

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية  
République Algérienne démocratique et populaire

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

جامعة سعد دحلب البليدة  
Université SAAD DAHLAB de BLIDA

كلية التكنولوجيا  
Faculté de Technologie

قسم الآلية والإلكتروني  
Département d'Automatique et Electrotechnique



## Mémoire de Master

Filière : Automatique

Spécialité : Automatique et Informatique Industrielle

Présenté par

HAROUN Rahil Lamis Romaiassa

&

RANDJA Sirine

# Amélioration des performances opérationnelles d'une station de dessalement

Proposé par : M. AYAD Hocine

Année Universitaire 2023-2024

## Remerciements

---

Tout d'abord, nous exprimons notre gratitude envers ALLAH Le Tout-Puissant pour nous avoir accordé le courage et la patience tout au long de la réalisation de ce modeste projet.

Nous souhaitons exprimer notre sincère reconnaissance envers notre promoteur M. AYED Hocine pour son engagement constant, ses précieux conseils et son soutien inestimable tout au long de ce projet.

Nous tenons ainsi à exprimer notre sincère gratitude envers notre Co-promoteur M. MOHELLEBI Hamza pour sa précieuse contribution à ce projet.

Nous remercions également M. HAMZAOUI Farouk pour sa volonté de partager ses connaissances, sa générosité et son dévouement à transmettre son savoir.

Nos remerciements à M. MEFTAH Hamid et à M. AOUAKLI Ahmed pour leurs précieux commentaires et leurs suggestions constructives qui nous ont permis d'améliorer notre étude.

Nous exprimons notre profonde gratitude envers le personnel de AEC, notamment M. MELBOUSSI pour son accueil et sa bienveillance, et toute la famille de la station de Corso, en l'occurrence M. LARAFI Mghezzi Djennadi , M. BOUDJEMAI Samir, M. DJAHLANE Hamid, M. ASMANI Noureddine, M. BENMECHIARA Reda, M. KHEFFACHE, et envers tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué à la réussite de notre mission.

Nos remerciements s'adressent également à tous les enseignants qui ont contribué à notre formation estudiantine.

Nous souhaitons exprimer notre gratitude envers les enseignants qui ont accepté de faire partie du jury, pour leur engagement et leur temps précieux, qu'ils ont consacré à la lecture et à l'évaluation de ce mémoire.

## Dédicaces

---

وَعَاخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنِ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

Alhamdulillah, avant tout, je remercie ALLAH Subhanahu wa ta'ala, le Tout-Puissant, pour m'avoir accordé la force, et la détermination nécessaire pour surmonter les défis de la vie.

Je suis fière de chaque pas que j'ai franchi, de chaque mission que j'ai accomplie et de chaque succès que j'ai atteint, le parcours n'a pas été court, et n'aurait pas dû l'être, le rêve n'était pas à portée de main, et la route était semée d'embûches, mais j'y suis parvenue.

A ma mère **B. Nadia**, l'incarnation de l'amour et de la dévotion, chaque jour tu as été ma source d'inspiration et de réconfort, guidant mes pas avec sagesse. Je suis infiniment reconnaissante pour tout ce que tu as sacrifié pour moi, pour tes encouragements sans faille et pour ton amour inconditionnel qui m'a toujours soutenu, que ta lumière continue d'illuminer ma route, et que notre lien reste indestructible pour l'éternité. Merci maman, pour tout ce que tu es.

A mon père **Kheireddine**, ta présence bienveillante et ton soutien inconditionnel ont été les piliers sur lesquels j'ai bâti ma vie, ton exemple et ton amour incommensurable, tes conseils avisés continuent à me guider à travers les hauts et les bas de la vie, que cette dédicace soit le témoignage de l'amour infini que je te porte, et de l'immense gratitude que je ressens pour tout ce que tu as fait pour moi.

A mon grand frère **Walid**, qui est un soutien indéfectible et une force motrice précieuse dans ma vie.

A ma petite sœur **Mayi**, et à mon petit frère **Ali**, que cette dédicace soit le témoignage de mon amour éternel pour vous, je serai toujours là pour vous, peu importe les circonstances.

A ma **chère grand-mère**, tes prières, tes câlins et ta présence pleins d'amour ont façonné les souvenirs les plus doux de mon enfance et continuent d'inspirer ma vie d'adulte, que dieu te garde pour moi.

A ma chère famille, à mes collègues et à mes amis.

Enfin, je dédie cette réussite à toutes les personnes qui ont cru en moi, même lorsque j'avais des doutes, et qui m'ont encouragé à poursuivre mes rêves avec détermination et confiance.

**RLR. HAROUN**

## Dédicaces

---

وَأَخِرُ دَعْوَاهُمْ أَنْ الْحَمْدُ لِلَّهِ رَبِّ الْعَالَمِينَ

Tout d'abord, je tiens à remercier DIEU de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Je tiens à dédier ce mémoire

À ma mère **B.Aicha**, Je tiens à te remercier du fond du cœur pour tout ce que tu as fait pour moi, Merci de m'avoir guidée, soutenue et aimée inconditionnellement. Tu es et resteras toujours une source d'inspiration et de force pour moi. Je te garde dans ma mémoire avec une affection infinie.

À mon père **Toufik**, Les mots ne suffiront jamais à exprimer toute ma gratitude pour l'amour, le soutien et les conseils que tu m'as prodigués au fil des années. Ta sagesse, ta force et ton dévouement ont façonné la personne que je suis aujourd'hui.

Je vous dédie tous mes efforts, et j'espère que ce travail vous apportera de la fierté.

À mon frère **Chemssadine**, qui a toujours eu confiance en moi et m'a incité à faire tout mon possible pour atteindre le succès, Je n'ai que toi, et cela me suffit amplement, car ton amour et ton soutien sont inestimables.

A ma **chère grand-mère**, tu as été une amie, une confidente et un modèle. Ton amour inconditionnel m'a guidée et inspirée à devenir la personne que je suis aujourd'hui, Ô Allah, merci de m'avoir accordé une grand-mère aussi aimante

À tous mes amis et mes collègues sans exception pour leur soutien infinis et leurs encouragements.

A toute personne qui occupe une place dans mon cœur.

**S. RANDJA**

في محطة تحلية المياه، يحدث أحياناً أن المياه المنتجة لا تتوافق مع متطلبات العميل، أي شركة تحلية المياه، مما يشكل مشكلة تعاقدية. ومع ذلك، فإن وقف إنتاج المياه سيترتب عليه غرامات مالية كبيرة. تم تصميم المحطة بطريقة تجعلها في حالة حدوث ذلك لأي سبب من الأسباب، تقوم بتفريغ المياه مباشرة في البحر، وتبدأ عملية المعالجة مرة أخرى من المياه الخام، لذلك من الضروري التفكير في حل أكثر كفاءة لتقليل الفاقد. والهدف من هذا المشروع هو تصميم نظام إعادة تدوير غير موجود وأتمته لتحليل جودة المياه المنتجة في الوقت الفعلي وتعديل معايير عملية التحلية لتلبية متطلبات العميل. لتحقيق ذلك، قمنا بدمج صمام ثلاثي الاتجاهات واستخدمنا وحدة التحكم المنطقي القابلة للبرمجة Modicon M580. وتمت برمجة المبادل باستخدام Control Expert بالإضافة إلى ذلك، قمنا بتطوير واجهة بين الإنسان والآلة HMI مما يتيح عرض النظام في الوقت الحقيقي.

ما سيجعل من الممكن الحد من هدر الطاقة والمواد الكيميائية والوقت المرتبط بتصريف هذه المياه، مع الحفاظ على استمرارية الإنتاج في محطة تحلية المياه في قورصو ؛ ببومرداس.

**كلمات المفاتيح :** تحلية المياه، ADE، نظام إعادة تدوير، وحدة التحكم المنطقي، Control Expert

#### Résumé :

Dans une station de dessalement, il arrive parfois que l'eau produite, ne soit pas conforme aux exigences du client " l'ADE " ce qui pose un problème contractuel. Cependant, interrompre la production d'eau entrainerait des pénalités financières considérables. La station est conçue de telle sorte que, si cela arrive pour une raison ou une autre, elle rejete directement cete eau à la mer, et recommence le processus du traitement à partir de l'eau brute, donc il est crucial d'envisager une solution plus efficace pour minimiser les pertes. L'objectif de ce projet est de concevoir un système de recyclage inexistant et l'automatiser pour analyser en temps réel la qualité de l'eau produite et ajuster les paramètres du processus de dessalement afin de répondre aux exigences du client.

Pour cela, nous avons intégré une vanne à trois voies et utilisé l'automate programmable Modicon M580. La programmation de l'échangeur a été réalisée avec le logiciel Control Expert. De plus, nous avons développé une interface homme machine IHM permettant de visualiser le système en temps réel.

Cela permettrait de réduire le gaspillage d'énergie, de produits chimiques et de temps associé aurejet de cette eau, tout en maintenant la continuité de la production, au sein de la station de dessalement de corso, Boumerdes.

**Mots clés :** Dessalement, ADE, Système de recyclage, Automate programmable, Control Expert

---

**Abstract:**

In a desalination plant, it sometimes happens that the water produced doesn't meet the requirements of the customer " ADE " which poses a contractual problem. However, interrupting water production would entail considerable financial penalties. The plant is designed in such a way that if this happens for any reason, it discharges this water directly into the sea, and starts the treatment process again from raw water, so it's crucial to consider a more efficient solution to minimize losses. The aim of this project, is to design a non-existent recycling system and automate it to analyze the quality of the water produced in real time, and adjust the desalination process parameters to meet customer requirements.

To achieve this, we integrated a three-way valve and used the Modicon M580 PLC, while programming the exchanger was carried out using Control Expert software. In addition, we developed a human-machine interface HMI enabling the system to be visualized in real time.

This would reduce the waste of energy, chemicals and time associated with rejecting this water, while maintaining continuity of production at the desalination plant in Corso, Boumerdes.

