commandes. L'IdO ouvre la voie vers une multitude de scenarios basés sur l'interconnexion entre le monde physique et le monde virtuel. Cependant, il fait face à un nombre de problématiques qui nécessitent d'être étudiées pour permettre à l'Internet des objets d'atteindre son plein potentiel. Dans ce chapitre on va présenter l'IOT il y'aura une définition, quelque domaine d'application que l'IOT offre, le fonctionnement et l'architecture de l'IOT et aussi les protocoles que l'IOT utilise et enfin on donnera une définition de l'objet connecté.

IV.1. L'Internet des Objets (IOT)

IV.1.1. Définition

L'Internet des objets est un terme très vaste et riche il nous fait imaginer un monde entier qui est relier et peut se communiquer grâce à l'échange d'information entre ses objets. Leurs utilisateurs en utilisant Internet mais aussi d'autres réseaux de communication bien moins connus mais tous efficaces. C'est le monde de l'Internet des Objets. en 2020, l'Institut Gartner prévoit plus 50 milliards d'objets connectés sur le marché. Autant vous dire que nous sommes en train d'assister à une véritable révolution numérique qui va radicalement changer nos styles de vie.

Pour illustrer, prenons un exemple dans le domaine de l'habitat intelligent, aussi connu sous le nom de Smart Home. Imaginez que votre réfrigérateur devienne intelligent. Un réfrigérateur capable de vous dire en temps réel le type de denrées qu'il y a à l'intérieure et capable de passer commande pour vous quand vous avez besoin de vous réapprovisionner. Le réfrigérateur est un exemple. Mais le nombre d'objets qu'il est aujourd'hui possible de connecter est illimité. Le potentiel qu'offre l'Internet des Objets pour chacun d'entre nous. [19]

IV.1.2. Historique sur l'Internet des objets

L'Internet des Objets (IOT) est un concept apparu en 1999 grâce à Kevin Ashton, un chercheur britannique du MIT (Massachusetts Institute of Technology). Pionnier dans ce domaine, Ashton et son équipe ont promu l'idée d'une connectivité universelle des objets en utilisant la technologie RFID (Radio Frequency Identification). L'essor du protocole IPv6 a ensuite favorisé l'adoption de cette innovation par divers secteurs, notamment l'aéronautique, qui a contribué aux recherches. À partir de 2007, l'Internet des Objets gagne en popularité, avec l'ambition de créer un réseau mondial et ubiquitaire reliant tous les objets intellige. [19]

IV.1.3. L'IOT aujourd'hui

L'Internet des Objets (IOT) a connu une croissance exponentielle depuis le début du 21e siècle. En 2003, il était encore embryonnaire, mais l'explosion des smartphones et tablettes a propulsé le nombre d'appareils connectés à 12,5 milliards en 2010. Aujourd'hui, l'IOT est au cœur de l'économie de la donnée, avec des objets connectés et l'industrie comme principaux générateurs de contenu. Les applications sont vastes, allant de la logistique à la santé, et l'IOT permet d'élargir les services des fabricants grâce à l'exploitation des données générées par ces objets.

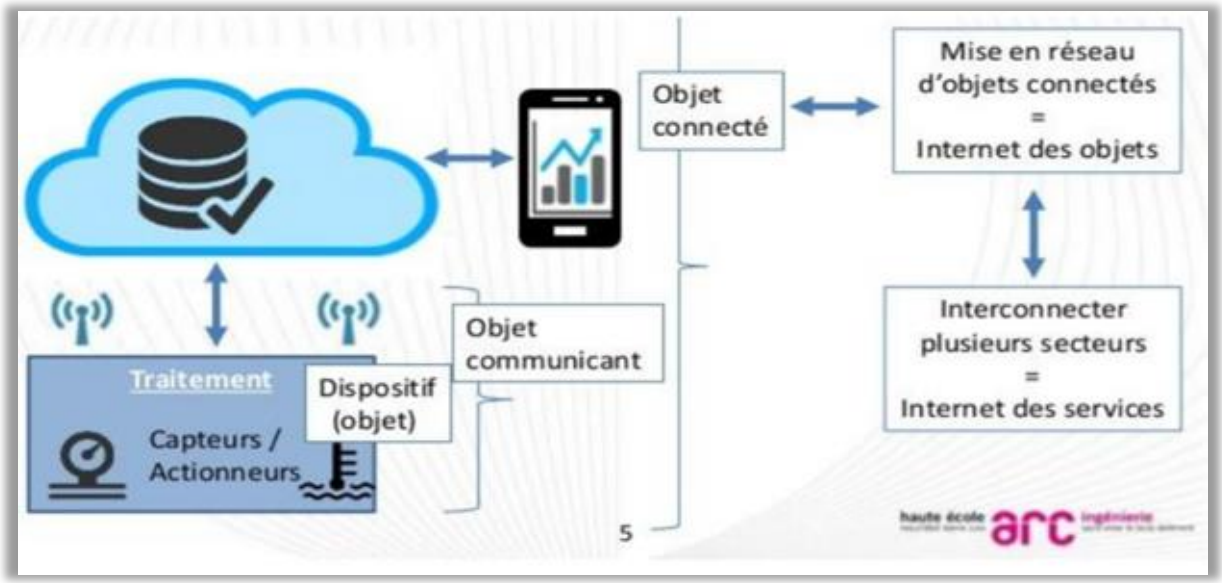


Figure IV. 1 : L'Internet des objets aujourd'hui.

IV.1.4. Le futur de l'IOT

En 2025, l'Internet des Objets (IOT) connaît une croissance rapide avec plus de 30 milliards d'appareils connectés dans le monde, couvrant les secteurs industriels, agricoles, médicaux et domestiques. L'IOT industriel (IIOT) s'impose comme un élément central de l'industrie 4.0, permettant le suivi en temps réel des processus, la maintenance prédictive et l'optimisation des coûts. La combinaison du cloud computing avec l'edge computing améliore la réactivité des systèmes tout en assurant une meilleure gestion des données sensibles. Parallèlement, la sécurité devient une priorité, avec l'intégration systématique de protocoles de cybersécurité plus avancés.

L'intelligence artificielle renforce l'efficacité des objets connectés en leur permettant d'analyser, d'apprendre et de prendre des décisions de manière autonome. L'IOT joue également un rôle clé dans la transition écologique, notamment dans la gestion intelligente des ressources et de l'énergie. Enfin, la standardisation des protocoles, comme MQTT ou Matter, renforce l'interopérabilité entre les dispositifs, rendant l'IOT plus accessible, intelligent et durable. [19]

IV.1.5. Internet des objets et son importance

L'Internet des Objets (IOT) transforme notre monde en connectant des objets physiques, leur permettant de détecter, interpréter et réagir à leur environnement. Cette interconnexion crée un réseau d'appareils intelligents, chacun avec une identité numérique, facilitant la gestion et la

communication entre eux. Pour que cette technologie soit transparente, elle nécessite une compréhension contextuelle des utilisateurs et de leurs appareils, des architectures logicielles et réseaux de communication omniprésents pour traiter et transmettre les informations, et des outils d'analyse pour un comportement autonome. L'IOT est particulièrement crucial dans la production industrielle, où il aide à relever les défis de la mondialisation, des avancées technologiques, des cycles de vie des produits, du vieillissement de la main-d'œuvre et de la pénurie de ressources. En production, les applications IOT se développent dans la fabrication, la chaîne d'approvisionnement, la surveillance et l'entretien, en mettant l'accent sur la valeur apportée aux utilisateurs et à la société. L'IOT, défini comme une infrastructure mondiale pour la société de l'information par l'Union internationale des télécommunications, crée une passerelle entre le monde physique et le monde virtuel.

IV.1.6. Internet des objets comme un système

L'Internet des objets est en relation avec le réseau, les données et les nouveaux services :

IV.1.6.1. L'Internet des objets comme un système des systèmes

L'IOT désigne plutôt diverses solutions techniques (RFID, TCP/IP, technologies mobiles, etc.) qui permettent d'identifier des objets, de capter, stocker, traiter, et transférer des données dans les environnements physiques mais aussi entre des contextes physiques et des univers virtuels. L'enjeu majeur n'est pas tant d'inventer de nouvelles technologies que de perfectionner celles qui existent déjà, de les connecter, et de les intégrer. Nous listons ci-après les principales classes de solutions nécessaires au fonctionnement de l'IOT. Plutôt que d'en décrire tous les éléments, nous considérerons trois composantes considérées comme critiques : les solutions RFID, les solutions logicielles middleware et le réseau EPC global.

IV.1.6.2. Réseaux et Internet des Objets

L'IOT se compose d'un ensemble hétérogène de réseaux qui permettent la communication de ces objets. Parmi les plus connus, les réseaux cellulaires des opérateurs télécoms qui permettent aux objets équipés d'une carte SIM M2M de remonter et envoyer les données. En plein émergence, les réseaux LPWA, avec notamment LoRa et Sigfox. Réseaux bas débit longue portée, ce sont des protocoles entièrement dédiés aux communications entre objets. Mais d'autres technologies sont aussi utilisées comme le Narrow Band ou le LTE-m.

IV.1.6.3. L'Internet des Objets et les données

La pette pépite de l'Internet des Objets, c'est la donnée. Et surtout la capacité à capter une donnée brute, de température, de vibration, d'humidité… pour la transformer en information intelligente et exploitable. Ces milliards d'objets connectés vont créer un volume exponentiel de données qu'il faudra stocker, analyser, sécuriser et restituer pour des usages divers. Un enjeu de taille donc.

IV.1.6.4. L'Internet des Objets et les nouveaux services

La valeur ajoutée apportée par l'Internet des Objets est dans les nouveaux usages que cela va amener. Dans le secteur de l'industrie par exemple on peut désormais surveiller les machines à distance, faire de la maintenance prédictive des équipements, ou améliorer la traçabilité des produits. Chaque jour, les objets connectés vont générer des milliards d'informations qui permettront aux entreprises de créer de nouveaux services. L'Internet des Objets va littéralement transformer notre société. Cette affirmation pourra vous sembler utopiste pourtant il suffit de voir à quel point les choses ont évolué depuis l'arrivée de l'iPhone, il y dix ans tout pile. Il ne tient qu'à nous de tirer parti du potentiel de l'Internet des Objets et d'en inventer les usages de demain.

IV.1.7. C'est quoi un objet connecté ?

Les objets connectés, éléments clés de l'Internet des Objets (IOT), interagissent avec leur environnement grâce à une variété de capteurs. Ces capteurs leur permettent de collecter des données sur des paramètres tels que la température, la vitesse, l'humidité ou les vibrations. Cette capacité à percevoir et à traiter des informations de leur environnement permet à ces objets de jouer des rôles très divers. Ainsi, un objet connecté peut être aussi bien un véhicule, une machine industrielle sophistiquée, ou même une simple place de parking, chacun contribuant à un réseau interconnecté d'appareils intelligents. [20]

IV.1.8. Caractéristiques d'un objet connecté

Généralement, un objet connecté est caractérisé par :

- **Identité** : pour que les objets soient gérables il est essentiel que chaque objet connecté possède une identité unique qu'il lui propre et qui le distingue des autres objets du système.
- **Interactivité** : Un objet n'a pas besoin d'être connecté à un réseau à tout moment.
- **Programmable** : l'objet connecté doit être programmé et piloté à distance via un ordinateur, une tablette ou un Smartphone.
- **Sensibilité** : un objet a la capacité de percevoir son environnement et peut collecter ou transmettre des informations à celui-ci.
- **Autonomie** : cette caractéristique est, peut-être, la caractéristique la plus importante pour l'objet connecté. On désigne par cette caractéristique la capacité de l'objet d'agir sans l'intervention d'un tiers. [20]

IV.1.9. Les applications de l'Internet des objets

L'Internet des objets (IOT) trouve des applications dans de nombreux domaines, transformant notre façon de vivre et de travailler :

- **Le transport** :

Des voitures connectées ou autonomes aux systèmes de transport/logistique intelligents, l'IOT peut sauver des vies, réduire le trafic et minimiser l'impact des véhicules sur l'environnement.

- **La sante :**

Des appareils médicaux wear ables aux tablettes de premiers secours en passant par les équipements chirurgicaux sophistiqués, l'IOT transforme les soins.

- **Industrie :**

La technologie IOT permet aux usines d'améliorer l'efficacité de ses opérations, d'optimiser la production et d'améliorer la sécurité des employés.

- **Énergie :**

L'Internet des objets permet aux innombrables appareils qui composent le réseau électrique de partager des informations en temps réel pour une distribution et une gestion plus efficace de l'énergie.

- **Automobile :**

Reliée à l'IOT, la voiture transforme les données en informations exploitables, à la fois dans le véhicule et dans le monde qui l'entoure.

- **Maisons intelligentes :**

De la reconnaissance de votre voix à l'identification de la personne à la porte d'entrée, la technologie IOT donne vie au rêve d'une maison intelligente protégée.

- **Bâtiments intelligents :**

L'IOT résout les problèmes de l'augmentation des coûts énergétiques, de développement durable et de conformité au code en connectant, gérant et sécurisant les appareils qui collectent les données.

IV.1.10. Fonctionnement de l'Internet des Objets (IOT)

IV.1.10.1. Composants de l'IOT

Un système IOT repose sur l'interaction de plusieurs composants essentiels, permettant la collecte, le traitement et l'utilisation de données provenant d'objets connectés. Voici les cinq piliers fondamentaux :

- **Les objets (capteurs)** : La collecte des données

Ce sont les dispositifs physiques qui interagissent avec l'environnement et collectent des données.

Ils comprennent :

*** Capteurs passifs** : Ils mesurent des grandeurs physiques (température, humidité, pression, etc.) sans nécessiter d'alimentation externe. [21]

- **Capteurs de Température et d'Humidité** : Essentiels dans l'IOT, ces capteurs mesurent la température et l'humidité ambiantes. Utilisés en agriculture pour optimiser l'irrigation, ils assurent aussi le suivi des conditions de stockage et de transport dans l'industrie.

- **Détecteurs de Mouvement et de Présence :** Ces capteurs repèrent les objets ou personnes à proximité. Utilisés pour la sécurité et l'automatisation, ils activent l'éclairage, la climatisation ou la vidéosurveillance en cas de mouvement.
- **Capteurs de Lumière et de Luminosité :** Ces capteurs évaluent l'intensité lumineuse environnante. Ils servent à réguler l'éclairage des bâtiments intelligents, des lampadaires urbains et des écrans d'appareils électroniques en fonction de la lumière ambiante.
- **Capteurs de Gaz et de Qualité de l'Air :** Ces capteurs analysent la concentration de gaz dans l'air. Ils servent à surveiller la qualité de l'air, détecter d'éventuelles fuites et garantir la sécurité dans les environnements industriels et urbains.
- **Capteurs de Pression et de Force :** Ils mesurent les variations de pression ou de force et sont utilisés pour surveiller les liquides, peser des charges et améliorer les freins intelligents des véhicules.
- **Capteurs de Proximité et de Distance :** Ces capteurs repèrent la présence ou mesurent la distance des objets. Ils sont utilisés dans les véhicules autonomes, les portes automatiques, les distributeurs de billets et les systèmes de stationnement.

*** Capteurs Actifs :** Ils traitent et transmettent les données.

La diversité des données collectées est vaste, allant des mesures environnementales aux informations sur l'état des équipements.

- **Le réseau** : La transmission des données

* Il assure la communication entre les objets connectés et les autres composants du système.

* Le choix du réseau dépend de la portée et des besoins de l'application (réseau local, réseau étendu, réseau cellulaire, etc.).

* La couverture de la zone d'usage des objets est primordiale.

- **Les données** : La matière première de l'IOT

* Ce sont les informations brutes collectées par les objets connectés.

* Elles doivent être stockées, organisées et sécurisées dans des bases de données pour être exploitables.

* La structuration de ces données est essentielle pour optimiser les performances des services IOT.

- **Les informations** : La valorisation des données

* Ce sont les données brutes transformées en informations utiles par le traitement, l'analyse et la corrélation.

* Elles permettent de prendre des décisions éclairées et d'automatiser des actions.

* Ces informations doivent elles aussi être stockées et sauvegardées.

- **Les applications d'exploitation** : L'interface utilisateur

* Ce sont les logiciels qui permettent aux utilisateurs d'interagir avec les données et les informations.

* Elles se présentent souvent sous forme de tableaux de bord, d'applications mobiles ou de plateformes web.

* Les interfaces Homme Machine (IHM) permettent la visualisation et l'interaction avec les données

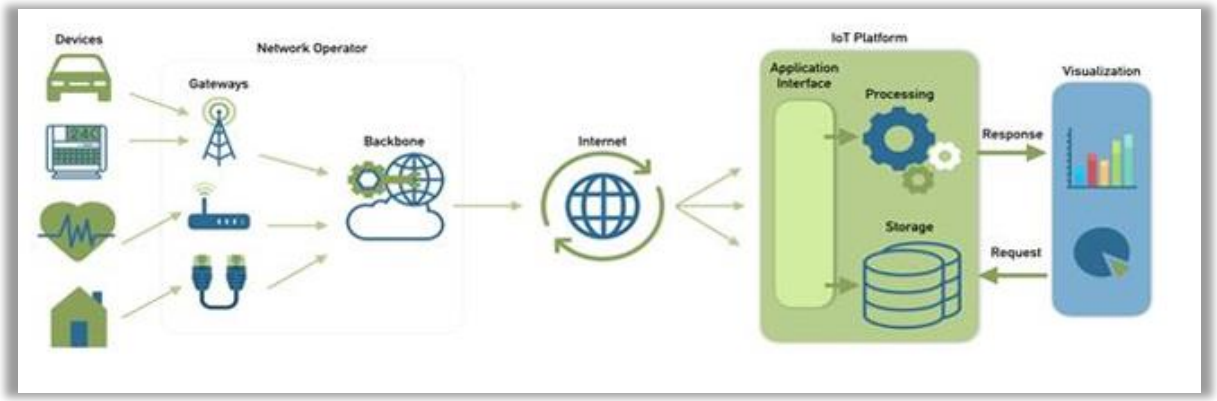


Figure IV. 2: Fonctionnement de l'Internet des Objets

IV.1.10.2. Technologies de l'IOT

L'Internet des objets (IOT) facilite l'interconnexion des objets intelligents via Internet, nécessitant l'utilisation de plusieurs technologies. Il repose sur diverses solutions techniques, telles que la RFID, le protocole TCP/IP et les technologies mobiles, qui permettent d'identifier des objets, de collecter, stocker, traiter et transférer des données. Ces échanges peuvent s'effectuer aussi bien dans des environnements physiques qu'entre des mondes réels et virtuels. Bien que de nombreuses technologies participent au fonctionnement de l'IOT, nous mettrons ici en avant quelques-unes d'entre elles**.** [20]

➢ **Les technologies de courte portée**

- **NFC (Near Field Communication) :** Les protocoles NFC sont fondés sur la technologie d'identification par radio fréquence RFID. Les objets équipés d'une puce électronique RFID possèdent une « étiquette » et sont automatiquement identifiés par radio fréquence lorsqu'ils se trouvent à proximité d'un équipement appelé interrogateur. Le protocole NFC est un standard de communication radiofréquence sans contact à très courte distance, de l'ordre de quelques centimètres, permettant une communication simple entre deux équipements électroniques.

- **Bluetooth :** Inventé en 1994 par la société suédoise Ericsson, le protocole Bluetooth est un standard de transfert de données sans fil. Il utilise une faible bande passante, ce qui ne lui permet de transférer que peu de données à de courtes distances, mais est également très peu énergivore. Inclus à l'immense majorité des téléphones mobiles, afin de réaliser une communication entre deux téléphones, ou entre un téléphone et un objet connecté de nature différente, il possède désormais de nombreuses applications : oreillette de discussion téléphonique sans fil, montre intelligente, moniteur de fréquence cardiaque, etc.

- **Zigbee :** C'est un protocole de communication radio développé spécifiquement pour les applications de domotique. D'une portée moyenne de 100 mètres, il utilise une faible bande passante et est idéal pour le transfert de données en faible volume. Peu énergivore et conçu pour des échanges de données à bas débit, le dispositif Zigbee convient aux appareils alimentés par une pile ou une batterie, et en particulier aux capteurs.

➢ **Les technologies de moyenne portée**

- **Wi-Fi :** Le Wi-Fi désigne un ensemble de protocoles de communications sans fil, permettant des connexions à haut débit sur des distances de 20 à 100 mètres. Il s'agit d'un réseau local sans fil très énergivore, qui ne convient que pour les appareils branchés sur secteur ou dont l'alimentation électrique peut être aisée et fréquente. Il permet de transférer rapidement beaucoup de données.

- **Bluetooth LowEnergy (BLE) :** Aussi connue sous l'appellation Wibree, la technologie BLE est un protocole de réseau personnel sans fil à très basse consommation d'énergie. Comme la technologie Bluetooth originelle, le BLE ne permet de transférer qu'une quantité limitée de données à une distance moyenne de 60 mètres. La différence entre les dispositifs Bluetooth et BLE se situe au niveau de la consommation électrique nécessaire à la communication, qui est dix fois moindre pour BLE.

➢ **Les technologies de longue portée**

- **Réseaux cellulaires mobiles :** Fournis par les opérateurs de télécommunication, les réseaux cellulaires mobiles, basés sur la technologie GSM, permettent de transférer une quantité importante de données à une longue portée. Ils nécessitent l'installation d'une carte SIM dans l'appareil à connecter, afin d'identifier celui-ci sur le réseau de communication.

- **Réseaux radio bas-débit :**

SigFox : c'est un réseau de communication radio sans fil à bas débit et à basse fréquence, d'une portée moyenne de 10 kilomètres en milieu urbain et de 30 à 50 kilomètres en milieu rural. Ce réseau convient à des appareils à basse consommation, dotés ainsi d'une grande autonomie, qui transfèrent une faible quantité des données.

LoRa : c'est un protocole de communication radio à très basse consommation, qui permet de transmettre des données en petite quantité, à des distances de 2 à 5 kilomètres en ville et jusqu'à 45 kilomètres en milieu urbain
À l'instar de Sigfox**,** il s'agit d'un dispositif qui convient particulièrement aux équipements peu énergivores n'émettant que périodiquement, notamment les capteurs.

IV.1.11. L'architecture de l'IOT

Une architecture technique est un cadre créé pour permettre aux concepteurs et aux développeurs de considérer le système dans son ensemble et de le décomposer en sections. Selon les normes mondiales 1 (GS1), « une architecture de référence est une fondation pour permettre l'intégration des diverses technologies dans les applications IOT

Il existe de nombreuse proposition d'architectures pour l'IOT parmi les architectures qui ont été proposées, il y'a l'architecture a cinq couches proposées par Wu et al et a trois couches proposées par IEEE. En ce moment y'a pas une architecture universellement acceptée. [20]

IV.1.12. Caractéristiques d'une application de l'IOT

Les caractéristiques d'une application IOT sont essentielles à son succès, car elles englobent des fonctionnalités clés qui rendent cette technologie performante et efficace. Parmi ces caractéristiques, on retrouve :

- **Connectivité** : Élément fondamental de l'IOT, la connectivité permet aux appareils de transmettre des données et de rester reliés à d'autres systèmes. Elle garantit l'accessibilité au réseau et facilite l'interaction entre les dispositifs.

- **Efficacité énergétique, qualité et fiabilité :** Les appareils IOT sont conçus pour fonctionner dans des conditions extrêmes, que ce soit dans des environnements hostiles ou des zones difficiles d'accès, comme au fond des mines. Pour assurer leur bon fonctionnement, ils doivent être des hautes qualités, fiables et économes en énergie.

