



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

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed
معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel
Spécialité : Maintenance de l'Automatisme et de l'Instrumentation

Thème

Automatisation d'une station de traitement de l'eau avec un système SCADA

Présenté et soutenu publiquement par

BOUAKSA Majda

Devant le jury composé de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
Mr. MEKKI Ibrahim Elkhalil	MCB	Univ. Oran-2, IMSI	Président
Mr. BENFEKIR Abderrahim	MCB	Univ. Oran-2, IMSI	Encadrant
Mr. BELHADRI Kheira	MCB	Univ. Oran-2, IMSI	Examinatrice

Année universitaire 2024 / 2025.

Remerciement

Avant toute chose, je tiens à exprimer ma profonde gratitude à Dieu Tout-Puissant, qui m'a offert la force, la patience et l'inspiration nécessaires pour mener à bien ce projet.

Je souhaite également exprimer ma profonde gratitude à mon encadrant universitaire, M. Benfkir, pour son encadrement rigoureux, ses conseils avisés et son soutien tout au long de ce travail. Son expertise et son implication ont été d'une grande importance pour la réussite de ce projet.

Mes remerciements vont aussi au personnel de la station de traitement des eaux usées El Kouayer Mascara, pour leur accueil, leur collaboration, et les informations techniques qu'ils ont bien voulu partager, et qui ont grandement contribué à la compréhension du processus étudié.

Je remercie tout particulièrement les membres du jury pour le temps qu'ils consacrent à l'évaluation de ce travail, ainsi que pour leurs remarques et suggestions qui contribueront à mon amélioration personnelle et professionnelle.

Enfin, j'adresse ma gratitude à l'ensemble du corps enseignant et au personnel administratif et technique de l'Institut de Maintenance et Sécurité Industrielle, pour leur disponibilité, leur bienveillance et leur professionnalisme tout au long de mon parcours académique.

Je n'oublie pas non plus toutes les personnes croisées sur ce chemin, qui m'ont offert un regard bienveillant, un mot d'encouragement ou une aide inattendue. Leur générosité a laissé une empreinte durable.

À toutes et à tous, merci du fond du cœur

Dédicaces

À ceux qui ont toujours cru en moi :

À ma mère bien-aimée, l'incarnation du courage et du sacrifice ! celle dont la vie a toujours été un combat silencieux pour mon bien-être, celle dont ses sacrifices ont tracé mon chemin sans jamais rien attendre en retour, celle qui a lutté sans relâche, en silence et avec dignité, pour me voir avancer, grandir et rayonner aujourd'hui. Elle a été bien plus qu'une mère : une combattante infatigable, une lumière dans l'ombre, une héroïne du quotidien.

Aujourd'hui, si je franchis une étape importante de ma vie, c'est parce qu'elle m'a portée par son amour, sa force et sa foi en moi. A-t-elle, je dédie ce travail, avec toute la reconnaissance, une gratitude infinie, un respect profond, et un amour qu'aucun mot ne pourra jamais vraiment traduire.

À papa et mes frères, ceux dont la présence m'a portée, rassurée, motivée. Leur soutien, souvent discret mais toujours sincère, m'a donné l'élan et la sérénité nécessaires pour avancer. Ils ont été des piliers, des alliés, des sources de courage.

À Hachemi, celui qui a été d'un soutien indéfectible tout au long de ce projet. Toujours prêt à éclaircir un doute, à proposer une solution, à tendre la main quand la charge devenait trop lourde, il a contribué de manière significative à la réussite de ce travail.

Je lui exprime toute ma gratitude pour sa générosité, sa patience et son sens du partage. Je lui dédie une part de cet accomplissement avec une profonde reconnaissance.

À Ghania, celle que la vie a placée sur mon chemin comme une sœur d'âme. Celle qui a su, dans les tempêtes douces comme dans les plus violentes, rester mon repère, mon ancrage. Elle trouvait toujours les mots justes, les silences réconfortants, les gestes apaisants.

Son amitié fait partie de celles qui ne se décrivent pas : elle se ressent, se vit, se construit dans la fidélité des jours. Par sa présence, son écoute, son énergie et sa patience, elle a été un soutien inestimable tout au long de ce parcours.

À toutes les personnes formidables que j'ai la chance de connaître, ce mémoire n'est pas seulement le fruit d'un travail personnel, mais aussi le reflet de tout l'amour, de la confiance et de l'accompagnement que j'ai reçu.

Résumé :

Ce mémoire porte sur l'automatisation d'une station de traitement de l'eau avec un système SCADA. L'objectif principal est d'améliorer la supervision, la fiabilité et l'efficacité des opérations de traitement, tout en répondant aux exigences techniques d'une gestion moderne et optimisée des infrastructures hydrauliques. La zone d'étude retenue pour ce projet est la station d'épuration des eaux usées d'El Kouayer, située dans la wilaya de Mascara.

L'étude inclut une analyse fonctionnelle du système existant, l'intégration de capteurs, la configuration d'un automate programmable et le déploiement d'une interface SCADA pour le contrôle en temps réel. Le travail détaille les étapes de conception, de simulation et de validation du système automatisé à travers des tests menés dans l'environnement PLCSIM.

Mots-clés : automatisation, station de traitement de l'eau, STEP El Kouayer épuration, supervision, simulation, SCADA, PLCSim.

---ooOoo---

ملخص :

هذا البحث يركز على أتمتة محطة معالجة المياه باستخدام نظام التحكم الإشرافي وجمع البيانات. الهدف الرئيسي هو تحسين الإشراف والموثوقية وكفاءة عمليات المعالجة، مع تلبية المتطلبات التقنية لإدارة حديثة ومحسنة للبنية التحتية المائية. المنطقة المختارة للدراسة هي محطة معالجة مياه الصرف الصحي في القواير، الواقعة في ولاية معسكر.

تشمل الدراسة تحليلاً وظيفياً للنظام القائم، دمج أجهزة الاستشعار، تكوين جهاز متحكم منطقي برمجي، ونشر واجهة نظام التحكم الإشرافي وجمع البيانات. للتحكم في الوقت الفعلي. توضح الرسالة مراحل التصميم والمحاكاة والتحقق من النظام الآلي من خلال الاختبارات التي أجريت من خلال محاكي المتحكم المنطقي القابل للبرمجة.

الكلمات المفتاحية: الأتمتة، محطة معالجة المياه، محطة القواير لمعالجة المياه المستعملة، التطهير، الإشراف، المحاكاة

----ooOoo---

Abstract :

This thesis focuses on the automation of a water treatment plant using a SCADA system. The main objective is to enhance supervision, reliability, and operational efficiency while meeting the technical requirements of modern and optimized management of water infrastructure. The selected study area for this project is the El Kouayer wastewater treatment plant, located in the Mascara province.

The study includes a functional analysis of the existing system, the integration of sensors, the configuration of a programmable logic controller (PLC), and the deployment of a SCADA interface for real-time control. The work details the design, simulation, and validation stages of the automated system through tests carried out in the PLCSIM environment.

Keywords : automation, water treatment plant, El Kouayer WWTP, purification, supervision, simulation, SCADA, PLCSIM.

Table des matières

Remerciements	
Dédicaces	
Résumé	
Sommaire	
Liste des figures	
Liste des tableaux	
Liste des abréviations	
Introduction générale	1
Chapitre I : Généralité sur le traitement de l'eau	4
I.1. Introduction.....	5
I.2. La répartition de l'eau sur la terre.....	5
I.3. Les diverses sources d'approvisionnement de l'eau.....	6
I.3.1. Eaux de pluie.....	6
I.3.2. Eaux de surface.....	7
I.3.3. Eaux souterraines.....	7
I.3.4. Eau de mer.....	7
I.4. Le traitement de l'eau.....	8
I.5. Historique du traitement de l'eau.....	8
I.5.1. Les premières méthodes de traitement de l'eau (2000 AEC.).....	9
I.5.2. Traitement prolongé de l'eau (1500 AEC.).....	9
I.5.3. Le Moyen Âge et les expérimentations (500 - 1700).....	9
I.5.3. Traitement de l'eau à partir du XVIIIe siècle.....	9
I.5.4. Amélioration des technologies au XIXe siècle.....	9
I.5.5. Avancées dans le traitement de l'eau au XXe siècle.....	9
I.5.6. Progrès du traitement de l'eau depuis 1970.....	9
I.6. Stations de dessalement.....	10
I.6.1. Dessalement.....	10
I.6.2. Processus de dessalement : fonctionnement des stations de dessalement.....	10
a. Prise d'eau de mer.....	11
b. Prétraitement.....	11
c. Les procédés de dessalement.....	12
d. Post-traitement.....	16
I.6.3. Dessalement en Algérie.....	16
I.7. Stations d'épuration des eaux usées (STEP).....	17
I.7.1. Les eaux usées.....	17
I.7.2 Les différent types des eaux usées.....	17
a. Les eaux usées domestiques.....	17
b. Les eaux usées industrielles.....	17
c. Les eaux usées urbaines.....	18
I.7.3. Les origines des eaux usées.....	18
I.7.4. Collecte des eaux usées.....	18
I.7.5. Station d'épuration.....	19
I.7.6. Fonctionnement d'une station d'épuration.....	19
a. Le traitement préliminaire (prétraitement).....	19
b. Le traitement primaire.....	22
c. Le traitement secondaire (biologique).....	23
d. Le traitement tertiaire.....	26
e. Le traitement des boues.....	27

I.7.7. Les stations d'épuration en Algérie.....	28
I.8. Station de traitement des eaux potables.....	29
I.8.1. L'eau potable.....	29
I.8.2. Types d'eau traitées.....	29
I.8.3 Fonctionnement générale d'une station de traitement de l'eau potable.....	29
a. Le captage de l'eau.....	30
b. Le prétraitement.....	30
c. Coagulation et floculation.....	31
d. Décantation.....	31
e. Filtration.....	31
f. Désinfection.....	32
I.9. Conclusion.....	33
Chapitre II : Présentation de la zone d'étude.....	34
II.1. Introduction.....	35
II.2. L'Office National de l'Assainissement (ONA).....	35
II.2.1. Les missions de l'ONA.....	35
II.2.2. Organisation de l'ONA.....	35
II.2.3. Unités locales.....	36
II.2.4. Zones régionales.....	36
II.3. L'unité de Mascara.....	37
II.3.1. Infrastructures et équipements.....	37
II.3.2. Procédés de traitement utilisés.....	37
II.3.3. Capacité de traitement.....	38
II.4. STEP El Kouayer Mascara.....	38
II.4.1. Situation géographique.....	38
II.4.2. Le réseau d'assainissement.....	39
II.4.3. Le fonctionnement de la station.....	39
II.4.3. Description des ouvrages.....	40
a. Station de relevage.....	40
b. Dégrilleur.....	41
c. Dessableur / Déshuileur.....	42
d. Bassin d'aération.....	43
e. Décanteur.....	43
f. Bassin de désinfection.....	44
g. Traitement des boues.....	44
II.4.4. Équipements de la station.....	47
a. Les pompes.....	47
b. Moteurs.....	52
c. Motoréducteurs.....	56
d. Réducteurs.....	58
e. Surpresseur d'air.....	59
f. Les armoires électriques.....	61
II.5. Conclusion.....	64
Chapitre III : Automatisation de la STEP.....	65
III.1. Introduction.....	66
III.2. La structure de la STEP El Kouayer Mascara.....	66
III.2.1. Partie opérative.....	66
III.2.2. Partie commande.....	66
III.2.3. Partie supervision (relation).....	67
III.3. Problématique.....	69

III.4. Solution proposée.....	69
III.5. Structure d'un système automatisé.....	69
III.5.1. Partie opérative (PO).....	70
III.5.2. Partie commande (PC).....	70
III.5.3. Partie relation (PR).....	71
III.6. Automate programmable industriel (API).....	71
III.6.1. Historique.....	71
III.6.2. Définition.....	71
III.6.3. Nature des informations traitées par l'automate.....	71
III.6.4. L'architecture d'un automate programmable industriel.....	72
III.6.5. Traitement du programme automate.....	73
III.6.6. Les critères de choix d'un API.....	74
III.6.7. Automate S7-300.....	75
III.7. Les capteurs.....	76
III.7.1. Définition.....	76
III.7.2. Nature de l'information fournie par un capteur.....	76
III.7.3. Caractéristiques des capteurs.....	76
III.7.4. Capteur de niveau.....	77
a. Types de capteurs de niveau.....	77
b. Capteur de niveau recommandés pour STEP.....	77
III.7.5. Capteur de débit.....	78
a. Types de capteurs de débit.....	78
b. Capteurs de débit recommandés pour STEP.....	78
III.8. Interface Homme Machine (IHM).....	79
III.9. TIA PORTAL (Totally Integrated Automation Portal).....	80
III.9.1. Programmation.....	81
a. Ladder Diagram (LAD) - Langage à contacts.....	81
b. Structured Text (ST) - Texte structuré.....	81
c. Function Block Diagram (FBD) - Langage à blocs fonctionnels.....	82
d. Statement List (STL).....	82
e. S7 Graph (GR / Graph).....	83
III.9.2. Les blocs TIA PORTAL.....	83
III.9.3. Vues de TIA PORTAL.....	84
III.10. Conclusion.....	85
Chapitre IV : Résultats et essais	86
IV.1. Introduction.....	87
IV.2. Notre programme.....	87
IV.2.1. Création du projet dans TIA Portal V16.....	87
IV.2.2. Configuration et paramétrage du matériel.....	87
a. Choix de l'API.....	88
b. Les variables d'API.....	88
IV.2.3. Blocs de programme.....	89
a. Bloc de données DB.....	89
b. Le bloc main OB1.....	90
IV.3. Supervision.....	94
IV.3.1. Logiciel du développement d'un système de supervision.....	94
IV.3.2. La configuration de la communication.....	95
a. Choix du système de supervision.....	95
b. La vue réseau.....	95
c. Table des variables IHM.....	96

IV.3.3. Les vues programmées dans l'IHM.....	96
a. Vue Main.....	96
b. Vue de station.....	97
c. Vue Prétraitement.....	97
d. Vue Alarme.....	98
e. Vue Historique.....	99
IV.4. Simulation.....	99
IV4.1. Déroulement de la simulation.....	102
a. Mise en marche le processus.....	102
b. Réservoir 1.....	102
c. Réservoir 2.....	103
d. Défaut général.....	104
e. Défaut thermique.....	105
f. Alarme niveau haut.....	106
g. Alarme niveau bas.....	107
h. Historique.....	108
IV.5. Conclusion.....	108
Conclusion générale.....	109
Références bibliographiques.....	111
Annexe.....	114

Liste des figures

Figure I.1 : répartition en % des 2.8% d'eau douce du globe.....	5
Figure I.2 : Disponibilité d'eau douce dans le monde.....	6
Figure I.3 : Les principaux procédés de dessalement.....	10
Figure I.4 : Schéma générale d'une station de dessalement.....	11
Figure I.5 : Principe de distillation à multiples effets.....	12
Figure I.6 : Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF)	13
Figure I.7 : Schéma d'une unité de distillation avec compression de vapeur.....	13
Figure I.8 : Principe de dessalement par l'électrodialyse.....	14
Figure I.9 : Principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.....	15
Figure I.10 : Schéma simplifié d'une station d'épuration.....	19
Figure I.11 : Schéma d'un dégrilleur.....	20
Figure I.12 : Schéma explicatif d'évacuation des huiles et du sable.....	22
Figure I.13 : Schéma d'un décanteur primaire.....	22
Figure I.14 : Schéma simplifié de la méthode de boues activées.....	24
Figure I.15 : Schéma simplifié d'un lit bactérien.....	25
Figure I.16 : Schéma de disques biologiques.....	25
Figure I.17 : Schéma de lagunage aéré.....	26
Figure I.18 : Procédé de désinfection par chloration.....	27
Figure I.19 : Schéma générale d'une station de traitement de l'eau potable.....	30
Figure I.20 : Schéma de la filtration sur sable.....	32
Figure I.21 : Traitement des eaux potables par injection de charbon actif.....	32
Figure II.1 : Les différentes zones régionales de l'ONA.....	37
Figure II.2 : Les différentes stations d'épuration de Mascara.....	38
Figure II.3 : Image satellite de la station d'épuration de la ville de mascara [Google earth]	39
Figure II.4 : Station de relevage.....	40
Figure II.5 : La grille grossière de la station de relevage.....	41
Figure II.6 : Dégrilleur.....	42
Figure II.7 : Dessableur / Déshuileur.....	42
Figure II.8 : Bassin d'aération.....	43
Figure II.9 : Décanteur.....	44
Figure II.10 : Bassin de désinfection.....	44
Figure II.11 : Les boues qui proviennent du décanteur.....	45
Figure II.12 : La salle d'épaississement.....	46
Figure II.13 : Les lits de séchage.....	46
Figure II.14 : Les pompes de relevage.....	48
Figure II.15 : Pompes d'arrosage.....	48
Figure II.16 : Pompe de dessableur.....	49
Figure II.17 : La pompe de recirculation.....	49
Figure II.18 : Pompe à boues en excès.....	50
Figure II.19 : Pompe de reprise.....	50
Figure II.20 : Les pompes à vis.....	51
Figure II.21 : Pompes d'eau de service.....	51
Figure II.22 : Les moteurs des bassins d'aération.....	53
Figure II.23 : Moteur de la pompe d'eau de service.....	53
Figure II.24 : Moteur Asynchrone.....	55
Figure II.25 : Schéma représentatif de couplage du moteur (étoile / triangle).....	56
Figure II.26 : Motoréducteur de décanteur.....	57

Figure II.27 : Motoréducteur d'épaisseur.....	58
Figure II.28 : Réducteur d'aérateur (réducteur à engrenage hélicoïdal).....	59
Figure II.29 : Air Lift.....	60
Figure II.30 : Surpresseur de brassage d'air.....	61
Figure II.31 : Armoire électrique d'aérateur.....	62
Figure II.32 : Armoire électrique de pompes de recirculation, pompe de boues en excès et décanteur.....	62
Figure II.33 : Armoire électrique de la salle d'épaississement.....	63
Figure II.34 : Armoire électrique de dessableur / déshuileur.....	63
Figure II.35 : Armoire électrique du dégrilleur.....	64
Figure III.1 : Salle de contrôle.....	67
Figure III.2 : Les différents boutons de commande.....	67
Figure III.3 : Indicateurs lumineux et alarmes de la STEP.....	68
Figure III.4 : afficheurs et instruments de mesure.....	68
Figure III.5 : Structure d'un système automatisé.....	70
Figure III.6 : Structure interne d'un automate programmable.....	73
Figure III.7 : Fonctionnement cyclique d'un automate.....	74
Figure III.8 : API S7-300.....	75
Figure III.9 : IHM TP1200 Comfort.....	80
Figure III.10 : logiciel de programmation TIA PORTAL V16.....	80
Figure III.11 : Ladder Diagram (LAD).....	81
Figure III.12 : Structed Text (ST).....	82
Figure III.13 : Function Block Diagram (FBD).....	82
Figure III.14 : Statement List (STL).....	83
Figure III.15 : S7 Graph.....	83
Figure III.16 : La vue de projet sur TIA PORTAL.....	84
Figure IV.1 : création du projet.....	87
Figure IV.2 : Choix de l'API.....	88
Figure IV.3 : La configuration de l'API.....	88
Figure IV.4 : Les variable API.....	89
Figure IV.5 : bloc de données DB.....	90
Figure IV.6 : blocs d'organisation _OB1 _Démarrage Dégrilleur.....	90
Figure IV.7 : blocs d'organisation _OB1 _Démarrage pompe dessableur / déshuileur...	91
Figure IV.8 : blocs d'organisation _OB1 _Niveau réservoir 2.....	92
Figure IV.9 : blocs d'organisation _OB1 _Démarrage pompe 2.....	92
Figure IV.10 : blocs d'organisation _OB1 _Capteur niveau bas réservoir 2.....	92
Figure IV.11 : blocs d'organisation _OB1 _Capteur niveau haut.....	93
Figure IV.12 : blocs d'organisation _OB1 _Alarme défaut général.....	93
Figure IV.13 : blocs d'organisation _OB1 _Alarme défaut thermique.....	93
Figure IV.14 : blocs d'organisation _OB1 _Alarme niveau bas.....	94
Figure IV.15 : blocs d'organisation _OB1 _Alarme niveau haut.....	94
Figure IV.16 : Choix de l'écran de supervision.....	95
Figure IV.17 : Configuration matérielle SCADA.....	95
Figure IV.18 : La vue réseau des appareils utilisés dans notre projet.....	95
Figure IV.19 : Les variables IHM.....	96
Figure IV.20 : Vue de Main.....	96
Figure IV.21 : Vue de Station.....	97
Figure IV.22 : Vue Prétraitement.....	98
Figure IV.23 : Vue Alarme.....	98
Figure IV.24 : Vue Historique.....	99

Figure IV.25 : Simulateur PLCSIM.....	99
Figure IV.26 : La liaison de PLCSIM avec le CPU.....	100
Figure IV.27 Chargement de programme.....	100
Figure IV.28 : Aperçu du résultat du simulation Bloc-OB1.....	101
Figure IV.29 : simulation de l'IHM.....	101
Figure IV.30 : Mise en marche de l'ensemble du processus de prétraitement.....	102
Figure IV.31 : Simulation du niveau du réservoir via IW400 – Démarrage automatique de la première pompe.....	103
Figure IV.32 : Simulation du niveau du réservoir via IW500 – Démarrage automatique de la 2ème pompe.....	103
Figure IV.33 : La vue Alarmes en cas de défaut général.....	104
Figure IV.34 : La vue Prétraitement en cas de défaut général.....	104
Figure IV.35 : La vue Alarme en cas de défaut thermique.....	105
Figure IV.36 : La vue Prétraitement en cas de défaut thermique.....	105
Figure IV.37 : La vue Alarme en cas d'alarme niveau haut.....	106
Figure IV.38 : La vue Prétraitement en cas d'alarme niveau haut.....	106
Figure IV.39 : La vue Alarme en cas d'alarme niveau bas.....	107
Figure IV.40 : La vue Prétraitement en cas d'alarme niveau bas.....	107
Figure IV.41 : Historiques des alarmes.....	108

Liste des tableaux

Tableau I.1 : Répartition en volume et en pourcentage des différentes sources d'eau salée et d'eau douce présentes sur terre.....	8
Tableau I.2 : les 19 mégas stations de dessalement en Algérie.....	16
Tableau II.1 : Les caractéristiques des pompes.....	52
Tableau II.2 : Les caractéristiques des moteurs.....	54
Tableau II.3 : Les caractéristiques des motoréducteurs.....	58
Tableau II.4 : Les caractéristiques des réducteurs.....	59
Tableau II.5 : Les caractéristiques des surpresseurs.....	61
Tableau III.1 : Capteurs de niveau recommandés pour STEP.....	78
Tableau III.2 : Capteurs de débit recommandés pour STEP.....	79
Tableau IV.1 : Caractéristiques techniques du CPU.....	88

Liste des abréviations

AEC : Avant l'Ère Commun.

MSF : Distillation multi-stage-flash.

EF : Effets Multiples.

VC : Compression de vapeur.

EDC : Electrodialyse conventionnelle.

EDMB : Electrodialyse à membranes bipolaires.

STEP : Station d'Épuration des eaux usées.

ONA : Office National de l'Assainissement.

SEOR : Société de l'Eau et de l'Assainissement d'Oran.

UV : Ultraviolet

EPIC : Établissement Public à caractère Industriel et Commercial.

API : Automate Programmable Industriel.

PLC : Programmable Logic Controller.

TIA Portal : Totally Integrated Automation Portal.

V16 : Version 16

IHM : Interface Homme-Machine.

HMI : Human Machine Interface.

WINCC : Windows Control Center.

SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition.

PO : Partie opérative.

PC : Partie commande.

PR : Partie relation.

ROM : Read-Only Memory.

PROM : Programmable Read-Only Memor.

EEPROM : Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory

TOR : Tout ou Rien.

CPU : Unité Centrale de Traitement.

KTP : Clavier, Écran tactile et Pointeur.

TFT : Thin Film Transistor.

LAD : Ladder Diagram.

ST : Structed Text.

FBD : Function Block Diagram.

STL : Statement List.

SFC : Les blocs des fonctionnalités technologiques.

Grafcet : Graphe Fonctionnel de Commande Étape Transition.

FB : Blocs de fonction.

DB : Blocs de données.

OB : Blocs organisationnels.

FC : Bloc de Fonction.

PLCSim : Programmable Logic Controller Simulation

LAD : le langage graphique Ladder.

SR : Set-Reset.

RS : Reset-Set.

NOR : NOT OR.

NAND : NOT AND.

Introduction Générale

Introduction générale :

(وَجَعَلْنَا مِنَ الْمَاءِ كُلَّ شَيْءٍ حَيٍّ أَفَلَا يُؤْمِنُونَ)

L'eau, l'or bleu, est une ressource précieuse et indispensable, essentielle à la survie de toute forme de vie.

L'eau couvre 72% de la surface de la terre, avec un volume estimé à 1400 millions de km³, 97% de l'eau est salée, présente dans les océans et dans les mers, tandis que seulement 2,8% est de l'eau douce, trouvées dans les lacs, les rivières, les glaciers et les nappes phréatiques, etc. [1].

Environ 0,028% de l'hydrosphère est accessible pour la consommation humaine, ce qui représente moins de 1% de toute l'eau sur terre. Cela inclut les cours d'eau, les réservoirs naturels ou artificiels (baies côtières, lacs, rivières, cours d'eau, barrages, etc.) et les nappes phréatiques à faible profondeur, permettant une extraction rentable et abordable [1].

Cependant, l'eau douce accessible sur terre n'est pas répartie de manière homogène entre les pays et provoque même des tensions entre des états ayant des ressources en eau en commun, à cela s'ajoutent la croissance démographique, les activités humaines, les aléas pluviométriques qui ensemble pèsent sur la disponibilité de ce précieux élément qui est l'eau.

L'accroissement rapide des demandes en eau exige la recherche de nouvelles sources d'approvisionnement et la mise en œuvre de nouvelles stratégies pour une meilleure gestion de l'eau.

C'est dans cette optique que les stations de traitement de l'eau jouent un rôle crucial, en produisant de l'eau purifiée à partir de l'eau de mer, d'eaux saumâtres ou d'eaux usées, grâce à des techniques spécifiques.

Le présent travail a pour but d'étude de l'automatisation et la conception d'un système de commande automatique pour la station d'épuration des eaux usées de la ville de Mascara.

L'automatisation des stations de traitement de l'eau est une nécessité face aux défis croissants liés à la gestion des ressources hydriques. La station étudiée repose actuellement sur des technologies obsolètes, limitant son efficacité et sa capacité à répondre aux exigences modernes en matière de traitement et de distribution d'eau. Ce projet vise donc à remédier à cette situation en proposant des solutions d'automatisation adaptées et flexibles, capables de moderniser les infrastructures existantes et d'optimiser les performances.

L'objectif principal de ce travail est d'améliorer le système existant avec une technologie programmée avancée. Pour répondre à ces objectifs, ce document est réparti de la façon suivante :

- Un premier chapitre visera les généralités sur le
- traitement de l'eau et une vue d'ensemble des méthodes et technologies utilisées dans le domaine du traitement de l'eau.
- Un deuxième chapitre sera concerné à la description détaillée de la station d'épuration de la ville de Mascara, de son fonctionnement, ainsi que des technologies actuellement en place.

- Un troisième chapitre entièrement livré à la programmation, supervision et conception de système SCADA.
- Le dernier chapitre concernera les résultats et essais obtenus.

Chapitre I

Généralité sur le traitement de l'eau.

I.1 Introduction :

L'eau, en tant que bien commun, est indispensable à la vie. C'est l'élément primordial à fixer en un lieu où vit toute une population. Avec la croissance de la population, l'intensification des activités humaines et l'élévation du niveau de vie, la pression sur les ressources en eau ne cesse de s'accroître. Dans ce contexte, la rareté de l'eau douce devient de plus en plus palpable, s'imposant comme l'un des défis cruciaux de notre époque.

Le recours au traitement de l'eau de mer, des eaux saumâtres et des eaux usées semble une solution prometteuse pour faire face à cette crise.

Ce chapitre se concentrera sur les principes généraux du traitement de l'eau. Dans un premier temps, il discutera de la distribution de l'eau à travers le monde, avant d'introduire les diverses sources d'eau potable. Pour finir, il penchera sur la classification des stations de traitement de l'eau, en détaillant leurs propriétés et leurs rôles principaux.

I.2. La répartition de l'eau sur la terre :

La terre est surnommée la planète bleue en raison de l'apparence qu'elle offre depuis l'espace, avec 70% de sa surface recouverte d'eau. Cependant, 97,2% de cette eau est salée et se trouve dans les océans, les mers intérieures, mais aussi dans certaines nappes souterraines. L'eau douce ne constitue que 2,8% de l'ensemble des ressources en de la planète (**Figure I.1**), et cette eau douce est essentielle à la vie terrestre [1].

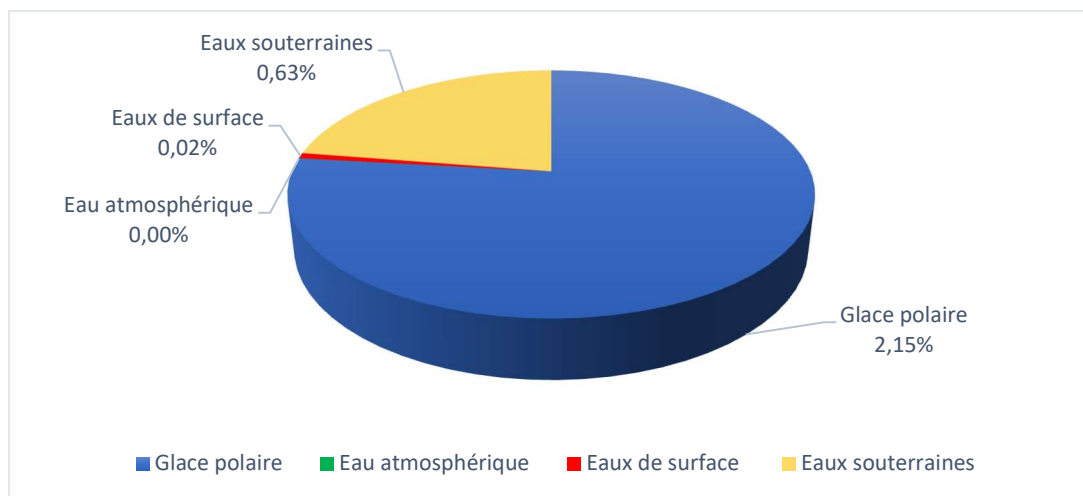


Figure I.1 : répartition en % des 2.8% d'eau douce du globe.

La plupart de l'eau douce sur terre est stockée dans les glaciers et les calottes polaires environ 68,7 %, 30,1% se trouve dans les nappes phréatiques, 0,8% dans le pergélisol et 0,4 % est répartie entre les eaux de surface (lacs, rivières) et l'atmosphère

Ainsi, moins de 1% de l'eau totale sur terre est de l'eau douce à l'état liquide accessible pour les besoins humains [2].

Au fil des siècles, l'impact des activités humaines sur la disponibilité en eau a été négligeable. Cependant, avec l'évolution du monde moderne marqué par le développement industriel et une croissance démographique rapide, les ressources en eau deviennent insuffisantes pour répondre aux besoins croissant de la population.

La répartition géographique de l'eau sur terre révèle une situation complexe, avec une prédominance océanique plus marquée dans le sud que dans le nord (**Figure I.2**).

L'Antarctique est recouvert d'une calotte glaciaire massive, tandis qu'au nord, la couverture de glace se limite principalement à celle du Groenland et à la banquise de l'océan Arctique. Ces contrastes dans la distribution de l'eau liquide et solide accentuent les disparités de l'eau atmosphérique. En effet, des variations significatives apparaissent d'une région à l'autre, influencées par des facteurs tels que le rayonnement solaire, qui diffère entre les pôles et l'équateur, ainsi que les circulations atmosphériques et les barrages naturels formés par les reliefs.

Au final, l'homme n'a accès qu'à moins de 1% du volume total d'eau douce présent sur terre, soit environ 0,028% de l'hydrosphère. Cela comprend les cours d'eau, ainsi que les réservoirs naturels et artificiels, tels que les lacs, barrages et nappes souterraines [3].

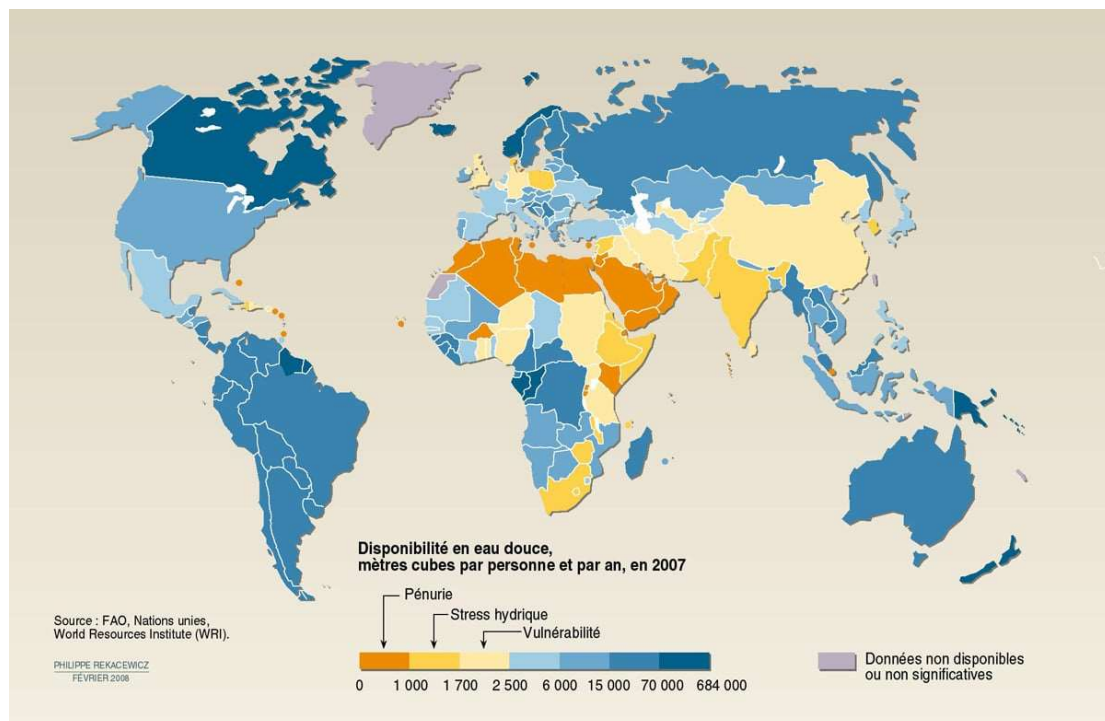


Figure I.2 : Disponibilité d'eau douce dans le monde [1].

I.3. Les diverses sources d'approvisionnement de l'eau :

Les sources d'approvisionnement en eau varient en fonction de la géographie, du climat et des besoins spécifiques de chaque région, on retrouve quatre sources principales d'eaux brutes [4].

I.3.1. Eaux de pluie :

Les eaux de pluie représentent une ressource précieuse et de haute qualité pour la consommation humaine. Naturellement enrichie en oxygène et en azote, elle est exempte de sels dissous tels que le magnésium et le calcium, ce qui la rend particulièrement douce. La collecte de l'eau de pluie à partir des toitures est facilitée par un réseau de gouttières et de canalisations qui acheminent l'eau vers un réservoir de stockage. Ces réservoirs sont disponibles dans une variété de tailles, depuis les petits récupérateurs d'eau de pluie jusqu'aux grandes

citernes. Cette méthode permet de préserver cette ressource essentielle de façon écologique et économique [4].

I.3.2. Eaux de surface :

Leur volume total est extrêmement réduit, ne représentant que 0,18 million de km³, soit 0,013 % de l'ensemble de l'hydrosphère. On peut répartir les eaux de surface en trois catégories : eaux de rivière (partie amont), eaux de rivière (partie aval) et eaux de lac.

a) Eaux de rivière (partie amont) :

L'amont d'une rivière correspond à la zone située près de la source de la rivière ou en altitude, avant que le cours d'eau ne descende vers des zones plus basses. Généralement situé dans une région montagneuse ou collines avec des pentes abruptes. Ces eaux proviennent soit de sources, soit de la fonte de neiges et des glaciers et la contamination bactérienne est faible (la pollution causée par l'homme ou l'industrialisation y est pratiquement inexistante [4]).

b) Eaux de rivière (partie aval) :

La partie aval correspond à la zone située en aval du cours d'eau, souvent dans des plaines, avant que la rivière ne se jette dans un fleuve, un lac ou l'océan. La qualité de l'eau est moins bonne à cause des activités humaines [4].

c) Eaux de lac :

Les lacs se forment lorsque les eaux provenant des pentes, des cours d'eau ou du ruissellement rencontrent un obstacle qui bloque leur progression. Ces eaux s'accumulent alors dans une dépression créée, donnant naissance à des étendues d'eau parfois immenses. Certains grands lacs sont si vastes qu'on les qualifie des mers, comme la mer Caspienne, qui s'étend sur 371000 kilomètres carrés.

Les lacs peuvent être alimentés par des cours d'eau, des eaux de ruissellement ou dans certains cas par des eaux souterraines [5].

I.3.3. Eaux souterraines :

Les eaux souterraines se forment par l'infiltration des eaux de pluie dans le sol. Sous l'effet de la gravité, ces eaux s'insinuent dans les pores, les microfissures et les fissures des roches humidifiant progressivement les couches profondes du sous-sol. Leur progression s'arrête lorsqu'elles rencontrent une couche imperméable ou elles s'accumulent en remplissant tous les espaces vides créant ainsi un réservoir naturel appelé aquifère. La nappe phréatique suit alors les pentes du terrain en sous-sol parcourant parfois des dizaines voire des centaines de kilomètres avant d'émerger à la surface sous forme de source ou en alimentant un cours d'eau.

Les nappes souterraines fournissent presque le tiers du débit total des cours d'eau de la planète, soit environ 12000 kilomètres cubes d'eau par an. Les aquifères représentent un réservoir d'eaux souterraines correspondant à un volume d'environ 8 millions de km³, soit 0,6 % de l'hydrosphère, elles constituent notre principale ressource en eau douce [5].

I.3.4. Eau de mer :

L'eau de mer correspond à l'eau salée provenant des mers et des océans de la terre, représentant environ 97,5 % de l'eau totale de la planète.

L'eau de mer est considérée comme salée en raison de la présence de sels dissous, principalement le chlorure de sodium. La salinité moyenne est de 35 grammes de sels dissous par kilogramme d'eau. La masse volumique de l'eau de mer est d'environ 1,025 g/ml à la surface, légèrement supérieure à celles de l'eau douce en raison de la concentration en sels [6].

Tableau I.1 : Répartition en volume et en pourcentage des différentes sources d'eau salée et d'eau douce présentes sur terre [1].

	Volume (10 km)	Pourcentage de l'eau totale (%)	Pourcentage de l'eau douce (%)
Eau totale	1,386 millions	100	-
Eau douce totale	35 000	2,8	100
Océans mondiaux	1,340 millions	96,5	-
Eau salée souterraine	13 000	1	-
Eau douce souterraine	10 500	0,76	30
Glaciers antarctiques	21 600	1,56	61,7
Glaciers du Groenland	2 340	0,17	6,7
Iles arctiques	84	0,006	0,24
Glaciers montagneux	40,6	0,003	0,12
Pergélisol et glace souterraine	300	0,022	0,86
Lacs salins	85,4	0,006	-
Lacs d'eau douce	91	0,007	0,26
Humidité du sol	16,5	0,0012	0,047
Tourbières	11,5	0,0008	0,03
Rivières (flux moyen)	2,12	0,0002	0,006
Dans la matière biologique	1,12	0,0001	0,0003
Dans l'atmosphère (en moyenne)	12,9	0,0001	0,04

I.4. Le traitement de l'eau :

Le traitement de l'eau englobe divers processus physiques, chimiques et biologiques conçus pour purifier l'eau et la rendre adaptée à des usages spécifiques comme la consommation humaines, l'utilisation industrielle, l'irrigation agricole et le rejet dans l'environnement. Ces procédés sont essentiels pour éliminer ou réduire les polluants, les impuretés et les micro-organismes présent dans l'eau brute.

L'objectif fondamental du traitement de l'eau est d'assurer la sécurité sanitaire en prévenant les maladies hydriques et en fournissant une eau de qualité supérieure. Cela nécessite l'élimination de contaminants tels que les bactéries, les virus, les métaux lourds, les produits chimiques et les résidus organiques. Le traitement de l'eau joue un rôle vital dans la protection des écosystèmes aquatiques en empêchant la pollution des rivières, des lacs, et des océans [7].

I.5. Historique du traitement de l'eau :

L'histoire du traitement des eaux est longue et riche, marquée par des avancées technologiques et scientifiques qui ont permis de rendre l'eau potable et de protéger l'environnement.

I.5.1. Les premières méthodes de traitement de l'eau (2000 AEC.) :

Les anciens Grecs et Indiens utilisaient des méthodes rudimentaires telles que le chauffage de l'eau, la filtration sur sable et gravier, et l'ébullition pour améliorer la qualité de l'eau, principalement pour améliorer le goût. Ils ne comprenaient pas la différence entre eau pure et salée, ni les contaminants chimiques ou biologiques.

I.5.2. Traitement prolongé de l'eau (1500 AEC.) :

Les Égyptiens découvrent la coagulation pour réduire les particules en suspension. Après 500 AEC., Hippocrate invente le "manchon hippocratique", un premier filtre pour éliminer les odeurs et saveurs désagréables. Rome construit ses premiers aqueducs vers 300-200 AEC.

I.5.3. Le Moyen Âge et les expérimentations (500 - 1700) :

Après la chute de l'Empire romain, les systèmes d'approvisionnement en eau se détériorent. Au Moyen Âge, Sir Francis Bacon expérimente le dessalement de l'eau de mer, et le microscope est inventé, permettant aux scientifiques d'observer les particules microscopiques dans l'eau.

I.5.3. Traitement de l'eau à partir du XVIIIe siècle :

En 1700, les premiers filtres à eau domestiques en laine, éponge et charbon de bois apparaissent. En 1800, la première station d'épuration municipale est construite en Écosse. En 1854, John Snow découvre que l'eau contaminée par les eaux usées est responsable de maladies diarrhéiques, incitant à l'installation de filtres à sable et l'utilisation du chlore.

I.5.4. Amélioration des technologies au XIXe siècle :

En 1890, les États-Unis construisent des filtres à sable pour protéger la santé publique. Les méthodes de coagulation et de sédimentation améliorent la filtration de l'eau. Cependant, les effets négatifs de la chloration, tels que des problèmes respiratoires, sont identifiés.