**Keywords :** Desalination, ADE, Recycling system, PLC, Control Expert

---

## Liste des acronymes et abréviations

**SDEM** : Station de Dessalement d'eau de Mer

**AEC** : Algerian Energy Company

**GCB** : Génie Civil et Bâtiment

**RO** : Reverse Osmosis

**MF** : Microfiltration

**UF** : Ultrafiltration

**NF** : Nanofiltration

**HP** : Haute Pression

**MES** : Matières en Suspension

**PPM** : Particules par million

**SDI** : Selt Density Index (l'indice de densité de sédiments)

**NTU** : Nephelometric Turbidity Unit ( Unité Néphéломétrique de Turbidité)

**TDS** : Solides Dissous Totaux

**CIP** : Clean In Place ( nettoyage en place)

**SMBS** : Sodium Metabisulfite

**ORP** : Oxidation-Reduction Pntial ( Potentiel d'oxydo-Réduction)

**LIT** : Level Indicator Transmitter ( Indicateur Transmetteur de Niveau)

**AIT** : Analyzer Indicator Transmitter ( Analyseur Indicateur Transmetteur)

**AI** : Analog Input ( Entrée analogique)

**AO** : Analog Output ( Sortie analogique)

**DI** : Digital Input ( Entrée numérique)

**DO** : Digital Output ( Sortie numérique)

**API** : Automate Programmable Industriel

**CPU**: Central Processing Unit (Unité centrale de traitement)

**E/S** : Entrée / sortie

**IHM** : Interface homme machine

**PLC** : Programming Logic Controller

**SCADA** : Supervision Control and Data Acquisition

**TOR** : Tout ou Rien

**LD** : Ladder Diagram (Langage à contact)

**MF** : Microfiltration

**P&ID** : Piping & Instrumentation Diagram (Schéma de tuyauterie et d'instrumentation)

**ADE** : Algérienne des eaux

# Tables des matières

Remerciement

Dédicace

Résumé

Liste des abréviations

Table des matières

Liste des figures

Liste des tableaux

Introduction générale ..... 1

## Chapitre 01 : Notions générales sur le dessalement.

1.1 Introduction..... 4

1.2 Présentation de l'entreprise AEC..... 4

1.2.1 Historique ..... 4

1.2.2 Planification stratégique..... 6

1.2.3 Surveillance et évaluation ..... 7

1.3 Le dessalement de l'eau de mer ..... 8

1.3.1 Les eaux de dessalement..... 9

1.3.2 Méthodes de dessalement ..... 10

1.3.3 Choix d'un procédé de dessalement ..... 11

1.4 Techniques membranaires ..... 11

1.4.1 Méthode utilisée par la station ..... 12

1.4.2 Définition de la méthode d'osmose inverse ..... 12

1.4.3 Les avantages et les inconvénients de la séparation membranaires ..... 15

1.5 Problématique ..... 16

1.6 Solution proposée ..... 17

1.7 Conclusion .....	17
----------------------	----

## **Chapitre 02 : Etude fonctionnelle de la station de dessalement.**

2.1 Introduction.....	18
-----------------------	----

2.2 Description du processus .....	18
------------------------------------	----

2.2.1 Prise d'eau de mer .....	20
--------------------------------	----

2.2.2 Etape de prétraitement .....	23
------------------------------------	----

2.2.3 Etape de filtration .....	25
---------------------------------	----

2.2.4 Etape d'osmose inverse .....	29
------------------------------------	----

2.2.5 Etape de posttraitement.....	30
------------------------------------	----

2.2.6 Dosage .....	31
--------------------	----

2.2.7 Système de mélange.....	33
-------------------------------	----

2.2.8 Système de rejet .....	33
------------------------------	----

2.3 Instrumentations et équipement .....	34
--	----

2.3.1 Instruments de mesure.....	34
----------------------------------	----

2.3.2 Instruments de contrôle .....	36
-------------------------------------	----

2.3.3 Equipements .....	43
-------------------------	----

2.3.4 Analyseurs.....	45
-----------------------	----

2.4 Consommation de l'énergie de la station .....	46
---	----

2.5 Conclusion .....	46
----------------------	----

## **Chapitre 03 : Présentation du système de contrôle SCADA.**

3.1 Introduction.....	47
-----------------------	----

3.2 Systèmes automatisés .....	47
--------------------------------	----

3.2.1 Partie opérative .....	48
------------------------------	----

3.2.2 Partie commande .....	48
-----------------------------	----

3.2.3 Automatisation de la station.....	48
---	----

3.3 Automates programmable industrielle API.....	49
3.3.1 Structure d'un API.....	50
3.3.2 Langages de programmation des API .....	51
3.4 Choix de l'automate utilisé .....	52
3.5 Généralité sur l'automate Modicon M580 .....	53
3.5.1 Description générale de l'automate .....	53
3.5.2 Module d'alimentation.....	54
3.5.3 Module de communication .....	55
3.5.4 Module convertisseur fibre .....	55
3.5.5 Communication avec CPU .....	56
3.5.6 Configuration.....	56
3.5.7 Modules d'entrées et sorties.....	56
3.6 Logiciel de programmation.....	57
3.6.1 Description du Ecostruxure control expert (unity pro) .....	57
3.6.2 Les principaux avantages du logiciel Ecostruxure control expert (unity pro).....	57
3.6.3 Création du projet.....	58
3.6.4 Déclaration des variables.....	59
3.6.5 Elaboration du programme .....	60
3.6.6 Simulation.....	61
3.7 Système SCADA .....	63
3.7.1 Avantage des systèmes SCADA.....	63
3.7.2 Philosophie de contrôle de la station .....	64
3.7.3 Vue d'ensemble du système de contrôle de la station.....	65
3.7.4 Vijeo citect .....	66
3.7.5 Caractéristiques du logiciel .....	66

3.8 Conclusion .....	67
----------------------	----

**Chapitre 04 : Programmation et simulation du projet.**

4.1 Introduction.....	68
-----------------------	----

4.2 Schéma P&ID.....	68
----------------------	----

4.3 Spécification fonctionnelle.....	69
--------------------------------------	----

4.3.1 Organigramme .....	70
--------------------------	----

4.3.2 Cahier de charge.....	72
-----------------------------	----

4.4 Structure du programme.....	73
---------------------------------	----

4.4.1 Table des variables .....	73
---------------------------------	----

4.4.2 Programme logique .....	73
-------------------------------	----

4.4.3 Présentation de la vue.....	75
-----------------------------------	----

4.5 Conclusion .....	78
----------------------	----

<b>Conclusion générale.....</b>	<b>79</b>
---------------------------------	-----------

**Références Bibliographiques**

**Annexes A**

## Listes des figures

<b>Figure 1.1</b> : Sonatrach, GCB et Metito.....	5
<b>Figure 1.2</b> : Les stations de dessalement existantes en Algérie .....	6
<b>Figure 1.3</b> : Ateliers et laboratoires.....	7
<b>Figure 1.4</b> : Processus de dessalement d'eau de mer .....	8
<b>Figure 1.5</b> : Principe d'un système de dessalement .....	9
<b>Figure 1.6</b> : Échelle de filtration .....	10
<b>Figure 1.7</b> : Principe d'une membrane semipermeable.....	12
<b>Figure 1.8</b> : Procédé d'osmose et d'osmose inverse.....	13
<b>Figure 1.9</b> : La différence entre l'osmose et l'osmose inverse.....	13
<b>Figure 1.10</b> : Modules d'une membrane.....	14
<b>Figure 1.11</b> : Principe du colmatage des membranes .....	15
<b>Figure 2.1</b> : Localisation de la station.....	18
<b>Figure 2.2</b> : Plan de conception sur NavisWorks .....	19
<b>Figure 2.3</b> : Bâche d'admission.....	20
<b>Figure 2.4</b> : Dégrilleur à barre.....	21
<b>Figure 2.5</b> : Tamiseur à bande mobile.....	22
<b>Figure 2.6</b> : Trois batardeaux.....	22
<b>Figure 2.7</b> : Bâche de coagulation .....	23
<b>Figure 2.8</b> : Bâche de floculation.....	23
<b>Figure 2.9</b> : Passage d'eau du décanteur vers la bâche d'eau clarifiée.....	24
<b>Figure 2.10</b> : Bâche clarifiée .....	24
<b>Figure 2.11</b> : Zone de filtration.....	25
<b>Figure 2.12</b> : Filtre à sable .....	26
<b>Figure 2.13</b> : Filtres à cartouches .....	27

<b>Figure 2.14</b> : Lavage à contre-courant / Rejet.....	28
<b>Figure 2.15</b> : Racks des membranes.....	29
<b>Figure 2.16</b> : lits de calcite.....	30
<b>Figure 2.17</b> : Réservoirs de stockage/Dosage .....	31
<b>Figure 2.18</b> : Vannes d'isolement des conduites d'eau brute.....	36
<b>Figure 2.19</b> : Schéma général du moteur asynchrone triphasé.....	37
<b>Figure 2.20</b> : Pompes de javellisation.....	38
<b>Figure 2.21</b> : Pompes à haute pression .....	39
<b>Figure 2.22</b> : Pompes booster .....	39
<b>Figure 2.23</b> : Pompes d'alimentation en eau brute .....	40
<b>Figure 2.24</b> : Pompes d'extraction de boue .....	40
<b>Figure 2.25</b> : Pompes de lavage à contre-courant .....	41
<b>Figure 2.26</b> : Pompes de nettoyage/ rinçage CIP .....	41
<b>Figure 2.27</b> : Pompes d'échantillonnage.....	42
<b>Figure 2.28</b> : Pompes de dosage .....	42
<b>Figure 2.29</b> : Mélangeur statique.....	43
<b>Figure 2.30</b> : Racleur de boue.....	43
<b>Figure 2.31</b> : Surpresseurs d'air.....	44
<b>Figure 2.32</b> : Réservoirs de stockage/dosage des produits chimiques .....	44
<b>Figure 2.35</b> : Système d'échangeur de pression .....	45
<b>Figure 3.1</b> : Structure d'un système automatisé.....	47
<b>Figure 3.2</b> : Schéma explicatif d'un système automatisé.....	49
<b>Figure 3.3</b> : Panneau de contrôle automatisé .....	52
<b>Figure 3.4</b> : Automate programmable Modicon M580.....	54

