

**République Algérienne Démocratique et Populaire**

**Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique**

**Université Abderrahmane Mira**

**Faculté de Technologie**



**Département d'Automatique, Télécommunication et d'Electronique**

**Projet de Fin d'Etudes**

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

**Filière: Electronique**

**Spécialité : Instrumentation**

**Thème :**

**Télémétrie et contrôle des trémies portuaires CEVITAL**

**Préparé par :**

- NOUIOUA Feriel
- AZAMOUM Meriem

**Dirigé par :**

Mme. OUDAI Fatiha  
M. GUELMINE Rabah

**Examiné par :**

M. TAFININE Farid  
Mme. MEZZAH Samia

**Année universitaire 2024/2025**

## Remerciements

Avant tout, nous remercions DIEU le Tout-puissant de nous avoir donnée le courage, la volonté, la patience et la santé durant toutes ces années d'études et que grâce à Lui ce travail a pu être réalisé.

Je tiens à exprimer ma profonde gratitude à toutes les personnes qui ont contribué à la réussite de ce mémoire.

Nous adressons nos remerciements les plus sincères à notre tuteur de stage, monsieur GUELMINE Rabah, pour son soutien constant, sa disponibilité et pour nous avoir permis de mener notre recherche au sein de l'entreprise. Son expertise professionnelle a enrichi considérablement notre compréhension du sujet.

Nos remerciements vont également à madame OUDIAI Fatiha, pour son encadrement académique précieux, ses conseils méthodologiques éclairés et sa relecture attentive.

Je remercie également les membres du jury pour le temps qu'ils consacreront à l'évaluation de ce mémoire.

Enfin, que toute personne ayant contribué, de près ou de loin, à la réussite de ce travail trouve ici l'expression de nos sentiments les meilleurs.

# Dédicace

À mes parents bien-aimés,

Votre amour sans réserve a nourri mes aspirations, votre soutien indéfectible a été ma plus grande puissance, et vos encouragements incessants, le souffle propulseur de ma voile. Ce parcours est aussi bien le vôtre que le mien, résultat de votre indéfectible engagement.

A mon oncle Abed elkarim,

Avec toute ma gratitude et mon profond respect, je vous dédie ce travail. Votre soutien inconditionnel et votre foi en mes capacités ont été une source d'inspiration et de force précieuse.

À mes sœurs et mon frère,

Compagnons de vie et de rêves, votre présence fut une mélodie joyeuse, votre complicité un refuge, et vos encouragements, des échos de force dans mes doutes. Merci pour ces liens indéfectibles qui tissent la trame de nos vies.

À ma grand-mère Zakia,

Tes prières, de tendres chuchotements, ont créé un bouclier de sérénité autour de mon être. Ta douceur et ton intelligence rayonnent comme des astres, guidant mes pas à chaque lever du jour.

À ma grand-mère Djamila,

Même si tu as quitté ce monde pour briller ailleurs, ta présence reste fortement ancrée dans mon cœur. Ton affection, ta clairvoyance et ta gentillesse constituent un trésor inestimable, une brise légère qui persiste à nourrir mon existence au quotidien.

À ma binôme,

Partenaire de cette merveilleuse aventure intellectuelle, ton esprit collaboratif a été comme une douce mélodie, ta patience un véritable havre de paix, et ta détermination, une étincelle que nous avons partagée. Ensemble, nous avons ouvert la voie, et je tiens à te remercier sincèrement pour cette belle alliance.

À mes amis et à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce mémoire, je vous exprime toute ma gratitude.

**NOUIOUA feriel**

## Dédicace

À mon cher père,  
dont l'absence laisse un grand vide, mais dont la mémoire, la force et les conseils continuent de m'accompagner chaque jour. Ce travail est le fruit de tes valeurs et de ton amour, et je te le dédie avec tout mon cœur.

À ma chère mère,  
pour son amour inconditionnel, sa patience infinie et son soutien constant qui m'ont permis de surmonter les moments difficiles. Ta présence est mon pilier et ma source de courage.

À mes chères sœurs,  
pour leur tendresse, leur complicité et leurs encouragements sans faille. Vous êtes un refuge précieux dans ma vie.

À mes cousins et cousines,  
pour leur chaleur familiale, leur soutien et les instants de bonheur partagés, qui m'ont aidé à garder le sourire même dans les épreuves.

À ma binôme,  
Pour sa collaboration, sa rigueur et sa motivation, qui ont rendu ce travail plus riche et plus stimulant. Merci pour ta confiance et ta présence tout au long de ce parcours.

À ma meilleure amie,  
pour son écoute, ses conseils avisés et son amitié sincère. Ta présence à mes côtés a été un véritable soutien moral et une source d'énergie positive.

À toute ma famille et mes proches,  
merci d'avoir toujours cru en moi, de m'avoir encouragé et accompagné dans cette aventure. Ce mémoire est aussi le vôtre.

**AZAMOUM Meriem**



# Acronymes

TB : Transporteurs à Bande

TC : Transporteurs à Chaîne

TR : Transporteurs à Rouleaux

PB : Poste Opérateur

PC : Ordinateur Personnel

SVGA : Super matrice graphique vidéo

TCP : Protocole de contrôle de transmission

IP : Protocole Internet

TGBT : Tableau Général Basse Tension

TOR : Tout Ou Rien

PMW : modulation de largeur d'impulsion.

CA : Courant Alternatif

AU : Arrêt d'Urgence

NC : contact normalement fermé

NO : normalement ouvert

IP65 : Indice de protection contre la poussière et les jets d'eau

IP66 : Indice de protection contre la poussière et les puissants jets d'eau

VSE : Vérin Simple Effet

VDE : Vérin à Double Effet

API (PLC) : Automate Programmable Industriel

SCADA : Supervision, Contrôle et Acquisition de Données

KPI : indicateurs clés de performance

MES : Système d'Exécution de la Fabrication

ERP : Planification des Ressources de l'Entreprise

PGI : Progiciels de Gestion Intégrés

RH : Ressources Humaines

IOT : Internet des objets

IA : Intelligence Artificielle

FPGA : Réseau de portes logiques programmable sur site.

UL : L'unité logique

UAL : Unité Arithmétique et Logique

MAR : Registre d'Adresse Mémoire

E/S : Entrée/Sorties

RAM : Mémoire à Accès Aléatoire

ROM : Mémoire en Lecture Seule

EPROM : Mémoire morte programmable effaçable

IHM : Interface Homme-Machine

PCMCIA : Association internationale pour cartes mémoire d'ordinateur personnel

FIP : Protocole d'instrumentation d'usine

SNMP : Protocole simple de gestion de réseau

SMTP : Protocole simple de transfert de courrier

SOAP : Protocole simple d'accès aux objets

TER : Terre

AUX : Auxiliaire

RS-485 : Norme de communication série recommandée (485)

RTU : Unité Terminale Déportée

AS-i : Interface Actionneurs-Capteurs

CANopen : réseau CAN a protocole ouvert

FIPIO : Protocole FIP pour les entrées/sorties décentralisées

Fipway : Protocole de communication série.

CRC : Contrôle de Redondance Cyclique

Modicon : Contrôleur numérique modulaire

Wi-Fi : Fidélité sans fil

LPWAN : Réseau à faible consommation et à longue portée

LoRaWAN : Réseau étendu à longue portée

SIM : Module d'identification de l'abonné

LTE : Évolution à long terme (technologie 4G)

VPN : Réseau privé virtuel

WPA3 : Accès Wi-Fi protégé version 3 (protocole de sécurité)

PROFINET : Réseau de terrain pour les processus

MCC : Centre de commande de moteurs

UHF : Ultra haute fréquence

VHF : Très haute fréquence

BPS : Bits par seconde (unité de débit)

CEI 61131-3 : Commission électrotechnique internationale - norme des langages pour API

LD : Schéma à contacts

FBD : Schéma à blocs fonctionnels

SFC : Graphe fonctionnel séquentiel

IL : Liste d'instructions

EDI : Environnement de développement intégré

I/O : Entrée / Sortie

MAST : Tâche principale

Fast : Tâche rapide

BOOL : Booléen (valeur logique vrai/faux)

ST : Texte structuré

DOP : Direction des Opérations Portuaires

SR : Sous-routine

MW : Mot mémoire

VB : Visual Basic

WYSIWYG : Ce que vous voyez est ce que vous obtenez (interface visuelle)

## Tables des figures

### Chapitre I

<b>Figure I.1 :</b> Situation géographique du complexe CEVITAL.....	03
<b>Figure I.2 :</b> Plan de masse du complexe CEVITAL.....	03
<b>Figure I.3 :</b> structure hiérarchique de cevital.....	05
<b>Figure I.4 :</b> Organisation des services des silos.....	07
<b>Figure I.5:</b> trémie portuaire.....	09
<b>Figure I.6 :</b> Le circuit de déchargement de navire.....	14
<b>Figure I.7:</b> configuration informatique.....	16

### Chapitre II

<b>Figure II.1 :</b> trémie portuaire.....	18
<b>Figure II.2 :</b> armoire électrique.....	21
<b>Figure II.3 :</b> rôle du pré-actionneur.....	21
<b>Figure II.4:</b> composants principaux du variateur de vitesse.....	22
<b>Figure II.5 :</b> moteur asynchrone (rotor à cage).....	23
<b>Figure II.6 :</b> Détecteur de bourrage KD5018.....	24
<b>Figure II.7 :</b> capteur déport de bande.....	25
<b>Figure II.8 :</b> arrêt d'urgence a câble.....	26
<b>Figure II.9 :</b> arrêt d'urgence à coup de poing.....	26
<b>Figure II.10 :</b> structure des systèmes pneumatiques.....	27
<b>Figure II.11 :</b> Présentation de l'électrovanne.....	28
<b>Figure II.12 :</b> Composition d'un vérin pneumatique.....	29
<b>Figure II.13 :</b> vérin simple effet.....	29
<b>Figure II.14 :</b> vérin double effet.....	30

### Chapitre III

<b>Figure III.1 :</b> pyramide des degrés d'automatisation.....	31
<b>Figure III.2 :</b> structure d'un API.....	34
<b>Figure III.3 :</b> cycle d'exécution d'un automate. ....	35
<b>Figure III.4 :</b> langage LADDER.....	36
<b>Figure III.5 :</b> langage FBD.....	37
<b>Figure III.6 :</b> langage GRAFCET.....	37

<b>Figure III.7 : langage IL.....</b>	<b>38</b>
<b>Figure III.8 : langage ST.....</b>	<b>38</b>
<b>Figure III.9 : Architecture de l'automate TSX57353 de la MCC1.....</b>	<b>39</b>
<b>Figure III.10: exemple d'une carte PCMCIA.....</b>	<b>40</b>
<b>Figure III.11 : Communication type FIPIO.....</b>	<b>42</b>
<b>Figure III.12 : Diagramme fonctionnel.....</b>	<b>47</b>
<b>Figure III.13 : Schéma de commande de la VISQ1A.....</b>	<b>48</b>
<b>Chapitre IV</b>	
<b>Figure IV.1 : architecture de la première solution.....</b>	<b>54</b>
<b>Figure IV.2 : architecture de la deuxième solution.....</b>	<b>54</b>
<b>Figure IV.3 : modem radio Z-AIR-1.....</b>	<b>58</b>
<b>Figure I.V.4 : structuration d'une tache.....</b>	<b>59</b>
<b>Figure IV.5 : configuration matérielle de l'API maitre.....</b>	<b>61</b>
<b>Figure IV.6 : Configuration matérielle de l'API esclave.....</b>	<b>61</b>
<b>Figure IV.7 : Interface utilisateur sou VB.....</b>	<b>81</b>
<b>Figure IV.8 : Création d'un projet sous VB.....</b>	<b>82</b>
<b>Figure IV.9 : Synoptique du circuit de déchargement actuel à Cevital.....</b>	<b>83</b>
<b>Figure IV.10 : Synoptique du circuit des trémies.....</b>	<b>84</b>

# Liste des tableaux

## Chapitre IV

<b>Tableau IV.1 :</b> tableau comparatif des caractéristiques des deux solutions.....	55
<b>Tableau IV.2 :</b> tableau comparatif des avantages des deux solutions. ....	55
<b>Tableau IV.3 :</b> tableau comparatif des inconvénients des deux solutions. ....	56
<b>Tableau IV.4 :</b> les différents éléments constituant l'adressage. ....	63
<b>Tableau IV.5 :</b> configuration des entrées/sorties de l'automate esclave.....	65
<b>Tableau IV.6 :</b> configuration des entrées de l'automate esclave.....	66
<b>Tableau IV.7 :</b> configuration des sorties de l'automate esclave.....	68
<b>Tableau IV.8:</b> les mots mémoires d'entrées utilisés par le maitre .....	70
<b>Tableau IV.9 :</b> les mots mémoires de sorties utilisés par le maitre.....	72
<b>Tableau IV.10 :</b> les mots mémoires des temporisateurs. ....	73

## **Annexes**

Schéma de puissance 001 .....	01
Schéma électrique 002 .....	02
Schéma électrique 003 .....	03
Schéma électrique 004.....	04
Schéma électrique 005.....	05

## Sommaire

Introduction Générale .....	1
<b>Chapitre I. Présentation de Cevital et problématique du déchargement des matières premières</b>	
I.1 introduction .....	2
I.2 Présentation du complexe Cevital .....	2
I.2.1 Historique.....	2
I.2.2 Situation géographique .....	2
I.2.3 Missions et objectifs .....	4
I.2.4 Structure hiérarchique .....	4
I.2.5 Direction des silos .....	6
I.2.5.1 Présentation des unités silos .....	6
I.2.5.2 Organisation des silos .....	6
I.3 La problématique .....	7
I.3.1 Le circuit de déchargement .....	8
I.3.2 Différents équipements de l'installation .....	9
I.3.2.1 Les trémies portuaires réceptrices .....	9
I.3.2.2 Les convoyeurs à bandes .....	10
I.3.2.2.1 La charpente .....	10
I.3.2.2.2 Les bandes .....	10
I.3.2.2.3 les stations .....	10
I.3.2.2.4 Les tambours .....	10
I.3.2.3 Instrumentation .....	10
I.3.2.4 La bascule de pesage .....	11
I.3.2.5 Eléments de dépoussiérages .....	11
I.3.2.5.1 Aspirateur .....	11



I.3.2.5.2 Filtre .....	11
I.3.2.5.3 Ecluse .....	12
I.3.2.6 Chariot verseur .....	12
I.3.3 Présentation du circuit de déchargement navire hangar .....	12
I.3.3.1 Schéma des circuits par destination .....	13
I.3.4 Nombre et emplacement des postes de contrôle .....	14
I.3.4.1 Local de contrôle de la tour 2 .....	14
I.3.4.2 Local de contrôle du chargement camion .....	15
I.3.4.3 Local de contrôle du chargement mixte camion et wagon .....	15
I.3.5 Configuration des postes informatiques .....	17
I.4 Conclusion .....	17
<b>Chapitre II. Analyse fonctionnelle et pilotage instrumenté de la trémie portuaire</b>	
II.1 Introduction .....	18
II.2 Constitution de la trémie portuaire .....	18
II.2.1 Compresseur.....	18
II.2.2 Vis.....	19
II.2.3 Ventilateur.....	19
II.2.4 transporteur .....	19
II.2.5 boogie .....	19
II.3 Partie opérative de la trémie portuaire.....	19
II.3.1 Partie électrique .....	20
II.3.1.1 Alimentation .....	20
II.3.1.2 Armoire électrique .....	20
II.3.1.3 Le disjoncteur .....	21
II.3.1.4 Les pré-actionneurs.....	21

II.3.1.4.1 Le relai .....	22
II.3.1.4.2 Contacteur.....	22
II.3.1.4.3 Variateur de vitesse .....	22
II.3.1.5 Les actionneurs .....	23
II.3.1.5.1 les machines asynchrones .....	23
II.3.2 Partie instrumentation.....	24
II.3.2.1 Contrôle de rotation .....	24
II.3.2.2 Capteur de bourrage.....	24
II.3.2.3 Capteur déport de bande .....	25
II.3.2.4 Arrêt d'urgence à câble .....	25
II.3.2.5 Un arrêt d'urgence à coup de poing .....	26
II.3.3 La partie pneumatique .....	27
II.3.3.1 Les systèmes pneumatiques .....	27
II.3.3.2 Structure des systèmes pneumatiques.....	27
II.3.3.3 Les distributeurs pneumatiques .....	28
II.3.3.4 Les électrovannes pneumatiques .....	28
II.3.3.5 Les vérins pneumatiques.....	28
II.3.3.5.A Vérin simple effet .....	29
II.3.3.5.B Vérin double effet .....	29
II.4 Conclusion .....	30

## **Chapitre III : Automatisation du déchargement et architectures de téléométrie**

III.1 introduction .....	30
III.2 L'automatisation .....	30

III.2.1 Les degrés d'automatisation .....	31
III.2.1.1 Niveau dispositif (device level).....	31
III.2.1.2 Niveau de supervision (supervisory level) .....	31
III.2.1.3 Niveau Opérations (operation level) .....	31
III.2.1.4 Niveau Entreprise .....	32
III.2.1.5 Niveau IOT/IA .....	32
III.2.2 La solution de l'automatisation .....	32
III.2.2.A La logique câblée .....	32
III.2.2.B La logique programmée .....	32
III.2.2.1 Les automates programmables industriels .....	32
III.2.2.1.1 Un processeur .....	33
III.2.2.1.1.1 L'unité logique (UL) .....	33
III.2.2.1.1.2 L'accumulateur .....	33
III.2.2.1.1.3 registre d'instruction .....	33
III.2.2.1.1.4 le décodeur d'instruction .....	33
III.2.2.1.1.5 Le compteur ordinal ou compteur programme .....	33
III.2.2.1.1.6 Registre d'adresse (MAR- memory address register) .....	33
III.2.2.1.1.7 Registre d'état (registre de drapeaux).....	33
III.2.2.1.2 Interface E/S .....	33
III.2.2.1.3 Mémoire .....	33
III.2.2.1.4 Alimentation .....	34
III.2.3 Structure d'un API .....	34
III.2.3.1 La partie opérative .....	35
III.2.3.2 La partie commande .....	35
III.2.3.3 La partie relation .....	35
III.2.4 Cycle d'exécution d'un automate .....	35

III.2.5 Programmation des API .....	36
III.2.5.1 les langages de programmation .....	36
III.2.5.1.A Les langages graphiques .....	36
III.2.5.1.B Les langages textuels .....	37
III.2.6 L'automate Schneider TSX57 .....	38
III.2.6.1.1 Le module d'alimentation .....	39
III.2.6.1.2 Module processeur de régulation .....	39
III.2.6.1.3 Coupleur TCP/IP .....	40
III.2.6.1.4 Module de communication .....	40
III.2.6.1.5 Des modules de sorties analogiques à 4 voies (0-10V).....	40
III.2.6.1.6 Des modules de sorties Tout Ou Rien (TOR) à 4 voies .....	41
III.2.6.1.7 Des modules d'entrées Tout Ou Rien (TOR).....	41
III.2.6.1.8 Des modules d'entrées analogiques .....	41
III.2.6.2 Les bus et réseaux de terrain .....	41
III.2.6.2.1 communication intégrée .....	41
III.2.6.2.2 les bus et réseaux de terrain compatibles avec l'automate .....	43
III.2.6.2.2.A Bus capteurs et actionneurs .....	43
III.2.6.2.2.A.1 Bus AS-i .....	43
III.2.6.2.2.A.2 Bus CANopen .....	43
III.2.6.2.2.B Réseaux de terrain .....	43
III.2.6.2.2.B.1 Fipway .....	43
III.2.6.2.2.B.2 Bus Modbus et Jbus .....	44
III.2.6.2.2.C Réseaux Ethernet TCP/IP .....	45
III.3 Cahier de charge .....	45
III.3.1 Diagramme de fonctionnement .....	47
III.3.2 Solution proposé .....	48
III.3.3 La télémetrie .....	49
III.4 Conclusion .....	50

## **Chapitre IV. Implémentation et Supervision du Système d'Automatisation du Déchargement Portuaire**

IV.1 Introduction .....	51
IV.2 Les réseaux non filaires .....	51
IV.2.1 Les réseaux cellulaires .....	51
IV.2.2 Le Wi-Fi industriel .....	51
IV.2.3 Les réseaux LPWAN .....	51
IV.2.4 Les réseaux radio industriels .....	52
IV.2.5 Justification du Choix du Réseau Radio Industriel .....	52
IV.3 Architecture de Contrôle Distribuée à Liaison Radio .....	53
IV.3.1 Première solution .....	53
IV.3.1.1 Automate Maître .....	53
IV.3.1.2 Automate Esclave .....	53
IV.3.2 Deuxième solution .....	54
IV.3.3 Comparaison .....	55
IV.4 La Solution d'Automatisation Retenue .....	57
IV.4.1 L'automate maître .....	57
IV.4.2 L'automate esclave .....	57
IV.4.3 Les modems Radio Industriels .....	57
IV.4.3.1 Comment se fait la transmission par modem radio ? .....	57
IV.5 Description du logiciel PL7 Pro .....	58
IV.5.1 Structure d'un programme sous PL7 .....	59
IV.5.1.1 Tâches (Tasks) .....	59

IV.5.1.2 Sections .....	60
IV.5.1.3 Sous-programmes (Subroutines).....	60
IV.5.2 La configuration matérielle .....	60
IV.5.3 Adressage des objets BITS et mots .....	61
IV.5.4 Programmation avec PL7 pro .....	63
IV.5.4.1 ESCLAVE .....	63
IV.5.4.1.1 Les entrées .....	65
IV.5.4.1.2 Les sorties .....	67
IV.5.4.2 MAITRE .....	69
IV.5.4.3 Liste des temporisateurs .....	72
IV.5.4.4 Le programme .....	73
IV.5.4.4.1 Lecture des entrées et initialisation des temporisateurs .....	73
IV.5.4.4.2 Décrémentation des temporisateurs .....	76
IV.5.4.4.3 Gestion des sorties .....	77
IV.6 La Supervision .....	80
IV.6.1 Synoptique .....	80
IV.6.2 Commandes .....	80
IV.6.3 Alarmes .....	81
IV.6.4 Simulation avec visual basic .....	81
IV.6.4.1 Présentation du logiciel Visual Basic (VB) .....	81
IV.6.4.1.A Editeur graphique .....	81
IV.6.4.1.B Programmation évènementiel .....	81
IV.6.4.1.C Interface utilisateur .....	81

IV.6.4.1.2 Création d'un projet .....	82
IV.6.4.2 Simulation .....	82
IV.7 conclusion .....	85
Conclusion Générale .....	86

### INTRODUCTION GENERALE

L'évolution rapide de l'industrie moderne impose l'intégration de technologies avancées telles que l'automatisation et la télémétrie. Ces dernières permettent d'assurer un contrôle efficace des systèmes, tout en garantissant la sécurité, la fiabilité et une meilleure performance. La télémétrie, en particulier, joue un rôle essentiel dans la transmission de données entre équipements distants, renforçant la supervision et la prise de décision à distance.

Dans le cadre de notre projet nous nous sommes intéressés à un problème bien réel rencontré au sein du complexe Cevital : le déchargement manuel de matière en vrac au port de Béjaïa, une opération encore lente, coûteuse et peu sécurisée. L'objectif de notre travail est donc de proposer une solution d'automatisation fiable basée sur des automates programmables interconnectés par liaison radio, afin d'optimiser ce processus.

Pour atteindre cet objectif, notre mémoire est structuré comme suit :

Le premier chapitre présente le complexe Cevital, la chaîne de déchargement portuaire, ainsi que la problématique identifiée.

Le deuxième chapitre analyse la partie opérative du système, notamment les différents composants du système et leur fonctionnement.

Le troisième chapitre est consacré à la conception de la solution d'automatisation, en détaillant l'architecture, les choix techniques et les modes de fonctionnement.

Enfin, le quatrième chapitre présente la mise en œuvre pratique de la solution proposée : communication radio entre automates, programmation sous PL7 Pro, supervision et simulation avec logiciel Visual basic.

À travers ce travail, nous avons cherché à mettre en œuvre une approche intégrée et robuste pour moderniser un processus industriel essentiel, en combinant théorie et application concrète.



## *Chapitre 01*

Présentation de Cevital et Problématique  
du Déchargement des Matières Premières.

## **I.1 introduction**

Cevital est le premier groupe privé algérien et l'un des plus grands conglomérats d'Afrique du Nord. Dans ce premier chapitre, nous présenterons l'historique du complexe, sa situation géographique, ses activités, ainsi que ses missions et ses objectifs. Nous allons également aborder une question spécifique soulevée par l'entreprise concernant le déchargement des matières premières dans ses trémies portuaires, qui se fait actuellement de manière manuelle. Nous mettrons en lumière cette problématique en examinant les enjeux et les contraintes liés à ce processus manuel. Pour bien contextualiser notre étude, nous détaillerons également la chaîne de déchargement actuelle, en décrivant ses différentes étapes et les acteurs impliqués.

## **I.2 Présentation du complexe Cevital**

### **I.2.1 Historique**

Fondée en 1998 par l'entrepreneur Issad Rebrab. Ce complexe est implanté dans le port de Béjaïa couvrant une superficie de 45000m<sup>2</sup>. Initialement spécialisé dans l'agro-alimentaire. Le groupe a connu une croissance rapide et est devenu un pilier de l'industrie agroalimentaire en Algérie, ce complexe est doté de plusieurs unités de production équipées des technologies les plus avancées, lui permettant de proposer une large gamme de produits de qualité supérieure à des tarifs défiant toute concurrence. Avec un chiffre d'affaire estimé à 300 milliards de dinars en 2022, cevital est la seconde entreprise algérienne derrière Sonatrach en terme de chiffre d'affaires. Le groupe maintient une forte présence sur la scène internationale grâce à des investissements stratégiques dans divers secteurs.

### **I.2.2 Situation géographique**

Le complexe agro-industriel de Cevital bénéficie d'une localisation stratégique, à proximité du port de Béjaïa et de l'aéroport, spécifiquement au nouveau quai, à seulement trois kilomètres au sud-ouest de la ville et à proximité de la RN 26. Cette position privilégiée offre un accès direct aux routes maritimes, facilitant ainsi l'importation des matières premières nécessaires à la production et l'exportation des produits finis vers les marchés internationaux.



**Figure I.1 :** Situation géographique du complexe CEVITAL.



**Figure I.2 :** Plan de masse du complexe CEVITAL

Légende :

- |   |   |
|---|---|
| 1 : Conditionnement et expédition des huiles. | 2 : Margarinerie 600t/j.                    |
| 3 : Raffinerie d'huile 1800t/j.               | 4 : Zone de stockage de l'huile brut 5400t. |
| 5 : Zone de stockage du sucre roux 50000t.    | 6 : Silos de céréales 120000t.              |
| 7 : Raffinerie de sucre 2000t.                | 8 : Conditionnement de sucre.               |
| 9 : Silo de sucre blanc 80000t.               | 10 : Raffinerie de sucre blanc 3000t/j.     |

11 : Zone de stockage du sucre roux 150000t.

12 : Conditionnement de sucre 1kg.

13 : Centrale électrique cogénération.

14 : Expédition de sucre liquide.

### **I.2.3 Missions et objectifs**

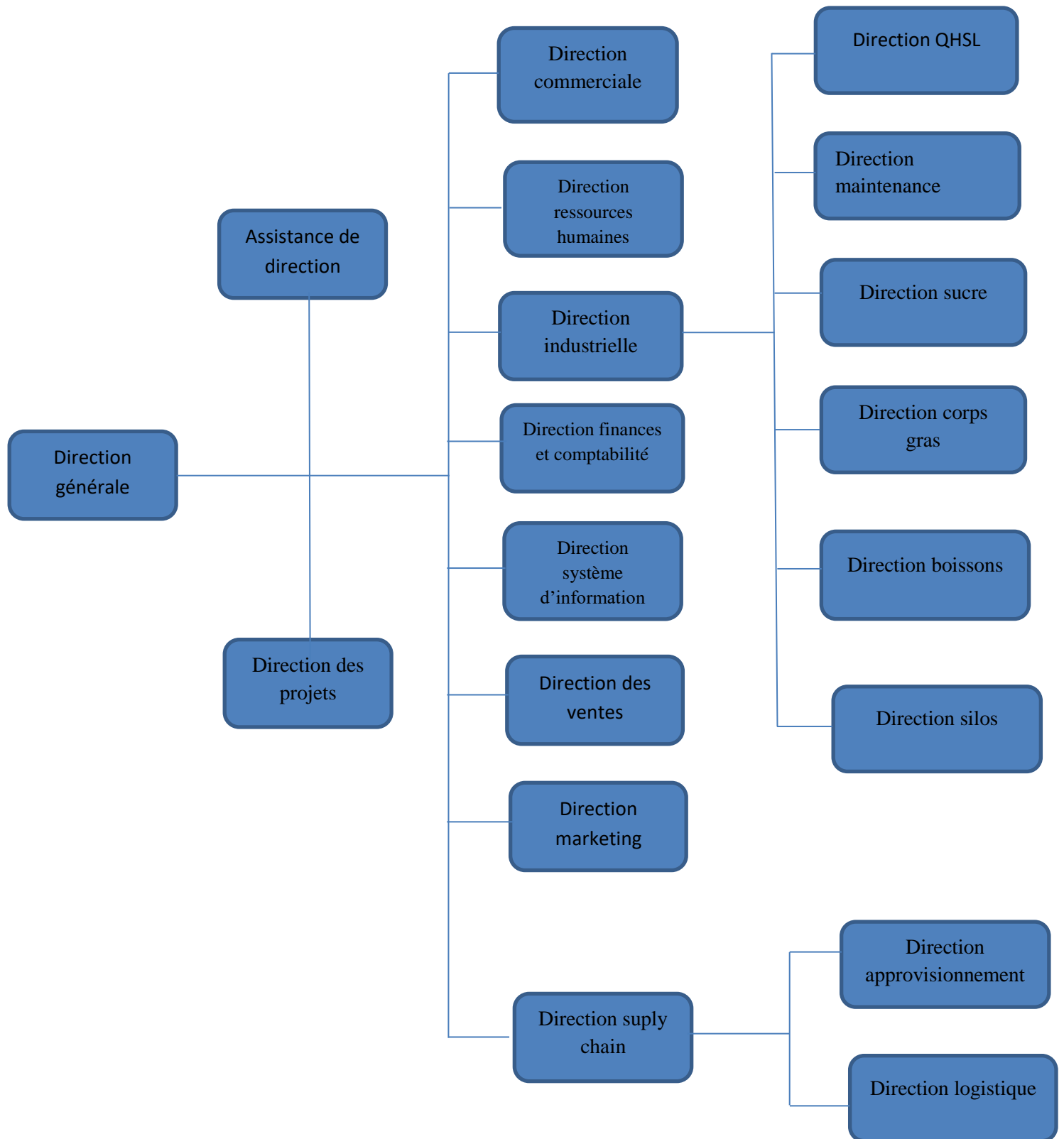
Faire partie de l'évolution économique et sociale algérienne est une mission principale de la société, elle se réalise à travers la création des emplois, dans les investissements dans les principaux secteurs. Elle poursuit également dans la promotion de l'économie algérienne à l'internationale par ses opérations d'exportations ainsi que ses implantations dans plusieurs pays dont principalement en Europe (France, Italie), en Afrique (Tunisie, Maroc), et en Amérique du sud. Ses implantations reflètent sa stratégie internationale, qui vise à diversifier ses activités tout en renforçant sa présence dans le marché mondiale.