I.5.5. Avancées dans le traitement de l'eau au XXe siècle :

En 1902, des méthodes de coagulation et de détection sont introduites en Belgique. L'ozone est utilisé pour désinfecter l'eau en 1906 en France. L'adoucissement de l'eau est développé pour le dessalement en 1903. Les normes d'eau potable sont mises en place en 1914, avec une réglementation stricte appliquée à l'eau municipale dans les années 1940.

I.5.6. Progrès du traitement de l'eau depuis 1970 :

À partir de 1970, l'accent est mis sur la pollution de l'eau due aux résidus chimiques, aux boues industrielles et aux pesticides. En 1980, l'osmose inverse est introduite comme méthode de purification. Depuis 1990, la recherche se concentre sur les sous-produits de la décontamination, tels que les trihalométhanes (THM), et sur les risques liés à la pollution par le plomb.

L'évolution du traitement de l'eau a été marquée par des découvertes et des améliorations progressives, avec un focus sur la purification et la réduction des risques sanitaires [8]

I.6. Stations de dessalement :

I.6.1. Dessalement :

Le dessalement, également connu sous le nom de dessalage, est un procédé essentiel permettant de séparer les sels de l'eau brute, qu'il s'agisse d'eau de mer ou d'eau saumâtre d'origine continentale.

Cette méthode vise principalement à éliminer le chlorure de sodium de l'eau de mer. Face aux pénuries d'eau croissantes [9].

I.6.2. Processus de dessalement : fonctionnement des stations de dessalement :

Diverses technologies sont mises en œuvre pour transformer l'eau de mer en eau douce et potable chacune étant choisie en fonction de la source d'énergie disponible pour faire fonctionner les équipements de dessalement. Parmi les techniques de dessalement les plus reconnues à l'échelle mondiale (**Figure I.3**) :

- ❖ les procédés thermiques : sont basés sur le principe de l'évaporation suivie de la successive condensation.

Multi Stage Flache (MSF) ; Effets Multiples (EF) ; compression de vapeur (VC).

- ❖ les techniques membranaires : exploitent la capacité de certaines membranes à retenir les particules dissoutes dans l'eau.

L'électrodialyse ; l'osmose inverse [9].

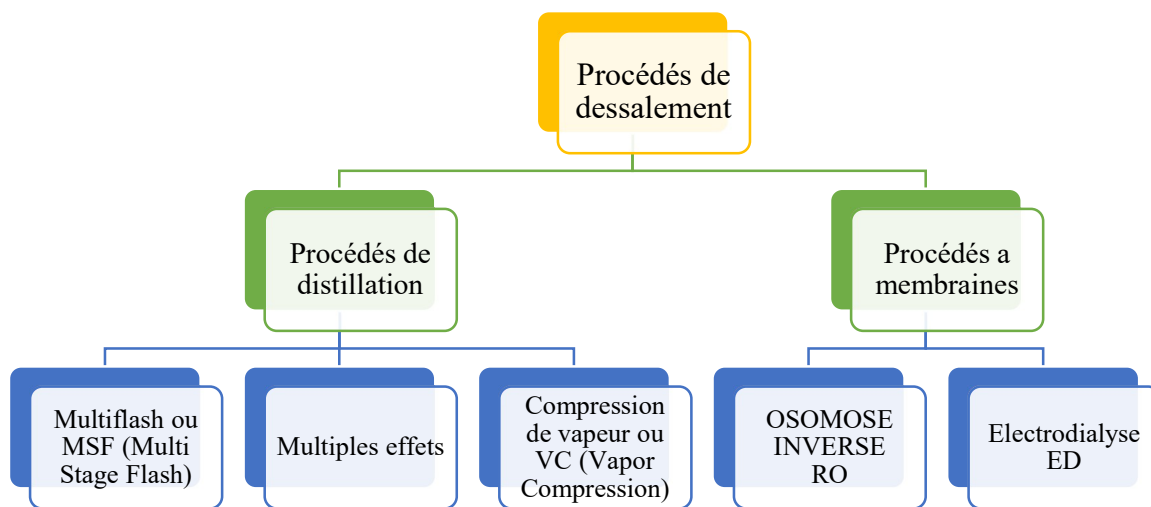


Figure I.3 : Les principaux procédés de dessalement.

Peu importe la méthode choisie pour séparer le sel de l'eau, toutes les installations de dessalement suivent quatre étapes clés (**Figure I.4**) :

- ❖ Prise d'eau de mer.
- ❖ Prétraitement.
- ❖ Procédé de dessalement.
- ❖ Post-traitement [9].

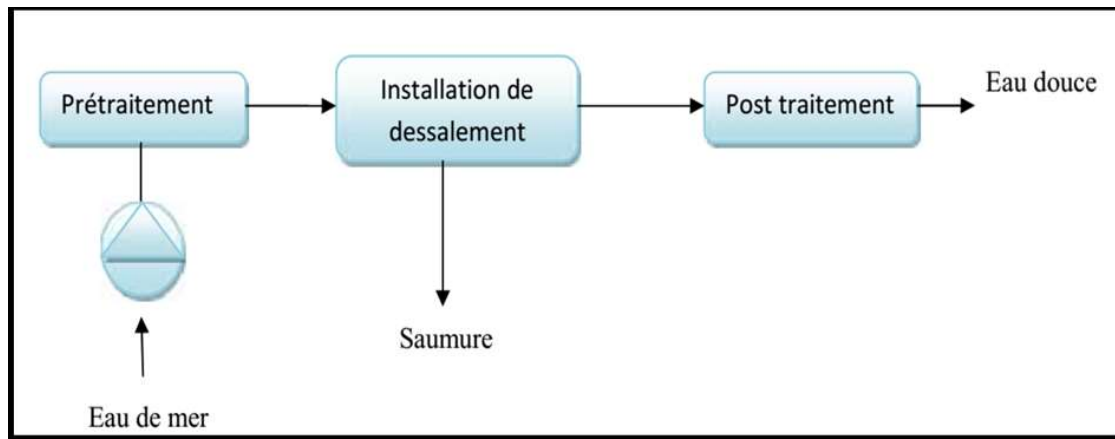


Figure I.4 : Schéma générale d'une station de dessalement.

a) Prise d'eau de mer :

La première phase du processus de dessalement consiste en la collecte de l'eau de mer. Selon la méthode utilisée, la collecte peut être ouverte (via des émissaires océaniques) ou fermée (via des puits profonds). Le choix de ces méthodes dépend de facteurs tels que la qualité de l'eau et l'impact environnemental que vous souhaitez minimiser.

Captage ouvert : Cette méthode implique l'utilisation d'émissaires qui prélèvent l'eau directement de l'océan. Bien qu'il s'agisse d'un processus simple, il peut entraîner la capture de vie marine, causant ainsi des dommages potentiels aux écosystèmes marins.

Bassin fermé : Ce système utilise un puits profond qui permet à l'eau de filtrer naturellement à travers le sol. En conséquence, l'eau capturée contient moins d'impuretés et nécessite moins de produits chimiques pour un traitement ultérieur. [10].

b) Prétraitement :

A la suite de la phase de captage, l'eau de mer est soumise à un prétraitement dont l'objectif principal est l'élimination des impuretés, particules en suspension, micro-organismes et autres éléments susceptibles d'entraver les performances des procédés de dessalement ultérieur. Ce traitement initial est indispensable pour garantir la longévité des équipements et prévenir des phénomènes.

Le prétraitement se décline généralement en plusieurs sous-étapes complémentaires, en fonction du type de technologie de dessalement utilisé (procédés thermiques ou procédés à membranes) :

- ❖ **Traitement physico-chimique :** la première étape repose sur des procédés classiques de traitement de l'eau tels que la coagulation, la floculation et la sédimentation. Le but de ces opérations est d'agréger puis de séparer les particules en suspension dans l'eau.
- ❖ **Filtration membranaire :** pour éliminer les très petites particules, un prétraitement est généralement réalisé par une étape de filtration fine, notamment par microfiltration ou ultrafiltration. Ces technologies réduisent efficacement la charge résiduelle de particules
- ❖ **Prétraitement pour les procédés d'évaporation thermique :** dans les unités basées sur des procédés thermiques, un traitement spécial est nécessaire pour éliminer les gaz non condensables tels que l'oxygène ou le dioxyde de carbone et certains sels peu solubles. L'objectif de cette étape est donc d'optimiser l'efficacité énergétique du procédé tout en prévenant le dépôt des équipements et la corrosion localisée [10].

c) Les procédés de dessalement :

Le dessalement de l'eau repose sur deux grandes catégories de procédés : les procédés thermiques et les procédés à membranes.

Les procédés thermiques :

Les méthodes les plus couramment employées pour le dessalement de l'eau de mer. La distillation ou le dessalement par procédé thermique. L'eau de mer est portée à ébullition jusqu'à sa vaporisation. Uniquement les molécules d'eau s'évanouissent, laissant derrière elles les sels et d'autres matières en dépôt. On condense la vapeur d'eau pour produire de l'eau douce. Cette méthode de dessalement très basique est employée depuis de nombreuses années.

➤ Distillation à multiples effets :

On utilise la distillation à multiples effets pour améliorer le rendement thermique du cycle évaporation-condensation. La vapeur condensée dans une première chambre d'évaporation sert à chauffer une seconde chambre à une pression et température moindres, et ce processus se répète ainsi (**Figure I.5**).

Dans le premier effet, l'eau de mer est réchauffée, ce qui provoque la vaporisation d'une partie de celle-ci. Une partie de cette vapeur est condensée dans le faisceau tubulaire où circule de l'eau de mer froide.

Une partie de la vapeur est renvoyée dans l'effet suivant, qui est maintenu à une pression inférieure à celle du premier. Ainsi, une partie de la saumure chauffée dans le premier effet est aussi utilisée pour réchauffer l'eau de mer dans le second effet. Dans chaque cas, l'eau distillée est dirigée vers un réservoir collecteur [11].

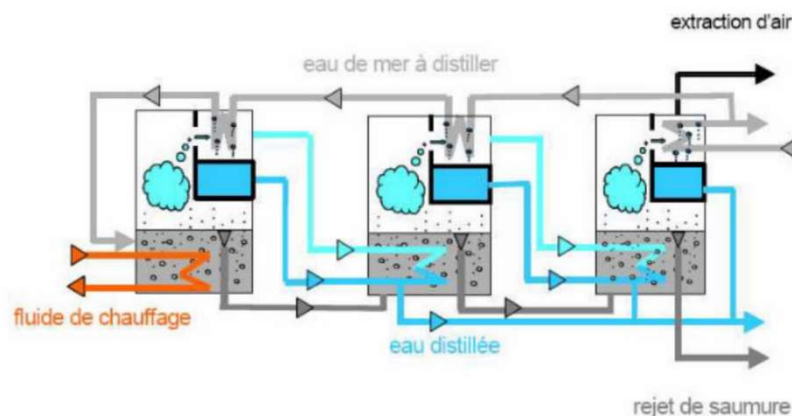


Figure I.5 : Principe de distillation à multiples effets.

➤ Distillation multi-stage-flash (MSF) :

Ce procédé dit Flash consiste à maintenir l'eau sous pression pendant tout le processus de chauffage, une fois qu'elle atteint environ 120°C, elle est dirigée vers un espace (ou étage) où une pression plus faible domine. Cela entraîne une vaporisation instantanée par détente, également appelée Flash.

Une partie de l'eau s'évapore et se condense sur les tubes condenseurs situés au haut de la chambre, et l'eau sous forme liquide est collectée dans des contenants placés en dessous des tubes (**Figure I.6**) [9].

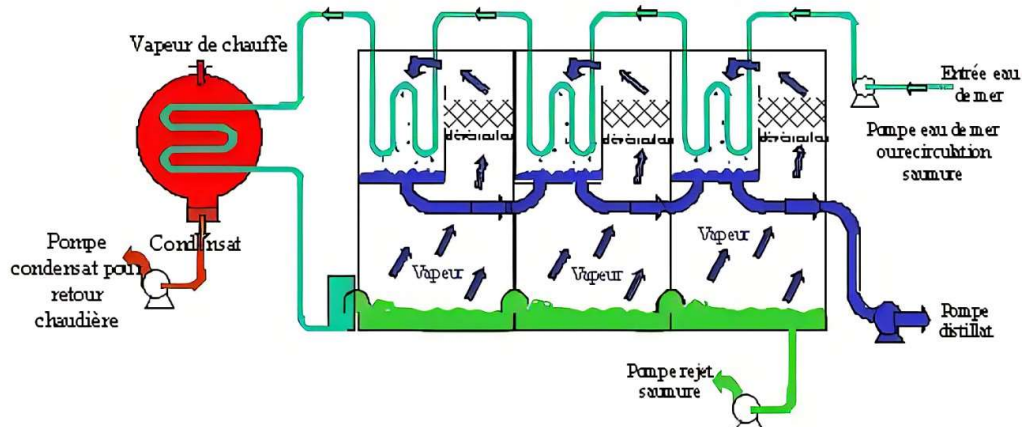


Figure I.6 : Principe de fonctionnement d'un système par détentes successives (MSF)

➤ **Distillation par compression de vapeur :**

Dans une enceinte thermique isolée, l'eau de mer à dessaler est portée à ébullition. Le compresseur aspire la vapeur générée, augmentant ainsi sa température de saturation. Par la suite, cette vapeur passe à travers un faisceau tubulaire situé à la base de l'enceinte et se condense, entraînant l'ébullition de l'eau salée (**Figure I.7**) [12].

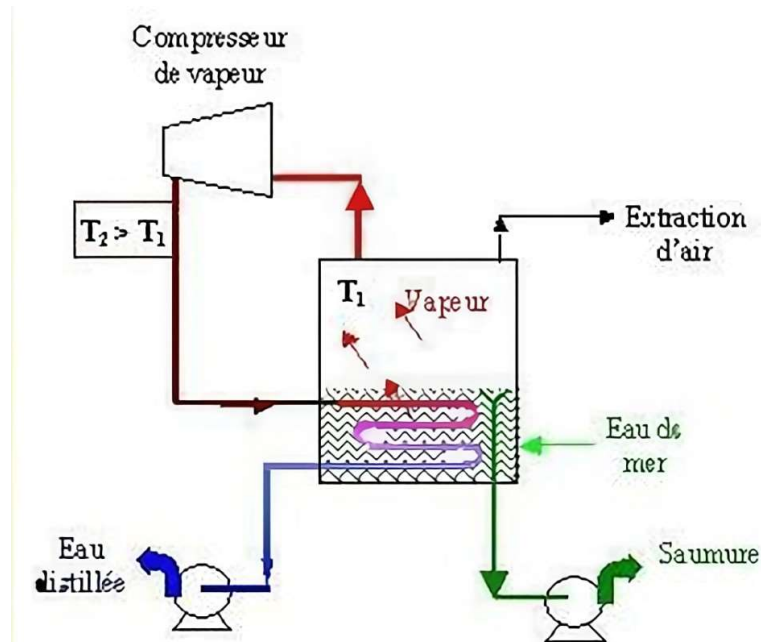


Figure I.7 : Schéma d'une unité de distillation avec compression de vapeur.

Les procédés membranaires :

Les procédés de dessalement à membranes sont largement utilisés pour leur efficacité et leur faible consommation énergétique. Les principaux procédés à membranes utilisés dans le domaine du dessalement sont : l'électrodialyse et l'osmose inverse.

➤ **L'électrodialyse :**

L'électrodialyse est un processus qui implique le transfert d'ions provenant de sels dissous à travers des membranes accessibles uniquement à l'eau purifiée. Ce déplacement d'ions

est provoqué par un champ électrique : l'électrode négative (cathode) attire les cations, tandis que les anions sont attirés vers l'électrode positive (anode) (**Figure I.8**).

Les systèmes sont constitués de liaisons compartimentées de membranes, alternativement anioniques et cationiques. Un compartiment sur deux renferme des saumures concentrées, tandis que l'autre assure la purification de l'eau [9].

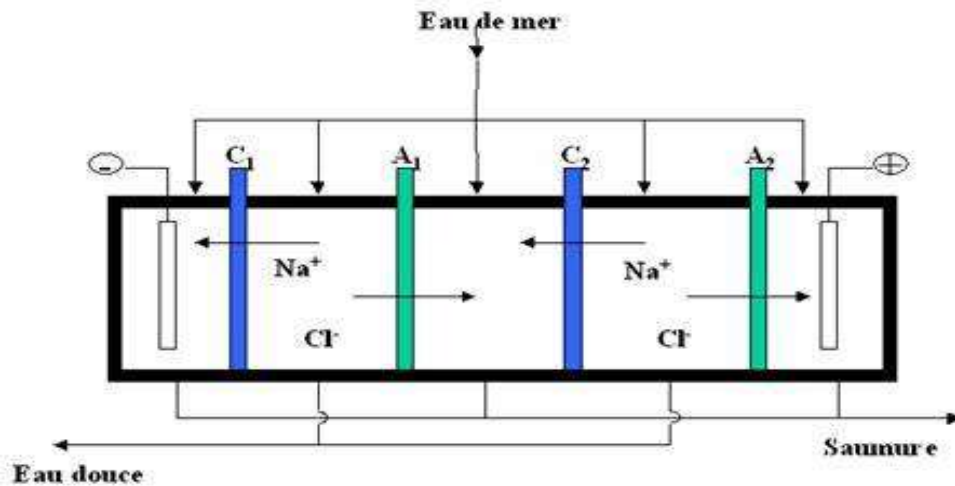


Figure I.8 : Principe de dessalement par l'électrodialyse.

Il existe deux types de l'électrodialyse :

- **Electrodialyse conventionnelle (EDC)** : est la plus ancienne et reste encore la plus utilisée. Elle repose sur l'utilisation de membranes échangeuses d'ions. Différentes configurations peuvent être employées pour constituer le motif élémentaire afin de permettre diverses opérations de transformation.
- **Electrodialyse à membranes bipolaires (EDMB)** : est beaucoup plus récente. Elle repose sur des empilements de diverses configuration, de membranes bipolaires et de membranes échangeuses d'ions.

➤ **L'osmose inverse :**

- L'osmose : c'est un phénomène naturel. Lorsque deux solutions aqueuses de concentrations salines différentes sont séparées par une membrane, l'eau se déplace naturellement de la solution moins saline vers celle plus saline.
- L'osmose inverse : repose sur le principe contraire. Il s'agit d'exercer sur cette eau salée une pression importante qui dépasse la pression osmotique, qui exige une grande consommation d'énergie pour être transmise à travers une membrane. À la fin du processus, seules les molécules d'eau passent à travers la membrane, produisant ainsi de l'eau douce (**Figure I.9**).

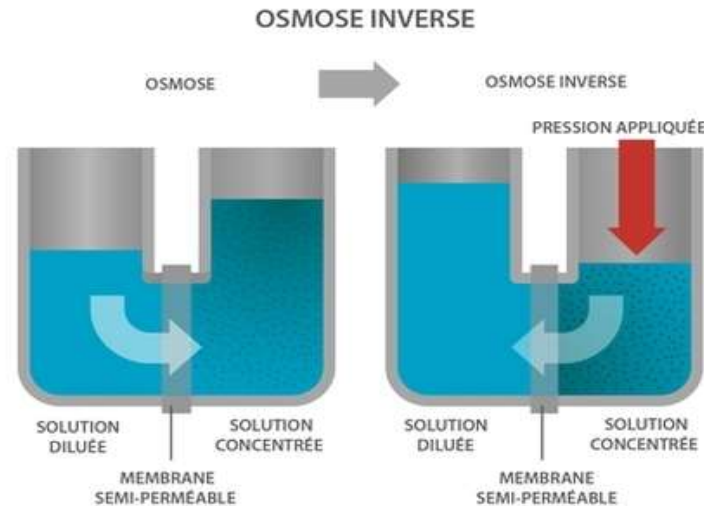


Figure I.9 : principe des phénomènes d'osmose et d'osmose inverse.

L'osmose inverse se progresse dans l'industrie du dessalement pour plusieurs raisons :

- ❖ Amélioration des performances des membranes d'osmose inverse (augmentation de la surface, réjection, perméabilité, matériaux...)
- ❖ Amélioration des technologies de récupération d'énergie.
- ❖ Mise en œuvre simplifiée.
- ❖ Impact de l'échelle des projets.
- ❖ Réduction du coût des équipements et des membranes.
- ❖ Technologiquement éprouvée et maîtrisée.
- ❖ Adaptable et flexible en réponse à la demande en eau [9].

Autres procédés :

• Congélation :

La congélation de l'eau de mer fournit des cristaux de glace exempte de sel, le dessalement par congélation nécessite trois étapes :

- ❖ Congélation partielle de l'eau de mer.
- ❖ Séparation des cristaux de glace pure avec la saumure.
- ❖ Fusion des cristaux de glace.

Lorsqu'on réduit la température de l'eau de mer à environ (-2°C), des cristaux de glace, composés d'eau douce, se forment. Comme l'eau de mer est plus concentrée à ce stade, elle supporte mieux la congélation. Si la température est réduite, la production de glace s'intensifie. Aux environs de -9°C , le sodium déca-hydraté a tendance à contribuer à la production d'eau lorsqu'il est en dessous de cette température [9].

• Echange d'ions :

Certaines résines, qui ne se soluble pas, ont la capacité de changer certains de leurs ions avec ceux des sels existants dans la solution (l'eau de mer) lorsqu'elles sont placées en contact avec celle-ci. Les résines anioniques sont utilisées pour remplacer les anions présents dans la solution par des ions OH^- , tandis que les résines cationiques permettent l'échange des cations

(Na⁺) face à des ions H⁺. Cette technique est assez pratique pour déminéraliser l'eau à faible teneur salée [9].

- **Distillation solaire :**

Cette méthode implique le chauffage de l'eau directement par le rayonnement solaire dans un espace clos équipé de vitrage. La condensation de la vapeur sur le vitrage plus frais et légèrement incliné est collectée sous forme de condensât dans des caniveaux.

Le principe est très simple, fiable et ne nécessite aucun entretien. Mais son rendement est relativement faible [9].

Le choix d'un système de dessalement dépend de la nature des ressources en eau, entre autres, le degré de salinité de l'eau et les ressources énergétiques que possèdent le pays

d) Post-traitement :

Le post-traitement s'effectue après le processus de dessalement, une fois que l'eau a été purifiée de ses sels. Cette technique vise à maximiser l'efficacité de l'eau en fonction de son utilisation finale, qu'elle soit destinée à l'alimentation humaine, à l'agriculture ou à l'industrie [10].

I.6.3. Dessalement en Algérie :

En 2025, l'Algérie continue à améliorer sa sécurité en secteur d'eau grâce à un projet ambitieux de dessalement de l'eau de mer. À ce jour, le pays dispose de 19 stations de dessalement. La mise en service de nouvelles installations augmentera la capacité nationale de production d'eau dessalée à 3,7 millions de m³ par jour, ce qui représente approximativement 42% des besoins nationaux en eau potable [13], [14].

Stations à venir prévues : Dans les wilayas de Skikda, Jijel, Tizi Ouzou, Chlef, Mostaganem et Tlemcen, six importantes usines de dessalement d'une capacité quotidienne de 300 000 m³ seront mises en place [14].

L'Algérie envisage d'assurer 60 % de ses besoins en eau potable par le dessalement d'ici 2030 [15].

Tableau I.2 : les 19 mégas stations de dessalement en Algérie.

N°	Localisation	Capacité m ³ /jour
01	Kahrama (Alger)	90 000
02	Hamma (Alger)	200 000
03	Douaouda (Alger Ouest)	120 000
04	Cap Djenet (Alger Est)	100 000
05	Mostaganem	200 000
06	Skikda	100 000
07	Benisaf (A. Temouchent)	200 000
08	Souk Tleta (Tlemcen)	200 000
09	Honaine (Tlemcen)	200 000
10	Mactaa (Oran)	500 000
11	Cap Blanc (Oran)	300 000
12	Ténès (Chlef)	200 000
13	Oued Sebt (Tipaza)	100 000

14	Fouka (Tipaza)	300 000
15	El Taraf	50 000
16	Koudiet Draouche (El Taraf)	300 000
17	Tigzirt (Tizi Ouzou)	2 500
18	Tamda Ouguemoun (Tizi Ouzou)	60 000
19	Cap Djinet (Boumerdès)	300 000

1.7. Stations d'épuration des eaux usées (STEP) :

1.7.1. Les eaux usées :

Le terme « eaux usées » se réfère à des eaux de qualité variable, de brutes à diluées, produites par diverses activités urbaines [17].

Peu importe leur source, les eaux usées contiennent généralement des éléments indésirables qui, selon leur volume et leur composition, posent une menace réelle pour les environnements récepteurs ou leurs consommateurs. Pour se débarrasser de ces composants toxiques, il est nécessaire de mettre en place une chaîne de traitement. Toutefois, avant la mise en place de tout processus d'épuration, il est essentiel de définir l'effluent à traiter, tant sur le plan qualitatif que quantitatif [18].

1.7.2 Les différent types des eaux usées :

On identifie trois catégories d'eaux usées :

a) Les eaux usées domestiques :

Ces eaux sont composées des eaux vannes issues des toilettes et des eaux ménagères provenant des cuisines, salles de bains et buanderies. Les eaux usées véhiculent les résidus et l'urine. Les eaux provenant des cuisines contiennent beaucoup de graisses et de détergents, mais elles sont presque sans de bactéries, excepté celles issues des épluchages. On considère que les eaux usées domestiques présentent un danger du fait de leur charge élevée en microbes et de leurs caractéristiques infectieuses. Elles sont principalement responsables de la pollution organique [18].

b) Les eaux usées industrielles :

Les eaux usées industrielles sont provenant des différentes usines de production ou de transformation. Cette définition concerne les rejets des usines, mais aussi les rejets d'activités artisanales ou commerciales : blanchisserie, restaurant, laboratoire d'analyses médicales, etc...

Ces dernières peuvent contenir des substances corrosives, organiques ou minérales. Les substances ont souvent une odeur et une couleur distinctes, peuvent être toxiques et sont susceptibles de perturber l'équilibre écologique des environnements qui les reçoivent.

Les eaux dégagées par les industries sont :

- Les eaux issues du processus de fabrication qui varient en fonction du secteur industriel.
- Les eaux provenant du nettoyage des équipements.
- Les eaux utilisées pour le refroidissement dont la quantité est liée au niveau de recyclage.

Les industries possèdent de trois options :

- Elles peuvent déverser leurs effluents directement dans le réseau d'égouts si la commune leur en donne l'autorisation.
- Elles peuvent aussi traiter complètement leurs effluents avant de les rejeter dans le milieu naturel récepteur.
- Enfin, elles ont la possibilité d'effectuer un prétraitement en usine avant de les déverser dans le réseau d'égouts [18].

Les stations industrielles peuvent être :

- Autonomes (usine avec sa propre mini station).
- connectées à une STEP urbaine (avec prétraitement obligatoire selon la pollution).

c) Les eaux usées urbaines :

Les eaux usées urbaines englobent les eaux résiduares domestiques ainsi que les eaux de ruissellement (eaux pluviales, eaux d'arrosage des voies publiques, eaux de lavage des caniveaux, des marchés et des cours).

Les eaux de ruissellement provenant des toitures, des cours, des jardins, des espaces verts, des voies publiques et des marchés sont sources de divers déchets minéraux et organiques (terre, limon, boue, silt, sable, débris végétaux (herbes, paille, feuilles, graines...) ainsi que divers micropolluants (hydrocarbures issus des jardins, pesticides utilisés dans les jardins, détergents employés pour nettoyer les cours et voies publiques ou encore les véhicules), sans oublier les résidus microscopiques de caoutchouc générés par l'usure des pneus [4].

I.7.3. Les origines des eaux usées :

Selon Eckenfelder, (1982), les eaux usées proviennent de quatre sources principales :

- ❖ Les eaux usées domestiques.
- ❖ Les eaux usées industrielles.
- ❖ Les eaux de pluie et de ruissellement dans les villes.
- ❖ Le ruissellement dans les zones agricoles [19]

I.7.4. Collecte des eaux usées :

Les systèmes de collecte généralement utilisés en secteur d'assainissement comprennent :

- Le système unitaire : qui collecte à la fois les eaux usées et les eaux pluviales dans les mêmes conduits.
- Le système séparatif : comprend deux réseaux de tuyauterie différents, l'un destiné aux eaux de pluie et l'autre aux eaux résiduares.
- Le système pseudo-séparatif : actuellement peu conseillé dans la conception d'un nouvel équipement, est un système dans lequel on divise les apports des eaux pluviales en deux parties [18].
(Une partie des eaux pluviales est envoyée directement vers les réseaux unitaires existants, et l'autre partie est évacuée vers des bassins d'infiltration ou des exutoires naturels).
- Tout-à-l'égout : Les eaux usées sont acheminées via un réseau de canalisations vers une station d'épuration.

I.7.5. Station d'épuration :

Il s'agit d'une installation en place conçue pour traiter les eaux résiduaires domestiques ou industrielles ainsi que les eaux de pluie avant leur déversement dans l'environnement naturel. L'objectif du processus de traitement est d'extraire l'eau des substances non souhaitables pour l'environnement destinataire.

La station d'épuration est constituée d'une série d'équipements destinés à extraire les différents polluants contenus dans l'eau à différents stades.

L'invention du premier procédé d'épuration des eaux usées remonte à 1914 et est attribuée à des chercheurs britanniques [20].

I.7.6. Fonctionnement d'une station d'épuration :

En principe, le processus d'épuration des eaux usées peut subir quatre traitements avant d'être rejetées dans le milieu récepteur :

- Traitement préliminaire (prétraitement).
- Traitement primaire.
- Traitement secondaire (biologique).
- Traitement tertiaire [21].

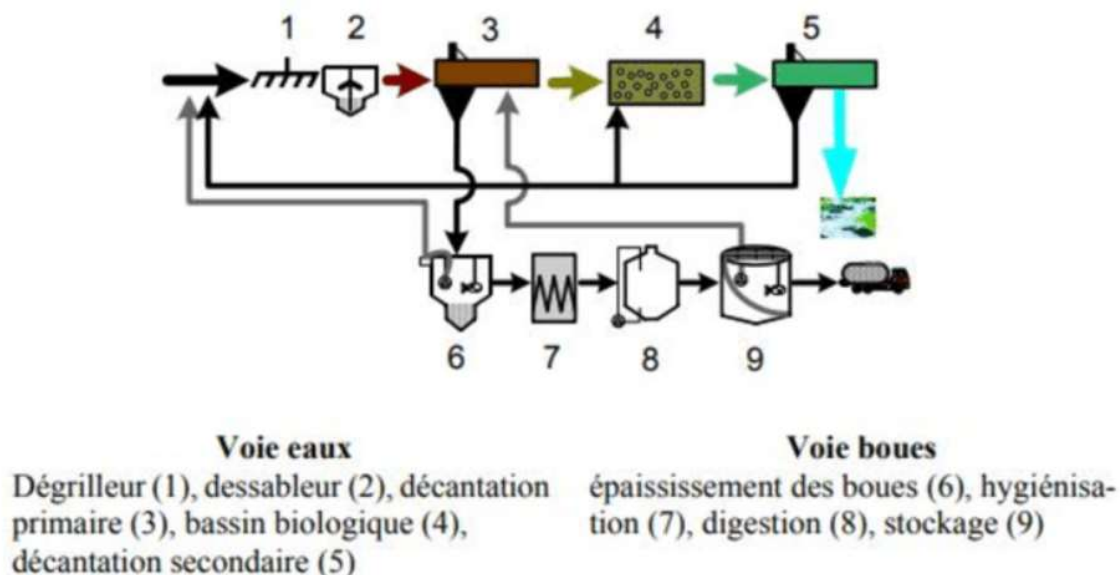


Figure I.10 : Schéma simplifié d'une station d'épuration.

a) Le traitement préliminaire (prétraitement) :

Toute opération de dépollution doit inclure ce qu'on appelle généralement un « prétraitement », qui comprend plusieurs actions mécaniques ou physiques visant à retirer autant d'éléments dont la nature et la taille pourraient poser problème par la suite. L'objectif des prétraitements est donc de retirer les éléments les plus grossiers, susceptibles d'affecter aux traitements suivants et d'endommager l'équipement [18].

Il s'agit de :

Le dégrillage :

Lorsqu'elles arrivent à la station d'épuration, les eaux usées brutes doivent passer par un dégrilleur qui permet l'élimination des matières volumineuses susceptibles de nuire à l'efficacité des traitements ultérieurs et de créer des obstructions dans les diverses unités de l'installation.

On peut définir la qualité de l'opération comme suit :

- Pré-dégrillage : pour des grilles ayant des barreaux distants de 30 à 100 mm ;
- Dégrillage moyen : destiné aux grilles à barreaux distants de 10 à 25 mm
- Dégrillage fin : les barreaux sont espacés de moins de 10 mm [22].

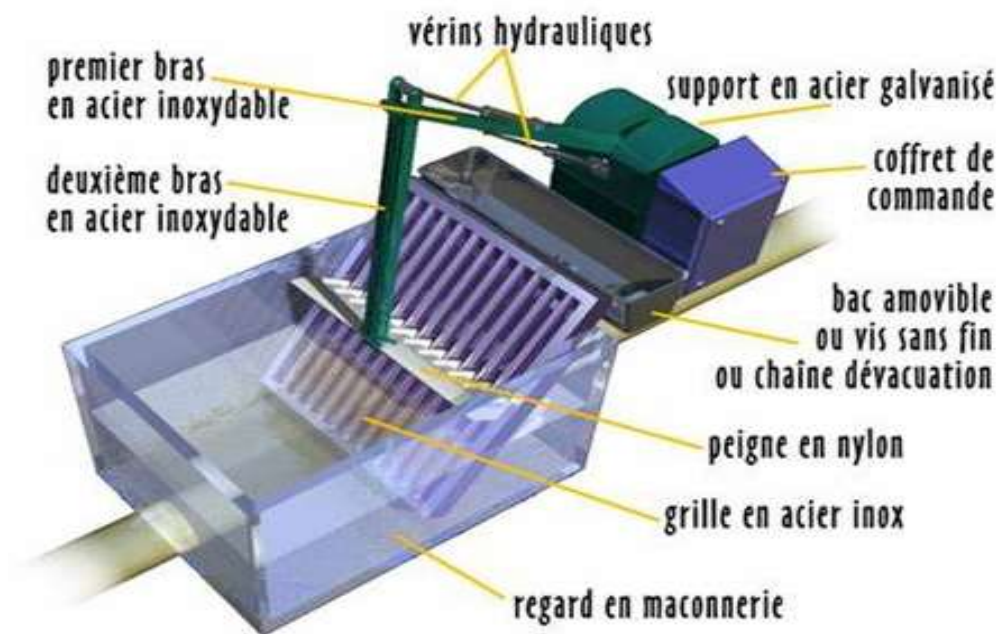


Figure I.11 : Schéma d'un dégrilleur.

Selon la conception des fabricants et le type d'effluent à traiter, on distingue différentes sortes de grilles. On fait la distinction entre :

- **Les grilles manuelles** : elles sont constituées de barres droites ayant une section circulaire ou rectangulaire, qui sont généralement positionnées en incliné par rapport à l'horizontale (de 60 à 80 degrés). Ces grilles sont généralement destinées aux installations épuratoires de très petite taille. Le nettoyage est réalisé à la main en utilisant un râteau.
- **Les grilles mécaniques** : elles sont indispensables à partir d'une certaine taille de station d'épuration et pouvant être réalisées à l'amont comme à l'aval. On distingue deux sortes de grilles mécaniques :
 - Les grilles courbées : conçues pour les petites et moyennes stations d'épuration possédant des profondeurs de canal assez limitées (de 0,5 à 1,8 m), elles peuvent traiter un débit allant de 10 à 5000 m³/h. Le nettoyage est effectué à l'aide de peignes.
 - Les grilles droites : élevées de manière significative sur l'horizontale, et parfois même en position verticale, ce qui permet de couvrir un éventail de débits allant de 100 à 40000 m³/h. En fonction du type de produits, le nettoyage peut être réalisé

à l'aide d'un moyen alternatif ou continu (râteaux, racleurs ou brosse), et le mécanisme de nettoyage peut être contrôlé par crémaillère, câble ou chaîne sans fin [20].

Le tamisage :

Le tamisage est un dégrillage intensif qui implique l'utilisation d'une toile ou d'une tôle perforée, comportant des mailles de tailles variées. On distingue en fonction des dimensions des mailles :

- **Le macro tamisage :** Le macro-tamisage est conçu pour filtrer les particules ayant une taille supérieure à 200 μm (comme les résidus en suspension, les débris de plantes, les herbes, les insectes, etc.). Ainsi, la pollution est diminuée et le processus de traitement biologique est simplifié.
- **Le micro tamisage :** Le micro tamisage est une technique qui permet de capturer les particules de très petite taille ses mailles de 30 à 100 μm . Cependant, son utilisation dans le prétraitement des eaux résiduaires est fortement restreinte en raison d'un encrassement trop rapide des tamis. On distingue plusieurs types de tamis : les tamis fixes, les tamis rotatifs, les tamis filtrants et les tamis vibrants [18].

Le dessablage :

L'opération de dessablage vise à éliminer le sable contenu dans les eaux usées afin d'empêcher sa sédimentation future. L'écoulement de l'eau à une vitesse réduite dans un bassin appelé "dessableur" entraîne leur dépôt au fond de l'ouvrage. Ensuite, une pompe aspire ces particules. Les sables récupérés sont d'abord essorés puis lavés, avant d'être soit acheminés vers la décharge, soit remis en service.

Le dessablage fait référence aux particules minérales dont le diamètre dépasse approximativement 0,2 mm [21].

Il existe divers types de dessableurs. On citera :

- Les dessableurs couloirs.
- Les dessableurs circulaires.
- Les dessableurs aérés [18].

Le dégraissage-déshuilage :

Le dégraissage-déshuilage vise à éliminer les graisses et les huiles dans les eaux usées, qui peuvent gêner l'efficacité des traitements biologiques qui interviennent ensuite.

L'opération s'effectue par flottation. L'injection d'air au fond de l'ouvrage permet la remontée en surface des corps gras. Les huiles et les graisses sont grattées de la surface, puis mises en stockage avant leur élimination (que ce soit par mise en décharge ou incinération) [21].

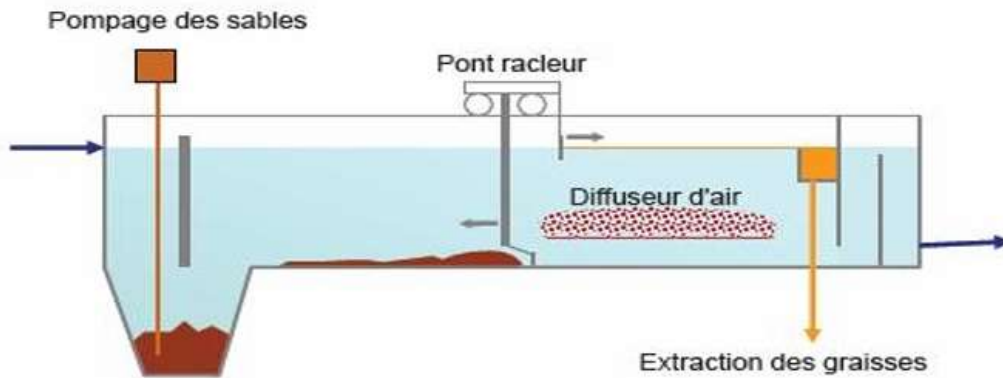


Figure I.12 : Schéma explicatif d'évacuation des huiles et du sable [18].

b) Le traitement primaire :

Le traitement primaire utilise des méthodes physiques naturelles, éventuellement complétées par des techniques physicochimiques, comme la coagulation-floculation.

Décantation naturelle :

Les particules en suspension se déposent au fond du bassin et sont épaissies mécaniquement dans une fosse placée sous les lamelles. Les boues primaires se composent des substances provenant de la décantation primaire.

Elles sont récupérées par pompage vers le processus de traitement des boues. L'eau épurée est collectée à la surface par des canaux et acheminée vers le traitement biologique [21].

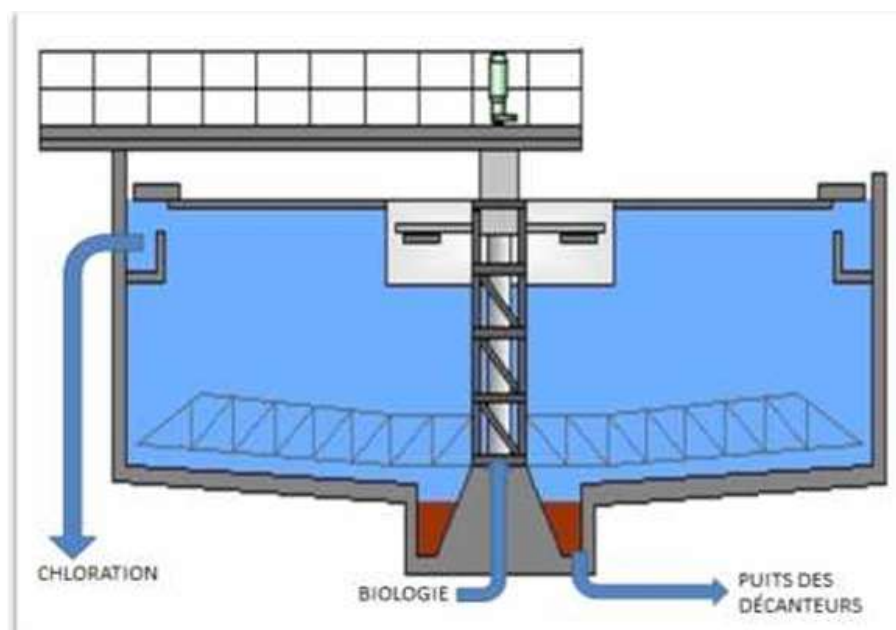


Figure I.13 : Schéma d'un décanteur primaire.

Traitement physico-chimique :

La couleur et la turbidité de l'eau sont essentiellement dues à des particules extrêmement petites, communément appelées particules colloïdales. Ces particules, capables de rester en suspension dans l'eau pendant des durées considérables, peuvent également traverser un filtre extrêmement fin. On utilise les méthodes de coagulation et de floculation pour les éliminer [21].

Il est généralement utilisé dans les stations d'épuration de grande capacité, ou dans celles ayant à faire face à de grandes variations de charge dans l'année (zone touristique).

- **La neutralisation :**

La première opération effectuée dans un traitement physico-chimique est la remise du pH avant la décantation des particules en suspension. Cela optimise l'efficacité des traitements physiques et chimiques (coagulation-floculation).

Dans certaines installations la neutralisation peut être effectuée suite au traitement biologique afin d'éviter des déséquilibres chimiques dans l'eau purifiée.