<b>Figure 3.5</b> : Modicon X80 _Module d'alimentation .....	54
<b>Figure 3.6</b> : Module de communication .....	55
<b>Figure 3.7</b> : Convertisseur fibre .....	55
<b>Figure 3.8</b> : Icône du logiciel Unity Pro XL.....	57
<b>Figure 3.9</b> : Création du projet dans Unity Pro XL .....	58
<b>Figure 3.10</b> : Interface d'utilisateur.....	59
<b>Figure 3.11</b> : Interface pour saisir les variables (Editeur de données).....	60
<b>Figure 3.12</b> : Différentes sections d'un programme.....	61
<b>Figure 3.13</b> : les outils utilisés pour la réalisation d'une simulation .....	61
<b>Figure 3.14</b> : Création d'une table d'animation .....	62
<b>Figure 3.15</b> : Saisie des variables de la table d'animation.....	62
<b>Figure 3.16</b> : Diagramme de processus de l'usine .....	64
<b>Figure 3.17</b> : Architecture du système de contrôle .....	66
<b>Figure 4.1</b> : Schéma P&ID de la boucle de recyclage.....	68
<b>Figure 4.2</b> : Organigramme .....	71
<b>Figure 4.3</b> : Table des variables .....	73
<b>Figure 4.4</b> : Première partie du Main_program... ..	73
<b>Figure 4.5</b> : Deuxième partie du Main_program.....	74
<b>Figure 4.6</b> : Troisième partie du Main_program.....	74
<b>Figure 4.7</b> : Quatrième partie du Main_program.....	75
<b>Figure 4.8</b> : Une partie de la section MESURE.....	75
<b>Figure 4.9</b> : Vue générale du système .....	76
<b>Figure 4.10</b> : Test du cas de conformité d'eau .....	76

<b>Figure 4.11</b> : Test du cas d'hors spécifications d'eau .....	77
<b>Figure 4.12</b> : Test du système de recyclage .....	77
<b>Figure 4.13</b> : Test de la suite du système de recyclage.....	77

## Liste des Tableaux

**Tableau 1.1** : Critères de qualité de l'eau produite ..... 7

**Tableau 2.1** : Critères de qualité de l'eau filtrée..... 27

# **Introduction générale**

## Introduction générale

---

Le stress hydrique, qui a affecté le pays pendant les années 90, a amené les pouvoirs publics à engager un programme d'urgence pour la sécurisation des zones côtières en alimentation en eau potable par le recours au dessalement d'eau de mer.

Ce qu'il faut retenir, c'est qu'il est plus simple et plus économique de rechercher des sources d'eau douce à traiter ( eaux de surface, telles que les lacs et les rivières, ou eau souterraine ) que de dessaler l'eau de mer. Cependant, dans de nombreuses régions du monde, comme l'Algérie, les sources de l'eau douce sont rares et inégalement réparties. Donc, face à la rareté de l'eau, l'Algérie a investi dans des usines de dessalement, surtout sur la côte méditerranéenne.

L'automatisation joue un rôle crucial dans l'optimisation des processus de dessalement. Les technologies d'automatisation, qui incluent l'intégration de capteurs avancés, de systèmes de contrôle et d'algorithmes intelligents, permettent une gestion plus précise et réactive de l'ensemble des opérations de dessalement. Ces technologies facilitent la surveillance en temps réel des paramètres critiques tels que la salinité, la température, le débit et la qualité de l'eau permettant ainsi des ajustements immédiats, pour maintenir une performance optimale.

L'automatisation offre également la possibilité de réduire les coûts opérationnels, et, d'améliorer la fiabilité des installations de dessalement. En minimisant les interventions manuelles, et, en optimisant les cycles de maintenance, les systèmes automatisés augmentent l'efficacité énergétique, et prolongent la durée de vie des équipements.

L'automatisation et le dessalement sont intrinsèquement liés dans la quête d'une gestion efficace et durable de l'eau. En intégrant des systèmes automatisés, les stations de dessalement peuvent non seulement répondre aux besoins croissants en eau douce, mais aussi réduire leur impact environnemental et améliorer leur rentabilité.

Pour notre projet de fin d'études, nous avons effectué un stage pratique au sein de la société Algerian Energy Company, une filiale de SONATRACH, sur le site de la station de Corso à Boumerdès, cette dernière, intègre les techniques de dessalement les plus avancées, ainsi que les dernières technologies axées sur l'automatisation et la supervision SCADA.

## Introduction générale

---

Le but de notre projet est donc, de proposer une solution innovante pour automatiser une boucle de recyclage de l'eau produite non conformes aux exigences de l'Algérienne des eaux et habituellement rejetée dans la mer. En intégrant des technologies avancées d'automatisation, nous visons à améliorer l'efficacité du processus de dessalement, à réduire le gaspillage de cette eau précieuse, et à optimiser l'utilisation des ressources en eau. Notre projet s'inscrit dans une démarche de développement durable, visant à concilier les besoins croissants en eau potable avec la préservation des écosystèmes marins, et une gestion plus responsable des ressources disponibles.

Dans ce contexte, notre étude a été achevée au moyen d'un automate programmable Modicon M580, un contrôleur puissant et flexible qui permet de gérer et d'optimiser les processus industriels complexes à l'aide du logiciel Unity Pro, maintenant appelé Control Expert.

Afin de parvenir à notre objectif, nous avons structuré notre mémoire en quatre chapitres :

- ✓ Le premier chapitre comporte des notions générales sur le dessalement, ainsi que son importance dans le contexte mondial actuel, en exposant les différentes méthodes de dessalement, et, en se basant principalement sur l'osmose inverse qui est le procédé mis en œuvre par la station, ses avantages et inconvénients, à la fin de ce chapitre une problématique est posée et une solution est proposée.
- ✓ Le deuxième chapitre présente l'étude fonctionnelle de la station de dessalement, en décrivant chaque étape du processus, ainsi que l'instrumentation et les équipements employés. Il examine également la consommation d'énergie de la station.
- ✓ Le troisième chapitre permet d'acquérir des connaissances essentielles sur la philosophie de contrôle SCADA de la station de dessalement, et il se concentre sur l'utilisation du logiciel Unity Pro, afin de réussir à développer la solution d'automatisation et de supervision de notre projet, et mettre en œuvre la boucle de recyclage automatisée.

## Introduction générale

---

- ✓ Le quatrième chapitre est consacré au développement du nouveau processus, en se concentrant sur le contrôle et la supervision du système proposé, illustrant comment les données sont utilisées pour optimiser en temps réel le processus de recyclage et garantir une performance optimale de la station de dessalement.

Cette structure nous permet de couvrir de manière exhaustive, tous les aspects de notre projet, tant les fondements théoriques que pratiques pour l'optimisation du système automatisé.

Enfin, nous clôturons notre travail avec une conclusion générale, dans laquelle nous évaluons la synthèse du travail présenté, les solutions adoptées, les problèmes rencontrés et les connaissances acquises jusqu'à cette étape d'avancement.

Cette conclusion, permettra de dresser un bilan global de notre projet, en mettant en lumière les réussites, les défis surmontés, et les perspectives d'amélioration future pour les stations de dessalement.

# **Chapitre 01**

## **Notions générales sur le dessalement**

## **1.1 Introduction**

Sur tout le littoral du pays, les incertitudes de la météo se combinent à la pression démographique et aux perturbations prévisibles liées au réchauffement climatique pour peser sur la disponibilité de l'eau. Devant cette situation, la volonté des hommes s'est appuyée sur les leviers de la science pour faire appel à la technologie du dessalement de l'eau de mer, comme une solution de sauvetage, qui se profile aujourd'hui comme une alternative stratégique pour palier au stress hydrique. Les pouvoirs publics l'ont bien compris en lançant une série de projets de méga stations de dessalement, d'une capacité de 300 000 m<sup>3</sup>/j chacune, tout au long des côtes algériennes. Intégrant des technologies de pointe, notamment en matière de récupération d'énergie, le dessalement s'est imposé aujourd'hui comme une solution économiquement viable et durable. Aujourd'hui plus que jamais, alors se profile, dans le sillage des changements climatiques annoncés, le risque d'un stress hydrique étendu et prolongé, le dessalement d'eau de mer se confirme comme solution pérenne et sûre pour les années à venir. [1]

AEC est l'acteur majeur du dessalement d'eau de mer en ALGÉRIE. Un levier efficient du développement. Algerian Energy Company, une filiale de Sonatrach et de Sonelgaz, a été chargée de la réalisation d'un ambitieux plan qui a été lancé visant la construction de nombreuses grandes stations de dessalement d'eau de mer, tout au long de la côte algérienne.

## **1.2 Présentation de l'entreprise AEC**



### **1.2.1 Historique**

AEC est une société par actions créée en 2001 et détenue à 100% par SONATRACH depuis décembre 2018, avec un capital social de 15 840 .000 .000 .00 DZD.

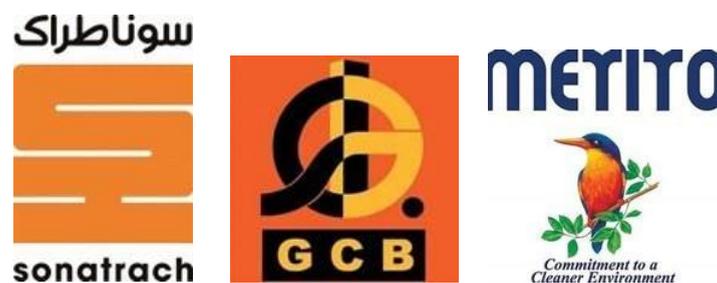
Statutairement, ses missions consistent en la promotion de projets d'envergures, seule ou en partenariat avec des Firmes Nationales ou étrangères exerçant, notamment, dans :

- Génération Energie Électrique.
- Le dessalement d'eau de Mer.
- Énergies Renouvelables. [1]

La conception du processus étudié était basée sur la vaste expérience de Metito, dans la conception, la fabrication, l'exploitation et la maintenance des installations d'osmose inverse d'eau de mer, cette station a été confié aux entreprises AEC et GCB.