Nous pouvons ainsi résumer les objectifs principaux de Cevital comme suit :

- Consolider son leadership en Algérie sur ses principaux volets (agroalimentaire, industrie, distribution, etc.).
- Garantir une croissance rentable et à long terme en développant ses activités et à la découverte de nouvelles opportunités.
- Diversifier son paquet d'activités, notamment vers des secteurs porteuses comme les énergies renouvelables et potentiellement à l'international.
- Improover son efficacité opérationnelle pour amplifier sa compétitivité.

### **I.2.4 Structure hiérarchique**

CEVITAL est une entreprise divisée en plusieurs directions. Ce complexe agroalimentaire est dirigé par un Directeur Général qui veille sur sa sécurité et la gestion optimale de ses ressources.



**Figure I.3 :** structure hiérarchique de cevital.

## **I.2.5 Direction des silos**

### **I.2.5.1 Présentation des unités silos**

Un silo est un réservoir ou un contenant destiné à stocker en toute sécurité de grandes quantités de matières en vrac, et donc essentiel pour la conservation et la logistique dans de nombreux domaines, notamment l'agriculture, l'industrie et les installations portuaires où il s'agit d'avoir de bonnes conditions pour conserver les produits (ventilation, température, humidité, etc. pour éviter la détérioration). Il permet un stockage sécurisé qui facilite la gestion des flux de matières : on remplit le silo par le haut et on le vide par le bas, souvent avec l'aide de systèmes mécaniques comme les élévateurs à godets ou les vis sans fin. [1]

L'unité silos de Cevital est une infrastructure stratégique qui a pour mission le stockage et l'exploitation de produits semi-finis, comme le sucre roux et les céréales. L'unité comporte :

- 24 silos de 5 000 tonnes chacun, et un hangar de 150 000 tonnes construit à partir de 2009.
- Un hangar annexe de 50 000 tonnes.

Soit 320 000 tonnes de stockage au totale.

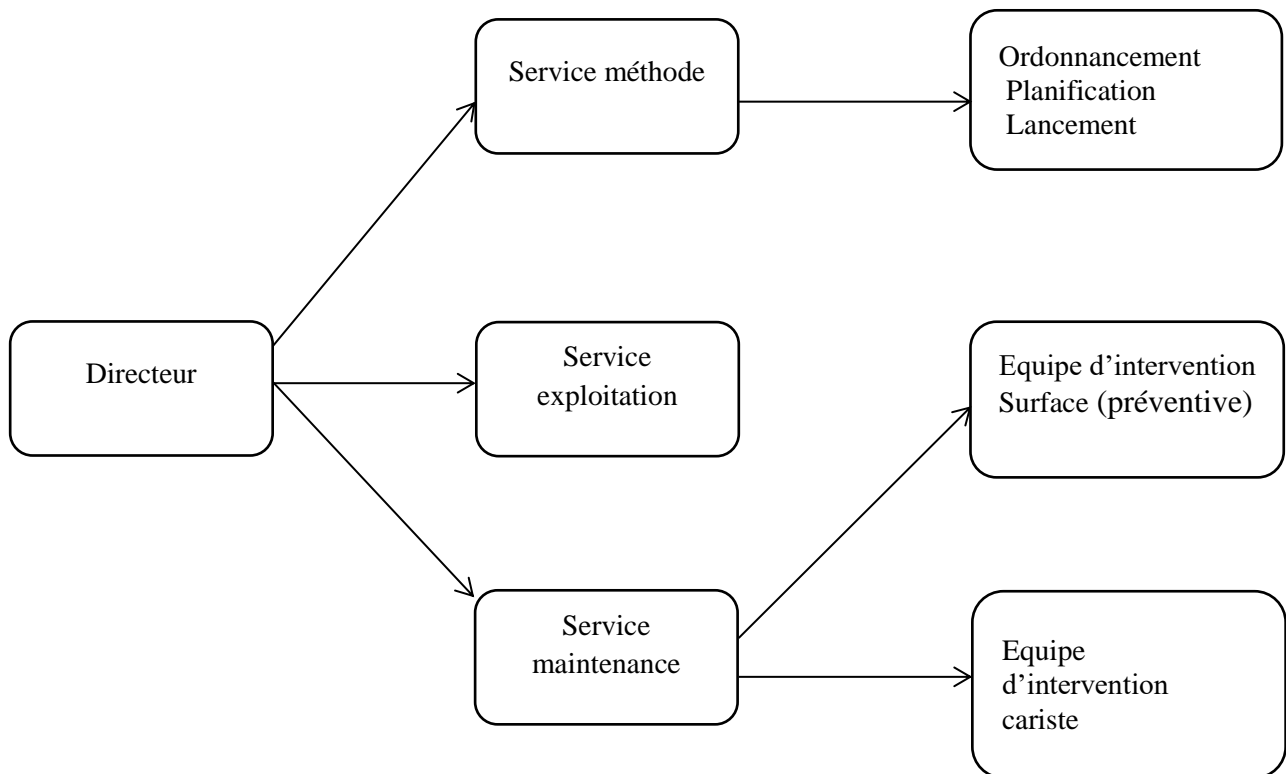
Le déchargement se fait à l'aide d'un système automatisé constitué principalement par des convoyeurs à bande de différentes longueurs et dimensions entraînés par des motoréducteurs permettant un mouvement continu. Avec un débit de 2000 t/h par convoyeur, ce qui permet une forte productivité.

Pour garantir un fonctionnement sûr, les convoyeurs sont dotés par :

- Des capteurs de rotation : surveillant en continu la vitesse des tambours moteurs.
- Des capteurs de déport de bande : détectant toute déviation anormale de la bande transporteuse.
- Capteurs de bourrages
- Arrêt d'urgence...ect

### **I.2.5.2 Organisation des silos**

L'unité de gestion des silos repose sur une organisation fonctionnelle clairement définie, composée de plusieurs services spécialisés. Comme le démontre l'organigramme suivant :



**Figure I.4 :** Organisation des services des silos

### **I.3 La problématique**

L'entreprise fait face à un vrai défi avec le circuit des trémies dans ses installations de déchargement de navires, qui fonctionne actuellement de manière manuelle et repose sur une logique câblée. Ce fonctionnement présente plusieurs inconvénients notables.

D'abord, les opérations manuelles entraînent inévitablement des ralentissements et des délais dans le processus de déchargement et de transfert des marchandises, chaque intervention humaine ralentissant la cadence générale.

Par ailleurs, cette dépendance à l'opérateur augmente le risque d'erreurs lors de la manipulation. De plus, la rigidité de la logique câblée rend toute modification ou adaptation nécessaire pour s'ajuster aux besoins changeants plus complexe et lourde. Cette logique câblée peut entraîner des temps d'arrêt significatifs, sans oublier le manque de données exploitables pour améliorer les performances du système.

Bien, qu'un investissement initial ait pu être limité, les coûts opérationnels à long terme s'avèrent élevés en raison de la main-d'œuvre requise, des erreurs possibles et des arrêts imprévus.

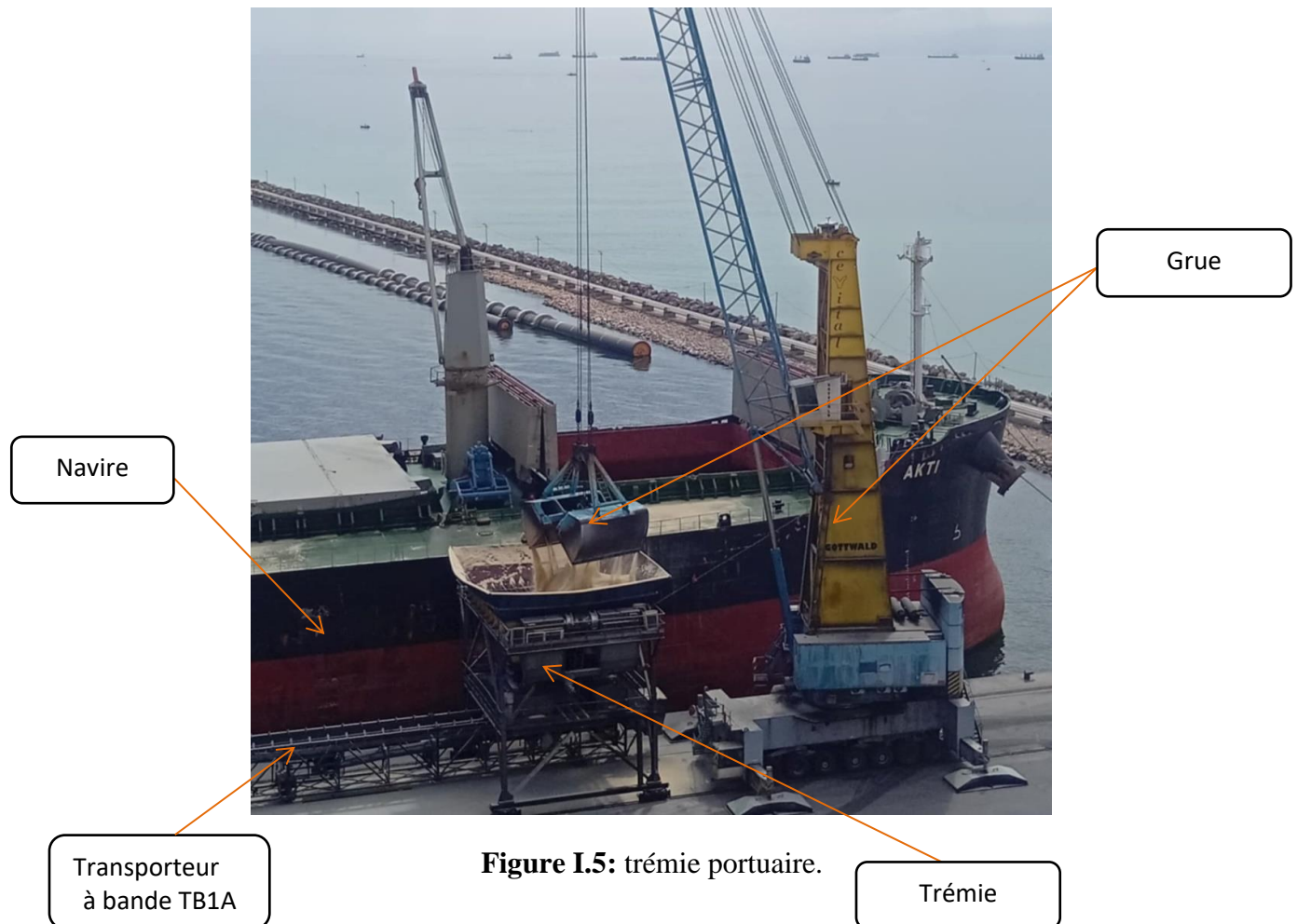
Face à ces limitations, notre solution proposée consiste à automatiser l'ensemble de ce processus. Cette automatisation permettra de corriger les inefficacités du système actuel et d'optimiser l'ensemble du flux de travail.

### **I.3.1 Le circuit de déchargement**

Le circuit de déchargement du sucre roux est constitué des équipements suivants :

- **Transporteurs à bande (TB)**
- **Transporteurs à chaîne (TC)**
- **Deux grues** (capacité unitaire : 30 tonnes)
- **Chariots élévateurs et chargeurs**
- **Pont-bascule et stations de pesage**
- **Élévateurs à sangles**
- **Élévateurs à chaînes**





**Figure I.5:** trémie portuaire.

### **I.3.2 Différents équipements de l'installation**

#### **I.3.2.1 Les trémies portuaires réceptrices**

Les premiers éléments impliqués dans le processus de déchargement, les trémies de réception portuaire, constituent des infrastructures portuaires spécifiées à accueillir, à réguler, à transférer des marchandises vrac du navire déchargé, ensuite les versent sur le reste du circuit(TB1A,TB1b...ect). Les trémies sont autonomes et indépendantes du reste de l'installation, il n'y a pas de communication entre les trémies et la salle de supervision. Chaque trémie est composée de :

- Quatre moteurs aux pieds de sa charpente pour assurer le déplacement sur rail.
- D'une jetée de la matière première d'une grande capacité.
- D'une jetée sous extracteur à bande.
- De deux extracteurs à bandes.
- D'un sabot qui fait varier le débit de la matière.
- Des ventilateurs, filtres et vis pour la récupération de poussière dégagée.

- D'une armoire contrôlant les machines.
- Ainsi que des capteurs de sécurité de l'ensemble des machines de la trémie.

### **I.3.2.2 Les convoyeurs à bandes**

Les transporteurs à bandes ou convoyeurs à bande sont des systèmes de manutention mécanique utilisés pour déplacer les matières premières du quai vers les silos des stockages. Ils sont principalement composés de :

#### **I.3.2.2.1 La charpente**

La charpente des convoyeurs à bandes constitue la structure porteuse assurant le soutien et la tenue en position des divers composants du convoyeur, la bande transporteuse, les différentes stations et tambours, et le système d'entraînement en étant les principaux éléments constitutifs.

#### **I.3.2.2.2 Les bandes**

Les bandes transporteuses sont composées d'une nappe textile (ou âme), un tissage de fils assurant la résistance mécanique et la stabilité, et d'un revêtement en caoutchouc. Ce revêtement protège la nappe interne contre l'abrasion et les intempéries, prolongeant ainsi la durée de vie de la bande. La nappe garantit la résistance aux chocs et à la traction.

#### **I.3.2.2.3 les stations**

Les stations sont des supports sur lesquels sont montés des rouleaux qui permettent à la bande de tourner (de se mouvoir et de rester en mouvement).

#### **I.3.2.2.4 Les tambours**

Éléments cylindriques en métal se situant aux deux extrémités des convoyeurs à bande permettant l'entraînement, le guidage, la tension et le soutien de la bande transporteuse.

### **I.3.2.3 Instrumentation**

Dans le circuit de déchargement, des différents capteurs sont utilisés:

- Capteur de bourrage.
- Deport de bande.

- Contrôle de rotation.
- Arrêt d'urgence.
- Deport de sangle

#### **I.3.2.4 La bascule de pesage**

La bascule de pesage est un équipement essentiel conçu pour mesurer le poids des matières premières transportées avant leur stockage. Son rôle principal est donc de fournir une mesure précise du poids pour la gestion des stocks.

Elle est constituée des éléments suivants :

- Deux trémies (sur bascule et sous bascule)
- Une armoire de commande des vérins pneumatiques de casque des trémies
- D'une trappe de prise d'échantillons
- Deux détecteurs de niveau haut sur bascule
- Un détecteur de niveau haut sous bascule

#### **I.3.2.5 Eléments de dépoussiérages**

##### **I.3.2.5.1 Aspirateur**

Est un ventilateur conçu pour extraire l'air contenant des particules de poussière. Il est positionné au point de déversement des transporteurs à bandes. Son rôle est donc de capturer et d'éliminer la poussière générée lors du transfert de matière, contribuant ainsi à maintenir un environnement de travail plus propre et à réduire les risques liés à l'inhalation de poussières et aux risques liés à la formation des atmosphères explosives.

##### **I.3.2.5.2 Filtre**

Un filtre est un dispositif qui sert à retenir les poussières dans l'air pour assurer la ventilation de locaux clos. Composé de pochettes filtrantes fixées sur des corbeilles, il autorise la circulation d'air pur tout en retenant les particules fines libérées lors d'opérations de transfert ou de déchargement de matériaux en vrac. Ce mécanisme permet d'éliminer les risques de pollution et éventuellement d'accumulation de poussières à l'état dangereux.

### **I.3.2.5.3 Ecluse**

Dispositif à installer en sortie de filtre ou de cyclone, permettant l'évacuation contrôlée des poussières tout en maintenant l'étanchéité du système et les remontées d'air. Il est également utilisé pour réinjecter les poussières dans le processus industriel dans une perspective de recyclage ou de gestion.

### **I.3.2.6 Chariot verseur**

Chariot verseur est un élément clé, conçu pour se déplacer sur des rails à l'aide de six roues, avec une course totale de 80 mètres. Il présente une masse à vide de 1600 kg, une longueur de 15,560 m, une largeur de 3,260 m et une hauteur maximale de 3,830 m.

Il est composé de deux parties principales :

La traînée : Constituant la partie inclinée du chariot, elle mesure 10,160 m de long et supporte un ensemble de rouleaux sur lesquels repose la bande transporteuse.

La partie avant (cubique) : Elle comprend une boîte de jetée supérieure et inférieure, deux tambours de 0,420 m de diamètre et 1,800 m de long, deux trémies de jetée, quatre tendeurs (crochets de fixation des câbles assurant le mouvement du chariot), et une passerelle.

## **I.3.3 Présentation du circuit de déchargement navire hangar**

Le déchargement de la matière première depuis le bateau vers la zone de stockage s'effectue selon les étapes suivantes :

### **➤ Extraction et transfert initial :**

À l'arrivée du navire (27000 tonnes ou plus), deux grues d'une capacité de 100 tonnes chacune prélèvent le sucre roux et le déversent dans des trémies mobiles sur rails. Ces trémies alimentent ensuite le transporteur à bande **TB1A**.

### **➤ Convoyage vers la zone de pesage :**

Le produit transite successivement par les transporteurs **TB1B**, **TB1C**, puis **TB2**.

Ce dernier, d'une longueur de 208 mètres, est actionné par deux moteurs de 200 kW chacun. Il achemine le sucre vers un système de pesage intégré.

### **➤ Distribution vers les zones de stockage :**

Une fois pesée, la matière est orientée vers différentes destinations via le transporteur **TB18**, qui dispose de trois sens de déplacement :

- **Vers les silos** : Par les transporteurs **TB3** et **TB4**.
- **Vers le hangar 50 000 tonnes** : Par les transporteurs **TB7** et **TB14**.
- **Vers le hangar 150 000 tonnes** : Par les transporteurs **TB7**, **TB14**, et **TR2**.

Les transporteurs **TB14** et **TB14C** sont équipés de chariots mobiles assurant une répartition homogène du sucre dans les hangars.

### **I.3.3.1 Schéma des circuits par destination [2]**

La figure I.5 illustre les différentes voies de déchargement, définies comme suit :

- **Hangar 50 000 tonnes** :

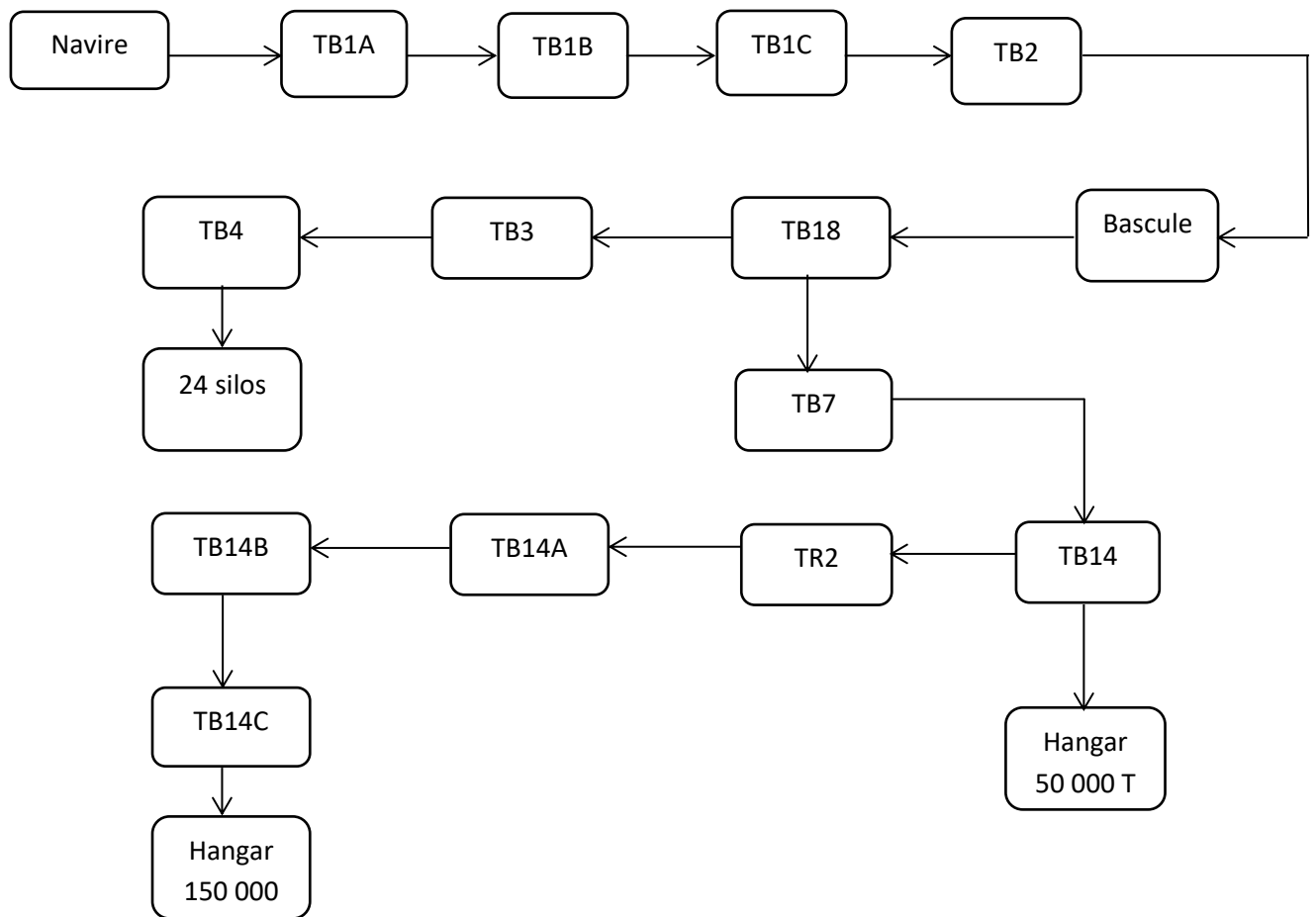
TB1A → TB1B → TB1C → TB2 → Bascule → TB18 → TB7 → TB14 → Hangar 50 000T

- **Hangar 150 000 tonnes** :

TB1A → TB1B → TB1C → TB2 → Bascule → TB18 → TB7 → TB14 → TR2 → TB14A  
→ TB14B → TB14C → Hangar 150 000T

- **24 silos (capacité totale : 120 000 tonnes)** :

TB1A → TB1B → TB1C → TB2 → Bascule → TB18 → TB3 → TB4 → BD1 → 24 empla-  
cements de silos



**Figure I.6 :** Le circuit de déchargement de navire.

### I.3.4 Nombre et emplacement des postes de contrôle [3]

#### I.3.4.1 Local de contrôle de la tour 2

- 2 postes Opérateurs redondants (Poste Silos 1 - serveur, Poste Silos 2).
- Fonctions :
  - Contrôle des réceptions portuaires (céréales et sucre, sélection produit/destination).
  - Contrôle des stocks et affectations produits-cellules.
  - Contrôle du stockage sucre roux et envoi raffinerie.
  - Contrôle du procès et de la ventilation.
  - Aide à la maintenance : temps moteur.

- Contrôle des produits en boisseaux chargement (sélection quantitative TB).
- Contrôle de la thermométrie (poste serveur, programme intégré supervision silos).

#### **I.3.4.2 Local de contrôle du chargement camion**

- 2 postes Opérateur (1 par pont bascule) : Poste PB1 et Poste PB2.
- Fonctions :
  - Contrôle des pré-chargements boisseau peseur.
  - Contrôle des chargements camion sur pont bascule.
  - Édition de feuille de pesée et produit.

#### **I.3.4.3 Local de contrôle du chargement mixte camion et wagon**

- 1 poste Opérateur : Poste PB3.
- Fonctions :
  - Contrôle des chargements camion ou wagon.
  - Édition de feuille de pesée et produit.

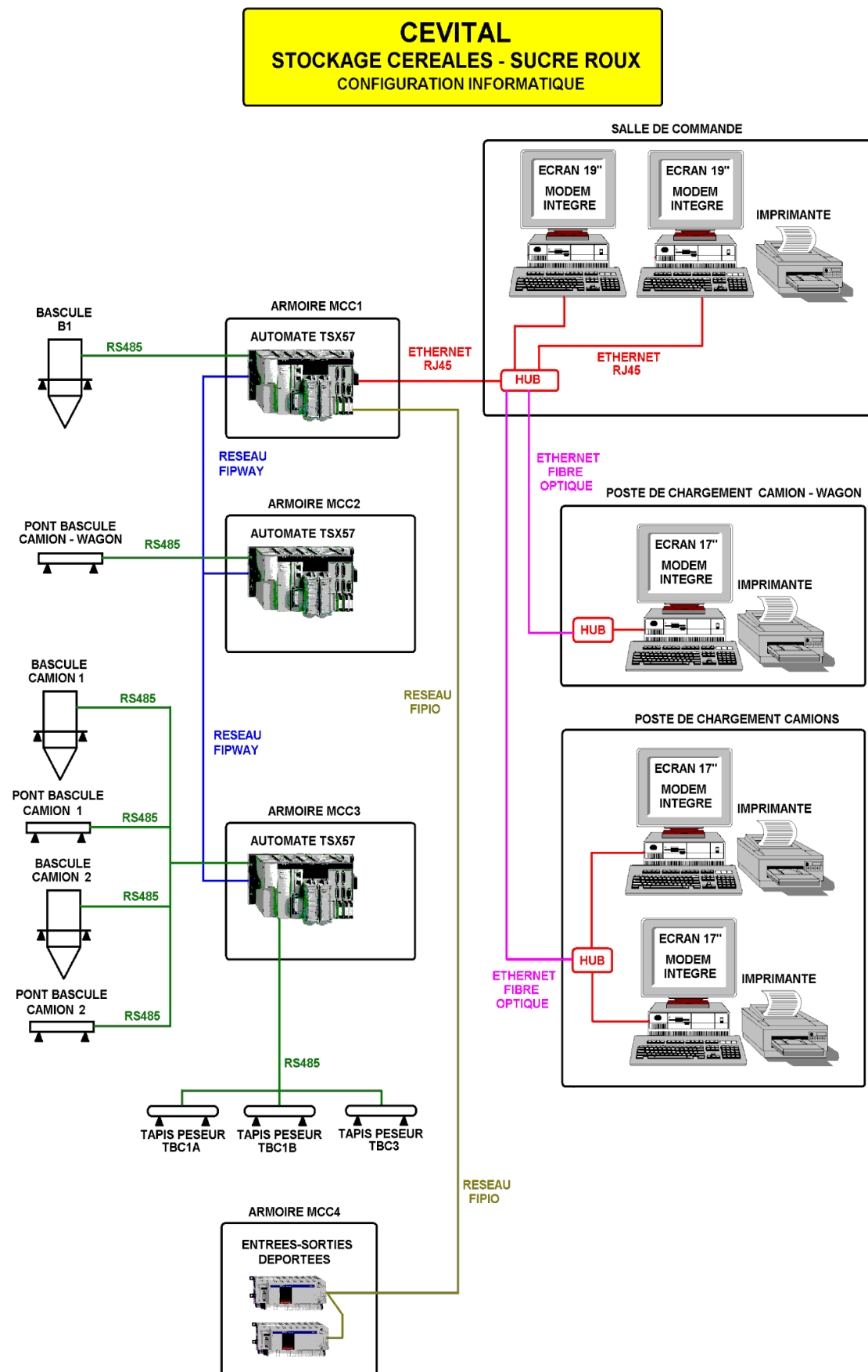


Figure I.7: configuration informatique.



### **I.3.5 Configuration des postes informatiques**

Tous les postes de travail de type PC sont équipés, au minimum, des éléments suivants :

#### Postes Silos 1 et Silos 2 :

- 1 écran 26'' SVGA
- 1 carte Ethernet TCP/IP
- Clavier
- Souris
- Imprimante

#### Postes PB1, PB2 et PB3 :

La configuration de ces trois postes est identique à celle des postes "Silos", intégrant les mêmes équipements de base.

### **I.4 Conclusion**

En guise de conclusion de ce premier chapitre, nous avons posé les bases de notre étude en présentant le groupe Cevital, et avons mis en lumière la problématique du déchargement semi-automatisé des matières premières dans ses trémies portuaires et présenté les différentes parties du circuit de déchargement.

Le chapitre suivant se consacrera à l'examen approfondi de la partie opérative des trémies portuaires, afin de comprendre en détail les mécanismes et les acteurs impliqués dans le processus actuel.

## *Chapitre 02*

Analyse fonctionnelle et  
pilotage instrumenté de la trémie  
portuaire.

## II.1 Introduction

Les trémies portuaires comportent trois principaux éléments opératifs, indispensables à leur bon fonctionnement et à leur sécurité : la partie électrique assurant l'alimentation et la commande des équipements. La partie instrumentation permettant la mesure et le contrôle des paramètres sur le processus, et la partie pneumatique qui fournisse de l'énergie nécessaire aux actionneurs et aux dispositifs de commande.

Ce deuxième chapitre présentera en détail les composants et les fonctions de chaque partie.