- **Intelligence** : Grâce à l'intégration d'algorithmes et de systèmes informatiques avancés, les dispositifs IOT peuvent détecter des changements dans leur environnement et réagir en conséquence. Par exemple, un système IOT peut identifier une hausse soudaine de température et déclencher une alarme incendie.

- **Sécurité** : La protection des données est primordiale dans l'IOT. Les dispositifs traitant des informations personnelles, il est indispensable qu'ils soient sécurisés contre les cyberattaques et toute forme d'intrusion illégale.

- **Capteurs** : Essentiels aux systèmes IOT, les capteurs permettent de surveiller, mesurer et enregistrer diverses activités avant de transmettre ces informations via le Cloud. Ils sont utilisés dans de nombreux domaines, comme la santé, la sécurité domestique ou encore le suivi des performances des appareils.

- **Rentabilité** : Pour être efficaces, les dispositifs IOT doivent être produits en masse tout en restant abordables. Par exemple, un capteur destiné à surveiller la date de péremption des produits alimentaires doit pouvoir être déployé sur chaque article sans engendrer de coûts excessifs. [20]

IV.1.13. Les protocoles de l'IOT

De nombreuses normes IOT sont proposées pour faciliter et simplifier les tâches des programmeurs d'applications et des fournisseurs de services. L'IOT ambitionne de faire communiquer chaque système avec tous les autres au moyen de protocoles communs.

CoAP (Constrained Application Protocol) : C'est un protocole de couche d'application pour les applications IOT. Il définit un protocole de transfert Web basé sur les fonctionnalités HTTP, est lié à UDP (et non TCP) par défaut qui le rend plus approprié pour les applications IOT. En outre, CoAP modifie certaines fonctionnalités HTTP pour répondre aux exigences de l'IOT telles que la faible consommation d'énergie et le fonctionnement en présence de liens à perte et bruyants.

XMPP (Protocole de messagerie et de présence extensible) : XMPP est une norme de messagerie instantanée (IM) qui est utilisée pour les conversations multipartis, les appels

vocaux et vidéo et la télé-présence. Il permet aux utilisateurs de communiquer entre eux en envoyant des messages instantanés sur Internet quel que soit le système d'exploitation qu'ils utilisent. XMPP permet aux applications de messagerie instantanée d'accéder à l'authentification, au contrôle d'accès, à la mesure de la confidentialité, au cryptage hop-by hop et à la compatibilité avec d'autres protocoles.

Beaucoup de fonctionnalités XMPP en font un des protocoles préférés par la plupart des applications de messageries instantanées et pertinentes dans le cadre de l'IOT. Il fonctionne sur une variété de plateformes basées sur Internet de manière décentralisée. XMPP est sécurisé et permet d'ajouter de nouvelles applications au-dessus des protocoles de base

MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

- **Définition :** Le protocole MQTT est un système de messagerie léger, spécialement conçu pour la communication entre machines. Il est particulièrement adapté aux connexions à faible bande passante, notamment vers des sites distants. Fonctionnant selon un modèle de type éditeur-abonné, MQTT convient parfaitement aux appareils de petite taille nécessitant une gestion optimisée de la bande passante et de l'énergie.

- **Fonctionnement :** Contrairement au modèle client/serveur du web, MQTT repose sur un système de publication/souscription ou de multiples clients se connectent à un unique serveur central, le broker, sans interagir directement entre eux. Ces clients fonctionnent soit comme des publieurs, envoyant des informations sur des canaux nommés topics, soit comme des souscripteurs, s'abonnant à ces topics pour recevoir les messages. Les topics, organisés de manière hiérarchique, permettent ainsi aux souscripteurs de cibler précisément les informations souhaitées.

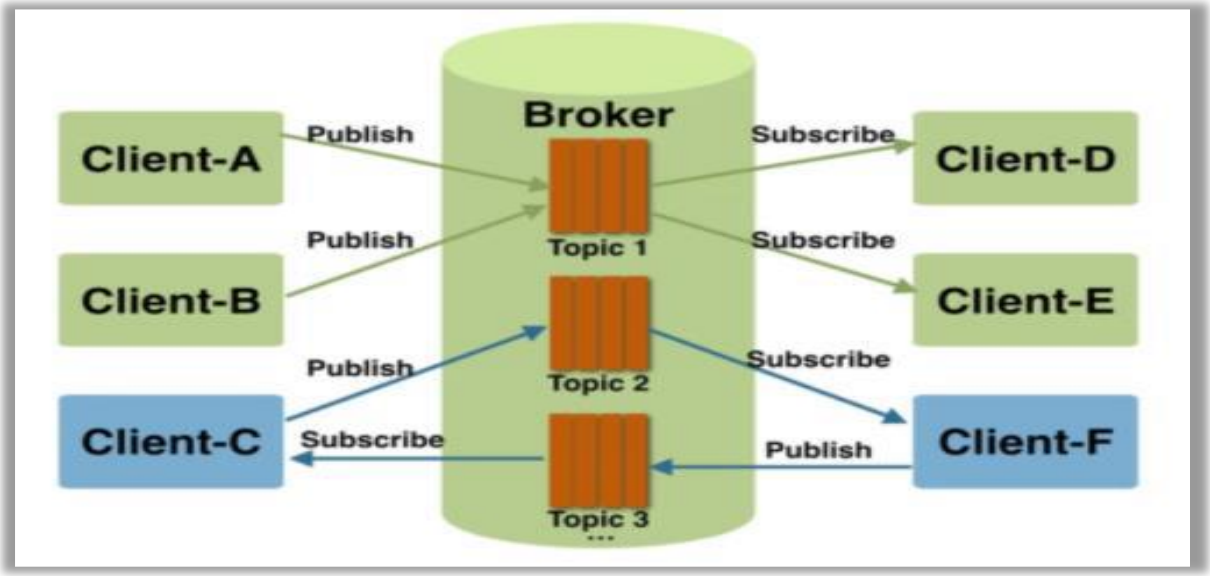


Figure IV. 3: Fonctionnement du protocole MQTT

➢ **Composants MQTT :** MQTT est constitué de quatre composants principaux

- **Le client :** Il peut agir soit comme un souscripteur (subscriber), qui reçoit des informations, soit comme un publieur (publisher), qui envoie des informations.
- **Le Broker :** C'est le serveur central qui orchestre la transmission des données entre tous les clients connectés.
- **Le Topic :** Également appelé sujet, c'est un point de connexion virtuel où les clients se connectent. Il sert de centre de distribution pour la publication et la réception des messages.
- **Le Message (ou l'information) :** Il s'agit du contenu que les appareils souhaitent échanger, qu'il s'agisse de commandes ou de données.

IV.2. Logiciel NODE - RED

IV.2.1. Présentations de Node-Red

Node-RED, développé par IBM en 2013, a été conçu pour simplifier la création d'objets connectés. Il s'agit d'un langage graphique basé sur JavaScript, reposant sur une approche de programmation visuelle permettant d'établir des connexions entre les flux de données entrants et sortants. Ce logiciel gratuit nécessite l'installation de Node.js (JavaScript côté serveur).

L'interface de programmation est accessible via un navigateur web. Il est recommandé d'utiliser le navigateur d'un ordinateur connecté au même réseau que le dispositif Rosebery.

L'environnement de développement de Node-RED se présente comme suit :

- **À gauche :** une palette contenant toutes les fonctions disponibles.

- **Au centre :** l'espace de programmation où les flux sont construits.

- **À droite :** un panneau comportant deux onglets :

  Info : fournit des informations contextuelles sur l'élément sélectionné.

  Debug : affiche les messages d'erreurs et ceux émis par la fonction de débogage.

Pour déployer votre programme, cliquez sur le bouton rouge 'Deploy', situé en haut à droite de l'écran.

À côté de ce bouton se trouve un menu avec plusieurs options utiles :

- **View :** permet d'afficher ou de masquer la grille, qui peut être magnétique (alignement automatique).

-Import : permet d'ajouter des nœuds à partir de ressources externes (par exemple, des flux trouvés sur internet).

-Export : permet d'exporter votre flow soit vers le presse-papiers (au format JSON), soit vers un fichier à nommer.

-Flows : vous pouvez créer un nouveau flow, le renommer ou le supprimer. [22]

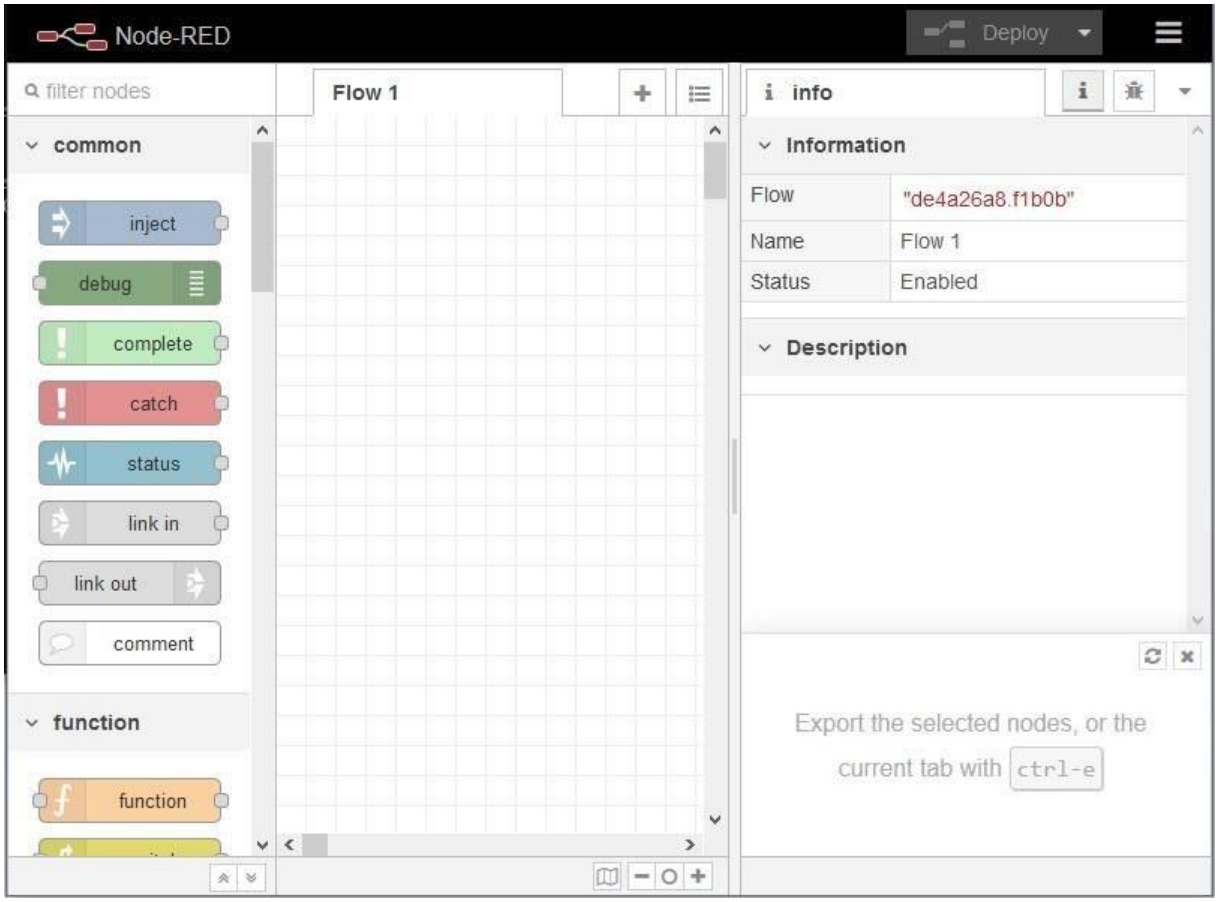


Figure IV. 4: Aperçu sur Node Red

IV.2.2. Installations de Node-Red

Consultez le guide de démarrage de node-red pour procéder à l'installation qui correspond à votre cas.

https://nodered.org/docs/getting-started/

Nous utiliserons ici node-red localement sur notre ordinateur. L'installation consiste donc à installer préalablement node.js :

• Installation de `node.js`
• Installation de **node-red**

Démarrage et arrêt

• Pour démarrer node-red, utilisez la commande node-red dans un terminal.
• Pour arrêter node-red, utliser la combinaison de touche [Ctrl + C] [23]

Figure IV. 5: Sous linux

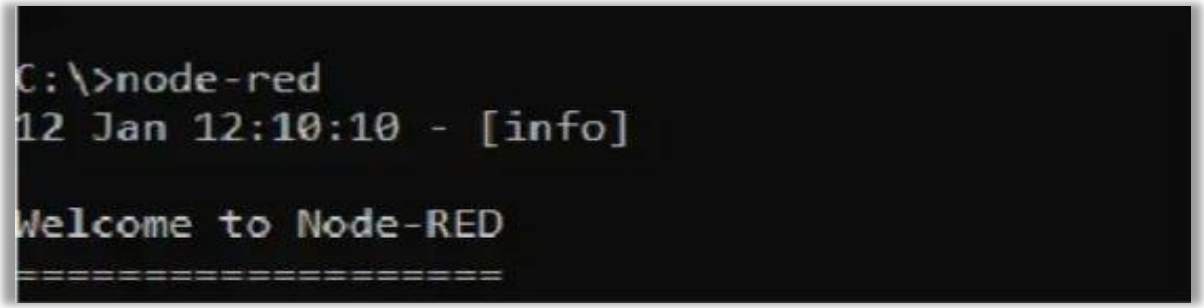


Figure IV. 6: Sous Windows

IV.2.3. Interface

On accède à l'interface de développement par un navigateur en utlisant l'URL : http://127.0.0.1:1880 comme l'indique node-red dans le terminal :

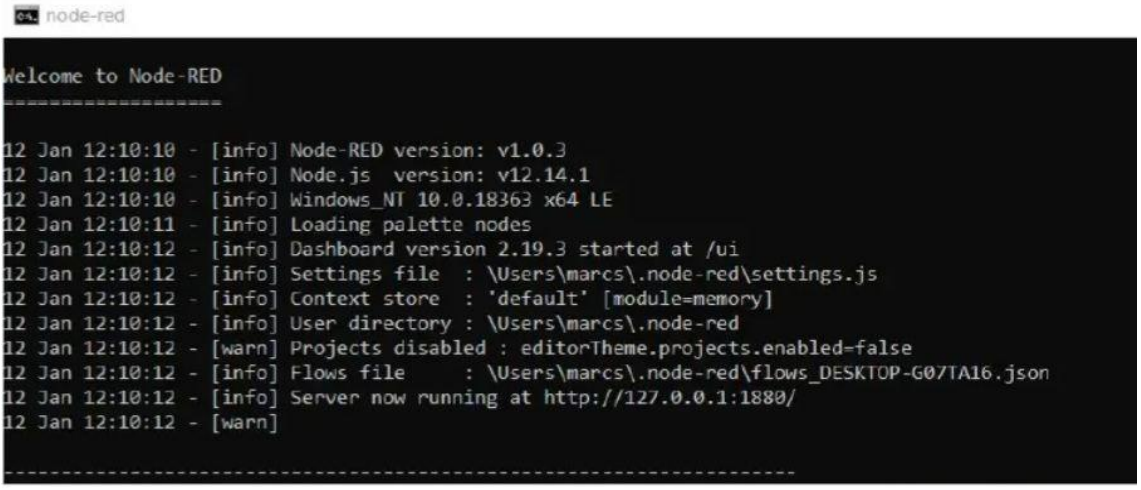


Figure IV. 7: Execution de node-red dans le terminal

On y accède également depuis n'importe quel poste du réseau pour peu que le pare-feu soit correctement configuré. [23]

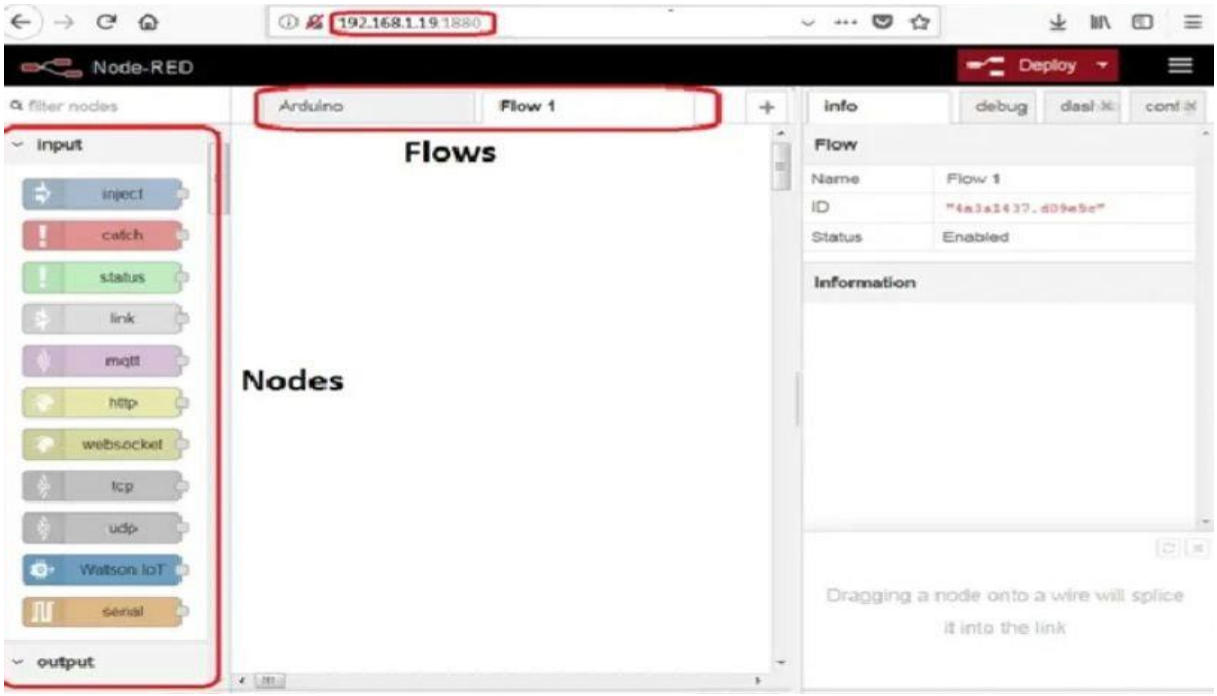


Figure IV. 8: IHM de node-red

IV.2.4. Ajout d'une catégorie de nodes à la palette

La palette de nodes d'origine est déjà bien fournie mais il manque au moins une catégorie essentielle qui va permettre de réaliser l'interface web. Elle se nomme Dashboard.

Dans le menu, cliquez sur Manage Palette puis recherchez la catégorie de nodes à installer. Une nouvelle catégorie est ensuite disponible : [23]

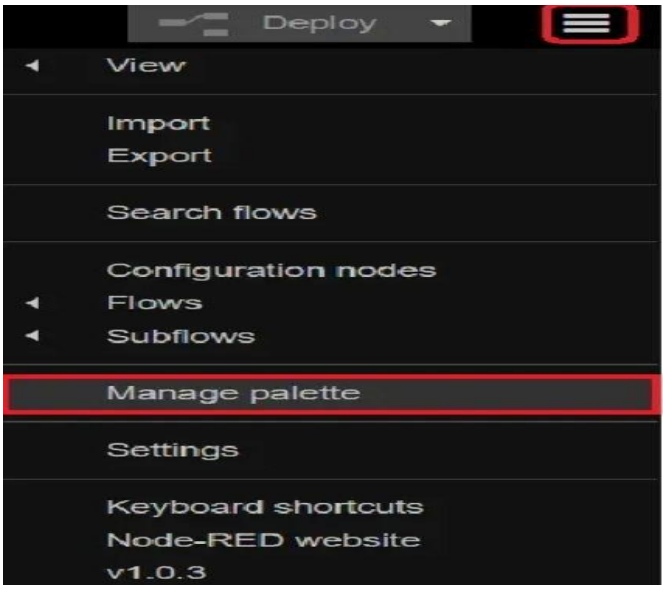


Figure IV. 9: Accéder au gestionnaire de palette

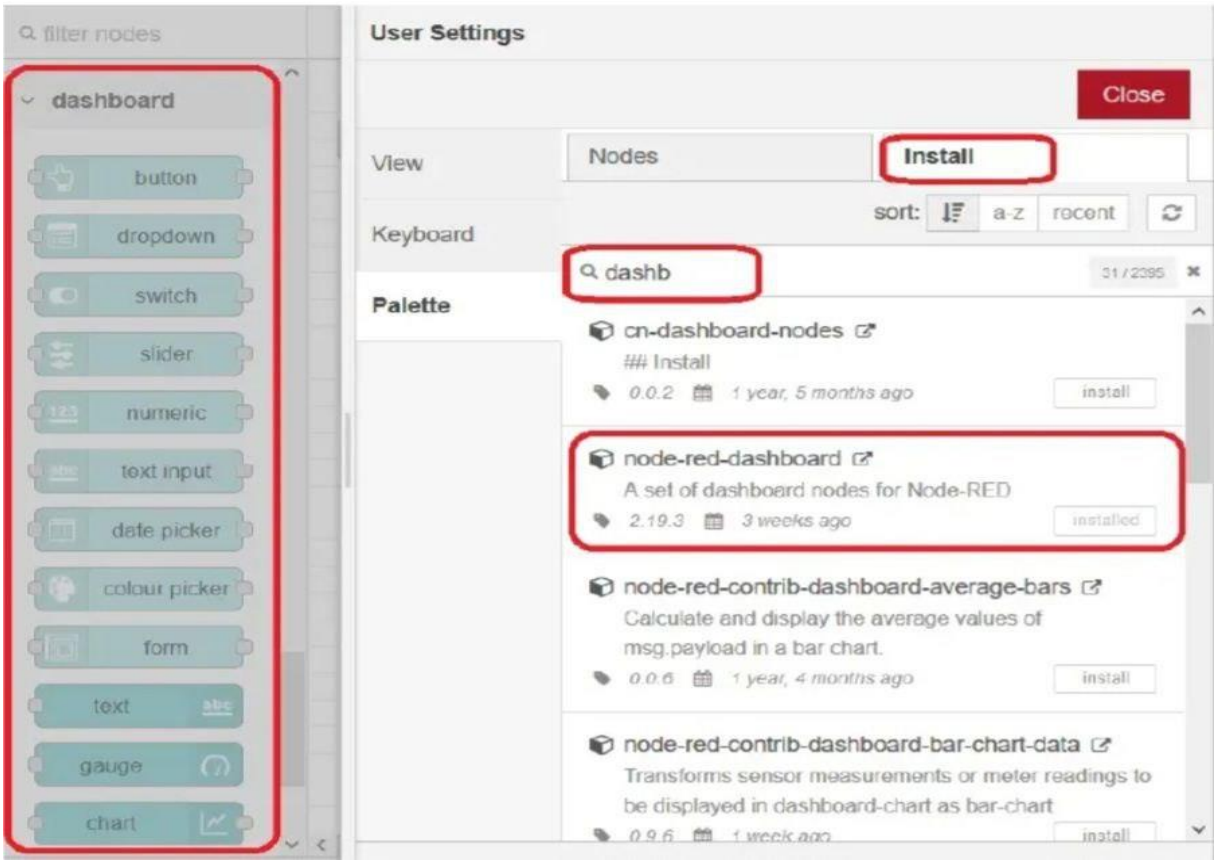


Figure IV. 10: Ajout de la catégorie Dashboard à la Palette

IV.2.5. Créations d'un dashboard (tableau de bord IHM)

La palette de Noeuds d'origine est déjà bien fournie mais il en manque au moins une essentielle qui va permettre de réaliser l'interface web. Elle se nomme Dashboard.
Cliquez sur Manage Palette puis recherchez la palette de noeuds Dashboard.
On accède au site web généré par l'URL de sélection du groupe, cliquez sur+group, puis créer un groupe (ici : "first flow") et faite de même pour le Tab (ici :"home"). Cliquez ensuite sur le bouton Donne, puis déployer le Flow. [22]

IV.2.6. Importation et exportation des flows

Node Red facilite la sauvegarde, le partage et le déplacement des flow entre les ordinateurs grâce à la fonction d'exportation et d'importation.