La société nationale de Génie Civil et Bâtiment, une filiale de Sonatrach, est une société issue de restructuration de Sonatrach créée le 1<sup>er</sup> Aout 1981. GCB opère plusieurs activités telles que la construction mécanique et la maintenance industrielle.

Metito est une entreprise émirienne, spécialisée dans le domaine de l'eau et de l'environnement. Elle a été impliquée dans plusieurs projets en Algérie telle que la station de dessalement d'eau de mer de corso, Boumerdes.



*Figure 1.1. Sonatrach, GCB et Metito*

## 1.2.2 Planification stratégique

AEC ; possède actuellement 12 stations de dessalement d'eau de mer réparties sur le littoral national, et représentant 17% de la production nationale en eau potable. En capitalisant plus de vingt années d'expérience, et une production qui a atteint 2,11 millions m<sup>3</sup>/j, AEC se prépare à augmenter sa production actuelle, pour atteindre une capacité totale installée de 3,75 millions m<sup>3</sup>/j à l'horizon 2025.

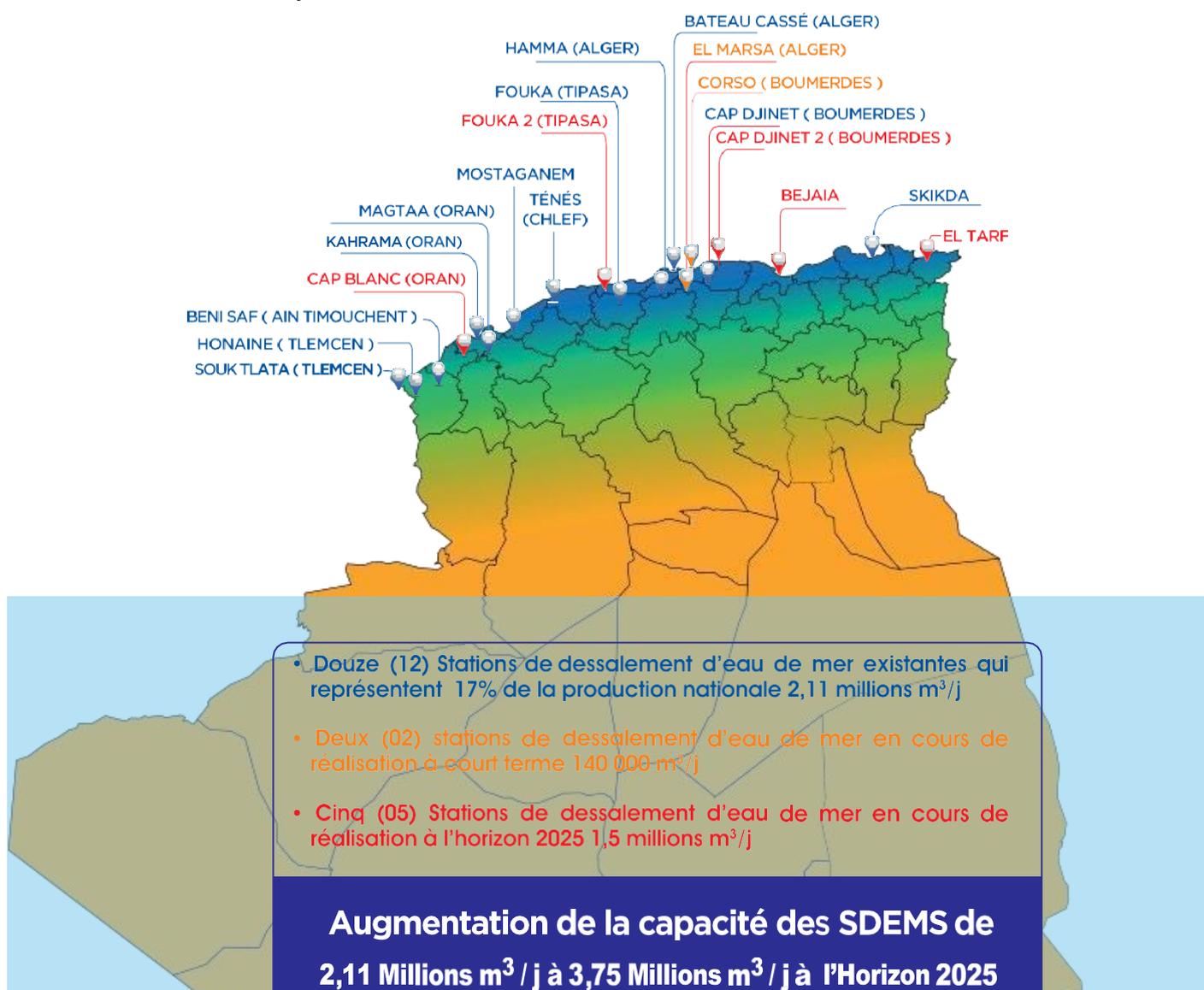


Figure 1.2. Les stations de dessalement existantes en Algérie [1]

### 1.2.3 La surveillance et l'évaluation

Le rôle de la maintenance est indispensable dans les installations industrielles, notamment pour une station de dessalement, la complexité technique croissante alliée au souhait d'une abilité toujours plus grande fait de la maintenance, une activité stratégique pour garantir le fonctionnement régulier et la bonne préservation des équipements productifs, de l'instrumentation des installations et des divers services. La réalisation des activités de maintenance est nécessaire, en se conformant aux bonnes pratiques industrielles ou au manuel d'exploitation et de maintenance. [1]

Des ateliers et des laboratoires spécialisés localisés à l'extérieur du site disposant des compétences et des qualifications jugées appropriées, pour assurer l'entretien des équipements, et le suivi continu de la qualité d'eau produite.



**Figure 1.3. Ateliers et Laboratoires**

**Tableau 1. 1: Critères de qualité de l'eau produite.**

La référence de ces paramètres est définie dans le contrat de chaque usine de dessalement.

Paramètre	Valeur
pH	7.5 – 8.5
TDS (mg/l)	150 - 500
Chlore résiduel (mg/l)	0.1 – 0.3
Alcalinité(mg/l)	>65
Turbidité (NTU)	1 maximum
Bore (mg/l)	≤ 1.3
Autres paramètres	

### 1.3. Le dessalement de l'eau de mer

Le dessalement est un procédé de traitement de l'eau, qui consiste à enlever le sel de cette dernière, produisant ainsi de l'eau douce. Malgré la diversité des applications possibles pour les technologies de dessalement, l'utilisation la plus répandue actuellement, est de produire de l'eau potable en continu, non seulement pour les individus, mais aussi pour l'industrie agricole.

En revanche, le dessalement de l'eau "dessalage ou désalinisation" est un processus qui permet de produire de l'eau douce à partir d'une eau saumâtre ou salée. [2]

L'eau renferme des sels minéraux, qui jouent un rôle crucial dans le développement du corps et dans son métabolisme. Toutefois, l'eau est associée aux microbes. En cas de mauvais traitement de cet or bleu dans les usines et de distribution, l'eau devient un vecteur de maladies. Selon sa qualité, elle peut avoir un effet bénéfique, et inversement sur le corps d'une personne.

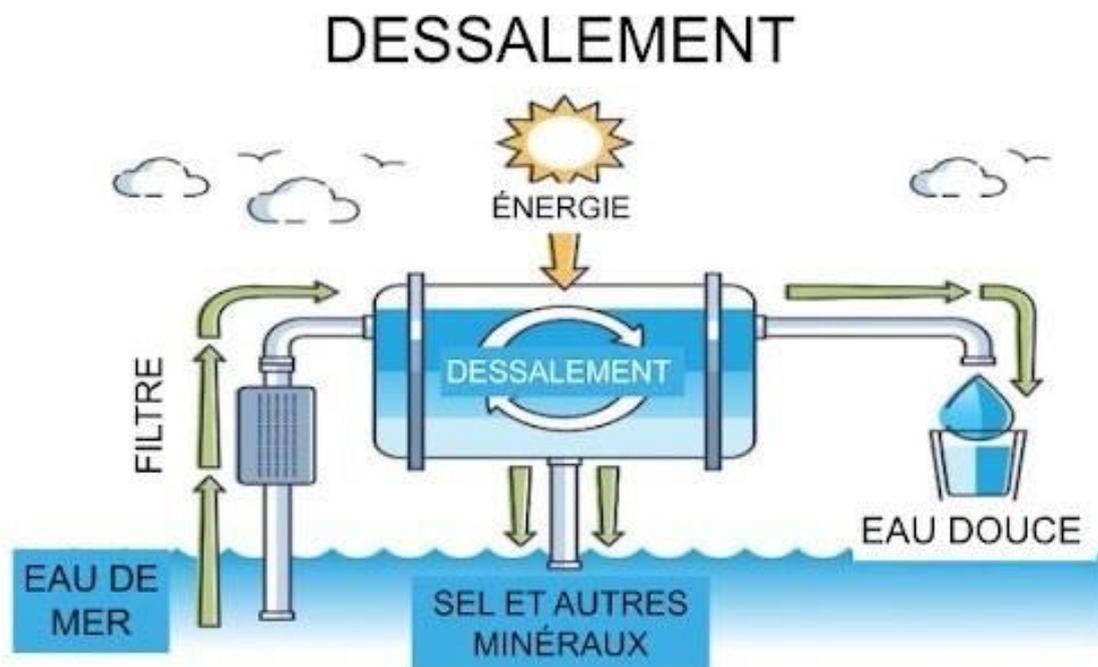


Figure 1.4. Processus de dessalement d'eau de mer [3]

### 1.3.1. Les eaux de dessalement

Deux grandes catégories d'eaux sont essentiellement concernées par le problème du dessalement :

- L'eau de mer avec une salinité de l'ordre de 35g/L.
- Les eaux saumâtres chlorurées sodiques ou sélénito- magnésiennes.

#### a) L'eau de mer

L'eau de mer est l'eau salée des milieux marins et océaniques. La caractéristique la plus importante des eaux de mer est leur salinité l'ordre de 35g/L, c'est-à-dire; leur teneur globale en sels (chlorures de sodium et de magnésium, sulfates, carbonates).

#### b) Les eaux saumâtres

Les eaux saumâtres chlorurées sodiques ou sélénito- magnésiennes ont une teneur en sel est inférieure à celle de l'eau de mer.