## II.2 Constitution de la trémie portuaire



**Figure II.1 :** trémie portuaire.

La trémie est le point de départ de la chaîne de déchargement des produits semi-finis comme le sucre roux et les céréales. Elle est composée d'un châssis en acier et de deux parties latérales assemblées solidement, servant de support aux différents équipements opérationnels. Les éléments constitutifs de la trémie sont :

### II.2.1 Compresseur

Un compresseur, comme son nom l'indique, est un appareil de compression de l'air dont l'objectif est d'apporter la pression souhaitée pour alimenter diverses installations pneumatiques. Il fournit l'air comprimé aux équipements pneumatiques (distributeurs, vérins...) des installations des trémies portuaires.

### **II.2.2 Vis**

La vis est un élément mécanique central des dispositifs de manutention de matériaux en vrac, notamment dans le domaine portuaire.

Sa structure est celle d'une hélice (spirale) tournant autour d'un axe central, ce qui lui permet de déplacer, transporter ou doser des matériaux solides ou semi-solides (céréales, granulats, poudres, etc.), de manière continue et contrôlée.

### **II.2.3 Ventilateur**

La ventilation des trémies portuaires constitue un dispositif essentiel visant à prélever l'air chargé des poussières lors de déchargement au niveau des points de déversement des transporteurs à bandes, en vue de contribuer à la lutte contre la pollution et d'améliorer la sécurité du site.

### **II.2.4 Transporteur**

Transporteur ou convoyeur à bande, représente une installation technique conçue pour le transport continu et automatique de matériels en vrac ou de produits sur une distance déterminée. L'appareil est principalement constitué d'une bande transporteuse fabriquée en caoutchouc ou un matériau adapté, tendue entre deux poulies, dont l'une est entraînée par un moteur. Le produit est déposé à l'extrémité de la bande, qui le transporte grâce à la rotation de rouleaux de supports qui l'accompagne tout au long de son parcours.

### **II.2.5 Boogie**

Les boogies des trémies portuaires sont des équipements mécaniques dotés de motorisations permettant d'assurer le déplacement de la trémie sur les rails portuaires. Chaque boogie rend possible le cheminement de la trémie le long du quai pour s'adapter à la position du navire lors des phases de déchargement. Ces dispositifs motorisés optimisent ainsi à la fois le déplacement et la précision du positionnement de la trémie, objectif crucial pour optimiser également le transfert des matériaux en vrac depuis le bateau vers l'installation de stockage.

## **II.3 Partie opérative de la trémie portuaire**

Pour faciliter la compréhension du fonctionnement et du mode opérationnel de la trémie portuaire, sa configuration est divisée en trois parties fondamentales :

### **II.3.1 Partie électrique**

#### **II.3.1.1 Alimentation**

L'alimentation de l'ensemble des équipements, y compris la trémie portuaire, est assurée par la station électrique de Cevital. À partir du TGBT (Tableau Général Basse Tension) situé en aval, l'énergie est distribuée aux différentes armoires électriques des machines, dont celles des trémies, qui alimentent ensuite tous ses composants électriques.

#### **II.3.1.2 Armoire électrique**

L'armoire électrique constitue le centre névralgique de l'alimentation, de la commande et de la protection de la trémie. Elle contient des sectionneurs (isolement), des disjoncteurs (sécurité surcharge/court-circuit), des contacteurs (commande moteurs), des contacteurs auxiliaires et des relais (fonctions logiques et commande), ainsi que d'autres composants pour assurer un fonctionnement sûr et efficace.

Elle intègre également les commandes suivantes :

- Bouton de choix de fonctionnement : Un commutateur noir à deux positions permettant de sélectionner le mode de fonctionnement souhaité (manuel ou automatique).
- Démarrage des moteurs : Des boutons commutateurs noirs à deux positions (marche/arrêt) dédiés au démarrage des différents moteurs de la trémie (vis, filtre, transporteur, etc.).
- Arrêt d'urgence : Un dispositif de sécurité disponible en deux modèles :
  - Un bouton-poussoir rouge à "champignon".
  - Un fil rouge à accrochage mécanique avec déclenchement par rotation.

Les deux systèmes ont pour fonction d'arrêter immédiatement toutes les opérations de la trémie portuaire en cas de danger.



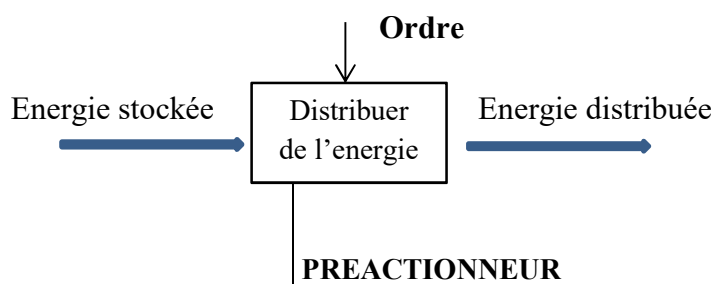
**Figure II.2 :** armoire électrique.

### II.3.1.3 Le disjoncteur

Le disjoncteur est un appareil électromécanique, conçu pour établir, supporter et d'interrompre le courants électrique pendant le fonctionnement normal des circuits. En mode manuel, le disjoncteur agit comme un interrupteur, il permet donc de couper ou laisser passer le courant aux équipements. En cas de fonctionnement anormal, tel qu'un court-circuit, une surcharge ou un défaut d'isolement, le disjoncteur intervient, en interrompant le courant automatiquement. Assurant ainsi la sécurité et la protection des équipements et des personnes.

### II.3.1.4 Les pré-actionneurs

Dans un système automatisé, le pré-actionneur joue un rôle crucial en tant qu'interface entre la partie commande et la partie opérative. Il est responsable de l'adaption et la préparation du signal électrique pour les actionneurs. Généralement ils sont de type tout ou rien (TOR).



**Figure II.3 :** rôle du pré-actionneur.

#### II.3.1.4.1 Le relai

C'est un dispositif de contrôle qui reçoit un faible signal électrique pour activer ou désactiver un circuit de puissance, permettant ainsi de piloter des actionneurs plus puissants. Un relais se compose généralement d'une bobine de fil (l'électroaimant), d'une armature, d'un ressort et d'un ensemble de contacts électriques. La bobine est enroulée autour d'un noyau, généralement en fer.

Lorsque la bobine est alimentée, elle génère un champ magnétique qui attire l'armature, provoquant ainsi l'ouverture ou la fermeture du circuit et contrôlant le passage du courant.

#### II.3.1.4.2 Contacteur

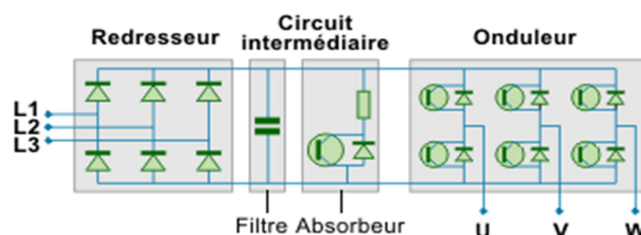
Est un dispositif qui permet d'ouvrir ou de fermer un circuit électrique de puissance à distance, en réponse à un signal de commande. Ce dispositif est composé d'une bobine, bague de déphasage (utilisé pour stabiliser les vibrations de la bobine quand elle est alimentée en courant alternatif), ressort de rappel, un circuit magnétique, contact de puissance ainsi qu'un contact auxiliaire.

Bien que les relais et les contacteurs aient un fonctionnement électromagnétique similaire, ils diffèrent en termes de composants, capacité et applications spécifiques.

#### II.3.1.4.3 Variateur de vitesse [4]

Egalement connu sous le nom de variateur de fréquence, est un dispositif électronique permettant de contrôler la vitesse de rotation d'un moteur électrique, généralement d'un moteur à courant alternatif, en agissant sur la fréquence et/ou la tension d'alimentation.

Composé d'un redresseur, un circuit intermédiaire, un onduleur et de l'électronique de commande.



**Figure II.4:** composants principaux du variateur de vitesse. (Source : energieplus-lesite.be, 25 septembre 2007, "Variateurs de vitesse").

Le redresseur : convertit le courant alternatif AC triphasé du réseau en tension continue, avec une légère ondulation. (Peut être commandé ou non).

Le circuit intermédiaire : lisse la tension continue sortie du redresseur pour améliorer sa stabilité et peut dissiper l'énergie lorsque le moteur fonctionne en mode gradateur.

L'onduleur (PMW) : convertit le courant continu en courant alternatif à fréquence variable, permettant ainsi un contrôle précis de la vitesse et du couple du moteur grâce à la modulation de largeur d'impulsion.

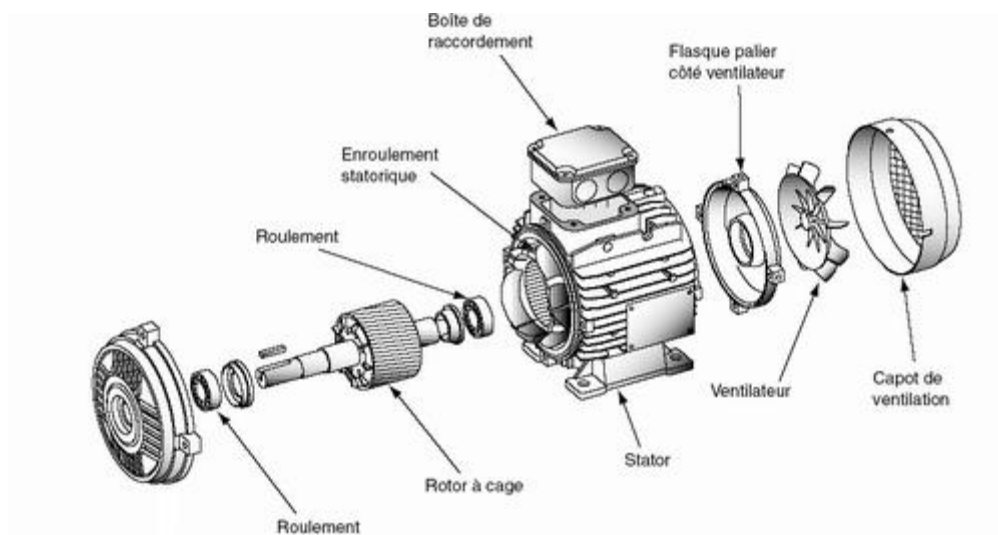
Electronique de commande : coordonne les composants pour un fonctionnement optimal.

### II.3.1.5 Les actionneurs

#### II.3.1.5.1 les machines asynchrones [5]

Les machines asynchrones, sont des moteurs électriques à courant alternatif (CA). Ils sont les plus utilisés dans l'industrie, grâce à leurs avantages comme : la robustesse, la simplicité et le coût réduit.

Constitué de deux armatures coaxiales : le stator (partie fixe du moteur), le rotor (partie mobile du moteur) séparées par l'entrefer.



**Figure II.5 :** moteur asynchrone (rotor à cage).



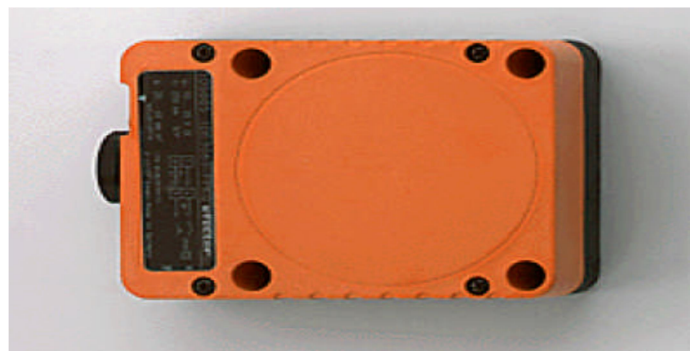
## II.3.2 Partie instrumentation

### II.3.2.1 Contrôle de rotation

Son fonctionnement repose sur la génération d'un champ magnétique lorsqu'il est alimenté. La présence d'un élément métallique rotatif à proximité du capteur provoque une perturbation de ce champ magnétique. Cette déformation est alors détectée par le capteur, signalant un changement de position ou une vitesse de rotation. L'automate programmable interprète ces détections en fonction d'une période de rotation définie. En cas de variation anormale de la rotation, le capteur est configuré pour attendre 5 secondes avant de transmettre un signal d'alerte à l'automate, qui initiera alors un ordre d'arrêt. De plus, le redémarrage du système est conditionné par une temporisation, permettant au moteur d'atteindre sa vitesse nominale avant que le capteur ne reprenne sa surveillance active.

### II.3.2.2 Capteur de bourrage

Le détecteur à membrane est un outil simple, robuste et résistant, idéal pour surveiller l'activité dans les systèmes de manutention de produits en vrac, comme les silos, les trémies et les convoyeurs. Il peut servir à détecter à la fois un niveau minimum et maximum, et à repérer des bourrages. Ce dispositif se compose d'un boîtier avec membrane souple (en acier ou en néoprène) et fonctionne de manière mécanique : la pression exercée par le produit (lorsqu'un certain niveau est atteint ou en cas de bourrage) déclenche le basculement d'un contact interne. Autonome en énergie, il s'avère fiable pour des produits avec diverses densités et des granulométries allant jusqu'à 30mm, tout en pouvant fonctionner à des températures pouvant atteindre 130°C. Sa mise en place stratégique permet de contrôler les niveaux et d'éviter les obstructions, tout en protégeant les équipements des dommages.



**Figure II.6 :** Détecteur de bourrage KD5018.

### II.3.2.3 Capteur déport de bande [6]

Le détecteur de déport de bande ou interrupteur de fin de course, est dispositif de sécurité TOR, actionné mécaniquement par le déplacement d'une bande transporteuse déviée. Sa fonction principale est de signaler et contrôler tout déport excessif de cette bande, via l'ouverture ou la fermeture de contacts électriques ou pneumatiques, afin de protéger la bande contre l'usure et le dommage, en cas d'accumulation conduit à l'arrêt complet de d'installation.

Cet appareil doit être à la fois robuste et fiable, étant souvent un des éléments de sécurité et de maintenance des systèmes de convoyage.

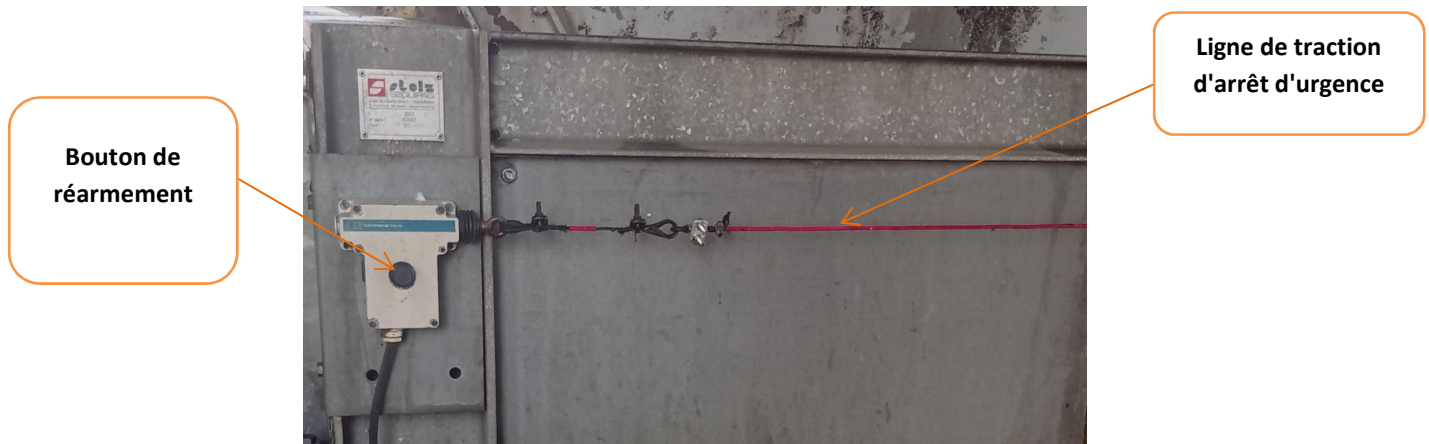


**Figure II.7 :** capteur déport de bande.

### II.3.2.4 Arrêt d'urgence à câble

L'arrêt d'urgence est un dispositif de sécurité crucial conçu pour interrompre instantanément le fonctionnement d'une machine en cas de danger. Il coupe l'alimentation ou bloque le système pour un arrêt immédiat, protégeant ainsi le personnel et l'équipement. Le XY2-CE de Telemecanique (Schneider Electric) est l'AU utilisé à CEVITAL, c'est un d'interrupteur de tirage de câble pour arrêt d'urgence, idéal pour sécuriser les zones de travail étendues. Son principe repose sur l'activation d'un arrêt d'urgence par la traction ou le relâchement d'un câble tendu sur une longueur allant jusqu'à 70 mètres (extensible en série), offrant une accessibilité d'arrêt sur toute la zone. Il intègre 1 contact normalement fermé (NC) et 1 normalement ouvert (NO) à action lente, conforme aux normes de sécurité. La fonction de verrouillage maintient l'état d'arrêt jusqu'à un réarmement manuel, évitant tout redémarrage intempestif. Sa construction robuste avec un corps en zamak et un bouton de réarmement

protégé assure une étanchéité et une résistance adaptées aux environnements industriels (IP65 ou IP66).



**Figure II.8 : arrêt d'urgence à câble.**

### II.3.2.5 Un arrêt d'urgence à coup de poing [7]

Un bouton d'arrêt d'urgence est un dispositif de sécurité crucial, permettant de couper instantanément l'alimentation électrique ou pneumatique d'une machine ou d'un système lorsque la situation devient dangereuse. Souvent désigné sous le terme de "bouton coup de poing", il se distingue par sa tête rouge en forme de champignon, généralement de 40 mm de diamètre, ce qui le rend facile à repérer et à atteindre pour une intervention rapide.



**Figure II.9 : arrêt d'urgence à coup de poing.**

La combinaison d'arrêts d'urgence à câble, qui permet un arrêt localisé le long d'un convoyeur spécifique, et d'un arrêt d'urgence à coup de poing, pour un arrêt globale de l'installation, est une pratique de sécurité industrielle à la fois standard et judicieuse.

Cela permet de gérer différentes situations d'urgence et d'offrir plusieurs options pour arrêter rapidement le mouvement des équipements, afin de prévenir les accidents et les dommages.

### II.3.3 La partie pneumatique

#### II.3.3.1 Les systèmes pneumatiques [8] [9]

Le fonctionnement d'un système pneumatique repose sur la compression de l'air ambiant à pression élevée, par un compresseur. L'air comprimé est stocké dans un réservoir et traité (filtré, séché, régulé) afin d'assurer sa pureté et sa pression au moment de son utilisation. L'air est ensuite distribué par un réseau de tuyauteries, à des actionneurs pneumatiques (vérins, moteurs pneumatiques, etc.), lesquels transforment cette énergie en mouvement soit linéaire soit rotatif. Le tout au moyen de vannes (électrovannes, vannes directionnelles, etc.), et sous le contrôle de la direction, pression et débit de l'air.

#### II.3.3.2 Structure des systèmes pneumatiques

La structure d'un système pneumatique comprend généralement les éléments suivants, organisés de manière séquentielle pour transformer l'énergie de l'air comprimé en travail utile :

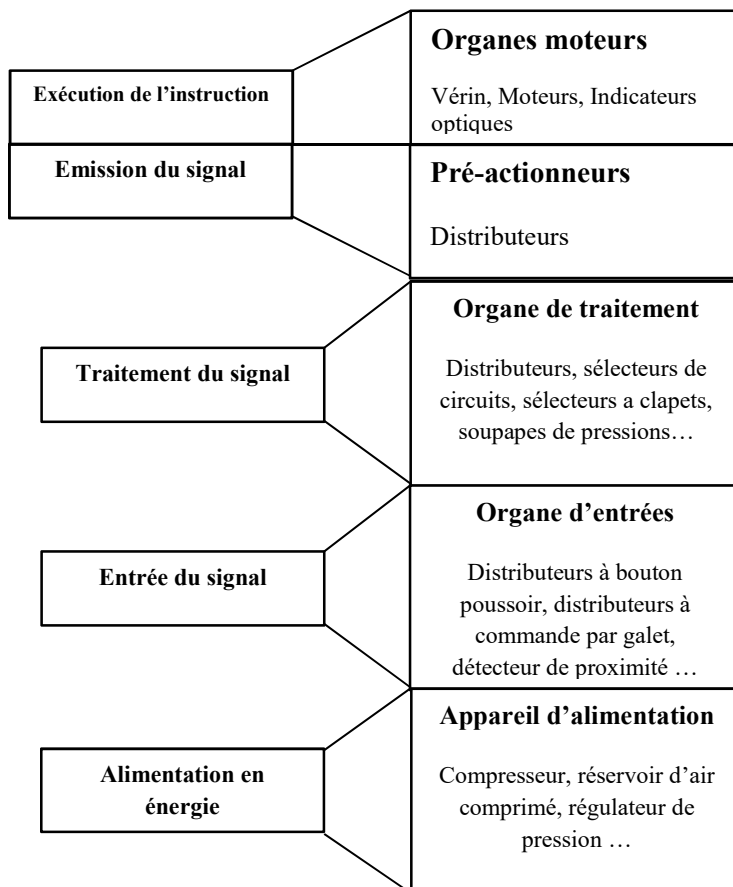


Figure II.10 : structure des systèmes pneumatiques.

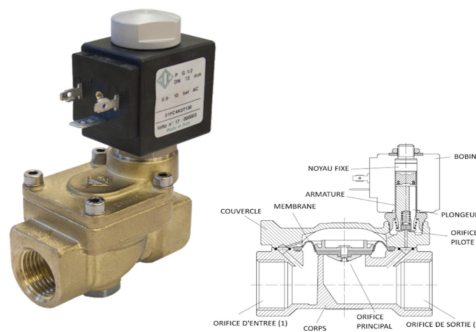
### II.3.3.3 Les distributeurs pneumatiques [10]

Les distributeurs pneumatiques sont des composants essentiels dans les systèmes pneumatiques, agissant en tant que pré-actionneurs pour distribuer l'air comprimé vers les différents actionneurs (vérins, moteurs à palettes, générateurs de vide) en fonction du signal de commande. Ils réalisent la communication entre différents orifices (connexes), pour ouvrir ou fermer le passage de l'air comprimé, selon un mode de commutation dans la technologie du distributeur : déplacement de clapets, de tiroirs ou de disques.

### II.3.3.4 Les électrovannes pneumatiques [11]

Une électrovanne représente un type spécifique de distributeur pneumatique largement répandue, contrôlé par un signal électrique utilisant l'énergie électromagnétique pour déterminer le passage d'air comprimé d'un système pneumatique, occupant ainsi une place importante dans le cadre de l'automatisation industrielle.

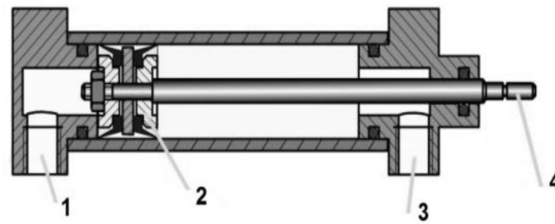
Son principe de fonctionnement repose sur la création d'un champ magnétique par une bobine traversée par un courant électrique, qui déplace un noyau ou un piston en mouvement dans la vanne, permettant ainsi d'ouvrir ou de fermer les orifices de la vanne et donc d'autoriser ou non le passage de l'air comprimé.



**Figure II.11 : Présentation de l'électrovanne.**

### II.3.3.5 Les vérins pneumatiques [12]

Les vérins sont des actionneurs pneumatiques pouvant réaliser des actions linéaires avec une force bien guidée. Ils sont constitués d'un cylindre fermé contenant un piston relié à une tige. La force générée est proportionnelle à la pression appliquée et à la surface du piston ( $F=P.S$ ).

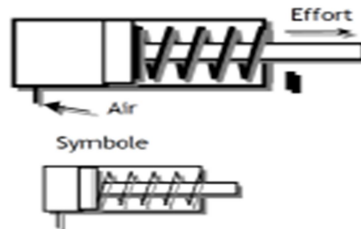


**Figure II.12 :** Composition d'un vérin pneumatique.

- (1) Orifice d'alimentation en pression ou d'échappement.
- (2) piston.
- (3) Orifice d'alimentation en pression ou d'échappement.
- (4) Tige.

#### **II.3.3.5.A Vérin simple effet [13]**

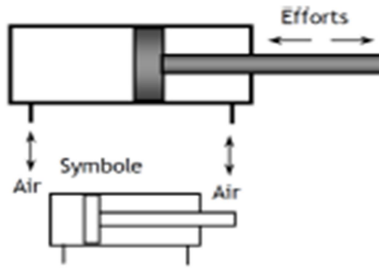
Le vérin simple effet (VSE) ne peut produire un effort que dans un seul sens. Pour cela, l'alimentation pneumatique se fait d'un seul côté du piston. Un ressort permet au piston de revenir en position initiale.



**Figure II.13 :** vérin simple effet.

#### **II.3.3.5.B Vérin double effet [12]**

Dans le cas d'un vérin à double effet (VDE), la rentrée et la sortie de la tige se font en appliquant alternativement la pression sur un côté puis sur l'autre côté du piston. Ce type de vérin est très utilisé dans des applications nécessitant des efforts importants dans les deux sens.



**Figure II.14** : vérin double effet.

## II.4 Conclusion

Dans ce chapitre, la partie opérative et l'instrumentation du système ont été soigneusement analysées, ce qui a permis d'établir une très bonne compréhension de son mode de fonctionnement. Cette compréhension pouvant faire l'objet d'une mise en œuvre, se mettra en évidence dans le chapitre suivant qui portera sur l'automatisation du système, l'automate utilisé dans l'entreprise, l'étude du cahier des charges, et culminera avec la présentation d'une solution d'amélioration.

## *Chapitre 03*

Automatisation du déchargement et  
architectures de téléométrie.



### **III.1 introduction**

Ce chapitre présente en détaille la solution d'automatisation envisagée pour optimiser le processus de déchargement des navires au sein de l'entreprise. Pour commencer, nous introduirons le concept général de l'automatisation industrielle. Ensuite, nous aborderons les automates industriels dans leur ensemble, avant de nous concentrer sur l'automate spécifique déjà en service sur le site, en détaillant ses caractéristiques techniques et fonctionnelles qui le rendent particulièrement pertinent pour notre projet. Par la suite, nous présenterons le cahier des charges qui formalise les besoins, les exigences et les contraintes liées à cette automatisation. Enfin, la solution globale proposée repose sur l'intégration de cet automate et l'utilisation de réseaux sans fil. Nous aborderons également le concept de télémétrie et en soulignant son importance pour la supervision, le contrôle et la gestion à distance en temps réel des opérations, et ce qui permet d'accroître l'efficacité et la réactivité des systèmes automatisés.

### **III.2 L'automatisation**

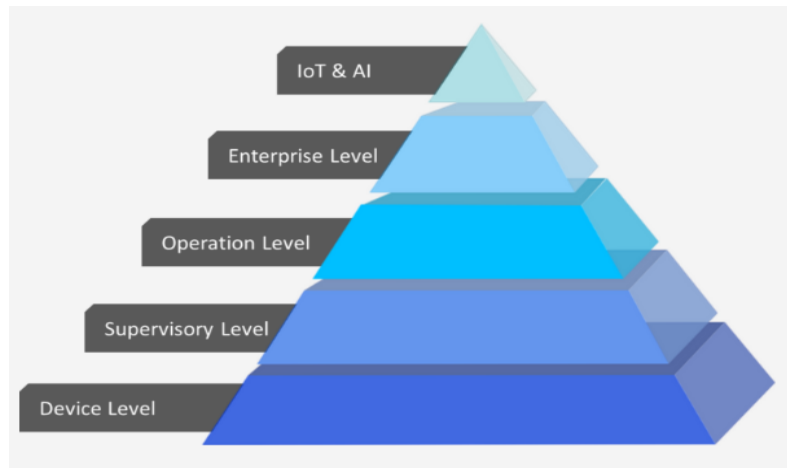
Automatiser, c'est de faire fonctionner un système classique d'une manière intelligente c'est-à-dire sans intervention humaine quel que soit son degré de complexité du système.

Cette approche vise principalement à optimiser l'efficacité en automatisant les étapes répétitives et gourmandes en énergie, permettant ainsi d'obtenir les mêmes résultats de façon plus performante. L'idée est de transférer aux machines la responsabilité de l'exécution des tâches des employés.

L'automatisation permet d'apporter des éléments supplémentaires à la valeur ajoutée par le système. Ces éléments sont exprimables en termes d'objectifs par :

- Augmenter la productivité (rentabilité, compétitivité) du système.
- Accroître la durabilité et la fiabilité.
- Eviter les efforts et les risques humains.
- Gain de temps et d'efficacité.

### III.2.1 Les degrés d'automatisation [13]



**Figure III.1 :** pyramide des degrés d'automatisation.

#### III.2.1.1 Niveau dispositif (device level)

Ce premier niveau d'automatisation, le niveau le plus élémentaire de l'échelle d'automatisation, correspond à l'intégration des équipements du système de production (capteurs, actionneurs) pour réaliser des fonctions simples telles que les commandes marche/arrêt et de régulation de vitesse : il constitue le niveau de base de la mesure et du contrôle, servant de fondement aux niveaux hiérarchiques supérieurs.

#### III.2.1.2 Niveau de supervision (supervisory level)

À mesure que l'on progresse dans la pyramide de l'automatisation, la supervision s'étend vers un contrôle centralisé de plusieurs processus et plusieurs dispositifs. Dans ce domaine, les API et les systèmes SCADA sont indispensables pour le pilotage des opérations de production. Ce niveau assure la supervision en temps réel, la visualisation des informations et la prise de décisions simples. Il offre ainsi à l'opérateur une vue synthétique globale de la chaîne de production, via le suivi des indicateurs clés de performance (KPI) et les ajustements nécessaires pour optimiser la production.

#### III.2.1.3 Niveau Opérations (operation level)

Ce niveau opérationnel, situé entre l'atelier et l'unité de gestion de l'entreprise, intègre les systèmes MES (Manufacturing Execution System) et ERP (Entreprise Ressource Planning) afin d'optimiser l'échange d'informations entre les activités de production et les fonctions commerciales. Il permet également une surveillance de la production en temps réel, un contrôle de la qualité, ainsi qu'une gestion des stocks et des ressources.

#### **III.2.1.4 Niveau Entreprise**

À l'échelon de l'Entreprise, les systèmes de PGI (Progiciels de Gestion Intégrés) ou ERP (Enterprise Resource Planning), centralisent et synchronisent l'ensemble des fonctions commerciales (finances, RH, etc.). Ils assurent une connexion entre la production et les systèmes décisionnels, offrant ainsi une vision globale en temps réel qui permet une planification stratégique fondée sur les données.