IV.2.6.1. Importation des flows

Ouvrir le flow dans un éditeur de texte, puis copier son contenu, ensuite allez dans
Menu, cliquez sur import et collez les fichiers dans la fenêtre (Figure IV.11).
Importer le flow dans un flow existant ou dans un nouveau flow, Cliquer sur le bouton Import pour terminer l'importation. [22]

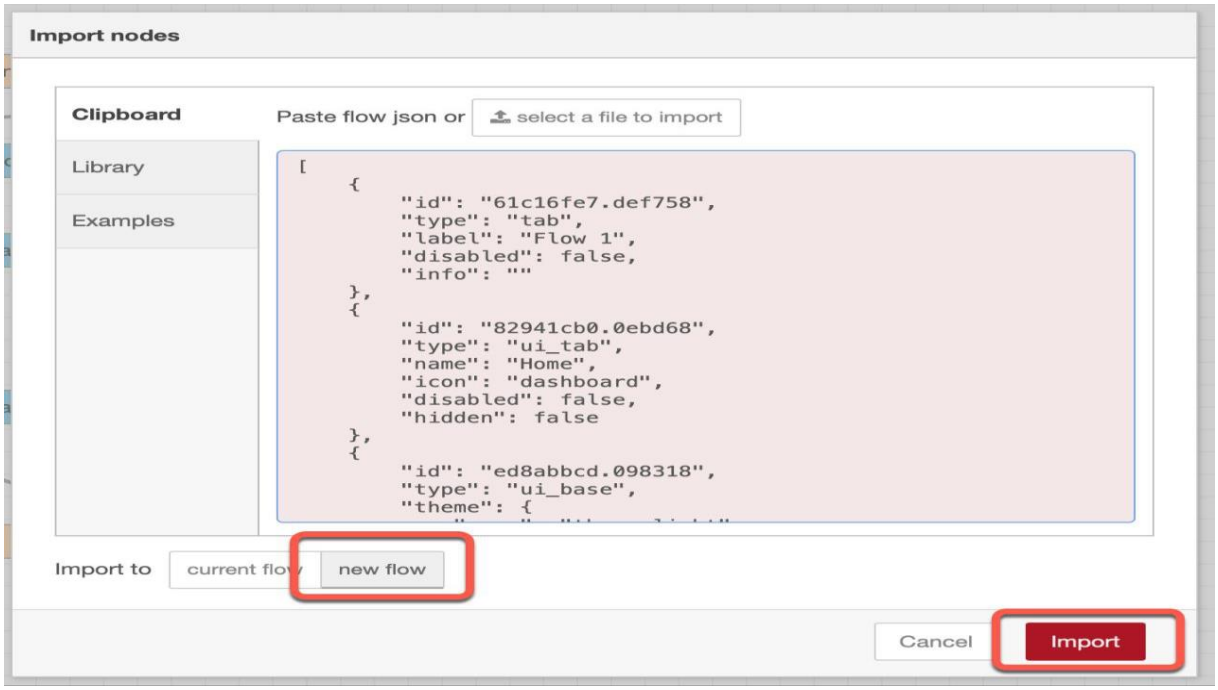


Figure IV. 11: Importation des flows

IV.2.6.2. Exportations des flows

On peut exporter un noeud sélectionné, un flow ou tous les flows.

Sélectionner chaque noeud du flux que nous souhaitons exporter dans l'espace de travail, Cliquer ensuite sur Menu, ensuite cliquez sur Export.

Il y a trois onglets à l'écran avec l'onglet des noeuds sélectionnés. Nous pouvons le modifier pour exporter le flow actuel ou tous les flows de l'espace de travail.

Cliquer sur Export to clip board, puis ouvrer un éditeur de fichiers et coller le contenu dans le fichier, Donner un nom au fichier et enregistrer-le, Ou bien cliquer sur Download pour exporter un fichier sous format JSON (Figure IV.12). [22]

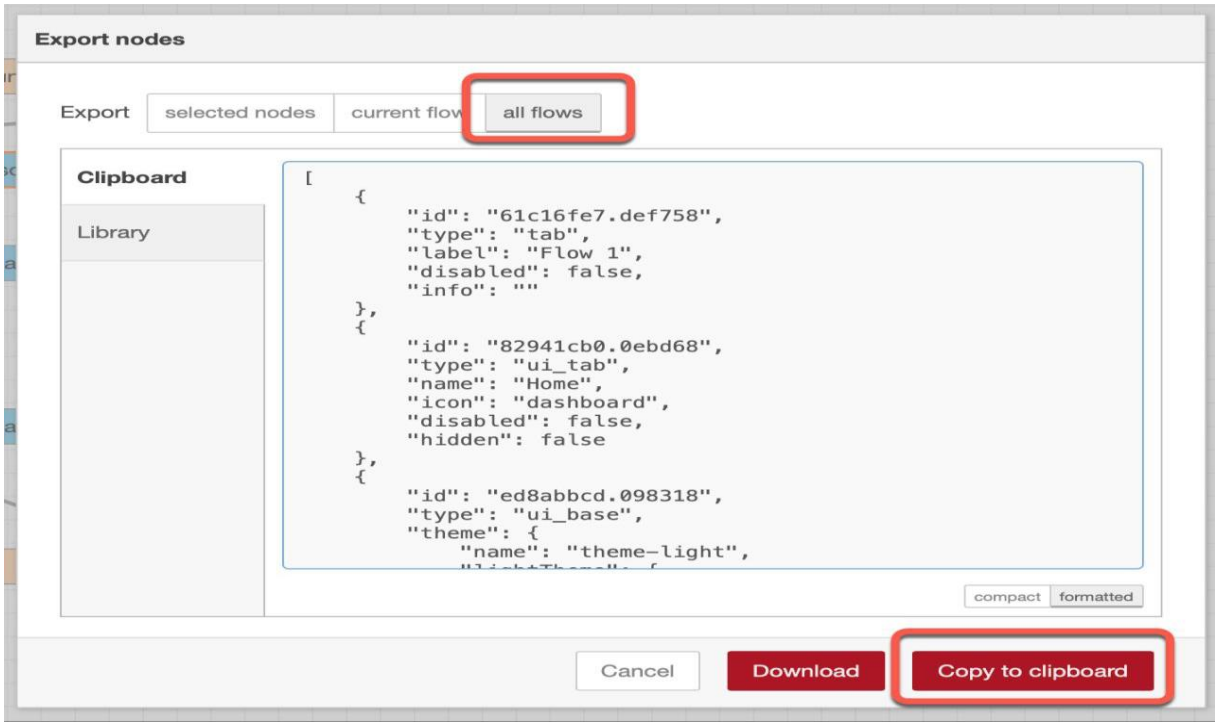


Figure IV. 12: Exportations des flows.

IV.2.7. Principe de la programmation

• La programmation consiste à glisser-déplacer les nodes sur le flow et à les relier entre eux. Les données échangées sont des objets JSON et doivent posséder la propriété payload (charge utile).

• Le payload peut être un nombre, une chaine de caractères ou un objet JSON.

• Certains nodes peuvent avoir plusieurs sorties. Dans ce cas, le node retourne un tableau d'objets JSON dont le premier élément sort par la première sortie, le deuxième par le second, …

Commençons par réaliser un flow très simple composé de :

• un Slider

• une Gauge.

Pour modifier la configuration par défaut des nodes, il suffit de double-cliquer dessus. Pour que ces composants soient bien disposés sur la page web, il faut les mettre dans un Tab, puis dans un Groupe :

• Dans la boite de sélection du groupe, cliquez sur Add new ui_group.

• Créer un groupe (ici : "Le groupe") et faite de même pour le Tab (ici : "Test").

• Cliquez ensuite sur le bouton done, puis déployer le flow en cliquant sur le bouton deploy.

• On accède au site web généré par l'url : http://127.0.0.1:1880/ui

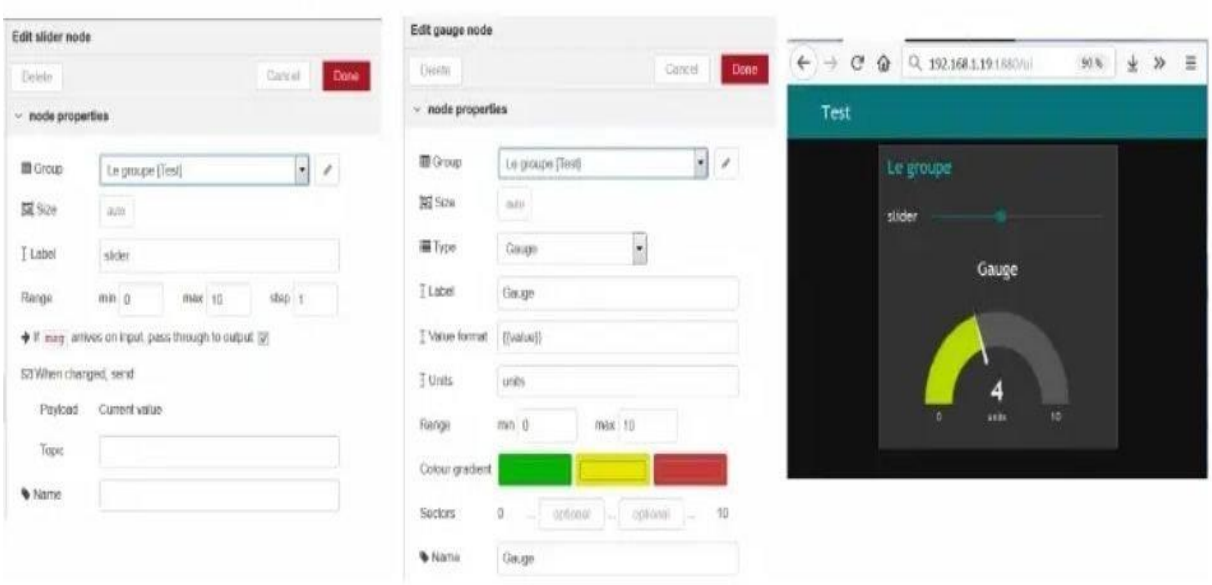


Figure IV. 13: Jauge pilotée par un slider [23]

Conclusion

En conclusion, l'Internet des Objets (IOT) représente une avancée majeure dans le domaine des technologies connectées, permettant aux objets physiques de communiquer et d'échanger des données de manière intelligente. Le protocole MQTT, grâce à sa légèreté et son efficacité, s'impose comme une solution idéale pour le transport de messages dans des environnements à ressources limitées. Par ailleurs, le logiciel Node-RED offre une interface intuitive basée sur des flux, facilitant le développement et l'intégration des systèmes IOT sans nécessiter de compétences de programmation avancées. L'association de ces outils constitue ainsi une base solide pour la mise en œuvre de solutions innovantes, intelligentes et évolutives dans divers secteurs d'activité.

CHAPITRE V

Conception et Résultats

Introduction

Dans ce chapitre pratique de notre projet de fin d'étude dédié à l'optimisation de la gestion des bacs tampons de stockage pour Afia International en Algérie, nous explorerons le cœur de notre solution d'automatisation. Ce chapitre est structuré en plusieurs parties essentielles, chacune contribuant à la robustesse et à l'efficacité de notre système

La première partie présente le programme développé avec le logiciel TIA Portal pour contrôler les variables de fonctionnement de manière efficace et stable.

La deuxième partie se focalise sur l'interface homme-machine (IHM) conviviale que nous avons conçue pour le contrôle du bac de stockage. Nous expliquerons le processus de conception de l'IHM, les écrans et vues réalisés, ainsi que les fonctionnalités de contrôle et de surveillance qu'elle offre.

Enfin, la troisième partie l'architecture de communication mise en œuvre entre le logiciel de programmation TIA Portal et la plateforme Node-RED sera détaillée. Cette liaison est fondamentale pour assurer une supervision en temps réel et un contrôle précis des variables critiques du processus de stockage."

Ensuite, l'interface web sera présente ainsi que la liaison à l'application web de supervision via MQTT sera présentée. Cette application initialement est MYMQTT

Ce chapitre mettra également en évidence les tests rigoureux que nous avons effectuéspour valider notre système automatisé, ainsi que les résultats obtenus et une évaluation de sesperformances.

V.1. Automatisation

Dans le cadre de l'automatisation du processus, l'architecture générale du système repose sur une communication entre les différents équipements via des interfaces homme-machine (IHM), des automates programmables industriels (API), et un réseau de supervision.

Figure V. 1: Architecture générale du système

V.1.1. Création d'un projet et la configuration matérielle

La création du projet et la configuration matérielle dans TIA Portal ayant été abordées au [Voir chapitre III / page 51] cette section se contentera d'un rappel concis, ciblé sur les éléments pertinents pour notre étude.

V.1.1.1. La configuration matérielle

La configuration matérielle est la deuxième étape après la création du projet, qui peut se faire soit sur la vue du portail en allant dans « mise en route : configurer un appareil », sinon sur la vue du projet en cliquant sur « appareils et réseaux » puis on ajoute les appareils que l'on souhaite

La configuration matérielle s'agit d'une étape clé. Elle correspond à la conception du rack, les modules et les appareils de la périphérie centralisée.

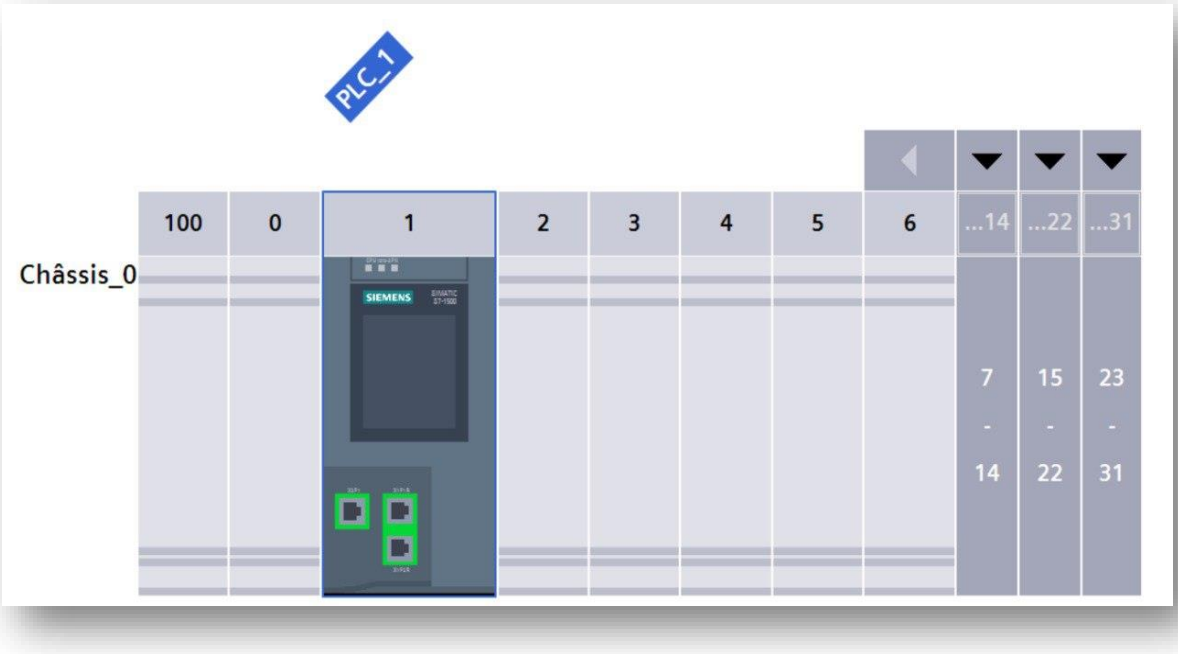


Figure V. 2: Configurations matérielle

V.1.2. Tables des Mnémoniques (tables des variables API)

Dans tout programme, la liste des variables qui seront utilisées lors de la programmation doit être spécifiées La table mnémonique ou encore table de variables API a été créée à cet effet. L'utilisation de noms appropriés rend le programme plus compréhensible

Variables API

	Nom	Table des variables	Type de données	Adresse	Réma...	Acces...	Écritu...	Visibl...	Surveilla...	Commentaire
1	Démarer PB	Table de variabl...	Bool	%M0.0		☑	☑	☑		
2	Arréter PB	Table de variables s..	Bool	%M0.1		☑	☑	☑		
3	Bit de mémoire d'activation du...	Table de variables s..	Bool	%M65.0		☑	☑	☑		
4	capteur de niveau bas B1	Table de variables s..	Bool	%M0.2		☑	☑	☑		
5	capteur de niveau haut B1	Table de variables s..	Bool	%M0.3		☑	☑	☑		
6	V1 B1 AFIA	Table de variables s..	Bool	%Q0.0		☑	☑	☑		
7	V2 B1 AFIA	Table de variables s..	Bool	%Q0.1		☑	☑	☑		
8	compteur B1	Table de variables s..	DWord	%MD50		☑	☑	☑		
9	Niveau du réservoire d'huile B1	Table de variables s..	Real	%MD54		☑	☑	☑		
10	capteur de niveau moyenne B1	Table de variables s..	Bool	%M0.4		☑	☑	☑		
11	capteur de niveau bas B2	Table de variables s..	Bool	%M0.5		☑	☑	☑		
12	capteur de niveau haut B2	Table de variables s..	Bool	%M0.6		☑	☑	☑		
13	capteur de niveau moyenne B2	Table de variables s..	Bool	%M0.7		☑	☑	☑		
14	V1 B2 Oléor	Table de variables s..	Bool	%Q0.2		☑	☑	☑		
15	V2 B2 Oléor	Table de variables s..	Bool	%Q0.3		☑	☑	☑		
16	compteur B2	Table de variables s..	DWord	%MD60		☑	☑	☑		
17	Niveau du réservoire d'huile B2	Table de variables s..	Real	%MD64		☑	☑	☑		
18	V vidange B1	Table de variables s..	Bool	%Q0.4		☑	☑	☑		
19	V vidange B2	Table de variables s..	Bool	%Q0.5		☑	☑	☑		
20	Bit de mémoire d'activation du...	Table de variables s..	Bool	%M65.1		☑	☑	☑		
21	<Ajouter>					☑	☑	☑		

Figure V. 3: Table des variables API

V.1.3 Elaboration du programme

V.1.3.1 Démarrage de cycle bac 1 AFIA

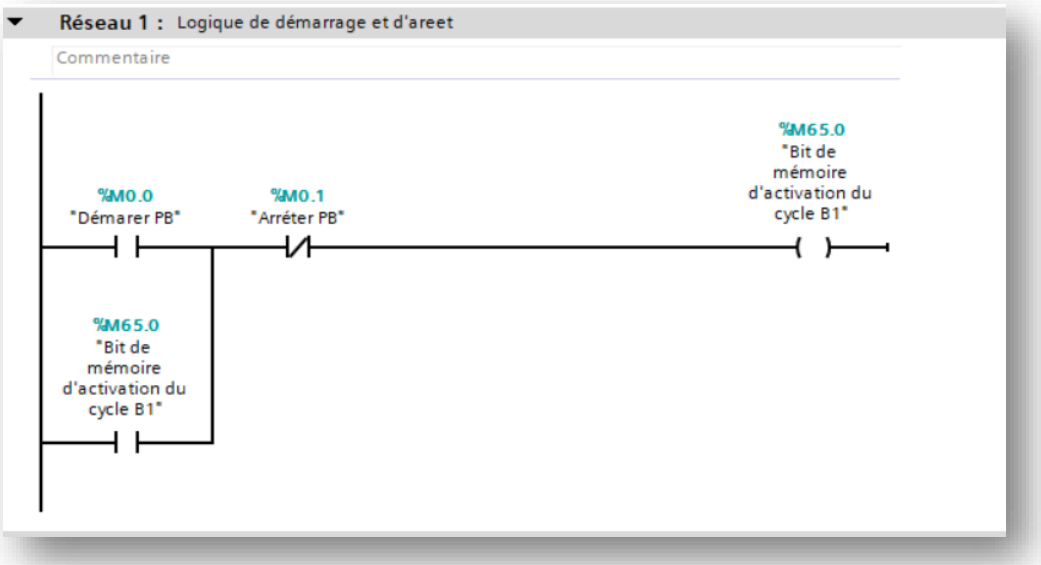


Figure V. 4: Réseau démarrage de cycle bac 1 AFIA

V.1.3.2. Démarrage des vannes bac 1 AFIA

Vanne 1 bac 1

La vanne V1 B1 AFIA s'ouvre pour remplir le réservoir B1 seulement si trois choses sont vraies en même temps : on est en train de vouloir remplir le réservoir (cycle d'activation), le niveau est trop bas, et il n'est pas encore plein. Dès que le niveau remonte assez haut ou qu'on arrête le cycle de remplissage, la vanne se referme automatiquement. C'est une manière simple et sûre de gérer le niveau du liquide dans le réservoir.

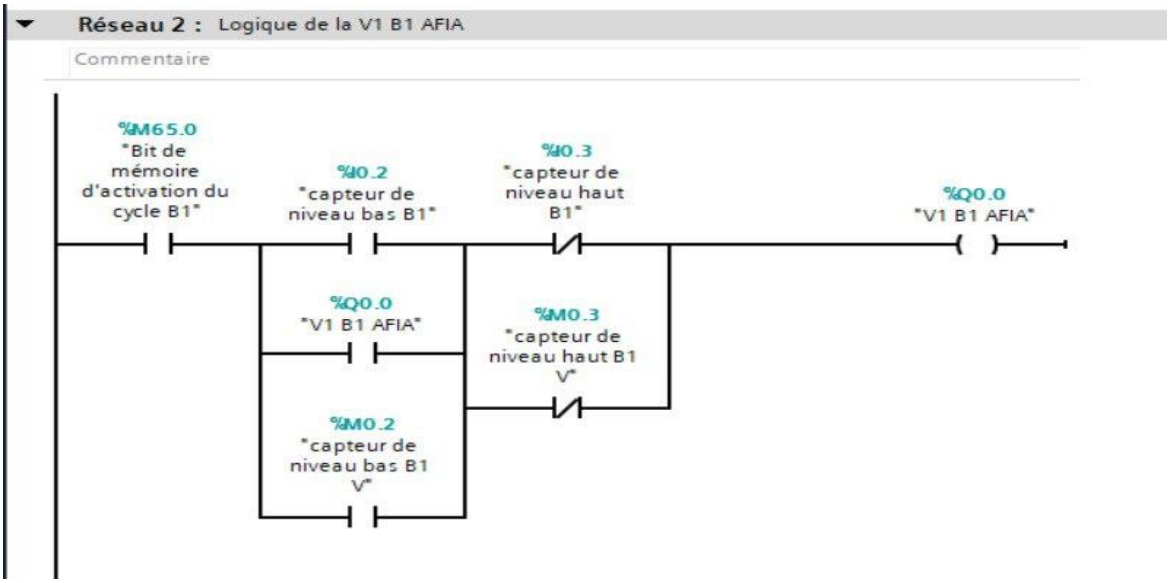


Figure V. 5: Réseau vanne 1 bac1 AFIA

Vanne 2 bac1

La vanne V2 B1 AFIA ne s'ouvre pour le conditionnement que si le cycle est actif, que le niveau dans le réservoir est suffisamment haut et qu'il reste du liquide à évacuer. Elle ne s'active pas si une autre vanne comme V2 B2 Oléor est déjà utilisée. Elle se ferme automatiquement dès qu'une de ces conditions disparaît, assurant ainsi un conditionnement sécurisé sans vidange complète ni conflit entre circuits.