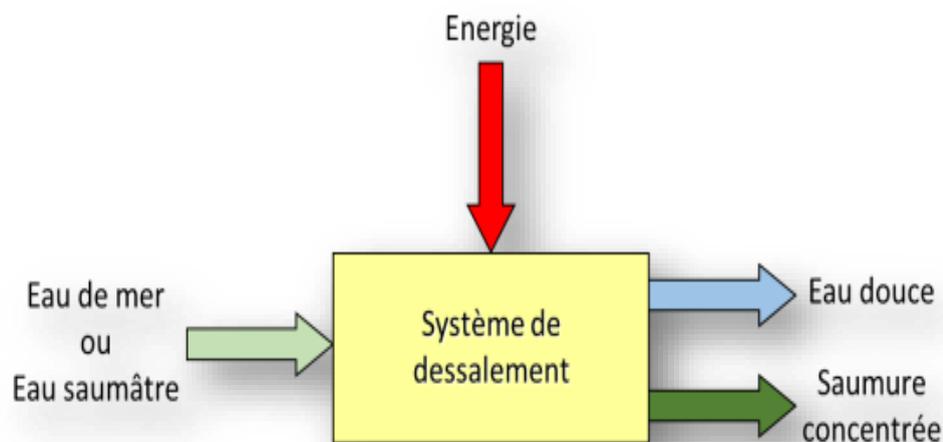


Figure 1.5. Principe d'un système de dessalement [4]

### 1.3.2. Les méthodes de dessalement

Les méthodes actuelles de dessalement des eaux sont classées en trois catégories, selon le principe appliqué :

**a) Les procédés thermiques**

- La congélation
- Distillation

**b) Les procédés membranaires**

- L'osmose inverse
- L'électrodialyse
- La microfiltration, la nanofiltration et l'ultrafiltration [5]

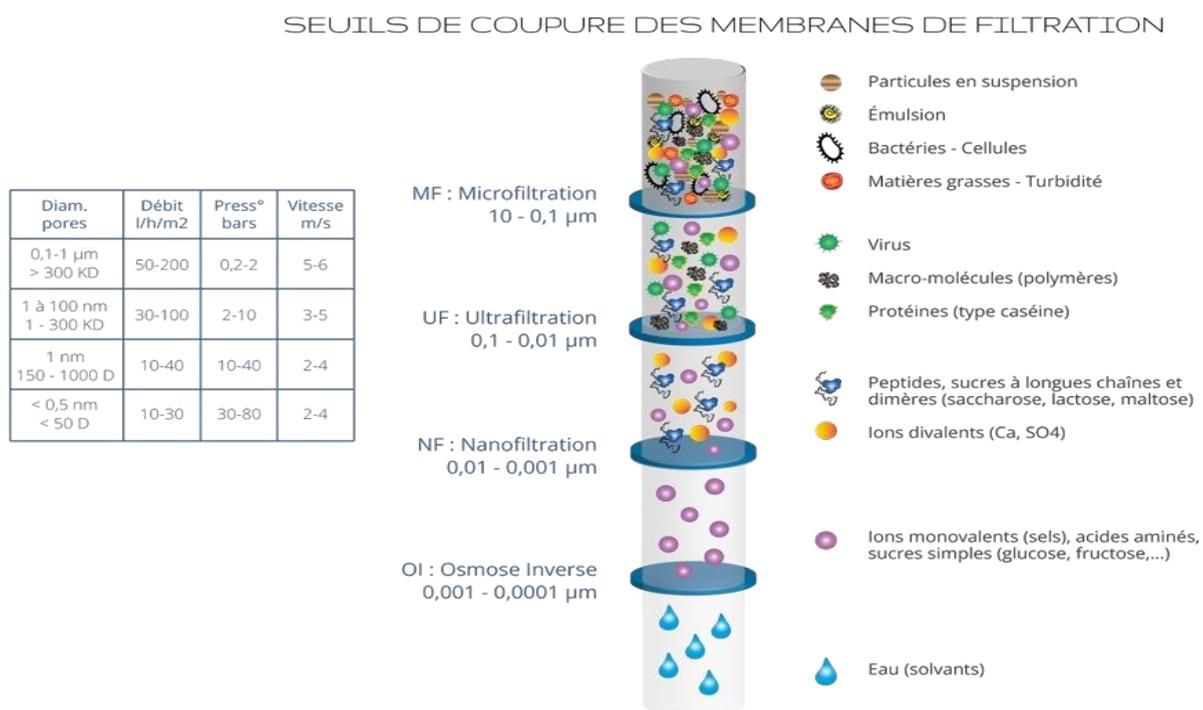


Figure 1.6. Échelle de filtration [6]

Parmi les procédés précités, la distillation et l'osmose inverse sont des technologies dont les performances ont été prouvées pour le dessalement d'eau de mer. En effet, ces deux procédés sont les plus commercialisés dans le marché mondial du dessalement. Les autres techniques

n'ont pas connu un essor important dans le domaine à cause de problèmes liés généralement à la consommation d'énergie et/ou à l'importance des investissements qu'ils requièrent.

Quel que soit le procédé de séparation du sel et de l'eau envisagé, toutes les installations de dessalement comportent 4 étapes :

- Une prise d'eau de mer avec des pompes et une filtration grossière.
- Un pré-traitement avec une filtration plus fine, l'addition de composés biocides et de produits antitartre.
- Le procédé de dessalement lui-même.
- Le post-traitement avec une éventuelle reminéralisation de l'eau produite.

### **1.3.3. Choix d'un procédé de dessalement**

La distillation a été pendant longtemps le procédé exclusif de dessalement, mais avec le renchérissement de l'énergie thermique, le marché s'est progressivement tourné vers les procédés membranaires.

## **1.3 Techniques membranaires**

La membrane est définie comme une couche mince semi-perméable, qui joue le rôle d'une barrière sélective, qui sépare les substances dissoutes ou non, sous l'action d'une force chimique (concentration) ou physique (pression). En général, les constituants qui sont plus petits que les pores de la membrane, sont capables de passer à travers la membrane, tandis que les substances et les molécules de taille plus importante sont retenues par la membrane.

[7]

La technique membranaire par l'osmose inverse est l'une des techniques de dessalement qui est l'objet de notre projet de fin d'études. Chaque méthode présente ses bénéfices et ses désavantages en ce qui concerne le coût, l'efficacité et l'impact sur l'environnement.

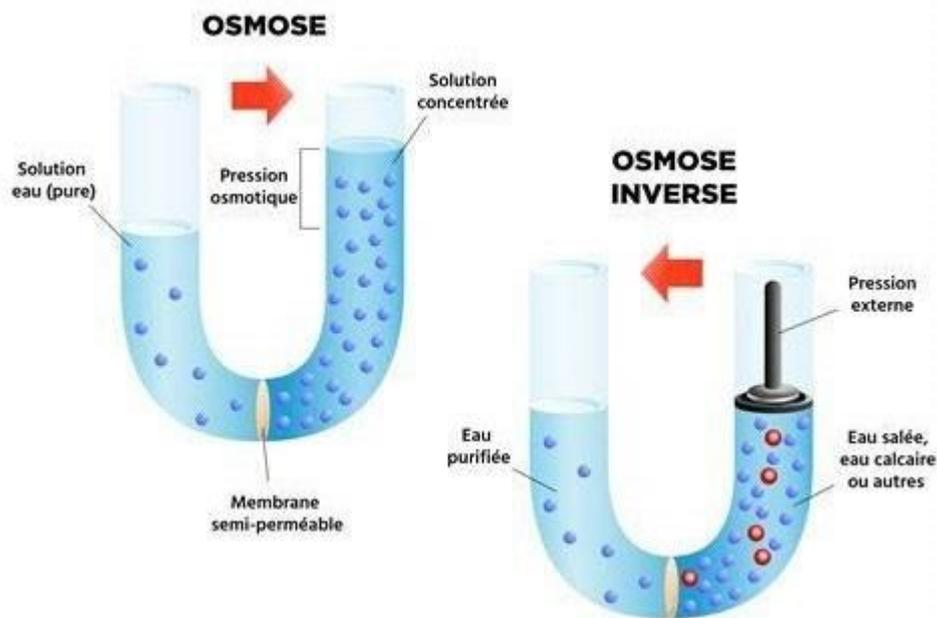


Figure 1.7. Principe d'une membrane semipermeable [8]

#### 1.4.1. Méthode utilisée par la station

Longtemps réservé au dessalement des eaux saumâtres et aux petites capacités, l'osmose inverse, procédé mis au point au cours du vingtième siècle, a bénéficié des progrès réalisés sur les membranes et sur les systèmes de récupération d'énergie qui ont littéralement fait exploser son marché. Aujourd'hui, si nous considérons l'ensemble des eaux traitées, l'osmose inverse représente presque les deux tiers de la capacité installée. Il écrase les autres procédés membranaires qui sont essentiellement l'électrodialyse, la distillation membranaire et l'osmose directe. [4]

Plusieurs autres méthodes utilisent également des membranes, mais leur évolution n'est pas encore considérable.