#### **III.2.1.5 Niveau IOT/IA**

Au niveau le plus avancé, le niveau 5, l'internet des objets, l'intelligence artificielle, le machine learning et le big data, contribuent à créer des usines intelligentes et auto-optimisantes. L'analyse des données massives par l'intelligence artificielle autorise la maintenance prédictive, un contrôle qualité avancé, une production adaptative, des systèmes de fabrication agiles et l'automatisation rendue possible par l'interconnexion et la prise de décision autonome.

### **III.2.2 La solution de l'automatisation**

Afin d'automatiser un système, il existe deux grande famille de solution de l'automatisation :

#### **III.2.2.A La logique câblée**

C'est une méthode traditionnelle d'automatisation, dans laquelle les circuits électriques sont câblés physiquement pour exécuter une fonction précise, les composants tels que contacteurs, relais et portes logiques étant fixés de manière permanente.

#### **III.2.2.B La logique programmée**

Cette méthode de commande consiste à exécuter une tâche par un programme informatique. Ce programme est stocké dans la mémoire d'un appareil électronique, offrant ainsi une grande flexibilité et de larges possibilités de modification. Elle utilise des microcontrôleurs, des microprocesseurs, des FPGA et des **API**.

##### **III.2.2.1 Les automates programmables industriels**

Un API (Automate Programmable Industriel) ou un PLC (programmable logical controller en anglais), est un dispositif électronique numérique destiné à l'automatisation des processus industriels. Il est conçu pour contrôler des machines ou des lignes de production en exécutant des programmes spécifiques. Un API est principalement composé de 4 parties :

### **III.2.2.1.1 Un processeur [14]**

Organise les échanges entre la mémoire et les interfaces entrées/sorties, et exécute le programme. Le processeur est composé de :

#### **III.2.2.1.1.1 L'unité logique (UL)**

Cette section est responsable du traitement des opérations logiques (ET, OU, Négation), qui peut également être l'unité arithmétique et logique (UAL), laquelle étend ses capacités aux opérations.

#### **III.2.2.1.1.2 L'accumulateur**

C'est un registre de travail, dans lequel sont rangés temporairement des données et des résultats.

#### **III.2.2.1.1.3 registre d'instruction**

C'est un registre qui contient l'instruction à exécuter pendant la durée du traitement.

#### **III.2.2.1.1.4 le décodeur d'instruction**

Utilise des microprogrammes pour décoder et exécuter des instructions.

#### **III.2.2.1.1.5 Le compteur ordinal ou compteur programme**

Dans un traitement séquentiel, le compteur ordinal contient l'adresse de la prochaine instruction à exécuter. Une carte d'interfaçage est essentielle pour connecter le bus aux unités de traitement, d'entrées/sorties, réseaux et consoles.

#### **III.2.2.1.1.6 Registre d'adresse (MAR- memory address register)**

Le registre d'adresse est un composant du processeur qui stocke l'adresse mémoire de la donnée à lire ou à écrire. Lors de tout accès à la mémoire (lecture ou écriture), c'est cette adresse qui est utilisée par le sous-système mémoire pour localiser précisément l'emplacement où l'opération doit être effectuée.

#### **III.2.2.1.1.7 Registre d'état (registre de drapeaux)**

Est une mémoire interne du processeur contenant des bits (flags) qui signalent les résultats des opérations arithmétiques ou logiques effectuées par le processeur.

### **III.2.2.1.2 Interface E/S**

Une interface d'entrées/sorties (E/S) comporte les adresses des entrées de chaque capteur, et celle des sorties pour chaque pré-actionneur. Le nombre d'entrées et de sorties dépend du type de l'automate.

### **III.2.2.1.3 Mémoire**

Conçue pour centraliser les informations provenant de diverses sources du système. Différents types de mémoires sont utilisés au sein de l'automate, réalisant des fonctionnalités différentes :

- **RAM(random access memory)**

Est une mémoire temporaire où sont stockées les informations en cours de traitement. Dans un API elle sert à : exécuter le programme, stocker les variables (valeurs des capteurs, temporisations, compteurs...), gérer les opérations en temps réel, on peut dire alors, qu'elle est sa mémoire de travail.

- **ROM (Read only memory)**

Est une mémoire non volatile qui conserve de manière permanente le micrologiciel et les programmes essentiels au fonctionnement d'un automate, même en l'absence d'alimentation.

- **EPROM (Erasable Programmable Read-Only Memory )**

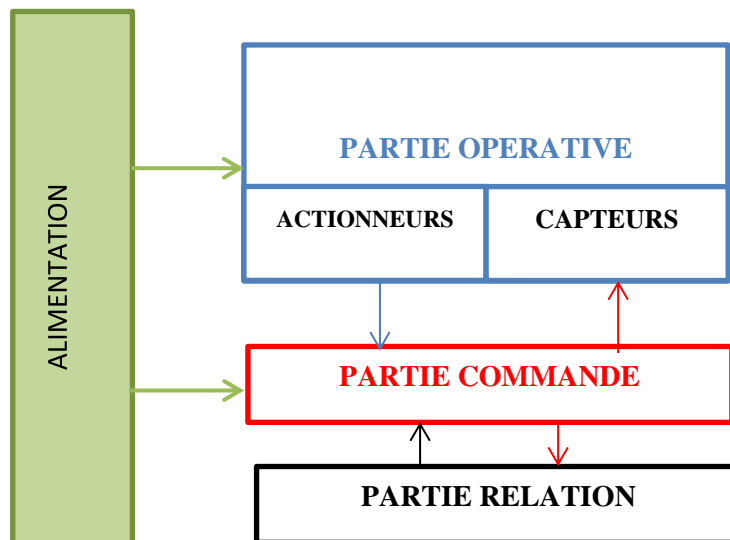
Est une mémoire non volatile qui stocke de manière permanente le programme utilisateur, les configurations et les calibrages, même après une mise hors tension.

#### III.2.2.1.4 Alimentation

Actuellement, tous les automates utilisent un bloc d'alimentation qui reçoit une tension alternative de 240 V et fournit une tension continue de 24V.

#### III.2.3 Structure d'un API

Les automatismes possèdent une structure de base identique, ils sont constitués de plusieurs parties reliées entre elles :



**Figure III.2 :** structure d'un API.

### III.2.3.1 La partie opérative

C'est la partie visible du système automatisé qui exécute les tâches physiques. Elle comprend :

- Les actionneurs** : ils exécutent les tâches en transformant l'énergie (pneumatique, hydraulique et ou électrique) en travail mécanique (mouvement, force, etc.).
- Les capteurs** : mesurent, contrôlent, surveillent et informent la partie commande de l'évolution du système.

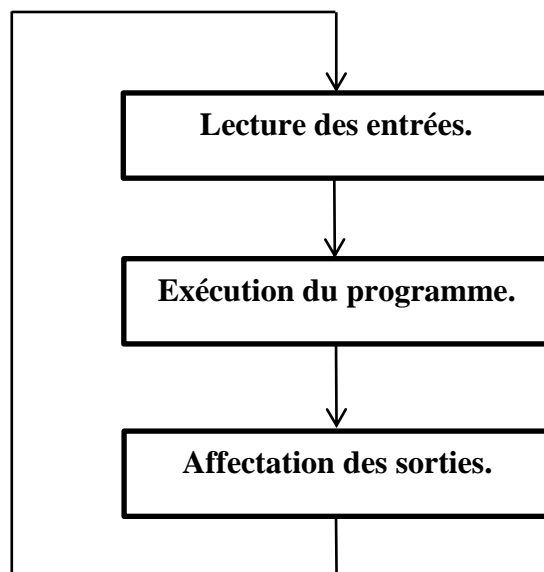
### III.2.3.2 La partie commande

Cette partie gère le déroulement logique des opérations. Elle reçoit les informations des capteurs, les traite, puis envoie des commandes à la partie opérative à travers les pré-actionneurs et les actionneurs.

### III.2.3.3 La partie relation

Cette section est responsable de la communication entre le système automatisé et l'opérateur humain. Elle est souvent matérialisée par un pupitre de dialogue ou une Interface Homme-Machine (IHM).

### III.2.4 Cycle d'exécution d'un automate



**Figure III.3** : cycle d'exécution d'un automate.

-les signaux électriques provenant des capteurs sont reçus par les modules d'entrées. Chaque module est repéré par une adresse unique.

- L'API calcule les équations de fonctionnement du système en fonction des entrées.

- Les résultats sont transférés vers les modules de sortie. Chaque sortie est repérée par une adresse de sortie spécifique.

### III.2.5 Programmation des API

#### III.2.5.1 les langages de programmation [15]

Les langages automates sont standardisés par la norme CEI 61131-3. Cette norme définit deux grandes catégories de langages :

- Les langages textuels
- Les langages graphiques

##### III.2.5.1.A Les langages graphiques

Le langage graphique utilisé pour la programmation des automates représente les opérations sous forme de schémas, de blocs et de figures, facilitant ainsi la lecture et la compréhension, ce qui est familier aux utilisateurs issus du domaine des systèmes électriques, des procédés industriels. Parmi les langages les plus visuels, on peut mentionner :

##### - Ladder Diagram (LD)

Une représentation visuelle intuitive pour les électriciens, qui imite les schémas de câblage électrique utilisés pour illustrer la logique de commande.

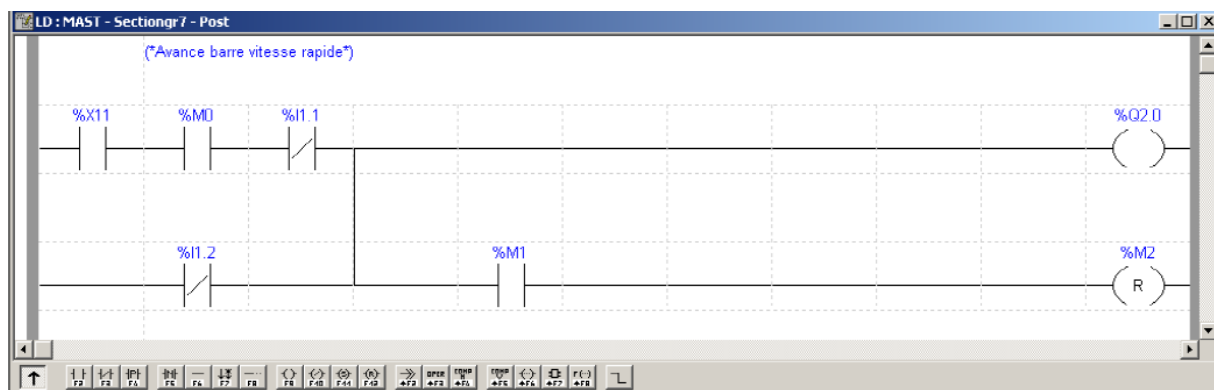
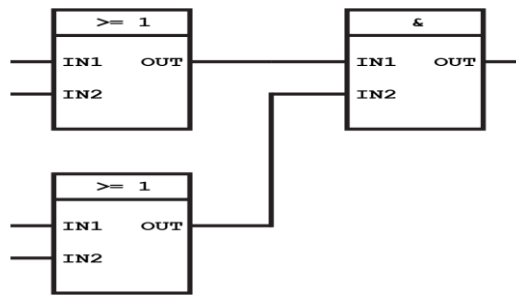


Figure III.4 : langage LADDER.

##### - Function Block Diagram (FBD)

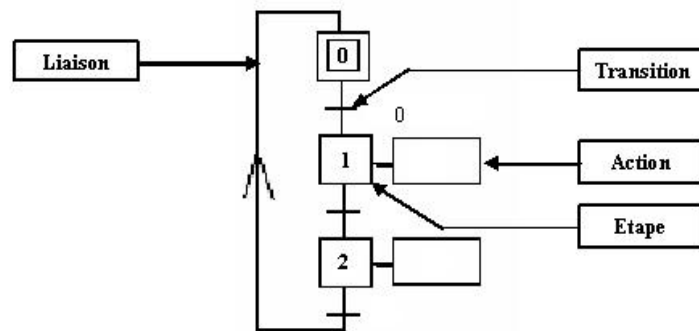
Composé de blocs fonctionnels interconnectés, il permet de modéliser des fonctions de contrôle tout en offrant une visualisation claire des états des entrées, des sorties et du flux de données dans les algorithmes.



**Figure III.5 :** langage FBD.

#### - Sequential Function Chart (SFC) ou Grafcet

Idéal pour structurer les programmes en plusieurs séquences d'étapes avec des transitions bien identifiables, tout en fournissant une visualisation claire des déroulements des processus les plus complexes.



**Figure III.6 :** langage GRAFCET.

#### III.2.5.1.B Les langages textuels

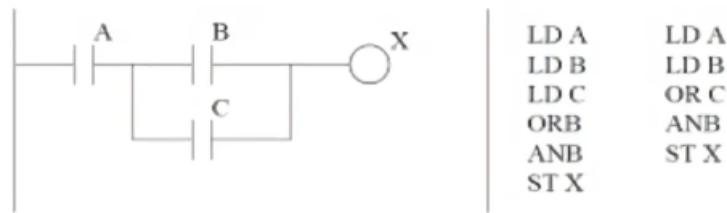
Les langages de programmation textuels pour automates, s'inspirant des langages classiques, offrent une grande flexibilité pour structurer des codes complexes et des instructions précises. Ils sont particulièrement efficaces pour les calculs avancés, le traitement de données et les logiques complexes.

Parmi les plus importants, nous avons :

##### - Langage d'instructions (IL) :

Un langage de bas niveau de type assembleur où chaque instruction est écrite de manière séquentielle. Simple, en revanche, il demande une bonne connaissance du code et de la syntaxe ; raison pour laquelle on l'utilise moins aujourd'hui.





**Figure III.7 : langage IL.**

- Texte structuré (ST) :

Langage de haut niveau de type C, de plus en plus utilisé dans l'industrie, car souple. Utile aussi pour les systèmes complexes dont la logique ne peut être écrite séquentiellement.

**Langage ST**

```

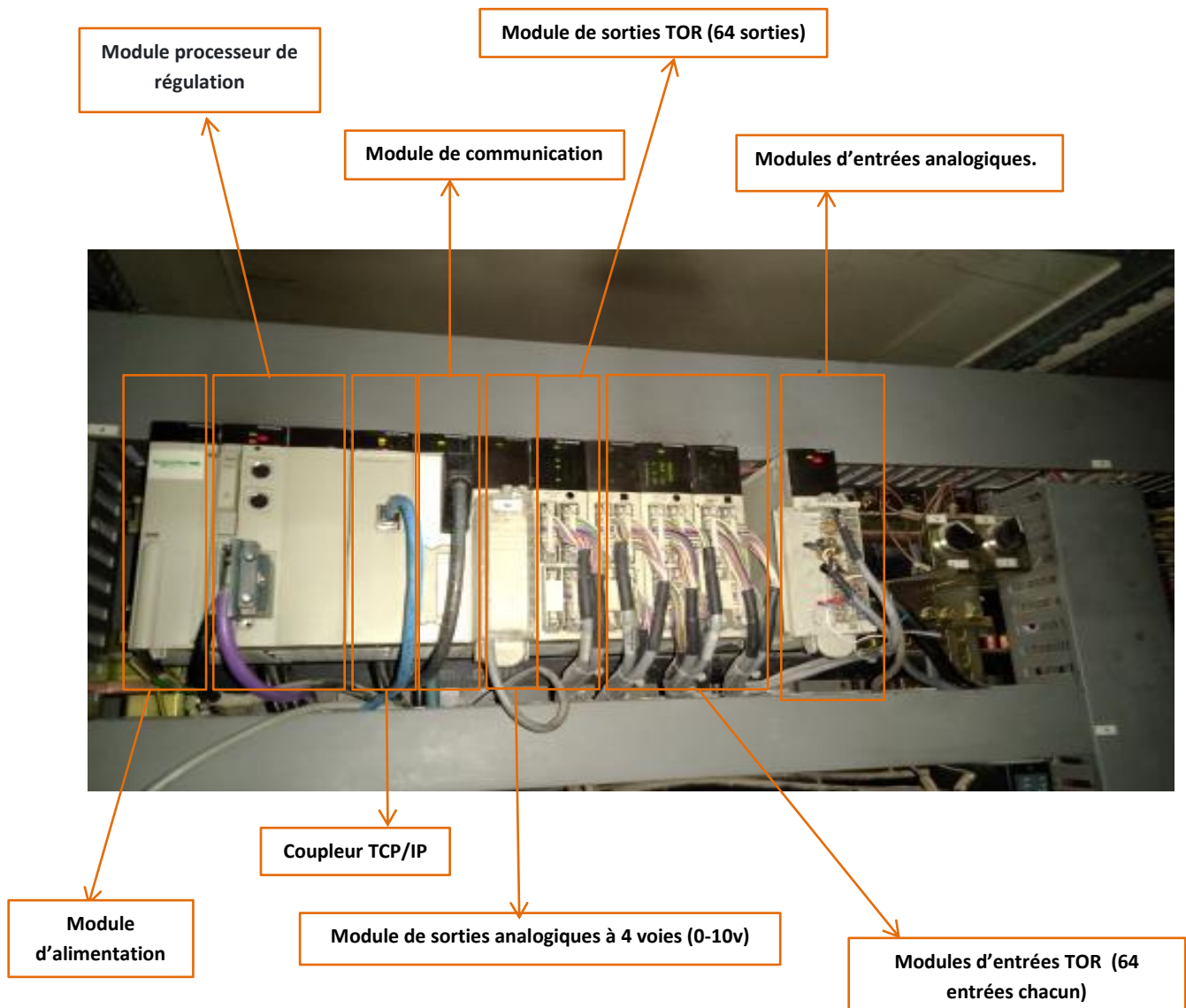
....
IF (%X11 AND %M0 AND NOT(%I1.1)) OR (NOT(%I1.2)) THEN
    %Q2.0 := TRUE ;
    IF %M1 THEN
        RESET %M2 ;
    END_IF
ELSE
    %Q2.0:= FALSE ;
END_IF
.....
    
```

**Figure III.8 : langage ST.**

Dans le cadre de ses opérations, Cevital s'appuie sur un automate programmable Schneider TSX57 (Premium).

### III.2.6 L'automate Schneider TSX57A

Les automates programmables Schneider TSX57A de la gamme Premium sont des contrôleurs modulaires dédiés au traitement des applications industrielles les plus exigeantes. Grâce à leur architecture réalisée pour délivrer des performances élevées, ils garantissent une très grande flexibilité, un temps de cycle d'exécution très court, ainsi qu'un traitement efficace des entrées/sorties les plus variées, comprenant la sécurité. Ces automates sont parfaitement adaptés à l'environnement industriel à fort contenu de contrôle, à l'instar des machines automatisées, des lignes de production et des infrastructures critiques.



**Figure III.9 :** Architecture de l'automate TSX57353A de la MCC1.

#### **III.2.6.1.1 Le module d'alimentation**

Constitue la source d'énergie du système, il permet l'alimentation électrique de tous les modules présents sur le rack, assurant ainsi la continuité de service.

#### **III.2.6.1.2 Module processeur de régulation**

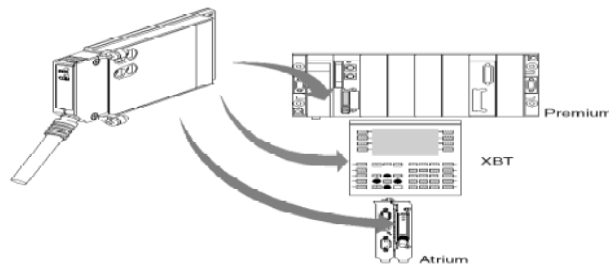
Agit comme l'unité centrale de traitement, exécute le programme de commande et de contrôle, interprète les signaux des modules d'entrée, applique la logique de régulation définie par l'utilisateur et produit les commandes vers les modules de sorties.

Doté d'une mémoire RAM interne pour la sauvegarde de 48 K mots. Cette capacité peut être étendue jusqu'à 128 K mots via une carte PCMCIA (pour Personal Computer Memory Card

International Association), offrant ainsi une flexibilité pour des programmes de complexité variable et le stockage de données.

#### La carte PCMCIA :

L'automate TSX Micro de schneider permet d'étendre la mémoire RAM interne via la carte PCMCIA, son processus peut recevoir jusqu'à 2 cartes extensions mémoire, avec une capacité typique de 32 k ou 64 k mots. Ces dernières peuvent contenir le programme de l'application, les constantes, et permettent de sauvegarder les données en cas de coupure d'alimentation. Elle peut également servir d'interface de communication pour connecter l'automate à différents réseaux.



**Figure III.10:** exemple d'une carte PCMCIA.

#### **III.2.6.1.3 Coupleur TCP/IP**

Ce type de module a pour but d'établir une connexion et un échange de données via le protocole de communication TCP/IP, le standard sur les réseaux Ethernet, et intègre ainsi l'automate dans des réseaux d'informatique industriels. Cela associe ainsi l'automate à des systèmes de supervision (SCADA), base de données, serveur web ou automate.

#### **III.2.6.1.4 Module de communication**

Offrant diverses interfaces de communication (Ethernet, Modbus, Profibus), il permet l'intégration de l'automate dans des architectures de contrôle distribuées et la supervision à distance.

#### **III.2.6.1.5 Des modules de sorties analogiques à 4 voies (0-10V)**

Modules capables de délivrer jusqu'à quatre signaux de tensions différents, dans la plage de 0 à 10 volts, pour piloter des actionneurs comme des variateurs de vitesse, des vannes proportionnelles ou des afficheurs analogiques.

#### **III.2.6.1.6 Des modules de sorties Tout Ou Rien (TOR) à 4 voies**

Avec leur capacité de 64 sorties, ils garantissent l'interface de commande pour des actionneurs à deux états tels que les électrovannes, les contacteurs, les indicateurs lumineux.

#### **III.2.6.1.7 Des modules d'entrées Tout Ou Rien (TOR)**

Ils ont pour fonction, en simultané, de réceptionner un ensemble de données binaires provenant d'un nombre significatif de capteurs à deux états comme les fins de course, les boutons poussoirs ou les détecteurs de proximité, etc.

#### **III.2.6.1.8 Des modules d'entrées analogiques**

Ces modules permettent d'interfacer des capteurs qui produisent des signaux continus physiques tels que ceux mesurant la température, la pression, le débit... Ils réalisent la transduction de ces signaux physiques dans une représentation numérique, ainsi, les informations peuvent être accessibles au processeur de l'automate pour traitement ultérieur.

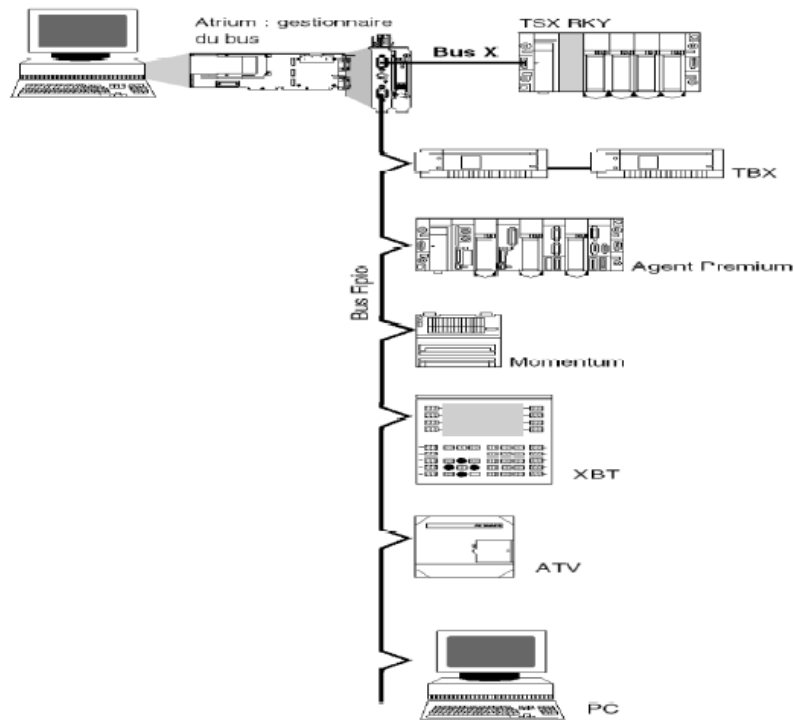
### **III.2.6.2 Les bus et réseaux de terrain [16] [17]**

#### **III.2.6.2.1 communication intégrée**

L'une des caractéristiques principale de l'automate est sa communication intégrée, le TSX57353A intègre plusieurs moyens de communication pour assurer l'échange de données avec les autres équipements :

##### **a) Bus FIPIO**

La communication Fipio, qui fait partie de l'offre WORLDFIP de Schneider Automation, est un bus de terrain industriel ouvert, reposant sur le standard FIP. Elle vise au déport de l'entrée/sortie d'un automate et de ses périphériques industriels au plus proche du procédé opérationnel. L'automate intègre un gestionnaire Fipio à 1 Mbit/s, permettant de piloter jusqu'à 127 agents sur le réseau. Le connecteur utilisé est un SUB-D 9 broches. Ce bus est propriétaire Schneider et sert à la communication rapide entre automates et modules d'E/S distribuées.



**Figure III.11 :** Communication type FIPIO.

#### **b) Port Ethernet Modbus/TCP**

Le port Ethernet Modbus/TCP intégré est une interface réseau standard qui permet à l'automate de communiquer rapidement et efficacement via le protocole Modbus sur un réseau Ethernet. Il facilite l'échange de données en temps réel entre automates, systèmes de supervision et autres équipements industriels au sein d'architectures modernes.

Le port RJ45 intégré, supporte plusieurs protocoles et fonctionnalités avancées, notamment Modbus TCP, Uni-Telway, serveur Web, FactoryCast, SNMP, SMTP et SOAP XML Web. Il offre une connectivité étendue aux réseaux Ethernet industriels, permettant ainsi la télémaintenance, la supervision à distance et jusqu'à 64 connexions simultanées.

#### **c) Liaison série TER et AUX**

Les liaisons série TER et AUX sont des ports de communication intégrés à l'automate pour connecter des terminaux de programmation, des pupitres opérateurs ou d'autres équipements. Les deux ports mini-DIN 8 broches RS-485 non isolés supportent les protocoles UniTelway, Modbus RTU et le mode caractère, avec des vitesses allant de 19,2 à 115 kbit/s. Ils sont utilisés pour connecter divers dispositifs tels que des terminaux, des opérateurs, des variateurs et des équipements tiers.

#### **d) Modules PCMCIA**

L'automate possède deux emplacements de modules PCMCIA servant à l'extension des capacités de communication de l'automate par l'ajout de bus de terrain et de réseaux supplémentaires (ex.: CANopen, Modbus Plus, Fipway), ce qui lui confère une plus grande flexibilité dans l'intégration dans des environnements industriels très diversifiés.

#### **III.2.6.2.2 les bus et réseaux de terrain compatibles avec l'automate**

Au-delà de ses interfaces intégrées, l'automate supporte divers bus et réseaux de terrain, qui permettent la communication entre automates, capteurs, actionneurs et variateurs.

Ces systèmes de communication industriels permettent de remplacer des câblages point à point au profit d'un réseau qui est partagé, afin de simplifier l'installation et la maintenance et d'augmenter la fiabilité du système.

##### **III.2.6.2.2.A Bus capteurs et actionneurs**

###### **III.2.6.2.2.A.1 Bus AS-i**

Robuste et simple, AS-Interface (ci-après AS-i) est un bus de terrain à utiliser pour la connexion rapide de capteurs et d'actionneurs sur le terrain dans l'automatisation. Le TSX57353A peut gérer jusqu'à 8 maîtres AS-i, permettant ainsi de connecter un grand nombre d'esclaves. Il utilise une topologie bus linéaire avec dérivations, un débit de 167 kbit/s, et un temps de cycle qui varie de 2 à 18 ms suivant le nombre d'esclaves connectés. AS-i est conçu pour fonctionner dans les environnements difficiles de l'industrie.

###### **III.2.6.2.2.A.2 Bus CANopen**

CANopen est un protocole industriel basé sur le bus CAN, conçu pour l'échange rapide et fiable de données entre équipements d'automatisation. Il permet de connecter jusqu'à 127 appareils sur un même réseau, avec des vitesses allant jusqu'à 1 Mbit/s (portée maximale de 40 m à ce débit, plus si le débit est réduit). Sa fiabilité, sa souplesse et sa simplicité d'intégration en font une solution idéale pour les systèmes modulaires. Par exemple, l'automate TSX 57353A de Schneider Electric peut communiquer sur un réseau CANopen via une carte dédiée, facilitant l'échange de données avec divers équipements et rendant le système plus flexible et évolutif.

##### **III.2.6.2.2.B Réseaux de terrain**

###### **III.2.6.2.2.B.1 Fipway**

Fipway est un bus de synchronisation de niveau 2 dans l'architecture FIP, conçu pour coordonner et synchroniser les échanges entre automates dans un système distribué.

Contrairement au bus Fipio (niveau 1) dédié aux entrées/sorties déportées, Fipway assure une communication locale industrielle fiable entre automates. Il propose des débits normalisés de 31,25 kbit/s (jusqu'à 1900 m), 1 Mbit/s (jusqu'à 750 m), 2,5 Mbit/s (jusqu'à 500 m) et peut évoluer vers 25 Mbit/s (FIP High Speed Fieldbus). Un segment Fipway peut connecter jusqu'à 32 nœuds, et il est possible d'utiliser jusqu'à 4 répéteurs pour étendre le réseau.

#### **III.2.6.2.2.B.2 Bus Modbus et Jbus**

Le bus Modbus est un protocole de communication industriel ouvert, largement utilisé pour faire communiquer des automates, des capteurs, des actionneurs ou d'autres dispositifs au sein d'un même réseau ; il est basé sur une architecture maître/esclave où un unique maître interroge plusieurs esclaves.

##### Modbus RTU :

- Vitesse typique : 300 à 19 200 bauds (jusqu'à 115 200 bauds parfois).
- Supporte jusqu'à 32 esclaves sur une liaison RS-485, avec une portée maximale d'environ 1200 mètres.
- Utilise des trames binaires comprenant un code de fonction (lecture/écriture de registres ou de bits) et un CRC pour la détection d'erreurs.
- Communication strictement maître/esclave : seul le maître peut initier une communication, les esclaves ne communiquent pas directement entre eux.