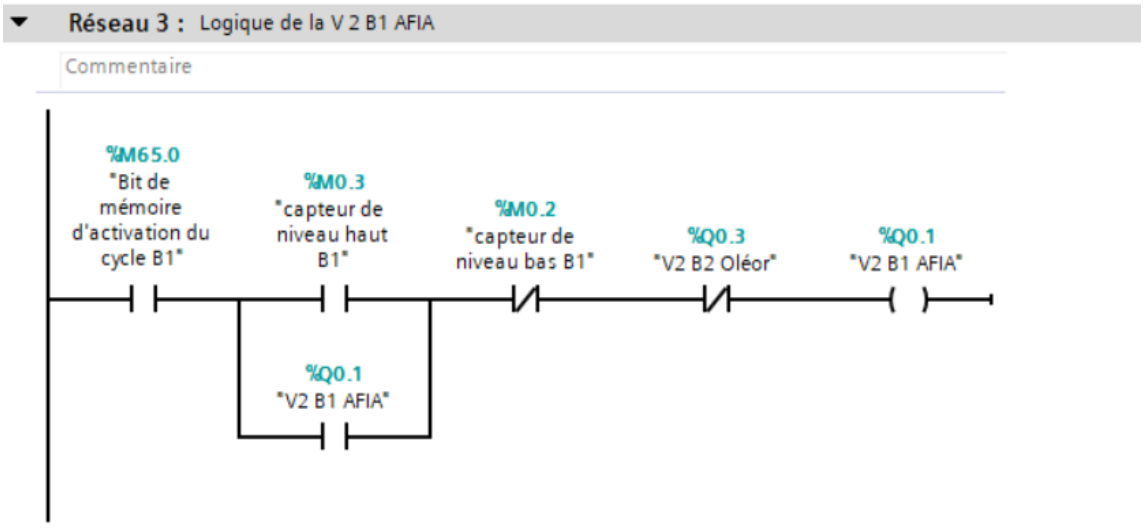


Figure V. 6: Réseau vanne 2 bacs 1 AFIA

V.1.3.3. Démarrage de cycle bac 2 OLÈOR

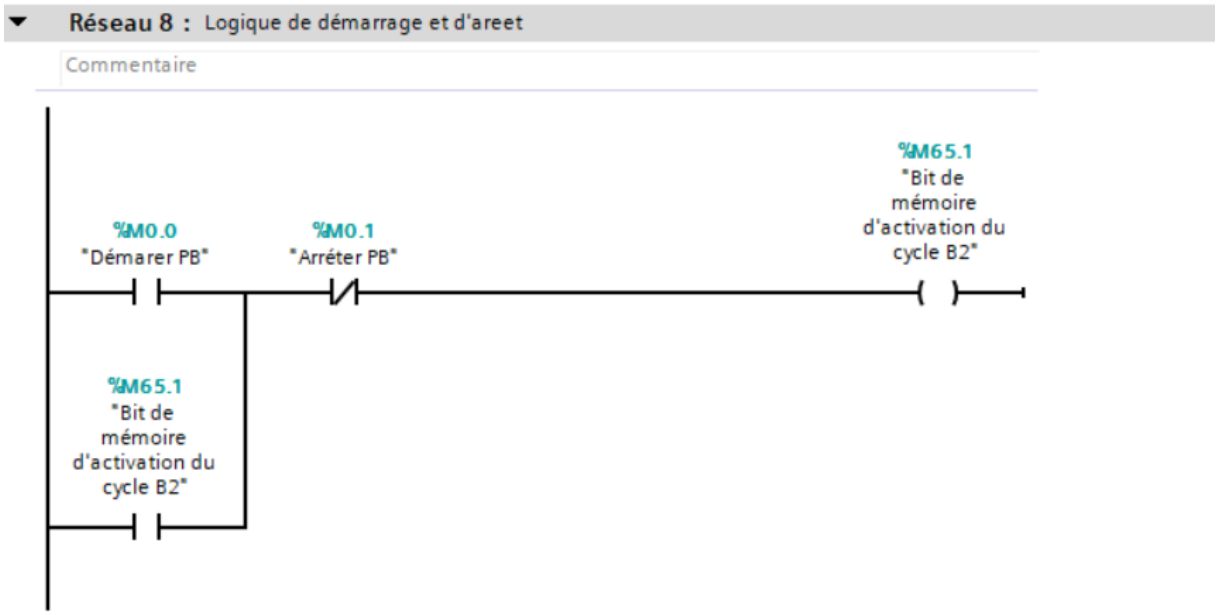


Figure V. 7: Réseau démarrage de cycle bac 2 OLÈOR

V.1.3.4. Démarrage des vannes bac 2 OLÈOR

Vanne 1 bac 2

La vanne V1 B2 Oléor s'ouvre si le cycle B1 est actif, que le réservoir B2 n'est pas plein, et que soit le niveau bas de B2 est détecté, soit la vanne est déjà ouverte (pour maintenir son état pendant le remplissage).
Elle se referme automatiquement si une des conditions cesse d'être remplie, assurant un contrôle sécurisé du niveau du réservoir.

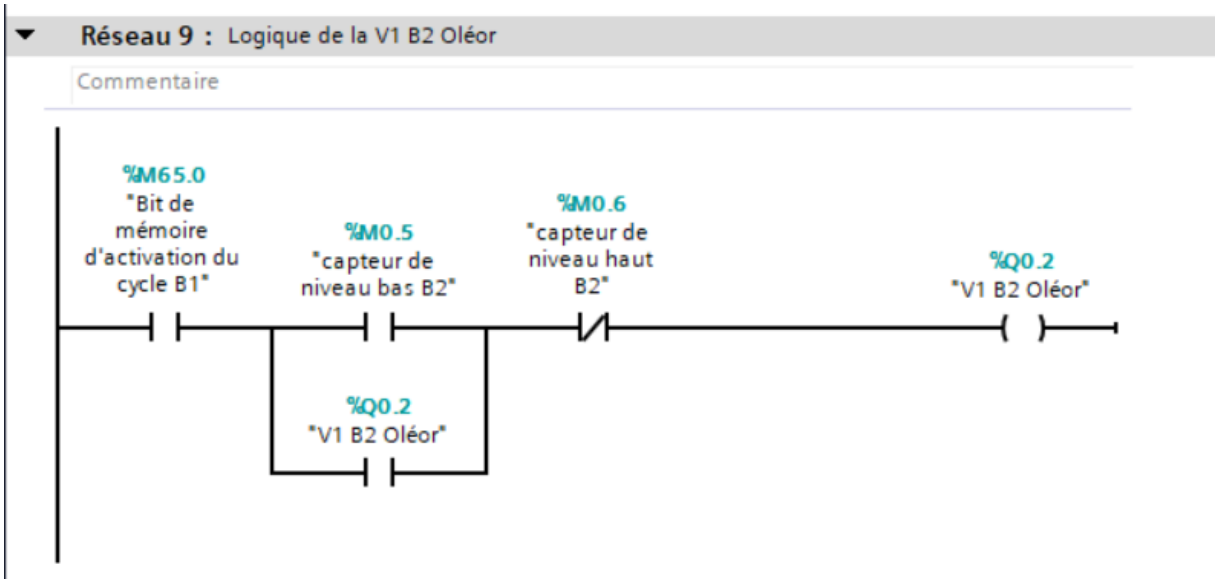


Figure V. 8: Réseau vanne 1 bac 2 OLÈOR

Vanne 2 bacs 2

La vanne V2 B2 Oléor ne s'ouvre pour le conditionnement que si le cycle est actif, que le niveau dans le réservoir est suffisamment haut et qu'il reste du liquide à évacuer. Elle ne s'active pas si une autre vanne comme V2 B2 AFIA est déjà utilisée. Elle se ferme automatiquement dès qu'une de ces conditions disparaît, assurant ainsi un conditionnement sécurisé sans vidange complète ni conflit entre circuits.

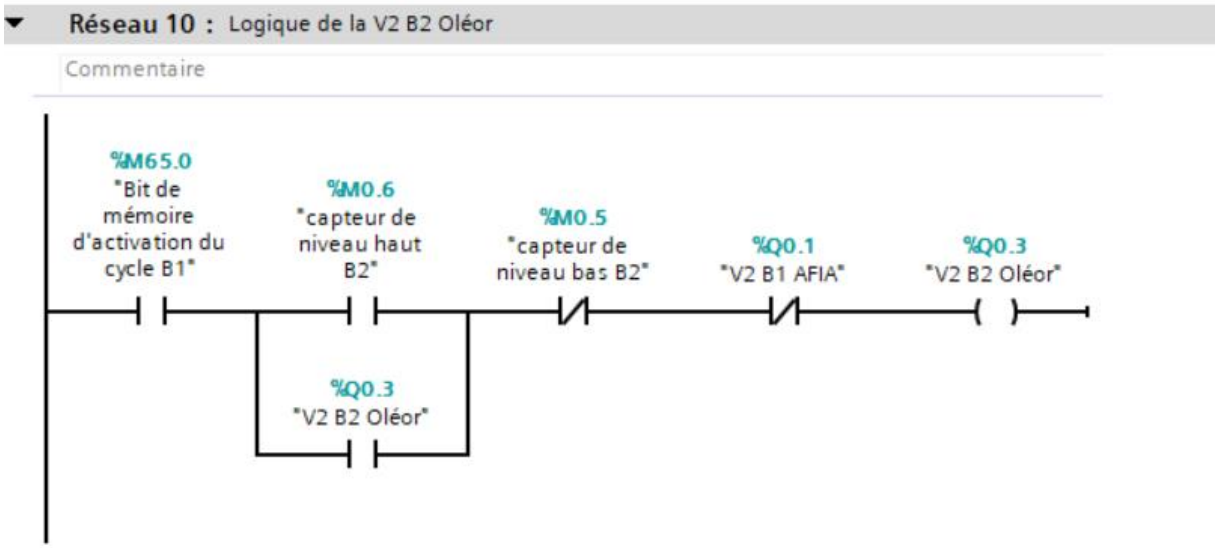


Figure V. 9: Réseau vanne 2 bac2 OLÈOR

V.1.3.5. Logique d'incrémentation et de décrémentation

Compteur B1

Nous avons conçu une logique de contrôle pour suivre les variations du volume d'huile à l'intérieur du réservoir de stockage B1. Pour ce faire, nous utilisons un compteur numérique (%MD50 compteur B1) qui enregistre les changements du volume d'huile.
Pour déterminer l'augmentation du volume d'huile, nous utilisons l'instruction ADD (addition). Lorsque la vanne de remplissage V1 B1 AFIA (%Q0.0) est activée, nous ajoutons une unité de volume constante (représentée par la valeur 1) à la valeur actuelle du compteur (%MD50).
Inversement, pour déterminer la diminution du volume d'huile, nous utilisons l'instruction SUB (soustraction). Lorsque la vanne de vidange V2 B1 AFIA (%Q0.1) est activée, nous soustrayons une unité de volume constante (représentée par la valeur 1) de la valeur actuelle du compteur (%MD50)

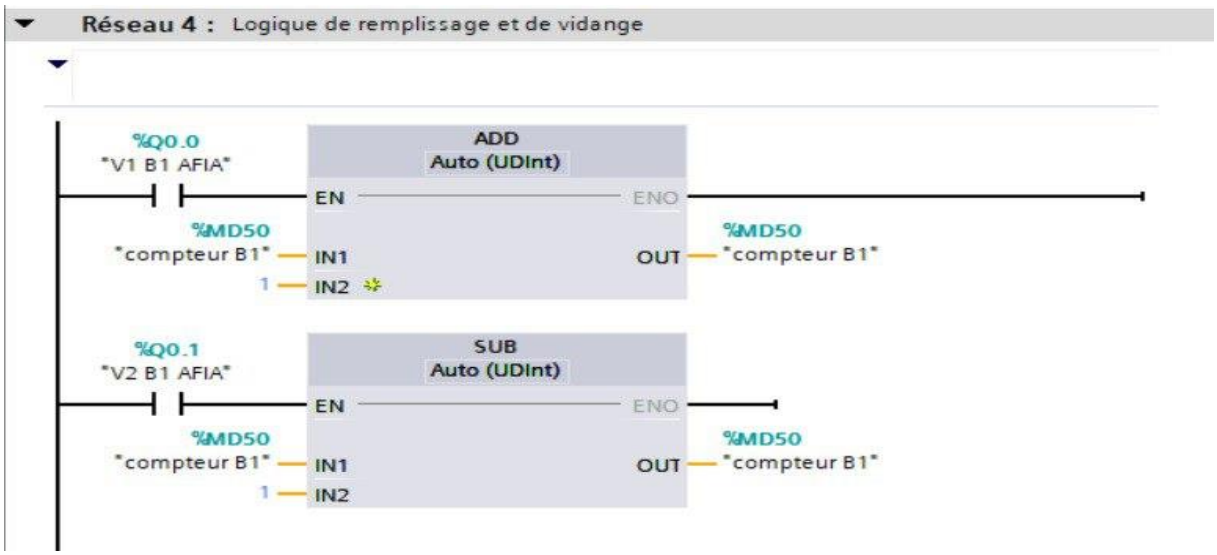


Figure V. 10: Réseau de d'incrémentation et de décrémentation du compteur B1

V.1.3.6. La mise à l'échelle du compteur B1 pour obtenir le niveau d'huile BAC B1

L'instruction SCALE permet ici de faire une mise à l'échelle de la mesure analogique, pour obtenir une valeur significative (par exemple un pourcentage de remplissage), utilisable dans la supervision ou pour le contrôle direct de la vanne du réservoir d'huile B1.

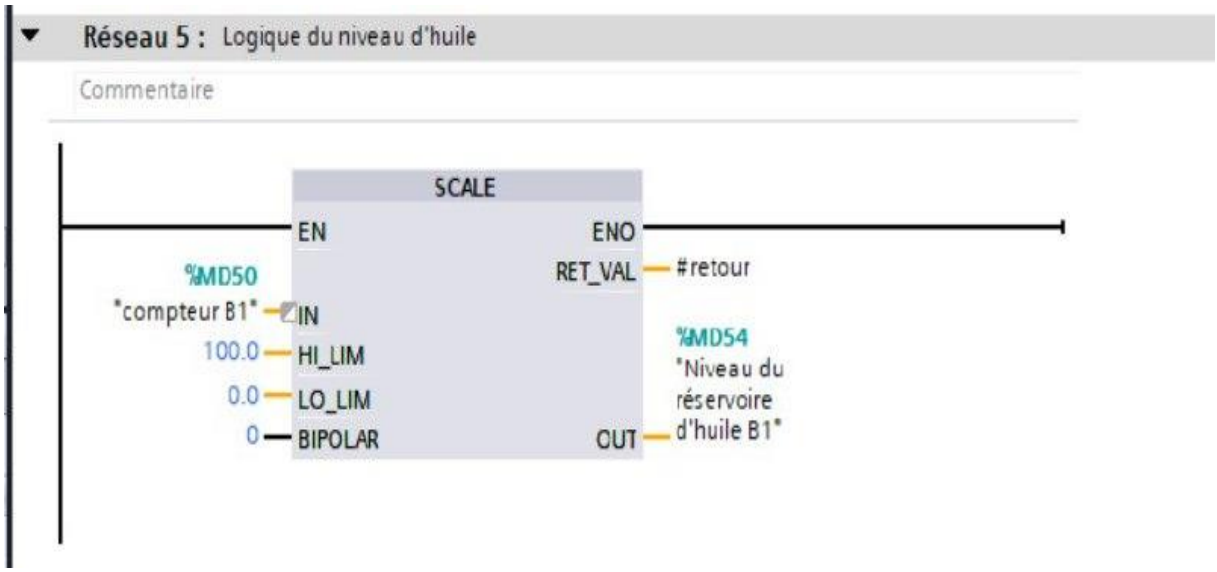


Figure V. 11: La mise à l'échelle du compteur B1 pour obtenir le niveau d'huile réservoir B1

V.1.3.7. Contrôle du niveau d'huile

BAC 1

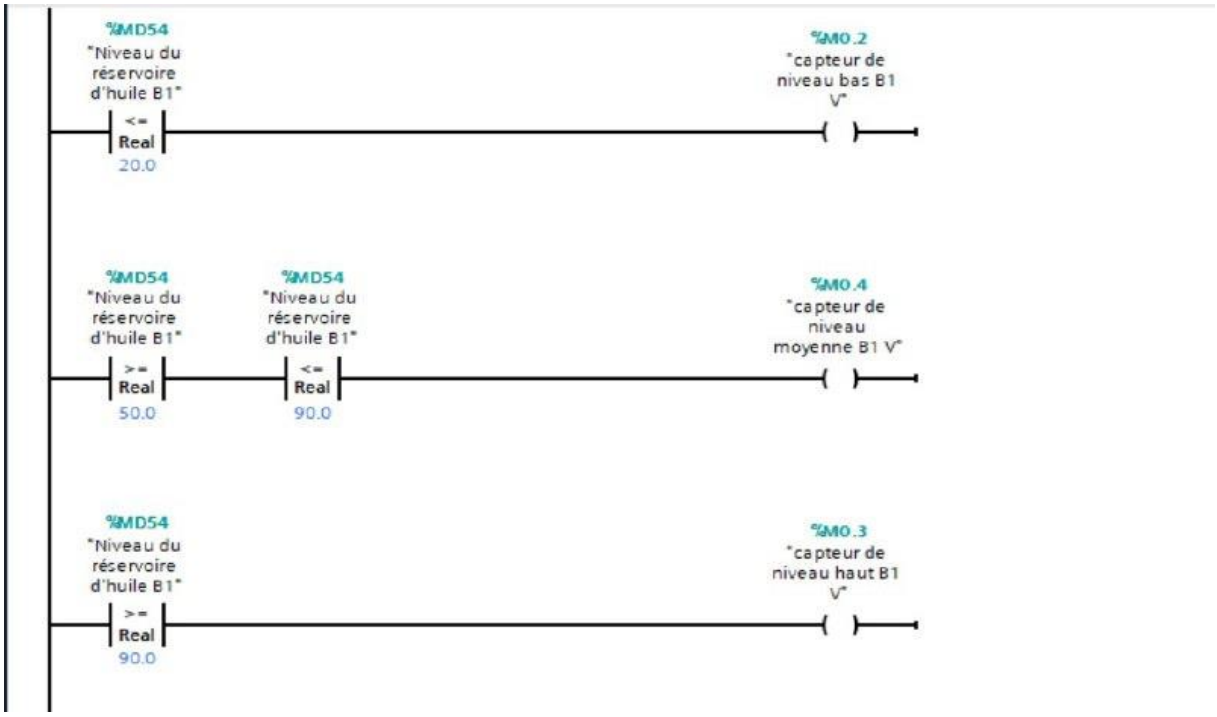


Figure V. 12: Système de contrôle du niveau d'huile B1

V.1.3.8. Commande la vanne de vidange

Bac 1

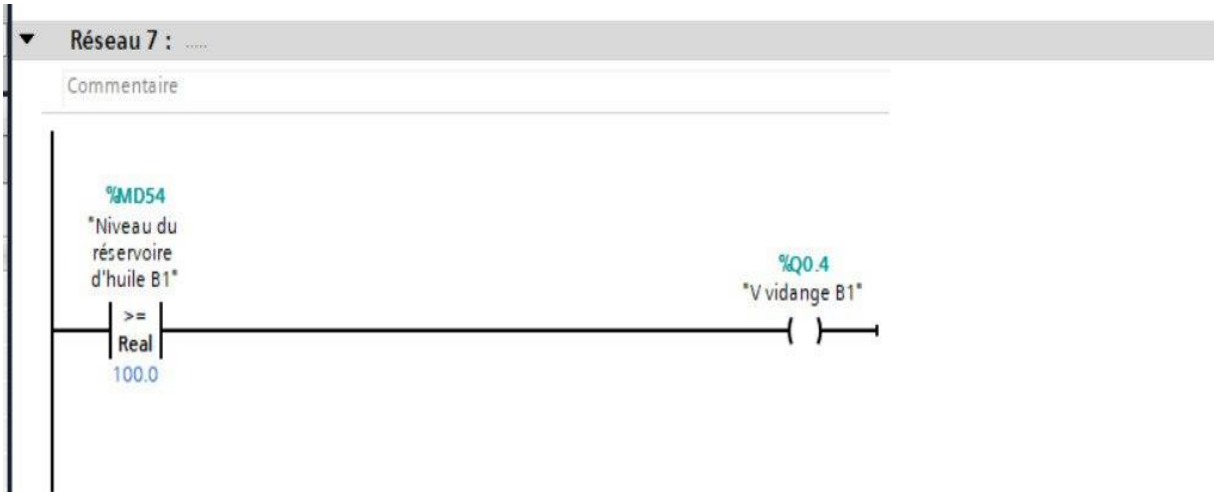


Figure V. 13: Réseau démarrage de vidange B1

V.2. Supervision

L'interface de supervision affichée sur l'image est une interface homme-machine (HMI) développée avec Siemens SIMATIC. Elle est composée d'un ensemble d'éléments graphiques (cuves, indicateurs de niveau, boutons de commande, vannes) associés à des variables de processus. Le comportement de ces éléments (affichage de données, couleurs, états des vannes) dépend directement des valeurs de ces variables.

Les informations importantes à afficher dans notre interface sont :

- L'état des deux bacs d'huile (niveau)
- L'état des vannes (ouverture et fermeture)
- Une vue de commande avec boutons "Démarrer" et "Arrêter"
- Une zone d'état du système (voyants lumineux indiquant la marche ou l'arrêt du système)
- Une vue synthétique du processus global de transfert et de circulation de l'huile entre les deux bacs.
- Une vue d'alarme qui indique s'il y a des défauts.

V.2.1. Création et configuration de L'IHM

La création et la configuration de l'interface homme-machine (IHM) ayant été abordées au, [Voir chapitre III / page : 62] cette section se limitera à un rappel synthétique centré sur les aspects pertinents pour notre étude.