#### 1.4.2. Définition de la méthode d'osmose inverse

L'osmose inverse, qui est au contraire un procédé de séparation, est exactement le phénomène inverse : en appliquant une pression suffisante, nous forçons l'eau à quitter la zone concentrée, pour rejoindre la zone à faible concentration. La membrane séparatrice doit bien évidemment avoir la capacité de laisser passer les molécules d'eau tout en arrêtant le

sel. La pression à exercer dépend de la concentration en sel et sert à empêcher l'eau pure de retourner diluer l'eau salée, par phénomène d'osmose. Nous comprendrons aisément que la pression minimale à appliquer est au moins égale à la pression osmotique, qui correspond juste à l'état d'équilibre. [4]

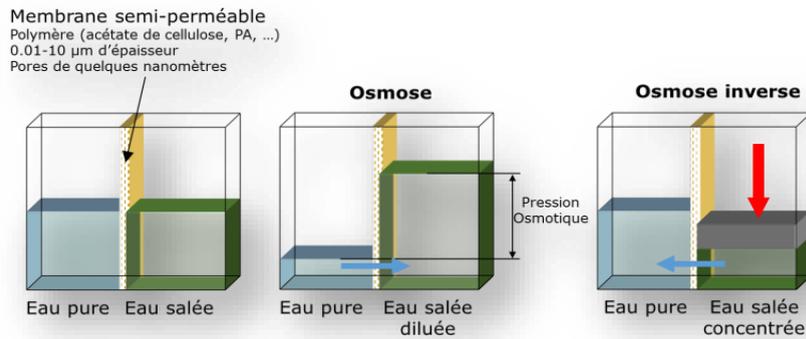


Figure 1.8. Procédés d'osmose et d'osmose inverse [4]

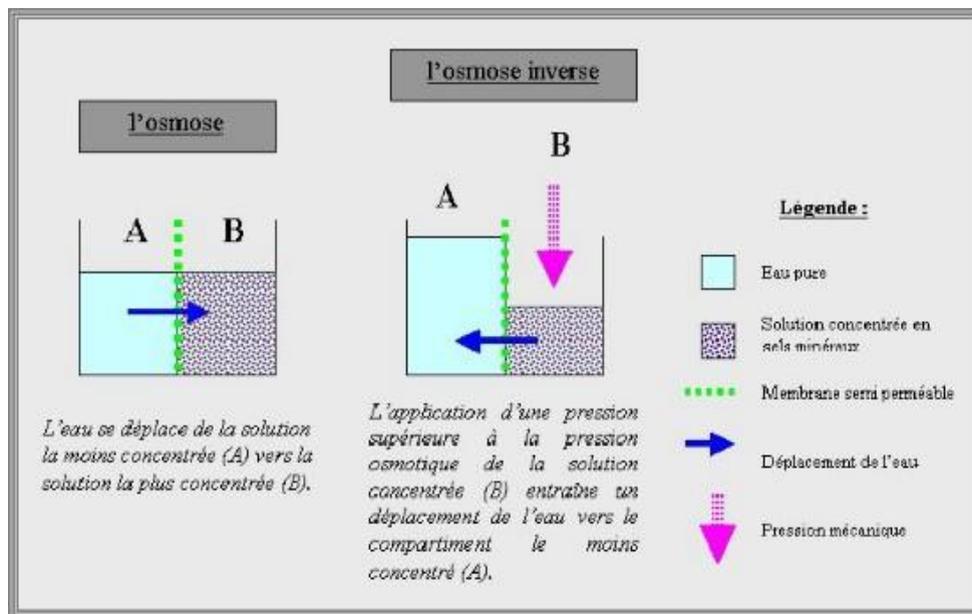
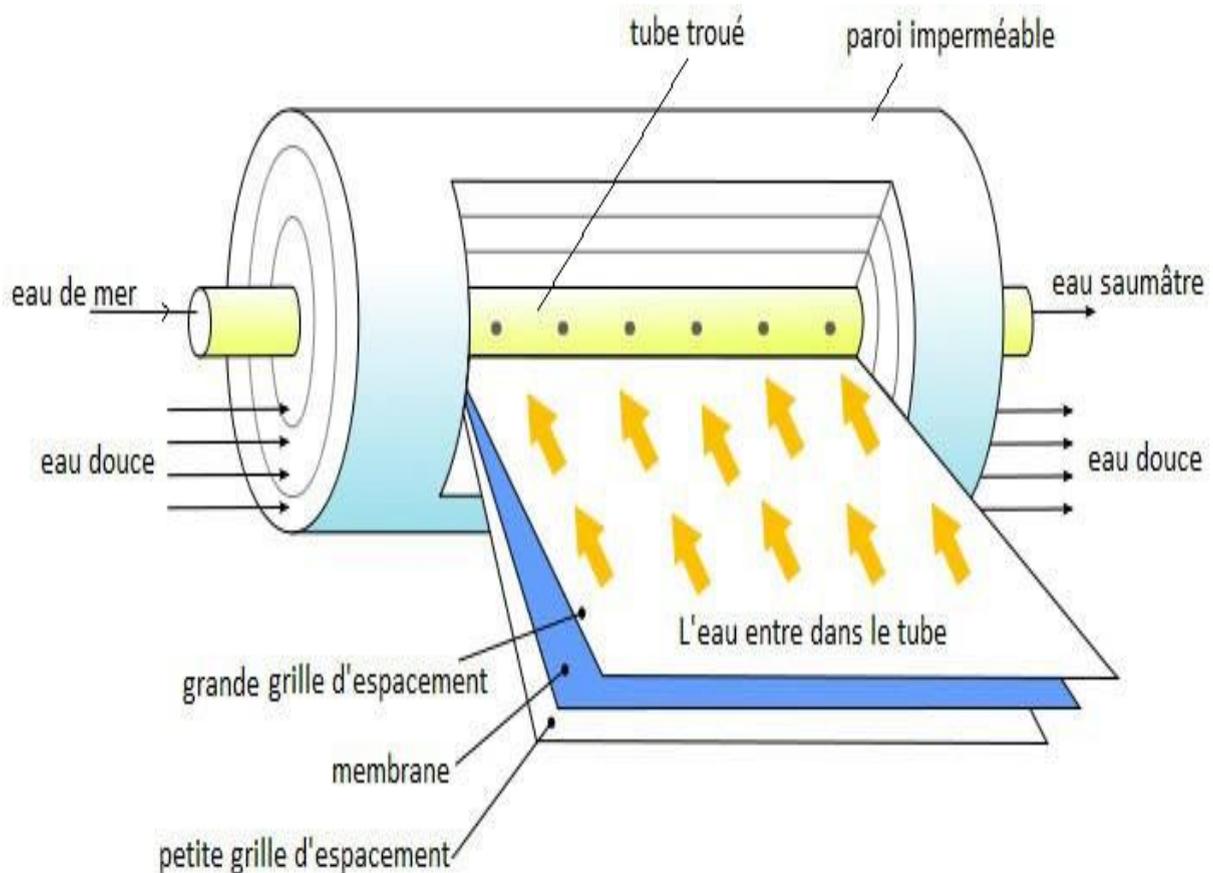


Figure 1.9. Différence entre l'osmose et l'osmose inverse [9]

### 1.4.3. Membranes d'osmose inverse

Elles sont utilisées pour éliminer le sel dans les applications de l'eau saumâtre et de l'eau de mer. Il a également été démontré que les membranes d'osmose inverse éliminent d'importantes quantités de certains contaminants organiques moléculaires de l'eau. L'osmose inverse élimine les contaminants par diffusion de la solution, et fonctionne sous une différence de pression membranaire comprise entre 5 et 8 MPa. [10]



**Figure 1.10. Modules d'une membrane [11]**

#### 1.4.4. Les avantages et les inconvénients de la séparation membranaire

La technologie de la membrane d'osmose inverse est plus avantageuse en raison de sa faible consommation d'énergie, en comparaison aux procédés thermiques, pour sa capacité de traiter différents types d'eaux contrairement au processus thermique, qui n'admet que l'eau de mer, mais aussi pour sa forte modulabilité lui permettant de mieux s'adapter aux tendances de production.

##### a) Les avantages

- Faible consommation énergétique en comparaison avec les procédés de distillation.
- Le coût du dessalement par osmose inverse est faible.

##### b) Les inconvénients

- Les membranes ont une durée de vie limitée (fragilité et perte de résistance mécanique).
- Le colmatage des membranes (dépôt de matières qui entraîne la formation d'une couche à la surface de la membrane) réduit le débit de filtration, provoque une baisse de la perméabilité, modifie la sélectivité et peut être responsable du vieillissement des membranes. [12]

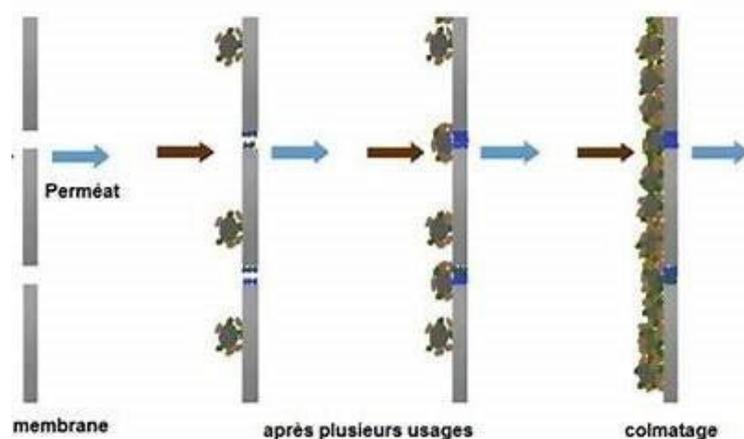


Figure 1.11. Principe du colmatage des membranes [13]

## 1.4 Problématique

Dans le cadre de l'industrie du traitement de l'eau, le processus de dessalement représente une étape critique visant à garantir la conformité aux normes de qualité. Cependant malgré les avancées technologiques et les efforts déployés, il arrive parfois que l'eau produite ne réponde pas aux attentes du client en raison de divergences par rapport aux normes établies. Ces écarts peuvent être attribués à différents facteurs, tels que des variations dans les conditions opérationnelles, des défaillances dans les équipements de dessalement ou des fluctuations de la qualité de l'eau brute, des erreurs humaines. Cette eau produite est directement rejetée dans la mer lorsqu'elle est hors spécifications, entraînant une perte considérable d'énergie, de temps consacré au traitement et de produits chimiques.

D'une part, cela implique que la quantité d'eau traitée doit être retraitée à partir de l'eau brute après son rejet, ce qui affecte également l'étape de l'osmose inverse en terme de durée de vie des membranes, car elles ont été utilisées pour traiter toute cette quantité d'eau, qui finit par être rejetée, sachant qu'elles sont très coûteuses et leur remplacement fréquent en raison de l'exposition à des conditions sévères et à des flux continus de l'eau salée constitue un défi financier majeur.

D'autre part, cette situation pose également un problème contractuel avec l'ADE, car interrompre la production d'eau d'une manière ou une autre, peut entraîner des pénalités hydrauliques et financières considérables.