##### Modbus TCP :

Est une version de Modbus qui fonctionne sur les réseaux Ethernet standard (10/100/1000 Mbps) en utilisant le protocole TCP/IP. Contrairement à Modbus RTU, il permet plusieurs connexions simultanées et offre des échanges de données plus rapides et flexibles.

Modbus TCP supporte des communications client/serveur plus dynamiques, où plusieurs requêtes peuvent être envoyées sans attendre les réponses. Il est donc plus adapté aux architectures modernes et aux réseaux étendus.

##### JBus :

Est une variante du protocole Modbus RTU, développée par Modicon (aujourd'hui Schneider Electric). Il est compatible avec Modbus RTU et partage les mêmes principes de communication série maître/esclave. JBus est fréquemment utilisé dans les gammes d'automates Schneider, en particulier la série TSX57.

### **III.2.6.2.2.C Réseaux Ethernet TCP/IP**

Les réseaux Ethernet TCP/IP sont des infrastructures de communication standardisées, basées sur la suite de protocoles TCP/IP, pour un échange de données fiable et structuré entre équipements industriels, serveurs, automates et systèmes de supervision.

#### Principes clés :

##### Protocole TCP :

Garantit une communication fiable et connectée en divisant les données en paquets, en assurant leur ordre et leur intégrité, et en gérant la retransmission et le contrôle de flux.

##### Protocole IP :

Responsable du routage des paquets entre les adresses IP sur les réseaux locaux ou étendus.

##### Architecture en couches :

Un modèle à quatre couches (application, transport, internet, lien) standardise la communication et favorise l'interopérabilité entre différents fabricants.

### **III.3 Cahier de charge**

Le cahier des charges est un document décrivant les spécifications, attentes et exigences d'un projet ou produit, incluant ses besoins et contraintes. Son établissement est la première étape fondamentale avant toute étude ou travail d'automatisation.

Après l'accostage du bateau et l'ouverture des cales, le déchargement des produits semi-finis (sucre roux, céréales) commence par le démarrage d'un compresseur. Celui-ci actionne un télescope via des vérins et électrovannes pour extraire le produit, avec un sécheur d'air pour l'humidité.

En parallèle, un système d'aspiration (vis, filtres, ventilateurs) se met en route selon une séquence spécifique pour gérer les poussières. Ce système d'aspiration comprend une vis sans fin, un filtre et une ventilation.

La séquence de démarrage est la suivante : d'abord la vis (a), puis la vis (b), ensuite le filtre (Fb1) qui active la ventilation (VTb1), et de même pour le filtre (Fb2) et la ventilation (VTb2). Cette séquence se poursuit avec la vis (c), puis le filtre (Fc1) et le ventilateur (VTc1), et enfin le filtre (Fc2) et le ventilateur (VTc2).

Les tapis transporteurs TBEX1A et TBEX1B démarrent ensuite, sous autorisation du TB1A.



Plusieurs conditions peuvent entraîner l'arrêt du système :

- Si les tapis ne démarrent pas dans les 10 minutes suivant leur activation, l'aspiration s'arrête automatiquement.
- Si le circuit fonctionne normalement et que les tapis s'arrêtent pour une raison quelconque, l'aspiration s'arrête après 15 minutes.
- En cas de bourrage de la vis, la vis s'arrête immédiatement.
- En cas de bourrage du tapis TBEX, le tapis s'arrête immédiatement.
- En cas de déport de bande, le tapis s'arrête après un délai de 5 secondes.
- En cas d'arrêt d'urgence, le tapis TBEX s'arrête immédiatement.
- Si le contrôle de rotation détecte une anomalie, le tapis TBEX s'arrête immédiatement.
- Si le niveau du filtre est trop haut, le filtre et le ventilateur associés s'arrêtent

### III.3.1 Diagramme de fonctionnement :

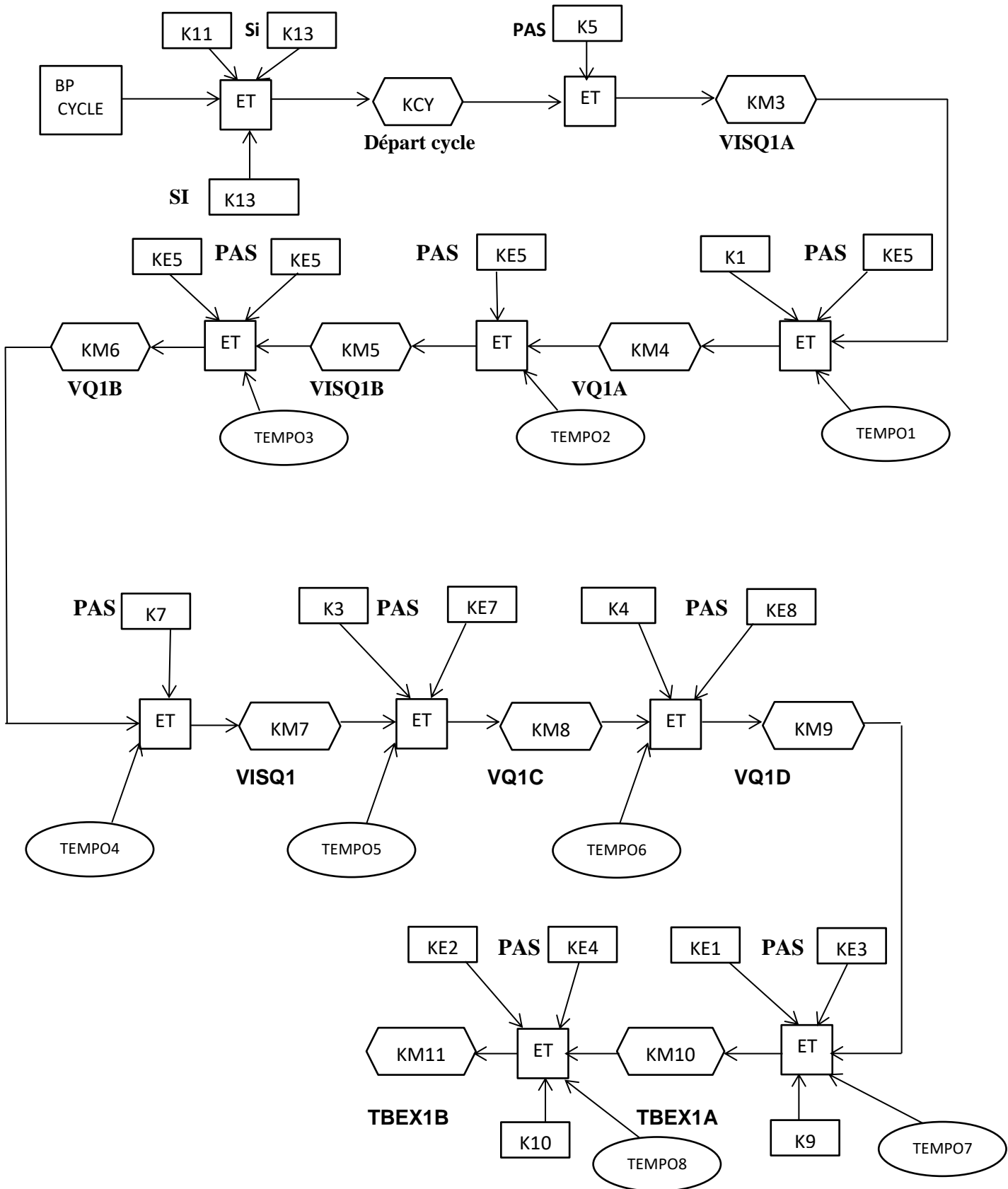


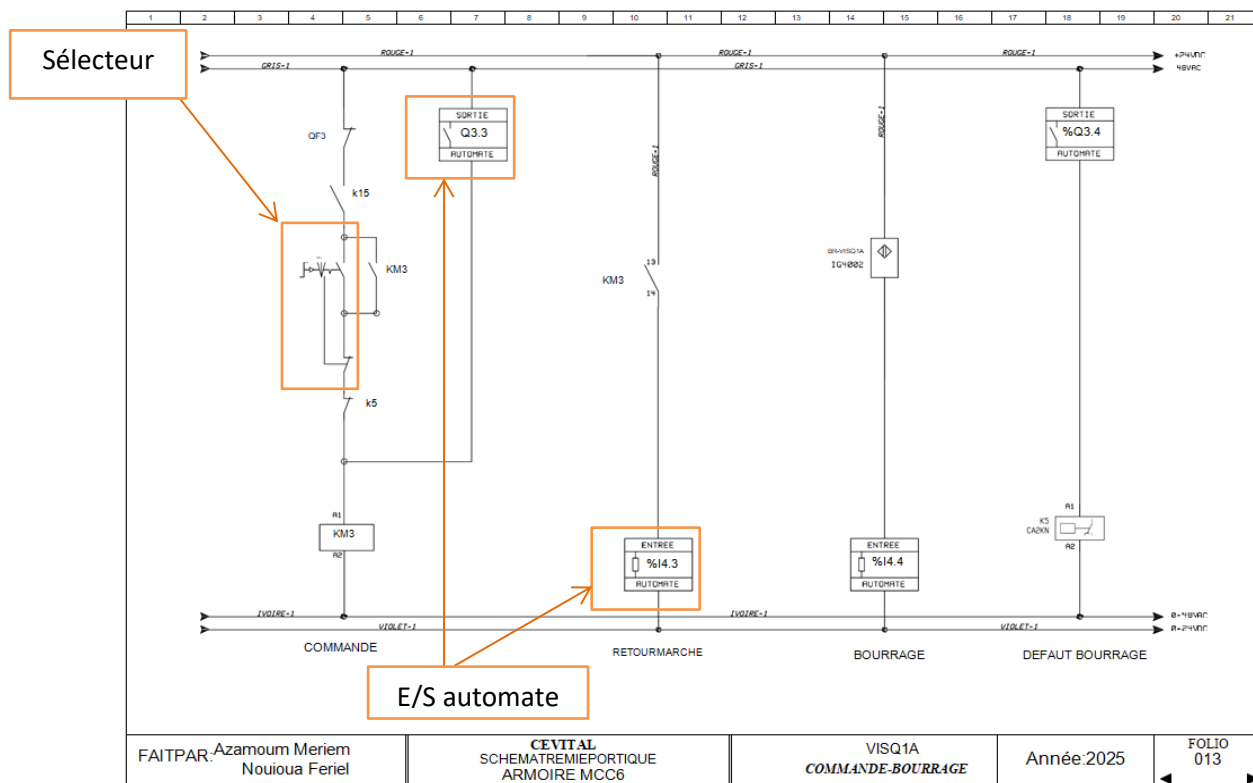
Figure III.12 : Diagramme fonctionnel.

### III.3.2 Solution proposé

La solution que nous proposons repose sur l'automatisation du processus de déchargement, confié à l'automate programmable, ce qui permet d'assurer une efficacité, précision et répétabilité des opérations. Toutefois, dans une optique de flexibilité opérationnelle et de robustesse du système, il conviendrait de prévoir également un mode de contrôle manuel. Pour apporter cette flexibilité, ce pupitre de commande disposera d'un sélecteur de mode (Automatique/Manuel). Ce sélecteur, relié à une entrée correspondante de l'automate, permettra à l'opérateur de passer d'un mode de fonctionnement à l'autre instantanément.

En mode manuel, l'opérateur sera capable de piloter un ensemble de boutons-poussoirs Marche/Arrêt dédiés. Ces boutons, également connectés aux entrées de l'automate, permettront à l'opérateur de commander directement les actionneurs pour chaque étape du processus, en contournant la logique séquentielle du programme automatique. Cette architecture garantit à la fois les avantages de l'automatisation avancée et la souplesse indispensable à une gestion optimale des opérations industrielles.

En raison de l'introduction d'un mode automatique/manuel, le câblage a été modifié pour intégrer un sélecteur de modes et des entrées/sorties supplémentaires à l'automate :



**Figure III.13 :** Schéma de commande de la VISQ1A.

Ces adaptations ont été réalisées pour chaque composant concerné du système (se référer à l'Annexe pour plus de détails).

Suite à l'adaptation du câblage du système au port et de l'automate du local, il est nécessaire d'assurer une connectivité à distance vers le site de supervision de Cevital, en utilisant un réseau sans fil garantissant une communication fiable, continue et en temps réel.

La transmission des données à distance, issues des capteurs et équipements portuaires vers un système centralisé de contrôle, est définie comme processus de télémétrie. Grâce à cette infrastructure sans fil, l'automate pourra recueillir en continu les données d'exploitation (état des équipements, niveaux de produit, alertes de sécurité, etc.) et émettre des ordres sur le processus de déchargement pour son contrôle et sa gestion.

### **III.3.3 La télémétrie**

La télémétrie constitue une technologie clé qui permet de monitorer automatiquement et à distance des données grâce à des capteurs intégrés dans les machines, infrastructures et systèmes industriels concernés. Ces données, une fois méticuleusement analysées, sont transmises vers un système central, généralement par des réseaux sans fil fiables, fournissant ainsi une intelligence opérationnelle essentielle.

Pour notre système d'automatisation du déchargement au port, l'intégration d'une solution télémétrie sans fil est indispensable. Elle offrira une supervision proactive et une gestion réactive des opérations à distance, optimisant la gestion depuis le centre de contrôle de Cevital. Les principaux réseaux sans fil envisagés pour cette connectivité incluent notamment :

- Les réseaux cellulaires (4G/5G), idéaux pour la longue portée et les hauts débits de données.
- le Wi-Fi industriel, adapté aux connexions locales rapides.
- Les LPWAN (LoRaWAN/Sigfox), optimisés pour les capteurs à faible consommation sur de très longues distances.
- Les réseaux radio industriels dédiés, qui utilisent des fréquences spécifiques pour établir des liaisons robustes, fiables et souvent point-à-point, particulièrement adaptés aux environnements difficiles ou pour des besoins de communication critiques.

### **III.4 Conclusion**

Ce chapitre a détaillé la solution d'automatisation proposée pour optimiser le processus de déchargement. L'analyse de l'automate industriel a confirmé sa pertinence face au cahier des charges. L'intégration d'un mode automatique/manuel, accompagnée d'une adaptation du câblage, garantit la flexibilité et la sécurité du processus.

L'implémentation de la télémétrie via des réseaux sans fil s'avère essentielle pour une supervision et un contrôle à distance, transformant ainsi le système en une infrastructure moderne, performante et résiliente.

Les fondations techniques de cette solution étant ainsi établies, le chapitre suivant approfondira le choix du réseau sans fil adapté à la télémétrie envisagée, détaillera son intégration complète dans l'architecture existante, puis présentera le système de supervision mis en place, la programmation de l'automate ainsi que la simulation du système.

## *Chapitre 04*

# Implémentation et Supervision du Système d'Automatisation du Déchargement Portuaire

## **IV.1 introduction**

Ce chapitre détaille l'automatisation du déchargement portuaire via une communication sans fil, en particulier la liaison entre l'automate TSX57353A et le système portuaire. Il aborde les réseaux sans fil industriels (cellulaire, Wi-Fi, LPWAN), puis justifie le choix d'un réseau radio industriel en raison de sa fiabilité et sa robustesse au milieu portuaire. Il traite également des deux architectures proposées et retient la solution Maître-Esclave, pour sa résilience et son autonomie locale. Enfin, il s'intéresse aux constituants essentiels de cette solution (automates TSX57, modem Z-AIR-1 logiciel PL7 Pro) et souligne l'importance de la supervision pour une gestion efficace des systèmes complexes.

## **IV.2 les réseaux non filaires**

Pour établir une connexion entre l'automate TSX57353A et le système du port sans utiliser de liaison câblée, nous avons différents moyens de communication sans fil, à savoir le réseau radio industriel, le réseau cellulaire, le Wi-Fi industriel ou le réseau LPWAN (Low Power Wide Area Network) :

### **IV.2.1 Les réseaux cellulaire**

Les réseaux mobiles sont portés par l'infrastructure des opérateurs téléphoniques qui assure une large couverture. Des modems industriels, robustes, équipés de cartes SIM se connectent aux différentes technologies 2G, 3G, 4G/LTE, 5G. La transmission de données s'effectue par l'intermédiaire du protocole IP. Dans le but de sécuriser les communications, un tunnel VPN crypté garantit la confidentialité et la protection tant recherchées dans un réseau privé.

### **IV.2.2 Le WIFI industriel**

Le Wi-Fi industriel fait appel à des dispositifs robustes pour faire face à des environnements rudes. Des passerelles assurent la liaison entre les équipements câblés (Ethernet, connexions série) et transmettent leurs informations de manière sans fil par le biais de paquets IP sécurisés par WPA3. Une deuxième interface reçoit ces informations et les ajuste au réseau interne de l'usine (par exemple, la conversion en Modbus TCP/IP pour l'automate TSX57).

### **IV.2.3 LPWAN**

LoRaWAN et Sigfox représentent des technologies LPWAN destinées à assurer des communications sur de longues distances tout en consommant peu d'énergie. Elles fonctionnent sur des fréquences sub-GHz avec des modulations perfectionnées pour augmenter la portée au

maximum. La transmission de données est essentiellement unidirectionnelle (de l'équipement vers le réseau), ou bidirectionnelle, avec des restrictions concernant la quantité et la fréquence des transferts de données.

#### **IV.2.4 Réseaux radio industriels**

Un réseau radio destiné à l'industrie est une structure sans fil conçu pour assurer la liaison entre machines, capteurs et contrôleurs dans des environnements industriels exigeants. Il est optimisé pour fiabilité sécurité et robustesse. Elle est fréquemment organisée de manière hiérarchique :

- Réseau de terrain (capteurs, actionneurs).
- Réseau d'atelier (robots, machines-outils).
- Réseau d'usine (interconnexion des ateliers et gestion).

Ils utilisent des technologies comme le Wi-Fi industriel, les modems radio, et des protocoles dédiés tels qu'Ethernet industriel, Profinet ou DeviceNet, pour assurer une communication performante et déterministe.

#### **IV.2.5 Justification du Choix du Réseau Radio Industriel**

Pour établir une connexion fiable et sécurisée entre l'automate TSX57353A et le système du port, tout en évitant les contraintes des câbles, nous avons choisi le réseau radio industriel.

Le choix du réseau radio industriel se justifie par sa capacité à opérer dans des environnements exigeants, typiques d'une infrastructure portuaire. À l'opposé du réseau cellulaire, qui peut être sujet à des problèmes de couverture ou de latence selon l'emplacement et la saturation du réseau public, le réseau radio industriel assure un contrôle total de l'infrastructure et une qualité de service assurée. De plus, ses normes sont conçues pour résister aux interférences électromagnétiques fréquentes dans un cadre industriel, assurant ainsi une communication ininterrompue. Bien que des solutions comme le Wi-Fi industriel soient efficaces en termes de vitesse, elles peuvent être davantage perturbées par des obstacles physiques et des interférences dans de vastes espaces dégagés ou des structures métalliques complexes. Les réseaux LPWAN sont conçus pour fournir des débits très faibles et une longévité accrue, ce qui les rend moins adaptés aux besoins de communication instantanée et aux volumes de données potentiellement plus importants pour un automate.



En optant pour un réseau radio industriel, nous choisissons une solution qui allie fiabilité, sécurité et capacité d'adaptation aux spécificités de l'environnement portuaire, assurant ainsi une connexion stable et efficace pour l'automate TSX57353A.

### **IV.3 Architecture de Contrôle Distribuée à Liaison Radio**

Suite à l'analyse des besoins, de prise en compte des contraintes environnementales ainsi que des technologies de communication existantes, deux architectures de contrôle principales sont proposées pour l'automatisation des trémies portuaires :

#### **IV.3.1 Première solution**

La première solution proposée est basée sur une architecture de type Maître-Esclave, de manière distribuée et interconnectée via un réseau radio industriel haute performance. Elle est structurée autour de deux d'automates bien distincts, chacun jouant un rôle différent :

##### **IV.3.1.1 Automate Maître**

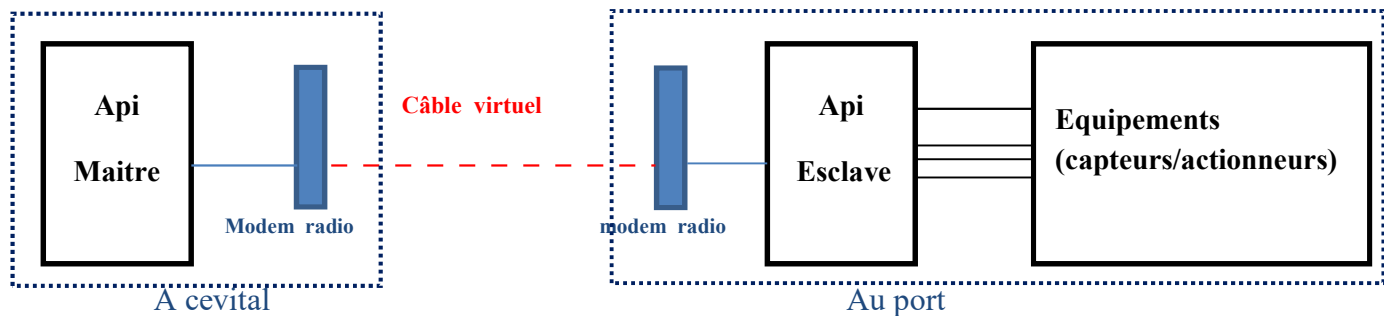
L'automate principal, placé sur le site Cevital, réalise la supervision globale du système. Il gère les opérations à un niveau macro, les interfaces homme-machine (IHM), l'intégration aux systèmes d'information de l'entreprise, les requêtes, l'archivage des données, ainsi que les communications haut niveau. Il ne traite pas directement les données du terrain, mais communique avec l'automate esclave dont il reçoit les informations consolidées et à qui il envoie des consignes de commande.

##### **IV.3.1.2 Automate Esclave**

L'automate esclave, implanté dans la zone portuaire, gère localement les équipements de la chaîne. Il est relié directement aux capteurs et actionneurs du système, offrant ainsi un contrôle rapide et sécurisé. Il prend en charge de manière indépendante les opérations locales, les normes spécifiques et les mesures de sécurité. En cas de rupture de communication avec l'automate principal, il garantit un mode opérationnel dégradé ou un arrêt sécurisé. Il envoie fréquemment à l'automate central les états des machines, les alertes et les informations de production.

La communication entre les deux automates est assurée par une liaison radio industrielle point-à-point. Deux modems radio directionnels sont installés : l'un sur le site de Cevital, relié à l'automate maître via RS485, l'autre dans la zone portuaire, relié à l'automate esclave (via le RS485 également). Cette liaison sans fil robuste, adaptée aux longues distances et à

l'environnement contraignant du port, agit comme un câble virtuel, permettant une communication transparente entre les deux automates via Modbus comme s'ils étaient directement connectés.



**Figure IV.1** : architecture de la première solution.

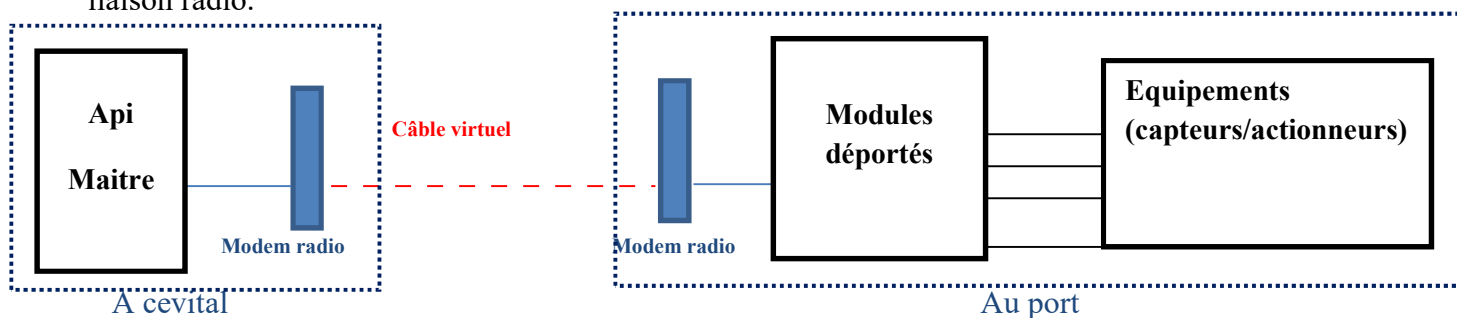
### IV.3.2 Deuxième solution

Une alternative à la première option pourrait consister à centraliser intégralement la gestion dans un seul automate principal localisé sur le site de Cevital, sans la nécessité d'un automate secondaire. Dans cette configuration, la zone portuaire serait alors simplement équipée de modules d'entrées/sorties déportés, directement reliés aux capteurs et actionneurs du système de déchargement.

Ces modules déportés seraient reliés à l'automate principal via une liaison radio industrielle. La communication se ferait en plusieurs étapes :

- Les modules déportés, installés dans la zone portuaire, seraient câblés à un modem radio local.
- Ce modem radio transmettrait les données sans fil à un second modem radio installé à Cevital. Ce dernier étant lui-même relié à l'automate principal.

Cette configuration permettrait à l'automate maître de communiquer directement avec les modules déportés, comme s'ils étaient localement connectés, grâce à la transparence de la liaison radio.



**Figure IV.2** : architecture de la deuxième solution.

### IV.3.3 Comparaison

Caractéristiques	La solution 1	La solution 2
<b>Philosophie de Contrôle</b>	Décentralisée, hiérarchique avec intelligence locale au port.	Centralisée, toute l'intelligence réside à Cevital.
<b>Matériel Principal au Port</b>	Automate Esclave (avec des E/S câblées aux équipements).	Modules d'E/S déportées (avec port Ethernet, câblés aux équipements).
<b>Liaison Radio</b>	Modems Radio pour relier les deux réseaux des automates.	Modems Radio pour relier le réseau des modules d'E/S déportées au réseau de l'automate.
<b>Gestion des E/S</b>	Directement par l'automate esclave local.	Gérée par l'automate unique à Cevital, via la liaison des ponts radio.

**Tableau IV.1 :** tableau comparatif des caractéristiques des deux solutions.

avantages	Solution 1	Solution 2
<b>Coût d'Investissement Initial</b>	Plus Élevé (deux automates complets, licences logicielles multiples).	Potentiellement Inférieur (un seul automate, blocs d'E/S plus économiques que des automates dédiés).
<b>Complexité de Programmation</b>	Moyenne à Élevée (nécessite une coordination inter-automates, gestion des échanges).	Simplifiée (logique centralisée sur un seul automate, modules d'E/S vus comme des E/S distantes).
<b>Cohérence et Centralisation du Contrôle</b>	Contrôle distribué, nécessitant une coordination rigoureuse.	Haute : Un point de contrôle unique pour l'ensemble de l'installation, simplifiant la supervision et la maintenance.

**Tableau IV.2 :** tableau comparatif des avantages des deux solutions.

Inconvénients	Solution 1	Solution 2
<b>Dépendance à la Liaison Radio Principal</b>	Moins critique pour la sécurité locale (autonomie de l'esclave).	Plus Prononcée : Le fonctionnement du système entier dépend de la stabilité de cette liaison. (Nécessite une étude de site et un équipement radio très robustes pour mitiger ce risque.)
<b>Réactivité Locale &amp; Autonomie</b>	Très Élevée (gestion locale des sécurités).	Moins Élevée : Toute action/réaction passe par la liaison radio (latence plus perceptible pour les boucles de contrôle très rapides). L'autonomie locale est réduite.
<b>Charge du Lien Radio</b>	Faible à Moyenne (seul le trafic inter-automates transite).	Plus Élevée : Tout le trafic d'E/S (capteurs et commandes) transite par ce lien, demandant une bande passante stable.
<b>Évolutivité de l'I/O</b>	Ajout d'E/S géré par l'automate esclave local.	Ajout d'E/S nécessite l'intégration de blocs d'E/S supplémentaires et une gestion de la bande passante radio.

**Tableau IV.3 :** tableau comparatif des inconvénients des deux solutions.

Suite à une analyse comparative, il apparaît clairement que dans un environnement tel que le déchargement portuaire, où la sécurité des opérations et la continuité du service sont primordiales, l'architecture distribuée Maître-Esclave se présente comme la solution la plus fiable. La capacité de l'automate secondaire à fonctionner de manière autonome en cas de perte de connexion sans fil n'est pas seulement un avantage, mais constitue une exigence essentielle pour garantir la sécurité opérationnelle. Cela permet de s'assurer que les équipements critiques du port peuvent être arrêtés en toute sécurité ou maintenus dans un état dégradé, évitant ainsi des situations dangereuses ou des pertes importantes en production.

Bien que la solution centralisée puisse sembler plus simple ou moins coûteuse au premier abord, elle présente un point de défaillance unique critique (la connexion radio directe avec les E/S). Toute perturbation sur cette connexion aurait un impact immédiat et total sur le contrôle du processus au port, ce qui est inacceptable pour un système industriel de cette ampleur.

Par conséquent, la résilience intrinsèque de la conception Maître-esclave, qui repose sur un contrôle décentralisé et une autonomie locale, en fait l'option la plus appropriée pour garantir la fiabilité, la sécurité et l'optimisation à long terme du système de déchargement.

#### **IV.4 La Solution d'Automatisation Retenue**

Cette solution se base sur une structure de contrôle décentralisée de type Maître-Esclave. Son architecture nécessite l'incorporation fluide des composants suivants :

##### **IV.4.1 L'automate maître**

Le système fera usage du modèle d'automate TSX57353A, déjà opérationnel et éprouvé sur le site de Cevital, précisément dans la salle de contrôle MCC1. Cet API est prévue pour contenir le programme principal, jouant le rôle de cœur décisionnel du système.

##### **IV.4.2 L'automate esclave**

Le modèle TSX57353A a également été choisi pour servir d'automate esclave. Cette décision a pour but d'assurer une homogénéité du matériel, ce qui simplifie grandement la maintenance, la gestion des pièces de rechange et la planification grâce à un environnement logiciel intégré. Installé sur le site dans la zone portuaire, cet API est dédié contrôle direct des dispositifs et équipements de la chaîne de déchargement.