V.2.2. Tables des Mnémoniques (tables des variables IHM)

Variables IHM

Nom	Table de variables	Type de données	Connexion	Nom API	Variable API	Adresse
compteur B1	Table de variables standard	DWord	HMI_Liaison...	PLC_1	"compteur B1"	
Arréter PB	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"Arréter PB"	
Arréter PB V	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"Arréter PB V"	
Bit de mémoire dactivation du ...	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"Bit de mémoire d'activat..	
Bit de mémoire dactivation du ...	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"Bit de mémoire d'activat..	
capteur de niveau bas B1	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau bas B..	
capteur de niveau haut B1	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau haut ..	
capteur de niveau bas B1 V	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau bas B..	
capteur de niveau bas B2	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau bas B..	
capteur de niveau bas B2 V	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau bas B..	
capteur de niveau haut B1 V	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau haut ..	
capteur de niveau haut B2	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau haut ..	
capteur de niveau haut B2 V	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau haut ..	
capteur de niveau moyenne B1	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau moye..	
capteur de niveau moyenne B1 V	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau moye..	
capteur de niveau moyenne B2	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau moye..	
capteur de niveau moyenne B2 V	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"capteur de niveau moye..	
compteur B2	Table de variables standard	DWord	HMI_Liaison_1	PLC_1	"compteur B2"	
Démarer PB	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"Démarer PB"	
Démarer PB V	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"Démarer PB V"	
Niveau du réservoire dhuile B1	Table de variables standard	Real	HMI_Liaison_1	PLC_1	"Niveau du réservoire d'h..	
Niveau du réservoire dhuile B2	Table de variables standard	Real	HMI_Liaison_1	PLC_1	"Niveau du réservoire d'h..	
V vidange B1	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"V vidange B1"	
V vidange B2	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"V vidange B2"	
V1 B1 AFIA	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"V1 B1 AFIA"	
V1 B2 Oléor	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"V1 B2 Oléor"	
V2 B1 AFIA	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"V2 B1 AFIA"	
V2 B2 Oléor	Table de variables standard	Bool	HMI_Liaison_1	PLC_1	"V2 B2 Oléor"	

Figure V. 14: Variable IHM

V.2.3. Création des Vues

Pour créer une vue, le processus consiste à effectuer les étapes suivantes : double-cliquer sur l'option "Vues", puis cliquer sur "Ajouter une vue". Ensuite, nous procéderons à l'insertion d'objets et d'éléments tels que des vannes, des réservoirs, des tuyaux, etc., en utilisant la fenêtre "Accessoires". Les vues constituent les principaux éléments du projet, offrant la possibilité de visualiser et de surveiller le système. L'interface graphique de ce réservoir se compose de deux vues principales, permettant ainsi la visualisation et la surveillance du système.

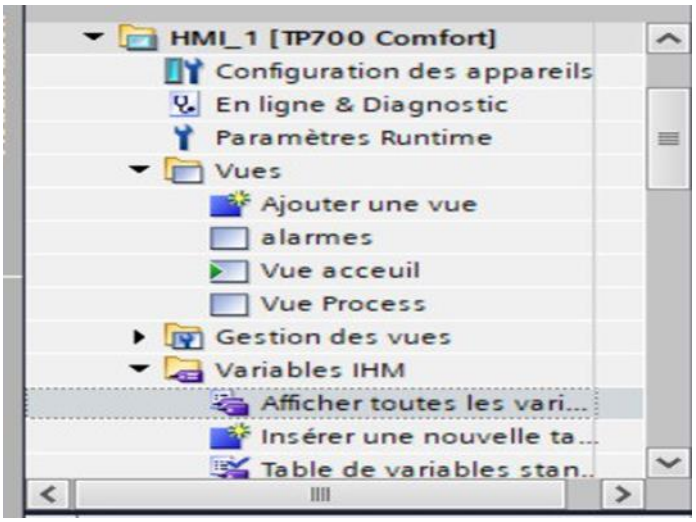


Figure V. 15: Vues de notre IHM

V.2.4. Présentation des différentes vues du projet

V.2.4.1. La vue principal (HOME)

La vue principale (home) est une interface générale qui présente deux bacs de stockage d'huile ainsi que les instruments et actionneurs nécessaires à leur gestion. Cette vue a été conçue pour permettre une surveillance en temps réel des niveaux d'huile dans chaque bac à l'aide de jauges graduées, avec des repères pour les niveaux haut (H), moyen (M) et bas (B). Elle permet également de visualiser l'état des électrovannes qui contrôlent le remplissage et la vidange des bacs. Les boutons "Démarrer" et "Arrêter" situés à gauche de l'écran permettent de commander manuellement le système. Deux voyants indiquent si le système est en marche ou à l'arrêt. Enfin, cette interface principale donne accès aux autres vues du système via les icônes situées en bas de l'écran, facilitant ainsi la navigation et le diagnostic global.

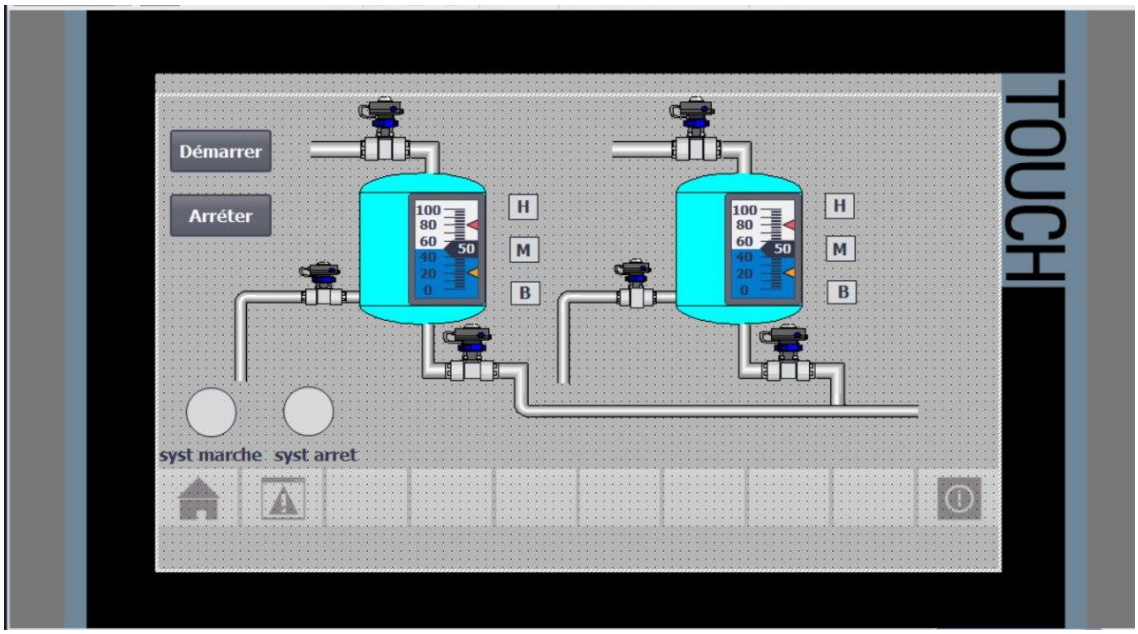


Figure V. 16: Vue home

V.2.4.2. Vue d'alarme

La vue d'alarme dans TIA Portal V16 est une fonctionnalité essentielle qui assure la surveillance en temps réel des événements et des erreurs du système. Elle fournit des informations détaillées sur les alarmes et les événements se produisant dans le système automatisé, permettant ainsi d'intervenir rapidement en cas de problème. Dans la vue d'alarme, les informations affichées comprennent le type d'alarme, la priorité, l'heure de déclenchement et l'emplacement de l'alarme. Il est possible de filtrer les alarmes en fonction de critères tels que la priorité, le type d'alarme et la zone géographique, facilitant ainsi l'analyse des alarmes. Pour créer des alarmes, il est nécessaire de se rendre dans la section "Alarme IHM" et de choisir le type d'alarme, que ce soit une alarme tout ou rien ou une alarme analogique.

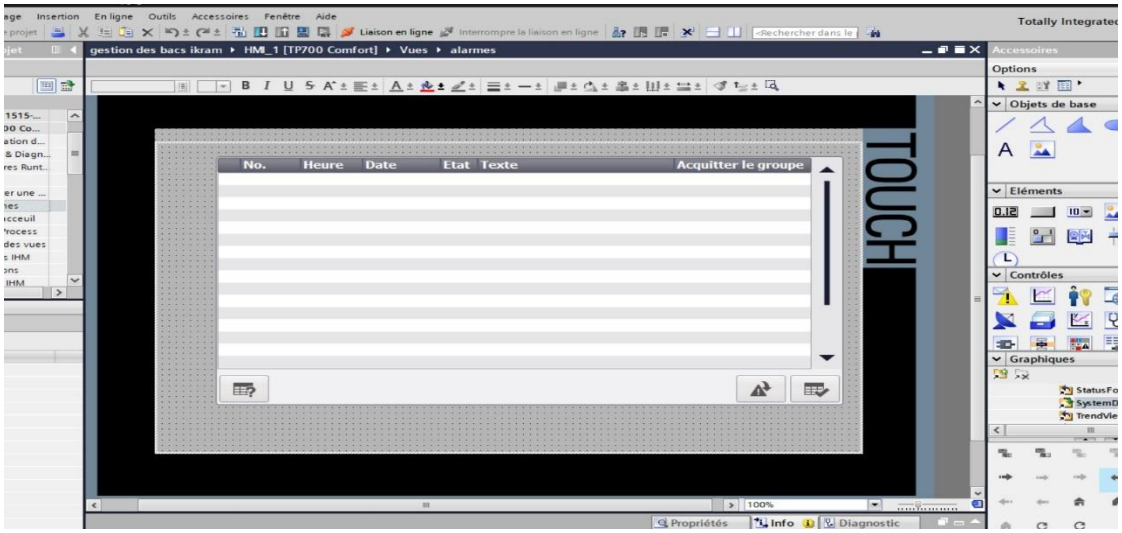


Figure V. 17: Vue d'alarme

V.3. Communication

Dans cette partie du projet, l'objectif est d'assurer la gestion complète des deux bacs de stockage d'huile, en centralisant toutes les données et les variables de l'interface vers l'automate principal, qui est l'automate S7-1500. Cet automate joue le rôle de maître du système et permet d'afficher en temps réel les niveaux, états des vannes sur l'interface principale du projet. En plus de l'affichage, il permet également de contrôler les opérations de remplissage, de vidange et de circulation de l'huile entre les deux bacs. En résumé, cette étape a pour but de centraliser à la fois la supervision et le pilotage du système de stockage d'huile en utilisant l'automate S7-1500 comme unité centrale de commande et de traitement.

V.3.1. Configuration de la communication

V.3.1.1. Configuration matérielle

Nous avons réalisé un nouveau projet dans TIA Portal où nous avons procédé à la configuration d'un automate Siemens S7-1500 (CPU 1515-2 PN) ainsi qu'une interface homme-machine HMI de type TP700 Comfort. Les deux équipements ont été intégrés dans le même réseau industriel Profinet (PN/IE_1), assurant ainsi une communication fluide entre l'automate et l'interface HMI. Cette configuration permet une supervision efficace du processus automatisé via l'écran HMI connecté à l'automate.

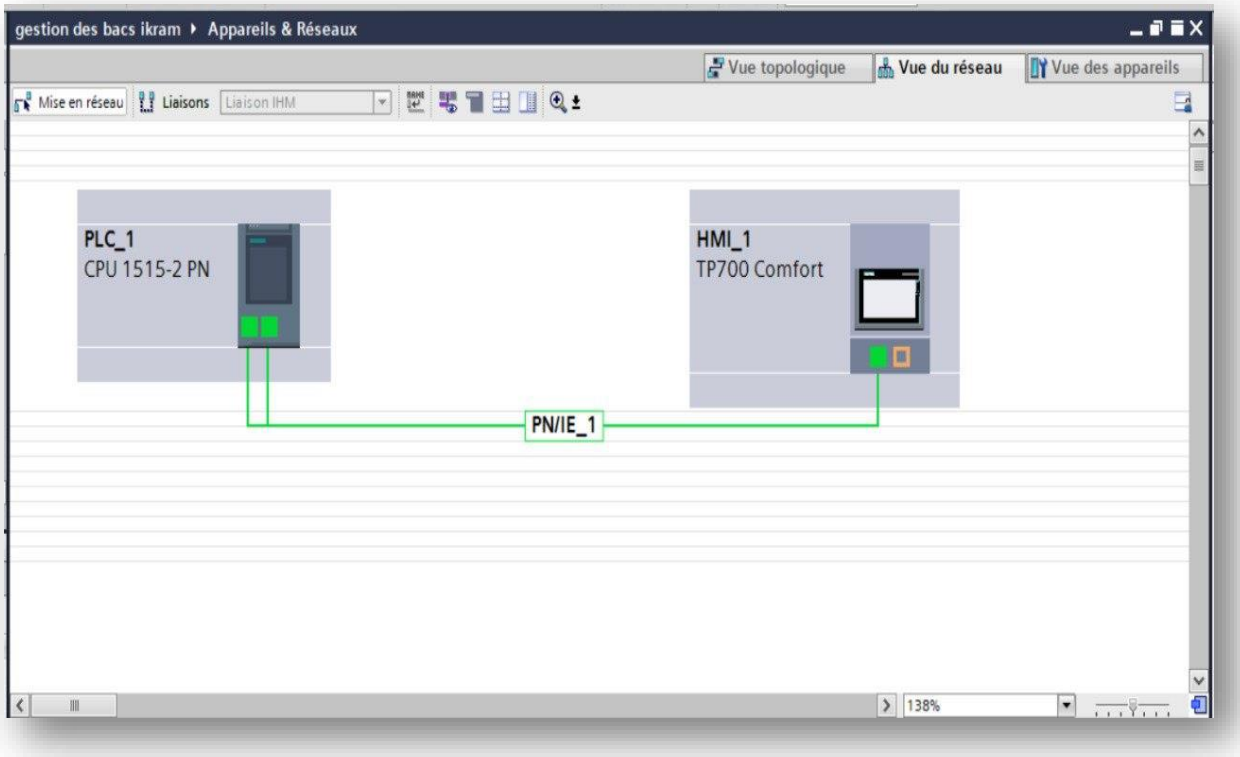


Figure V. 18: Configuration matérielle des deux automates.

V.3.1.2. Configuration des adresses IP

Tout d'abord, nous avons attribué des adresses IP uniques aux automates et aux autres Périphériques du réseau. Nous pouvons spécifier ces adresses IP dans les paramètres de Chaque automate dans le TIA Portal. Il est essentiel de s'assurer que chaque appareil a une adresse IP unique pour éviter les conflits

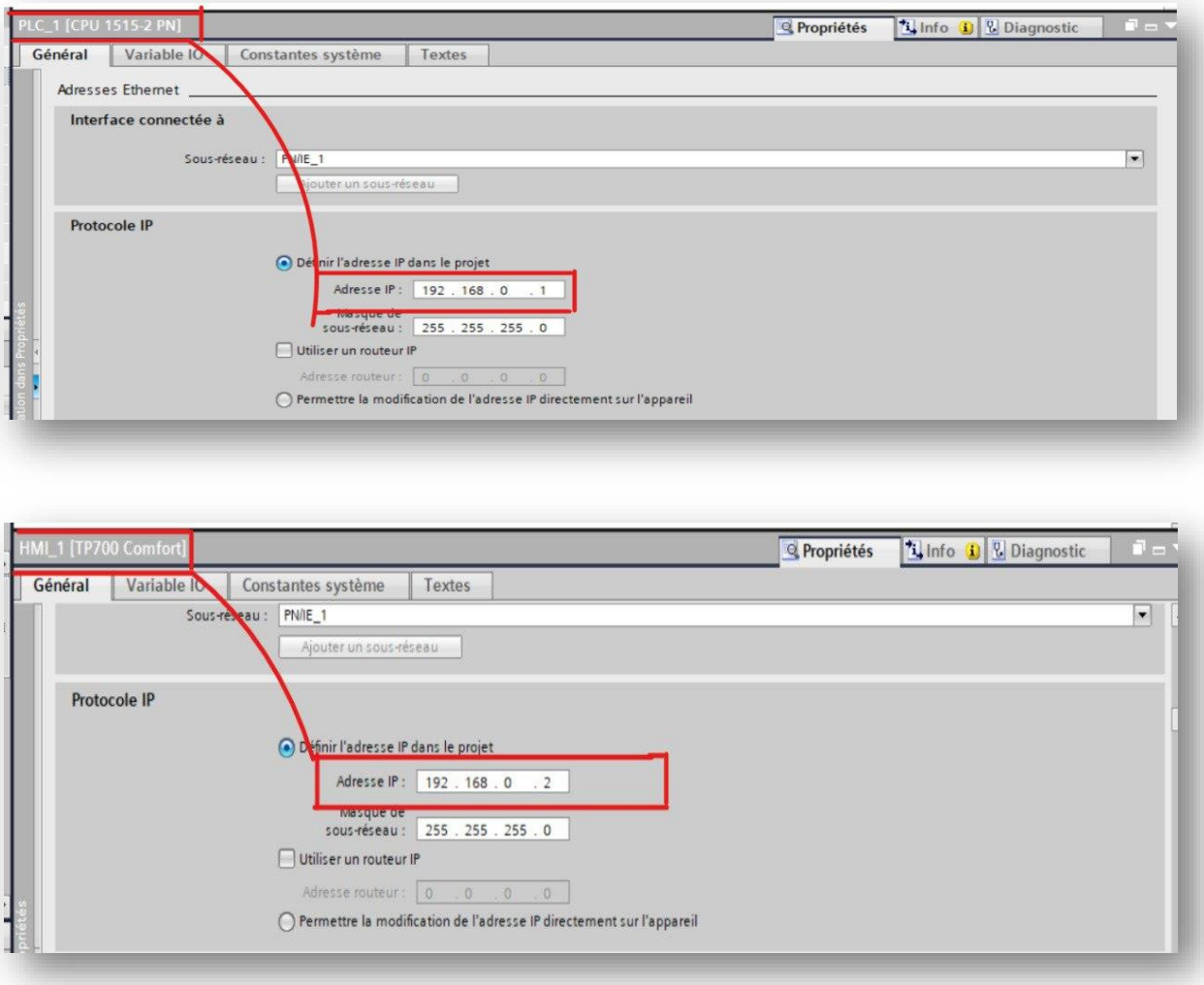


Figure V. 19: Configuration des adresses IP

V.4. Simulation

Dans cette partie, nous aborderons la simulation du programme de contrôle de bac et de l'interface homme-machine à l'aide des logiciels PL Csim et WinCC Runtime Advanced. La simulation nous permettra de vérifier le bon fonctionnement de notre système sans avoir à le mettre en production réelle.

V.4.1. Chargement et simulation du programme

Pour commencer la simulation, nous devons d'abord exécuter le logiciel PLCSIM V16.

Ensuite, nous devons charger le programme dans le simulateur.