Enfin, cette question pose des interrogations cruciales concernant la fiabilité des méthodes de dessalement, la conformité aux normes de qualité de l'eau et la satisfaction des exigences des clients.

- Comment minimiser les risques de pénalités financières liées à l'interruption de la production d'eau, tout en gérant efficacement les problèmes techniques, de qualité et de coûts associés au processus?
- Comment optimiser le processus pour minimiser les rejets d'eau hors spécifications dans la mer?
- Comment réduire les pertes énergétiques et chimiques?

## **1.5 Solution proposée**

Afin de garantir la satisfaction du client, et pour répondre aux exigences réglementaires, ainsi que pour éviter les pénalités contractuelles, et réduire les pertes hydrauliques, énergétiques, chimiques, et financières, nous envisageons la création d'un nouveau processus inexistant visant à améliorer les performances de la station. Ce processus, repose sur la conception d'un bassin en béton qui sera réservé pour l'eau filtrée, et l'installation d'une vanne à trois voies, pour recycler l'eau produite plutôt que de la rejeter dans la mer. En parallèle, nous pourrions résoudre les problèmes ayant entraîné des écarts par rapport aux spécifications de cette eau, pour améliorer l'efficacité opérationnelle globale du système.

## **1.6 Conclusion**

Au cours de ce chapitre, nous avons exposé l'acteur principal du dessalement d'eau de mer en Algérie, ainsi que les concepts généraux de cette méthode de traitement. L'étude fonctionnelle de la station de dessalement d'eau de mer de Corso sera détaillée dans le chapitre suivant, en se basant sur la description du processus étudié, tout en mentionnant les instruments et les équipements utilisés dans la station.

## **Chapitre 02**

# **Etude fonctionnelle de la station de dessalement**

## 2.1 Introduction

Cet usine de dessalement d'eau de mer par osmose inverse a une capacité de production nominale de 80 000 m<sup>3</sup>/jour, grâce à deux chaînes de production. L'usine produira de l'eau potable en respectant les normes de consommation. La conception du processus proposé était basée sur la vaste expérience de Metito dans la conception, la fabrication, l'exploitation et la maintenance des installations d'osmose inverse d'eau de mer. L'usine est conçue en deux chaînes de production plus ou moins indépendantes d'une capacité unitaire de 40 000 m<sup>3</sup>/j, contenant chacune quatre (04) unités de dessalement permettant ainsi une meilleure disponibilité et fiabilité de l'usine. [14]

## 2.2 Description du processus

La réalisation de la SDEM de Corso rentre dans le projet d'urgence initié par Mr le président de la république; pour alléger la région d'Alger et Boumerdes ouest est du stress hydrique sur une superficie de 6,15 Ha; l'assiette se situe à 60 Km à l'ouest d'Alger.

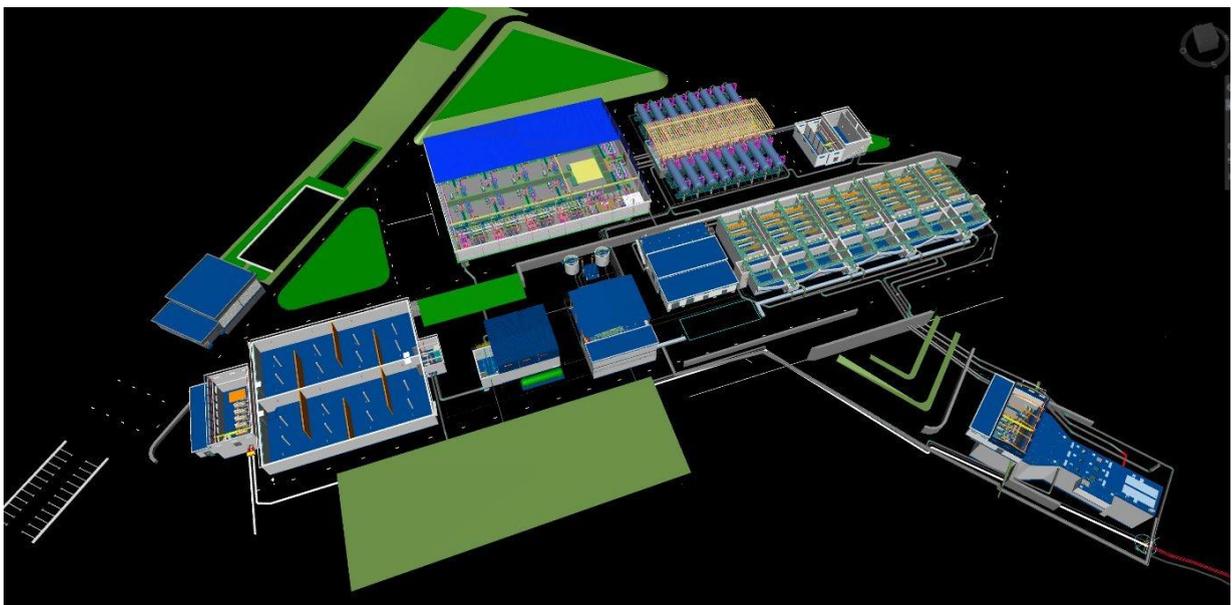


**Figure 2.1 Localisation de la station**

La station comporte plusieurs zones, incluant notamment :

- Décanteur lamellaire.
- Filtres à sable.
- Bâtiment d'osmose inverse.
- Réservoir d'eau clarifiée, Réservoir d'eau produite
- Station de pompage d'eau potable.
- Stockage des produits chimiques.
- Lits de calcite.
- Système de traitement des effluents.
- Ouvrage de rejet.
- Bâtiment électrique.
- Sous station et groupe électrogène.
- Bâtiment de magasin et atelier.
- Bâtiment d'administration et laboratoires.
- Zone de stationnement.
- Loge du gardien.
- Parking Visiteurs.

Et d'autres parties spécifiques.



*Figure 2.2. Plan de conception sur NavisWorks*

### 2.2.1 Prise d'eau de mer

#### a) Tour de captage

Afin d'assurer un bon captage de l'eau de mer, deux tours circulaires en béton sont conçues au niveau du bathymétrie -14.6m. Chaque tour contient six (06) fenêtres d'admission équipées par des grilles amovibles. Un trou d'homme de diamètre 2m situé au couvercle de la tour pour permettre l'inspection.

#### b) Conduite d'admission

Afin de véhiculer le débit nécessaire pour la production de 80000m<sup>3</sup>/j, deux conduites en PEHD ont été posées. Chaque conduite peut véhiculer la totalité du débit qui est de 8186m<sup>3</sup>/h. Sur l'arrivée il existe deux vannes motorisées de type PV pour isoler les conduites.

#### c) Bâche d'admission

La bâche d'admission est conçue en béton. Elle a une forme rectangulaire au début puis elle prend la forme trapézoïdale au niveau de l'aspiration des pompes. [14]



**Figure 2.3. Bâche d'admission**

**d) Système de dessablage**

Au niveau de l'arrivée, la bêche d'admission est équipée d'un système de dessablage utilisé pour extraire le sable transité et décanté dans une fosse. Ce système a une commande locale pour son fonctionnement, il peut être commandé à distance à partir du SCADA de la salle de contrôle principale, comme il peut être commandé en mode automatique par un temporisateur.

**e) Système de dégrillage**

Un système de dégrillage grossier de prise d'eau de mer est fourni pour filtrer les grosses particules indésirables (poissons etc..) provenant de la mer, suivi d'un système de dégrillage fin. La bêche est divisée en trois couloirs qui comporte chacun ces deux types de dégrilleurs :

**▪ Dégrilleur à barre**

Le dégrilleur à barre est généralement utilisé pour éliminer les gros solides. Il fonctionne avec un moteur 3Ph-400V-1.5Kw, et il se nettoie avec un râteau. Ce râteau se déplace à une vitesse de 4m/min pour racler les déchets solides retenus.



**Figure 2.4. Dégrilleur à barre**

- **Tamiseur à bande mobile**

Le tamiseur à bande mobile est généralement utilisé pour éliminer les débris fins. Il fonctionne avec un moteur 3Ph-400V-1.5Kw, et il se nettoie automatiquement. Les vannes de type XV s'ouvrent pour injecter l'eau à travers des busettes.



*Figure 2.5. Tamiseur à bande mobile*

**f) Batardeaux**

Le batardeau est une vanne murale utilisée temporairement pour retenir ou détourner l'eau, autrement dit, pour réguler le flux d'eau manuellement dans les canaux ouverts, permettant de créer des environnements de travail secs ou partiellement secs pour des interventions de maintenance, de construction et extension ou de réparation.



*Figure 2.6. Trois batardeaux*

## 2.2.2 Etape de prétraitement

### a) Coagulation

La station comporte quatre bâches de coagulation qui assurent un temps de séjour très court autour d'une minute et une agitation rapide. Chaque bêche est équipée d'agitateur mécanique de puissance 11Kw. Un coagulant (Chlorure ferrique) qui neutralise les charges des particules est injecté afin d'assurer la déstabilisation des particules. L'eau est ensuite véhiculée vers la zone de floculation.



*Figure 2.7. Bâche de coagulation*

### b) Floculation

Après la coagulation, l'eau passe dans huit bâches de floculation avec un temps de séjour de 20 minutes. Un floculant (un polymère) est injecté qui joue le rôle d'une colle entre les particules et augmente leur masse afin d'aider leur séparation dans les décanteurs lamellaires. Chaque bêche comporte un agitateur lent 'à faible vitesse' de puissance 1.5Kw muni de variateur de vitesse.



*Figure 2.8. Bâche de floculation*

**c) Clarification**

La station comporte huit décanteurs lamellaires afin de séparer les particules en suspension que contient l'eau brute et assurer une bonne qualité d'eau traitable sur les filtres à sables. En cas où l'eau brute est de bonne qualité, les MES sont inférieures à 30ppm, ces décanteurs seront bypassés. L'eau passe directement à la bêche d'eau clarifiée.



**Figure 2.9. Passage d'eau vers la bêche d'eau clarifiée**

**d) Traitement des boues**

Chaque décanteur lamellaire contient un racleur de boue à chaîne qui fait racler la boue vers une fosse d'extraction.