##### **IV.4.3 Les modems Radio Industriels [18]**

Les modems radio sont des appareils conçus pour transmettre des données numériques sur de longues distances sans fil, en utilisant des ondes radioélectriques. Ils établissent des réseaux privés autonomes, qui ne dépendent pas des opérateurs de télécommunications. Ces dispositifs sont fréquemment employés dans des domaines industriels clés, tels que la télémétrie et les systèmes SCADA. En règle générale, ils opèrent dans les bandes VHF (Très Haute Fréquence) et UHF (Ultra Haute Fréquence), que ce soit sous licence ou en accès libre, afin de minimiser les perturbations.

###### **IV.4.3.1 Comment se fait la transmission par modem radio ? [19]**

Le modem convertit les données numériques en un signal modulé sur une onde porteuse radio, qui est ensuite émise par une antenne. L'onde radio se propage dans l'air jusqu'à atteindre une antenne réceptrice, qui capte, démodule et transforme le signal en données numériques exploitables par le récepteur. Ce processus utilise des techniques de modulation pour transmettre des informations sur une fréquence radio, ainsi que des protocoles visant à assurer la fiabilité et la correction des erreurs durant la transmission.

Pour assurer la communication entre les deux automates, nous avons opté pour le modem radio Z-AIR-1, développé par la société Seneca. Cet appareil est robuste et compact, conçu pour résister aux conditions extérieures grâce à son indice de protection IP65.

Le Z-AIR-1 fonctionne sur la bande UHF de 868 à 870 MHz. Ce dispositif permet une communication sans fil en mode point à point, multipoint, diffusion, ou même en configuration Modbus maître/esclave ou multi-maître, ce qui le rend particulièrement adapté aux systèmes industriels décentralisés.

Sur le plan technique, il dispose d'une interface RS-485 préconfigurée en usine à 9600 bps, avec une modulation de 25 ou 50 kHz selon les besoins, permettant d'atteindre des vitesses allant jusqu'à 19 200 bps. Avec une portée atteignant 7 km dans un environnement dégagé, cet équipement est parfaitement adapté pour assurer la couverture de l'ensemble de l'infrastructure portuaire, y compris les trémies situées à distance.



**Figure IV.3 :** modem radio Z-AIR-1.

L'incorporation directe de l'antenne dans le boîtier radio optimise l'efficacité de la transmission en minimisant les pertes sur les liaisons haute fréquence. De plus, le mode est programmable via un logiciel, ce qui permet une adaptation aisée aux diverses topologies de réseau nécessaires pour le projet. [20]

#### **IV.5 Description du logiciel PL7 Pro [21]**

L'outil de programmation des automates industriels de la solution que nous allons mettre en œuvre est le PL7 Pro. PL7, développé par Schneider Electric, est un environnement de développement intégré (EDI) spécifiquement destiné à la programmation, la configuration, le débogage et la maintenance de ses automates programmables de la gamme Modicon Premium, Atrium, Momentum, et compact/Twido en version Junior/Micro.

PL7 est compatible avec les langages de programmation normalisés selon la norme CEI 61131-3 ce qui permet de comprendre facilement le programme. Les langages proposés sont principalement : Ladder Diagram (LD), Function Block Diagram (FBD), Sequential Function Chart (SFC), Instruction List (IL).

#### IV.5.1 Structure d'un programme sous PL7 [22]

Le logiciel PL7, en particulier PL7 Pro, organise les programmes d'automatisation de manière modulaire et hiérarchique. Cette organisation repose sur trois éléments principaux :

##### IV.5.1.1 Tâches (Tasks)

Elles constituent les unités fondamentales de l'exécution du programme, définissant le moment et la façon dont les blocs de code sont mis en œuvre. PL7 opère essentiellement une différenciation entre :

- La Tâche Maître (MAST), qui s'exécute de manière cyclique ou périodique, pour la logique principale.
- La Fonction Agile (FAST), destinée aux processus qui nécessitent une réalisation plus régulière.
- Les Évènementielles Tâches (EVx), qui s'activent en réaction à des événements spécifiques asynchrones (comme, par exemple, la modification de l'état d'une entrée).

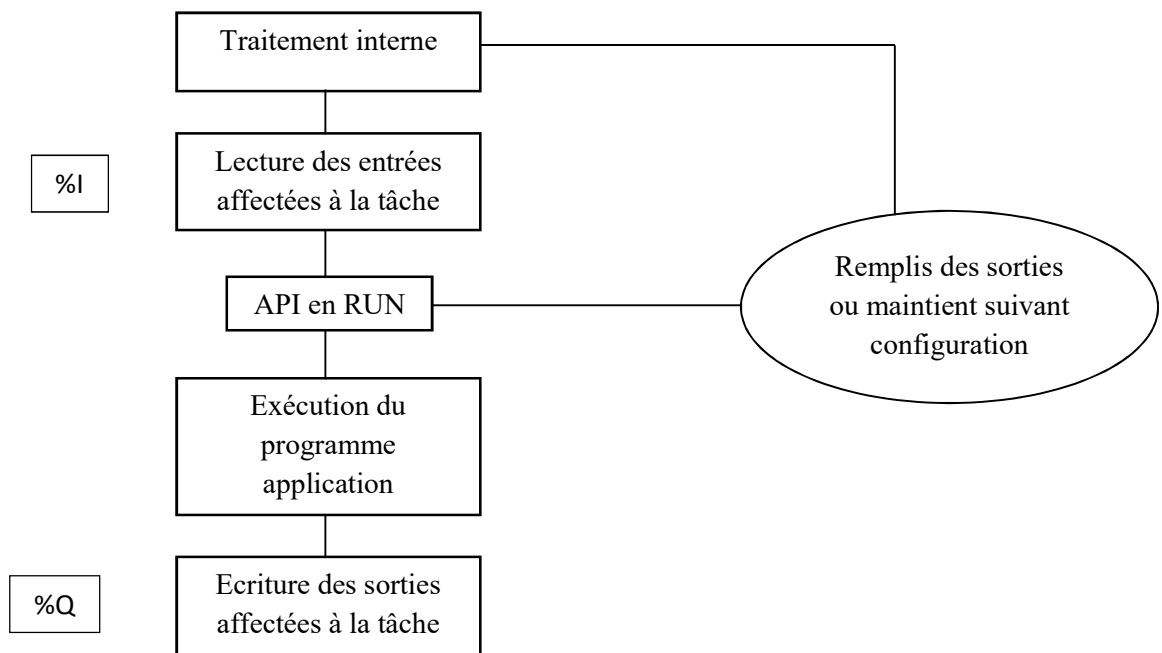


Figure I.V.4 : structuration d'une tâche.

### **IV.5.1.2 Sections**

Chaque tâche se divise en sections, qui sont exécutées de manière séquentielle. Ces sections permettent d'utiliser différents langages de programmation au sein d'une même tâche, conformément à la norme CEI 61131-3.

### **IV.5.1.3 Sous-programmes (Subroutines)**

Ce sont des segments de code réutilisables, qui rassemblent des séquences d'instructions ou des logiques spécifiques. Ces blocs peuvent être appelés depuis n'importe quelle partie de la tâche ou d'autres sous-programmes, ce qui favorise la réutilisation du code, simplifie le programme principal et facilite le débogage.

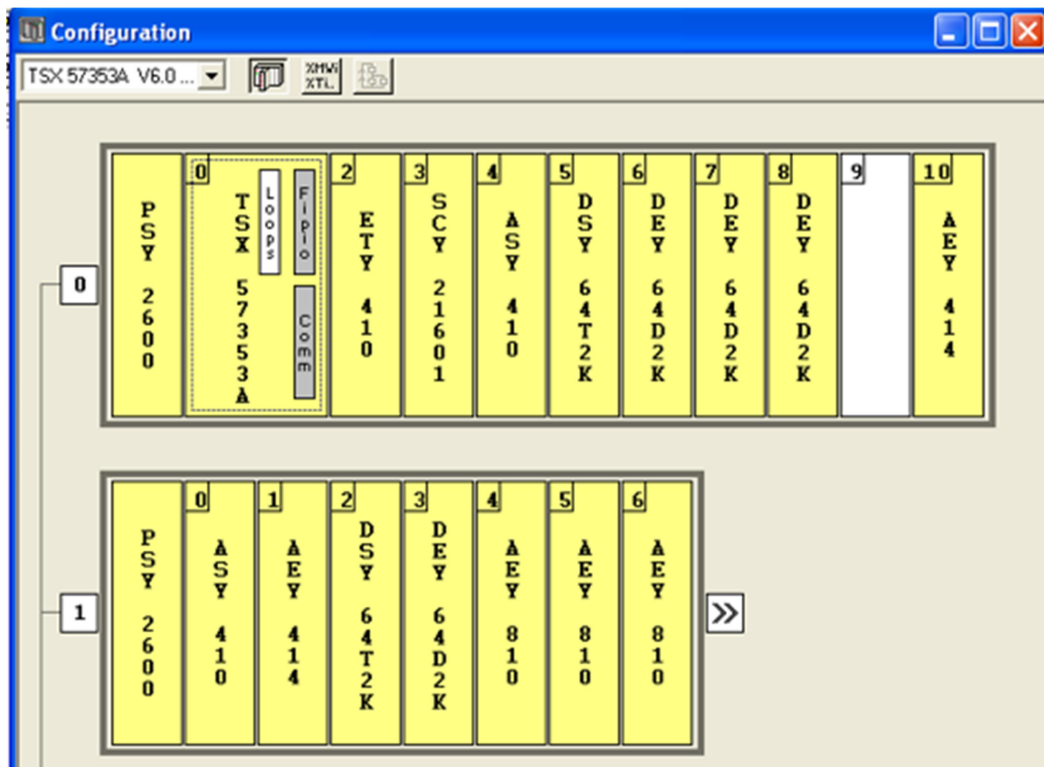
### **IV.5.2 La configuration matérielle**

Une fois le projet est créé, il est nécessaire de configurer le matériel. L'éditeur de configuration matérielle PL7 permet de déclarer et configurer aisément et visuellement les divers composants de l'automate :

- Le rack.
- L'alimentation.
- Le processeur.
- Le module métier.

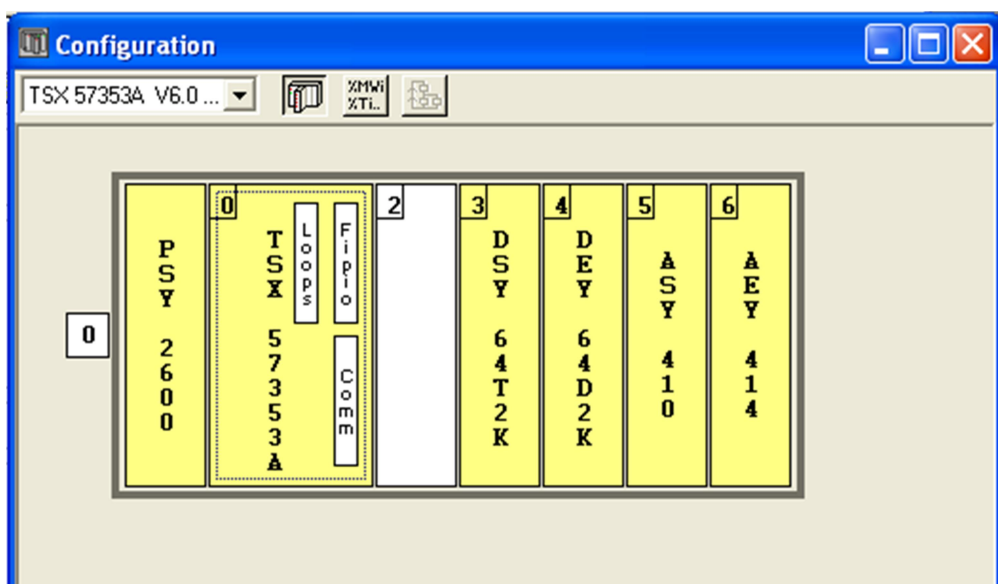
Nous avons deux automates à configurer, d'abord l'API maître :





**Figure IV.5 :** configuration matérielle de l'API maitre.

Pour l'API esclave :



**Figure IV.6 :** Configuration matérielle de l'API esclave.

### IV.5.3 Adressage des objets BITS et mots [23]

Un objet adressable est tout élément au sein de la mémoire ou système de l'automate, qui possédant une adresse unique et pouvant être manipulé ou référencé par le programme. Il peut prendre divers format, dont les principales catégories incluent :

- **Objets mémoire** : adresses des variables disponibles pour les programmes.

- **Objets systèmes** : adresses des objets systèmes.
- **Constantes** : adresses des constantes disponibles pour les programmes.
- **Blocs fonctionnels prédéfinis** : adresses des blocs fonctionnels, disponible pour les diagrammes à relais.
- **Entrées/sorties I/O** : adresses des entrées / sorties des différents modules de l'automate.

L'adressage des mots internes, constants et système suit les règles suivantes :

%	M, K ou S	B, W, D ou F	i
Symbole	Type d'objet	Format	Numéro

Le tableau ci-dessous (Tableau IV.4) décrit les différents éléments constituant l'adressage.

Famille	Elément	valeurs	Description
<b>symbole</b>	%	-	Tous les objets sont représentés par le symbole « % »
<b>Type d'objet</b>	<b>M</b>	-	<b>Mots internes</b> , destiné à stocker des valeurs en cours du programme. Ils sont rangés à l'intérieur d'espace donnée dans une même zone mémoire.
	<b>K</b>	-	<b>Mots constants</b> , mémorisent des valeurs constante ou des messages alphanumérique. Leur contenu ne peut être écrit ou modifié que par le terminal.
	<b>S</b>	-	<b>Mots systèmes</b> , réservé par l'automate pour stocker des informations internes liées à son fonctionnement, son état ou sa gestion.
<b>Format</b>	<b>B</b>	8 bits	<b>Octet</b> , ce format est exclusivement utilisé pour les opérations sur chaîne de caractère
	<b>W</b>	16 bits	<b>Simple longueur</b> : ces mots de 16 bits peuvent contenir une valeur algébrique comprise entre -32 768 et 32 767
	<b>D</b>	32 bits	<b>Double longueur</b> : ces mots de 32 bits peuvent contenir une valeur algébrique comprise entre -2 147 483 648 et 2 147 483 647. Ces mots s'implantent en mémoire sur deux mots simple longueur consécutifs.
	<b>F</b>	32 bits	<b>Flottant</b> : le format flottant utilisé est celui de la norme IEEE Std 754-1985 (équivalent IEC 559). La longueur des mots est de 32 bits, ce qui correspond à des nombres flottants simple précision.

	I	-	La valeur maximum du numéro dépend du nombre d'objets configuré.
--	---	---	--

**Tableau IV.4 :** les différents éléments constituant l'adressage.**IV.5.4 Programmation avec PL7 pro**

En se basant sur la liste des capteurs, actionneurs et équipements utilisés dans le système, nous avons établi une liste détaillée des adresses des entrées, sorties et objets mémoire de l'automate.

**IV.5.4.1 ESCLAVE**

Les entrées et sorties sont physiquement câblées sur l'automate esclave pour faciliter la collecte des informations requises pour le fonctionnement du système et la commande des actionneurs. Pour cela, nous avons mis en œuvre 37 entrées et 35 sorties TOR (tout ou rien).

**Configuration des Entrées/Sorties de l'Automate Esclave :**

Entrées	Sorties
%MW1000 : X0 :=%I4.0	
%MW1000 : X1 :=%I4.1	%Q3.1 :=%MW1100 : X1
%MW1000 : X2 :=%I4.2	
%MW1000 : X3 :=%I4.3	%Q3. 3:=%MW1100 : X3
%MW1000 : X4 :=%I4.4	%Q3.4 :=%MW1100 : X4
%MW1000 : X5:=%I4.5	%Q3.5 :=%MW1100 : X5
%MW1000 : X6:=%I4.6	%Q3.6 :=%MW1100 : X6
%MW1000 : X7:=%I4.7	%Q3.7 :=%MW1100 : X7
MW1000 : X8 :=%I4.8	%Q3.8 :=%MW1100 : X8
%MW1000 : X9 :=%I4.9	%Q3.9 :=%MW1100 : X9
%MW1000 : X10 :=%I4.10	%Q3.10:=%MW1100 : X10

%MW1000 : X11:=%I4.11	%Q3.11:=%MW1100 : X11
%MW1000 : X12:=%I4.12	%Q3.12:=%MW1100 : X12
%MW1000 : X13 :=%I4.13	%Q3.13:=%MW1100 : X13
%MW1000 : X14 :=%I4.14	%Q3.14:=%MW1100 : X14
%MW1000 : X15 :=%I4.15	%Q3.15:=%MW1100 : X15
%MW1001 : X0 :=%I4.16	%Q3.16:=%MW1101 : X0
%MW1001 : X1 :=%I4.17	%Q3.17:=%MW1101 : X1
%MW1001 : X2 :=%I4.18	%Q3.18:=%MW1101 : X2
%MW1001 : X3:=%I4.19	%Q3.19:=%MW1101 : X3
%MW1001 : X4 :=%I4.20	%Q3.20:=%MW1101 : X4
%MW1001 : X5 :=%I4.21	%Q3.21:=%MW1101 : X5
%MW1001 : X6 :=%I4.22	%Q3.22:=%MW1101 : X6
%MW1001 : X7 :=%I4.23	%Q3.23:=%MW1101 : X7
%MW1001 : X8 :=%I4.24	%Q3.24:=%MW1101 : X8
%MW1001 : X9:=%I4.25	%Q3.25:=%MW1101 : X9
%MW1001 : X10 :=%I4.26	%Q3.26:=%MW1101 : X10
%MW1001 : X11 :=%I4.27	%Q3.27:=%MW1101 : X11
%MW1001 : X12 :=%I4.28	%Q3.28:=%MW1101 : X12
%MW1001 : X13 :=%I4.29	%Q3.29:=%MW1101 : X13
%MW1001 : X14 :=%I4.30	%Q3.30:=%MW1101 : X14
%MW1001 : X15 :=%I4.31	%Q3.31:=%MW1101 : X15
%MW1002 : X0 :=%I4.32	%Q3.32:=%MW1102 : X0

%MW1002 : X1:=%I4.33	%Q3.33:=%MW1102 : X1
%MW1002 : X2:=%I4.34	%Q3.34:=%MW1102 : X2
%MW1002 : X3:=%I4.35	%Q3.35:=%MW1102 : X3
%MW1002 : X4:=%I4.36	%Q3.36:=%MW1102 : X4

**Tableau IV.5 :** configuration des entrées/sorties de l'automate esclave.

- Les capteurs physiques (entrées) reliés à l'automate esclave sont assignés à des bits de mots mémoire internes pour un traitement logique.
- Les commandes (sorties) du programme sont initialement placées dans la mémoire interne, puis envoyées aux sorties physiques de l'esclave pour gérer les équipements.

Les tableaux ci-dessous présente les entrées et sorties utilisées pour faciliter le traitement, leurs types, symboles et commentaires :

#### IV.5.4.1.1 Les entrées

Repère	type	symbole	commentaire
%MW1000 : X0	BOOL	AUTOi	MARCHE MODE AUTO
%MW1000 : X1	BOOL	COMPi	MARCHE COMPRESSEUR
%MW1000 : X2	BOOL	SECHi	MARCHE SECHEUR
%MW1000 : X3	BOOL	VISQ1Ai	MARCHE VISQ1A
%MW1000 : X4	BOOL	BRVISQ1Ai	DEFAULT BOURRAGE VIS (1=ok)
%MW1000 : X5	BOOL	VQ1Ai	MARCHE VENTILATEUR Q1A
%MW1000 : X6	BOOL	CPVQ1Ai	DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1A (1=ok)
%MW1000 : X7	BOOL	VISQ1Bi	MARCHE VISQ1B
%MW1000 : X8	BOOL	BRVISQ1Bi	DEFAULT BOURRAGE VISQ1B (1=ok)
%MW1000 : X9	BOOL	VQ1Bi	MARCHE VENTILATEUR Q1B
%MW1000 : X10	BOOL	CPVQ1Bi	DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1B (1=ok)
%MW1000 : X11	BOOL	VISQ1Ci	MARCHE VISQ1C
%MW1000 : X12	BOOL	BRVISQ1Ci	DEFAULT BOURRAGE VISQ1C (1=ok)
%MW1000 : X13	BOOL	VQ1Ci	MARCHE VENTILATEUR Q1C

%MW1000 : X14	BOOL	CPVQ1Ci	DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1C (1=ok)
%MW1000 : X15	BOOL	VQ1Di	MARCHE VENTILATEUR Q1D
%MW1001 : X0	BOOL	CPVQ1Di	DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1D (1=ok)
%MW1001 : X1	BOOL	TBEX1AKMi	MARCHE CONTACTEUR TBEX1A
%MW1001 : X2	BOOL	TBEX1Ai	MARCHE VARIATEUR TBEX1A
%MW1001 : X3	BOOL	ARTBEX1Ai	DEFAULT ARRET D'URGENCE TBEX1A (1=ok)
%MW1001 : X4	BOOL	CRTBEX1Ai	DEFAULT CONTRÔLE DE ROTATION TBEX1A (1=ok)
%MW1001 : X5	BOOL	BRTBEX1Ai	DEFAULT BOURRAGE TBEX1A (1=ok)
%MW1001 : X6	BOOL	DBTBEX1Ai	DEFAULT DEPORT DE BANDE TBEX1A (1=ok)
%MW1001 : X7	BOOL	TBEX1BKMi	MARCHE CONTACTEUR TBEX1B
%MW1001 : X8	BOOL	TBEX1Bi	MARCHE VARIATEUR TBEX1B
%MW1001 : X9	BOOL	ARTBEX1Bi	DEFAULT ARRET D'URGENCE TBEX1B (1=ok)
%MW1001 : X10	BOOL	CRTBEX1Bi	DEFAULT CONTRÔLE DE ROTATION TBEX1B (1=ok)
%MW1001 : X11	BOOL	BRTBEX1Bi	DEFAULT BOURRAGE TBEX1B (1=ok)
%MW1001 : X12	BOOL	DBTBEX1Bi	DEFAULT DEPORT DE BANDE TBEX1B (1=ok)
%MW1001 : X13	BOOL	FQ1Ai	MARCHE FILTRE Q1A
%MW1001 : X14	BOOL	NHFQ1Ai	DEFAULT NIVAU HAUT FILTRE Q1A (1=ok)
%MW1001 : X15	BOOL	FQ1Bi	MARCHE FILTRE Q1B
%MW1002 : X0	BOOL	NHFQ1Bi	DEFAULT NIVAU HAUT FILTRE Q1B (1=ok)
%MW1002 : X1	BOOL	FQ1Ci	MARCHE FILTRE Q1C
%MW1002 : X2	BOOL	NHFQ1Ci	DEFAULT NIVAU HAUT FILTRE Q1C (1=ok)
%MW1002 : X3	BOOL	FQ1Di	MARCHE FILTRE Q1D
%MW1002 : X4	BOOL	NHFQ1Di	DEFAULT NIVAU HAUT FILTRE Q1D (1=ok)

**Tableau IV.6 :** configuration des entrées de l'automate esclave.

**IV.5.4.1.2 Les sorties**

Repère	type	symbole	commentaire
%MW1100 : X1	BOOL	COMP1o	COMMANDE COMPRESSEUR
%MW1100 : X3	BOOL	VISQ1Ao	COMMANDE VISQ1A
%MW1100 : X4	BOOL	BRVISQ1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE VISQ1A
%MW1100 : X5	BOOL	VQ1Ao	COMMANDE VENTILATEUR Q1A
%MW1100 : X6	BOOL	CPVQ1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1A
%MW1100 : X7	BOOL	VISQ1Bo	COMMANDE VISQ1B
%MW1100 : X8	BOOL	BRVISQ1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE VISQ1B
%MW1100 : X9	BOOL	VQ1Bo	COMMANDE VENTILATEUR Q1B
%MW1100 : X10	BOOL	CPVQ1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1B
%MW1100 : X11	BOOL	VISQ1Co	COMMANDE VISQ1C
%MW1100 : X12	BOOL	BRVISQ1Co	COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE VISQ1C
%MW1100 : X13	BOOL	VQ1Co	COMMANDE VENTILATEUR Q1C
%MW1100 : X14	BOOL	CPVQ1Co	COMMANDE RELAIS DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1C
%MW1100 : X15	BOOL	VQ1Do	COMMANDE VENTILATEUR Q1D
%MW1101 : X0	BOOL	CPVQ1Do	COMMANDE RELAIS DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1D
%MW1101 : X1	BOOL	TBEX1AKMo	COMMANDE CONTACTEUR TBEX1A
%MW1101 : X2	BOOL	TBEX1Ao	COMMANDE VARIATEUR TBEX1A
%MW1101 : X3	BOOL	AUTBEX1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT ARRET D'URGENCE TBEX1A
%MW1101 : X4	BOOL	CRTBEX1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT CONTRÔLE DE ROTATION TBEX1A

%MW1101 : X5	BOOL	BRTBEX1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE TBEX1A
%MW1101 : X6	BOOL	DBTBEX1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT DEPORT DE BANDE TBEX1A
%MW1101 : X7	BOOL	TBEX1BKMo	COMMANDE CONTACTEUR TBEX1B
%MW1101 : X8	BOOL	TBEX1Bo	COMMANDE VARIATEUR TBEX1B
%MW1101 : X9	BOOL	AUTBEX1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT ARRET D'URGENCE TBEX1B
%MW1101 : X10	BOOL	CRTBEX1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT CONTRÔLE DE ROTATION TBEX1B
%MW1101 : X11	BOOL	BRTBEX1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE TBEX1B
%MW1101 : X12	BOOL	DBTBEX1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT DEPORT DE BANDE TBEX1B
%MW1101 : X13	BOOL	FQ1Ao	COMMANDE FILTRE Q1A
%MW1101 : X14	BOOL	NHFQ1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE Q1A
%MW1101 : X15	BOOL	FQ1Bo	COMMANDE FILTRE Q1B
%MW1102 : X0	BOOL	NHFQ1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE Q1B
%MW1102 : X1	BOOL	FQ1Co	COMMANDE FILTRE Q1C
%MW1102 : X2	BOOL	NHFQ1Co	COMMANDE RELAIS DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE Q1C
%MW1102 : X3	BOOL	FQ1Do	COMMANDE FILTRE Q1D
%MW1102 : X4	BOOL	NHFQ1Do	COMMANDE RELAIS DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE Q1D

**Tableau IV.7 :** configuration des sorties de l'automate esclave.

Pour les symboles le (i) à la fin de chaque bit indique une entrées (input) et le (o) indique une sortie (output).



#### IV.5.4.2 MAITRE

Pour accéder aux entrées de l'automate esclave, l'automate maître utilise des mots internes dédiés, qui servent de zones d'échange entre les deux automates, les états des entrées de l'esclave sont copiés dans des mots mémoire internes accessibles par le maître.

Le tableau suivant présente les mots mémoires d'entrées utilisés par le maître en lecture pour traiter ces données :

Repère	symbole	commentaire
%M880	AUTOm	MARCHE MODE AUTO
%M814	COMPm	MARCHE COMPRESSEUR
%M815	SECHm	MARCHE SECHEUR
%M801	VISQ1Am	MARCHE VISQ1A
%M830	BRVISQ1Am	DEFAULT BOURRAGE VIS (1=ok)
%M808	VQ1Am	MARCHE VENTILATEUR Q1A
%M847	CPVQ1Am	DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1A (1=ok)
%M802	VISQ1Bm	MARCHE VISQ1B
%M831	BRVISQ1Bm	DEFAULT BOURRAGE VISQ1B (1=ok)
%M809	VQ1Bm	MARCHE VENTILATEUR Q1B
%M848	CPVQ1Bm	DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1B (1=ok)
%M803	VISQ1Cm	MARCHE VISQ1C
%M832	BRVISQ1Cm	DEFAULT BOURRAGE VISQ1C (1=ok)
%M810	VQ1Cm	MARCHE VENTILATEUR Q1C
%M849	CPVQ1Cm	DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1C (1=ok)
%M811	VQ1Dm	MARCHE VENTILATEUR Q1D
%M850	CPVQ1Dm	DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1D (1=ok)
%M812	TBEX1Am	MARCHE VARIATEUR TBEX1A

%M845	ARTBEX1Am	DEFAUT ARRET D'URGENCE TBEX1A (1=ok)
%M843	CRTBEX1Am	DEFAUT CONTRÔLE DE ROTATION TBEX1A (1=ok)
%M841	BRTBEX1Am	DEFAUT BOURRAGE TBEX1A (1=ok)
%M837	DBTBEX1Am	DEFAUT DEPORT DE BANDE TBEX1A (1=ok)
%M813	TBEX1Bm	MARCHE VARIATEUR TBEX1B
%M846	ARTBEX1Bm	DEFAUT ARRET D'URGENCE TBEX1B (1=ok)
%M844	CRTBEX1Bm	DEFAUT CONTRÔLE DE ROTATION TBEX1B (1=ok)
%M842	BRTBEX1Bm	DEFAUT BOURRAGE TBEX1B (1=ok)
%M839	DBTBEX1Bm	DEFAUT DEPORT DE BANDE TBEX1B (1=ok)
%M804	FQ1Am	MARCHE FILTRE Q1A
%M833	NHFQ1Am	DEFAUT NIVAU HAUT FILTRE Q1A (1=ok)
%M805	FQ1Bm	MARCHE FILTRE Q1B
%M834	NHFQ1Bm	DEFAUT NIVAU HAUT FILTRE Q1B (1=ok)
%M806	FQ1Cm	MARCHE FILTRE Q1C
%M835	NHFQ1Cm	DEFAUT NIVAU HAUT FILTRE Q1C (1=ok)
%M807	FQ1Dm	MARCHE FILTRE Q1D
%M836	NHFQ1Dm	DEFAUT NIVAU HAUT FILTRE Q1D (1=ok)

**Tableau IV.8 :** les mots mémoires d'entrées utilisés par le maitre.

De la même manière pour envoyer des ordres de commande vers les actionneurs, l'automate maitre écrit dans des mots mémoires de sortie :

Repère	symbole	commentaire
%M401	VISQ1Ao	COMMANDE VISQ1A
%M830 (%MW1100 : X4)	BRVISQ1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE VISQ1A
%M408	VQ1Ao	COMMANDE VENTILATEUR Q1A
%M847 (%MW1100 :X6 )	CPVQ1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1A
%M402	VISQ1Bo	COMMANDE VISQ1B
%M831 (%MW1100 : X8)	BRVISQ1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE VISQ1B
%M409	VQ1Bo	COMMANDE VENTILATEUR Q1B
%M848 (%MW1100 : X10)	CPVQ1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1B
%M403	VISQ1Co	COMMANDE VISQ1C
%M832 (%MW1100 : X12)	BRVISQ1Co	COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE VISQ1C
%M410	VQ1Co	COMMANDE VENTILATEUR Q1C
%M849 (%MW1100 : X14)	CPVQ1Co	COMMANDE RELAIS DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1C
%M411	VQ1Do	COMMANDE VENTILATEUR Q1D
%M450 (%MW1101 : X0)	CPVQ1Do	COMMANDE RELAIS DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1D
%M412	TBEX1Ao	COMMANDE VARIATEUR TBEX1A
%M845 (%MW1101 : X3)	AUTBEX1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT ARRET D'URGENCE TBEX1A
%M843 (%MW1101 : X4)	CRTBEEEX1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT CONTRÔLE DE ROTATION TBEX1A
%M841 (%MW1101 : X5)	BRTBEX1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE TBEX1A
%M837 (%MW1101 : X6)	DBTBEX1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT DEPORT DE BANDE TBEX1A
%M413	TBEX1Bo	COMMANDE VARIATEUR TBEX1B

%M846 (%MW1101 : X9)	AUTBEX1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT ARRET D'URGENCE TBEX1B
%M844 (%MW1101 : X10)	CRTBEEEX1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT CONTRÔLE DE ROTATION TBEX1B
%M842 (%MW1101 : X11)	BRTBEX1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE TBEX1B
%M839 (%MW1101 : X12)	DBTBEX1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT DEPORT DE BANDE TBEX1B
%M404	FQ1Ao	COMMANDE FILTRE Q1A
%M833 (%MW1101 : X14)	NHFQ1Ao	COMMANDE RELAIS DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE Q1A
%M405	FQ1Bo	COMMANDE FILTRE Q1B
%M834 (%MW1102 : X0)	NHFQ1Bo	COMMANDE RELAIS DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE Q1B
%M406	FQ1Co	COMMANDE FILTRE Q1C
%M835 (%MW1102 : X2)	NHFQ1Co	COMMANDE RELAIS DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE Q1C
%M407	FQ1Do	COMMANDE FILTRE Q1D
%M836 (%MW1102 : X4)	NHFQ1Do	COMMANDE RELAIS DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE Q1D

**Tableau IV.9 :** les mots mémoires de sorties utilisés par le maitre.

#### IV.5.4.3 Liste des temporisateurs

Dans l'automate, les temporisateurs sont paramétrés sous forme de mots dans la mémoire, ce qui assure un contrôle optimal de diverses durées nécessaires pour le fonctionnement du système. Dans notre application, nous avons attribué 4 temporisateurs :

Adresse	Type	Symbole	Commentaire
%MW1200	Word	Tempdbtbex1a	Temporisateur déport de bande TBEX1A
%MW1201	Word	Tempertbex1a	Temporisateur contrôle de rotation TBEX1A

%MW1202	Word	Tempdbtbex1b	Temporisateur déport de bande TBEX1B
%MW1203	Word	Tempertbex1b	Temporisateur contrôle de rotation TBEX1B

**Tableau IV.10 :** les mots mémoires des temporisateurs.

#### IV.5.4.4 Le programme

Afin de contrôler les différents équipements des trémies, nous avons conçu un programme en langage structuré (ST). Le programme se trouve dans l'automate maitre, qui envoie des requêtes pour lire l'état des différentes entrées auprès de l'automate esclave. Celui-ci répond avec la transmission des informations requises. Le maitre traite ces données et envoie des commandes appropriées pour piloter les équipements.