En traitement tertiaire elle est parfois employée pour préparer l'eau en vue d'une réutilisation dans les secteurs industriel ou agricole, assurant ainsi une stabilité du pH avant son rejet [23].

- **La coagulation :**

L'objectif principal de la coagulation est de déstabiliser les particules suspendues, c'est-à-dire de faciliter leur agglomération. Concrètement, ce processus se distingue par l'introduction et la diffusion rapide de produits chimiques : sels minéraux cationiques (sels de fer ou d'aluminium).

- **La floculation :**

L'objectif de la floculation est de favoriser, grâce à un mélange progressif, les contacts entre les particules qui ont été déstabilisées. Ces particules se regroupent pour constituer un floc qui peut être facilement retiré par le processus de décantation [21].

c) Le traitement secondaire (biologique) :

On fait souvent appel aux traitements biologiques dans le cadre du traitement des eaux industrielles ou domestiques pour se débarrasser d'éléments organiques tels que les graisses, sucres, protéines, etc. Ces éléments organiques sont dégradés par des microorganismes (bactéries) qui consomment les matières organiques en présence d'oxygène (méthode aérobie) ou en l'absence d'oxygène (méthode anaérobie). Ces procédés, initialement destinés à l'élimination des polluants carbonés et des particules en suspension, visent également à continuer le traitement de l'effluent provenant du décanteur primaire principalement par voie biologique. Les bactéries, qui sont les micro-organismes les plus actifs, conditionnent selon leur mode de développement spécifique [22].

On peut distinguer deux sortes de traitements :

Le traitement anaérobie :

les traitements anaérobies s'appuient sur des bactéries qui ne nécessitent pas d'oxygène, notamment les bactéries méthanogènes. Ces dernières, comme leur nom l'indique, sont responsables de la production de méthane à partir de matière organique et à un degré moindre de dioxyde de carbone.

Il s'agit d'une opération sensible qui nécessite une surveillance accrue. Effectivement, il faut garder la température à un niveau haut et très stable. Il est également important d'éviter les variations soudaines de pH et l'utilisation de substances qui arrêtent

la croissance bactérienne, telles que : les cyanures, les sels de métaux lourds et les phénols [21].

Le traitement aérobique :

Les micro-organismes utilisés nécessitent un approvisionnement constant en oxygène. On identifie cinq méthodes clés :

- **Boues activées (les cultures libres) :** en pratique, la méthode implique l'approvisionnement d'un bassin brassé et aéré (appelée bassin d'aération) avec l'eau à purifier (après un prétraitement ou décantation). Dans un courant continu d'eaux usées, les bactéries aérobies sont exposées à une oxygénation forte et continue grâce à l'introduction régulière d'air dans le flux résiduaire. Ces bactéries absorbent et réduisent la matière organique, produisant de grands floes (bio floe) qui se décantent. Ces derniers deviennent des boues ou des masses floculées appelées boues activées. L'association d'eau usée et de bio floe crée une liqueur mixte [21].

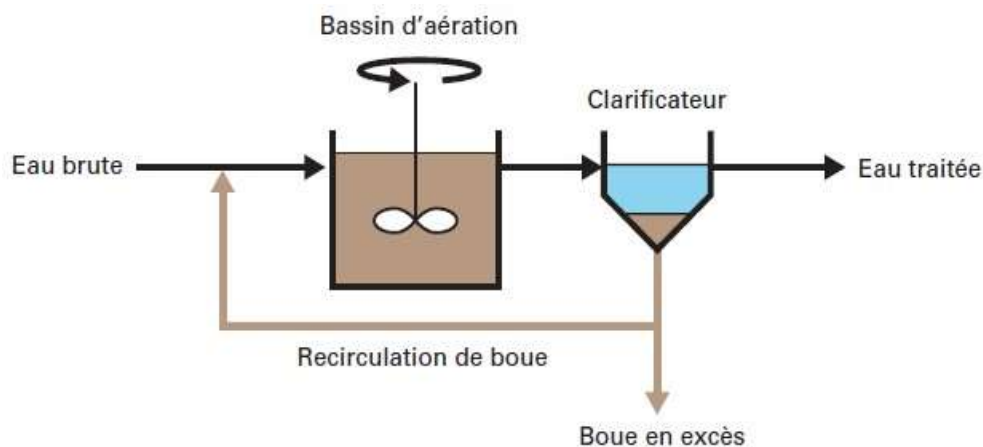


Figure I.14 : Schéma simplifié de la méthode de boues activées.

- **Lit bactérien (cultures fixes) :** un lit bactérien est une structure circulaire qui peut monter jusqu'à 4 à 5 mètres de haut, dans laquelle est contenu un matériau tel que la pouzzolane ou le plastique. L'effluent s'écoule sur la surface biologique qui se développe sur le support (interstices), celle-ci contient une haute concentration de bactéries et de champignons. Ces organismes absorbent et transforment la matière organique présente dans l'effluent, réduisant progressivement sa concentration au fil de son parcours. L'oxygène est fourni naturellement par des Ouies d'aération, satisfaisant ainsi les exigences en oxygène de la biomasse [21].

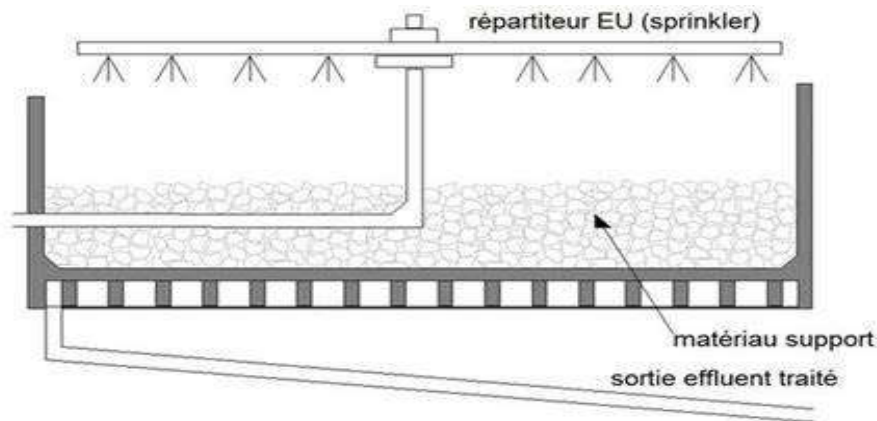


Figure I.15 : Schéma simplifié d'un lit bactérien.

- **Disque biologique (cultures fixes) :** l'eau usée, après avoir été décantée, alimente une installation où des disques fixés sur un axe sont mis en rotation à une vitesse réduite. Un film bactérien se forme alors sur ces disques en plastique biologique. Étant semi-immergés, les disques favorisent l'oxygénation de la biomasse fixée lorsqu'ils tournent. Effectivement, lorsqu'elles émergent, ces bactéries consomment l'oxygène dont elles ont besoin pour leur respiration et lorsqu'elles sont immergées, elles absorbent la pollution dissoute qui leur sert de nourriture. Dès que le film biologique atteint une épaisseur de quelques millimètres, il se détache et est entraîné vers le décanteur final où il est séparé de l'eau purifiée. Les boues capturées sont périodiquement pompées et renvoyées à l'installation principale pour leur stockage et digestion [18].

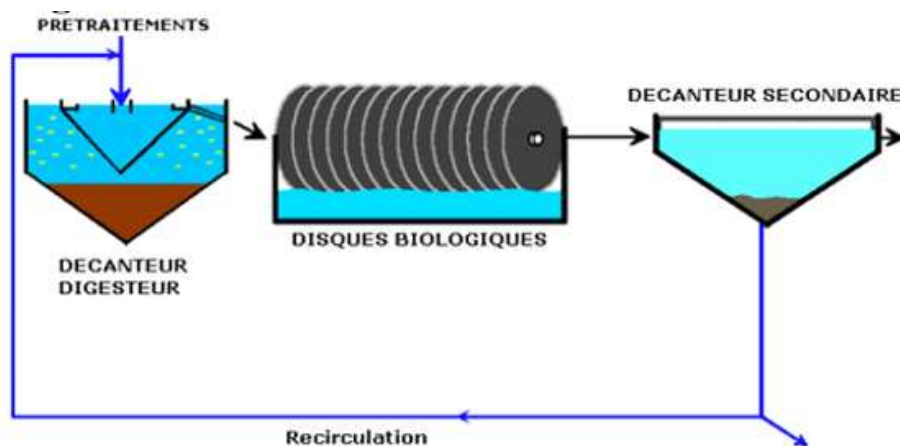


Figure I.16 : Schéma de disques biologiques.

- **Le lagunage naturel :** c'est une méthode de dépuration naturelle qui consiste à utiliser la végétation aquatique pour purifier les eaux polluées. Dans ce contexte, les plantes aquatiques sont utilisées comme support pour les colonies de bactéries, garantissant ainsi une purification efficace de l'eau qui s'écoule lentement à travers les colonies végétales installées. Les plantes absorbent des éléments polluants tels que les nitrates, afin de produire une eau de qualité acceptable après le processus de lagunage [21].

- **Le lagunage aéré :** dans un premier bassin, des bactéries interviennent pour s'éliminer des résidus (la matière organique) et les convertir en minéraux et en gaz. Dans un second bassin, ces produits sont récupérés par les plantes afin de favoriser leur développement.

Ces dernières vont donc produire de l'oxygène (par la photosynthèse). Les microalgues (phytoplancton) seront consommées dans les derniers bassins par le zooplancton (animaux microscopiques).

À l'issue de cette étape (environ 80 jours après l'introduction dans le premier bassin), les eaux sont prêtes à être déversées dans l'environnement naturel [21].

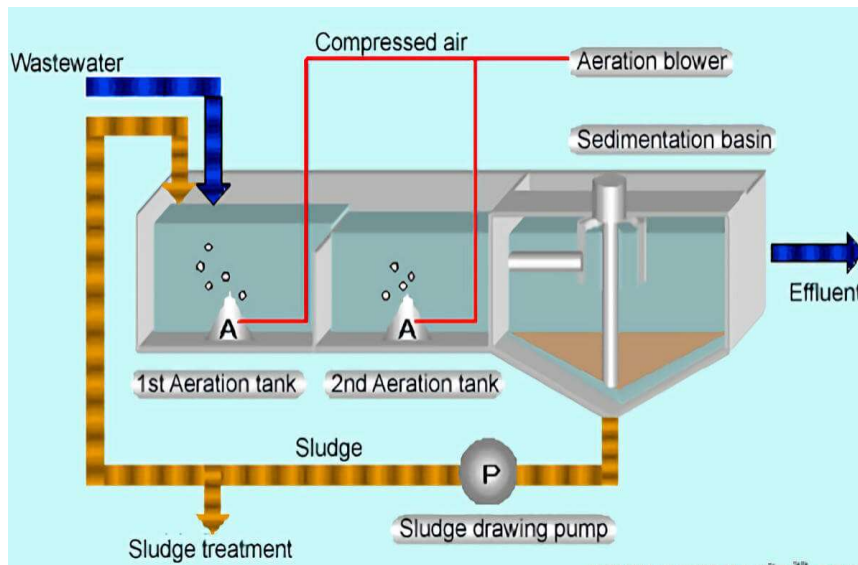


Figure I.17 : Schéma de lagunage aéré.

- **L'épandage :** c'est le procédé le plus ancien, il consiste à déverser directement sur le sol perméable des eaux usées, où les granulats constituant le sol sont alors un matériau de support de micro-organismes, ces derniers servent à dégrader la matière organique. L'épandage est soit superficiel soit souterrain, cette deuxième solution est préférable, car elle minimise les risques sanitaires, les risques d'odeurs et n'oblige pas à interdire l'accès de la parcelle concernée.

Quand un épandage assure un traitement principal, il est précédé selon la taille de l'installation par une ou plusieurs fosses septiques, un décanteur, digesteur ou une lagune primaire. Le but de ces systèmes est de réduire la charge organique que le sol reçoit et, surtout, de limiter les risques de colmatage des dispositifs de répartition de l'eau dans l'épandage [24].

d) Le traitement tertiaire :

Aussi connus sous le nom de traitements complémentaires, ils visent à l'élimination de la pollution liée à l'azote et au phosphore ainsi qu'à la pollution biologique des eaux résiduaires domestiques.

Les procédés de traitement tertiaire servent à perfectionner ou optimiser le traitement secondaire, dont l'objectif est d'améliorer la qualité globale de l'eau pour une éventuelle réutilisation dans l'industrie ou l'irrigation.

Ces procédures sont effectuées lorsque le milieu récepteur l'exige. On identifie généralement les opérations suivantes :

- La nitrification-dénitrification et déphosphatation biologique ou mixte (biologique et physico-chimique).
- La désinfection bactériologique et virologique [21].

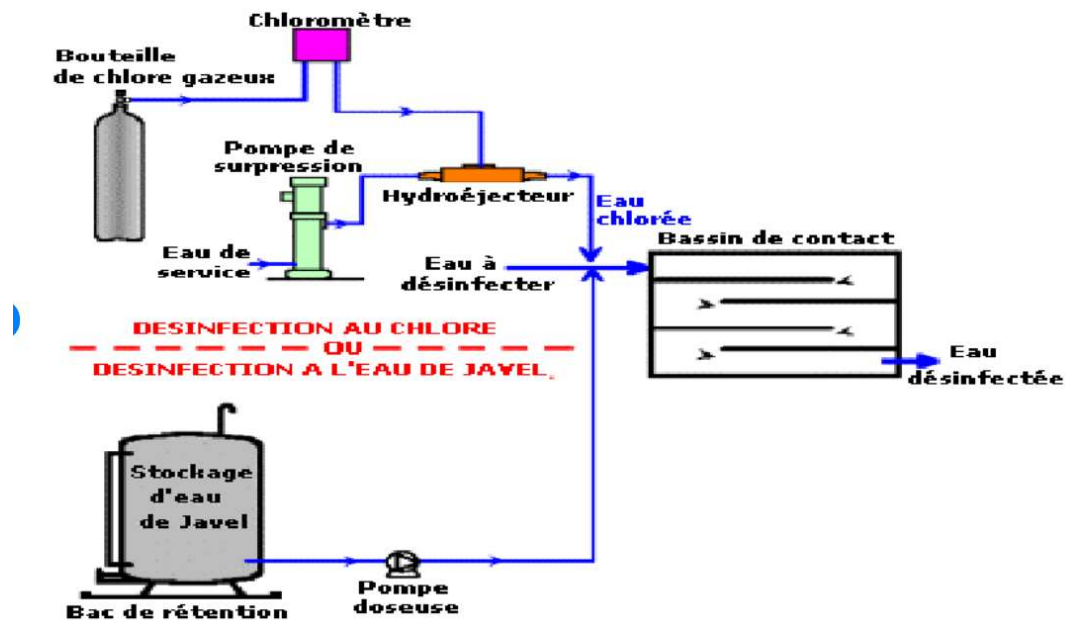


Figure I.18 : Procédé de désinfection par chloration.

e) Le traitement des boues :

L'objectif du traitement est de réduire la quantité et de rendre inertes les boues. La diminution du volume est réalisée par la suppression de l'eau. Il est nécessaire de diminuer la quantité de matières organiques pour prévenir toute fermentation. La sélection du traitement dépend de l'origine et de la qualité des boues [21].

• Epaississement des boues :

La première phase de déshydratation est l'épaississement qui entraîne une diminution considérable du volume des boues provenant des traitements biologiques ou physico-chimiques des eaux usées urbaines. Ainsi, le processus de traitement des boues devrait comporter, avant la phase de stabilisation ou déshydratation, une étape d'épaississement pour augmenter la concentration nécessaire à l'efficacité des installations en aval [25].

• Stabilisation des boues :

Le traitement de stabilisation des boues est indispensable afin d'assurer la réduction de leur pouvoir fermentescible.

Il existe divers types de stabilisation des boues :

- ❖ **Stabilisation biologique aérobie** : ce processus implique l'aération prolongée de la boue, durant laquelle les micro-organismes aérobies, en phase de respiration endogène, dégradent la matière organique.

- ❖ **Stabilisation biologique anaérobie** : la digestion anaérobie est un processus biologique qui se fait par fermentation méthanique des boues dans des digesteurs, en l'absence d'oxygène.
- ❖ **Stabilisation chimique** : la stabilisation chimique des boues est réalisée grâce à l'ajout de chaux, ce qui augmente le pH, bloque les fermentations et évite ainsi les d'odeurs désagréables.
- ❖ **Stabilisation thermique** : elle peut être effectuée par : pasteurisation des boues liquides à une température de 70°C pendant 30 minutes, séchage thermique à une température de 80 à 100°C [25].

- **Déshydratation thermique :**

- **Lits de séchage naturel** : Il s'agit d'une méthode naturelle de déshydratation. Le système consiste à sécher les boues à l'air libre sur des lits de séchage drainés.
- **Sécheur thermique** : Le séchage thermique s'appuie sur le principe général de transfert d'énergie sous forme d'énergie calorifique.
- **Déshydratation mécanique** : on distingue plusieurs méthodes de déshydratation mécanique, dont la filtration sous pression (filtre à bande et filtre à presse) et la centrifugation [25].

- **Destination finale des boues :**

Pour la destination finale des boues déshydratées, on pourra (en fonction des propriétés intrinsèques des boues, possibilités locales d'élimination et de considérations technico- économiques) envisager.

- Valorisation agricole
- Incinération
- Valorisation énergétique [21].

I.7.7. Les stations d'épuration en Algérie :

Plusieurs organismes, y compris l'Office National de l'Assainissement (ONA) et la SEOR (Société des Eaux et de l'Assainissement d'Oran), sont chargées de l'épuration des eaux usées en Algérie.

- ❖ ONA : Responsable de l'assainissement à l'échelle nationale, elle supervise de nombreuses stations d'épuration réparties sur le territoire (Cette organisation sera abordée en détail dans le deuxième chapitre).
- ❖ SEOR : Cette entreprise opère principalement dans la wilaya d'Oran. Elle gère des installations telles que STEP El Karma et STEP Cap Falcon, qui mettent en œuvre des techniques biologiques avancés [33].

I.8. Station de traitement des eaux potables :

Une station de traitement de l'eau potable est une installation conçue pour purifier l'eau brute pour qu'elle devienne appropriée à la consommation humaine. Elle se débarrasse des impuretés, des polluants et des agents infectieux par l'intermédiaire de diverses méthodes physiques, chimiques et biologiques.

I.8.1. L'eau potable :

Pour qu'une eau soit définie de « potable », elle doit satisfaire un certain nombre de critères pour assurer sa propreté et son non-existence de risque pour la santé humaine. Elle doit répondre à des exigences de qualité strictes, spécifiées par des standards sanitaires, dans le but d'éliminer les polluants chimiques, biologiques et physiques.

Il faut considérer plusieurs facteurs :

- ❖ Les indicateurs microbiologiques, indiquant la présence de bactéries dans l'eau
- ❖ Les aspects chimiques, tels que la présence de plomb, mercure, chlore, nitrates ou pesticides
- ❖ Les indices de radioactivité.
- ❖ Les caractéristiques organoleptiques telles que le goût, la couleur et l'odeur [26].

I.8.2. Types d'eau traitées :

- ❖ Eaux de surface (rivières, lacs, barrages).
- ❖ Eaux souterraines (nappes phréatiques).
- ❖ Eaux saumâtres (riches en sels minéraux).
- ❖ Eaux de mer (traitées par les stations de dessalement).

I.8.3 Fonctionnement générale d'une station de traitement de l'eau potable :

L'objectif fondamental du traitement de l'eau est de protéger les consommateurs des micro-organismes pathogènes et des impuretés désagréables ou dangereuses pour la santé. Les eaux utilisées pour l'alimentation humaine sont rarement consommables telles quelles. Il est souvent nécessaire de leur appliquer un traitement plus ou moins approprié [27].

Le traitement de l'eau potable repose sur plusieurs procédés qui garantissent une eau conforme aux normes sanitaires :

- Captage.
- Le prétraitement.
- Coagulation et floculation.
- Décantation.
- Filtration.
- Désinfection.
- Stockage et distribution.

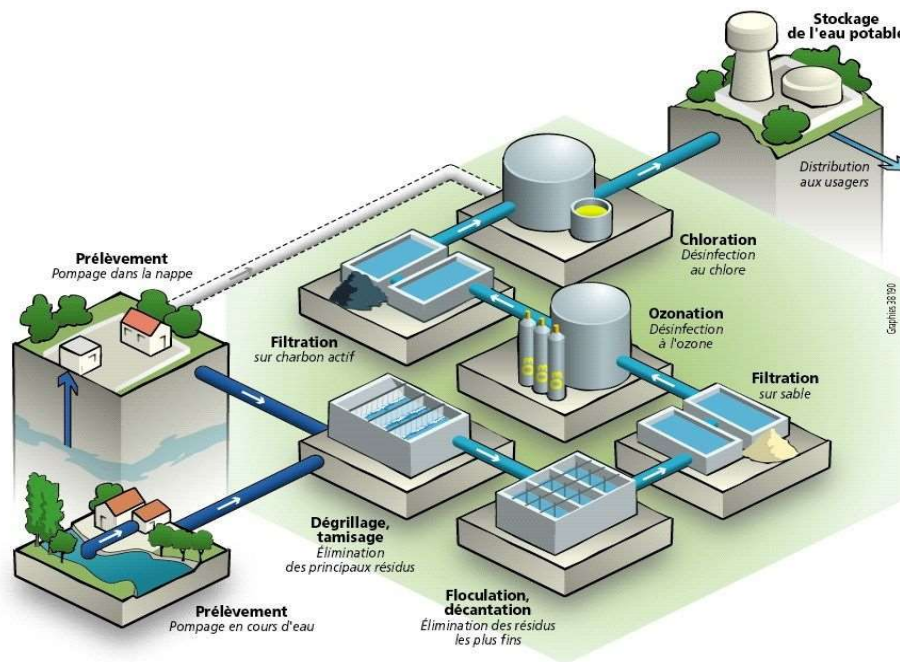


Figure I.19 : Schéma générale d'une station de traitement de l'eau potable.

a) Le captage de l'eau :

La première phase du processus de traitement de l'eau potable est le captage. Il s'agit d'extraire l'eau brute de son environnement naturel, qui est généralement une source de surface (lac, rivière, barrage) ou souterraine (nappe phréatique, aquifère profond).

- ❖ Captage des eaux de surface : Effectué grâce à l'utilisation de points de prélèvement d'eau mis en place dans un cours d'eau ou un barrage. Habituellement suivi d'un prétraitement mécanique (grilles, dégrilleurs, chambres de tranquillisation) [28].
- ❖ Captage des eaux souterraines : Par l'intermédiaire de puits ou de forages en profondeur. L'eau est souvent moins polluée, mais parfois trop riche en minéraux (comme les nitrates, le fer et le manganèse) [29].

b) Le prétraitement :

Le prétraitement fait référence à toutes les procédures effectuées avant le traitement principal de l'eau. Son objectif est d'éliminer les plus gros débris, les matières en suspension et certains polluants physiques pour faciliter les étapes suivantes.

- ❖ **Dégrillage** : élimination des déchets volumineux tels que les branches, les feuilles, les plastiques, etc.
- ❖ **Tamisage** : filtrage plus fine, destiné aux particules de taille moyenne.
- ❖ **Dessablage** : séparation entre les sables et les graviers (qui sont plus lourds)
- ❖ **Dégraissage** : suppression des huiles et matières liquide.
- ❖ **Chambre de tranquillisation** : Dans une station de traitement d'eau potable, la chambre de tranquillisation est un bassin ou dispositif de régulation hydraulique qui se trouve immédiatement après l'extraction de l'eau brute (généralement suite à un dégrillage ou un tamisage).

Sa fonction est de ralentir le flux de l'eau afin de faciliter la sédimentation naturelle des particules lourdes (sables, graviers, limons) avant qu'elles ne parviennent aux unités de traitement chimique ou mécanique.

c) Coagulation et floculation :

Ces deux processus ont pour objectif d'éliminer les particules colloïdales et les matières organiques qui ne se décantent pas naturellement, en ajoutant des produits chimiques pour regrouper les particules fines en créant des floes plus volumineux et plus solides qui peuvent être éliminés par décantation ou filtration.

d) Décantation :

La décantation est un processus physique qui consiste à séparer les particules en suspension (telles que les floes générés après coagulation-floculation) de l'eau grâce à la sédimentation naturelle sous l'effet de la gravité.

- ❖ Décantation primaire : Élimination des matières en suspension.
- ❖ Décantation secondaire : Affinage du processus pour les particules plus fines.

e) Filtration :

Suite à la décantation, l'eau épurée peut toujours contenir des particules fines, des micro-organismes ou des contaminants dissous. La filtration améliore la purification de l'eau en capturant ces résidus.

- ❖ La filtration lente sur sable est une technique de traitement biologique qui implique le passage de l'eau à purifier à travers un lit de matériau filtrant à une vitesse variant entre 0,1 et 0,2 m/h. Le sable est le matériau de filtration le plus approprié. Durant ce processus, la qualité de l'eau s'améliore grandement grâce à une réduction du nombre de micro-organismes (tels que les bactéries, virus), à l'élimination des matières en suspension et colloïdales, ainsi qu'à des modifications de sa composition chimique. Une fine pellicule nommée « membrane biologique » se développe à la surface du lit. Cette couche superficielle est essentielle, car c'est précisément là que s'effectue le processus de purification [30].

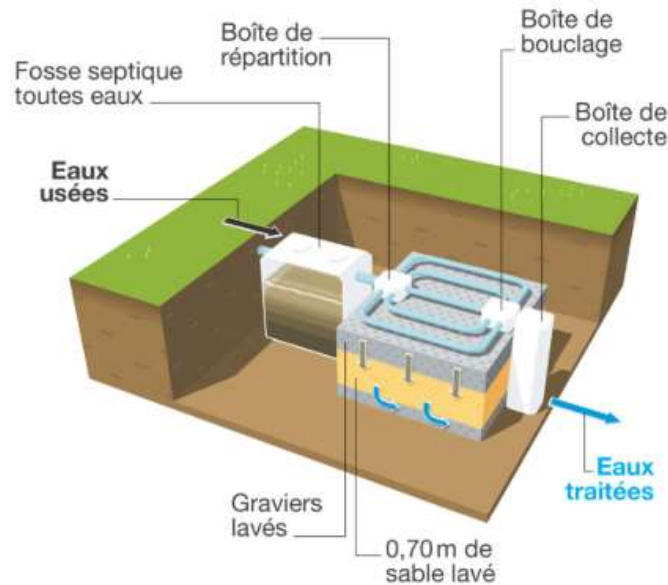


Figure I.20 : Schéma de la filtration sur sable.

- ❖ **Filtration au charbon actif** : Le processus de purification par filtration au charbon actif est une technique sophistiquée qui s'appuie sur des matériaux dérivés du charbon, spécifiquement conçus pour supprimer les impuretés présentes dans les liquides. Ces matières provenant du charbon passent par une activation soigneusement contrôlée, créant un réseau large de pores microscopiques et une grande surface interne, souvent évaluée entre 500 et 1 500 mètres carrés par gramme, facilitant l'élimination efficace de différents polluants via des processus d'adsorption [31].

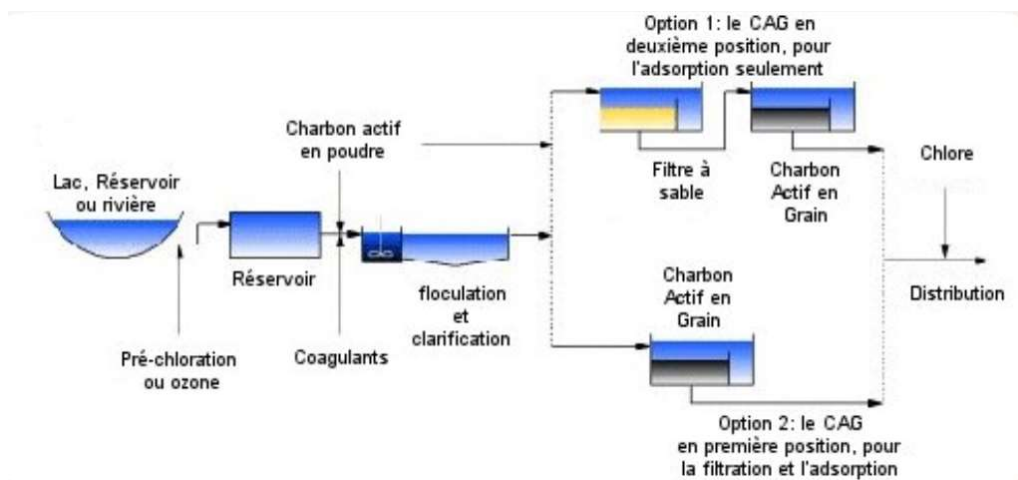


Figure I.21 : Traitement des eaux potables par injection de charbon actif.

- ❖ **Filtration membranaire** : utilisée dans les usines de dessalement.

f) Désinfection :

La désinfection de l'eau potable, plus couramment appelée désinfection, est une phase cruciale dans le processus de purification de l'eau destinée à la consommation humaine. Elle a pour objectif d'éliminer les substances pathogènes (bactéries, virus, parasites) pour assurer une eau propre et respectant les normes de santé.

- ❖ **Ozonation** : L'injection d'ozone, un oxydant fort, qui supprime les impuretés biologiques sans laisser de résidus chimiques.
- ❖ **Désinfection par UV** : Application de la lumière ultraviolette sur l'eau afin de désactiver les micro-organismes sans utiliser des produits chimiques.
- ❖ **Dioxyde de chlore** : Une alternative à la chloration, efficace contre les bactéries et virus, générant moins de sous-produits indésirables [32].

I.9. Conclusion :

Le traitement de l'eau est un enjeu majeur pour garantir la disponibilité d'une ressource essentielle à la vie et aux activités humaines. Les différentes techniques de purification et de dépollution permettent d'améliorer la qualité de l'eau en éliminant les contaminants, qu'ils soient organiques, chimiques ou microbiologiques. Chaque procédé présente des avantages spécifiques selon la nature des eaux à traiter et les objectifs recherchés, qu'il s'agisse de potabilisation, de recyclage ou d'assainissement.

Dans le chapitre suivant, nous nous intéresserons à la présentation de la zone d'étude, en l'occurrence la station d'épuration de la ville de Mascara. Cette station utilise le procédé de traitement par boues activées, une méthode biologique efficace permettant de réduire la charge polluante des eaux usées avant leur rejet ou leur réutilisation. Nous analyserons son fonctionnement, ses caractéristiques et son impact environnemental.

Chapitre II

Présentation de la zone d'étude.

II.1. Introduction :

L'épuration des eaux usées en Algérie est cruciale pour la préservation de l'environnement et l'administration des ressources en eau. Le pays procède au traitement des eaux usées domestiques et industrielles via un réseau de stations d'épuration, avant leur évacuation ou réutilisation, en particulier dans le domaine agricole.

Ce chapitre s'intéresse particulièrement à la Station d'Épuration des Eaux Usées (STEP) El Kouayer de Mascara, qui joue un rôle crucial dans le traitement des eaux usées de la région. Nous présenterons dans ce travail son fonctionnement, ses différents équipements, ainsi que son impact environnemental et les défis liés à son exploitation. L'objectif est de mieux comprendre les processus mis en œuvre pour garantir un traitement efficace et durable des eaux usées, tout en respectant les normes de préservation des ressources hydriques.

II.2. L'Office National de l'Assainissement (ONA) :

L'Office National de l'Assainissement (ONA) est un établissement public industriel et commercial (EPIC) supervisé par le Ministère des Ressources en Eau. Il est responsable de la gestion des eaux usées et de l'épuration sur l'ensemble du territoire algérien. Fondé en 2001, il occupe une place privilégiée dans la préservation de l'environnement et la protection de la santé publique [34].

II.2.1. Les missions de l'ONA :

- ❖ Gestion et traitement des eaux usées à l'échelle du pays.
- ❖ Opération et entretien des stations d'épuration et des systèmes d'assainissement.
- ❖ Sauvegarde des ressources en eau et combat contre la pollution.
- ❖ Surveillance et vérification de la qualité des eaux grâce à des laboratoires spécialisés.
- ❖ Implémentation de projets visant l'assainissement et la modernisation des infrastructures.
- ❖ Formation et sensibilisation des équipes et du public sur l'importance de l'assainissement [34].

II.2.2. Organisation de l'ONA :

L'ONA est organisé en plusieurs directions centrales et unités régionales pour gérer l'assainissement et le traitement des eaux usées :

- ❖ Direction Générale : Supervise l'ensemble des activités et définit les stratégies nationales et comprend des cellules spécialisées : audit interne, contentieux, gestion des filiales, etc.
- ❖ Direction Centrale Études et Projets (DEP) : chargée de la conception et de la mise en œuvre des projets d'assainissement et regroupe les départements Réalisation, Études et Engineering.

- ❖ Direction Centrale Exploitation et Maintenance (DEM) : assure la gestion et l'entretien des infrastructures existantes et supervise les stations d'épuration et les réseaux d'assainissement.
- ❖ Direction Centrale des Marchés et Maîtrise d'Ouvrage Déléguée (DMMD) : gère les appels d'offres et les contrats liés aux projets d'assainissement.
- ❖ Direction Centrale Patrimoine et Moyens Généraux (DPMG) : responsable de la gestion des équipements et des infrastructures.
- ❖ Direction Centrale Ressources Humaines et Formation (DRHF) : assure la formation des employés et le développement des compétences.
- ❖ Direction Centrale Finances et Comptabilité (DFC) : Gère les budgets et les finances de l'ONA [34].

II.2.3. Unités locales :

L'ONA est présent dans 42 wilayas à travers 40 unités locales qui assurent :

- ❖ L'exploitation et l'entretien des stations d'épuration.
- ❖ La gestion des systèmes d'assainissement et des stations de pompage.
- ❖ Le contrôle de la qualité de l'eau par le biais de laboratoires spécialisés [34].

L'unité de Mascara, par exemple, gère 13 stations d'épuration, 7 stations de relevage, et 5 centres d'assainissement répartis dans plusieurs communes.

II.2.4. Zones régionales :

L'ONA est structuré en 11 zones régionales (**figure II.1**), chacune couvrant plusieurs wilayas :

- ❖ Zone Centre (Alger, Blida, Boumerdès, Tipaza).
- ❖ Zone Est (Constantine, Annaba, Skikda, Guelma).
- ❖ Zone Ouest (Oran, Tlemcen, Sidi Bel Abbès, Mostaganem).
- ❖ Zone Sud (Ouargla, Adrar, Tamanrasset).
- ❖ Zone Hauts Plateaux (Sétif, Batna, Djelfa).
- ❖ Zone Sud-Est (Biskra, El Oued).
- ❖ Zone Sud-Ouest (Béchar, Tindouf).
- ❖ Zone Nord-Est (Jijel, Mila).
- ❖ Zone Nord-Ouest (Chlef, Relizane).
- ❖ Zone Centre-Sud (Médéa, Laghouat).
- ❖ Zone STEP Spécialisée (Stations spécifiques à grand débit).

Grace a cette organisation, l'ONA gère 766 des 1 541 communes existantes, exploitant 96 stations d'épuration dont 52 qui fonctionnent par lagunage, et également 337 stations de pompage-relevage pour le déplacement des eaux usées. L'ONA, avec son réseau

d'assainissement s'étendant sur 31 500 km, représentant plus de 80 % du réseau national, joue un rôle crucial dans la préservation des ressources en eau et le combat contre la pollution [34].

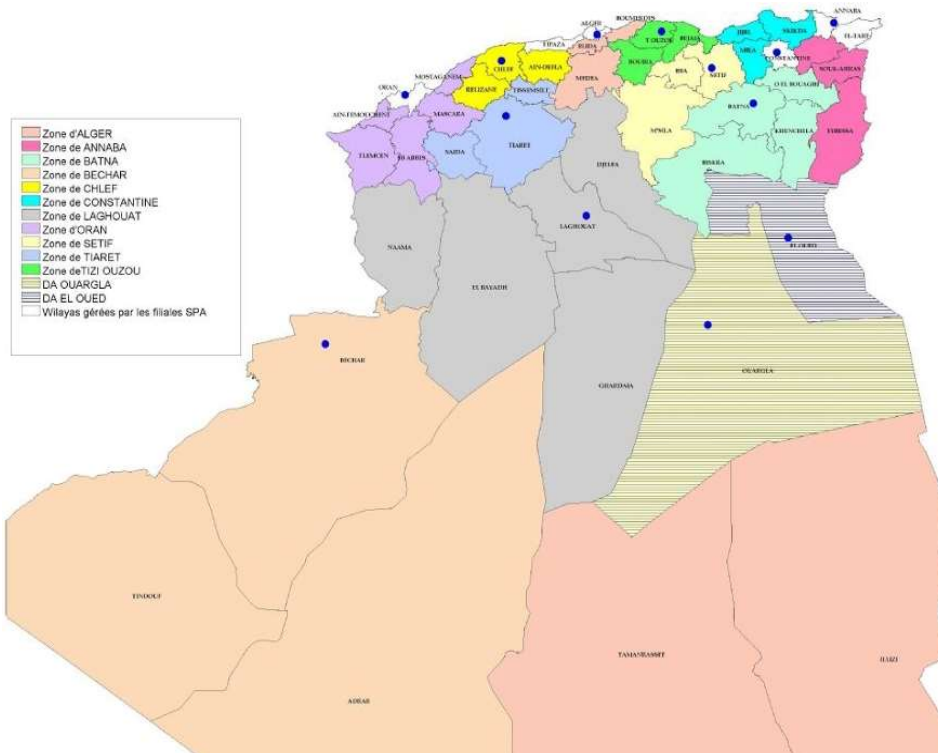


Figure II.1 : Les différentes zones régionales de l'ONA [34].

II.3. L'unité de Mascara :

L'unité de Mascara fait partie des 40 unités fonctionnelles de l'ONA, responsable de l'exploitation et de l'entretien des infrastructures d'assainissement dans diverses municipalités de la wilaya de Mascara [35].

II.3.1. Infrastructures et équipements :

L'unité est chargée de la gestion de :

- ❖ 13 stations d'épuration qui sont dispersées sur diverses communes (**figure II.2**).
- ❖ 7 stations de relevage qui facilitent le transport des eaux usées vers les stations d'épuration.
- ❖ 5 centres d'assainissement se trouvent dans les communes de Mascara, Ghriss, Sig, Mohammadia et Tighennif.
- ❖ 20 réseaux d'assainissement qui desservent diverses communes, y compris Mascara, Keurt, Mamounia, Froha, Tizi, Khalouia, Ain Fares, Ain Fekane, Bouhanifia, Ghriss, Oued Taria, Matemour, Sidi Kada, Sig, Oggaz Hacine et Guitna [35].

II.3.2. Procédés de traitement utilisés :

Plusieurs technologies de traitement des eaux usées sont mises en œuvre par l'unité de Mascara :

- ❖ Boues activées : Un processus biologique garantissant une purification efficace. (utilisé dans notre zone d'étude STEP El Kouayer).

- ❖ Lagunage aéré : Employé dans trois stations, cette méthode s'appuie sur l'oxygénation des eaux usées pour favoriser la décomposition des substances organiques.
- ❖ Lagunage naturel : Mis en œuvre dans 9 sites, il se base sur la décantation et l'intervention des micro-organismes pour épurer l'eau [35].

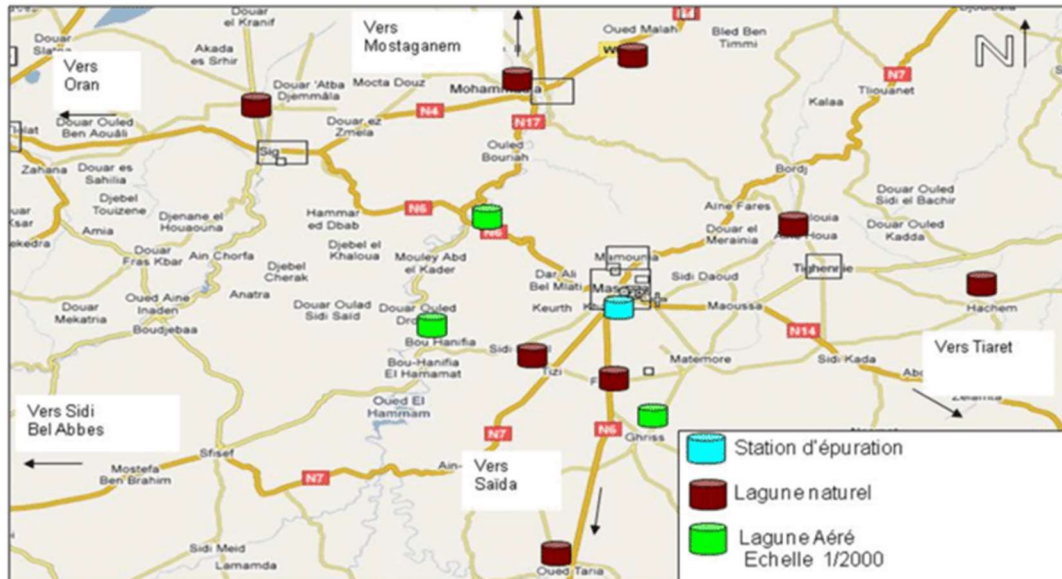


Figure II.2 : Les différentes stations d'épuration de Mascara [36].

II.3.3. Capacité de traitement :

- ❖ La capacité totale des stations de traitement des eaux usées de l'unité s'élève à 314 021 équivalents habitants (Eq/h).
- ❖ Le volume nominal traité quotidiennement s'élève à 39 714 m³/jour.
- ❖ En 2013, l'unité a traité plus de 5,3 millions de mètres cubes d'eaux usées [35].

II.4. STEP El Kouayer Mascara :

La station d'épuration El Kouayer est du type boues activées à faible charge (également appelé aération prolongée). Cette méthode est la plus avancée dans les stations d'épuration urbaines. Ce procédé repose sur l'intensification des processus d'autoépurations que l'on retrouve dans les milieux naturels.

II.4.1. Situation géographique :

Elle se situe à proximité de la route nationale numéro 06, dans le sud de Mascara (**Figure II.3**). Elle dispose d'un système d'assainissement unitaire, pouvant accueillir jusqu'à 100.000 équivalents/habitant, avec une moyenne quotidienne de 13.000 m³/j. Elle a ouvert ses portes le 27 août 1996 [35].

En raison du caractère rural et de la densité de population à Mascara, on peut résumer les buts du traitement de la manière suivante :

- ❖ Diminution de la pollution.
- ❖ Récupération de l'eau pour l'irrigation.
- ❖ Valorisation des boues à des fins agricoles.

- ❖ Sauvegarde des nappes phréatiques.