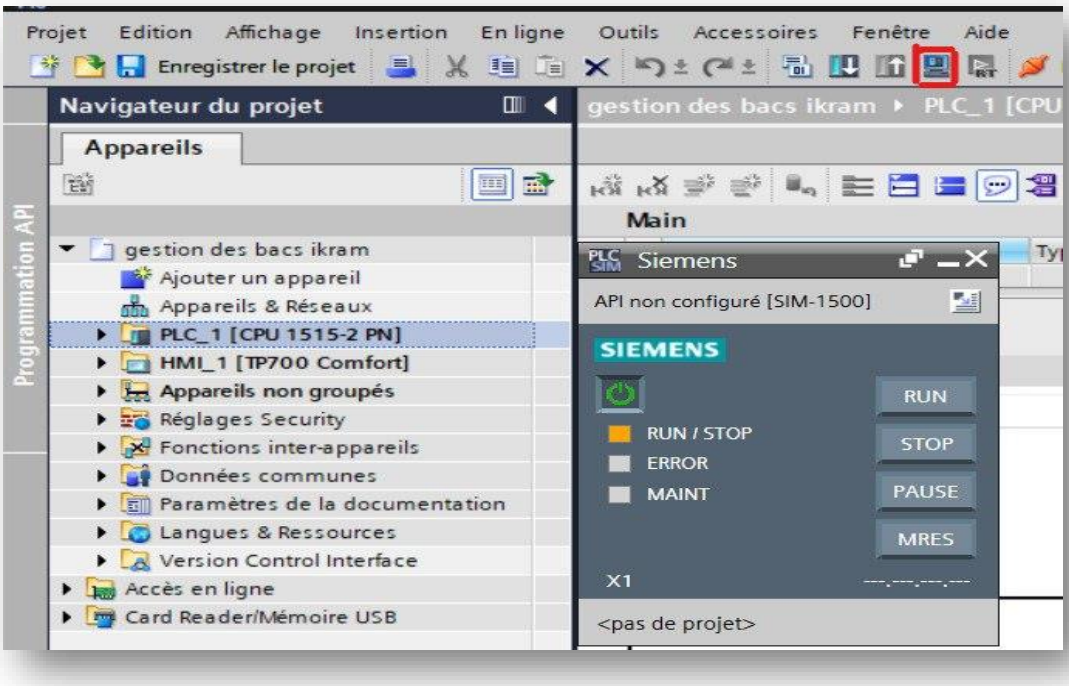


Figure V. 20: Lancement de la simulation

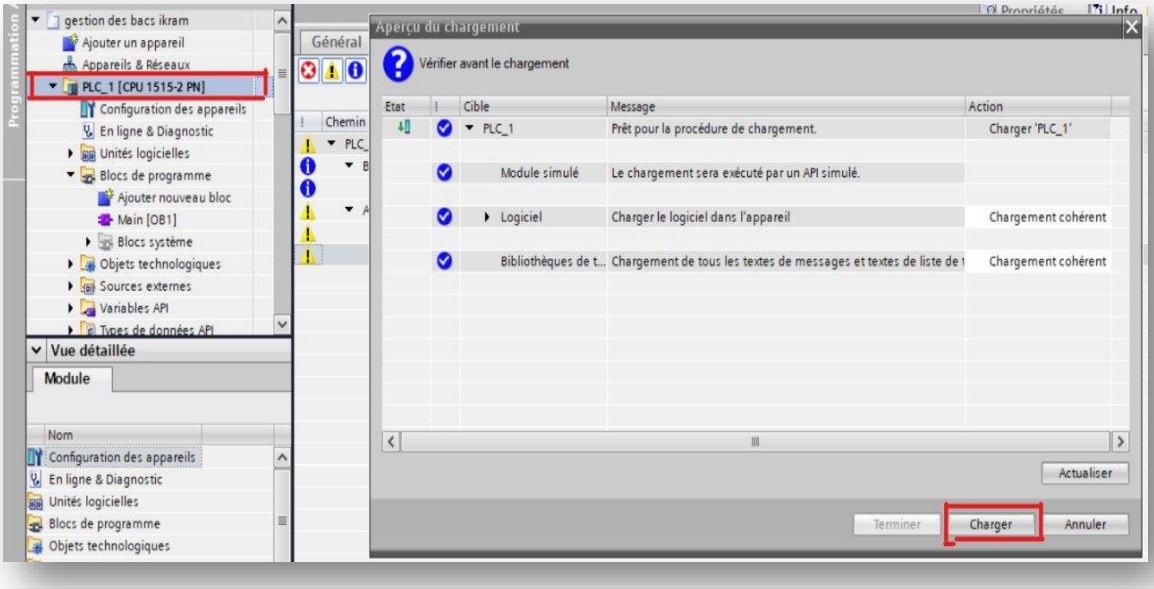


Figure V. 21: Chargement du programme dans plcsim V16

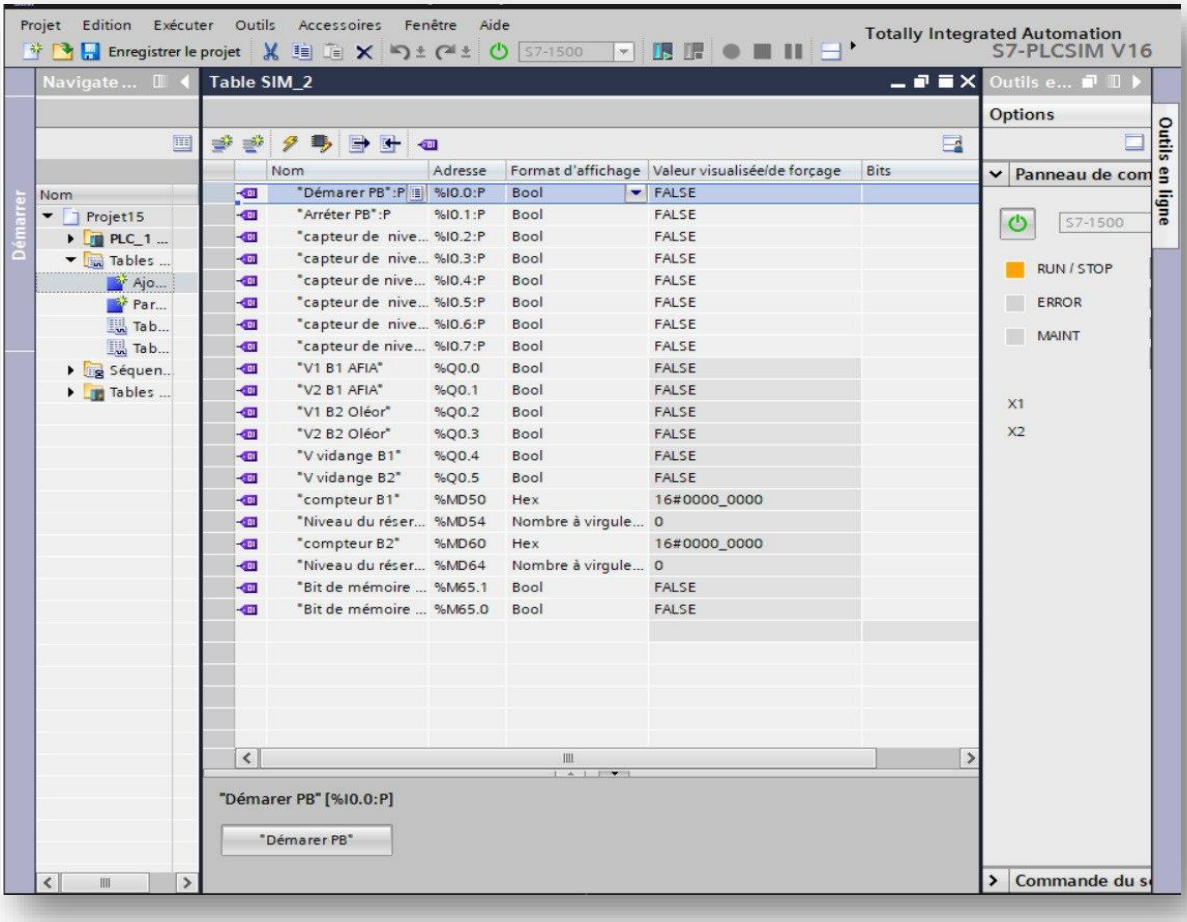


Figure V. 22: S7 PLCSIM V16

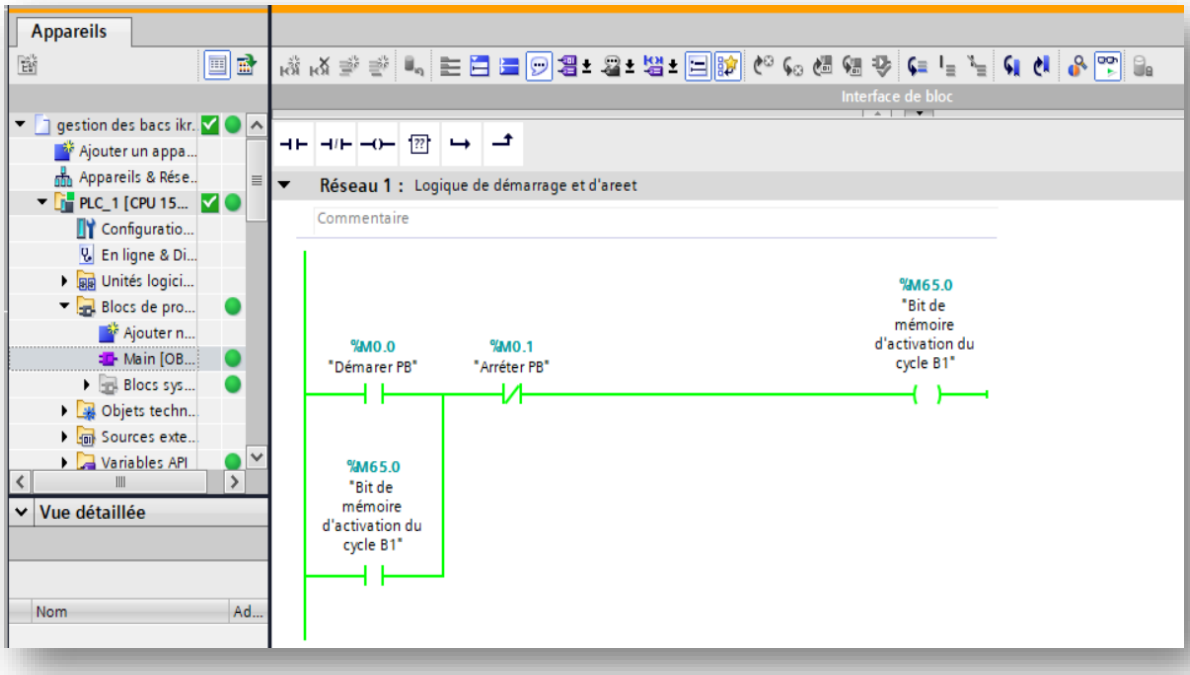


Figure V. 23: Simulation de blocs d'organisation main OB 1

V.4.1.1. Les vues de simulations :

V.4.1.1. Vue de Simulation du bac 1 AFIA

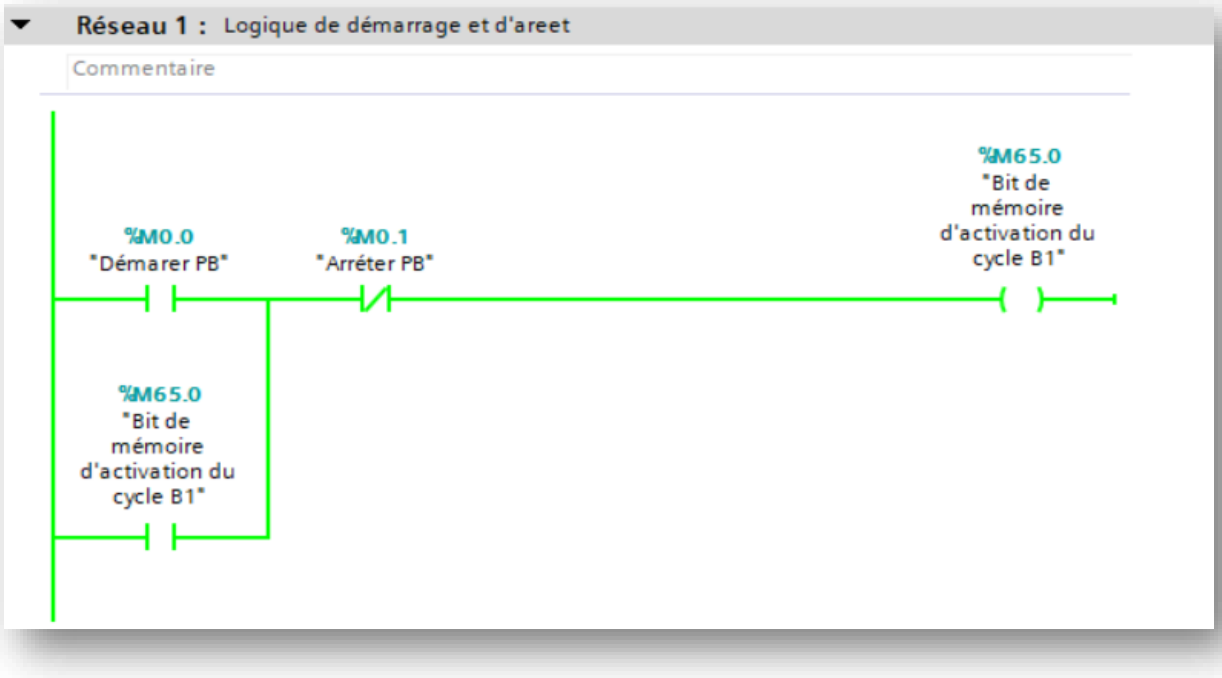


Figure V. 24: Simulation de démarrage et de l'arrêt de cycle B1

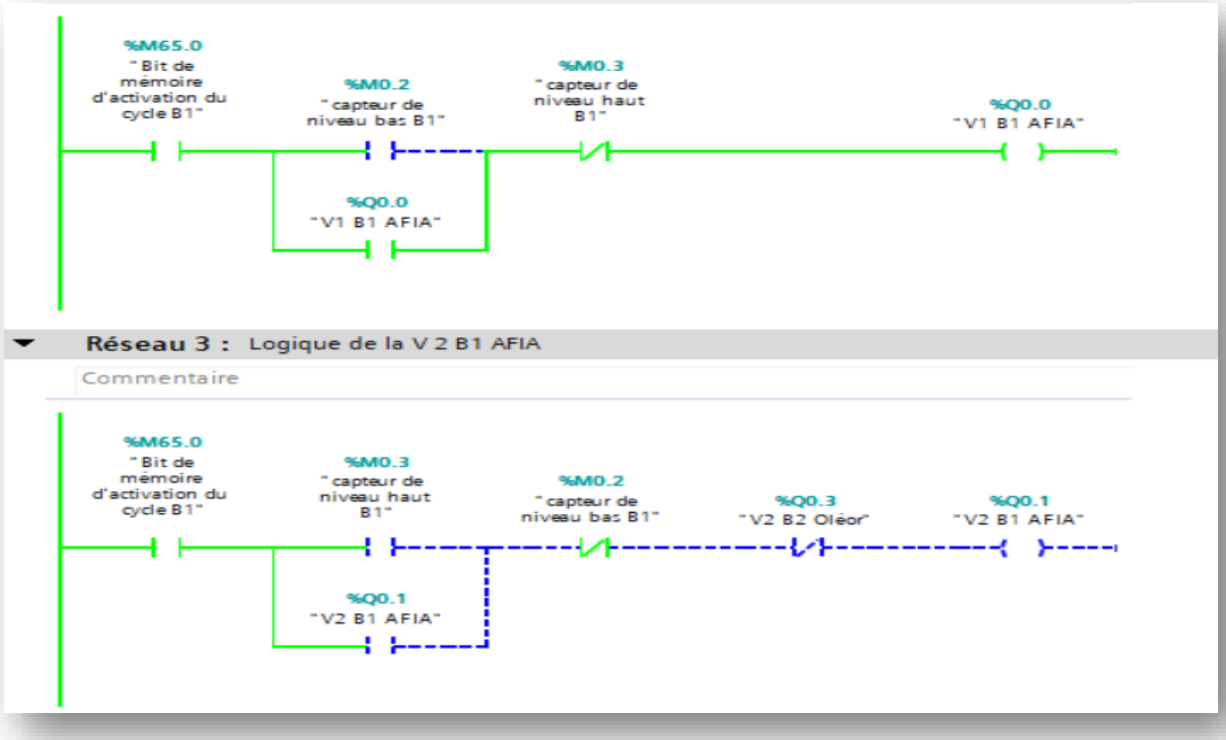


Figure V. 25: Simulation de démarrage et de l'arrêt des vannes

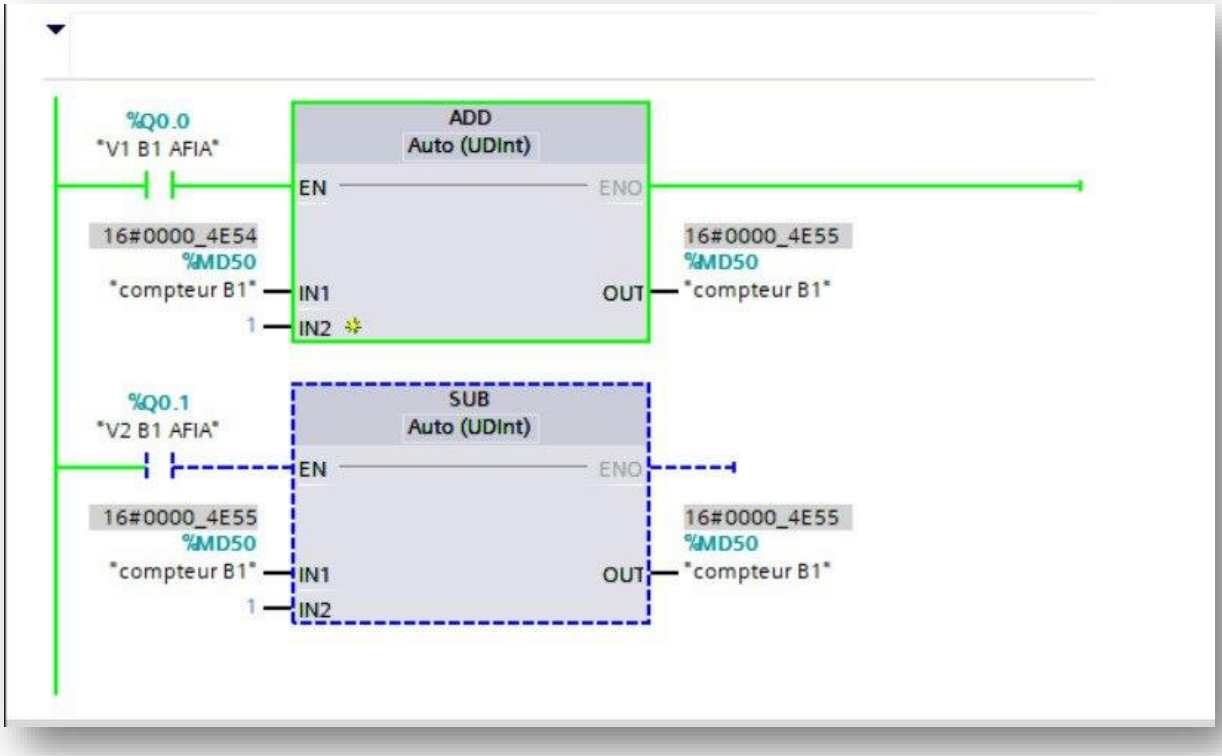


Figure V. 26: Simulation de d'incrémentation et de décrémentation du compteur B1

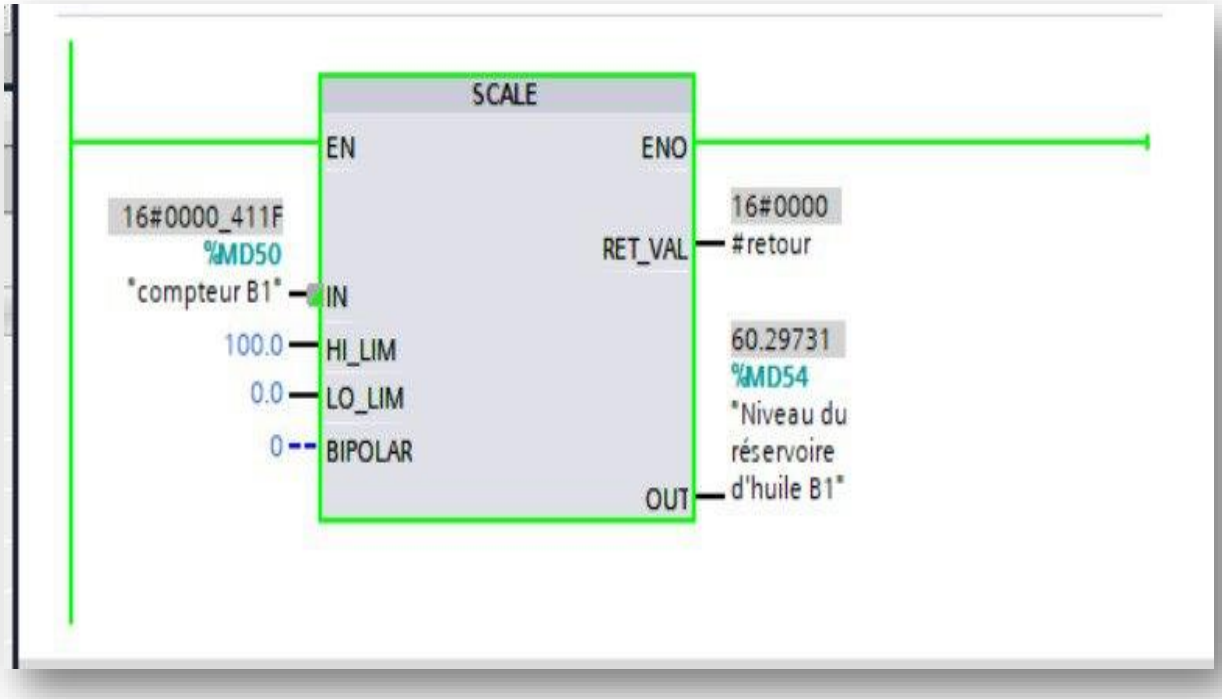


Figure V. 27: Simulation de la mise à l'échelle du compteur B1 pour obtenir le niveau d'huile du réservoir B1

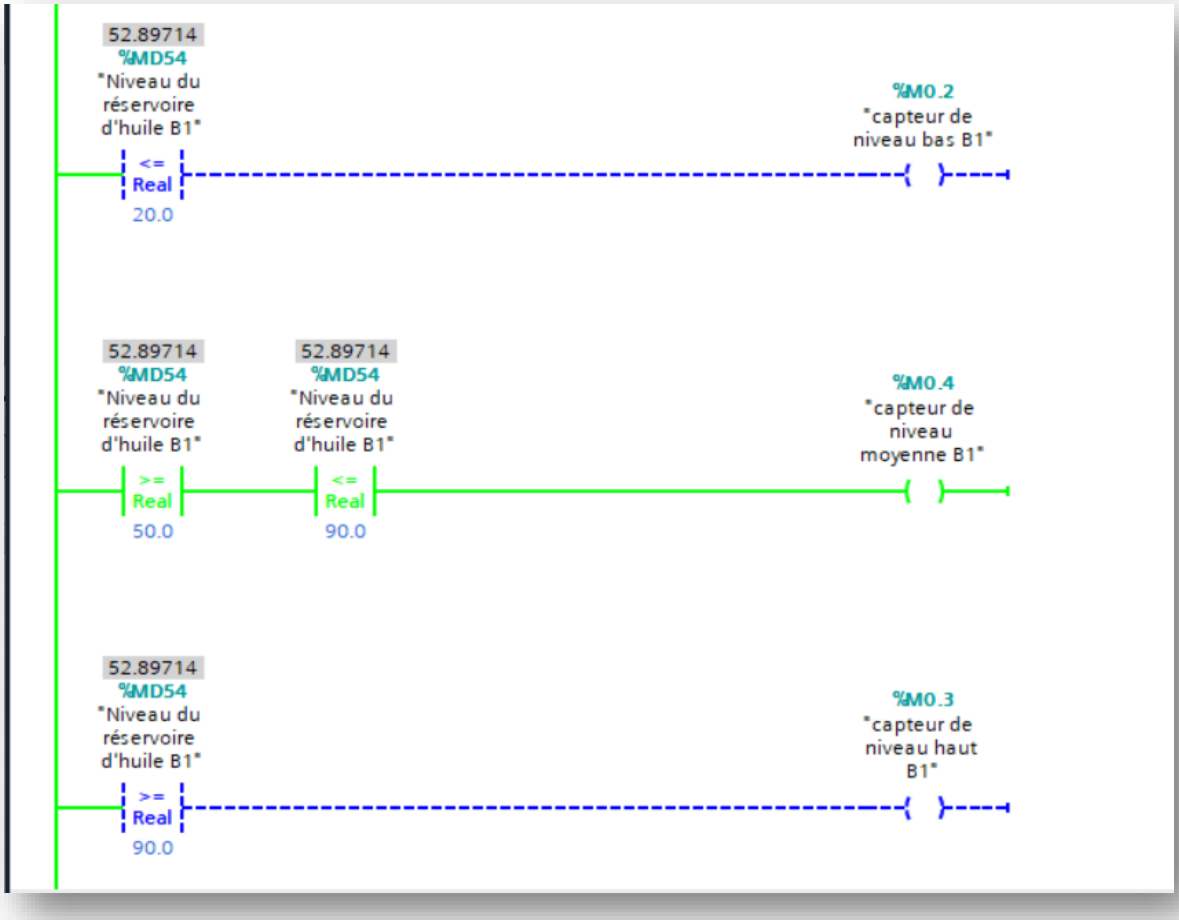


Figure V. 28: Simulation du système de contrôle du niveau d'huile B1

Figure V. 29: Simulation de la vidange du Bac 1

V.5 Communication à distance avec l'automate via node red

Dans ce projet, l'application Node-RED a été utilisée pour établir une communication à distance avec l'automate. En s'appuyant sur le protocole MQTT, elle permet la collecte, le traitement et la transmission des données vers des interfaces de supervision web ou des services cloud. Grâce à son interface visuelle intuitive, Node-RED facilite également l'envoi de commandes à l'automate, rendant possible une intégration souple et efficace des systèmes d'automatisation dans des environnements distribués et connectés.

V.5.1 Pré-requis pour le tutoriel : outils et logiciels nécessaires

Pour commencer Node-Red doit etre installe ainsi que TIA Portal et PLCSim Advanced.

V.5.2. Node-RED – Configuration

Node-RED utilise un langage graphique qui permet de relier des blocs appelés « nœuds » pour effectuer différentes opérations. Nous utiliserons ici une bibliothèque (ou « Palette ») qui gère directement les communications S7 et les connecte à d'autres nœuds pour envoyer ou récupérer des données.

Node-RED doit etre ouvert dans navigateur web (via l'adresse « http://localhost:1880 »). L'interface Node-RED devrait apparaître. L'espace blanc au milieu correspond à l'espace de travail où nous plaçons et lions les nœuds. À gauche se trouve la liste des nœuds, où vous trouverez tous les nœuds disponibles dans votre logiciel.

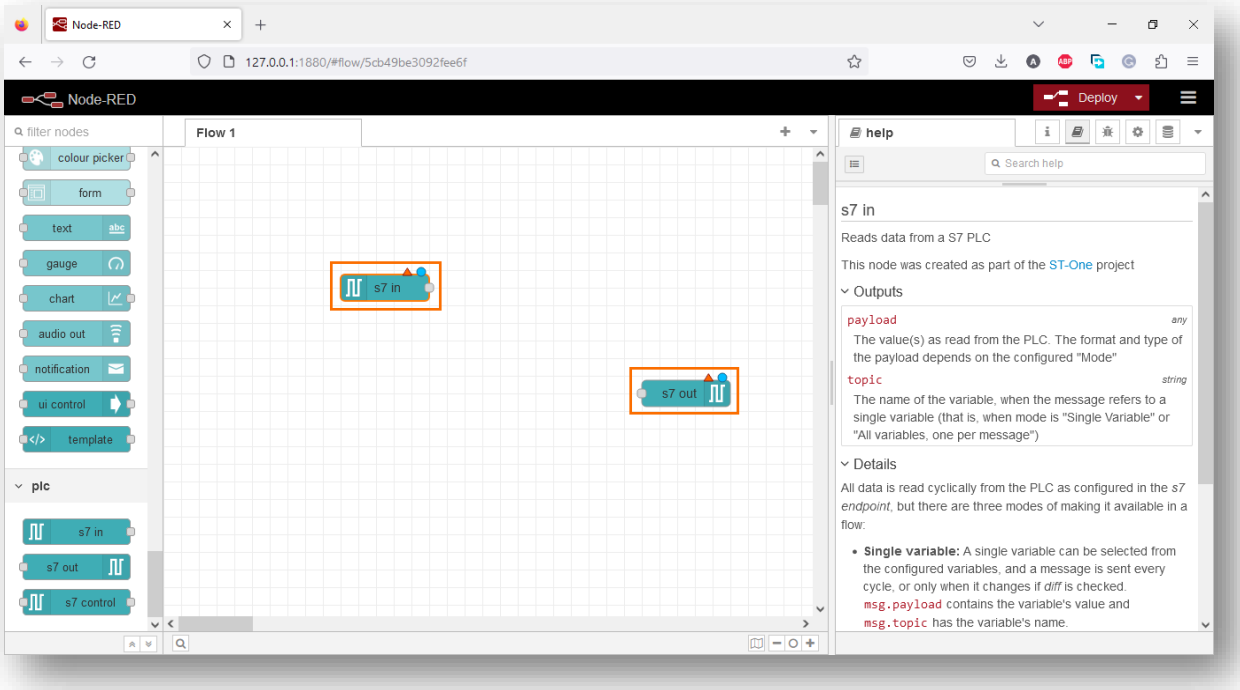


Figure V. 30: Utilisation de Node-Red avec la programmation d'API Siemens TIA Portal | Nœuds d'entrée et de sortie S7

- Après avoir configuré les paramètres de connexion, nous devons définir toutes les variables auxquelles nous souhaitons accéder dans ce point de terminaison. Pour cela, ouvrez l'onglet « Variables » et ajoutez toutes les balises et éléments de base de données créés dans l'automate, comme illustré ci-dessous.