Pour améliorer la clarté et la gestion du programme de contrôle des trémies, le code a été organisé en différentes sous-routines indépendantes, chaque sous-routine étant conçue pour une tâche spécifique.

##### IV.5.4.4.1 Lecture des entrées et initialisation des temporisateurs

La sous-routine SR12 du programme principal automate de l'unité DOP est consacrée à la lecture de l'état des diverses entrées d'autre automates esclaves et à la gestion des délais correspondants. Elle reçoit les données issues des capteurs, les conserve dans des variables internes (mémoires %M) et déclenche ou relance les temporisateurs en se basant sur ces états. Voici le code et les instructions à rajouter dans cette sous routine.

##### **SR12 :**

(\*Initialisation des temporisateurs\*)

(\*Temporisation déport de bande TBEX1A\*)

IF NOT %M812 OR %MW1001 : X6 THEN

    %MW1200 :=5 ;

End IF ;

(\*Temporisation contrôle de rotation TBEX1A \*)

IF NOT %M812 OR %MW1001 : X4 THEN

%MW1201 :=5 ;

End IF ;

(\*Temporisation déport de bande TBEX1B\*)

IF NOT %M813 OR %MW1001 : X12 THEN

%MW1202 :=5 ;

End IF ;

(\*Temporisation contrôle de rotation TBEX1B\*)

IF NOT %M813 OR %MW1001 : X10 THEN

%MW1203 :=5 ;

End IF ;

**Explication :**

- %MW1001 : X6: correspond à l'état logique du capteur déport de bande .un état (logique 0) indique la présence du défaut déport de bande.
- %M812 représente l'état de marche du convoyeur TBEX1A. Le défaut ne doit être pris en compte que si le convoyeur est en marche.
- La condition IF NOT %M812 OR %MW1001 : X6 THEN :signifie que si le convoyeur est arrêté ou si le capteur ne détecte pas de déport, le temporisateur %MW1200 est réinitialisé à 5.

(\*lecture des entrées\*)

%M880 := %MW1000 : X0 ; (\*MODE AUTO\*)

%M814 := %MW1000 : X1 ; (\*MARCHE COMPRESSEUR\*)

%M815 := %MW1000 : X2 ; (\*MARCHE SECHEUR\*)

%M830:= NOT %MW1000 : X4 OR %M830 ; (\*DEFAUT BOURRAGE VISQ1A\*)

%M801 := %MW1000 : X3 ; (\*MARCHE VISQ1A\*)

%M847 :=NOT %MW1000 : X6 or %M847 ; ( \* DEFAUT COUPLEUR VENTILATEUR Q1A\*)

%M808 := %MW1000 : X5 ; (\*MARCHE VENTILATEUR Q1A\*)

%M831 := NOT %MW1000 : X8 OR %M831 ; (\*DEFAUT BOURRAGE VISQ1B\*)

%M802 := %MW1000 : X7 ; (\*MARCHE VISQ1B\*)

```

%M848 :=NOT    %MW1000 : X10 OR    %M848 ;    (* DEFAULT COUPLEUR
VENTILATEUR Q1B*)
%M809 := %MW1000 : X9 ; (*MARCHE VENTILATEUR Q1B*)
%M832 := NOT %MW1000 : X12 OR %M832; (*DEFAULT BOURRAGE VISQ1C*)
%M803 := %MW1000 : X11 ; (*MARCHE VISQ1C*)
%M849 :=NOT    %MW1000 : X14 OR    %M849 ;    (* DEFAULT COUPLEUR
VENTILATEUR Q1C*)
%M810 := %MW1000 : X13 ; (*MARCHE VENTILATEUR Q1C*)
%M850 := NOT    %MW1001 : X0 OR    %M850 ;    (* DEFAULT COUPLEUR
VENTILATEUR Q1D*)
%M811 := %MW1000 : X15 ; (*MARCHE VENTILATEUR Q1D*)
%M837:= (NOT %MW1001 : X6 AND %MW1200 <=0) OR %M837 ; (*DEFAULT
DEPORT DE BANDE TBEX1A*)
%M841 :=NOT %MW1001:X5 OR %M841 ;(*DEFAULT BOURRAGE TBEX1A*)
%M843:= (NOT %MW1001 : X4 AND %MW1201 <=0) OR %M843 ; (*DEFAULT
CONTROLE DE ROTATION TBEX1A*)
%M845 :=NOT    %MW1001:X3 OR    %M845 ;    (*DEFAULT ARRET D'URGENCE
TBEX1A*)
%M812 := %MW1001 : X2 ; (*MARCHE TBEX1A*)
%M839:= (NOT %MW1001 : X12 AND %MW1202) <=0) OR %M839; (*DEFAULT
DEPORT DE BANDE TBEX1B*)
%M842 :=NOT %MW1001:X11 OR %M842 ;(*DEFAULT BOURRAGE TBEX1B*)
%M844:= (NOT %MW1001 : X10 AND %MW1201 <=0) OR %M844; (*DEFAULT
CONTROLE DE ROTATION TBEX1B*)
%M846 :=NOT    %MW1001:X9 OR    %M846 ;    (*DEFAULT ARRET D'URGENCE
TBEX1B*)
%M813 := %MW1001 : X8 ; (*MARCHE TBEX1B*)
%M833 := NOT    %MW1001: X14 OR    %M833 ;    (*DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE
Q1A*)
%M804 := %MW1001 : X13; (*MARCHE FILTRE Q1A*)
%M834 := NOT    %MW1002: X0 OR    %M834;    (*DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE
Q1B*)
%M805 := %MW1001 : X15 ; (*MARCHE FILTRE Q1B*)

```

```
%M835 := NOT %MW1002 : X2 OR %M835; (*DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE Q1C*)
%M806 := %MW1002 : X1 ; (*MARCHE FILTRE Q1C*)
%M836 := NOT %MW1002 : X4 OR %M836 ; (*DEFAULT NIVEAU HAUT FILTRE Q1D*)
%M807 := %MW1002: X3 ; (*MARCHE FILTRE Q1D*)
```

#### IV.5.4.4.2 Décrémentation des temporisateurs

La sous-routine SR41 est spécifiquement conçue pour gérer la décrémentation des temporisateurs présents dans le système. À chaque cycle d'exécution, et grâce à un bit système d'une seconde elle contrôle si la valeur d'un temporisateur est supérieure à zéro ; si c'est le cas, elle réduit cette valeur de un. Une fois que la valeur atteint zéro, elle demeure à zéro, signalant ainsi la fin de la temporisation.

##### SR41 :

##### (\*Décrémentation Temporisateur déport de bande TBEX1A\*)

```
IF %MW1200>0 THEN
    %MW1200 := %MW1200-1 ;
ELSE
    %MW1200 :=0 ;
END IF ;
```

##### (\*Décrémentation Temporisateur contrôle de rotation TBEX1A\*)

```
IF %MW1201>0 THEN
    %MW1201 := %MW1201-1 ;
ELSE
    %MW1201 :=0 ;
END IF ;
```

##### (\*Décrémentation Temporisateur déport de bande TBEX1B \*)

```
IF %MW1202>0 THEN
    %MW1202 := %MW1202-1 ;
ELSE
    %MW1202:=0 ;
END IF ;
```



**\*(Décrémentateur Temporisateur contrôle de rotation TBEX1B\*)**

```
IF %MW1203>0 THEN
    %MW1203 := %MW1203-1 ;
ELSE
    %MW1203:=0 ;
END IF ;
```

Explication :

Un bit système %S6 est mémorisé dans un memento, et sur chaque front montant de ce dernier on appelle la sub-routine SR41 pour décrémenter

- %MW1200 est la variable mémoire qui stocke la valeur actuelle du temporisateur.
- La condition IF %MW1200 > 0 vérifie si la temporisation est encore active.
- Si oui, la valeur est réduite de un, ce qui correspond à un pas de temps (par exemple 1000 ms).
- Si non, la valeur est maintenue à zéro pour indiquer la fin de la temporisation.

**IV.5.4.4.3 Gestion des sorties :**

La génération des commandes destinées aux divers équipements des trémies portuaires est assurée par la sous-routine SR11. Elle garantit la traduction des décisions logiques issues de la lecture des capteurs et de la détection des défauts en signaux de commande physique, pilotant ainsi les actionneurs (moteurs, ventilateurs, compresseurs, etc).

**SR11 :**

```
%MW1100 : X1 := %M880 ; (*COMMANDE COMPRESSEUR*)
%MW1100 : X4:= NOT %MW1000 : X4 (*COMMANDE RELAIS DEFAULT
BOURRAGE VISQ1A*)
%MW1100 : X3:=%M401 AND %M880 AND %MW1000 : X4 (*COMMANDE
VISQ1A*)
%MW1100 : X6:= NOT %MW1000 : X6; (*COMMANDE RELAIS DEFAULT
COUPLEUR VENTILATEUR Q1A*)
%MW1100 : X5:= %M408 AND %M880 AND %MW1000 : X6; (*COMMANDE
VENTILATEUR Q1A*)
%MW1100 : X8:= NOT %MW1000 : X8; (*COMMANDE RELAIS DEFAULT
```

### BOURRAGE VISQ1B\*)

%MW1100 : X7:=%M402 AND %M880 AND %MW1000 : X8; (\*COMMANDE VISQ1B\*)

%MW1100 : X10 := NOT %MW1000 : X10; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1B\*)

%MW1100 : X9 := %M409 AND %M880 AND %MW1000 :X10; (\*COMMANDE VENTILATEUR Q1B\*)

%MW1100 : X12:= NOT %MW1000: X12 ; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE VISQ1C\*)

%MW1100 : X11:=%M403 AND %M880 AND %MW1000 : X12 ; (\*COMMANDE VISQ1C\*)

%MW1100 : X14 := NOT %MW1000: X14; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1C\*)

%MW1100 : X13 := %M410 AND %M880 AND %MW1000 : X14; (\*COMMANDE VENTILATEUR Q1C\*)

%MW1101 : X0 := NOT %MW1001 : X0 ; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT COUPLEUR VENTILATEUR Q1D\*)

%MW1100 : X15 := %M411 AND %M880 AND %MW1001 :X0 ; (\*COMMANDE VENTILATEUR Q1D\*)

%MW1101 : X6 := NOT MW1001 : X6; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT DEPORT DE BANDE TBEX1A\*)

%MW1101 : X5 := NOT %MW1001:X5; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT BOURRAGE TBEX1A\*)

%MW1101 : X4 := NOT %MW1001:X4; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT CONTROLE DE ROTATION TBEX1A\*)

%MW1101 : X3 := NOT %MW1001:X3 ; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT ARRET D'URGENCE TBEX1A\*)

%MW1101 : X1 := %M880 ; (\*COMMANDE CONTACTEUR TBEX1A\*)

%MW1101 : X2 :=%M412 AND %M880 AND MW1001 :X3 AND %MW1001:X4 AND %MW1001:X5 AND %MW1001:X6 ; (\*COMMANDE VARIATEUR TBEX1A\*)

%MW1101 : X12 := NOT % MW1001 : X12 ; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT DEPORT DE BANDE TBEX1B\*)

%MW1101 : X11 := NOT %MW1001:X11 ; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT

**BOURRAGE TBEX1B\*)**

%MW1101 : X10 := NOT %MW1001:X10 ; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT  
CONTROLE DE ROTATION TBEX1B\*)

%MW1101 : X9 := NOT %MW1001:X9 ; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT ARRET  
D'URGENCE TBEX1B\*)

%MW1101 : X7 := %M880 ; (\*COMMANDE CONTACTEUR TBEX1B\*)

%MW1101 : X8 := %M413 AND %M880 AND %MW1001 :X9 AND %MW1001:X10  
AND %MW1001:X11 AND %MW1001:X12 ; (\*COMMANDE VARIATEUR  
TBEX1B\*)

%MW1101 : X14 := NOT %MW1001 : X14 ; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT  
NIVEAU HAUT FILTRE Q1A\*)

%MW1101 : X13 := %M404 AND %M880 AND %MW1001 : X14; (\*COMMANDE  
FILTRE Q1A\*)

%MW1102 : X0 := NOT %MW1002 :X0 ;(\* COMMANDE RELAIS DEFAULT NIVEAU  
HAUT FILTRE Q1B\*)

%MW1101 : X15 := %M405 AND %M880 AND %MW1002 : X0; (\*COMMANDE  
FILTRE Q1B\*)

%MW1102 : X2 := NOT %MW1002 : X2; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT NIVEAU  
HAUT FILTRE Q1C\*)

%MW1102 : X1 := %M406 AND %M880 AND %MW1002 : X2; (\*COMMANDE  
FILTRE Q1C\*)

%MW1102 : X4 := NOT %MW1002 : X4 ; (\*COMMANDE RELAIS DEFAULT NIVEAU  
HAUT FILTRE Q1D\*)

%MW1102 : X3 := %M407 AND %M880 AND %MW1002 : X4;(\*COMMANDE  
FILTRE Q1D\*)

La sous-routine SR30 est dédiée à la gestion des échanges entre l'automate maître et l'automate esclave. Elle réalise la lecture de 3 mots mémoire d'entrée provenant de l'esclave, ainsi que l'écriture de 3 mots mémoire de sortie destinés à l'esclave.

**SR 30**

(\* Lecture / Ecriture Automate esclave \*)

```
READ_VAR (ADR#{1.4}SYS,'%MW',1000,3,%MW1000:3,%MW20883:4);  
WRITE_VAR (ADR#{1.4}SYS,'%MW',1100,3,%MW1100:3,%MW20883:4);
```

## **IV.6 La Supervision**

L'automatisation moderne transforme les usines en systèmes interconnectés et complexes. Pour assurer une gestion efficace, il est devenu essentiel d'aller au-delà du simple contrôle local des machines. Il est indispensable d'avoir une vision centralisée pour transformer le flux continu de données sur le terrain en informations précises et utiles. Cette technique offre aux opérateurs la possibilité non seulement de surveiller l'état des processus en temps réel grâce à des interfaces Homme-Machines (IHM), mais également d'agir à distance pour superviser les appareils, gérer les alertes et évaluer les performances.

La supervision industrielle garantit :

- Le contrôle et la gestion à distance des équipements.
- La détection et la gestion efficace des alertes.
- L'enregistrement des données pour analyses et le reporting.
- Une amélioration de la sécurité et de la fiabilité des opérations.
- L'optimisation de la performance globale de l'installation.

L'Interface Homme Machine (IHM) agit comme un intermédiaire, il assure la connexion entre les composants matériels (capteurs, actionneurs, automates) et les couches logicielles (programmes de contrôle, bases de données) du système, en les rendant accessibles et pilotables par l'opérateur. Il a comme tâches :

### **IV.6.1 Synoptique**

Le synoptique constitue l'interface graphique dynamique de l'opérateur utilisée comme tableau de bord de travail. Il permet de disposer d'une vision consolidée en temps réel du processus, en appréhendant sa dynamique et en interagissant directement avec les appareils. [24]

### **IV.6.2 Commandes**

Permet à l'opérateur d'interagir avec le système en donnant des ordres tel que démarrer, arrêter, régler des niveaux ou modifier des consignes. [24]

### IV.6.3 Alarmes

Notifie les anomalies, les pannes ou les dépassements de seuils par des alertes visuelles et sonores. Le traitement des alarmes facilite le repérage des problèmes et permet une intervention dès la détection de ces anomalies, afin d'éviter les interruptions ou accidents.

### IV.6.4 Simulation avec visual basic

#### IV.6.4.1 Présentation du logiciel Visual Basic (VB)

Visual Basic (VB) est un langage de programmation Microsoft, dérivé du BASIC, conçu pour le développement rapide et accessible d'applications Windows grâce à son approche visuelle et sa simplicité d'utilisation. Ses caractéristiques principales sont les suivantes :

##### IV.6.4.1.A Editeur graphique [25]

L'environnement de développement intégré (IDE) de Visual Basic est aussi performant qu'intuitif, s'appuyant sur le principe WYSIWYG (ou What You See Is What You Get) qui assure que l'interface créée sera effectivement la même que celle qu'observera l'utilisateur final. L'éditeur fait du glisser-déposer pour concevoir l'interface graphique une opération du plus haut degré, facilitant le positionnement de chaque élément.

##### IV.6.4.1.B Programmation évènementiel [25]

Visual Basic adopte une méthode de programmation basée sur les événements, où chaque composant graphique peut initier des événements (tels qu'un clic de souris ou une saisie au clavier). Le développeur associe à ces événements un code particulier afin de concevoir des applications dynamiques et gérer les interactions avec l'utilisateur.

##### IV.6.4.1.C Interface utilisateur [25]

La conception d'interfaces graphiques intuitives est au cœur de Visual Basic. Les développeurs assemblent des éléments visuels et programment la réponse de ces éléments aux actions de l'utilisateur. Les contrôles standards (zones de textes, cases à cocher, listes déroulantes) comportent des propriétés et des gestionnaires d'événements modifiables dynamiquement dans le cadre de la réalisation d'une interface personnalisée au fur et à mesure de l'exécution du programme.

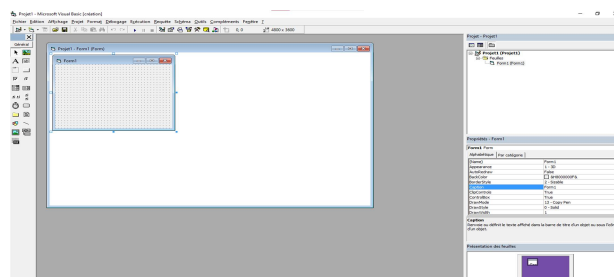


Figure IV.7 : Interface utilisateur sou VB.

#### IV.6.4.1.2 Création d'un projet

1- Lancez le logiciel Visual Basic sur votre ordinateur.

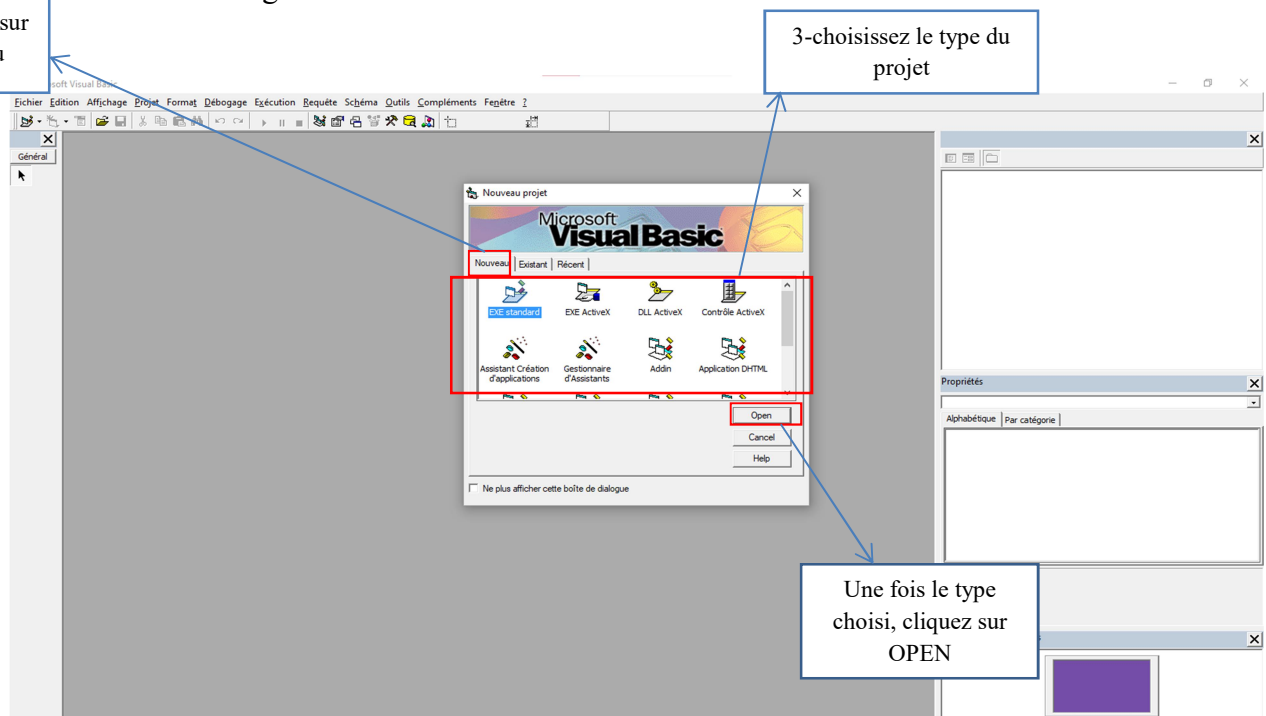


Figure IV.8 : Création d'un projet sous VB.

Selon le type choisi, vous pouvez ajouter des éléments à votre projet. Dans le menu, cliquez sur **Projet >Ajouter**. Pour des applications graphiques, vous pouvez glisser et déposer des contrôles (bouton, label,...) sur le formulaire principal.

#### IV.6.4.2 Simulation

La simulation réalisée avec Visual Basic offre la possibilité de modéliser et de valider le comportement des systèmes industriels, fournissant ainsi une plateforme pour tester les logiques de contrôle et les interactions avec les interfaces homme-machine avant leur mise en œuvre physique.

À l'heure actuelle, le schéma du circuit de déchargement à Cevital ne permet pas de visualiser les opérations qui se déroulent au port.

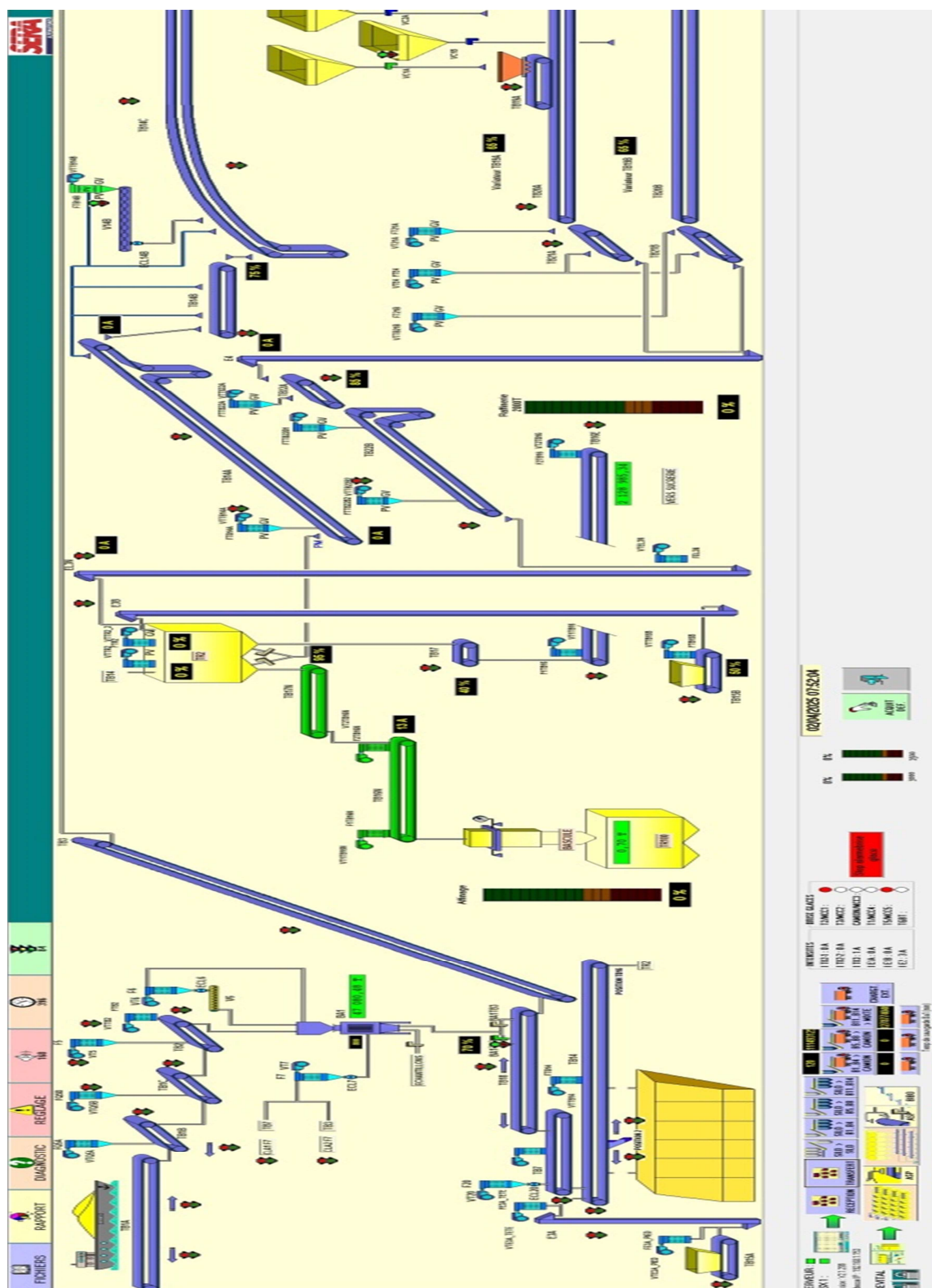
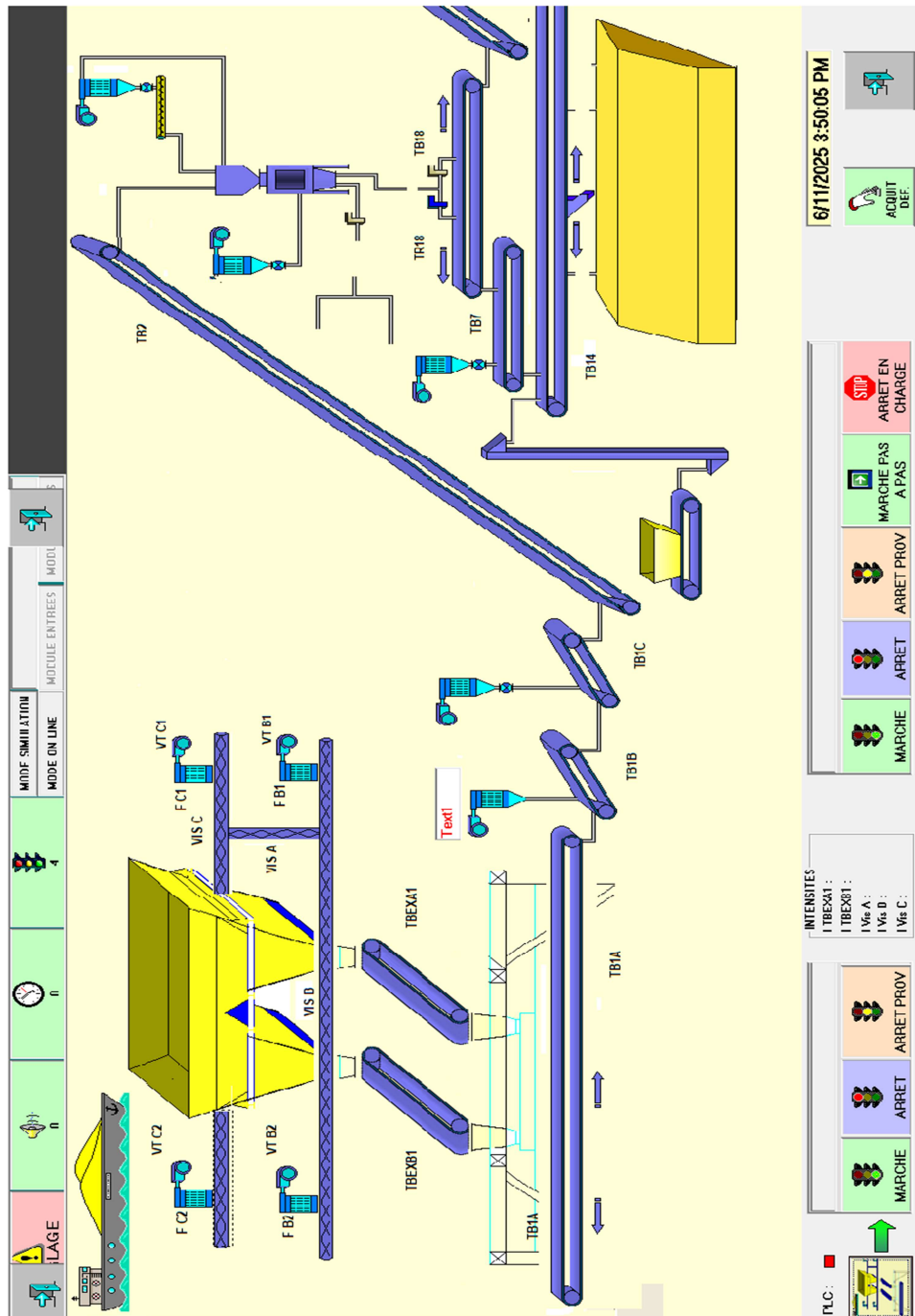


Figure IV.9 : Synoptique du circuit de déchargement actuel à Cevital.