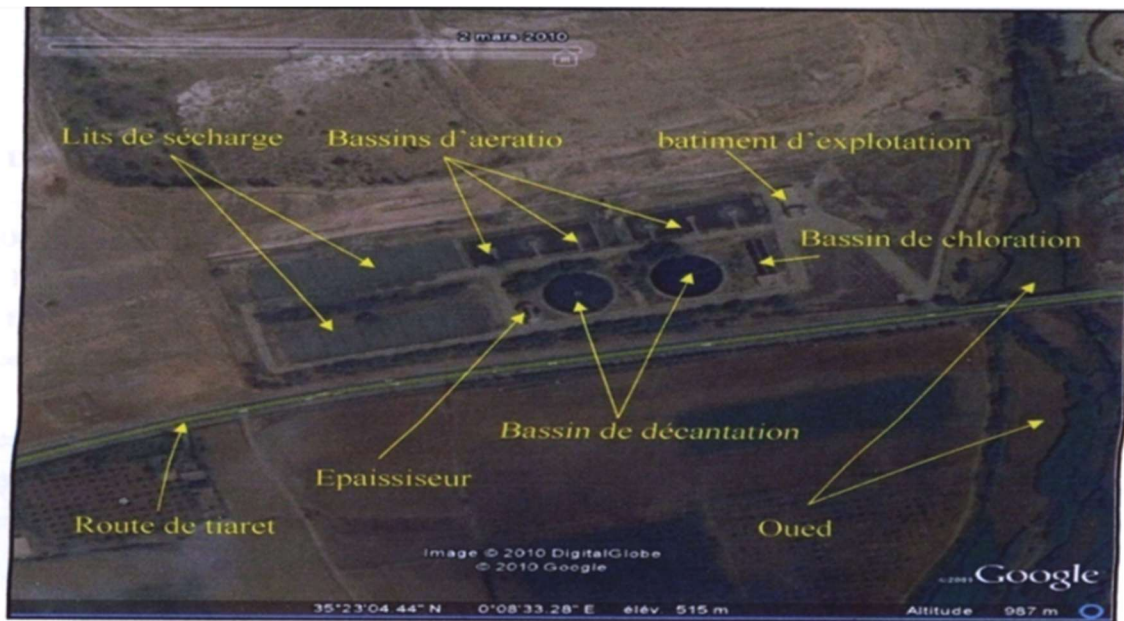


Figure II.3 : Image satellite de la station d'épuration de la ville de Mascara [Google earth].

II.4.2. Le réseau d'assainissement :

Ce réseau est illustré par le schéma de la ville de Mascara, qui est unitaire, composé de deux collecteurs majeurs auxquels se rejoignent les collecteurs secondaires de 1 à 8 :

- ❖ Le collecteur de l'Oued Mamounia s'étend du nord au sud.
- ❖ Le collecteur de l'Oued Sidi Bousekrine est situé du nord-ouest au sud. Avec le collecteur secondaire, il constitue l'Oued d'El-Kouair. Les rejets de ce dernier seront gérés à la station d'épuration [35].

II.4.3. Le fonctionnement de la station :

La station d'épuration de Mascara El Kouayer, utilisant le procédé des boues activées, est une infrastructure essentielle pour le traitement des eaux usées dans la région.

Le traitement des eaux usées dans cette station repose sur plusieurs procédés qui garantissent une eau conforme aux normes sanitaires :

- Le réseau d'assainissement recueille les eaux, qui sont ensuite acheminées vers la station d'épuration à travers des conduites et des stations de relevage.
- Elles sont par la suite renvoyées vers un dégrilleur pour y être débarrassées des matières les plus volumineuses comme les plastiques, papiers et autres matières solides sont éliminés.
- Les eaux dégrillées parviennent donc par un ouvrage de dessablage/déshuilage qui permet la distinction des graisses et des sables.
- Les eaux prétraitées passent ensuite dans le bassin d'aération, les eaux sont combinées avec des boues activées et l'oxygène est injecté grâce à des surpresseurs d'air, stimulant l'activité des micro-organismes responsables de la décomposition de la pollution organique.

- Le décanteur isole l'eau purifiée des boues, qui se focalisent au fond du bassin pour être collectés et traités.
- Les boues sont épaissies, puis orientées vers les lits de séchage ce qui facilite leur réutilisation.
- L'eau purifiée est désinfectée dans des bassins de chloration, pour éliminer les bactéries et assurer sa conformité aux normes avant son rejet dans l'Oued et les cultures voisines pour l'irrigation [35].

Cette méthode assure un traitement efficace des eaux usées, garantissant leur purification avant leur réutilisation dans l'environnement.

II.4.3. Description des ouvrages :

Les ouvrages de traitement présents dans une station d'épuration sont mis en place pour garantir l'élimination progressive des contaminants présents dans les eaux usées. Chaque équipement a une fonction essentielle dans le processus de purification, depuis la collecte des eaux jusqu'à leur rejet ou réutilisation. La station est équipée des ouvrages suivants :

a) Station de relevage :

L'eau chargée se déplace sous l'effet de la gravité à travers un canal d'un diamètre de 800 mm. La station de relevage est conçue pour acheminer les eaux usées d'une zone en basse altitude vers une zone plus haute, surtout lorsque la seule force gravitationnelle ne suffit pas à garantir l'écoulement (**Figure II.4**). Elle est équipée de trois pompes submersibles monocanal de 1400 mm de largeur, ayant une capacité de débit de 800 m³/heure [35].



Figure II.4 : Station de relevage.

La station de pompage dispose d'une grille grossière (**Figure II.5**) qui permet de retenir les débris de grande taille avant que l'eau ne soit dirigée vers les phases ultérieures du processus de traitement [35].

Ces grilles sont essentielles pour protéger les pompes et les équipements en évitant l'accumulation de substances solides capables de boucher ou endommager le système. Avec leur construction solide et leur espacement approprié, elles garantissent une filtration performante tout en préservant un débit optimal.



Figure II.5 : La grille grossière de la station de relevage.

b) Dégrileur :

L'eau arrive sous pression par une canalisation au dégrilleur mécanique à barreaux (**Figure II.6**). Il dispose d'un système automatisé pour l'élimination des débris et possède deux grilles visibles. Cela indique un processus de filtrage en deux phases, où la première étape consiste à capturer les gros débris et la seconde à affiner le filtrage avant que l'eau ne soit dirigée vers les équipements situés en aval.

Son moteur positionné en haut et son convoyeur indiquent qu'il est élaboré pour un nettoyage automatique, minimisant l'intervention humaine et assurant une efficacité optimale [35].



(a)



(b)

Figure II.6 : Dégrilleur.**c) Dessableur / Déshuileur :**

Ces procédés sont utilisés pour retirer les particules solides pesantes (telles que le sable) et les matières en suspension (comme les huiles et les graisses) avant de procéder aux traitements biologiques (**Figure II.7**).

**Figure II.7 : Dessableur / Déshuileur.**

Le dessableur reçoit l'eau, dont la vitesse est diminuée, ce qui permet aux particules plus lourdes (telles que le sable et les graviers) de se déposer au fond du bassin sous l'effet de la gravité.

Un surpresseur injecte de l'air dans un tube vertical positionné au fond du bassin. La poussée générée déplace les sables vers une conduite d'évacuation.

En complément de l'air lift, une pompe aspire directement les sédiments accumulés au fond du bassin pour les acheminer vers un séparateur.

Les huiles et graisses, étant plus légères que l'eau, ont tendance à flotter à la surface. Un dispositif de raclage les rassemble afin de les diriger vers une zone de stockage [35].

Après l'extraction des sables et des huiles, l'eau purifiée est dirigée vers les phases ultérieures du processus de traitement.

d) Bassin d'aération :

Les eaux prétraitées sont dirigées vers le bassin d'aération en forme rectangulaire, qui mesure 60 m de long, 20 m de large et 4.5 m de profondeur, avec une capacité totale de 11660 m³ (**Figure II.8**). Dans ce bassin, elles sont combinées avec des boues riches en micro-organismes et l'injection de l'oxygène.

Ces micro-organismes dégradent la matière organique contenue dans les eaux usées [35].



Figure II.8 : Bassin d'aération.

e) Décanteur :

Le mélange d'eau et de boues est évacué des bassins d'aération vers les décanteurs. Le système de décantation dans la station d'épuration de Mascara est constitué de deux décanteurs circulaires raclés, le diamètre extérieur de chacun est de 36 m et la hauteur périphérique est de 2,6 m (**Figure II.9**), dans ces bassins se retrouvent les matières en suspension qui sont à la fois minérales et organiques, ces matières contiennent de la biomasse qui doit être recerclée [35].

Ce bassin est conçu pour ralentir le flux des eaux, permettant ainsi aux particules solides (les boues) de se déposer au fond.



Figure II.9 : Décanteur.

f) Bassin de désinfection :

Cette tâche est effectuée grâce à l'hypochlorite de sodium, qui se présente sous la forme d'eau de Javel. L'eau passe 47 minutes dans le bassin de chloration (**Figure II.10**), ce qui lui donne amplement le temps de contact requis pour éliminer les germes pathogènes. En fin de compte, l'eau traitée est dirigée vers l'Oued et les cultures voisines pour l'irrigation [35].



(a)



(b)

Figure II.10 : Bassin de désinfection.

g) Traitement des boues :

Dans le cadre du traitement des eaux usées, les boues désignent les matières solides qui apparaissent comme résidus suite au prétraitement ou au traitement biologique des eaux usées dans une station d'épuration (**Figure II.11**). Elles se composent principalement de matières organiques, de micro-organismes, d'eau et de minéraux.



Figure II.11 : Les boues qui proviennent du décanteur.

La gestion des boues constitue 30% de l'investissement dans la construction d'une station d'épuration.

L'objectif du traitement des boues est de :

- Réduire la partie organique pour minimiser leur capacité de fermentation et les risques de contamination (stabilisation).
- Réduire leur volume total pour diminuer le coût de leur évacuation (déshydratation).

❖ **Recirculation :**

Une partie des boues activées est recyclée dans le bassin d'aération afin de conserver une concentration idéale de micro-organismes. Cela assure une dégradation efficace des matières organiques dans les eaux usées [35].

❖ **Epaississement :**

Les boues en excès, également appelées boues excédentaires, font référence aux boues générées en trop lors de l'épuration des eaux usées, spécialement dans le contexte du processus biologique des boues activées. Pour prévenir une surcharge du système, il est nécessaire de traiter les boues en surplus.

Les boues en excédents subissent un processus d'épaississement et de déshydratation dans une salle (**Figure II.12**), pour minimiser leur volume et leur concentration en matière organique.

L'objectif de l'épaississement des boues est de minimiser leur teneur en eau afin de réduire leur volume avant les étapes ultérieures (lits de séchage) [35].



Figure II.12 : La salle d'épaississement.

❖ **Lits de séchage :**

Les lits de séchage constituent une technique naturelle et peu coûteuse employée pour diminuer le contenu en eau des boues provenant des stations d'épuration.

Les boues épaissies sont réparties en couches fines sur des lits composés de multiples couches de matériaux, habituellement du gravier et du sable. Ces lits sont élaborés pour favoriser l'infiltration et l'évaporation de l'eau [35].

La station de Mascara El Kouayer est dotée de 20 lits pour le séchage (**Figure II.13**).



Figure II.13 : Les lits de séchage.

Remarque :

La station d'épuration El Kouayer ne dispose actuellement d'aucun capteur de débit ou de mesure automatisée (Apart un seul capteur de niveau dans les boues qui proviennent du décanteur). Toutes les valeurs relatives aux capacités, aux débits et aux paramètres opérationnels ont été enregistrées avant le retrait des capteurs, et aucun suivi en temps réel n'est possible depuis. Cela implique que les estimations actuelles reposent sur les données précédemment collectées et ne tiennent pas compte d'éventuelles variations des conditions de fonctionnement.

Le temps de séjour de l'eau dans la STEP est de 21 heures, mais le temps de séjour de l'eau dans les bassins d'aération et de décantation dépend directement du débit entrant.

- **Débit élevé** : L'eau passe plus rapidement dans les bassins, ce qui réduit le temps de traitement et peut affecter l'efficacité de l'épuration.
- **Débit faible** : L'eau reste plus longtemps dans les bassins, favorisant une meilleure dégradation des matières organiques et une décantation plus efficace.
- **Si le débit varie**, cela peut modifier la performance du traitement et nécessiter des ajustements dans le fonctionnement des bassins.
- **En l'absence de capteurs de débit**, les estimations de temps de séjour reposent uniquement sur les données enregistrées avant leur retrait, ce qui peut limiter la précision du suivi.

II.4.4. Équipements de la station :

L'installation de la station d'épuration El Kouayer dispose d'une gamme d'équipements électromécaniques essentiels à son bon fonctionnement. On retrouve des pompes pour le déplacement de l'eau, des motoréducteurs et réducteurs qui assurent un fonctionnement optimal des équipements, ainsi que des surpresseurs d'air destinés à l'aération des bassins de traitement. Les moteurs contrôlent diverses installations, tandis que les armoires électriques supervisent la gestion et la sauvegarde des circuits. Cet ensemble favorise une purification efficace des eaux.

(a) Les pompes :

Les pompes sont des équipements qui permettent le déplacement d'un fluide (que ce soit un liquide ou un gaz) à travers un réseau. Le moteur de la pompe, qu'il soit électrique ou thermique, est alimenté par une source d'énergie qui se transforme ensuite en énergie mécanique transmise au fluide. [37].

Dans notre station d'épuration, diverses sortes de pompes sont essentielles pour le déplacement et la gestion des eaux usées. Elles sont responsables du transport des effluents via diverses installations, assurant ainsi une gestion efficace du processus d'épuration. La STEP possède plusieurs pompes réparties selon leurs fonctions :

- ❖ **3 pompes de relevage :** Une pompe de relevage est un dispositif employé pour acheminer les eaux usées vers une zone d'évacuation placée à un niveau plus élevée lorsque l'écoulement par gravité ne suffit pas.



Figure II.14 : Les pompes de relevage.

- ❖ **7 pompes de vidange :** Favorisent le transfert des eaux excédentaires, des boues ou des eaux épurées vers un point de rejet ou de stockage.
- ❖ **2 pompes d'arrosage :** Employées pour l'arrosage des bassins ou le nettoyage des installations.



Figure II.15 : Pompes d'arrosage.

- ❖ **Pompe de dessableur :** La pompe de dessableur sert à recueillir les particules qui se sont accumulées au fond du dessableur et à acheminer les solides.



Figure II.16 : Pompe de dessableur.

- ❖ **3 pompes de recirculation :** Réinjectent une partie des boues activées dans le bassin biologique (bassin d'aération) afin d'optimiser le processus de purification.

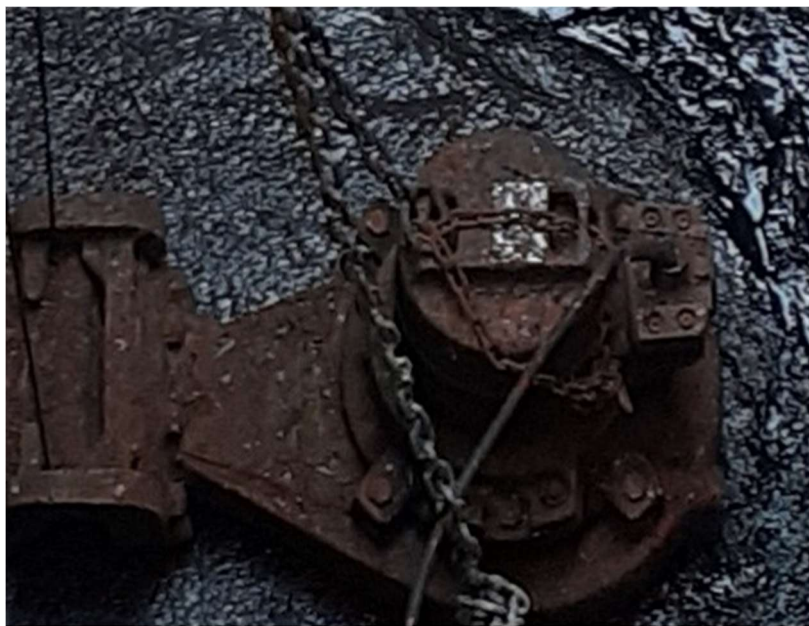


Figure II.17 : La pompe de recirculation.

- **3 pompes à boues en excès :** S'occupent des boues excédentaires en les déplaçant vers la salle d'épaississement.



Figure II.18 : Pompe à boues en excès.

- **Une pompe de reprise :** La pompe de reprise garantit le déplacement des eaux séparées des boues présentes dans la salle d'épaississement vers le système de recirculation.



Figure II.19 : Pompe de reprise.

- **2 Pompe à vis :** Une pompe à vis, mise en œuvre dans une salle d'épaississement d'une station d'épuration, représente une catégorie de pompe volumétrique destinée au déplacement des boues épaissies.

Elle fonctionne grâce à un rotor hélicoïdal tournant à l'intérieur d'un stator, créant des cavités progressives qui déplacent le fluide de manière régulière et sans pulsations. La pompe récupère les boues à partir du bassin d'épaississement vers la déshydratation (lits de séchage).



Figure II.20: Les pompes à vis.

- **2 pompes d'eau de service :** Délivre l'eau nécessaire pour les dispositifs d'épaississement. On peut s'en servir pour le nettoyage des installations afin de prévenir l'accumulation de matières solides [35].



Figure II.21 : Pompes d'eau de service.

Tableau II.1 : Les caractéristiques des pompes [35].

Pompe	Marque	Type	Débit	Puissance	Vitesse
Relevage	HOMA	MX3472-F134C	140 L/s	29 kW	1450 tr/min
Vidange (2)	CAPRARI	KCT40FA + 00221N1	4,7 L/s	2,75 kW	2860 tr/min
Vidange (2)	CAPRARI	DRH67	43 m ³ /h	6,75 kW	2850 tr/min
Vidange (3)	KDFU	125	72 m ³ /h	9 kW	2900 tr/min
Arrosage	SPERONI	SXG 1200 AV	350 L/min	1400 W	2800 tr/min
Dessableur	PENTAX	DVT300	800 L /min	2,2 kW	2800 tr/min
Recirculation	FLYGT	KRTUK 150 -295/56	87,6 L/s	8 kW	950 tr/min
À boues en excès	FLYGT	3102.180-0410472	245 m ³ /h	4,4 kW	2875 tr/min
De reprise	CAPRARI	D AU 22T	15 L /s	2,2 kW	2800 tr/min
À vis	SEEPEX	BN 35 6L	30 m ³ /h	5 kW	310 tr/min

(b) Moteurs :

Un moteur est un dispositif qui convertit une énergie non mécanique, comme l'énergie éolienne, chimique, électrique ou thermique, en énergie mécanique ou travail [38].

On distingue plusieurs types de moteurs en fonction de leur source d'énergie et de leur application, tels que :

- **Moteur thermique** : exploite l'énergie issue de la combustion de carburants (essence, diesel, gaz naturel) pour générer un mouvement. On retrouve généralement ce genre de moteur dans les automobiles, les motocyclettes et les poids lourds.
- **Moteur électrique** : utilise de l'énergie électrique pour produire un mouvement. On le retrouve dans une multitude d'équipements (ventilateurs, machines industrielles, voitures électriques).
- **Moteur à vapeur** : convertit l'énergie thermique de la vapeur en énergie mécanique. Ce genre de moteur a été essentiel dans le cadre de la révolution industrielle.
- **Moteur hydraulique** : utilise la pression exercée par l'eau ou d'autres fluides pour générer un mouvement, couramment employé dans les équipements industriels et les systèmes de construction [38].

On identifie différents types de moteurs au sein de notre STEP, tels que :

- ❖ **Moteur de l'aérateur** : le moteur de l'aérateur est crucial dans le processus d'apport en oxygène à l'eau. Il facilite l'exercice des pales ou hélices de l'aérateur afin de promouvoir le transfert d'oxygène et optimiser la qualité de l'eau. Notre STEP est équipé de deux bassins d'aération, chacun étant entraîné par son propre moteur (**Figure II.22**).

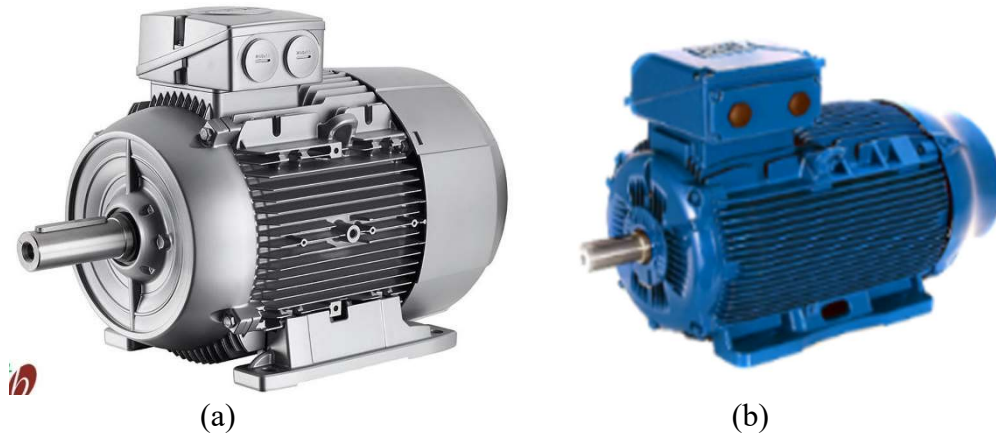


Figure II.22 : Les moteurs des bassins d'aération.

- ❖ **Moteur de décanteur** : Employé pour former le processus de décantation. Il sert à distinguer les particules solides en suspension des liquides en favorisant leur sédimentation.
- ❖ **Moteur de dégrilleur** : Utilisé pour actionner la grille en vue de la collecte et de l'élimination des déchets. Et optimise le flux d'eau en empêchant l'accumulation de matières solides tout en automatisant le processus pour un fonctionnement ininterrompu et performant.
- ❖ **Moteur de dessableur** : Mets en marche le racleur pour retirer les sédiments et ajuste la vitesse de rotation pour séparer efficacement les particules.
- ❖ Les moteurs de pompe : Les moteurs de pompes jouent un rôle clé dans la conversion de l'énergie électrique ou thermique en énergie mécanique, ce qui permet le déplacement des fluides [35].



Figure II.23 : Moteur de la pompe d'eau de service

Tableau II.2 : Les caractéristiques des moteurs [35].

Moteur	Marque	Type	Type de moteur	Puissance	Vitesse de rotation
Aérateur 1	UNELEC	250 M4	Électrique asynchrone triphasé	55 kW	1475 tr/min
Aérateur 2	SIEMENS	1LG4 253-4AA61-7 250M	Asynchrone triphasé basse tension	55 kW	1480 tr/min
Pompe d'eau de service	VEM 530	KMER 160 M 2 AC	Électrique triphasé asynchrone	11 kW	2900 tr/min
Surpresseur de brassage d'air	Grundfos SP	SP2-132S1-2	Électrique triphasé asynchrone	5,5 kW	2900 tr/min
Pompe à vis	/	/	/	5,5 kW	1440 tr/min

Dans cette station, les moteurs utilisés sont exclusivement des machines asynchrones triphasées, reconnues pour leur fiabilité et leur robustesse.

Moteur Asynchrone Triphasé :

Un moteur triphasé asynchrone est une sorte de moteur électrique qui convertit l'énergie électrique en énergie mécanique. Il fonctionne grâce à un système triphasé, composé de trois phases électriques séparées par des intervalles de 120 degrés.

On retrouve souvent ce genre de moteur dans diverses applications industrielles, telles que les pompes, les compresseurs, les ventilateurs et les convoyeurs. Effectivement, on estime que 80 % des moteurs employés à l'échelle mondiale sont des moteurs asynchrones.

On le qualifie « asynchrone » parce que la rotation du rotor n'est pas en phase avec la fréquence du courant d'alimentation, contrairement aux moteurs synchrones : il existe toujours un décalage entre le champ magnétique et la vitesse de rotation de l'arbre. [43].

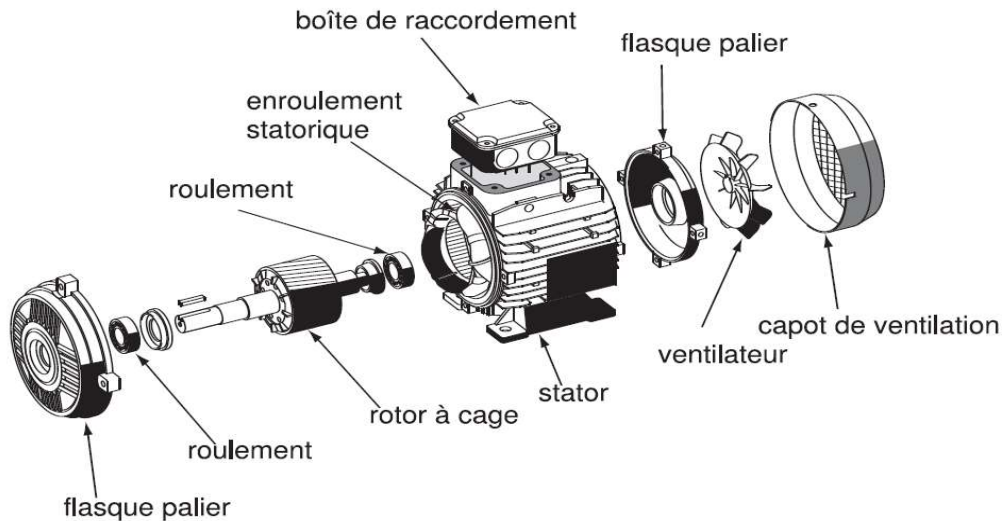


Figure II.24 : Moteur Asynchrone.

Le moteur asynchrone triphasé est constitué de deux parties : une partie tournante appelée rotor ou induit, et une partie fixe appelée stator ou bien inducteur.

- **Le stator** : Il s'agit de la partie magnétique qui est fixe, fabriquée à partir de bobines de cuivre enroulées autour d'un noyau en fer. Ces bobines sont reliées aux trois phases d'alimentation électrique (souvent appelées phases R, S et T) et produisent un champ magnétique en rotation.
- **Le rotor** : C'est l'élément en rotation qui transmet la puissance mécanique. Il contient aussi des conducteurs en cuivre, mais à la différence du stator, il n'est pas relié directement à une alimentation électrique. Le rotor est formé de barres en cuivre connectées à des anneaux nommés « couronne collectrice ». Quand le champ magnétique en rotation du stator génère un courant électrique dans les barres du rotor, cela produit un second champ magnétique qui interfère avec le champ statorique, provoquant par conséquent la rotation du rotor. [43].

Principe de fonctionnement :

Ce qui permet au rotor de tourner c'est le principe des champs magnétiques tournant produit par des tensions alternatives, trois enroulements sont disposés dans le stator à 120° les uns des autres, une fois alimentés trois champs magnétiques indépendants sont créés.

Ces champs tournants génèrent un couple moteur agissant sur les conducteurs des courants induits, ce qui entraîne le démarrage et la rotation du rotor dans la même direction que le champ tournant.

Dans des conditions normales, le rotor de la machine asynchrone tourne à une vitesse Ω mesurée en radians par seconde. Pendant ce temps, la force magnétomotrice générée par les courants du stator se déplace à la vitesse synchrone, également exprimée en radians par seconde. Cependant, il est fréquent que la vitesse Ω soit inférieure au rythme synchrone [43].

Couplage moteur :

Il y a deux possibilités de branchement du moteur au réseau électrique triphasé :

- Montage en étoile.
- Montage en triangle [Figure II.25).

Avec un branchement en étoile, la tension aux bornes de chacune des bobines est d'environ 230V. Dans le montage en triangle, chacune des bobines est alimentée avec la tension nominale du réseau (400V). On utilise le montage étoile si un moteur de 230V doit être relié sur un réseau 400V ou pour démarrer un moteur à puissance réduite dans le cas d'une charge avec une forte inertie mécanique [43].

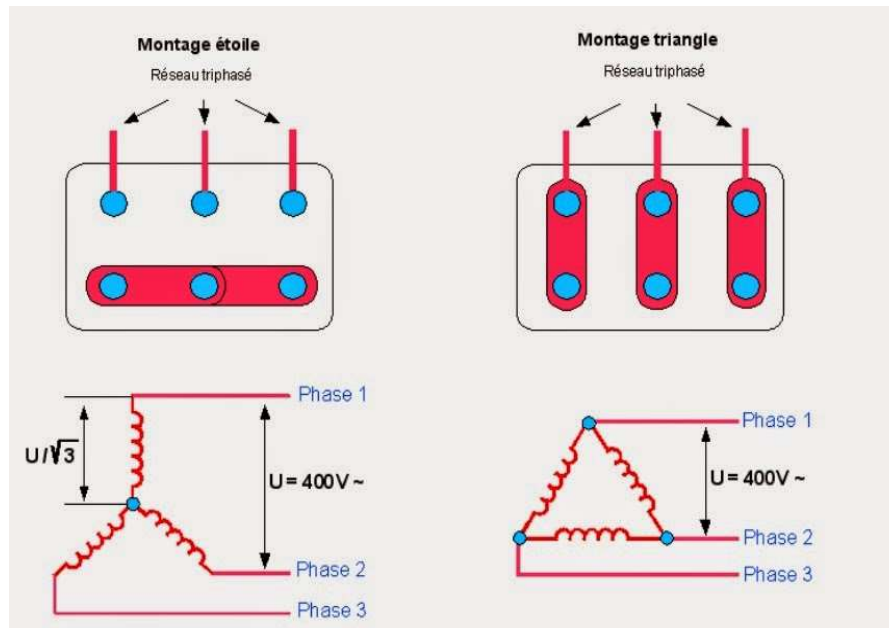


Figure II.25 : Schéma représentatif de couplage du moteur (étoile / triangle).

Ce type de moteur électrique est le plus commun dans l'industrie. En raison de sa conception simple, de son haut niveau de durabilité et de ses petites exigences d'entretien, ce qui en fait un équipement très fiable, le prix est également un point fort en sa faveur.

(c) Motoréducteurs :

En général, on peut définir un motoréducteur comme la combinaison d'un moteur électrique et d'un réducteur de vitesse dans un même dispositif mécanique

Ils proposent une solution performante pour ajuster la vitesse et le couple d'un moteur électrique en fonction des exigences précises d'une application spécifique.

L'une des principales tâches d'un motoréducteur est de diminuer la vitesse du moteur électrique tout en amplifiant le couple de sortie.

Autrement dit, il transforme la vitesse élevée et la basse puissance d'un moteur en une vitesse diminuée mais avec un couple plus important. Ceci réduit la consommation d'énergie nécessaire pour déplacer une charge spécifique.

On trouve divers types de motoréducteurs, chacun présentant des caractéristiques et bénéfices spécifiques. Leur nom découle du genre d'engrenage employé pour la transmission de mouvement.

Parmi les motoréducteurs les plus fréquemment rencontrés :

- **Motoréducteurs à engrenages hélicoïdaux** : Ils assurent un fonctionnement discret, une excellente performance énergétique et une solide capacité de charge. On les utilise fréquemment dans les applications qui requièrent un mouvement précis et une transmission de couple élevée.
- **Motoréducteurs à engrenages coniques** : Ils sont généralement employés lorsque des variations de direction du mouvement ou des transmissions à angle droit sont requises pour une utilisation spécifique. Ils proposent généralement une efficacité satisfaisante et une grande capacité de charge.
- **Motoréducteurs à vis sans fin** : Ces motoréducteurs exploitent la technologie de la vis sans fin pour transmettre la puissance, ce qui rend possible un taux de réduction élevé tout en occupant un espace limité. On les distingue par leur fonctionnement silencieux et leur précision élevée.
- **Motoréducteurs à engrenages planétaires** : Ils offrent un taux de réduction important dans un espace restreint, ainsi qu'une précision élevée et une importante capacité de charge. On les utilise fréquemment dans les applications qui nécessitent un fort couple et une vitesse de fonctionnement réduite.
- **Motoréducteurs à engrenages coaxiaux** : Ils proposent un fonctionnement en toute discrétion, une excellente performance énergétique et une importante capacité de charge. On les recommande pour produire un mouvement précis et garantir une transmission du couple élevée [39].

Les motoréducteurs disponibles dans notre zone comprennent les modèles suivants :

- ❖ **Motoréducteur de décanteur** : Le motoréducteur du décanteur constitue un composant essentiel du processus de décantation, facilitant l'actionnement des systèmes de raclage et d'élimination des boues. Il occupe une position cruciale pour l'opération optimale des ponts décanteurs, qui garantissent la séparation entre les particules solides et les boues. Notre STEP est équipé de deux bassins de décantation, chacun étant entraîné par son propre motoréducteur (Figure II.26).



Figure II.26: Motoréducteur de décanteur.

- ❖ **Motoréducteur d'épaississeur** : Il permet d'entraîner les mécanismes de raclage et d'évacuation des boues épaissies dans la station d'épuration.



Figure II.27 : Motoréducteur d'épaississeur.

Tableau II.3 : Les caractéristiques des motoréducteurs [35].

Motoréducteur	Marque	Type	Type de motoréducteur	Puissance	Vitesse de rotation
De décanteur	SEW EURODRIVE	SA70 R40 DT71D4 C TI	À engrenages cylindriques (hélicoïdaux)	0,37 kW	1,45 tr/min
D'épaississeur	SEW EURODRIVE	RF100R70 DT71D4 C TI	À engrenages cylindriques (hélicoïdaux)	0,37 kW	0,9 tr/min

d) Réducteurs :

Les réducteurs sont des dispositifs mécaniques installés pour transmettre les mouvements de rotation et diminuer la vitesse des moteurs électriques.

Les réducteurs, qui assurent une transmission de mouvement rotatif en diminuant la vitesse de rotation tout en multipliant le couple de sortie, sont couramment employés dans divers secteurs industriels. Selon la conception, ces éléments sont intégrés dans divers équipements tels que : les convoyeurs à bande, les élévateurs à godets, les dispositifs de levage (comme les ponts roulants), etc. [40].

On distingue plusieurs types de réducteurs adaptés à diverses applications :

- **Réducteur à vis et roue sans fin** : Il s'agit d'une sorte de réducteur, où le mécanisme de vis/roue sans fin peut également être employé dans des systèmes contrôlés. Ce dispositif est fréquemment employé dans des situations où une démultiplication importante est désirée ou lorsque l'irréversibilité du système garantit un fonctionnement adéquat.

- **Réducteurs à engrenages cylindriques / à arbres parallèles** : Le rôle de ce réducteur consiste à établir une liaison entre un arbre moteur et un arbre à entraîner en parallèle, tout en diminuant ou multipliant la vitesse motrice.
- **Réducteurs à couple conique** : Peu importe la direction du couple ou la vitesse d'entrée, les réducteurs à couple conique offrent toujours une haute efficacité. Ils consomment peu d'énergie et nécessitent un entretien minimal. Grâce à leur denture solide, ils présentent une grande durabilité et sont adaptés à un usage universel. Ils offrent puissance et résistance à l'usure, que ce soit avec des moteurs asynchrones triphasés ou des servomoteurs asynchrones ou synchrones.
- **Réducteurs à planètes** : L'axe du moteur est orienté selon l'axe de sortie pour le réducteur à engrenages planétaires. C'est l'option d'entraînement parfaite pour les machines à couples élevés et à espacement restreint [40].

Au sein des bassins d'aération de la station, on trouve six réducteurs qui ont une importance cruciale dans la procédure de traitement où ils autorisent l'entraînement des agitateurs qui agitent l'eau pour la saturer en oxygène. Ce procédé encourage l'activation de bactéries qui éliminent les matières dégradables présentes dans les eaux usées [35].



Figure II.28 : Réducteur d'aérateur (réducteur à engrenage hélicoïdal).

Tableau II.4 : Les caractéristiques des réducteurs [35].

Emplacement	Marque	Type	Vitesse d'entrée	Vitesse de sortie	Puissance
Aérateurs	Hansen Industrial Transmissions RNE 36 AN	À engrenages cylindriques (hélicoïdal)	1470 tr/min	40,86 tr/min	55 kW

(d) Surpresseur d'air :

Un surpresseur d'air est un appareil qui élève la pression de l'air comprimé pour répondre aux exigences industrielles nécessitant une pression supérieure. Il opère en absorbant l'air, le compressant puis le relâchant sous pression [41].

On distingue divers types de surpresseurs d'air, chacun étant conçu pour des usages particuliers. Voici les modèles principaux :

- **Surpresseur à lobes** : Deux rotors qui tournent en directions opposées sont utilisés pour déplacer l'air ou l'eau. On retrouve fréquemment leur utilisation dans les stations d'épuration et les industries ayant besoin d'un débit stable.
- **Surpresseur à vis** : Utilisent des rotors hélicoïdaux pour comprimer l'air ou le fluide. Ils sont plus performants en termes d'énergie que les surpresseurs à lobes.
- **Turbo surpresseurs** : Se servent d'une turbine pour compresser l'air à une grande vitesse. Ils sont conçus pour les applications qui requièrent une pression élevée et un débit conséquent.
- **Surpresseur à membrane** : Parfaits pour les systèmes qui requièrent une pression stable et sans fluctuations, tels que les systèmes d'eau potable.
- **Surpresseurs à vitesse variable** : Ils permettent d'ajuster la pression selon les besoins, optimisant ainsi l'utilisation de l'énergie [41].

Afin d'assurer une efficacité optimale du traitement des eaux usées, la STEP est dotée de surpresseurs d'air performants adaptés aux besoins du système.

- ❖ **Surpresseur Air Lift** : Le surpresseur Air Lift est un équipement utilisé dans les systèmes de dessalement et déshuilage pour faciliter la séparation des particules solides et des huiles. Il opère en injectant de l'air comprimé pour lifter et déplacer les substances en suspension vers la surface, où elles peuvent être collectées et évacuées.



Figure II.29 : Air Lift.

- ❖ **Surpresseur de brassage d'air** : Le surpresseur de brassage d'air est un équipement employé dans les stations d'épuration afin de garantir une distribution régulière des eaux usées et optimiser le transfert de l'oxygène. Il occupe une position cruciale dans le traitement biologique en empêchant la sédimentation et en stimulant l'activité des micro-organismes.

Dans les bassins d'aération : Garantissent un mélange efficace des eaux usées.

Traitement des boues activées : Stimule la croissance des bactéries aérobies.

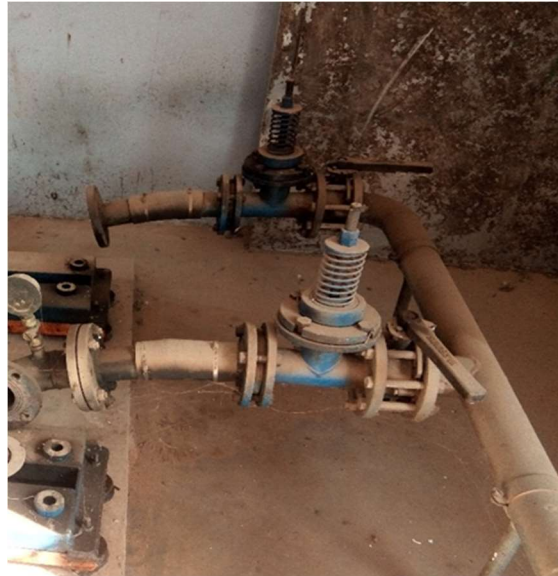


Figure II.30 : Surpresseur de brassage d'air.

Tableau II.5 : Les caractéristiques des surpresseurs.

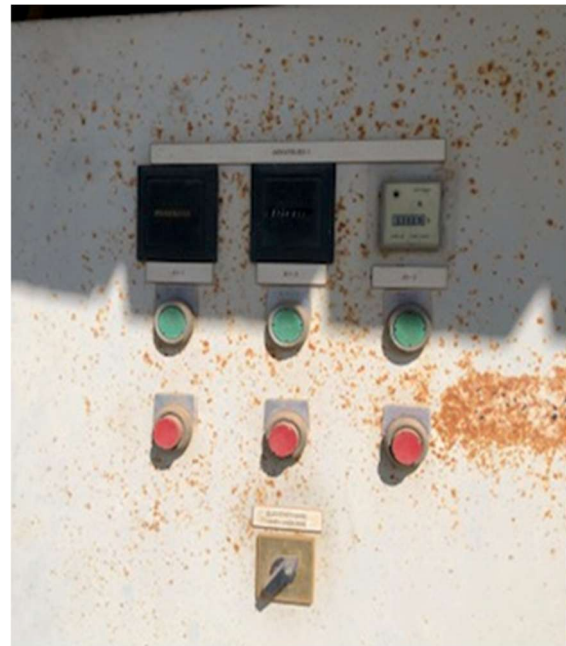
Surpresseur	Marque	Type	Puissance	Débit
Air Lift (Dessableur/Déshuileur)	HYDRO KJ	CP 78 version 3 A	2,2 kW	38 m ³ /h
De brassage d'air	MPO MONOBLOC	/	1,5 kW	/

(e) Les armoires électriques :

L'armoire électrique industriel joue un rôle crucial dans une installation électrique, puisqu'il regroupe, répartit et sécurise les divers circuits électriques de l'ensemble.

L'objectif principal du tableau électrique est de répartir l'électricité de manière sécurisée tout en protégeant les appareils et les individus contre divers problèmes électriques tels que les surcharges, les courts-circuits ou encore les défauts de terre. L'électricité est introduite dans le système à partir d'une source (réseau public ou générateur), avant d'être distribuée vers les divers circuits [42].

La simplicité des armoires électriques de la station d'épuration El Kouayer reflète l'utilisation de technologies plus anciennes. Ces armoires, conçues selon une logique basique et une structure traditionnelle, garantissent la gestion des dispositifs sans l'intégration de systèmes automatisés avancés. En outre, chaque installation spécifique est équipée de son propre armoire de contrôle, ce qui entraîne l'existence de plusieurs armoires électriques conçues pour différents processus de traitement. On trouve parmi celles-ci des unités consacrées aux bassins d'aération, aux pompes, aux dessableurs/déshuileurs, ainsi qu'aux installations de traitement biologique et de décantation (Figure II.31 – Figure II.35).



(a)

(b)

Figure II.31 : Armoire électrique d'aérateur.