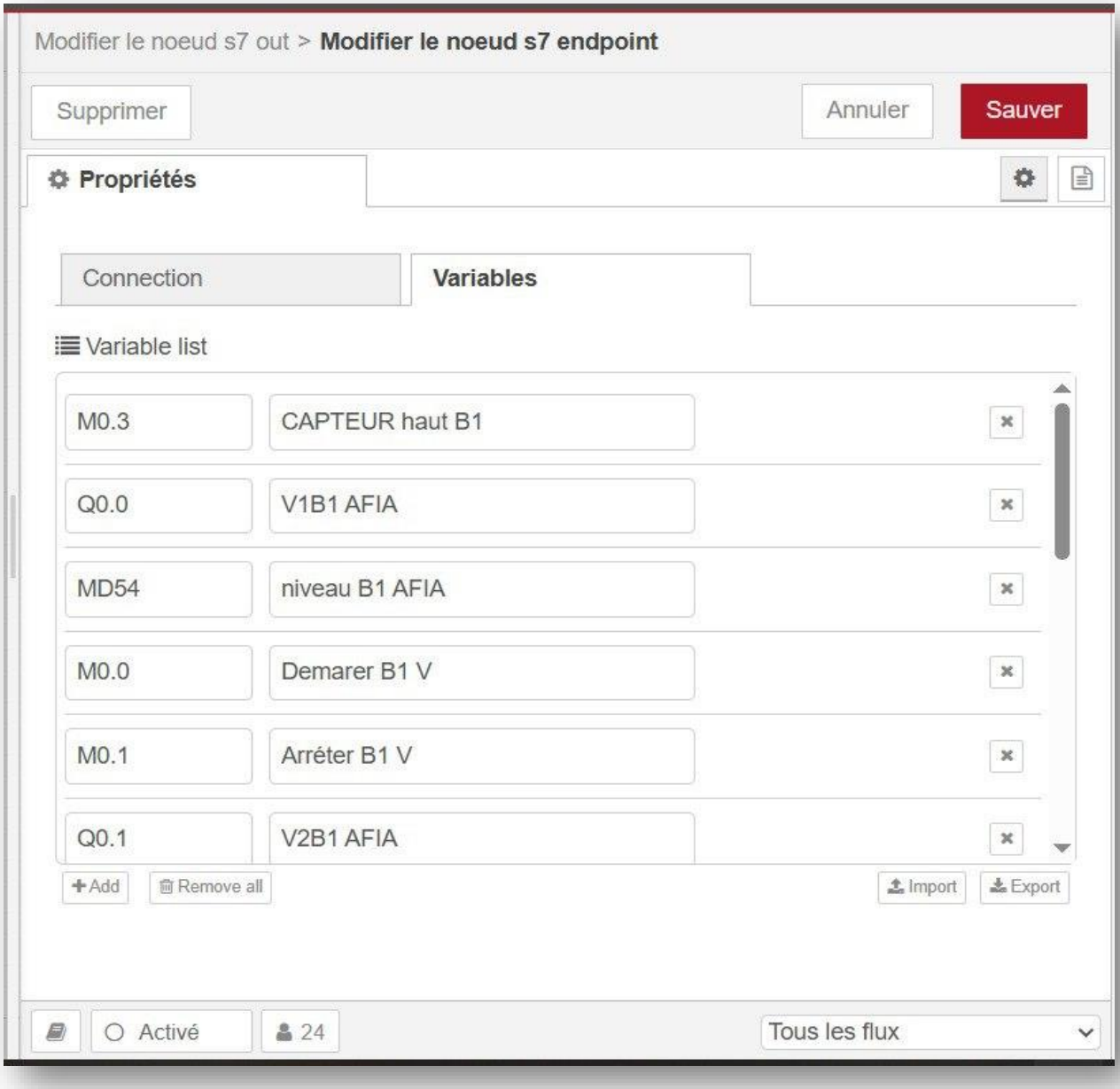


Figure V. 31: Utilisation de Node-Red avec la programmation d'API Siemens TIA Portal | Variables de point de terminaison

- Nous avons maintenant créé et configuré un point de terminaison pour nous connecter à notre API. Ce point de terminaison sera utilisé dans tous les nœuds que nous utiliserons plus tard dans ce tutoriel

V.5.3. Node-RED – Programmation

La configuration est terminée. Nous pouvons maintenant passer à la programmation côté Node-RED.

Ce flux Node-RED contient plusieurs nœuds configurés pour envoyer des consignes ou des commandes à un automate, et pour lire des valeurs en retour. Lorsqu'un bouton est déclenché (ex. : Activer V1 B1), une valeur de consigne est transmise à une balise dans le PLC. Puisque ces balises représentent l'état ou la commande à exécuter, on peut lire directement ces mêmes balises via un nœud S7 pour vérifier la consigne active.

Par exemple, le nœud niveau B1 AFIA lit le niveau du bac et envoie la donnée :
À un nœud texte (Niveau Bac AFIA) pour l'affichage direct de la valeur, à un graphe (chart) pour une visualisation dynamique en temps réel.

De manière similaire, si vous ajoutez un nœud S7 en lecture connecté à un nœud debug, vous pouvez afficher dans la console de Node-RED la valeur exacte de n'importe quelle consigne envoyée à l'automate.

Le programme Node-RED est terminé. Il devrait ressembler à l'image ci-dessous. Pour l'exécuter, doit être cliquez sur « Déployer »

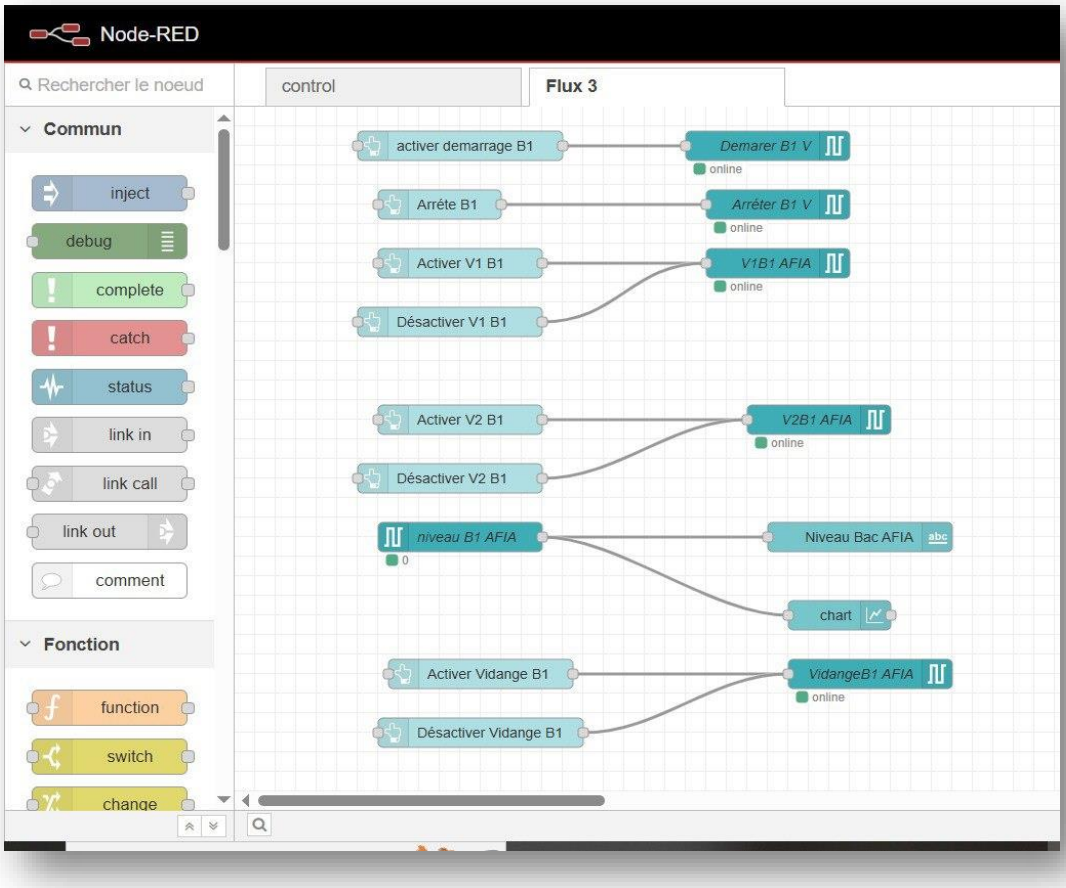


Figure V. 32: Utilisation de Node-Red avec Siemens TIA Portal Programmation PLC | Programme final Node-RED

1. Nœuds d'injection (manuels) :

Activer démarrage B1, Arrête B1, Activer V1 B1, Désactiver V1 B1, etc.
Ce sont des boutons qui permettent de simuler ou d'envoyer manuellement des commandes (ON/OFF, démarrer/arrêter, etc.).

2. Nœuds de commande :

Démarrer B1 V, Arrêter B1 V, V1B1 AFIA, V2B1 AFIA, VidangeB1 AFIA...
Ces nœuds transmettent les commandes aux actionneurs physiques (vannes, moteurs...).

Exemple : V1B1 AFIA active une vanne liée au processus B1.

3. Mesure et affichage :

Niveau B1 AFIA récupère le niveau du bac.
Niveau Bac AFIA et chart affichent ces données, probablement sous forme de texte et graphique.

4. Nœuds réseau (violets) :

D'activation de cycle B1, vanne 1 AFIA, Niveau B1, vanne vidange AFIA
Ces nœuds sont connectés et échangent des données avec des équipements à distance.

V.5.4. Que va-t-il changer après l'ajout de MQTT ?

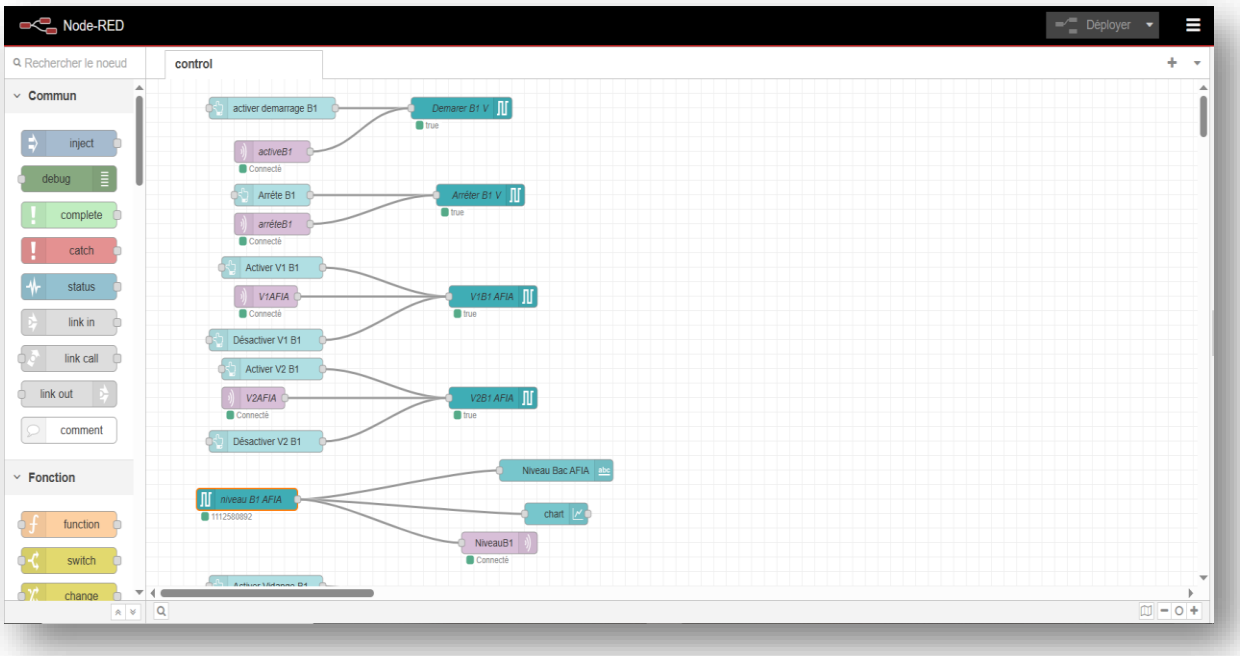


Figure V. 33: Interface de contrôle Node-RED pour la gestion des vannes et du niveau avec MQTT

MQTT est un protocole de messagerie léger utilisé pour connecter des objets à distance (IoT). Ce que tu vas ajouter :

V.5.4.1. Nœuds MQTT

- MQTT in pour recevoir les données des capteurs.
- MQTT out pour envoyer des commandes aux actionneurs.

V.5.4.2. Remplacement ou liaison des nœuds existants avec MQTT

- Par exemple, niveau B1 AFIA sera remplacé ou complété par un MQTT in écoutant le topic usine/B1/niveau.

- Activer V1 B1 enverra une commande "ON" via un MQTT out sur le topic usine/B1/vanne1.

V.5.4.3. Avantages de MQTT

- Connexion facile avec des équipements comme ESP32, Arduino, ou automates compatibles MQTT.

- Communication à distance (LAN, WAN ou cloud).

- Meilleure flexibilité et intégration dans un système distribué.

V.5.5. Tableau de bord de l'automate Siemens TIA Portal Node-Red

Pour afficher le tableau de bord, ouvrez http://localhost:1880/ui ou http://127.0.0.1:1880/ui dans votre navigateur Web. Vous verrez le nom de l'onglet et le groupe contenant le bouton.

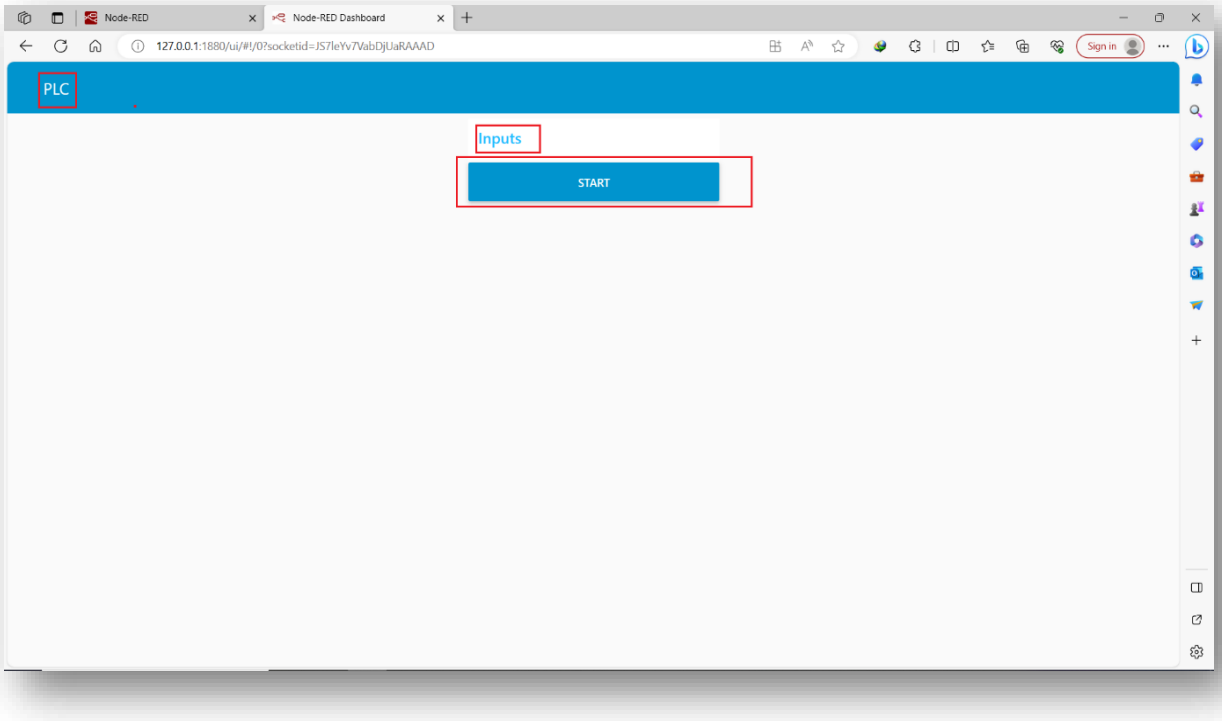
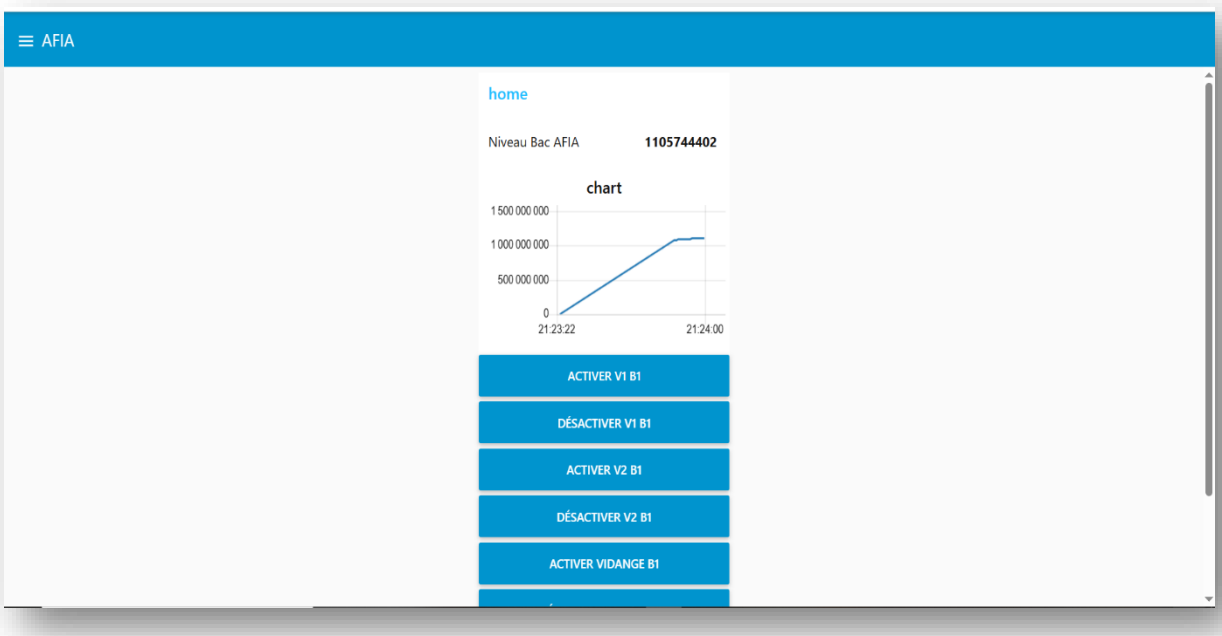


Figure V. 34: Tableau de bord de l'automate Siemens TIA Portal Node-Red

- Maintenant, cliquez sur « Déployer », puis accédez au tableau de bord pour afficher.



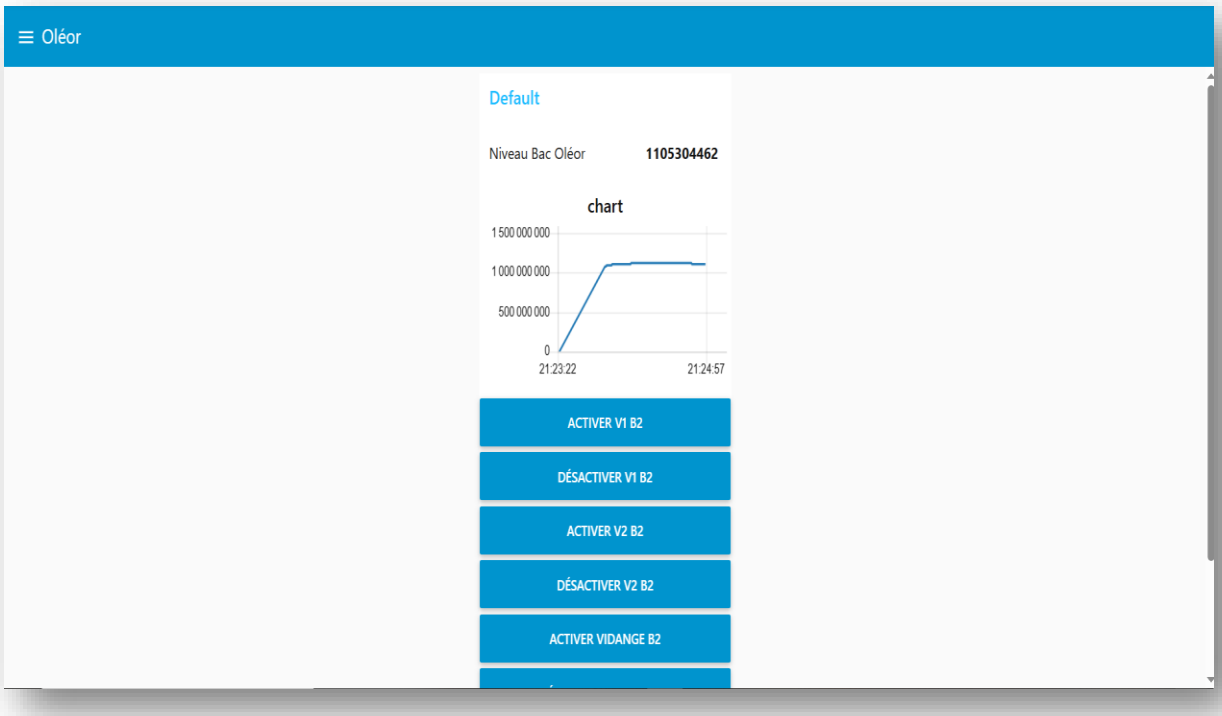


Figure V. 35: Tableau de bord de l'automate Siemens TIA Portal Node-Red

V.5.6. Exécution de l'intégration entre Node-RED et TIA Portal à l'aide du simulateur S7-PLCSIM Advanced

Afin de pouvoir établir la communication entre Node-RED et un automate programmable, il est impératif de passer d'abord par une phase de simulation. Pour cela, nous avons utilisé S7-PLCSIM Advanced avec une instance virtuelle nommée « PLC_1 ». Cette étape est essentielle, car Node-RED ne peut interagir avec un automate que si ce dernier est déjà fonctionnel, même en mode virtuel. Une fois le programme chargé depuis TIA Portal dans l'instance simulée, nous pouvons configurer les nœuds « s7 in » et « s7 out » dans Node-RED, tester l'envoi et la réception des données, et ainsi valider le bon fonctionnement de la communication.