L'utilisation de Visual Basic permettra d'atteindre cet objectif en proposant une représentation visuelle et interactive de ces processus.

## Synoptique du circuit des trémies portuaires



**Figure IV.10 : Synoptique du circuit des trémies.**



Comme on peut le constater sur la **figure IV.10** le second synoptique est en fait comme une suite du premier. En effet, sur cette figure, on peut visualiser très clairement les différents composants constituant le circuit de déchargement situé au port.

#### **IV.7 Conclusion**

Ce chapitre a mis en évidence l'importance des réseaux radio industriels dans des systèmes industriels avec une structure de contrôle Maître-Esclave afin d'automatiser et de sécuriser le processus de déchargement dans les ports. L'emploi des automates TSX57353A en combinaison avec les modems Z-AIR-1, associé à la programmation via PL7 Pro, propose une solution qui allie solidité et fiabilité. La gestion efficace et l'amélioration de la visibilité des opérations portuaires sont facilitées par la supervision via une Interface Homme-Machine (IHM), complétée par des outils de simulation comme Visual Basic.

### Conclusion générale

Ce mémoire s'inscrit dans une démarche claire : concevoir un système capable d'assurer le contrôle à distance des trémies portuaires de Cevital, en s'appuyant sur les principes de télémétrie industrielle et de l'automatisation distribuée. Le déchargement manuel du vrac solide au port de Béjaïa constitue une étape sensible, encore marquée par la lenteur, la pénibilité et l'absence de supervision en temps réel. Notre objectif a donc été de proposer une solution moderne, fiable et adaptée à ce contexte.

Nous avons commencé par analyser l'environnement du projet, en découvrant le fonctionnement du complexe Cevital et les limites de son système actuel. Cette phase nous a permis de bien comprendre les besoins sur le terrain, les contraintes techniques et les objectifs à atteindre.

Ensuite, nous avons étudié en détail la partie opérative : capteurs, actionneurs, trémies, moteurs... À partir de cette base, nous avons proposé une solution d'automatisation fiable, reposant sur des automates programmables connectés par une liaison radio, afin d'assurer un pilotage à distance efficace, même dans un environnement contraignant. Après avoir comparé plusieurs architectures, nous avons choisis celle qui offre à la fois la sécurité, l'autonomie et la flexibilité.

Nous avons ensuite mis en oeuvre cette solution à l'aide du logiciel PL7 Pro, en programmant la logique de fonctionnement et en configurant les entrées et les sorties. Pour faciliter la gestion du système, une interface de supervision a été conçue à l'aide d'un synoptique réalisé sous Visual Basic, permettant de visualiser les opérations et d'interagir facilement avec le système.

Ce projet nous a permis de relever un véritable défi en proposant une solution alliant contrôle, télémétrie et efficacité industrielle, de faire des choix, de simuler des solutions, et de mieux comprendre ce que représente l'automatisation sur le terrain. Nous espérons que cette démarche contribuera à améliorer les installations industrielles dans des contextes similaires.

## Références bibliographiques

[1] : Metaletech. (2020, 24 août). *Les silos (1) : Introduction générale*.

<https://metaletech.com/2020/08/24/les-silos-1-introduction-generale/>

[2] : Messaoudene, N., & Khemsine, A. (2016). « Automatisation des trémies portiques et leur intégration dans la supervision des installations de déchargement de navire »

[3] documentation SERA automatique.

[4] : Chenna.A. (2025). *Actionneurs industriels*. [Support de cours, Master 2 Electronique – Instrumentation]. Université de Béjaïa.

[5] : guide des solutions d'automatismes. Schneider 2008.

[6] : Tameson. (2024). *Interrupteur de fin de course*.

<https://tameson.fr/pages/interrupteur-de-fin-de-course>

[7] : One-Elec. (2024). *Les boutons d'arrêt d'urgence, un équipement de sécurité à ne pas négliger en milieu industriel*.

<https://www.one-elec.com/blog/les-boutons-darrrt-durgence-un-quipement-de-scurit--ne-pas-ngliger-en-milieu-industriel.html>

[8] : <https://proax.ca/fr/blog/post/en-everything-you-need-to-know-about-pneumatics>

[9] : <https://www.omchele.com/fr/parts-of-a-pneumatic-system-guide/>

[10] : Maxicours. S.d. "Distributeurs."

<https://www.maxicours.com/se/cours/distributeurs/>

[11] : MyTopSchool. (s.d.). *LES DISTRIBUTEURS*.

<http://www.mytopschool.net/mysti2d/activites/polynesie2/ETT/C044/21/Pneumatique/files/Documents/pdf/distributeurs.pdf>

[12] : [...] : Tamersit, K. (2020-2021). *Support de Cours : Actionneurs Industriels* [Support de cours, Master 2 Instrumentation, Université 8 Mai 1945 - Guelma]

[13] : Zhang, Y. (s.d). *The Five-Level Automation Pyramid: Transforming Factories of the Future*.

[14] : (Boukhcheche *et al.*, s.d., consulté sur [dspace.univ-eloued.dz](https://dspace.univ-eloued.dz)).

[15] : Yutec. (2023). *Langages de programmation automate*.

<https://yutec.fr/entreprise/langage-automate/>

[16] : Schneider Electric. (2002). *Les bus et les réseaux de terrain en automatisme industriel*. Intersections – Le magazine Schneider Electric de l’enseignement technologique et professionnel.

[17] : Schneider Electric. (2018, décembre). *Architectures et services de communication : Manuel de référence*.

[18] Seneca Srl. (n.d.). *Industrial Radio Modems – Z-AIR Series*.

[19] Seneca Srl. (n.d.). *Z-AIR-1 UHF radio modem – Technical Datasheet*

[20] Seneca Srl. (n.d.). *Z-AIR-1 – UHF Wireless Radio Modem – User Manual*

[21] : Schneider Electric. PL7 Reference Manual Volume 1: Description of the PL7 software.

[22] : AM. (s.d.). *Automates TSX Micro & Premium – Logiciel PL7 Pro*.

[23] : Schneider Electric. (2005, mars). *Manuel de référence : PL7 Micro/Junior/Pro – Description du logiciel PL7*.

[24] : LAMRI, M. S., & TATI, Z. (2022). « *Supervision en temps réel d'un procédé industriel basé sur un automate programmable utilisant SCADA et MATLAB* »

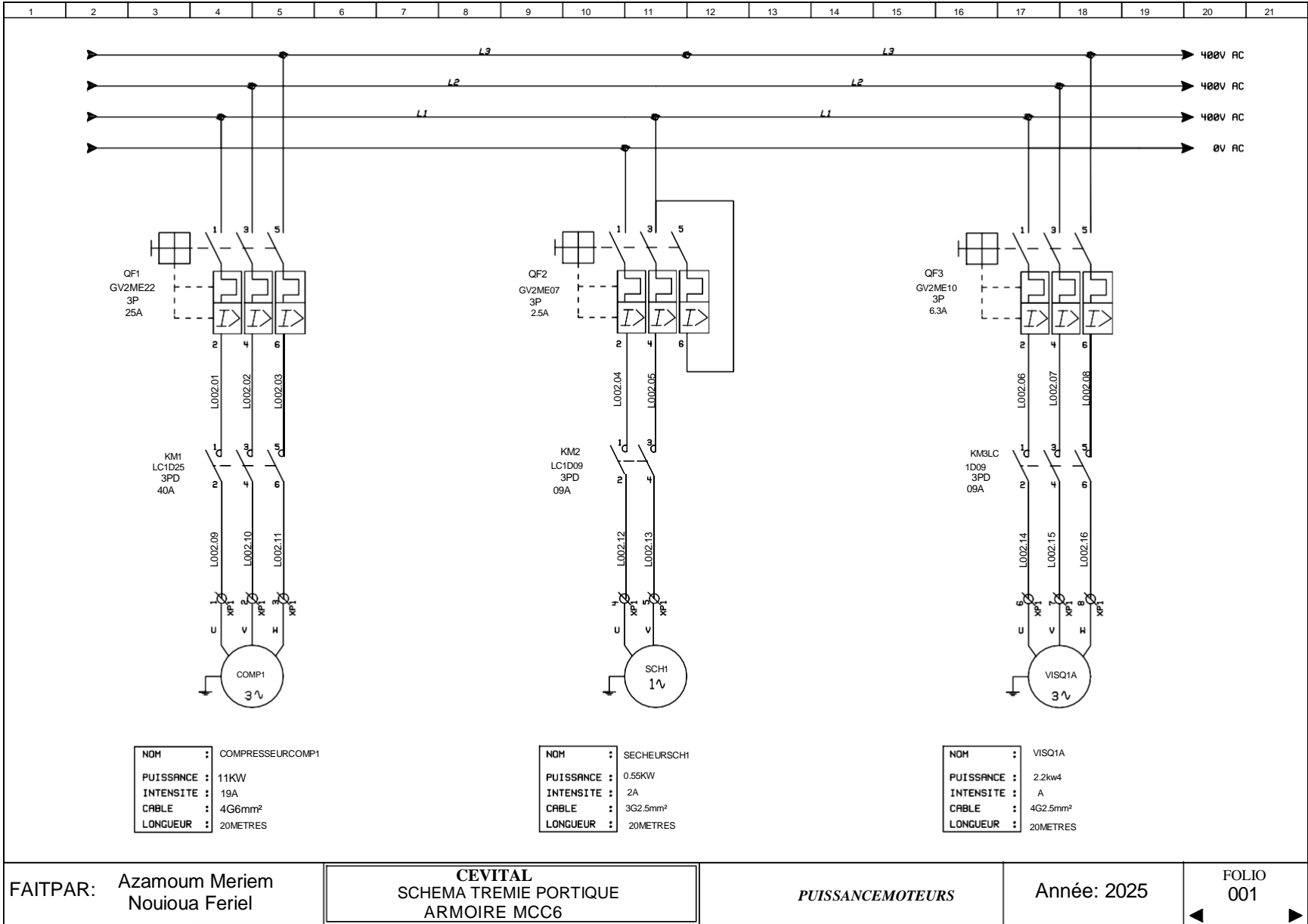
[25] AppMaster, “The Basics of Visual Basic Programming: A Beginner’s Guide,” AppMaster, 28 Oct. 2024.

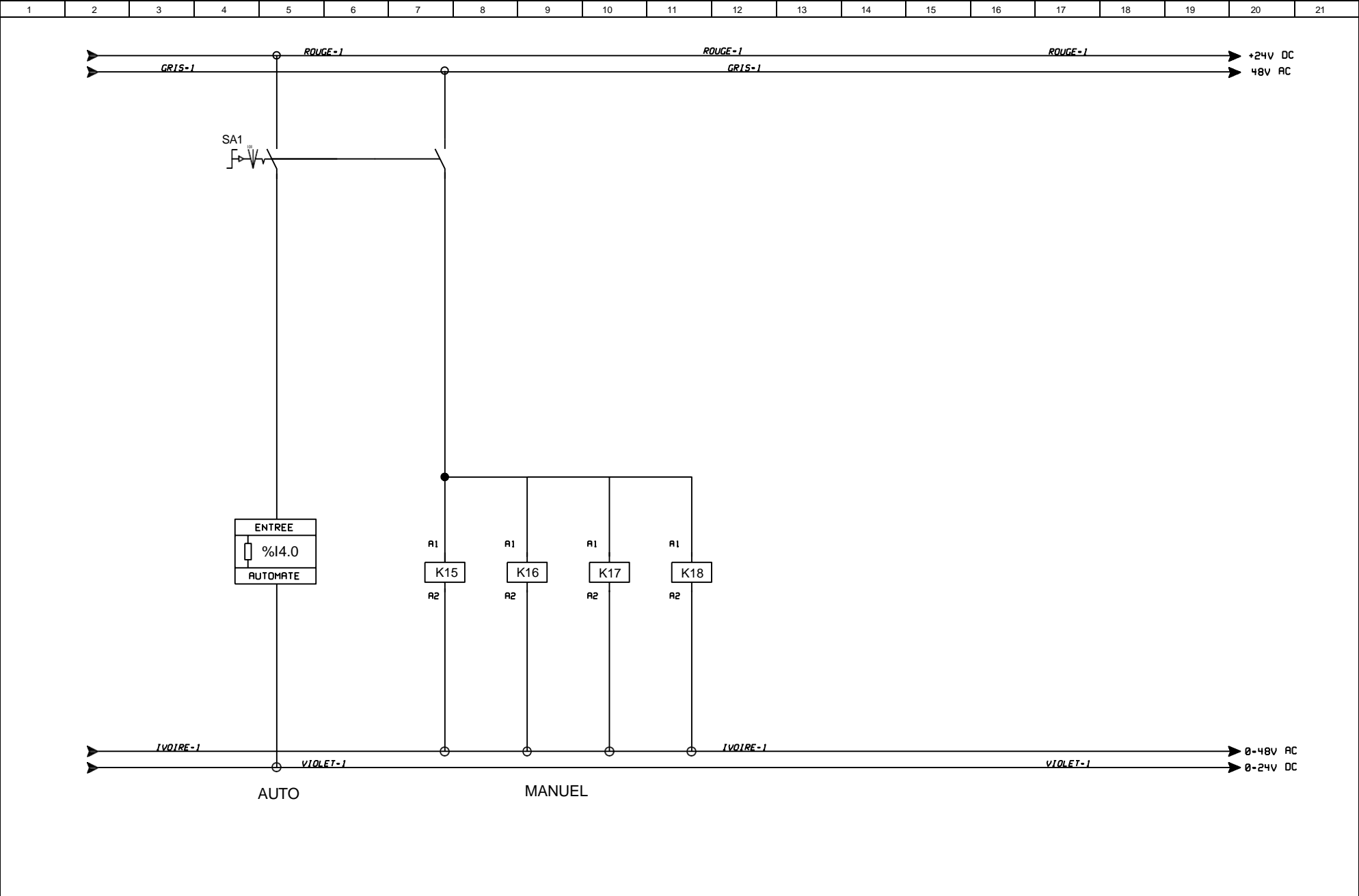
<https://appmaster.io/blog/visual-basic-programming-guide>.

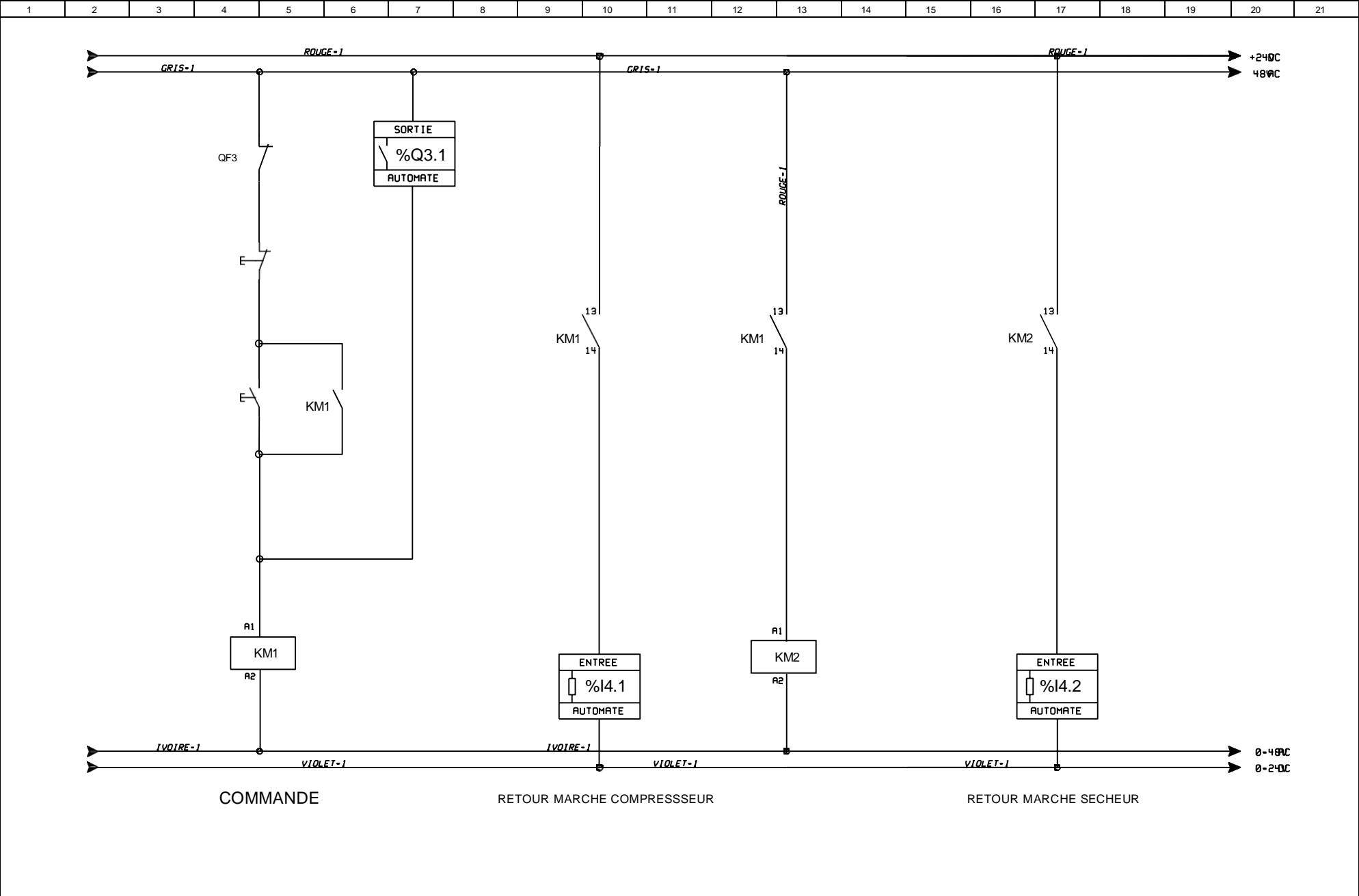
[26]: Tsoungui, H. (s.d.). Visual Basic v 6.0

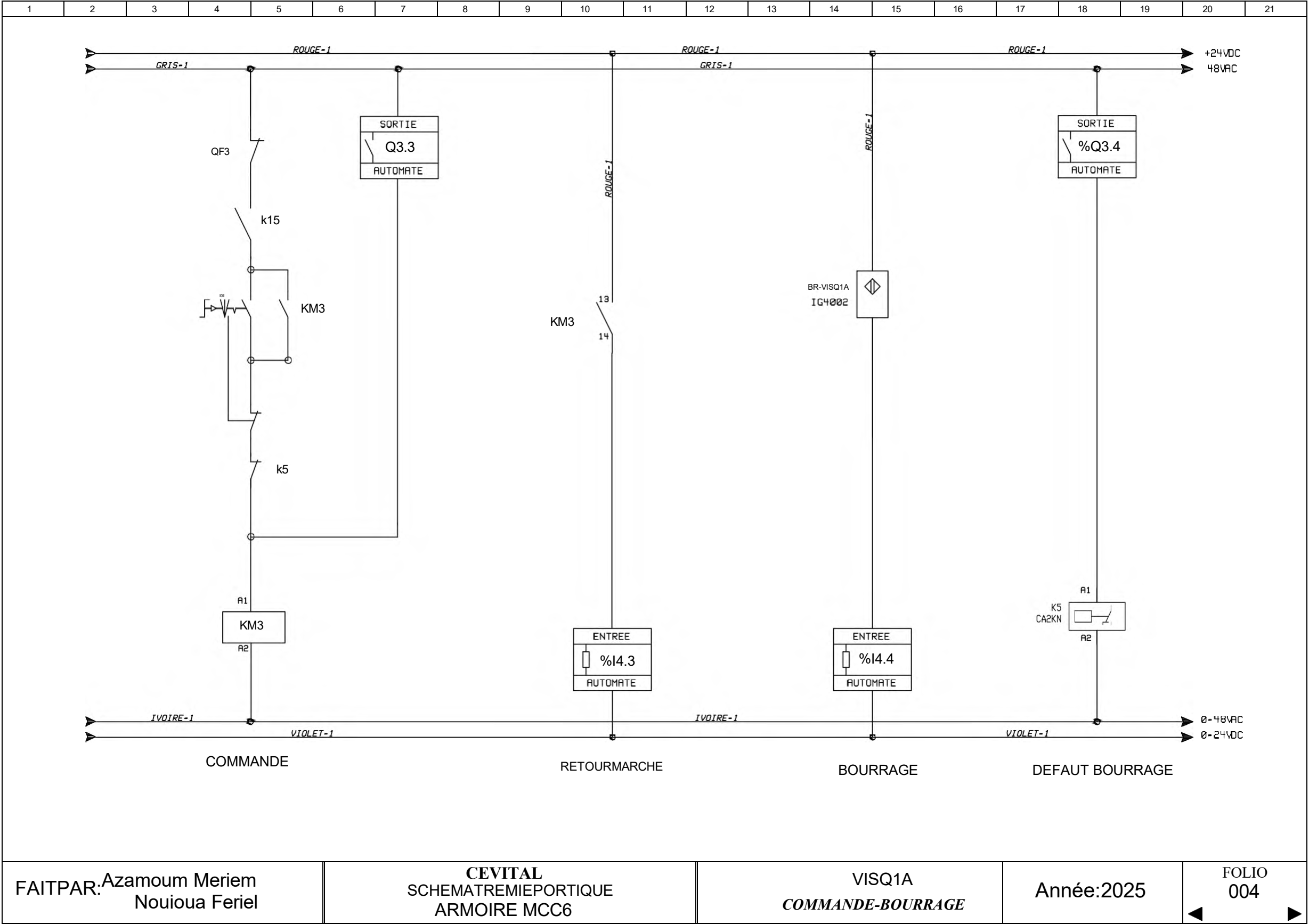
<https://tsoungui.fr/cours/VBv6>

ANNEXE 01

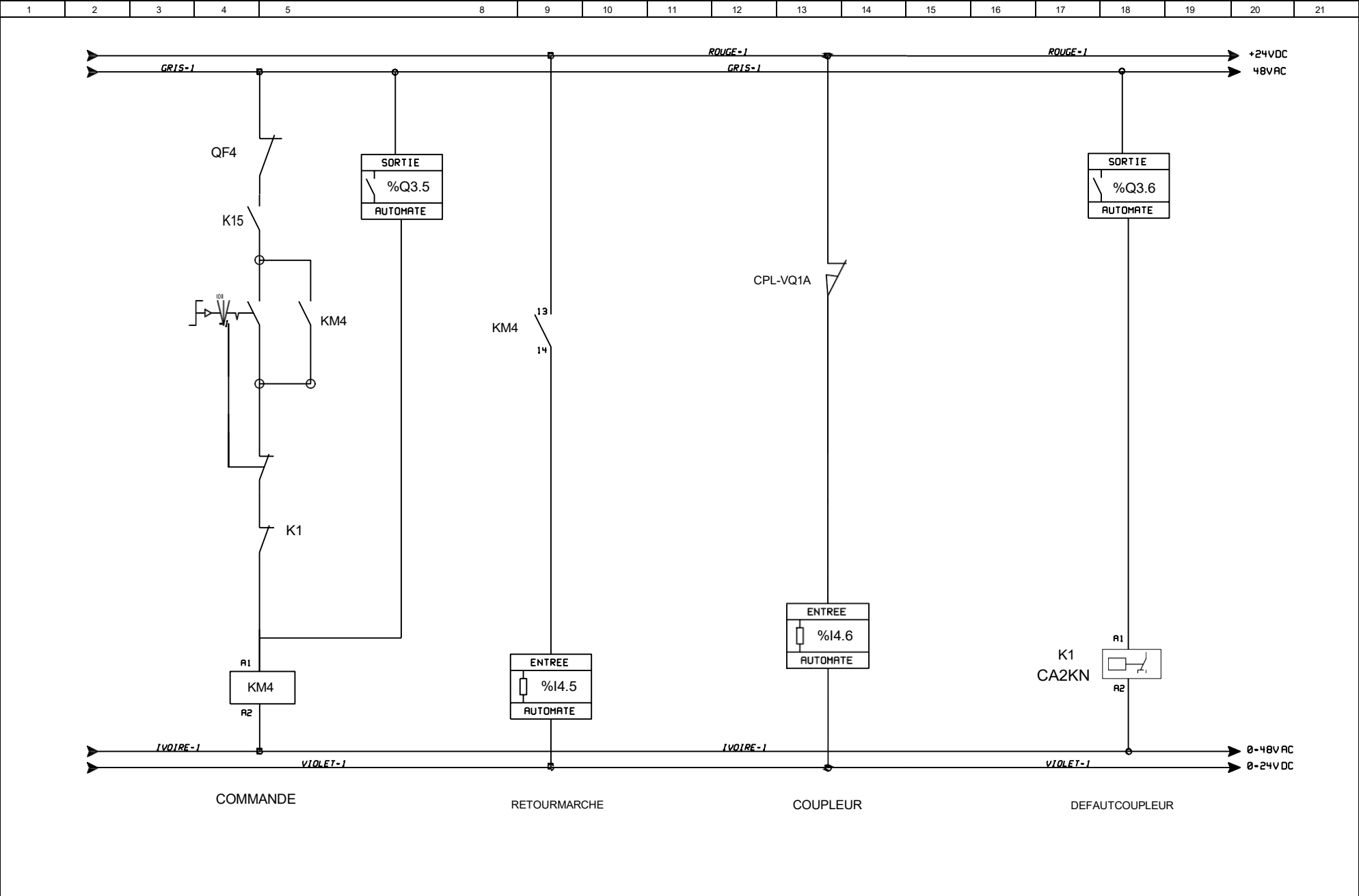












## **Résumé**

Ce mémoire présente la conception et la mise en oeuvre d'une solution de télémétrie et de contrôle automatique des trémies dans la zone portuaire de Cevital. Le mode de déchargement manuel actuel présente plusieurs problèmes, comme un manque de sécurité, une faible efficacité et des opérations très longues.

Pour résoudre ce problème, une structure de type Maître-Esclave a été choisie, basée sur deux automates TSX57353 reliés par un réseau sans fil industriel. Cette approche offre une liaison fiable entre le port et le centre de supervision, tout en assurant une autonomie locale en cas de panne.

La programmation du système a été réalisée sous PL7 Pro, intégrant le suivi des E/S, la gestion des alertes, des défauts et des temps d'attente.

Une interface de contrôle a été créée en utilisant Visual Basic, permettant une visualisation claire et une gestion à distance des opérations.

Ce travail répond donc bien aux besoins d'automatisation des équipements portuaires, en combinant avec succès la performance, la sécurité et la modernisation des installations portuaires.

## **Abstract**

This thesis presents the design and implementation of a telemetry system and an automated hopper control solution in the port area of Cevital. The current manual unloading mode has several problems related to safety, productivity and the time takes to complete operations.

To solve this problem, a Master-Slave system was used, based on two TSX57353 PLCs connected through an industrial wireless network. This approach provides a reliable connection between the port and the supervision center (control center), while ensuring local independence in the event of a fault.

The system was programmed using PL7 Pro, integrating I/O monitoring, alerts, faults detection and management of waiting times.

A control interface was created using Visual Basic, enabling a clear overview and remote control of operations.

This work therefore meets the needs of automating port equipment by successfully combining performance, safety and modernization of the port.

## ملخص

تركز هذه المذكرة على تصميم وتنفيذ نظام القياس عن بُعد والتحكم الآلي في القادوس في منطقة ميناء سيفيتال. يعاني أسلوب التفريغ اليدوي الحالي من عيوب عديدة تتعلق بالسلامة والإنتاجية وطول مدة العمليات..

لمعالجة هذه العيوب، تم النظر في هيكلية رئيسية وتابعة، بالاعتماد على وحدتي تحكم منطقية قابلة للبرمجة (PLC) من طراز 57353 TSX متصلتين بشبكة لاسلكية صناعية. يوفر هذا النهج اتصالاً موثوقاً بين الميناء ومركز المراقبة، مع ضمان الاستقلالية المحلية في حالات الطوارئ.

تمت برمجة النظام باستخدام Pro7 PL ، الذي يدمج مراقبة الإدخال/الإخراج، وإدارة التنبيهات، وإدارة الأعطال، وإدارة وقت الانتظار.

تم تصميم واجهة تحكم باستخدام Visual Basic ، مما يتيح رؤية واضحة وإدارة العمليات عن بُعد.

لذا، يلبي هذا العمل احتياجات أتمتة معدات الموانئ بشكل جيد، حيث يجمع بنجاح بين الأداء والسلامة وتحديث مرافق الموانئ.