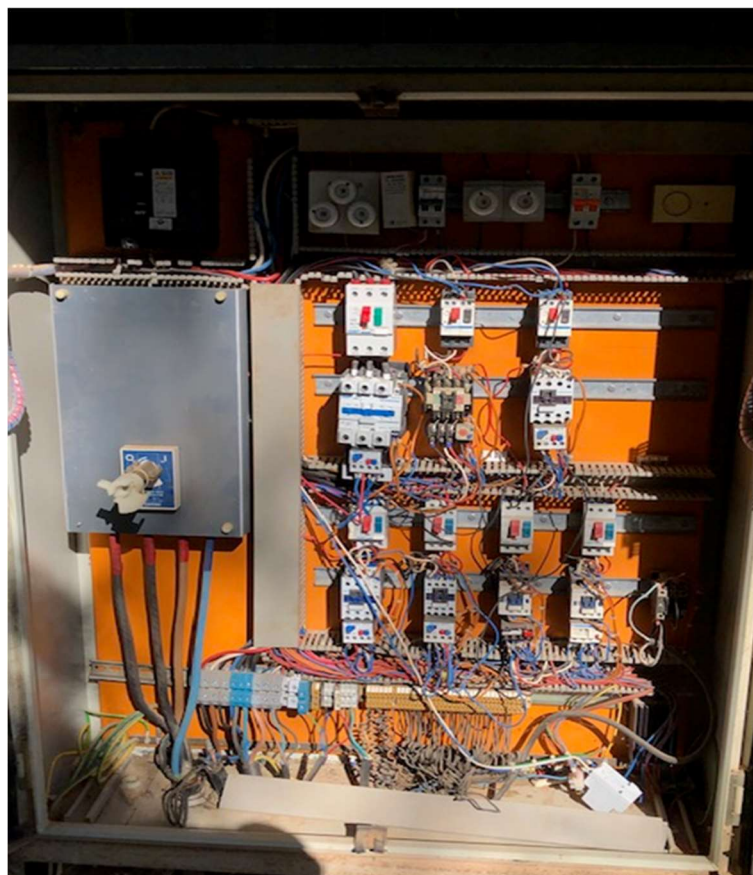
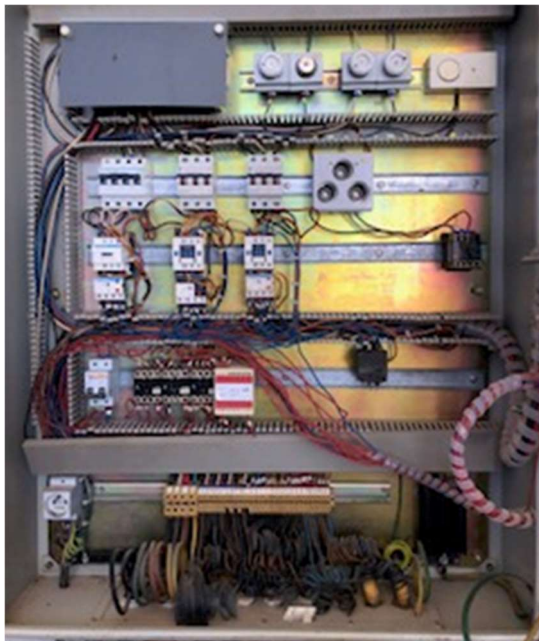


Figure II.32 : Armoire électrique de pompes de recirculation, pompe de boues en excès et décanteur.



(a)



(b)

Figure II.33 : Armoire électrique de la salle d'épaississement.



Figure II.34 : Armoire électrique de dessableur / déshuileur.



Figure II.35 : Armoire électrique du dégrilleur.

II.5. Conclusion :

En conclusion, l'étude de la STEP El Kouayer, Mascara met en évidence l'importance de ses infrastructures dans le processus de traitement des eaux usées. L'examen de son fonctionnement, de ses œuvres et de son matériel révèle que cette station utilise des technologies appropriées à ses exigences particulières, bien que certaines installations soient anciennes. L'éventail des dispositifs, depuis les unités de prétraitement jusqu'aux bassins de désinfection, garantit une gestion efficace des effluents et participe à la préservation de la qualité environnementale locale.

Cette description de la zone d'étude permet ainsi de mieux comprendre le rôle de la STEP El Kouayer et ses défis techniques, ouvrant la voie à une réflexion sur d'éventuelles améliorations et modernisations.

Dans le prochain chapitre, nous aborderons l'aspect de l'automatisation et de la supervision de **la partie prétraitement**, éléments clés pour optimiser la gestion de la station et améliorer son efficacité à long terme.

Chapitre III

Automatisation de la STEP.

III.1. Introduction :

Grâce à des progrès technologiques comme l'intelligence artificielle, la robotique avancée et les réseaux de communication, l'automatisation est désormais souvent perçue comme un outil crucial pour le contrôle, le suivi, la direction et la supervision des processus, dans le but d'optimiser l'efficacité, la précision, la sécurité ainsi que la rentabilité des activités industrielles.

L'automatisation est un domaine vaste qui trouve sa place dans plusieurs secteurs et industries, comme l'automatisation des stations d'épuration qui vise à améliorer l'efficacité du processus de traitement des eaux usées en minimisant l'intervention humaine et en renforçant la fiabilité des opérations.

Ce troisième chapitre traite de la problématique identifiée dans le fonctionnement de la station, ainsi que des solutions envisagées pour y remédier. Il présente l'approche d'automatisation retenue, en détaillant le choix de l'automate programmable (API), le logiciel de développement utilisé (TIA Portal), ainsi que l'interface homme-machine (IHM) assurant la supervision et le contrôle du système. L'ensemble vise à améliorer la performance, la fiabilité et la gestion du processus de traitement.

III.2. La structure de la STEP El Kouayer Mascara :

La structure définie de la station d'épuration El Kouayer à Mascara se divise en trois parties majeures : la partie opérative, qui englobe les équipements physiques essentiels au traitement, la partie de commande, qui facilite la gestion et le contrôle des opérations, et enfin la partie relation qui garantit l'interaction entre les opérateurs et le système. Cette organisation permet une gestion optimisée du processus, malgré l'absence d'automatisation avancée.

III.2.1. Partie opérative :

Cette partie est composée des équipements physiques assurant le traitement des eaux : dégrilleurs, bassins d'aération, bassins de décantation, pompes et moteurs.

Le processus est essentiellement mécanique et manuel, nécessitant une intervention humaine régulière pour le contrôle et les ajustements.

III.2.2. Partie commande :

Assure la gestion et le contrôle des équipements avec :

- **Salle de contrôle** : La salle de contrôle de la STEP El Kouayer est de type analogique équipée d'un synoptique mural électromécanique (**Figure III.1**), typique des installations construites avant l'ère numérique. Elle permettait initialement la supervision et le contrôle des différentes étapes du traitement des eaux usées [35].

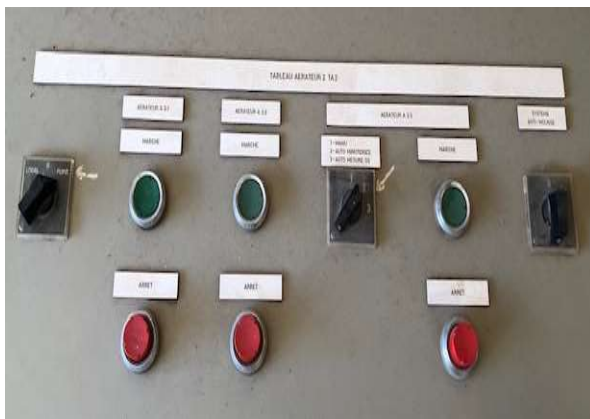
Ce type de salle de contrôle était couramment utilisé dans les STEP de taille moyenne ou grande avant la généralisation des systèmes SCADA et des interfaces homme-machine (IHM) sur PC. Elle permettait un suivi manuel efficace, mais avec moins de flexibilité qu'un système numérique moderne.



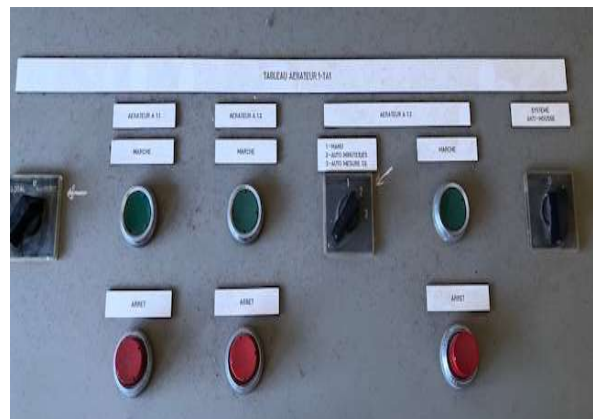
Figure III.1 : Salle de contrôle.

Dans cette salle de contrôle, des boutons de commande sont installés pour permettre l'activation et la désactivation des équipements (**Figure III.2**). Ces dispositifs manuels, comprenant interrupteurs, boutons-poussoirs et sélecteurs rotatifs, offrent aux opérateurs la possibilité de gérer le fonctionnement des pompes et autres systèmes de traitement des eaux [35].

- Interrupteurs pour activer/désactiver certains équipements.
- Boutons-poussoirs pour des commandes directes et instantanées.
- Sélecteurs rotatifs permettant de choisir les modes de fonctionnement.



(a)



(b)

Figure III.2 : Les différents boutons de commande.

III.2.3. Partie supervision (relation) :

La partie relation de la STEP El Kouayer à Mascara repose sur un ensemble de dispositifs permettant de surveiller, contrôler et sécuriser le fonctionnement des équipements. Parmi ces dispositifs :

Système d'alarmes : Indique les anomalies et les dysfonctionnements des équipements à l'aide de voyants lumineux (**Figure III.3**).



Figure III.3 : Indicateurs lumineux et alarmes de la STEP.

Afficheurs électromécaniques : Affichent des paramètres tels que le débit, la pression et le niveau en temps réel.



Figure III.4 : afficheurs et instruments de mesure.

Remarque :

La salle de contrôle de la station d'épuration El Kouayer est actuellement hors service. Cela implique que la supervision des équipements et l'ajustement des paramètres ne sont plus effectuels par la salle de contrôle. Désormais, les opérateurs effectuent manuellement les commandes et ajustements directement sur les dispositifs. Cette situation limite l'efficacité du suivi et de la gestion des alarmes, exigeant une supervision constante sur le terrain.

III.3. Problématique :

Actuellement, la station d'épuration El Kouayer fonctionne avec une technologie obsolète, avec une dégradation des systèmes de contrôle, ce qui entraîne à une gestion entièrement manuelle du processus d'épuration des eaux. Cette situation limite la précision de la surveillance, augmente la période d'intervention des techniciens et expose la station d'épuration à des risques de dysfonctionnement dus à l'absence de supervision automatique.

III.4. Solution proposée :

Pour remédier à ces problèmes, il est nécessaire de remplacer les relais de commande par un automate programmable industriel (API), ce qui permettrait d'évoluer d'une logique câblée vers une logique automatisée. Cette transition est basée sur les actions suivantes :

- Intégration des capteurs de débit et de niveau avec sortie numérique ou analogique standard pour assurer une régulation automatique du processus.
- Mettre en place un automate programmable industriel (API) S7-300, configuré et programmé via TIA Portal
- Remplacement des boutons de commande et des afficheurs électromécaniques par une interface IHM sous WinCC, offrant un contrôle intuitif et une surveillance en temps réel du fonctionnement des équipements.
- Mise en place d'un système SCADA à travers WinCC Advanced intégré dans TIA Portal.

Ce changement facilitera le passage d'une logique câblée à une logique automatisée, ce qui améliorera la performance, la fiabilité et l'efficacité du traitement des eaux.

III.5. Structure d'un système automatisé :

On qualifie de système de production automatisé celui qui est capable de gérer autonomement un cycle de travail prédéfini, qui se divise en étapes ou séquences. Les systèmes automatisés utilisés dans l'industrie possèdent une structure fondamentale identique. Ils se composent de plusieurs parties plus ou moins complexes reliés (**Figure III.5**), que nous appelons :

- **Partie opérative (PO)** qui assure la conversion de puissance et l'interaction avec le matériau.
- **Partie commande (PC)** qui garantit la mesure continue sur le processus, le traitement des données par rapport aux instructions et la gestion de la partie opérative.
- **Partie relation (pupitre de dialogue) (PR)**, également connu sous l'appellation interface homme/machine (IHM), qui permet de définir les consignes et de surveiller le progrès.

Les informations échangées entre ces parties sont des informations internes au système alors que les consignes, signalisation proviennent de l'extérieur [44].

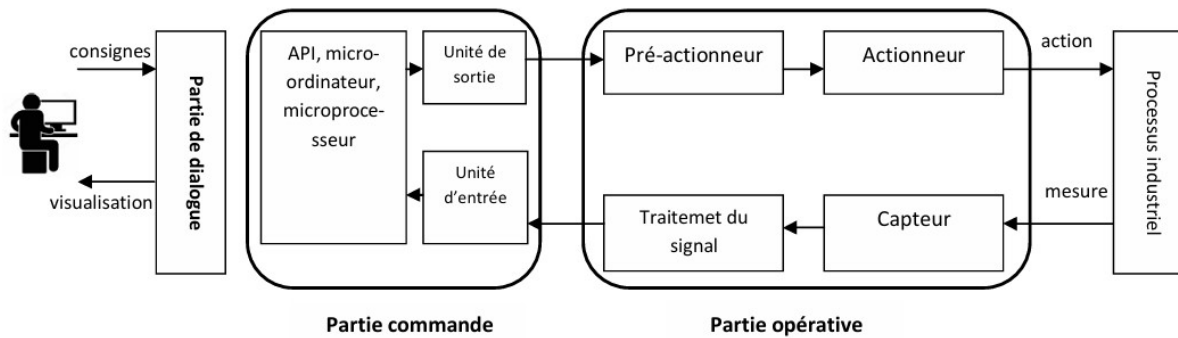


Figure III.5 : Structure d'un système automatisé.

III.5.1. Partie opérative (PO) :

C'est la partie visible du système, elle comprend les ensembles suivants :

- ❖ **L'unité de production** (effecteurs) a pour rôle d'effectuer la production ou la transformation pour laquelle elle contribue au processus industriel.
- ❖ **Les pré actionneurs**, qui dépendent directement des actionneurs et sont indispensables à leur fonctionnement (par exemple, un distributeur pour un vérin, etc.).
- ❖ **Les actionneurs** apportent à l'installation de production l'énergie mécanique requise pour son opération, provenant d'une source d'énergie externe. Ils transforment l'énergie pneumatique (air comprimé), hydraulique (huile sous pression) ou électrique en énergie mécanique. Ils se présentent sous différentes formes comme :
 - Moteurs : hydraulique, pneumatique, électriques.
 - Vérins : linéaires (1 ou 2 tiges) rotatifs, sans tige.
- ❖ **Les capteurs** qui génèrent des données utilisables par la partie commande à partir de différentes grandeurs physiques (déplacement, température, pression, etc.) [44].

Ils existent sous différents types comme :

- Capteurs mécaniques, pneumatiques ou électriques.
- Capteurs magnétiques montés sur es vérins.
- Capteurs pneumatiques à chute de pression.

III.5.2. Partie commande (PC) :

Ce secteur de l'automatisme assure la suite logique des opérations à effectuer. Il reçoit des données provenant des capteurs placés dans la PO, puis les renvoie vers cette même PO en direction des pré-actionneurs (distributeurs).

La partie de commande est constituée des ensembles suivants :

- ❖ **Les interfaces d'entrée** : qui convertissent les données provenant des capteurs situés dans la partie opérative ou la partie dialogue en informations de nature et d'amplitude conformes aux spécifications technologiques du système.
- ❖ **Les interfaces de sortie** : qui convertissent les données traitées par l'unité de traitement en informations adaptées et étendues, compatibles avec les spécificités technologiques des pré actionneurs d'un côté, et des visualisations et avertisseurs de l'autre.
- ❖ **L'unité de traitement** : (automates programmables industriels, ordinateur, microprocesseurs) qui formule les instructions destinées aux actionneurs en se basant

sur les données collectées des divers capteurs et le fonctionnement à mettre en œuvre [44].

III.5.3. Partie relation (PR) :

Le partie relation (supervision) est constituée de deux ensembles :

- ❖ Les visualisations et systèmes d'alerte qui convertissent les données produites par l'automate en informations perceptibles par l'homme (informations visuelles ou sonores).
- ❖ Les capteurs qui transforment les données fournies par l'utilisateur (intervention manuelle sur un bouton poussoir) en informations utilisables par l'automate [44].

III.6. Automate programmable industriel (API) :

III.6.1. Historique :

Les Automates Programmables Industriels (API) ont fait leur apparition aux États-Unis vers 1969, en réponse à la demande des industries automobiles américaines (General Motors) pour développer des chaînes de production automatisées capables de s'adapter à l'évolution des techniques et modèles de fabrication.

Les ingénieurs américains ont trouvé une solution en développant un nouveau type de produit nommé automates programmables. Ces systèmes n'étaient rentables que pour des installations d'une certaine complexité, mais les circonstances ont rapidement évolué, rendant donc les systèmes câblés obsolètes [45].

Aujourd'hui, une variété d'automates est accessible, allant des nano automates adaptés aux équipements et installations simples avec un nombre limité d'entrées/sorties, jusqu'aux automates multifonction qui peuvent gérer plusieurs milliers d'entrées/sorties et sont conçus pour contrôler des processus complexes.

III.6.2. Définition :

Un automate programmable industriel (Programmable Logic Controller, PLC) est un dispositif électronique conçu pour gérer et superviser en temps réel les processus industriels et tertiaires. Il exécute des instructions introduites dans ses mémoires sous forme de programmes, ce qui le rapproche des machines de traitement de données [45].

Les automates programmables effectuent des tâches d'automatisation qui sont traduites en programmes d'application. L'utilisateur spécifie comment l'automate doit gérer l'installation à travers une suite d'instructions. Le programme doit être rédigé dans un langage déterminé selon des normes précises pour permettre à l'automate de l'exécuter. Dans ce contexte, les automates de la gamme SIEMENS sont configurés à l'aide du logiciel TIA PORTAL ou STEP7 via une console de programmation ou un PC, et sous un environnement WINDOWS.

III.6.3. Nature des informations traitées par l'automate :

Les informations peuvent être de type :

- **Tout ou rien (T.O.R.)** : l'information ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1). C'est le type d'information délivrée par un détecteur, un bouton poussoir etc. ...

- **Analogique** : l'information est continue et peut prendre une valeur comprise dans une plage bien déterminée. C'est le type d'information délivrée par un capteur (pression, température ...)
- **Numérique** : l'information est contenue dans des mots codés sous forme binaire ou bien hexadécimale. C'est le type d'information délivrée par un ordinateur ou un module intelligent [45].

III.6.4. L'architecture d'un automate programmable industriel :

Un automate programmable se définit comme un ensemble de cartes ou de circuits imprimés sur lesquels sont installés des éléments électriques intégrés. Sa structure ressemble de manière significative celle d'un micro-ordinateur. Étant donné que chaque fabricant présente sa propre conception, il est difficile de donner une configuration universelle applicable à tous les types d'automates.

Les éléments principaux que l'on rencontre toujours sont :

- **Une unité centrale (CPU)** : C'est le cerveau de l'automate, Contient un processeur, une mémoire RAM/ROM/Flash, une horloge, et parfois une batterie.
Elle exécute le programme utilisateur, traite les entrées, met à jour les sorties.
- **Une mémoire** : Un système de processeur est accompagné par un ou plusieurs types de mémoires. Elles permettent :
 - De stocker le système d'exploitation dans des ROM ou PROM,
 - Le programme dans des EEPROM,
 - Les données système lors du fonctionnement dans des RAM. Cette dernière est généralement secourue par pile ou batterie. On peut en règle générale, augmenter la capacité mémoire par adjonction de barrettes mémoires type PCMCIA.
- **Des modules d'entrées-sorties** :
 - Entrées : reçoivent des signaux des capteurs (ex. bouton, capteur de niveau).
 - Sorties : envoient des commandes vers les actionneurs (ex. moteur, vanne).
- **Interfaces d'entrées-sorties** : Les entrées/sorties Tout ou Rien (TOR) permettent une intégration directe de l'automate dans son environnement industriel en réalisant la connexion entre le processeur et le processus. Elles possèdent une fonction double :
 - Une fonction d'interface pour la réception et le traitement de signaux provenant de sources externes (capteurs, boutons poussoirs, etc.), ainsi que pour la transmission de signaux vers l'extérieur (commande de pré-actionneurs, indication par voyants lumineux, etc.).
La conception de ces interfaces intégrant une isolation galvanique ou un découplage optoélectronique garantit la sécurisation de l'automate contre les interférences parasites.
 - Une fonction de communication pour l'échange des signaux entre l'unité centrale et le bus d'entrée/sortie.
- **Une alimentation** : Alimente tous les composants internes (généralement 24 V DC ou 230 V AC) [46].

La structure interne d'un automate programmable industriel (API) est assez similaire à celle d'un système informatique simple (**Figure III.6**). Le processeur et la mémoire centrale constituent l'unité centrale. Elle s'occupe de l'interprétation et de l'exécution des instructions

programmées, qui sont exécutées séquentiellement grâce à une horloge. Deux catégories de mémoire coexistent :

- **La mémoire programme** où est stocké le langage de programmation. Généralement, elle est figée, c'est-à-dire accessible uniquement en lecture (ROM : Read-Only Memory).
- **La mémoire de données** utilisable en lecture-écriture pendant le fonctionnement c'est la RAM (mémoire vive). Elle s'inscrit dans le système des entrées et sorties. Elle fixe les valeurs (0 ou 1) présentes sur les lignes d'entrée ; à chaque prise en compte cyclique de ces dernières, elle enregistre les valeurs calculées destinées aux sorties [46].

Les API peuvent être compacts ou modulaires :

Le type compact (monobloc) : possède un nombre d'entrées et de sorties restreint et son jeu d'instructions ne peut être augmenté. Ce type est conçu pour gérer des automatismes simples en se basant sur la logique séquentielle et en utilisant des données TOR.

Le type modulaire : est adaptable à toutes situations. Selon le besoin, des modules d'E/S analogiques sont disponibles en plus de modules spécialisés tels : PID, BASIC, Langage C, La modularité permet un dépannage rapide et une plus grande flexibilité.

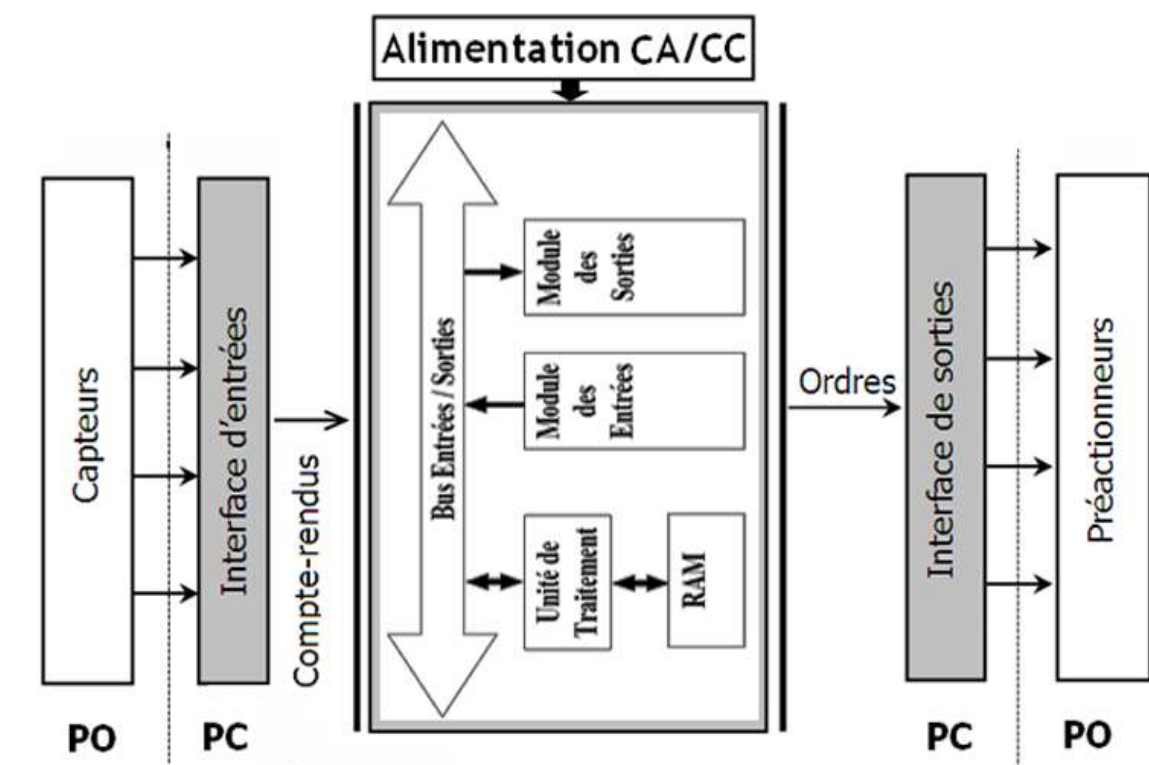


Figure III.6 : Structure interne d'un automate programmable industriel [46].

III.6.5. Traitement du programme automate :

Tous les automates fonctionnent selon le même mode opératoire (Figure III.7) :

- **Traitement interne** : L'automate réalise des opérations de contrôle et actualise certains paramètres système (détection des passages RUN/STOP, mises à jour des valeurs de l'horloge, etc.).
- **Lecture des entrées** : L'automate procède à la lecture des entrées (de manière synchronisée) et les recopie dans la mémoire image des entrées.
- **Exécution du programme** : L'automate exécute le programme étape par étape et écrit les résultats dans la mémoire d'image des sorties.
- **L'écriture des sorties** : est réalisée par l'automate en basculant de manière synchrone les différentes sorties vers les positions définies dans la mémoire image des sorties [45].

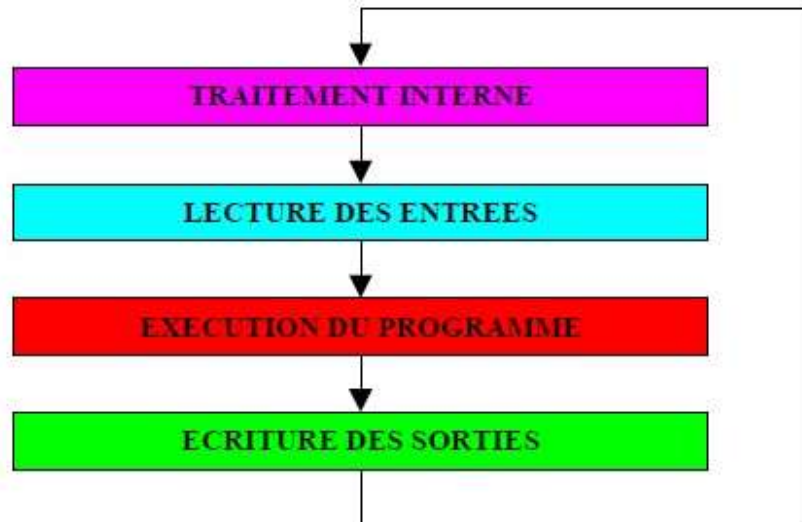


Figure III.7 : Fonctionnement cyclique d'un automate.

L'automate effectue continuellement ces quatre opérations (fonctionnement par cycles). La scrutation fait référence à l'ensemble des quatre opérations effectuées par l'automate, et le temps de scrutation correspond au délai nécessaire pour que l'automate traite une partie identique du programme. Pour les applications standards, ce temps est généralement de l'ordre de la dizaine de millisecondes [45].

III.6.6. Les critères de choix d'un API :

Le choix d'un automate programmable industriel (API) dépend sur divers critères essentiels afin d'assurer une automatisation performante et conforme aux exigences du système. Voici les critères majeurs à prendre en compte :

Nombre d'entrées/sorties :

- Déterminer le nombre de capteurs et actionneurs à connecter.
- Choisir entre entrées/sorties numériques et analogiques selon les exigences du processus.

Capacité de traitement et mémoire :

- Vitesse du processeur : Influence la rapidité d'exécution des tâches.
- Mémoire RAM et EEPROM : Stockage des programmes et des données.

Communication et réseaux industriels :

- Protocoles supportés : Modbus, Profibus, Profinet, Ethernet/IP, etc.
- Compatibilité avec des équipements tiers (variateurs, capteurs, IHM)
- Possibilité de connexion à un SCADA ou à un système de supervision à distance

Modularité et évolutivité :

- Possibilité d'ajouter des modules d'extension pour des fonctionnalités supplémentaires.
- Adaptabilité aux évolutions du système industriel.

Compatibilité avec le logiciel de programmation :

- API compatible avec des outils modernes comme TIA Portal (pour Siemens)
- Simplicité d'utilisation
- Langages supportés : LADDER, ST, GRAFCET, FBD, SCL...

Robustesse et environnement d'utilisation :

- Conditions environnementales : température, humidité, poussière.
- Compatibilité avec des environnements agressifs.

Fonctions intégrées :

- Horloge temps réel, communication série, entrées rapides, régulation PID intégrée.
- Fonctions de sécurité.
- Intégration d'une interface Web, gestion à distance [46].

III.6.7. Automate S7-300 :

Le Simatic S7-300 (**Figure III.8**) est un automate programmable (PLC) appartenant à la gamme Simatic S7 de Siemens. Il est conçu pour répondre aux exigences des applications industrielles.



Figure III.8 : API S7-300.

Le Siemens S7-300 est un automate programmable industriel réputé pour sa fiabilité, sa modularité et ses performances. Conçu pour les applications d'automatisation de complexité moyenne à élever.

Il dispose d'une architecture modulaire qui permet d'ajuster facilement la configuration du système en fonction des besoins spécifiques du processus. Grâce à ses capacités de communication avancées, le S7-300 peut s'intégrer dans des réseaux industriels via des interfaces comme MPI, Profibus ou Profinet, assurant ainsi une connexion rapide et stable entre les divers composants de l'installation : capteurs, actionneurs, systèmes de supervision, etc.

Il est programmé à l'aide du logiciel STEP 7 (Simatic Manager) ou TIA Portal, un environnement de développement fiable qui prend en charge plusieurs langages de programmation normalisés (LAD, FBD, STL, GRAPH). Le S7-300 offre également de nombreuses fonctions intégrées telles que la régulation PID, la gestion des entrées/sorties analogiques et numériques, ainsi que des blocs fonctionnels personnalisables [47].

Pour faire simple, le contrôleur Simatic S7-300 est un appareil polyvalent et performant. Il propose une flexibilité significative, une communication efficace et sûre, une facilité d'exploitation et une performance élevée afin de s'ajuster aux transformations du secteur industriel.

C'est un choix évident pour renforcer la sécurité et la performance des équipements et installations des stations de traitement des eaux usées.

III.7. Les capteurs :

III.7.1. Définition :

Un capteur est un élément technique qui repère un phénomène physique lié au fonctionnement du système (comme la présence d'une pièce ou la température) et convertit ce phénomène en un signal exploitable par la partie commande de ce système. Ce signal prend généralement la forme d'un signal électrique à basse tension.

Les informations détectées par un capteur peuvent être très variées, ce qui entraîne une multitude de besoins en matière de capteurs. Parmi les capteurs les plus couramment utilisés, on peut mentionner capteur position, de présence, de vitesse, de température et le niveau [48].

III.7.2. Nature de l'information fournie par un capteur :

Selon sa nature, l'information qu'un capteur transmet à la PC peut être :

- **Logique** : L'information peut uniquement avoir les valeurs 1 ou 0 ; on se réfère alors à un capteur Tout ou Rien (TOR).
- **Analogique** : Les données peuvent varier entre deux valeurs limites définies.
- **Numérique** : Les données recueillies par le capteur offrent à la PC la possibilité d'en déduire un nombre binaire de n bits ; on désigne cela comme un capteur numérique [48].

III.7.3. Caractéristiques des capteurs :

Tous les capteurs possèdent certains paramètres. Ils définissent les contraintes d'application et facilitent le choix d'un capteur :

- **L'étendue de mesure** : il s'agit de la différence entre le signal le plus petit détectable et le signal majeur qui peut être perçu sans endommager le capteur.
- **La sensibilité** : ce critère définit la capacité du capteur à détecter la plus petite variation de la mesure en question. Il s'agit du rapport entre la variation V du signal électrique sortant pour une variation spécifique de la grandeur physique d'entrée.
- **La fidélité** : On considère qu'un capteur est fidèle s'il délivre un signal constant en sortie pour une série de mesures correspondantes à la même valeur de la grandeur physique d'entrée, sans variations dans le temps. Il représente l'impact du vieillissement.
- **Le temps de réponse** : il s'agit de l'espace de temps entre la variation de la mesure physique effectuée par un capteur et l'instant où cette donnée est prise par la partie de commande [48].

III.7.4. Capteur de niveau :

Les capteurs de niveau sont des dispositifs utilisés pour déterminer la hauteur d'un liquide ou d'un solide dans un réservoir, une cuve ou un bassin. Ils offrent la possibilité de contrôler le niveau de remplissage, d'éviter les débordements et d'optimiser les processus industriels.

a) Types de capteurs de niveau :

- ❖ **Flotteurs** : Ils sont simples et peu coûteux, détectant le niveau d'un liquide par l'intermédiaire d'un flotteur qui monte ou descend.
- ❖ **Capteurs capacitifs** : Utilisés pour les matières liquides et solides, ils repèrent les variations dans la capacité électrique.
- ❖ **Capteurs à ultrasons** : Ils fonctionnent sans contact et évaluent la distance entre le capteur et la surface du liquide.
- ❖ **Capteurs radar** : Précision haute, conçus pour des conditions environnementales difficiles et des liquides agressifs.
- ❖ **Capteurs hydrostatiques** : Ils fonctionnent sur la base de la pression du liquide, parfaitement adaptés aux réservoirs en profondeur.

b) Capteur de niveau recommandés pour STEP :

Pour assurer une automatisation efficace de la partie prétraitement de la STEP El Kouayer, l'utilisation de plusieurs capteurs est recommandée afin de garantir un suivi précis des paramètres clés. L'intégration de capteurs de niveau facilitera la surveillance du remplissage des bassins et évitera les débordements.

Pour notre station d'épuration, les capteurs de niveau radar et ultrasoniques sont les mieux adaptés (**Tableau III.1**). Leur fonctionnement sans contact, leur fiabilité dans un environnement humide et leur capacité à donner des mesures précises malgré la présence de vapeur, mousse ou matières agressives en font des choix privilégiés.

Tableau III.1 : Capteurs de niveau recommandés pour STEP.

Type de capteur	Marque	Modèle	Sortie
Ultrason	Siemens	SITRANS Probe LU	4-20 mA, sortie digitale
Ultrason	Vega	VEGAPULS C21	4-20 mA, HART
Ultrason	Endress+Hauser	Prosonic M	4-20 mA, HART
Radar	Siemens	SITRANS LR250	4-20 mA, HART
Radar	Vega	VEGAPULS 64	4-20 mA, HART

III.7.5. Capteur de débit :

Les capteurs de mesure de débit sont des dispositifs utilisés pour mesurer le volume de liquide qui s'écoule dans une canalisation sur une période donnée. Ils sont essentiels pour optimiser les processus industriels, gérer les ressources et surveiller les performances liées à l'hydraulique.

a) Types de capteurs de débit :

- ❖ **Débitmètres électromagnétiques** : Ils se servent d'un champ magnétique pour mesurer la vitesse des fluides conducteurs.
- ❖ **Débitmètres à ultrasons** : Mesures la durée de passage des ondes sonores à travers le fluide.
- ❖ **Débitmètres à effet vortex** : Ils détectent les tourbillons créés par l'écoulement du fluide.
- ❖ **Débitmètres à turbine** : Se servent d'une hélice tournante pour mesurer le débit du fluide.
- ❖ **Débitmètres à pression différentielle** : Ils utilisent les variations de pression entre deux zones pour déterminer le débit.

b) Capteurs de débit recommandés pour STEP :

Pour une station d'épuration (STEP), le choix du capteur de débit dépend du type de fluide à mesurer et des conditions d'exploitation.

Capteurs de débit recommandés pour une STEP : capteurs électromagnétiques, ultrasoniques et vortex (**Tableau III.2**), en raison de leur précision, de leur fiabilité et de leur capacité à fonctionner avec des fluides chargés ou agressifs.

Tableau III.2 : Capteurs de débit recommandés pour STEP.

Type de capteur	Marque	Modèle	Sortie
Débitmètre électromagnétique	Siemens	SITRABS FM MAG 5100W	4-20 mA, HART
Débitmètre électromagnétique	Endress+Hauser	Proline Promag 50	4-20 mA, HART
Débitmètre à ultrasons clamp-on	Siemens	SITRANS FS230	Sortie digitale / analogique
Débitmètre à ultrasons clamp-on	Krohne	Waterflux 3070	4-20 mA
Débitmètre vortex	Endress+Hauser	Proline Prowirl 200	4-20 mA

III.8. Interface Homme Machine (IHM) :

L'IHM (Interface Homme-Machine) est un panneau de commande tactile originaire de la gamme SIMATIC HMI Basic Panel de Siemens. (Un système interactif) est conçu pour simplifier la vérification et l'accès aux informations de la carte d'identité électronique (favoriser l'interaction entre les opérateurs et les logiciels ou les appareils), aussi appelée TP, abréviation de « Touchscreen, and Pointer » (Clavier, Écran tactile et Pointeur).

L'IHM TP possède d'une interface PROFINET, une interface de communication industrielle qui offre la possibilité de connecter des équipements d'automatisation comme les capteurs, les actionneurs et les contrôleurs à un réseau industriel.

Le TP1200 COMFORT PN est une variante particulière d'IHM développée par Siemens (**Figure III.9**). Il se caractérise par les fonctionnalités suivantes :

- Écran tactile : Il est équipé d'un écran couleur TFT (Thin Film Transistor) de 12 pouces proposant une haute résolution (800x600 pixels). Cet écran tactile fournit aux utilisateurs une représentation claire et intuitive des informations de processus.
- Communication : Le TP1200 COMFORT PN est doté d'une interface de communication Profinet (PN) Ethernet industriel, un protocole servant à établir une connexion et à échanger des informations entre les automates programmables et d'autres dispositifs conformes au Profinet.
- Fonctionnalités avancées : Le TP1200 COMFORT PN est capable de gérer des fonctionnalités sophistiquées comme la gestion des alarmes et l'enregistrement des données. La visualisation des tendances, etc. avec des éléments tels que des boutons, des indicateurs, des graphiques, des tableaux, etc.
- Mémoire : Il possède une capacité de mémoire interne de 12 Mo, ce qui lui donne la possibilité de stocker les programmes et les données de l'utilisateur. Elle peut aussi être dotée d'une carte mémoire externe.
- Montage et intégration : L'IHM est prévue pour un montage en panneau, indiquant qu'elle peut être directement montée sur le tableau de commande de l'équipement.

- Connexion : L'HMI propose diverses options de connexion, dont deux ports Ethernet, deux ports USB pour brancher des appareils et une interface PROFI Energy pour la gestion de l'énergie.
- Programmation : On peut programmer le TP1200 COMFORT PN en utilisant le logiciel d'ingénierie TIA Portal de Siemens. Il gère l'emploi de WinCC Basic pour la conception d'interfaces utilisateurs et l'établissement des caractéristiques de l'HMI [47].

Ces fonctionnalités permettent aux utilisateurs de surveiller et de contrôler efficacement les processus industriels.



Figure III.9 : IHM TP1200 Comfort.

En résumé, l'IHM TP1200 COMFORT PN de Siemens est une interface homme machine graphique tactile. Conçu pour fournir une interface graphique utilisateur permettant de contrôler et de surveiller les processus d'automatisation dans les environnements industriels.

III.9. TIA PORTAL (Totally Integrated Automation Portal) :

Le logiciel d'automatisation industrielle TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) a été conçu par Siemens. Il comprend un environnement de programmation graphique (SIMATIC STEP 7) pour la programmation des automates programmables, un outil de configuration des périphériques (SIMATIC WinCC) pour l'interface opérateur, un système de gestion de projet pour structurer les projets d'automatisation, et d'autres fonctionnalités comme la simulation et le débogage qui facilitent une mise en service plus rapide et diminuent les temps d'arrêt. Cela entraîne finalement une augmentation de la productivité et une amélioration de la rentabilité.



Figure III.10 : logiciel de programmation TIA PORTAL V16.

Ainsi, une mise en service rapide avec une localisation efficace des erreurs, ainsi qu'une maintenance et un diagnostic à distance faciles avec un serveur Web et un téléservice.

L'objectif principal de TIA Portal est de simplifier le processus de développement des systèmes d'automatisation en fournissant une interface unifiée et des outils intégrés.

TIA Portal permet d'intégrer tous les composants clés de notre projet d'automatisation, y compris la sûreté, la sécurité, le contrôle, l'IHM, les entraînements, les périphériques décentralisés, le contrôle de mouvement et la distribution d'alimentation

Le logiciel dispose d'une bibliothèque complète de blocs fonctionnels prédéfinis et de modules standardisés qui peuvent être facilement intégrés dans un projet.

En résumé, TIA PORTAL est une suite logicielle puissante et polyvalente qui peut nous aider à rationaliser le processus de programmation de l'API S7-300 et d'autres automates Siemens. Avec son architecture évolutive, son interface utilisateur intuitive, ses bibliothèques étendues et son intégration transparente avec d'autres progiciels, TIA PORTAL est l'outil ultime pour notre projet [47].

III.9.1. Programmation :

L'un des principaux avantages de l'utilisation du logiciel TIA Portal est sa flexibilité et sa polyvalence. Il prend en charge différents langages de programmation, tels que :

a) Ladder Diagram (LAD) - Langage à contacts :

Langage graphique basé sur la logique des relais (**Figure III.11**), utilisé pour représenter des circuits électriques sous forme de schéma facile à comprendre pour les électriciens et automaticiens, idéal pour les logiques combinatoires et les séquences simples. Il est largement utilisé en automatisation industrielle pour sa lisibilité et sa simplicité [47].