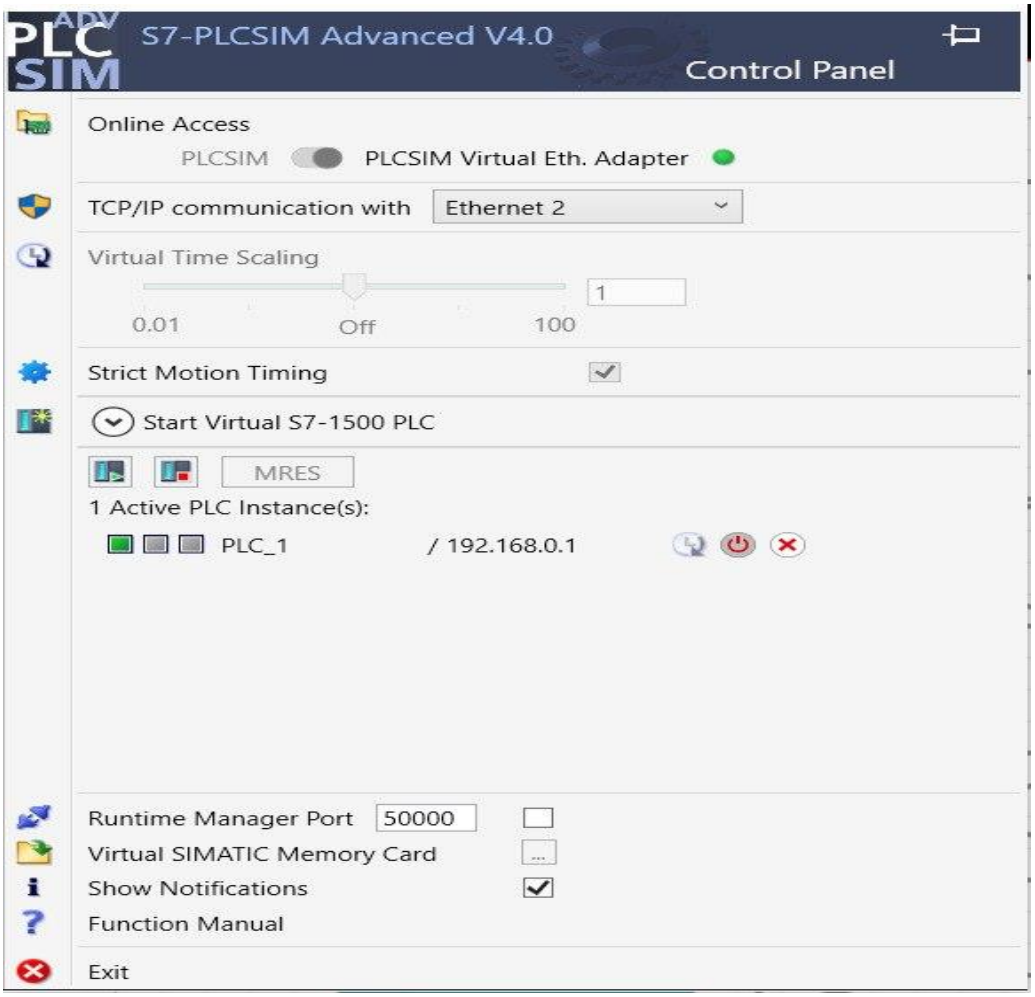


Figure V. 36: Utilisation de Node-Red avec la programmation d'API Siemens TIA Portal | Instance PLCSim Advanced

- Le programme Node-RED est déployé et le programme API est en cours d'exécution, de sorte que la communication et l'échange de données doivent être établis. Essayez d'injecter des valeurs dans l'API, comme illustré dans la figure suivante.

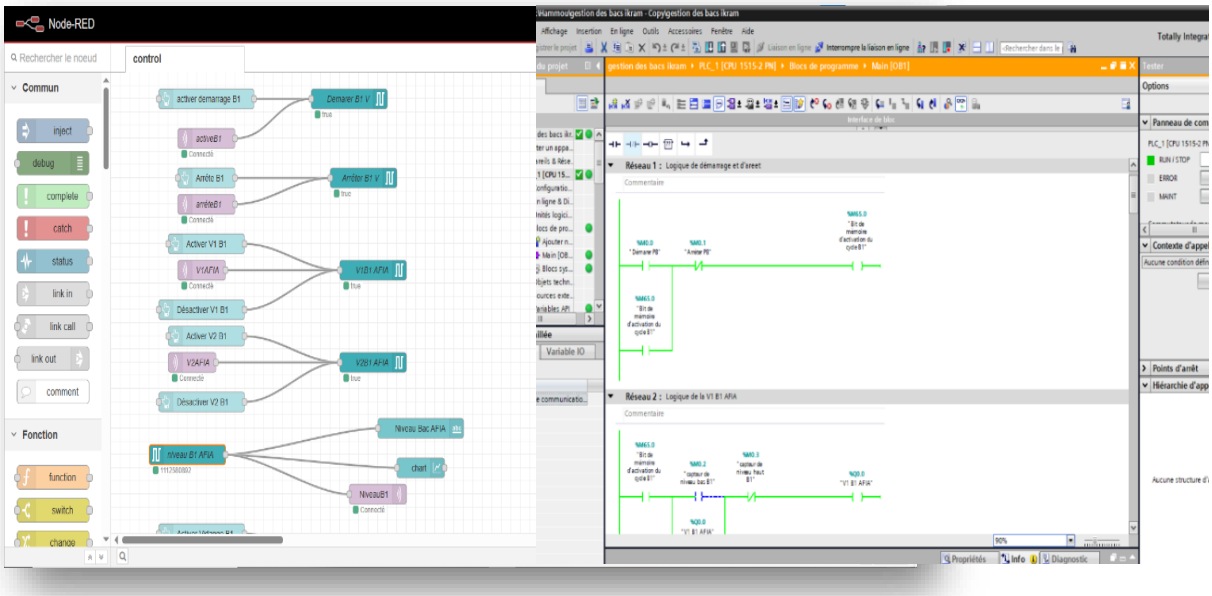


Figure V. 37: Utilisation de Node-Red avec la programmation d'API du portail TIA de Siemens

Dans ce contexte, notre projet s'appuie sur l'implémentation d'un réseau MQTT structuré autour de ce que nous appelons les mailles MQTT. Ces mailles représentent les unités ou nœuds qui participent à l'échange de messages à travers le réseau MQTT, qu'il s'agisse de capteurs, d'automates programmables (API), ou encore d'applications de supervision comme MyMQTT.

Cette architecture a pour objectif de faciliter la supervision des données industrielles – telles que le niveau des cuves, l'état des pompes, la position des vannes, ou encore l'activation des cycles de production – en utilisant MQTT comme canal intelligent de communication.

V.5.6. Présentation de l'application MY MQTT

MyMQTT est une application mobile gratuite (disponible sur Android) qui permet de tester facilement la communication via le protocole MQTT (Message Queuing Telemetry Transport). Elle est souvent utilisée dans les projets IoT et dans les environnements de test pour visualiser les messages échangés via un broker MQTT.

Une fois l'application MyMQTT installée et connectée à un broker MQTT (comme Mosquitto), l'utilisateur peut facilement surveiller les échanges de données. En arabe

V.5.6.1. Définition le broker MQTT

Le broker MQTT est le composant central dans une architecture MQTT. Il joue le rôle d'un intermédiaire entre les éditeurs (publishers) et les abonnés (subscribers).

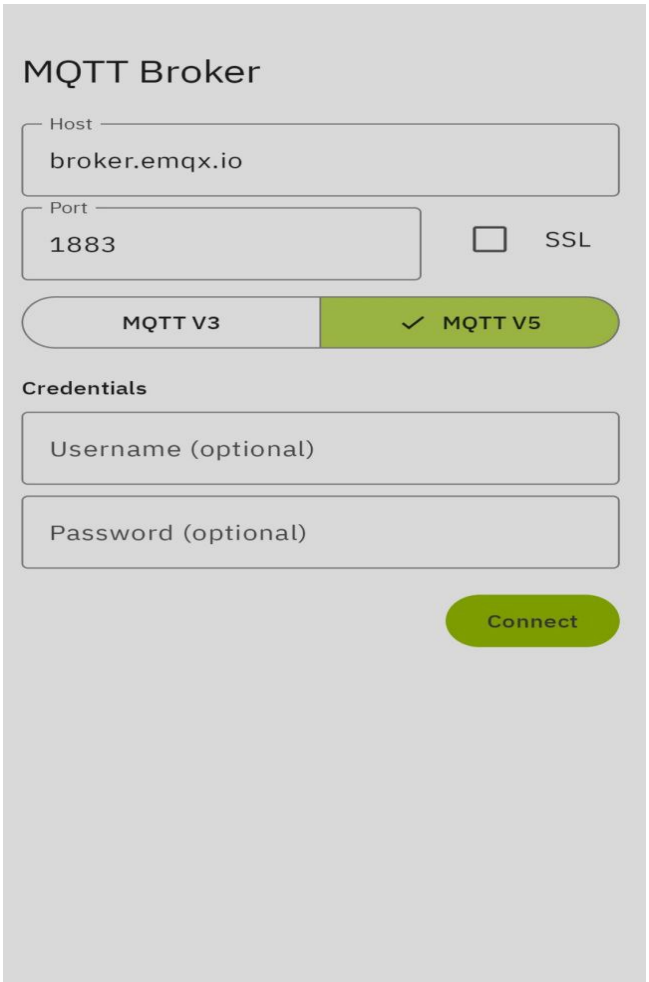


Figure V. 38: L'interface de broker MQTT

V.5.7. Les vues de simulations

L'application mobile MQTT utilisée ici permet de publier un message vers un broker MQTT via l'onglet "Publish". Dans le champ "Topic", le nom VvidAFIA est saisi, représentant un canal de communication spécifique. Le message envoyé est true, ce qui signifie que cette valeur sera transmise à tous les abonnés du topic après avoir appuyé sur "Publish". D'autres topics comme V1AFIA, V2AFIA, ou activeB1 apparaissent également avec la valeur true, ce qui reflète une structure bien organisée pour représenter les états ou les commandes du système.

Figure V. 39: Interface de publish

Dans cette interface de l'application mobile MQTT, l'onglet Subscribe est utilisé pour s'abonner à un topic afin de recevoir les messages qui y sont publiés.
Le nom du topic saisi ici est Niveau B1. Une fois l'abonnement validé, l'application affiche les données reçues en temps réel.
Dans ce cas, la valeur Enabled est affichée, ce qui indique que le niveau du bac B1 est activé ou détecté comme présent. Cela permet de suivre l'état du bac tampon à distance via une communication MQTT.

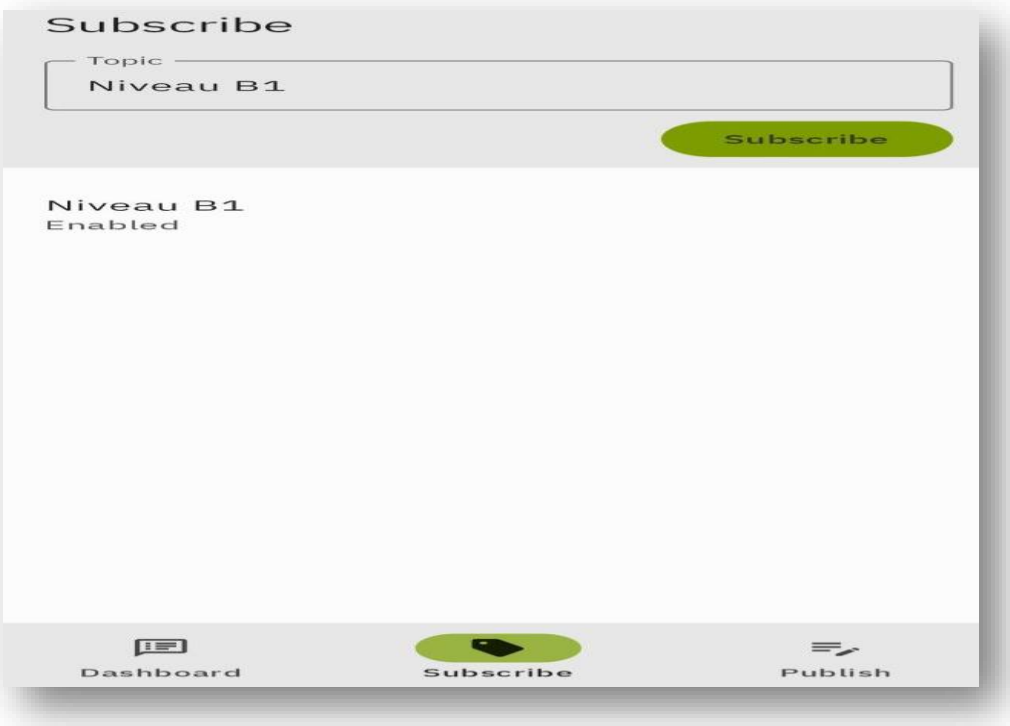


Figure V. 40: Interface de subscribe

Ensuite, les résultats sont affichés automatiquement dans l'interface du tableau de bord, sous forme de messages reçus en temps réel via le topic MQTT.

Figure V. 41: Les résultats du Dashboar

V.5.6. Analyse des résultats de la simulation

Dans la partie simulation, nous avons pu observer et constater plusieurs éléments importants concernant l'évaluation des performances du programme de contrôle du réservoir d'huile.

Tout d'abord, nous avons vérifié le fonctionnement des vannes en mode automatique via l'interface homme-machine (IHM). Nous avons pu observer que la première vanne était en marche tandis que la seconde était à l'arrêt. Cela confirme que la fonction de commande automatique des vannes est bien activée et que le système réagit correctement aux ordres.

Ensuite, nous avons analysé la surveillance du niveau d'huile dans le réservoir. Grâce aux capteurs installés, il a été possible de détecter toute variation anormale du niveau. En cas de dépassement des seuils critiques, une alarme se déclenche automatiquement et une vanne de remplissage s'ouvre, assurant la continuité du processus ainsi que la sécurité du système.

De plus, nous avons étudié la communication entre le système de supervision Node-RED et l'automate Siemens via le TIA Portal. À l'aide de la palette S7, nous avons pu lire et écrire les variables de l'automate, notamment pour gérer le démarrage, consultation niveau, et accéder aux blocs de données, ce qui confirme la bonne intégration entre les deux environnements.

Enfin, nous avons simulé la communication avec d'autres systèmes à distance en intégrant le protocole MQTT. Grâce à cette intégration, les données peuvent être échangées de manière flexible et sécurisée, ouvrant ainsi la voie à des applications industrielles intelligentes compatibles avec l'Internet des objets (IoT). Pour cela nous avons utilisé l'application mobile MY MQTT, qui permet de se connecter à un broker MQTT et d'échanger des messages.

Conclusion

En conclusion, ce chapitre a été consacré à la réalisation de notre projet portant sur la gestion des bacs tampons au sein de l'entreprise Afia International Algérie. Nous avons intégré plusieurs technologies modernes telles que les automates programmables industriels (PLC), l'Internet des objets (IoT), ainsi que la conception d'une interface homme-machine (IHM) pour faciliter l'interaction et la supervision par les opérateurs. De plus, l'utilisation du protocole MQTT a permis une communication rapide, fiable et sécurisée entre les différents équipements et systèmes. Cette approche globale nous a permis d'optimiser le contrôle en temps réel, d'améliorer l'efficacité du processus industriel, tout en répondant aux exigences de sécurité et de performance de l'entreprise.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Notre projet de fin d'études s'inscrit dans le domaine de l'automatisation industrielle appliquée à la gestion des réservoirs d'huile au sein du groupe SAVOLA (AFIA International Algérie), acteur majeur de l'industrie agroalimentaire. Ce projet a représenté pour nous une expérience à la fois enrichissante et formatrice, alliant les fondements théoriques de l'automatisation à leur mise en pratique dans un contexte industriel réel.

Notre travail a débuté par une étude de l'importance de l'huile de soja, dans le secteur agroalimentaire. Nous avons ensuite présenté le groupe SAVOLA, son historique, ses activités, ainsi que l'organisation de ses unités de production. Cette phase nous a permis de mieux comprendre le cadre industriel dans lequel s'inscrit notre projet.

Nous nous sommes ensuite intéressés à la gestion des bacs tampons, en analysant les différents types de réservoirs utilisés, leurs principes de fonctionnement, ainsi que les équipements associés. L'objectif principal était d'assurer un suivi efficace des niveaux d'huile tout en garantissant la sécurité et la continuité des processus de production.

Dans la phase suivante, nous avons abordé l'automatisation de ces systèmes à travers la modélisation de leur fonctionnement et l'intégration de solutions de commande via automates programmables. L'utilisation de TIA Portal, combinée à l'interface Node-RED et à l'implémentation du protocole MQTT, nous a permis de développer une solution complète, flexible et communicante, ouverte sur l'univers de l'Internet des objets (IoT).

La mise en œuvre de l'interface homme-machine (IHM), la configuration des capteurs, la supervision des alarmes et la simulation du système ont constitué des étapes clés dans la réussite de notre projet. Grâce à l'environnement Siemens (S7-PLCSIM Advanced, TIA Portal) et aux échanges entre systèmes, nous avons pu simuler un fonctionnement fiable et réactif du système de contrôle.

Dans l'intégration de l'application MYMQTT a joué un rôle essentiel pour la supervision distante des données via smartphone ou tablette. Grâce à cette application mobile connectée au broker MQTT, nous avons pu visualiser en temps réel les niveaux des réservoirs, les états des capteurs et les alarmes critiques, ce qui renforce la portabilité et la réactivité du système supervisé.

Ce projet nous a permis de mettre en pratique l'ensemble des compétences acquises durant notre parcours académique, telles que la programmation d'automates, la supervision industrielle, la communication réseau. Il constitue pour nous une véritable passerelle vers le monde professionnel, en nous préparant à intégrer l'industrie en tant que techniciens ou ingénieurs en automatisation industrielle.

Nous exprimons notre profonde reconnaissance envers toute l'équipe du groupe SAVOLA pour leur accueil, leur disponibilité et leur soutien technique. Leur encadrement et leur confiance ont fortement contribué à la réalisation de ce travail.

Enfin, nous sommes fiers d'avoir contribué à une démarche de modernisation des procédés industriels et espérons que notre mémoire servira de base à de futurs projets d'optimisation dans le domaine de l'automatisation appliquée à l'agroalimentaire en Algérie.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] **OUKRID NADJIB**, et **DEHIBA HANANE FEREIL**. "Automatisation, Supervision d'une chaudière à vapeur par dans le raffinage du sucre". Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master professionnel, **Filière** : Génie Industriel, **Spécialité** : Maintenance en Automatismes et Instrumentation Industriels.

[2] **Jean-Louis**, **Rastoin**. Une brève histoire de l'industrie alimentaire. In: Économie rurale, Les cinquante premières années de la sfer. Quel avenir pour l'économie rurale ? [éd.] François Clerc et Jean-Christophe Kroll Isabel Boussard. France : s.n., 2000. N°255-256.

[3] **Ministère de l'Industrie et de la Promotion des Investissements**. "Les 1ères Assises nationales des industries agroalimentaires." **M. Hamid TEMMAR**, le ministre de l'industrie et de la promotion des investissements, Direction Générale de l'Intelligence Economique, des Etudes et de la Prospective. Algérie : s.n., 2010. Bulletin n° 005. "

[4] **CHERIF CHIRAZ**, et **BENZIANE MOTALLAH MOHAMED**, "automatisation, supervision et régulation de vapeur par tia portal dans un processus de raffinage du sucre " Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master professionnel, **Filière** : Génie industriel, **spécialité** : maintenance en automatisme et instrumentation industrielle.

[5] **Ministère de l'Agriculture et du Développement Rural** : Le site web du ministère peut contenir des informations sur les différentes filières de l'industrie agroalimentaire en Algérie et leur importance relative. Cependant, l'information disponible en ligne est souvent générale et ne fournit pas toujours de détails historiques précis.

[6] **BRETAGNE COMMERCE INTERNATIONAL**. "L'AGROALIMENTAIRE ET SES RÉSEAUX DE DISTRIBUTION EN ALGÉRIE ET AU MAROC." [éd.] BCI info. Bretagne: BCI info, 19 janvier 2021.

[7] Source : **KACI** et **YAHIAOUI**, « Etude du lait conditionné et boissons lactées en Algérie », CAP-PME, APAB, ministère de l'industrie et de mines, 2017, p26

[8] Source : **Chérif. E**, « L'Algérie, un marché à investir », Agroligne, n° 103, Avril- Juin 2017, p12.

[9] https://www.atamanchemicals.com/soybean-oil_u24814/?lang=FR

[10] USDA: https://www.fas.usda.gov/data/commodities/soybeans

[11] Documents Technique de l'usine **AFIA** international Algérie.

[12] **SAHBATOU AMINA**, Rapport de stage dans entreprise AFIA international Algérie, **Filière** : Physique, **Spécialité** : Mesures physique et instrumentation scientifiques.

[13] https://www.uvt.rnu.tn/resources-uvt/cours/Automates/chap2/co/Module_chap2.html

[14] https://fr.scribd.com/document/465173443/GE-S2-M8-1-Automatismes-logiques-Industriels-CRS-El-Hammoumi

[15] Automates Programmables Industriels Mr **L. BERGOUGNOUX** (POLYTECH' Marseille 2004-2005).

[16] **WAHDAN AYATALLAH**, et **ISMAIL ABDEL MOUMEN**. "Développement d'un système de pilotage supervision d'une cellule flexible d'assemblage". Mémoire présenté en

Vue de l'obtention du diplôme de master professionnel, **Filière** : Automatique et informatique industrielle, **spécialité** : Automatique et électrotechnique.

[17] Siemens. SITRAIN Formation Automatisations et entrainements, Cours S7-MA1 Gamme SIMATIC S7, Livre Maintenance niveau 01 Siemens.

[18] **AMMARI DJAMELEDI NNE**, et **GUIDI ADEL**. "Automatisation et supervision d'un procédé industriel par L'automate Schneider ". Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master professionnel, **Filière** : Électronique, **spécialité** : Instrumentation et systèmes.

[19] **HAMDAD ABDELKADER**, et **CHAOUI DJFEER**. "Développement d'Un Système Connecté à Base de Protocol MQTT (Message Queue Telemetry Transport) ". Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master professionnel, **Filière** : Génie Industriel, **spécialité** : Génie Industriel.

[20] **BENCHOULA RAYANE**, et **HANACHI NOUR ELHOUDA**, "Etude comparative de protocoles de communication dans l'IOT", Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de Master professionnel, **Filière** : Informatique, **spécialité** : Administration et sécurité des Réseaux.

[21] https://ddruid.io/capteurs-iot/

[22] **MOULAI MOSTEFA SAKINA, LARBI CHAIMAA**. " Conception d'un système d'acquisition des données en temps réel à base de iot en utilisant le protocole MGTT" "Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme de master professionnel, **Filière :** Système des télécommunications, **Spécialité :** Système des télécommunications

[23] https://fr.scribd.com/document/618166420/nodered