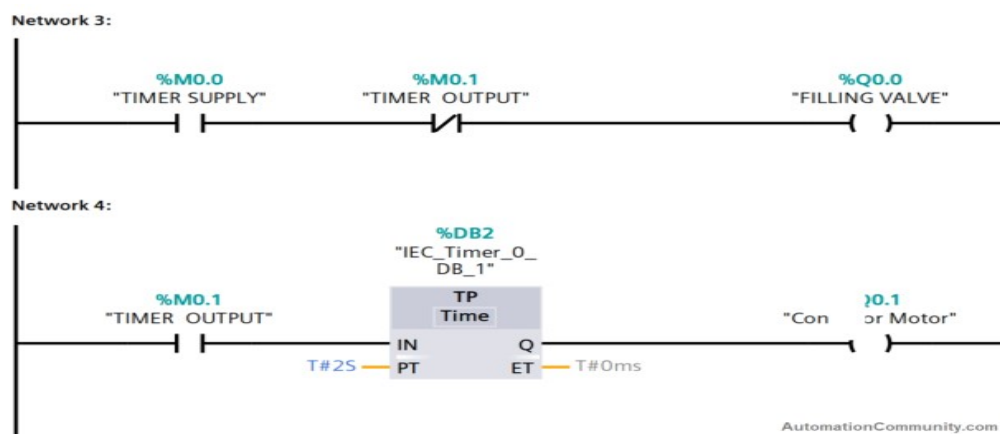


Figure III.11 : Ladder Diagram (LAD).

b) Structured Text (ST) - Texte structuré :

Langage textuel de haut niveau, similaire au Pascal, utilisé pour des calculs complexes et des boucles (**Figure III.12**). Syntaxe proche des langages de programmation classiques, idéal pour les algorithmes avancés [47].

```

x : BOOL;

P_STEP : INT;
END_VAR

P_STEP := 3;

CASE PROGRAM_STEP OF
1: P_STEP := P_STEP+1;
2: P_STEP := P_STEP+2;
3: P_STEP := P_STEP+3;
ELSE
PROGRAM_STEP := PROGRAM_STEP+10;
END_CASE;

LIMIT_SWITCH1 := TRUE;
LIMIT_SWITCH2 := FALSE;

IF LIMIT_SWITCH1 OR LIMIT_SWITCH2 THEN
OUTPUT5 := FALSE;
P_TRIGGER := TRUE;
END_IF;

```

ST
IEC 61131-3

Figure III.12 : Structed Text (ST).

c) Function Block Diagram (FBD) - Langage à blocs fonctionnels :

Le Function Block Diagram (FBD) est un langage graphique utilisé dans la programmation des automates programmables industriels (API). Il repose sur des blocs fonctionnels (**Figure III.13**), qui traitent les entrées et produisent des sorties, permettant de concevoir des systèmes de contrôle structurés et intuitifs [47].

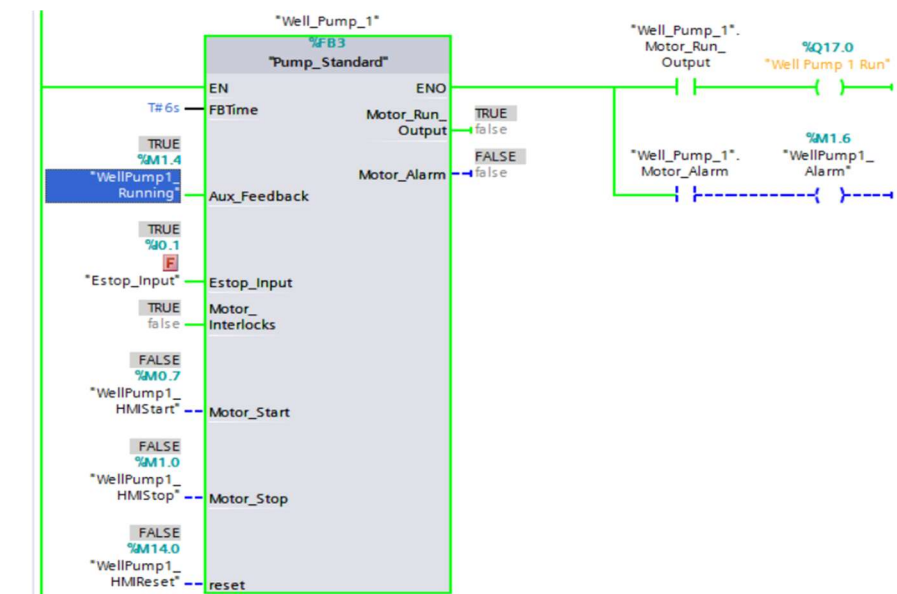


Figure III.13 : Function Block Diagram (FBD).

d) Statement List (STL) :

Le Statement List (STL) est un langage de programmation textuel de bas niveau (**Figure III.14**), proche du langage assembleur, utilisé principalement dans les automates Siemens comme les S7-300 et S7-400. Il permet un contrôle précis du matériel et une exécution rapide des instructions [47].

Siemens S7 Statement List (STL) <i>by category</i>		Note: For Compare and Math	Shift/Rotate
Bit logic		I Integer (16 bit)	SSI Shift Sign Integer
A And		D Double Integer (32 bit)	SSD Shift Sign Double Integer
AN And Not		R Real - Floating Point (32 bit)	SLW Shift Left Word
O Or			SRW Shift Right Word
ON Or Not			SLD Shift Left Double Word
X Exclusive Or		Compare if true RLO = 1	SRD Shift Right Double Word
XN Exclusive Or Not		==I ==D ACC2 is equal to ACC1	RLD Rotate Left Double Word
FN Edge Negative		<>I <>D ACC2 is not equal to ACC1	RRD Rotate Right Double Word
FP Edge Positive		>I >D ACC2 is greater then to ACC1	RLDA Rotate ACC1 Left via CC 1
() Nesting		>R ACC2 is greater then equal to ACC1	RRDA Rotate ACC1 Right via CC 1
= Assign		<I <D ACC2 is less then to ACC1	
R Reset		<R ACC2 is less then equal to ACC1	
S Set		Math	Accumulator
NOT Negate RLO		Add Integer	TAK Toggle ACC1 with ACC2
SET Set RLO (=1)			

Figure III.14 : Statement List (STL).

e) S7 Graph (GR / Graph) :

Le S7 Graph est un langage graphique séquentiel basé sur le Grafcet (Figure III.15), utilisé pour programmer des processus industriels par étapes. Il est particulièrement adapté aux machines automatisées et aux systèmes séquentiels [47].

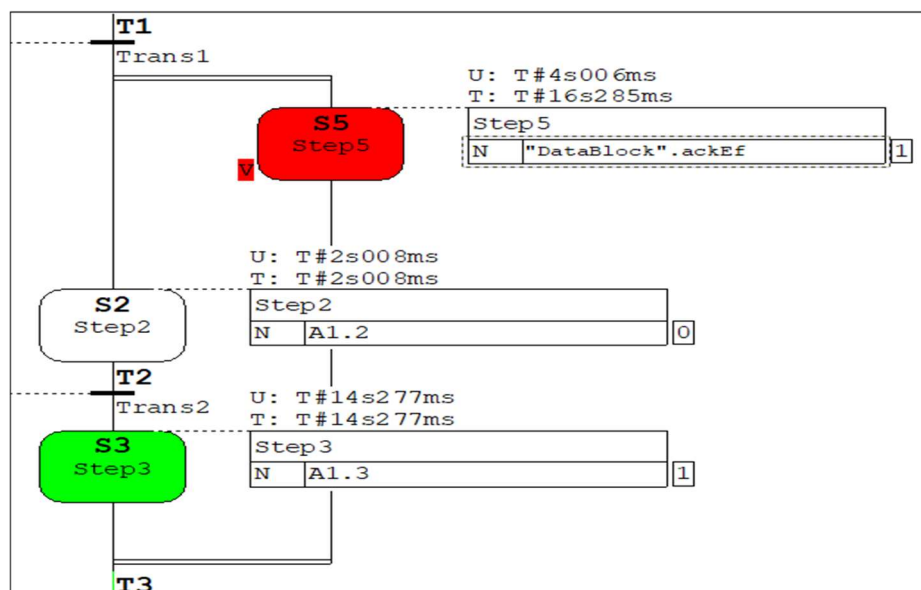


Figure III.15 : S7 Graph.

III.9.2. Les blocs TIA PORTAL :

Les blocs sont utilisés pour regrouper des instructions afin d'effectuer des tâches spécifiques. Ils aident à organiser le logiciel, à le rendre plus lisible et à en faciliter la maintenance.

- Blocs de fonctionnement du système (SFB) : fournis par Siemens, les blocs de fonction du système offrent une fonctionnalité prédéfinie pour effectuer des tâches spécifiques au système, y compris la communication, le diagnostic, la gestion des alarmes, etc.

- Les blocs des fonctionnalités technologiques (SFC) sont utilisés pour mettre en œuvre des fonctions qui sont exclusives d'une application donnée, telles que le contrôle du mouvement, le contrôle des processus, etc...
- Blocs de fonction (FB) : Les blocs de fonction sont des blocs autonomes qui peuvent être utilisés pour héberger des fonctionnalités spécialisées et qui sont appelés à partir d'autres parties du programme. Ils sont utilisés pour développer des fonctions et des sous-programmes spécialisés.
- Blocs de données (DB) : Les blocs de données sont utilisés pour spécifier les structures de données et les variables utilisées dans l'application. Ils peuvent être utilisés pour stocker des informations telles que les entrées, les sorties, les compteurs, les minuteries et d'autres données connexes.
- Blocs organisationnels (OB) : Les blocs organisationnels sont des blocs spécialisés utilisés pour contrôler le cycle de fonctionnement du système automatisé. Ils sont exécutés automatiquement par la machine dans des circonstances spécifiques, telles que l'application d'une tension, la fin d'un programme, etc.
- Fonction (FC) : blocs sans mémoire. Les routines de programme pour les fonctions fréquemment utilisées sont contenues dans le FC. Le stockage des données peut être réalisé via des fonctions utilisant des blocs de données globales [47].

III.9.3. Vues de TIA PORTAL :

Les trois principales vues sont la vue de projet, la vue de configuration et la vue de diagnostic.

La vue de projet permet aux ingénieurs de gérer et d'organiser les projets en cours.

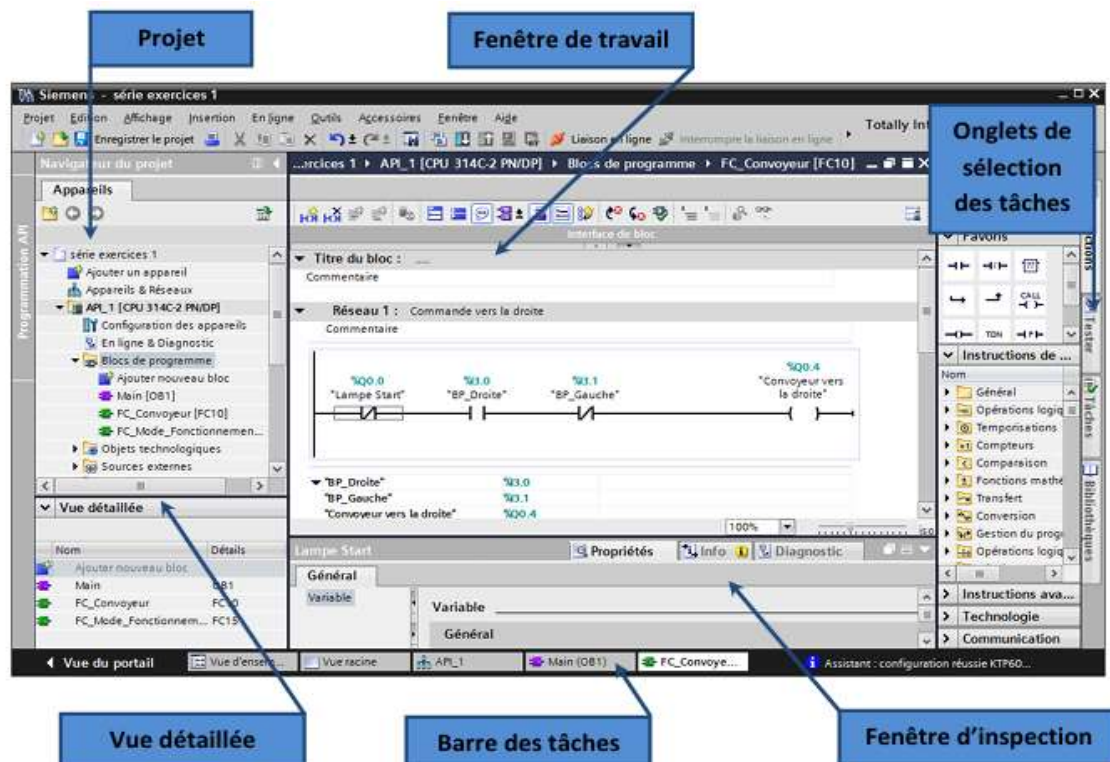


Figure III.16 : La vue de projet sur TIA PORTAL.

- La fenêtre de travail permet d'afficher les éléments sélectionnés dans le projet à traiter. Cela peut inclure des composants matériels, des tables de variables, des interfaces homme-machine, etc.
- La fenêtre d'inspection : offre la possibilité d'afficher des informations complémentaires concernant un élément sélectionné ou les actions en cours d'exécution (caractéristiques du matériel choisi, messages d'erreurs lors de la compilation des blocs de programme, etc.).
- Les onglets de sélection des tâches : contiennent des informations qui changent selon l'élément choisi (configuration matérielle, bibliothèques de composants, bloc de programme, instructions de programmation, etc.).

Ce milieu professionnel renferme un grand ensemble de données. On peut masquer ou minimiser certaines de ces fenêtres lorsqu'elles ne sont pas en service. Il est aussi envisageable de modifier la taille, de réarranger et de désancrer les différentes fenêtres.

La vue de configuration permet de configurer et de programmer des dispositifs tels que des automates programmables et des variateurs de fréquence.

Enfin, la vue de diagnostic permet de diagnostiquer, de dépanner et de résoudre les problèmes de manière efficace [47].

III.10. Conclusion :

Pour faire face aux difficultés rencontrées dans le fonctionnement de la station El Kouayer Mascara, l'adoption de solutions d'automatisation avancées permet d'optimiser le contrôle, la supervision et la gestion du processus de traitement.

- L'installation de capteurs de débit et de niveau avec sortie numérique ou analogique assure un suivi précis et une régulation automatique du flux des eaux.
- L'adoption d'un automate programmable S7-300, configuré via TIA Portal, optimise la gestion des opérations et garantit une meilleure réactivité du système.
- De plus, le remplacement des boutons de commande et afficheurs électromécaniques par une interface IHM sous WinCC modernise l'interaction homme-machine, facilitant le contrôle en temps réel des équipements.
- Enfin, la mise en œuvre d'un système SCADA avec WinCC Advanced permet une supervision centralisée, offrant une analyse approfondie des données et une meilleure prise de décision.

Ces améliorations offrent à la station une automatisation optimisée, assurant un processus de traitement plus fiable, efficace et performant.

Le prochain et dernier chapitre sera consacré à la simulation, aux résultats et aux essais réalisés dans le cadre de l'automatisation de la station plus précisément la partie prétraitement.

Chapitre IV

Résultats et essaies.

IV.1. Introduction :

Après avoir détaillé la problématique de la station, ainsi que les solutions d'automatisation retenues, ce chapitre est consacré à la mise en œuvre concrète du programme pour la partie **prétraitement**. Il présente la simulation du système, permettant de tester son fonctionnement avant l'intégration réelle, ainsi que les résultats obtenus à travers divers essais.

IV.2. Notre programme :

IV.2.1. Création du projet dans TIA Portal V16 :

Afin de créer un nouveau projet dans le logiciel TIA Portal V16 (Totally Integrated Automation Portal), développé par Siemens, qui permet la programmation et la configuration des automates programmables industriels (API), des interfaces homme-machine (IHM) et d'autres équipements d'automatisation, nous utilisant « l'assistant de création de projet », en cliquant sur « créer un projet » ce qui nous permet de commencer la configuration, cette méthode nous permet de gérer notre projet aisément.

En sélectionnant l'icône « créer un projet », on affiche la fenêtre principale, on remplit le vide de notre fenêtre et on appuie sur le bouton « créer », la **figure IV.1** représente la mise en route de notre projet.

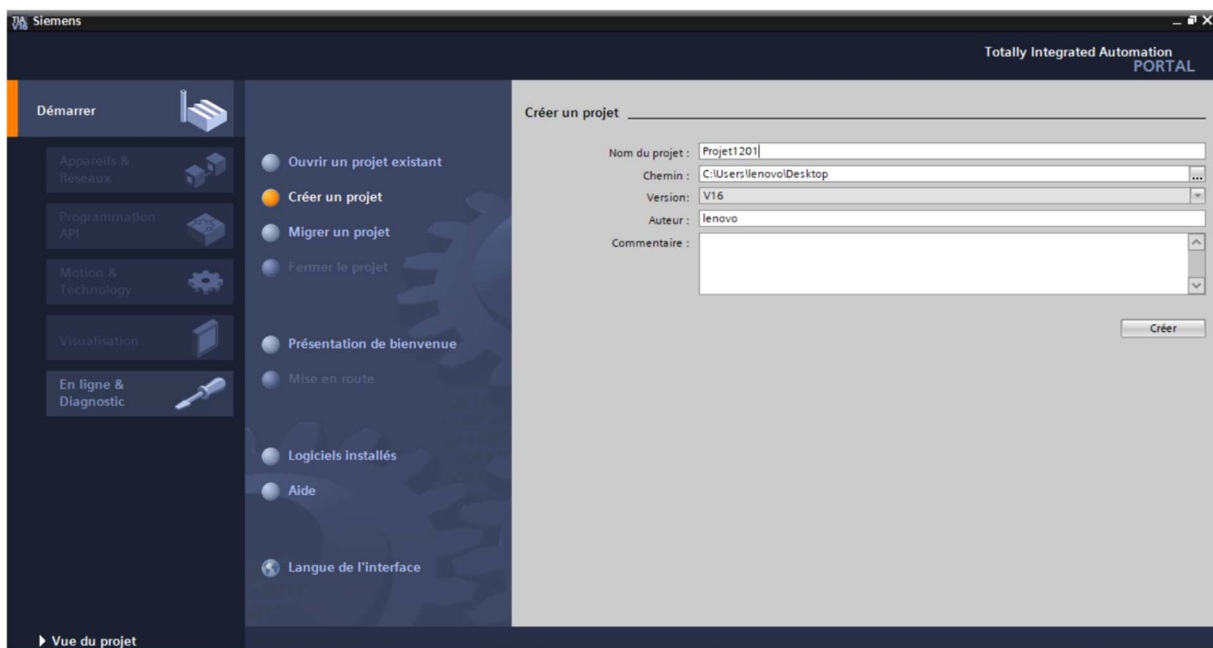


Figure IV.1 : création du projet.

On passe à la deuxième étape en cliquant sur le bouton « appareils et réseaux » ce qui nous permet de choisir les appareils qui constitueront notre système.

Nous devons choisir un type d'automate PLC (Programmable Logic Controller) et une interface homme machine IHM.

IV.2.2. Configuration et paramétrage du matériel :

Une fois le projet créé, on peut configurer la station de travail. La première étape consiste à définir le matériel existant. Pour cela, on peut passer par la vue du projet et cliquer sur « ajouter un appareil » dans le navigateur du projet.

La liste des éléments que l'on peut ajouter apparaît (API, IHM, système PC). On commencera par faire le choix de notre CPU.

a) Choix de l'API :

Un CPU 312C-2 PN/DP de type S7-300 a été utilisé dans notre projet.

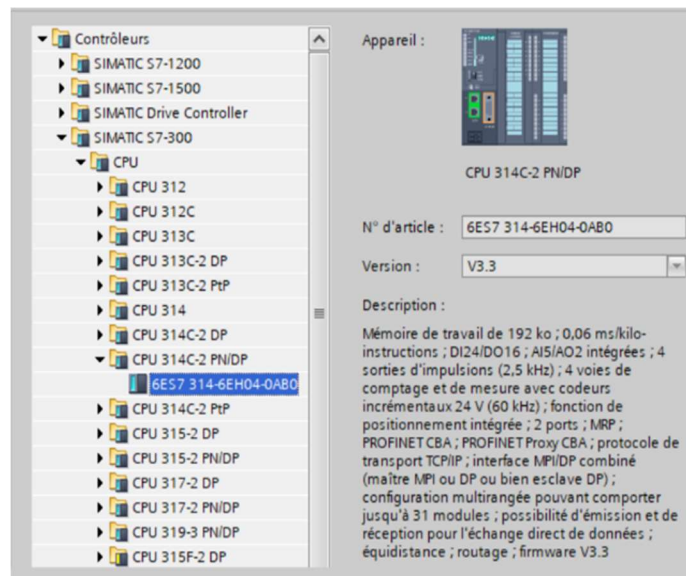


Figure IV.2 : Choix de l'API.

Tableau IV.1 Caractéristiques techniques du CPU.

Nom d'API	CPU 312C-2 PN/DP
Numéro d'article	6ES7 314-6EH04-0AB0
Version	V3.3
Mémoire de travail	192 ko
Interface de communication	2 ports PROFINET (MRP, CBA, Proxy, TCP/IP). 1 interface MPI/DP.

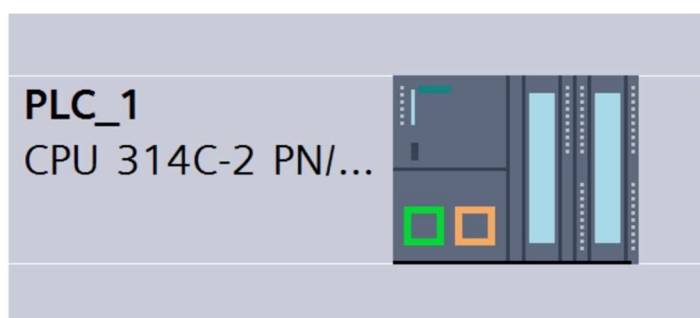


Figure IV.3 : La configuration de l'API.

b) Les variables d'API :

Dans TIA Portal, toutes les variables globales (entrées, sorties, mémentos,) possèdent une adresse symbolique et une adresse absolue.

- L'adresse absolue : représente l'identificateur d'opérande (I, Q, M,) et son adresse et numéro de bit.
- L'adresse symbolique : correspond au nom que l'utilisateur a donné à la variable.

Le lien entre les adresses symboliques et absolues se fait dans la table des variables API. Lors de la programmation, on peut choisir d'afficher les adresses absolues, symboliques ou encore les deux simultanément.

On peut également insérer un commentaire qui nous renseigne sur cette variable. Le commentaire peut être visible dans chaque réseau utilisant cette variable.

Variables API								
	Nom	Table des variables	Type de données	Adresse	Réma...	Acces...	Visibl...	Commentaire
1	Arret	Default tag table	Bool	%M0.0		☒	☒	
2	Marche	Default tag table	Bool	%M0.1		☒	☒	
3	Pompe_1	Default tag table	Bool	%M0.2		☒	☒	
4	Pompe_2	Default tag table	Bool	%M0.3		☒	☒	
5	FC_Haut	Default tag table	Bool	%M0.4		☒	☒	
6	FC_Bas	Default tag table	Bool	%M0.5		☒	☒	
7	FC_H	Default tag table	Bool	%M0.6		☒	☒	
8	FC_B	Default tag table	Bool	%M0.7		☒	☒	
9	Dégrilleur	Default tag table	Bool	%M1.0		☒	☒	
10	Valeur_réservoir1	Default tag table	Real	%MD16		☒	☒	
11	Tag_4	Default tag table	Int	%IW500		☒	☒	
12	Tag_5	Default tag table	Bool	%M7.6		☒	☒	
13	Tag_6	Default tag table	Word	%MW8		☒	☒	
14	Valeur_réservoir2	Default tag table	Real	%MD40		☒	☒	
15	Tag_7	Default tag table	Bool	%M3.0		☒	☒	
16	Tag_9	Default tag table	Bool	%M3.1		☒	☒	
17	DTH	Default tag table	Bool	%M2.0		☒	☒	
18	DGLE	Default tag table	Bool	%M2.1		☒	☒	
19	Tag_12	Default tag table	Bool	%M2.2		☒	☒	
20	ACK	Default tag table	Bool	%M2.3		☒	☒	
21	Tag_10	Default tag table	Bool	%M8.1		☒	☒	
22	Tag_11	Default tag table	Bool	%M8.2		☒	☒	
23	SR2	Default tag table	Bool	%M10.1		☒	☒	
24	Tag_3	Default tag table	Word	%MW4		☒	☒	
25	Tag_2	Default tag table	Bool	%M7.7		☒	☒	
26	Tag_1	Default tag table	Int	%IW400		☒	☒	
27	SR1	Default tag table	Bool	%M10.0		☒	☒	

Figure IV.4 : Les variable API.

IV.2.3. Blocs de programme :

a) Bloc de données DB :

Dans le cadre de la supervision et du diagnostic d'un système automatisé, il est essentiel de mettre en place un mécanisme efficace de gestion des alarmes. Pour cela, nous avons créé un bloc de données (DB) (**Figure IV.4**), servant à transmettre l'état des alarmes vers l'interface homme-machine (IHM).

Quand une alarme est activée (via DB), l'IHM l'affiche automatiquement avec un message clair. Si l'historique est activé, elle est enregistrée pour consultation ultérieure.

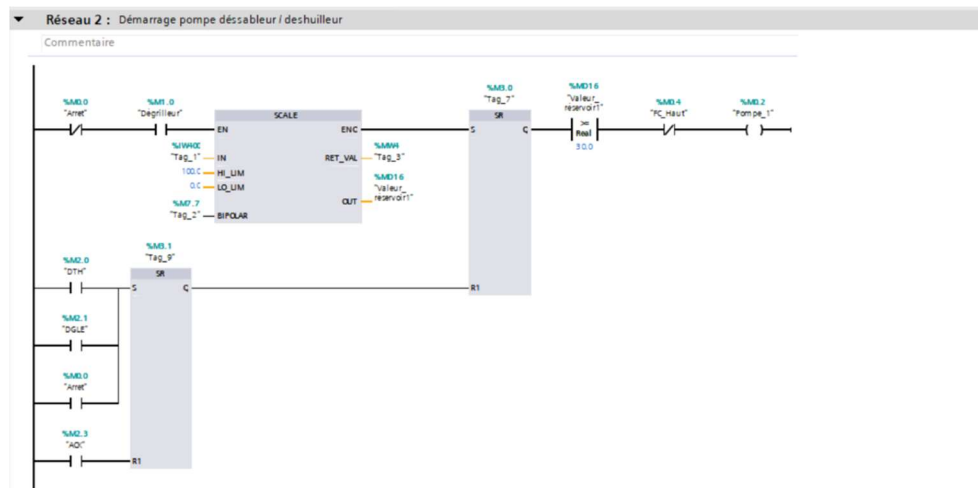


Figure IV.7 : blocs d'organisation OB1 Démarrage pompe dessableur / déshuileur.

Ce réseau démarre la pompe uniquement quand le niveau dépasse un certain seuil (30%) et que le système est prêt : (Le bouton "Arrêt" %M0.0 ne doit pas être appuyé, dégrilleur %M1.0 doit être en fonctionnement).

La fonction SCALE :

La fonction SCALE est indispensable pour tout projet TIA Portal qui utilise des capteurs analogiques. Elle sert à convertir une valeur d'entrée analogique brute (INT ou WORD), issue d'un module d'entrée analogique (AI), en une valeur réelle (REAL) avec une unité physique compréhensible.

Elle est donnée par la formule suivante :

$$Y = \left(\frac{IN - IN_{Lo}}{IN_{HI} - IN_{Lo}} \right) \times (HI_{LIM} - LO_{LIM}) + LO_{LIM}$$

Les bascules SR et RS :

Les bascules SR et RS sont des circuits électroniques stockent des données. Ces dispositifs possèdent deux états stables, nommés état SET et état RESET. Les bascules SR utilisent des portes NAND et NOR comme base, alors que les bascules RS sont basées sur des portes NOR et NAND.

Ces fonctionnalités sont capables de stocker des données à court terme, elles peuvent être employées pour la synchronisation des programmes et des processus d'automatisation, et sont fréquemment utilisées pour interfacier des circuits différents.

La principale différence entre les deux types de bascules réside dans leur état initial. Les bascules SR ont une entrée spécifique appelée entrée Reset, tandis que les bascules RS ont une entrée Set. Cela signifie que lorsque l'entrée spécifique est activée, la bascule SR sera dans l'état Reset, tandis que la bascule RS sera dans l'état Set. Les bascules SR sont souvent utilisées pour implémenter des circuits de séquençage, tandis que les bascules RS sont utilisées pour implémenter des circuits de déclenchement. Les circuits de séquençage impliquent la manipulation de boucles et de séquences dans des programmes automatisés, tandis que les circuits de déclenchement sont conçus pour envoyer un signal pour déclencher un événement spécifique.

- **Réseau 3 : Niveau réservoir 2 :** Il représente un réseau de gestion du niveau du deuxième réservoir.

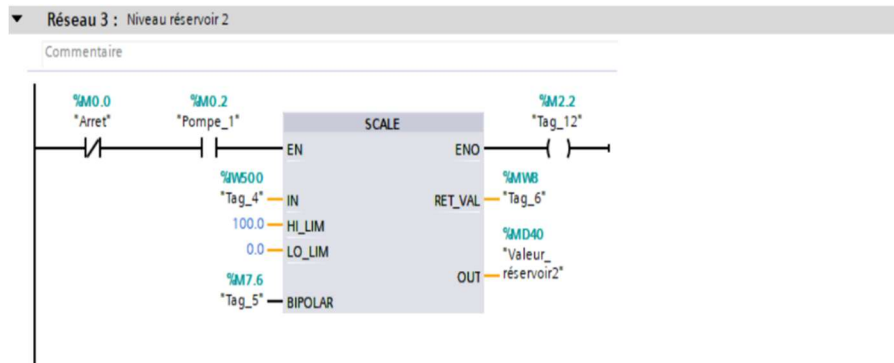


Figure IV.8 : blocs d'organisation_OB1_Niveau réservoir 2.

- **Réseau 4 : Démarrage pompe 2 :** ce réseau assure que la pompe 2 démarre lorsque le réservoir atteint un certain seuil qui doit être supérieure ou égale à 30%

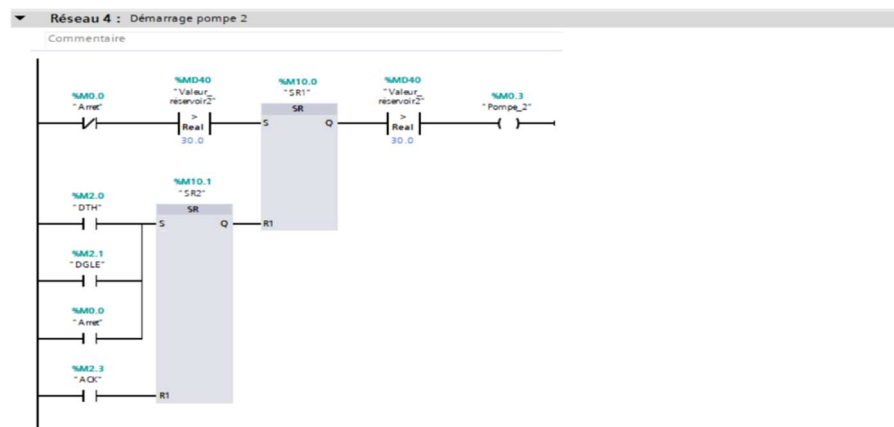


Figure IV.9 : blocs d'organisation_OB1_Démarrage pompe 2.

- **Réseau 5 : Capteur niveau bas réservoir 2 :** Ce réseau Ladder Logic gère le capteur de niveau bas du réservoir 2.

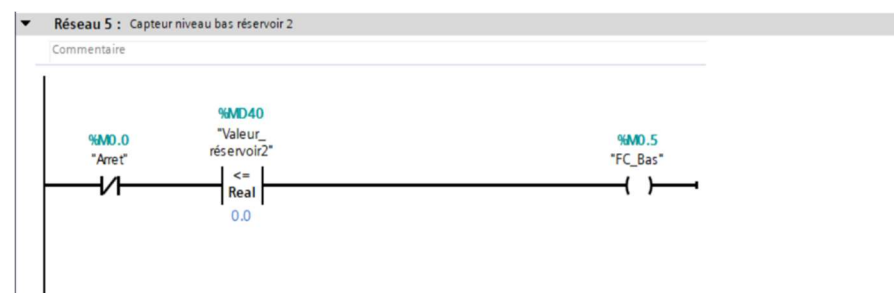


Figure IV.10 : blocs d'organisation_OB1_Capteur niveau bas réservoir 2.

%MD40 (Valeur_réservoir2) : Comparaison de la valeur actuelle du réservoir avec 0%. Si cette valeur est inférieure ou égale à zéro, cela indique que le réservoir est à son niveau bas.

%MD0.5 (FC_Bas) : sortie qui sera activée lorsque les conditions précédentes sont réunies. Cette activation déclenche une pour éviter le fonctionnement à sec.

- **Réseau 6 : Capteur niveau haut :** ce réseau gère le capteur de niveau haut du deuxième réservoir.

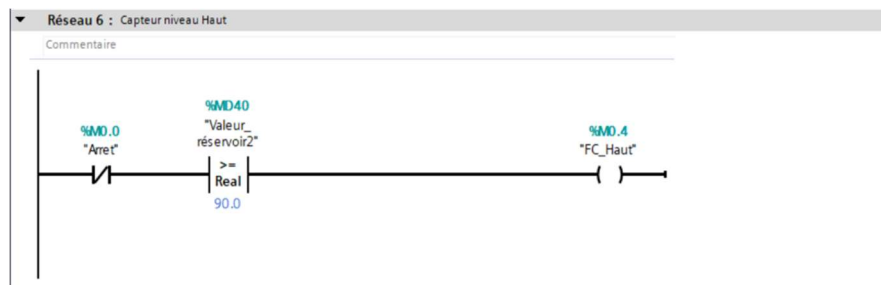


Figure IV.11 : blocs d'organisation_OB1_Capteur niveau haut.

%MD40 (Valeur_réservoir2) : Comparaison avec 90%. Lorsque la valeur du réservoir atteint ou dépasse ce seuil, cela signifie que le niveau haut est atteint.

%MD0.4 (FC_Haut) : La sortie est activée lorsque la condition de niveau haut est remplie. Cette activation peut être utilisée pour déclencher une alarme afin d'arrêter le remplissage du réservoir.

- **Réseau 7,8,9,10 :** Ces réseaux sont utilisés pour l'enregistrement des alarmes dans un historique. Lorsqu'une alarme est détectée, le réseau active un bit mémoire qui enregistre l'événement. Ces alarmes ensuite seront affichées dans SCADA pour permettre aux opérateurs de visualiser les incidents passés. Un bouton d'acquiescement est intégré pour acquiescer les alarmes après intervention.



Figure IV.12 : blocs d'organisation_OB1_Alarme défaut général.

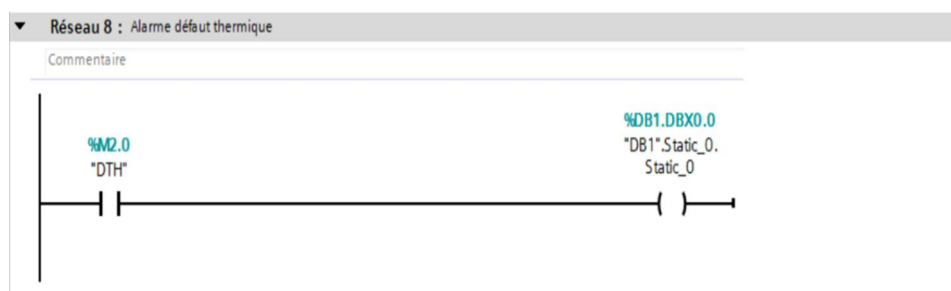


Figure IV.13 : blocs d'organisation_OB1_Alarme défaut thermique.

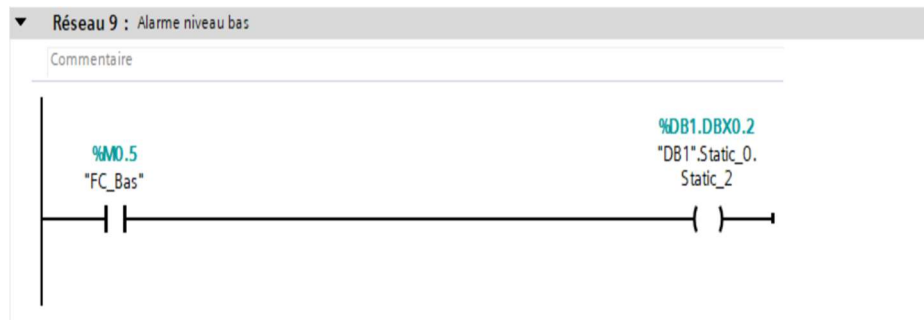


Figure IV.14 : blocs d'organisation_OB1_Alarme niveau bas.



Figure IV.15 : blocs d'organisation_OB1_Alarme niveau haut.

IV.3. Supervision :

Dans tout système automatisé, la supervision joue un rôle crucial, et TIA Portal ne fait pas exception.

Dans le logiciel TIA Portal, la supervision désigne la capacité à concevoir des interfaces graphiques facilement utilisables pour la supervision et le contrôle de systèmes automatisés.

IV.3.1. Logiciel du développement d'un système de supervision :

Dans TIA Portal, la supervision des installations industrielles est assurée par le module logiciel WinCC. Ce dernier permet de concevoir des interfaces graphiques conviviales, de collecter des données en temps réel, de gérer les alarmes et de visualiser l'état des processus industriels.

La version V16 de WinCC constitue une évolution importante, intégrant de nouvelles fonctionnalités, des améliorations significatives ainsi que divers correctifs par rapport aux versions antérieures.

En somme, l'intégration de WinCC dans TIA Portal joue un rôle crucial dans l'optimisation de la production. Elle permet une surveillance en temps réel des processus, favorise une détection rapide des anomalies, et facilite la mise en œuvre de mesures correctives avant que les incidents ne s'aggravent. Par ailleurs, cette supervision globale du système contribue à réduire les temps de formation des opérateurs, tout en simplifiant le diagnostic et la résolution des problèmes.

IV.3.2. La configuration de la communication :

a) Choix du système de supervision :

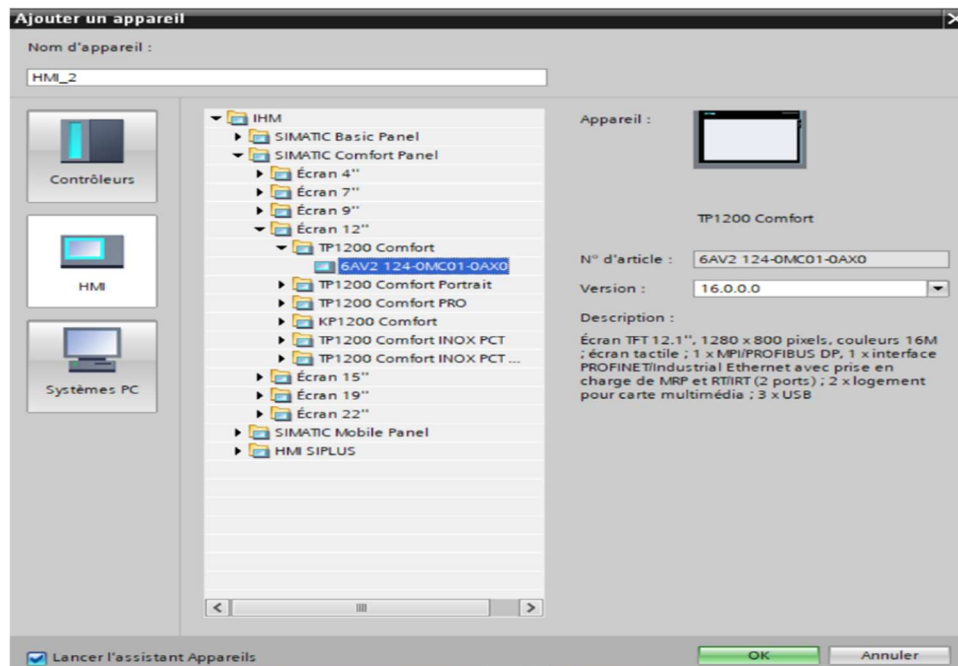


Figure IV.16 : Choix de l'écran de supervision.



Figure IV.17 : Configuration matérielle SCADA.

b) La vue réseau :

Le protocole de communication Profinet est utilisé pour l'automate et l'IHM.

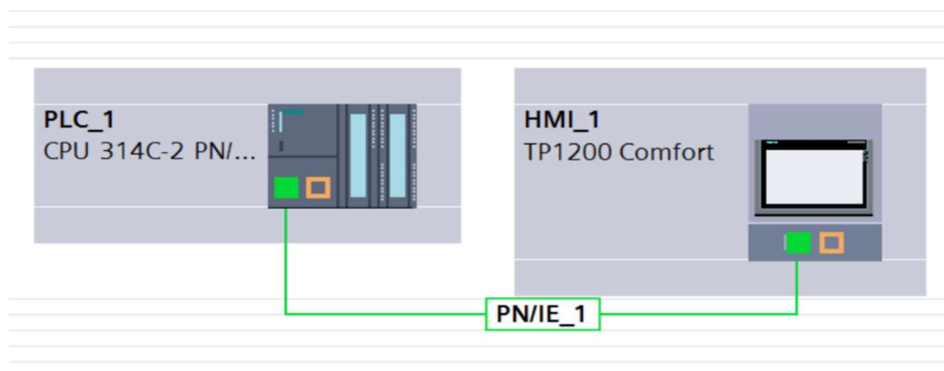
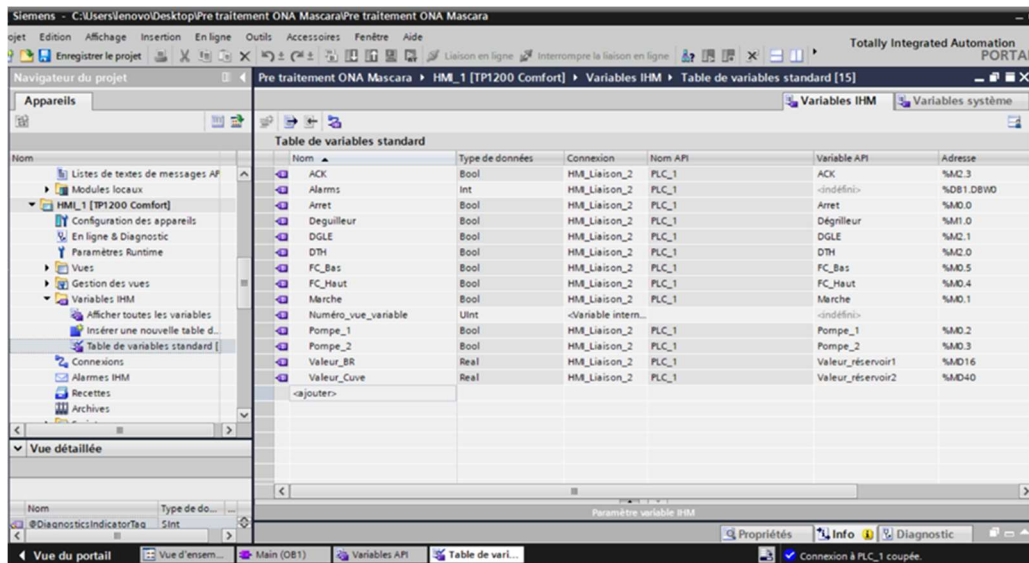


Figure IV.18 : La vue réseau des appareils utilisés dans notre projet.

c) Table des variables IHM :

A partir « d'Arborescence du projet » : appuyer sur notre IHM (HMI TP 1200 Comfort) ensuite « Variables IHM », enfin sur « Table de variables standard ».



Nom	Type de données	Connexion	Nom API	Variable API	Adresse
ACK	Bool	HMI_Liaison_2 PLC_1	ACK	%M2.3	
Alarms	Int	HMI_Liaison_2 PLC_1	<indéfini>	%DB1 DBW0	
Arret	Bool	HMI_Liaison_2 PLC_1	Arret	%M0.0	
Dégilleur	Bool	HMI_Liaison_2 PLC_1	Dégilleur	%M1.0	
DGLE	Bool	HMI_Liaison_2 PLC_1	DGLE	%M2.1	
DTH	Bool	HMI_Liaison_2 PLC_1	DTH	%M2.0	
FC_Bas	Bool	HMI_Liaison_2 PLC_1	FC_Bas	%M0.5	
FC_Haut	Bool	HMI_Liaison_2 PLC_1	FC_Haut	%M0.4	
Marche	Bool	HMI_Liaison_2 PLC_1	Marche	%M0.1	
Numéro_vue_variable	UInt	<Variable intern...	<indéfini>		
Pompe_1	Bool	HMI_Liaison_2 PLC_1	Pompe_1	%M0.2	
Pompe_2	Bool	HMI_Liaison_2 PLC_1	Pompe_2	%M0.3	
Valeur_BR	Real	HMI_Liaison_2 PLC_1	Valeur_réservoir1	%MD16	
Valeur_Cuve	Real	HMI_Liaison_2 PLC_1	Valeur_réservoir2	%MD40	
<ajouter>					

Figure IV.19 : les variables IHM.

Lorsque notre HMI est sélectionné dans le navigateur du projet et que « démarrer la simulation » est choisi, WINCC se lance automatiquement et la vue rayée apparaît.

IV.3.3. Les vues programmées dans l'IHM :

a) Vue Main :

La vue d'entrée de notre IHM est appelée la vue MAIN ou principale.

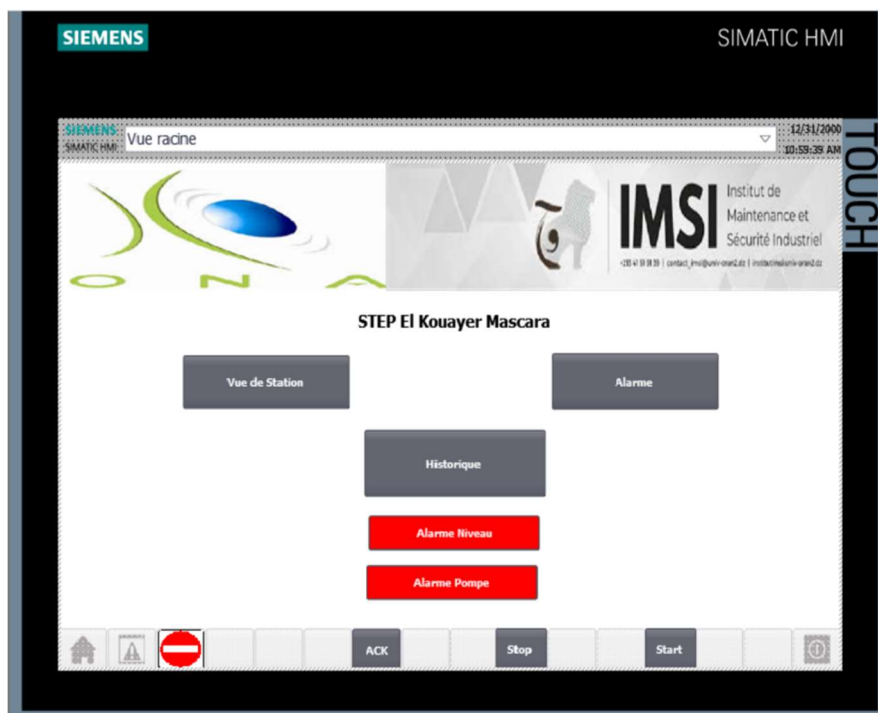


Figure IV.20 : Vue Main.

Elle a plusieurs boutons :

- Le bouton « vue de station », « Historique » et « Alarme » nous permet de passer à leurs vues respectivement.
- Le bouton Start : qui nous permet de démarrer le processus.
- Le bouton Stop : qui nous permet d'arrêter le processus.

b) Vue de station :

La vue de station inclut un schéma synoptique de la station, représentant les principaux éléments du processus de pré-traitement. Ce type de représentation graphique permet aux opérateurs d'avoir une vision globale du fonctionnement des équipements.

- Le bouton « Vue Main » : Permet de revenir à la vue principale.
- Le bouton « Prétraitement » : nous emmène directement à la vue de la partie prétraitement.
- bouton « ACK » pour l'acquiescement on clique sur ce bouton après l'intervention de l'équipe de maintenance pour mettre les paramètres à leurs états initiaux.

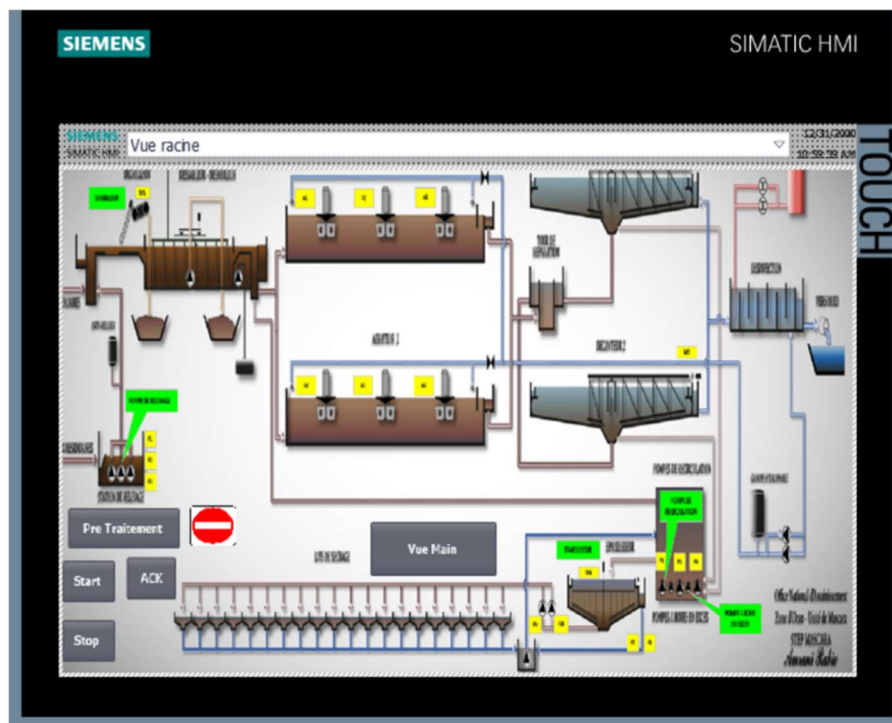


Figure IV.21 : Vue de station.

c) Vue Prétraitement :

Il s'agit d'une vue détaillée de la section prétraitement de la station, incluant :

- Le dégrilleur : Élimine les gros déchets et solides.
- Le dessableur : Sépare les particules de sable pour éviter l'encrassement.
- Le déshuileur : Élimine les huiles et graisses pour améliorer la qualité de l'eau.
- Les deux réservoirs : Servent au stockage temporaire avant les traitements suivants.

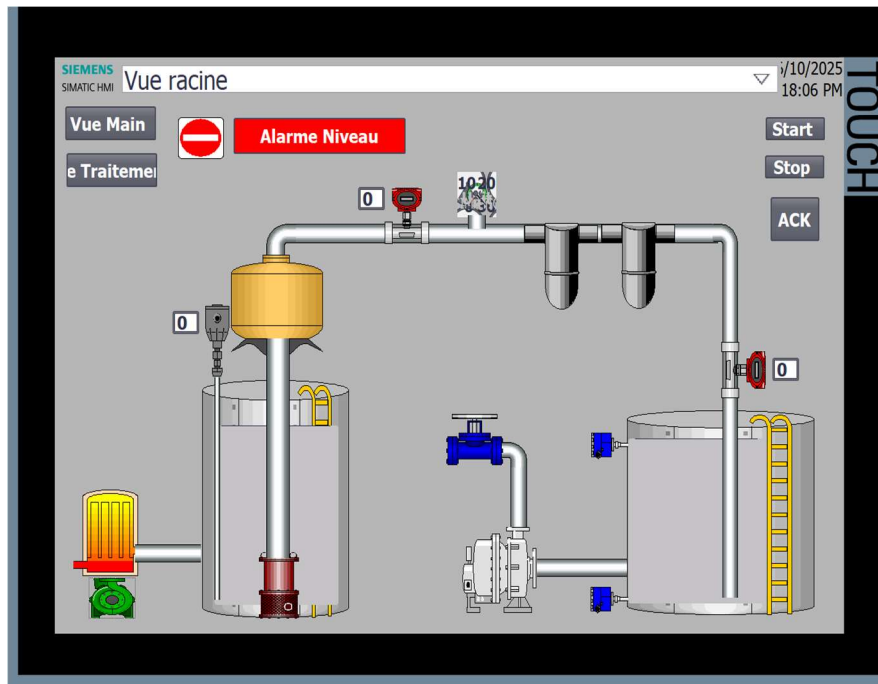


Figure IV.22 : Vue Prétraitement.

d) Vue Alarme :

Cette interface offre une gestion des alarmes pour surveiller le système de pré-traitement. Elle permet de :

- Visualiser les alarmes actives (niveaux hauts et bas, défauts thermiques et problèmes généraux des pompes et moteur).
- Accuser réception des alarmes avec le bouton ACK.



Figure IV.23 : Vue Alarme.

e) Vue Historique :

Cette interface montre les défauts généraux, thermiques ou niveaux qui ont été enregistrés pour chaque pompe et moteur ainsi que la date et l'heure de chaque défaut.

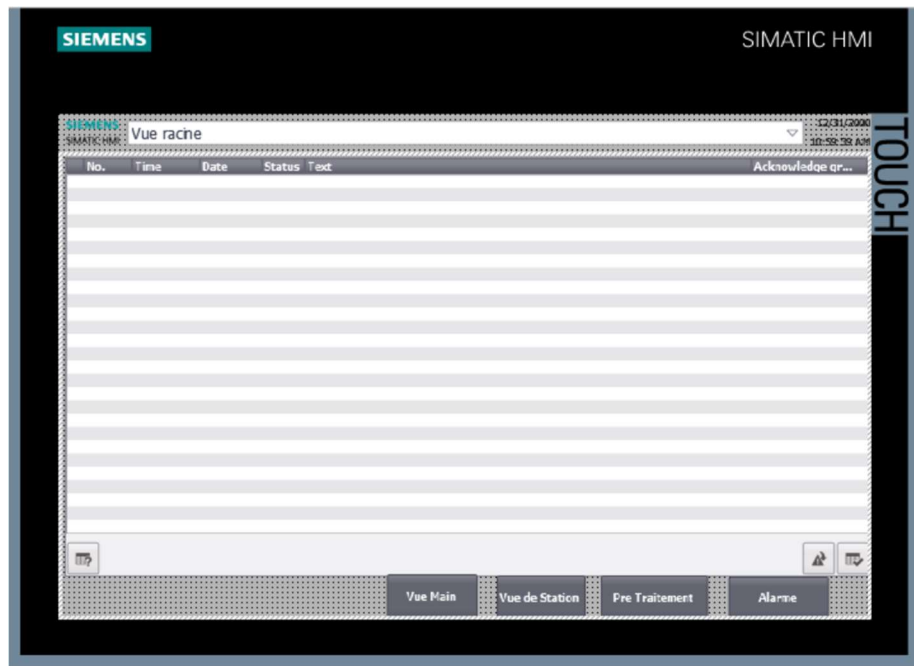


Figure IV.24 : Vue Historique.

IV.4. Simulation :

Nous avons employé les applications suivantes pour simuler le programme suggéré : STEP7, WinCC et PLCSIM pour la supervision, le contrôle et la création des défauts respectivement.

Pour lancer notre programme, on sélectionne notre API dans l'outil de navigation du projet, puis on clique sur « démarrer la simulation ».

La phrase ci-dessous apparaîtra comme PLCSIM commence : On appuie sur « lancer la recherche », puis sur « Charger ».

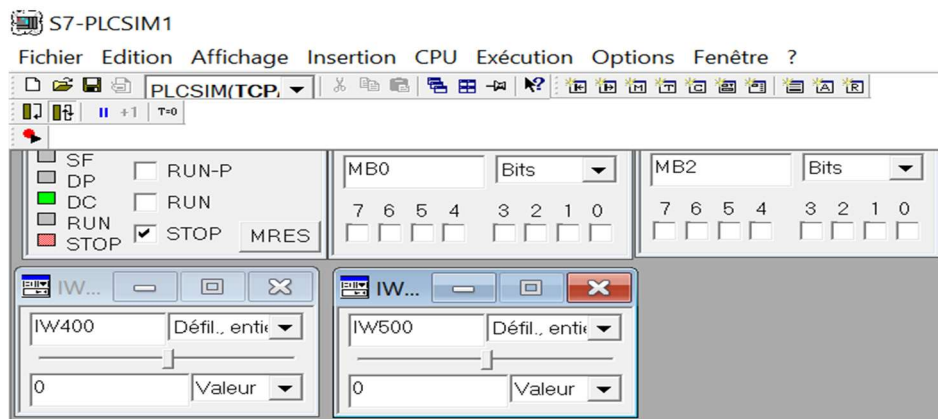


Figure IV.25 : Simulateur PLCSIM.

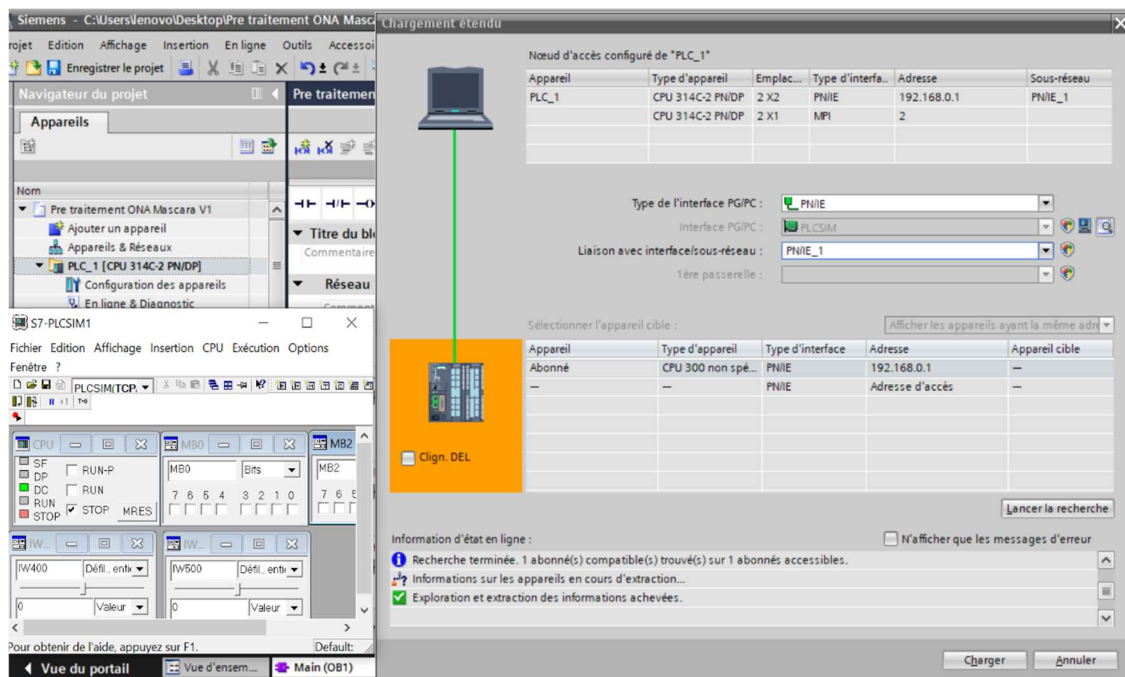


Figure IV.26 : La liaison de PLCSIM avec le CPU.

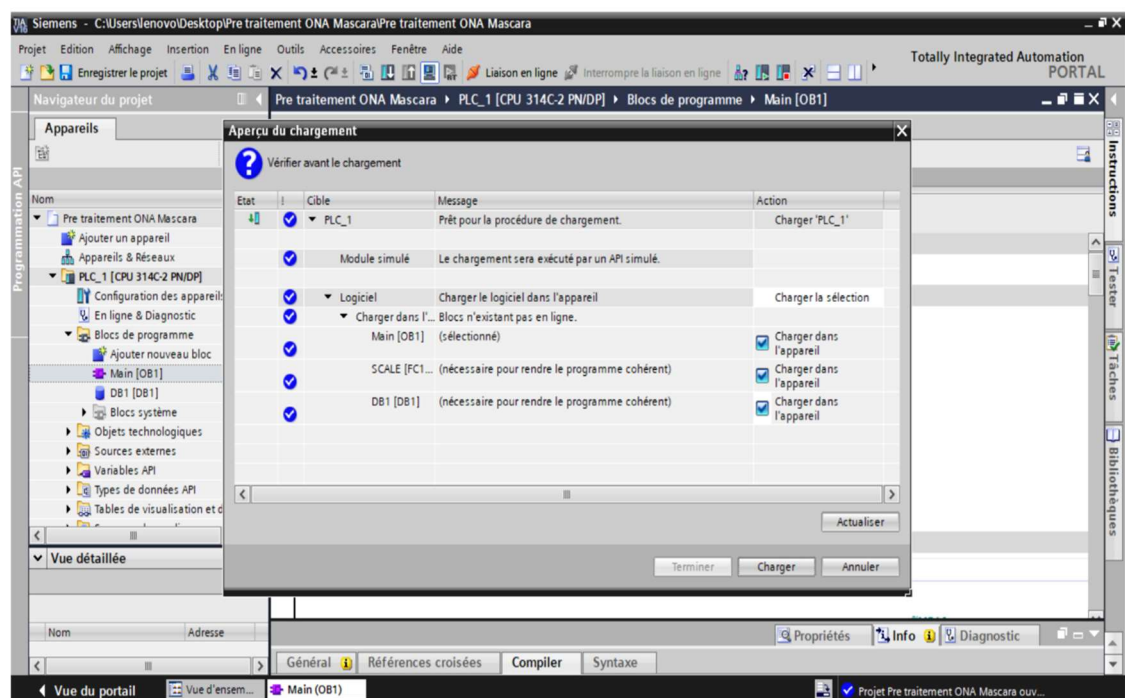


Figure IV.27 Chargement de programme.

On active la visualisation du programme :

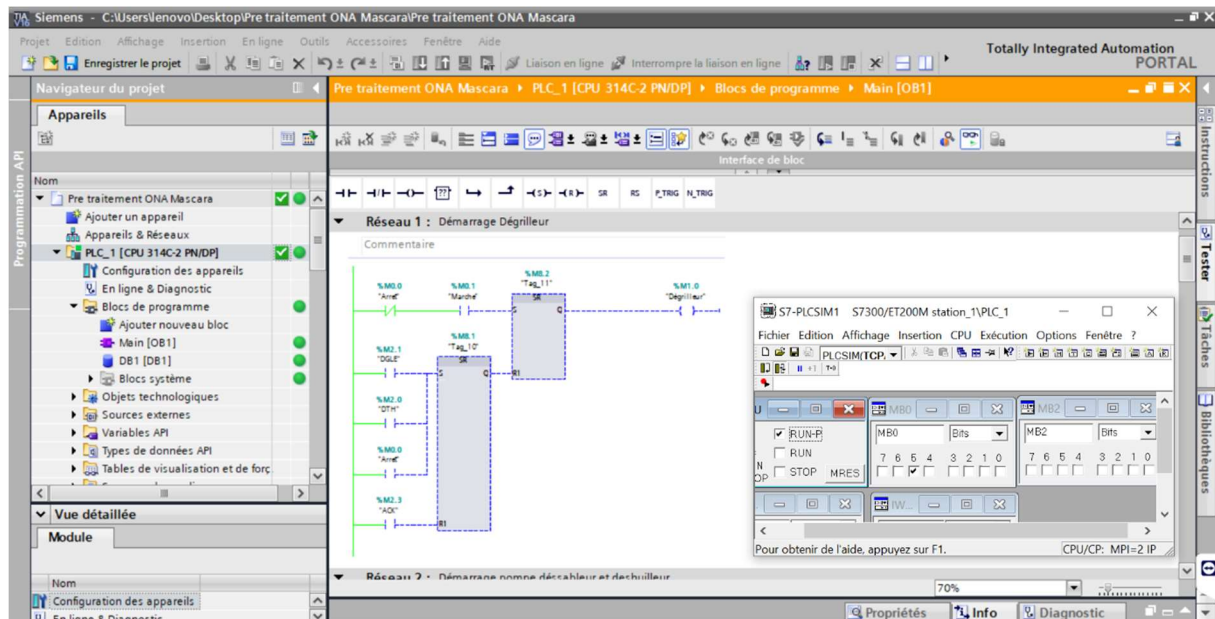


Figure IV.28 : Aperçu du résultat du simulation Bloc-OB1.

En mode RUN-P, PLCSIM simule un automate en fonctionnement avec accès aux périphériques PROFINET. Cela signifie que notre programme PLC peut échanger des données avec des équipements externes comme IHM (Interfaces Homme-Machine) ou des stations SCADA, même en simulation on peut vérifier.

- RUN : l'automate exécute son programme tel qu'il a été programmé. Le programme tourne normalement, et l'automate répond aux entrées et aux sorties.
- RUN-P : Cela permet aux utilisateurs de vérifier le programme en cours d'exécution et de diagnostiquer des problèmes sans avoir à redémarrer l'automate complètement.
- STOP : L'automate est inactif et n'exécute aucun programme.

Lorsque notre HMI est sélectionné dans le navigateur du projet et que « démarrer la simulation » est choisi, WINCC se lance automatiquement et la vue rayée apparaît.

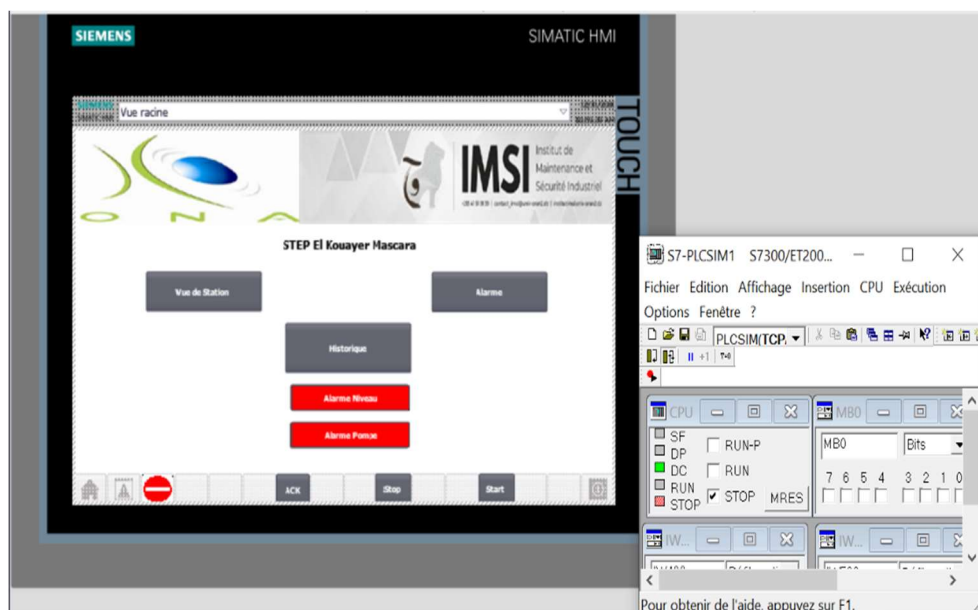


Figure IV.29 : simulation de l'IHM.

IV4.1. Déroulement de la simulation :

a) Mise en marche le processus :

Quand on appuie sur le bouton "Start" de l'interface, le processus s'active automatiquement. Ce changement d'état est signalé visuellement par le changement de couleur du moteur du dégrilleur, qui passe au vert (**FigureIV.29**), indiquant qu'ils sont en fonctionnement.

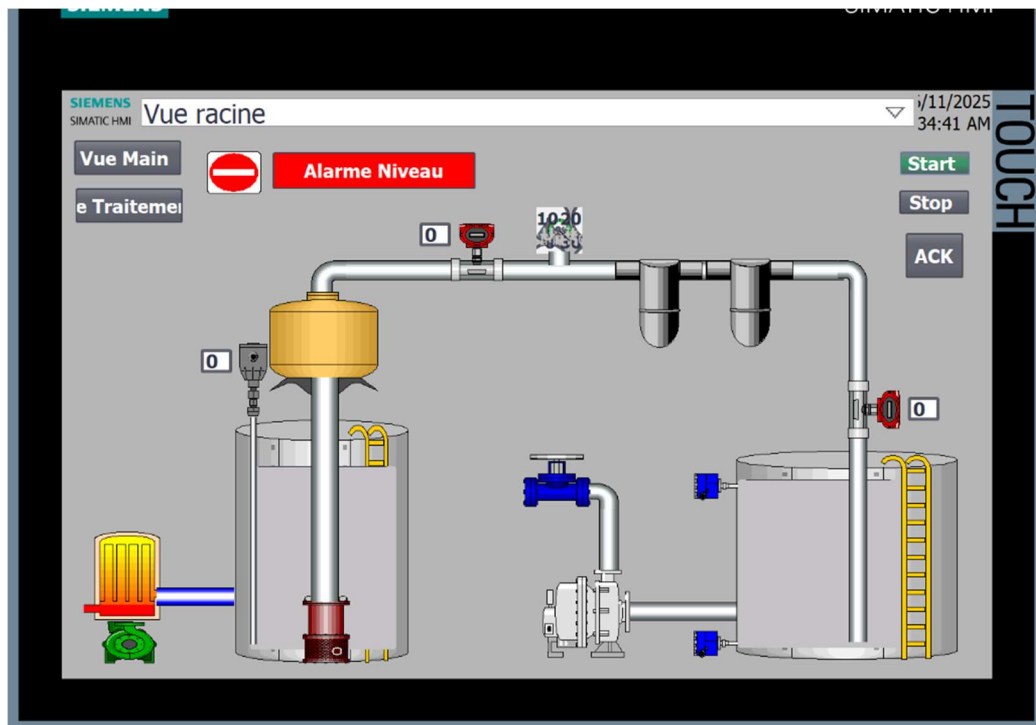


Figure IV.30 : Mise en marche de l'ensemble du processus de prétraitement.

b) Réservoir 1 :

Le niveau du premier réservoir est simulé dans PLCsim à l'aide de l'entrée IW400. En modifiant la valeur de cette entrée, on fait varier le niveau du réservoir dans l'automate. Lorsque la valeur simulée atteint ou dépasse l'équivalent de 30 % du niveau (selon l'échelle configurée), la première pompe se met automatiquement en marche. Cette condition de seuil déclenche le démarrage de la pompe afin d'assurer le transfert du liquide vers le dégrilleur, ensuite dessableur et déshuileur.

Sur l'interface de supervision, l'activation de la pompe est représentée par un changement de couleur clignotante.

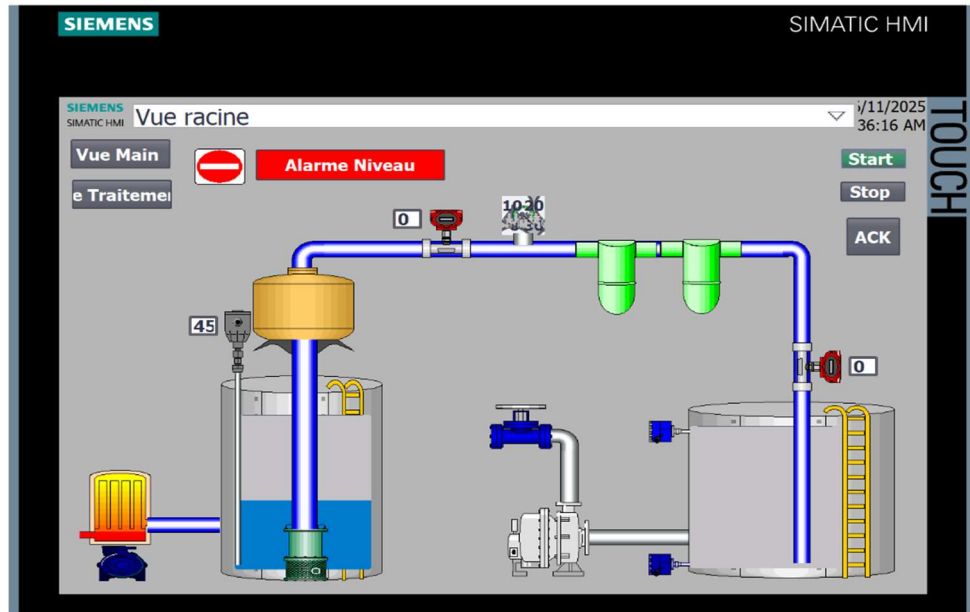


Figure IV.31: Simulation du niveau du réservoir via IW400 – Démarrage automatique de la première pompe.

c) Réservoir 2 :

Le niveau du deuxième réservoir est simulé dans PLCsim à l'aide de l'entrée IW500. En modifiant cette valeur, on reproduit la variation du niveau réel dans l'automate.

Lorsque le niveau simulé atteint ou dépasse 30%, la deuxième pompe se déclenche automatiquement. Elle a pour fonction d'évacuer l'eau vers les étapes suivantes du traitement, assurant ainsi la continuité du processus.

Sur l'interface de supervision, l'activation de la pompe est représentée par un changement de couleur clignotante.

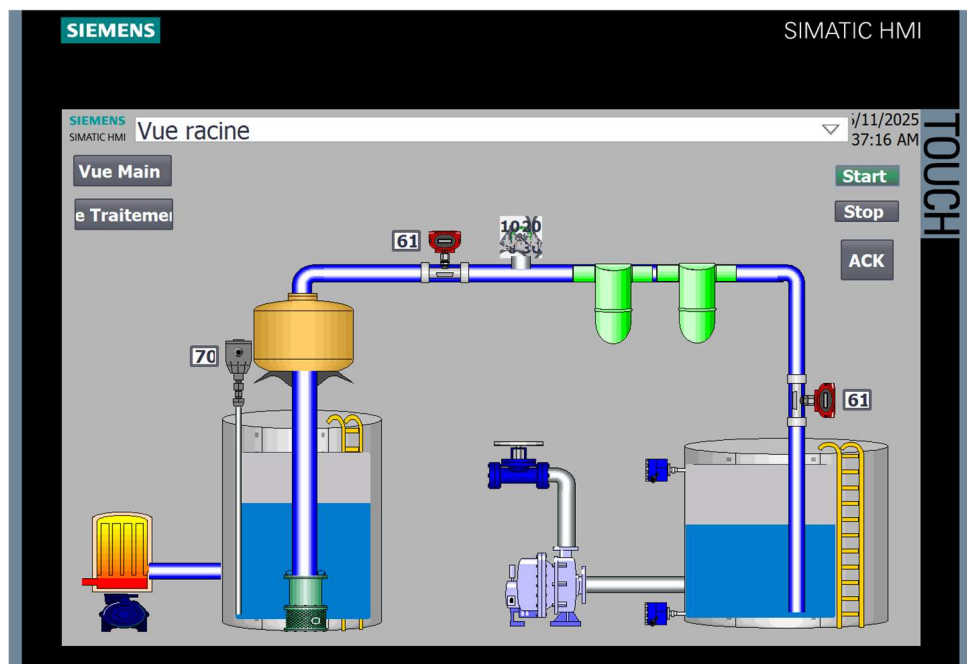


Figure IV.32 : Simulation du niveau du réservoir via IW500 – Démarrage automatique de la 2ème pompe.

d) Défaut général :

Lorsqu'une défaillance générale est créée, une alarme de défaut général a été mise en place et configurée pour couvrir à la fois les pompes et le moteur du dégrilleur, la pompe s'arrête et l'indicateur de défaut général apparaît avec des leds d'alerte avec un clignotement.



Figure IV.33 : La vue Alarmes en cas de défaut général.

Dans la vue du prétraitement, lorsque qu'une défaillance générale survient l'IHM affiche automatiquement un rectangle rouge avec la mention « Alarme Pompe ».

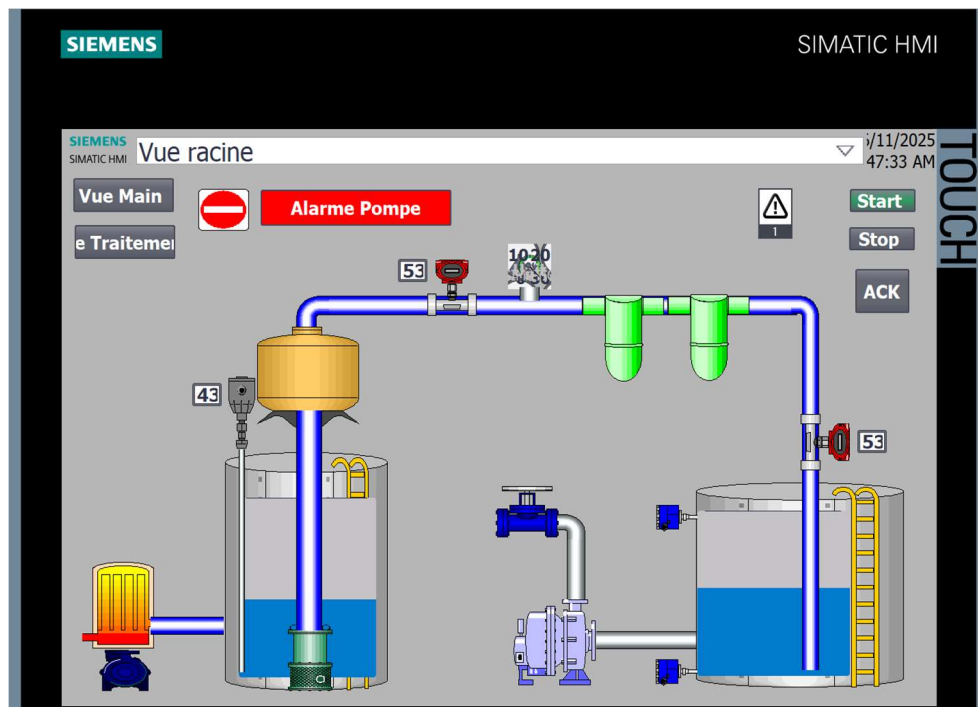


Figure IV.34 : La vue Prétraitement en cas de défaut général.

e) Défaut thermique :

Lorsqu'une défaillance thermique est créée, les pompes s'arrêtent et l'indicateur de défaut thermiques apparaît avec des leds d'alerte avec un clignotement.

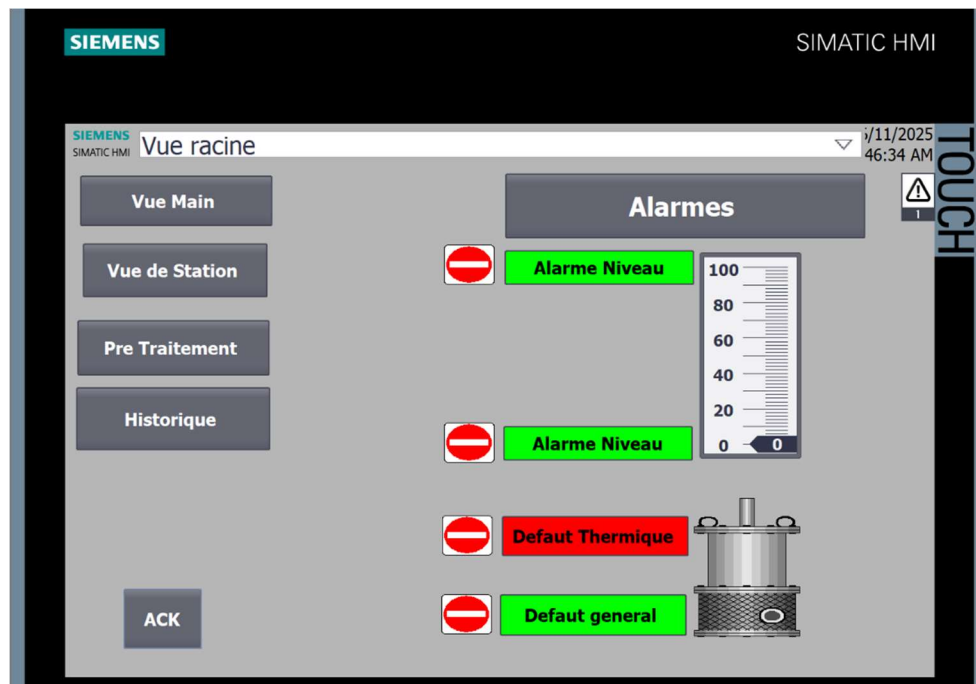


Figure IV.35 : La vue Alarme en cas de défaut thermique.

Dans la vue du prétraitement, lorsque qu'une défaillance thermique survient l'IHM affiche automatiquement un rectangle rouge avec la mention « Alarme Pompe ».

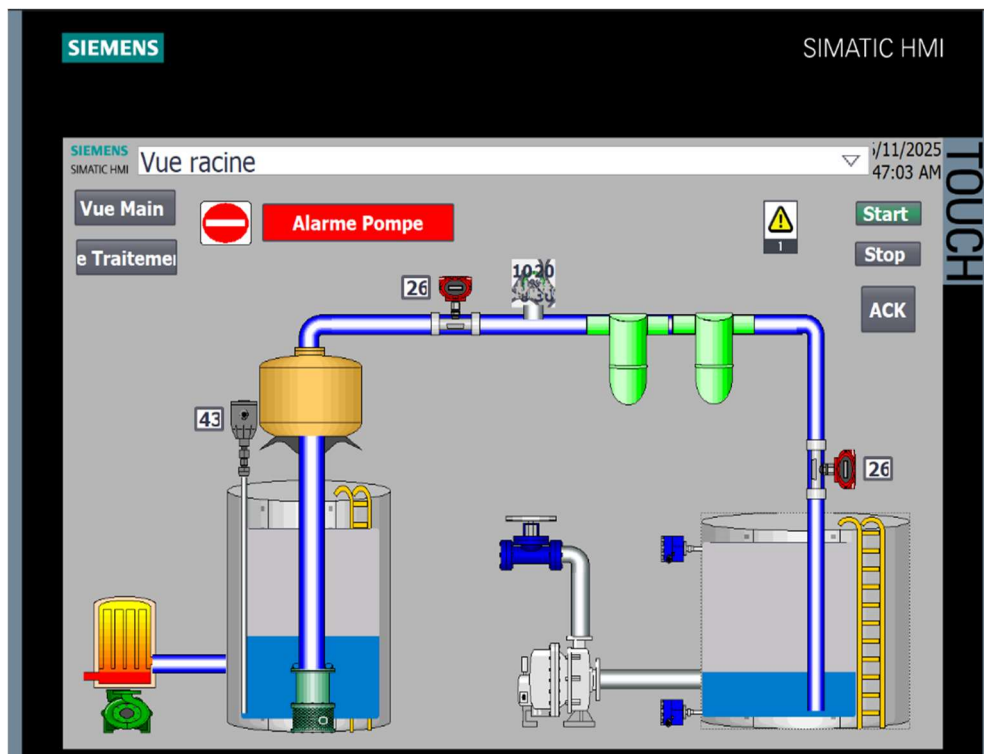


Figure IV.36 : La vue Prétraitement en cas de défaut thermique.

f) Alarme niveau haut :

Le système de supervision intègre également une alarme de niveau haut pour surveiller le niveau des réservoirs.

Lorsque le niveau du deuxième réservoir atteint ou dépasse 90%, une alarme est automatiquement déclenchée et apparaît dans la vue Alarmes avec led d'alerte avec un clignotement.

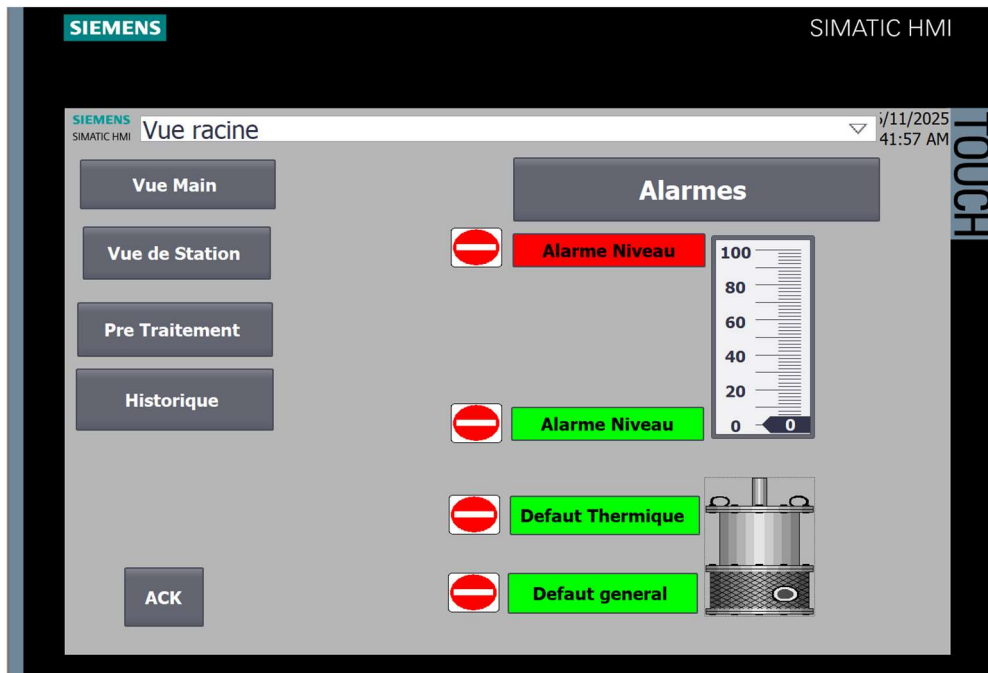


Figure IV.37 : La vue Alarme en cas d'alarme niveau haut.

Dans la vue du prétraitement, lorsque qu'une alarme niveau est déclenchée l'IHM affiche automatiquement un rectangle rouge avec la mention « Alarme Niveau ».

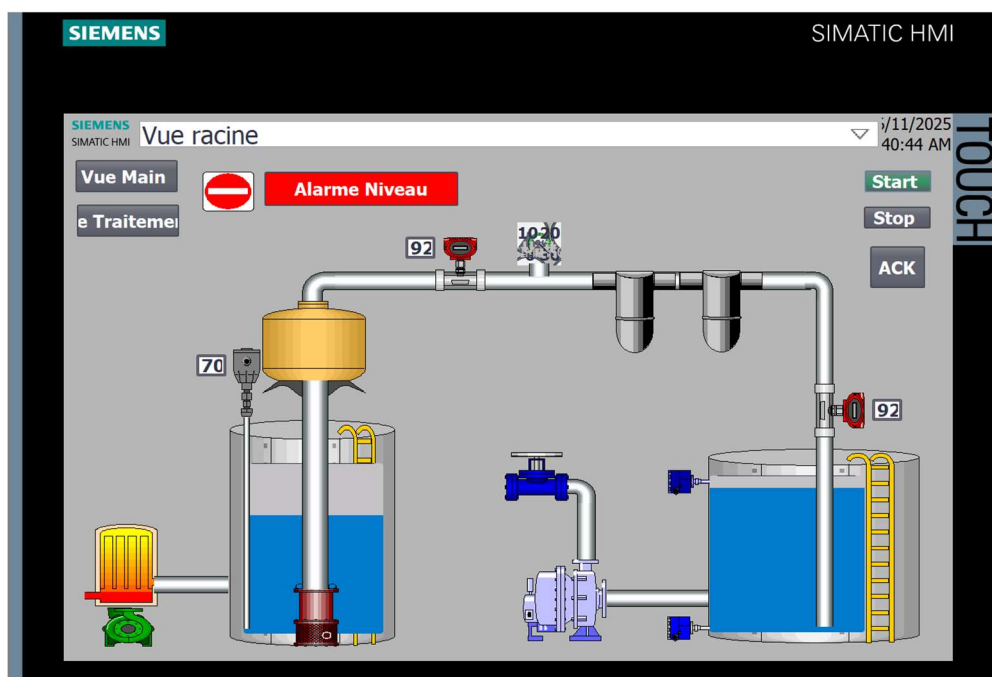


Figure IV.38 : La vue Prétraitement en cas d'alarme niveau haut.

g) Alarme niveau bas :

Lorsque le niveau du premier réservoir est à 0 , une alarme niveau bas est automatiquement déclenchée et apparait dans la vue Alarmes avec led d'alerte avec un clignotement.

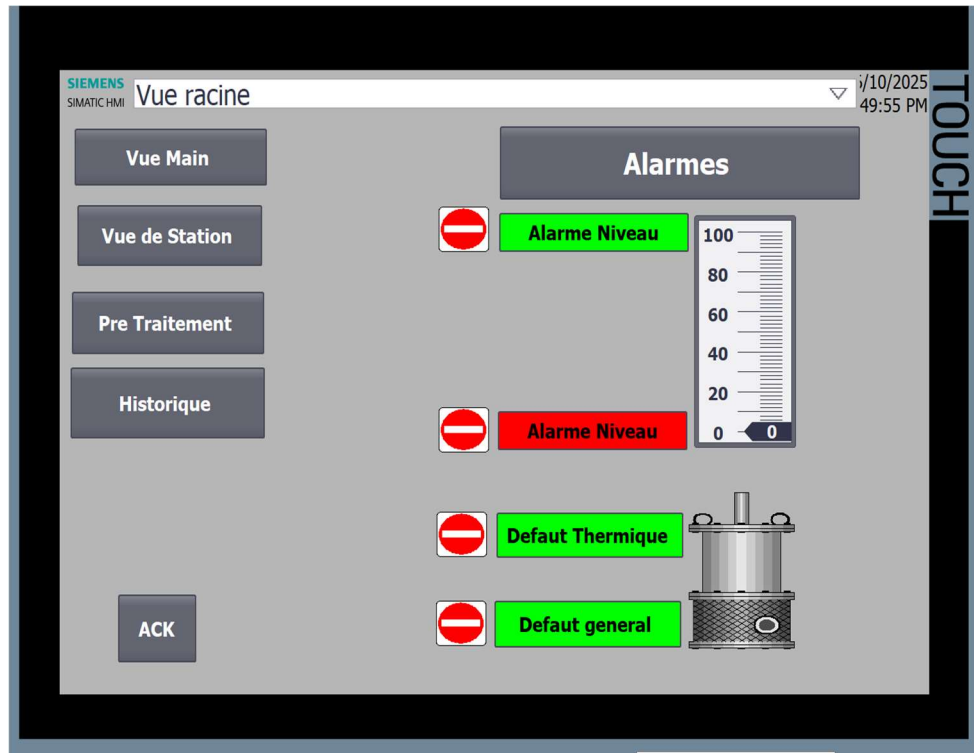


Figure IV.39 : La vue Alarme en cas d'alarme niveau bas.

Dans la vue du prétraitement, lorsque qu'une alarme niveau bas est déclenchée l'IHM affiche automatiquement un rectangle rouge avec la mention « Alarme Niveau ».

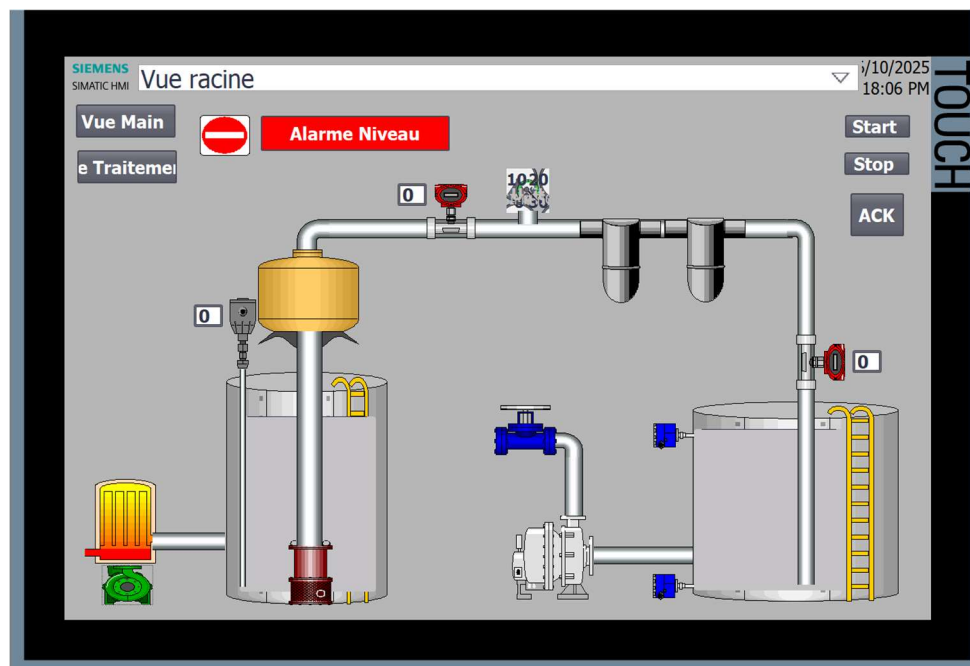


Figure IV.40 : La vue Prétraitement en cas d'alarme niveau bas.

h) Historique :

Dans l'historique des alarmes, les dates et heures de chaque erreur sont enregistrées dans un tableau avec les défauts.

No.	Time	Date	St...	Text	Acknowledged...
! 10	1:43:0...	6/11/...	A	Alarme default General	0
! 9	1:43:0...	6/11/...	A	Alarme Defaut Thermique	0
! 12	1:38:0...	6/11/...	A	Alarme Niveau Haut	0
! 11	1:33:2...	6/11/...	AD	Alarme Niveau Bas	0

Figure IV.41 : Historiques des alarmes.

IV.5. Conclusion :

Les simulations réalisées ont permis de vérifier la conformité du fonctionnement automatisé du procédé de traitement. Les tests effectués sous PLCSIM ont validé la logique de commande des équipements, le déclenchement des alarmes (défaut général, défaut thermique, niveau haut et niveau bas) ainsi que la réactivité du système de supervision développé sous WinCC.

L'ensemble des essais a confirmé la robustesse de la programmation effectuée sous TIA Portal, garantissant la sécurité, la fiabilité et la continuité du processus face aux différentes situations simulées.

Conclusion Générale

Conclusion générale

Le présent travail, consacré à l'automatisation d'une station de traitement des eaux usées à travers la mise en œuvre d'un système SCADA, a permis de développer et de valider une solution complète de supervision et de contrôle des procédés de la STEP d'El Kouayer (Mascara).

L'approche adoptée a combiné la modélisation des différents procédés de prétraitement, la programmation de l'automate programmable industriel Siemens S7-300 sous TIA Portal, ainsi que le développement de l'interface de supervision via WinCC. À travers cette architecture, l'ensemble des étapes du traitement a été automatisé tout en intégrant des fonctions essentielles de surveillance, de sécurité, et de gestion des alarmes.

Les différentes simulations et essais réalisés ont démontré la fiabilité et la réactivité du système développé face aux conditions normales et aux situations de défaut (défaut thermique, niveau haut, défaillance générale, etc.). Le système SCADA ainsi mis en place offre une visibilité complète en temps réel du fonctionnement de la station, facilite l'intervention en cas d'anomalies et améliore globalement la performance et la sécurité du processus d'épuration.

Ce projet a également été l'occasion de mettre en pratique les connaissances théoriques acquises durant la formation, en abordant de manière concrète la programmation des automates, la gestion des systèmes de supervision ainsi que l'intégration des différents équipements du procédé. L'automatisation d'une station de traitement des eaux usées, telle que celle d'El Kouayer, illustre parfaitement l'importance des technologies industrielles modernes pour garantir une gestion optimale, sécurisée et durable des ressources en eau.

Références bibliographiques

- [1] Lefèvre, T. (2013, 29 octobre). La répartition de l'eau sur la Terre. Planète viable. <https://planeteviable.org/repartition-eau-sur-terre/> [Consulté le : mars 2025]
- [2] Futura Sciences. Combien y a-t-il d'eau douce dans le monde. <https://www.futura-sciences.com/planete/questions-reponses/eau-y-t-il-eau-douce-monde-805/> [Consulté le : mars 2025]
- [3] Centre d'information sur l'eau. (2017), « les ressources en eau dans le monde ». <https://www.cieau.com/connaitre-leau/les-ressources-en-france-et-dans-le-monde/ou-en-sont-les-ressources-en-eau-dans-le-monde/> [Consulté le : mars 2025]
- [4] Desjardins R (1997). Le traitement des eaux, 2ème Edition Revue et Enrichie, Ed. École Polytechnique.
- [5] BAKALOWICZ, M (1999). Connaissance et gestion des ressources en eaux souterraines dans les régions karstiques, Agence de l'eau Rhône Méditerranée, Corse.
- [6] Iver Duedall, Notes de cours - Océanographie, Florida Institute of Technology.
- [7] Aqua labo. Traitement de l'eau : définition et solutions. <https://www.aqualabo.fr/traitement-de-leau-definition-et-solutions/> [Consulté le : mars 2025]
- [8] Maison Régionale de l'Eau. Un bref aperçu de l'histoire du traitement de l'eau. <http://www.maisonregionaledelleau.com/histoire-du-traitement-de-leau>
- [9] Maurel A. (2006) « Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres », 2ème Ed. Tec&Doc Lavoisier.
- [10] Portillo, G. (2024). Processus de dessalement : comment fonctionnent les usines de dessalement aujourd'hui. Renovables Vertes. <https://fr.renovablesvertes.com/usine-de-dessalement/> [Consulté le : mars 2025]
- [11] DANIS P., (2003). Dessalement de l'eau de mer. Techniques de l'Ingénieur, traité Génie des procédés, J2 700
- [12] Rovel, J.M., (2012). Dessalement de l'eau de mer, Technique de l'Ingénieur.
- [13] L'Expression. (2025, 5 avril). L'Algérie avance à pas sûrs vers sa sécurité hydrique.
- [14] El Khabar. (2025, 22 mars). Six stations de dessalement d'eau de mer prévues dans ces wilayas.
- [15] Algérie Eco. (2024, 29 février). Dessalement : 7 nouvelles stations seront réalisées entre 2025 et 2030.
- [17] Rashid-Sally L., Jayakody P. (2008). Drivers and characteristics of wastewater agriculture in developing countries : results from a global assessment, Colombo, Sri Lanka. IWMI Research Report 127, International Water Management Institute, Colombo.
- [18] Moussouni, A. (2019). Épuration et réutilisation des eaux usées (Note de cours, Mastère 2 Hydraulique urbaine). Université Abdelhafid Boussouf – Mila.

- [19] Djeddi Ép. Bouatia, H., & Rahmoune, C. (2007). Utilisation des eaux d'une station d'épuration pour l'irrigation des essences forestières urbaines. Université Frères Mentouri - Constantine 1.
- [20] Merzoug, S. E. (2022). Chapitre 6 : La station d'épuration. Dans Environnement et développement durable (Note de cours, 2e année, Département des sciences biologiques). Université Abdelhafid Boussouf – Mila.
- [21] Bouhent, M. Traitements physico-chimiques et biologiques des eaux usées (Cours destiné aux étudiants de Master 1 et Master 2 en Génie des Procédés de l'Environnement). Université des Sciences et de la Technologie d'Oran Mohamed Boudiaf (USTOMB).
- [22] Merzoug, S. E. (2022). Chapitre 7 : Plateforme de traitement des eaux usées. Dans Environnement et développement durable (Note de cours, 2e année, Département des sciences biologiques). Université Abdelhafid Boussouf – Mila.
- [23] El Hifnawy, C. (2012). Conception d'une station d'épuration. CNAM Liban.
<https://fr.slideshare.net/slideshow/conception-dune-station-depuration/14630605>
[Consulté le : mars 2025]
- [24] Gaid, Abdelkader. (1984). « Épuration biologique des eaux usées urbaines », Tome 1
- [25] Marc Elskens., (2010). « Analyse des eaux résiduaires-Mesure de la pollution ».
- [26] M.LATBI Nacer (2008). Conception et dimensionnement de l'usine de production et de traitement d'eau potable de la commune d'Ondres.
Mémoire de Fin d'étude, École Nationale Polytechnique.
- [27] SARI.H (2014). Contribution à l'étude de la qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau de la source (Attar) Tlemcen.
Mémoire de Master sciences des aliments. Tlemcen.
- [28] Brahmia. L (2014) Étude de la station de traitement d'eau potable de Chaiba (Annaba)
Mémoire de Master, Université 8 Mai 1945 – Guelma.
- [29] HAMMADI. C (2022). Automatisation d'une station d'épuration des eaux usées par API Siemens S7-1200. Mémoire de fin d'études, Université Kasdi Merbah – Ouargla, Faculté des Sciences Appliquées,
- [30] Réseau Francophone pour l'Eau et l'Assainissement (RéFEA). Filtration lente sur sable : présentation générale. OIEau.
<https://www.oieau.fr/ReFEA/fiches/TraitementPotable/1FiltrationLentePG1.pdf>
[Consulté le : mars 2025]
- [31] Zhulin Carbon. (2024, 25 décembre). Filtration au charbon actif : un guide complet.
<https://activatedcarbon.net/fr/activated-carbon-filtration-a-comprehensive-guide/>
[Consulté le : mars 2025]
- [32] SUEZ Water Handbook. Traitement en eau potable : la désinfection.
<https://www.suezwaterhandbook.fr/procedes-et-technologies/traitement-des-eaux-potables/filieres-de-traitement-des-eaux-de-surface/la-desinfection> [Consulté le : mars 2025]
- [33] Société des Eaux et de l'Assainissement d'Oran (SEOR). Stations d'épuration.
[Consulté le : avril 2025]

- [34] Office National de l'Assainissement (ONA). (2012, juin). Manuel d'exploitation des stations d'épuration des eaux usées. ONA.
https://ona-dz.org/IMG/pdf/MANUEL_JUIN_2012.pdf [Consulté le : avril 2025]
- [35] Documentation interne de l'entreprise
- [36] Benfetta, H., Sahnoun, A., Achour, B., & Ouadja, A. (2017, octobre). Épuration des eaux usées dans la wilaya de Mascara.
- [37] TechnologuePro. Chapitre 5 – Les pompes. Cours de mécanique des fluides.
- [38] Techno-Science. Épuration.
<https://www.techno-science.net/definition/123.html> [Consulté le : avril 2025]
- [39] Omnifab. Qu'est-ce qu'un motoréducteur ?
<https://omnifab.ca/qu-est-ce-qu-un-motoreducteur/> [Consulté le : avril 2025]
- [40] Guenouna.D, Bouteldja.E (2019). Étude de réducteur de vitesse pour convoyeur à sel. Mémoire de Master, Université Abdelhamid Ibn Badis – Mostaganem.
- [41] Atlas Copco. Tout savoir sur les surpresseurs d'air comprimé. Atlas Copco Tunisie.
<https://www.atlascopco.com/fr-tn/compressors/wiki/compressed-air-articles/air-blowers-working-principle-types-applications> [Consulté le : mai 2025]
- [42] Académie Voltage Industrielle. Les composants d'une armoire électrique industrielle. Académie Voltage Industrielle.
<https://academie-voltage-industrielle.fr/nos-guides/les-composants-dune-armoire-electrique-industrielle/> [Consulté le : mai 2025]
- [43] Abdou, Y., & Ben Saidi, A. (2016). Chapitre I : Généralités sur les machines asynchrones triphasées. Dans Commande sans capteur de vitesse d'une machine asynchrone. Mémoire de Master, Université Ibn Khaldoun – Tiaret.
- [44] Université de Batna 2. (2018). Architecture des systèmes automatisés (Cours de 2e année, Département SC-ST)
- [45] Université de Oum El Bouaghi. Résumé du cours : Automatisation des systèmes industriels (Master 1, Département de Génie Mécanique).
- [46] Université de M'sila. (2021). Chapitre I : Les Automates Programmables Industriels (Cours de 2e année Licence, Département de Génie Électrique).
- [47] Documentation Siemens : <https://www.siemens.com/fr/fr.html> [Consulté le : mai, juin 2025]
- [48] Technologue Pro. Chapitre 11 : Généralités sur les capteurs. Dans Cours de capteurs et actionneurs en instrumentation industrielle (Licence en génie électrique).

Annexe :

SIEMENS

fiche technique du produit

6ES7314-6EH04-0AB0



SIMATIC S7-300,
CPU314C-2PN/DP CPU COMPACTE AVEC 192 KOCTETS
MEM. DE TRAVAIL,
24 E16 S TOR, EA 25A, 1 PT100,
4 COMPTEURS RAPIDES (80 KHZ),
INTERF. 1: MPI/DP 12MBITS,
INTERF. 2: ETHERNET PROFINET,
AVEC 2 PORT SWITCH,
ALIMENTATION INTEGREE 24V CC,
CONN. FRONTAL (2 X 40 PTS) ET MICRO MEMORY
CARD REQUIRE

Informations générales	
Version matérielle	01
Version du firmware	V3.3
Ingénierie avec	
Pack de programmation	à partir de STEP7 V5.5 avec HSP191
Tension d'alimentation	
24 V CC	Oui
Plage admissible, limite inférieure (CC)	19,2 V
Plage admissible, limite supérieure (CC)	28,8 V
Protection externe des conducteurs d'alimentation (conseillée)	Disjoncteur, type C, min. 2 A ; disjoncteur, type B, min. 4 A
Temps de maintien sur panne réseau d'alimentation	
Temps de maintien sur panne réseau d'alimentation	5 ms
Taux de répétition, mini	1 s
Entrées TOR	
Tension de charge L+	
Valeur nominale (CC)	24 V
Protection contre l'inversion de polarité	Oui
Sorties TOR	

Nombre, maxi	1024 ; Plage de numérotation : 1 à 16000
Taille, maxi	64 koctet
FB	
Nombre, maxi	1024 ; Plage de numérotation : 0 à 7999
Taille, maxi	64 koctet
FC	
Nombre, maxi	1024 ; Plage de numérotation : 0 à 7999
Taille, maxi	64 koctet
OB	
Description	voir liste des opérations
Taille, maxi	64 koctet
Nombre d'OB de cycle libres	1 ; OB 1
Nombre d'OB d'alarme horaire	1 ; OB 10
Nombre d'OB d'alarme temporisée	2 ; OB 20, 21
Nombre d'OB d'alarme cyclique	4 ; OB 32, 33, 34, 35
Nombre d'OB d'alarme process	1 ; OB 40
Nombre d'OB d'alarme DPV1	3 ; OB 55, 56, 57
Nombre d'OB d'isochronisme	1 ; OB 61 ; uniquement pour PROFINET
Nombre d'OB de démarrage	1 ; OB 100
Nombre d'OB d'erreur asynchrone	6 ; OB 80, 82, 83, 85, 86, 87 (OB83 uniquement pour PROFINET IO)
Nombre d'OB d'erreur synchrone	2 ; OB 121, 122
Profondeur d'imbriication	
par classe de priorité	16
également à l'intérieur d'un OB d'erreur	4
Compteurs, temporisations et leur rémanence	
Compteurs S7	
Nombre	256
Rémanence	
réglable	Oui
Limite inférieure	0
Limite supérieure	255
par défaut	Z 0 à Z 7
Plage de comptage	
réglable	Oui
Limite inférieure	0
Limite supérieure	999
Compteurs CEI	
présente	Oui

Tension de charge L+	
Valeur nominale (CC)	24 V
Protection contre l'inversion de polarité	Non
Courant d'entrée	
Consommation (valeur nominale)	850 mA
Consommation (à vide), typ.	190 mA
Courant d'appel typique	5 A
PI	0,7 A*s
sur tension d'alimentation L+, maxi	850 mA
Entrées TOR	
sur tension de charge L+ (sans charge), maxi	80 mA
Sorties TOR	
sur tension de charge L+, maxi	50 mA
Puissance dissipée	
Puissance dissipée, typ.	14 W
Mémoire	
Type de mémoire	Autres
Mémoire de travail	
intégré	192 koctet
extensible	Non
Taille de la mémoire résistante pour blocs de données rémanents	64 koctet
Mémoire de chargement	
enrichissable (MMC)	Oui
enrichissable (MMC), maxi	8 Moctet
Gestion des données sur MMC (après dernière programmation), mini	10 s
Sauvegarde	
présente	Oui ; garantie par MMC (sans maintenance)
sans pile	Oui ; Programme et données
Temps de traitement CPU	
pour opérations sur bits, typ.	0,06 µs
pour opérations sur mots, typ.	0,12 µs
pour opérations à virgule fixe, typ.	0,16 µs
pour opérations à virgule flottante, typ.	0,59 µs
CPU-blocs	
Nombre de blocs (total)	1024 ; (OB, FC, FB) Le nombre maximal de blocs chargeables peut se trouver réduit par la micro-carte que vous utilisez.
DB	

Nature	SFB
Nombre	illimité (limitation uniquement par mémoire de travail)
Temporisations S7	
Nombre	256
Rémanence	
réglable	Oui
Limite inférieure	0
Limite supérieure	255
par défaut	pas de rémanence
Plage horaire	
Limite inférieure	10 ms
Limite supérieure	9990 s
Temporisateurs CEI	
présente	Oui
Nature	SFB
Nombre	illimité (limitation uniquement par mémoire de travail)
Zones de données et leur rémanence	
Zone de données rémanente, total	Tous, max. 64 Ko
Mémentos	
Nombre, maxi	256 octet
Rémanence existante	Oui ; MB 0 à MB 255
Rémanence préétablie	MB 0 à MB 15
Nombre de mémentos de cadence	8 ; 1 octet de mémento
Blocs de données	
Nombre, maxi	1024 ; Plage de numérotation : 1 à 16000
Taille, maxi	64 koctet
Rémanence réglable	Oui ; via la propriété "Non Retain" sur DB
Rémanence préétablie	Oui
Données locales	
par classe de priorité, maxi	32 koctet ; max. 2048 octets par bloc
Plage d'adresses	
Plage d'adresses de périphérie	
Entrées	2048 octet
Sorties	2048 octet
donc décentralisées	
Entrées	2003 octet
Sorties	2010 octet
Mémoire image du processus	

Entrées	2048 octet
Sorties	2048 octet
Entrées, réglables	2048 octet
Sorties, réglables	2048 octet
Entrées, par défaut	256 octet
Sorties, par défaut	256 octet
Adresses par défaut des voies intégrées	
Entrées TOR	136.0 à 138.7
Sorties TOR	136.0 à 137.7
Entrées analogiques	800 à 809
Sorties analogiques	800 à 803
Mémoires images process partielles	
Nombre de mémoires images process partielles, max.	1 ; avec PROFNET IO, la longueur des données utiles est limitée à 1600 octets
Voies TOR	
Entrées	16048
Sorties	16096
Entrées, dont centrales	1016
Sorties, dont centrales	1008
Voies analogiques	
Entrées	1006
Sorties	1007
Entrées, dont centrales	253
Sorties, dont centrales	250
Configuration matérielle	
Appareil d'extension, maxi	3
Nombre de systèmes maîtres DP	
Intégré	1
via CP	4
Nombre de FM et CP utilisables (recommandation)	
FM	8
CP, point à point	8
CP, LAN	10
Profilé-support	
Châssis, max.	4
Modules par châssis, maxi	8 ; max. 7 dans le châssis 3

Données de S.A.V.	
exploitable	Oui
Alarmes/diagnostic/information d'état	
Signalisation de diagnostic par LED	
Signalisation d'état Sortie TOR (verte)	Oui
Signalisation d'état Entrée TOR (verte)	Oui
Fonctions intégrées	
Nombre de compteurs	4 ; voir Manuel "Fonctions technologiques"
Fréquence de comptage (compteurs), maxi	60 kHz
Mesure de fréquence	Oui
Nombre de fréquencemètres	4 ; jusqu'à 60 kHz max. (voir manuel "Fonctions technologiques")
Positionnement en boucle ouverte	Oui
Blocs fonctionnels intégrés (régulation)	Oui ; Régulateur PID (voir manuel "Fonctions technologiques")
Régulateur PID	Oui
Nombre de sorties impulsionsnelles	4 ; Modulation de largeur d'impulsions jusqu'à 2.5 kHz max. (voir manuel "Fonctions technologiques")
Fréquence limite (impulsion)	2.5 kHz
Séparation galvanique	
Séparation galvanique entrées TOR	
Séparation galvanique entrées TOR	Oui
entre les voies	Non
entre voies et bus interne	Oui
Séparation galvanique sorties TOR	
Séparation galvanique sorties TOR	Oui
entre les voies	Oui
entre les voies, par groupes de	8
entre voies et bus interne	Oui
Séparation galvanique entrées analogiques	
Séparation galvanique entrées analogiques	Oui ; en commun pour périphérie analogique
entre les voies	Non
entre voies et bus interne	Oui
Séparation galvanique sorties analogiques	
Séparation galvanique sorties analogiques	Oui ; en commun pour périphérie analogique
entre les voies	Non

secours et synchronisable	Oui
Ecart journalier, maxi	10 s ; typ. : 2 s
Durée de sauvegarde	6 wk ; température ambiante de 40 °C
Comportement de l'horloge à la mise sous tension	L'horloge continue de fonctionner après la MISE HORS TENSION
Comportement de l'horloge après écoullement de la durée de sauvegarde	L'horloge continue de fonctionner après MISE HORS TENSION
Compteur d'heures de fonctionnement	
Nombre	1
Numérotage de numéros	0
Plage de valeurs	0 à 2*31 heures (en utilisant la SFC 101)
Granularité	1 heure
rémanant	Oui ; doit être redémarré à chaque démarrage à chaud.
Synchronisation de l'heure	
pris en charge	Oui
sur MPI, maître	Oui
sur MPI, esclave	Oui
sur DP, maître	Oui ; pour l'esclave DP, uniquement horloge esclave
sur DP, esclave	Oui
dans l'AP, maître	Oui
dans l'AP, esclave	Oui
sur Ethernet via NTP	Oui ; en tant que client
Entrées TOR	
Nombre d'entrées TOR	24
dont entrées utilisables pour les fonctions technologiques	16
Voies intégrées (ET)	24
Caractéristique d'entrée selon CEI 61131, type 1	Oui
Nombre d'entrées activables simultanément	
Position de montage horizontale	
jusqu'à 40 °C, maxi	24
jusqu'à 60 °C, maxi	12
Position de montage vertical	
jusqu'à 40 °C, maxi	12
Tension d'entrée	
Valeur nominale, CC	24 V
pour état log. "1"	15 à 30 V
Courant d'entrée	

Isolation	
Isolation vérifiée avec	600 V CC
Conditions ambiantes	
Température de service	
mini	0 °C
max.	60 °C
Configuration	
Logiciel de configuration	
STEP 7	Oui ; à partir de V 5.5
Programmation	
Jeu d'opérations	voir liste des opérations
Niveaux de parenthèses	8
Fonctions système (SFC)	voir liste des opérations
Blocs fonctionnels système (SFB)	voir liste des opérations
Langage de programmation	
CONT	Oui
LOG	Oui
LIST	Oui
SCL	Oui
CFC	Oui
GRAPH	Oui
HiGraph®	Oui
Protection du savoir-faire	
Protection des programmes utilisateur / protection par mot de passe	Oui
Cryptage des blocs	Oui ; avec S7-Block Privacy
Dimensions	
Largeur	120 mm
Hauteur	125 mm
Profondeur	130 mm
Poids	
Poids approx.	730 g
Situation	5 août 2014

Annexe 1 : fiche technique du CPU.

SIEMENS

Fiche technique

6AV2124-0MC01-0AX0

SIMATIC HMI TP1200 Comfort, Comfort Panel, commande tactile, écran large TFT 12", 16 millions de couleurs, interface PROFINET, interface MPI/PROFIBUS DP, 12 Mo de mémoire de configuration, Windows CE 6.0, (assistance Microsoft y compris les mises à jour de sécurité est paramétrée) configurable à partir de WinCC Comfort V11



Informations générales	
Désignation du type de produit	TP1200 Comfort
Ecran	
Technologie de l'écran	TFT
Diagonale d'écran	12,1 in
Largeur d'écran	261,1 mm
Hauteur d'écran	163,2 mm
Nombre de couleurs	16 777 216
Résolution (en pixels)	
• Résolution d'image horizontale	1 280 Pixel
• Résolution d'image verticale	800 Pixel
Rétroéclairage	
• MTBF du rétroéclairage (à 25 °C)	80 000 h
• Rétroéclairage à intensité variable	Oui; 0-100 %
Organes de commande	
Polices de clavier	
• Touches de fonction	
— Nombre de touches de fonction	0

LED d'alimentation (Power)	Non
LED de défaut (Error)	Non
Acoustique	
• Vibreur	Non
• Haut-parleur	Oui

Heure	
Horloge	
• Horloge matérielle (horloge temps réel)	Oui
• Horloge logicielle	Oui
• secourue	Oui; Durée de sauvegarde typique 6 semaines
• synchronisable	Oui

Interfaces	
Nombre d'interfaces Industrial Ethernet	1; 2 ports (commutateur)
Nombre d'interfaces RS 485	1; RS 422 / 485 combinés
Nombre d'interfaces RS 422	0; conjointement à RS 485
Nombre d'interfaces RS 232	0
Nombre d'interfaces USB	2; USB 2.0
• USB mini B	1; 5 points
Nombre d'interfaces 20 mA (TTY)	0
Nombre d'interfaces parallèles	0
Nombre d'interfaces diverses	0
Nombre de logements pour carte SD	2
avec interfaces logicielles	Non
Industrial Ethernet	
• LED d'état Industrial Ethernet	2
• Nombre de ports du commutateur intégré	2

Protocoles	
PROFINET	Oui
Supporte le protocole pour PROFINET IO	Oui
IRT	Oui; à partir de WinCC V12
PROFIBUS	Oui
MPI	Oui
Protocoles (Ethernet)	
• TCP/IP	Oui
• DHCP	Oui
• SNMP	Oui
• DCP	Oui
• LLDP	Oui
Propriétés WEB	
• HTTP	Oui
• HTTPS	Oui

— Nombre de touches de fonction à LED	0
• Touches à LED	Non
• Touches système	Non
• Pavé numérique	Oui; Clavier sur écran
• Pavé alphanumérique	Oui; Clavier sur écran
Commande tactile	
• Exécution à écran tactile	Oui
Extension pour conduite de processus	
• LED DP direct (LED comme périphérie de sortie S7)	
— F1...Fx	0
• Touches directes (touches en tant que périphérie d'entrée S7)	
— F1...Fx	0
• Touches directes (zones tactiles en tant que périphérie d'entrée S7)	40
Type de configuration/Fixation	
Position de montage	vertical
Intégration verticale (format portrait) possible	Oui
Intégration horizontale (format paysage) possible	Oui
Angle d'inclinaison maxi admissible sans ventilation externe	35°
Tension d'alimentation	
Type de tension d'alimentation	CC
Valeur nominale (CC)	24 V
Plage admissible, limite inférieure (CC)	19,2 V
Plage admissible, limite supérieure (CC)	28,8 V
Courant d'entrée	
Consommation (valeur nominale)	0,85 A
Courant d'enclenchement Pt	0,5 A²·s
Puissance	
Puissance active absorbée, typ.	20 W
Processeur	
Type de processeur	X86
Mémoire	
Flash	Oui
RAM	Oui
mémoire disponible pour données utilisateur	12 Mbyte
Type de sortie	
LED Info	Non

• HTML	Oui
• XML	Oui
• CSS	Oui
• Active X	Oui
• JavaScript	Oui
• Java VM	Non
Mode redondant	
• MRP	Oui; à partir de WinCC V12
Autres protocoles	
• CAN	Non
• Supporte le protocole pour EtherNet/IP	Oui
• MODBUS	Oui

CEM	
Emission de perturbations radioélectriques selon EN 55 011	
• Classe de valeur limite A, pour l'emploi dans l'industrie	Oui
• Classe de valeur limite B, pour l'emploi dans les zones résidentielles	Non

Degré et classe de protection	
IP (face avant)	IP65
Capot type 4 face avant	Oui
Capot type 4x face avant	Oui
Degré de protection (EN 60529)	IP20

Normes, homologations, certificats	
Marquage CE	Oui
cULus	Oui
RCM (anciennement C-TICK)	Oui
Homologation KC	Oui

Utilisation en zone à risque d'explosion Ex	
• ATEX Zone 2	Oui
• ATEX Zone 22	Oui
• IECEx Zone 2	Oui
• IECEx Zone 22	Oui
• cULus Class I Zone 1	Non
• cULus Class I Zone 2, Division 2	Oui
• FM Class I Division 2	Oui

Agrément pour constructions navales	
• Germanischer Lloyd (GL)	Oui; à partir de la version E : 10
• American Bureau of Shipping (ABS)	Oui; à partir de la version E : 10
• Bureau Veritas (BV)	Oui; à partir de la version E : 10
• Det Norske Veritas (DNV)	Oui; à partir de la version E : 10

• Lloyds Register of Shipping (LRS)	Oui; à partir de la version E : 10
• Nippon Kaiji Kyokai (Class NK)	Oui; à partir de la version E : 10
• Polski Rejestr Statków (PRS)	Non
Conditions ambiantes	
Température ambiante en service	
• Service (montage vertical)	
— pour montage vertical, min.	0 °C
— pour montage vertical, max.	50 °C; (55 °C, voir n° de rubrique: 64847814)
• Service (angle d'inclinaison maxi)	
— en position inclinée au maximum, min.	0 °C
— en position inclinée au maximum, max.	40 °C
• Service (montage vertical, format portrait)	
— pour montage vertical, min.	0 °C
— pour montage vertical, max.	40 °C
• Service (angle d'inclinaison max., format portrait)	
— en position inclinée au maximum, min.	0 °C
— en position inclinée au maximum, max.	35 °C
Température ambiante à l'entreposage / au transport	
• mini	-20 °C
• max.	60 °C
Humidité relative de l'air	
• Service, maxi	90 %; sans condensation
Systèmes d'exploitation	
Propriétaire	Non
Système d'exploitation préinstallé	
• Windows CE	Oui
Configuration	
Affichage de messages	Oui
Système de gestion des messages (y compris im- pression et acquittement)	Oui
Représentation de valeurs de process (visu)	Oui
Spécification de valeurs de process (saisie) possible	Oui
Gestion des recettes	Oui
Logiciel de configuration	
• STEP 7 Basic (portail TIA)	Non
• STEP 7 Professional (portail TIA)	Non
• WinCC flexible Compact	Non
• WinCC flexible Standard	Non
• WinCC flexible Advanced	Non
• WinCC Basic (portail TIA)	Non

• WinCC Comfort (portail TIA)	Oui; à partir V11
• WinCC Advanced (portail TIA)	Oui; à partir V11
• WinCC Professional (portail TIA)	Oui; à partir V11
Langues	
Langues en ligne	
• Nombre de langues en ligne/langues d'application	32
Langues	
• Langues par projet	32
Fonctionnalités sous WinCC (TIA Portal)	
Bibliothèques	Oui
Applications/options	
• Navigateur web	Oui
• Pocket Word	Oui
• Pocket Excel	Oui
• PDF Viewer	Oui
• Media Player	Oui
• SIMATIC WinCC Sm@rtServer	Oui
• SIMATIC WinCC Audit	Oui
Nombre de scripts Visual Basic	Oui
Planificateur de tâches	
• commandé par horloge	Oui
• commandé par tâches	Oui
Système d'aide	
• Nombre de caractères par texte d'info	70
Gestion de messages	
• Nombre de classes de messages	32
• Messages sur bits	
— Nombre de messages sur bits	4 000
• Messages sur valeurs analogiques	
— Nombre de messages sur valeurs analogiques	200
• S7 Procédure de numérotation de messages	Oui
• Messages système IHM	Oui
• Messages système divers (SIMATIC S7, Sinumerik, Simotion, ...)	Oui
• Nombre de caractères par message	80
• Nombre de valeurs process par message	8
• Groupes d'acquiescement	Oui
• Indicateur de message	Oui
• Tampons de messages	

— Nombre d'entrées	1 024
— Tampon FIFO	Oui
— rémanent	Oui
— sans maintenance	Oui
Gestion des recettes	
• Nombre de recettes	300
• Enregistrements par recette	500
• Entrées par enregistrement	1 000
• Taille de la mémoire de recettes interne	2 Mbyte
• Mémoire de recettes extensible	Oui
Variables	
• Nombre de variables par appareil	2 048
• Nombre de variables par vue	400
• Valeurs limites	Oui
• Multiplexage	Oui
• Structures	Oui
• Tableaux	Oui
Vues	
• Nombre de vues projetées	500
• Fenêtre permanente/modèle	Oui
• Image globale	Oui
• Vues Pop-up	Oui
• Vues Slide-in	Oui
• Sélection de vue via AP	Oui
• Numéro de vue dans l'API	Oui
Objets graphiques	
• Nombre d'objets par vue	400
• Champs de texte	Oui
• Champs d'E/S	Oui
• Champs d'E/S graphiques (liste de graphiques)	Oui
• Champs d'E/S symboliques (liste de textes)	Oui
• Champs date/heure	Oui
• Commutateur	Oui
• Boutons	Oui
• Affichage graphique	Oui
• Icônes	Oui
• Objets géométriques	Oui
Objets graphiques complexes	
• Nombre d'objets complexes par vue	20
• Vue des alarmes	Oui
• Vue de courbes	Oui

• Vue des utilisateurs	Oui
• Visualisation/forçage	Oui
• Vue Sm@rtClient	Oui
• Vue de recette	Oui
• Vue de courbes f(x)	Oui
• Vue du diagnostic système	Oui
• Media Player	Oui
• Navigateur HTML	Oui
• Affichage PDF	Oui
• Affichage caméra IP	Oui
• Bargraphes	Oui
• Curseurs	Oui
• Instruments à aiguille	Oui
• Horloge analogique/numérique	Oui
Listes	
• Nombre de listes de textes par projet	500
• Nombre d'entrées par liste de textes	500
• Nombre de listes de graphiques par projet	500
• Nombre d'entrées par liste de graphiques	500
Archivage	
• Nombre d'archives par appareil	50
• Nombre d'entrées par archive	20 000
• Archive de messages	Oui
• Archive de valeurs de process	Oui
• Méthodes d'archivage	
— Archive suite	Oui
— Archive cyclique	Oui
• Lieu de stockage	
— Carte mémoire	Oui
— Mémoire USB	Oui
— Ethernet	Oui
• Format d'archivage des données	
— CSV	Oui
— TXT	Oui
— RDB	Oui
Sécurité des données	
• Nombre de groupes d'utilisateurs	50
• Nombre de droits d'utilisateur	32
• Nombre d'utilisateurs	50
• Exportation/Importation de mot de passe	Oui
• SIMATIC Logon	Oui

Protocole sur imprimante	
• Messages	Oui
• Rapport (journal d'équipe)	Oui
• Copie d'écran	Oui
• Impression électronique dans fichier	Oui; PDF, HTML
Jeux de caractères	
• Polices de clavier	
— Etats-Unis (Anglais)	Oui
Transfert (Upload/Download)	
• MPI/PROFIBUS DP	Oui
• USB	Oui
• Ethernet	Oui
• moyennant support de mémoire externe	Oui
Couplage au process	
• S7-1200	Oui
• S7-1500	Oui
• S7-200	Oui
• S7-300/400	Oui
• LOGO!	Oui
• Win AC	Oui
• SINUMERIK	Oui; avec pack d'options SINUMERIK
• SIMOTION	Oui
• Allen Bradley (EtherNet/IP)	Oui
• Allen Bradley (DF1)	Oui
• Mitsubishi (MC TCP/IP)	Oui
• Mitsubishi (FX)	Oui
• OMRON (FINS TCP)	Non
• OMRON (LINK/Multilink)	Oui
• Modicon (Modbus TCP/IP)	Oui
• Modicon (Modbus)	Oui
• Client OPC UA	Oui
• Serveur OPC UA	Oui
Servicetools/Aides à la configuration	
• Backup/Restore	Oui
• Backup/Restore automatique	Oui
• Simulation	Oui
• Commutation d'appareil	Oui
Périphérie / options	
Périphérie	
• Imprimantes	Oui
• Carte mémoire MM SIMATIC HMI : Multi Media Card	Oui; jusqu'à 128 Mo
• Carte mémoire SD SIMATIC HMI : Secure Digital Memory Card	Oui; jusqu'à 2 Go
• Carte mémoire CF SIMATIC HMI : Compact Flash Card	Non
• Mémoire USB	Oui
• SIMATIC IPC USB FlashDrive (clé USB)	Oui; jusqu'à 16 Go
• SIMATIC HMI mémoire USB (clé USB)	Oui; jusqu'à 8 Go
• Caméra en réseau	Oui
Mécanique/Matériau	
Matériau du boîtier (face avant)	
• Matière plastique	Non
• Aluminium	Oui
• Acier inoxydable	Non
Dimensions	
Largeur de la face avant	330 mm
Hauteur de la face avant	241 mm
Découpe d'encastrement, largeur	310 mm
Découpe d'encastrement, hauteur	221 mm
Profondeur	65 mm
Poids	
Poids sans emballage	2,8 kg
Poids, y compris emballage	3,5 kg
dernière modification :	16-08-2019

Annexe 2 : fiche technique de L'IHM.