**e) Bêche d'eau clarifiée**

L'eau clarifiée qui provient des décanteurs lamellaires est stockée dans une bêche en béton de capacité 800m<sup>3</sup>. Cette bêche tampon servira à alimenter les lignes de production à travers 8 pompes intermédiaires d'alimentation des filtres à sable.



**Figure 2.10. Bêche clarifiée**

### 2.2.3 Etape de filtration

La filtration est cruciale dans le traitement de l'eau. Nous utilisons un système de filtration à deux lignes pour alimenter les membranes d'osmose inverse avec de l'eau de mer de qualité, conforme aux normes du fabricant. Ce système fonctionne directement avec l'unité d'osmose inverse, garantissant un débit adéquat pour les pompes haute pression. Le débit constant requis est maintenu en contrôlant précisément le débit d'alimentation du système de filtration grâce à une boucle de contrôle.



*Figure 2.11. Zone de filtration*

#### a) Filtres à sables sous pression à double couches

La batterie de filtration comprend 16 filtres à sable sous pression horizontaux, avec 8 filtres par ligne de production. Les filtres seront lavés avec de l'air et de la saumure issus du processus d'osmose inverse, puis rincés à l'eau de mer brute. Le cycle de filtration dure 48 heures. Les filtres, horizontaux et fermés, permettent un accès facile aux équipements et vannes pour l'opérateur. La distribution de l'eau à filtrer et de l'air de lavage se fait à travers des collecteurs perforés en PE pour une répartition homogène du débit sur toute la surface de filtration. Dans le système de filtration, des buses sont installées dans le faux plafond des filtres pour assurer une distribution uniforme de l'eau et de l'air de lavage. Il y a un total de 2 827 buses par filtre,

ce qui équivaut à 45 232 buses pour l'ensemble du système. Ces buses sont essentielles pour maintenir un contact optimal entre les grains du média filtrant pendant le lavage. Cela garantit une séparation efficace de toutes les impuretés présentes dans le média filtrant, tout en évitant que celui-ci ne soit entraîné hors du filtre pendant le processus de lavage. Le débit de lavage à contre-courant est de 2002 m<sup>3</sup>/h. Pour surveiller le débit d'alimentation des filtres pendant le lavage à contre-courant, des débitmètres sont installés. De plus, des indicateurs de pression différentielle (DPIS-501 & DPIS-502) sont utilisés pour contrôler la pression différentielle à travers le filtre. Si la pression différentielle atteint un certain seuil, cela déclenche automatiquement le processus de lavage à contre-courant. Chaque filtre est équipé d'un système de purge automatique et d'une soupape de décharge pour garantir un fonctionnement optimal du système. En outre, deux points de mesure de l'Indice de Saleté Colmatant (SDI) sont placés sur le collecteur de filtrat de chaque ligne de production des filtres à sable. Cela permet de surveiller la qualité de l'eau traitée. [14]



**Figure 2.12. Filtre à sable**

### b) Filtres à cartouches

Les filtres à cartouche sont installés après les filtres à sable pour empêcher les particules fines. Ils représentent la dernière étape du prétraitement avant l'eau ne soit dirigée vers les unités d'osmose inverse. Ils sont équipés de cartouches filtrantes de 5 microns sécurité contre les particules indésirables. L'eau filtrée produite par les filtres à cartouches est dirigée vers les aspirations des pompes HP et le système de récupération d'énergie.



**Figure 2.13. Filtres à cartouches**

### c) Qualité de l'eau résultante

Après la phase de prétraitement et celle de filtration, le filtrat sortant des filtres à cartouches doit répondre à des critères de qualité stricts pour pouvoir être utilisé pour l'étape d'OI. Les critères sont les suivants :

**Tableau 2. 1: Critères de qualité de l'eau filtrée.**

Critères	Valeur
pH	Entre 7.6 et 7.8
Indice de colmatage (SDI)	$\leq 5$
Turbidité	$\leq 0.5$ NTU
Concentration de chlore total Cl <sub>2</sub>	$\geq 0.1$ mg/l

Un filtrat qui ne correspond pas à l'un des critères susmentionnés, n'est pas autorisé dans l'étape d'OI et doit être rejeté.

#### d) Lavage à contre-courant des filtres

L'eau de lavage à contre-courant est prise à partir du collecteur combiné de rejet des racks RO qui verse dans la bêche de saumure, c'est une étape essentielle pour maintenir les performances des systèmes de dessalement en éliminant les accumulations de particules et de contaminants, ce qui permet de garantir une production continue d'eau de haute qualité.

Le surpresseur d'air fonctionne pour fluidifier le sable avant que le lavage à contrecourant avec de l'eau commence. Cela améliore l'efficacité de nettoyage du sable.



*Figure 2.14. Lavage à contre-courant / Rejet*

### 2.2.4 Etape d'osmose inverse

Après le prétraitement, l'eau d'alimentation filtrée est pompée vers le système d'osmose inverse d'eau de mer pour produire une eau de salinité. La pression de l'eau d'alimentation du filtre à cartouche est ensuite augmentée à la pression requise par une pompe à haute pression. Le flux d'alimentation est divisé en deux flux, le flux de production appelé perméat et le flux de rejet appelé saumure suivant les taux respectivement 45 % et 55%. L'unité d'osmose inverse se compose de pompes haute pression, de tubes de pression comportant les membranes, d'un dispositif de récupération d'énergie et de pompe booster.



*Figure 2.15. Les racks des membranes*

#### a) Système de lavage des membranes CIP

- **Système de nettoyage**

Le processus de nettoyage en place (Clean-In-Place) des trains d'osmose inverse (RO) se résume en quelques étapes principales :

- ✓ Réservoir de Nettoyage : Il stocke les solutions chimiques pour le nettoyage des membranes.
- ✓ Pompe de Nettoyage : Elle transporte la solution vers le système RO.
- ✓ Tuyauterie et Collecteurs : Ils distribuent la solution de nettoyage aux modules RO.
- ✓ Filtres à Cartouche : Ils filtrent les impuretés pour protéger les membranes.
- ✓ Gestion des Rejets : Les déchets de nettoyage sont neutralisés puis éliminés.

- **Système de rinçage**

Les membranes sont rincées avec de l'eau à faible teneur en TDS, provenant du réservoir de perméat. Le rinçage utilise les pompes de nettoyage et implique des ajustements de vannes pour garantir le bon flux d'eau. Une seule pompe fonctionne pendant le rinçage, avec les autres en veille. Le rinçage nettoie les membranes, les pompes haute pression, le système de récupération d'énergie et la pompe booster.

### 2.2.5 Etape de post-traitement

Le procédé de dessalement se termine par une étape de post-traitement, l'eau dessalée est corrosive, c'est pourquoi elle doit être reminéralisée afin d'atteindre un équilibre dans lequel le pH, l'alcalinité et la teneur en calcium sont homogènes et stables en vue de la distribution ultérieure de l'eau.

L'injection de CO<sub>2</sub> est la technique de reminéralisation la plus répandue, elle est associée à l'utilisation de lits de calcite qui apporte du carbonate de calcium à l'eau. Cela permet d'ajuster le pH de l'eau et augmente sa dureté et alcalinité.



**Figure 2.16. Lits de calcite**

### 2.2.6 Dosage

Le dosage des produits chimiques est nécessaire pour le traitement des eaux. Ces unités de dosage possèdent une ou deux pompes selon la nécessité et des agitateurs manuels.



*Figure 2.17. Réservoirs de stockage/Dosage*

Tous les dosages et leurs objectifs sont cités ci-dessous :

#### a) Dosage des produits chimiques de pré-traitement

- **Système de dosage de l'hypochlorite de sodium (NaClO)**

L'hypochlorite de choc est dosé dans les tours pour tuer les micro-organismes et bactéries indésirables. L'hypochlorite du dosage en continu est injecté au niveau de refoulement des pompes d'eau brute.

- **Système de dosage du coagulant (chlorure ferrique)**

Comme la prise est ouverte, l'eau de mer aura un taux de colmatage élevé (SDI). Il nécessitera l'ajout d'un coagulant, pour obtenir la coagulation des particules très fines en suspension ou colloïdales pour former des floccs de grande taille. Ces floccs sont éliminés plus efficacement pendant le processus de filtration.

- **Système de dosage de polymère**

Les polymères sont essentiellement dosés pour améliorer le phénomène de floculation, de sorte que de très fines particules en suspension ou colloïdales s'adhèrent pour former des floccs de grande taille, qui sont éliminés plus efficacement pendant le processus de décantation et de filtration.

- **Système de dosage SMBS (dé-chloration)**

Le métabisulfite de sodium (SMBS) est ajouté à l'eau d'alimentation RO. Il élimine le chlore (dé-chloration) qui a été ajouté en amont des pompes d'alimentation du filtre pour la désinfection. Même de petites traces de chlore sont nocives pour les membranes RO car le chlore décompose la structure des membranes, ce qui entrave par conséquent la capacité de rejet du sel.

- **Système de dosage antitartre (séquestrant)**

Un antitartre est ajouté à l'eau d'alimentation des racks d'osmose pour empêcher l'accumulation de tartre sur les membranes résultant de produits chimiques ayant un potentiel d'entartrage tels que le carbonate de calcium et le sulfate de calcium. Ce qui garantit que le système reste propre plus longtemps (nécessitant moins d'entretien pour le nettoyage chimique). La récupération de l'eau produite peut être maximisée et les coûts d'exploitation sont minimisés.

## **b) Dosage des produits chimiques du posttraitement**

- **Système de reminéralisation**

La reminéralisation est un processus d'ajustement du LSI du perméat d'osmose inverse pour maintenir l'eau dans un état neutre ; ni corrosif ni entartrant. Cela se fait en ajustant la dureté et l'alcalinité de l'eau en dissolvant de la calcite (calcaire) dans l'eau.

- **Système de dosage du dioxyde de carbone**

L'eau produite est souvent déséquilibrée et peut avoir un pH élevé (Alcalin) ou faible (Acide), l'ajout de CO<sub>2</sub> permet de neutraliser le pH, le ramenant à des niveaux acceptables pour la distribution d'eau potable généralement entre 6.5 et 8.5.

- **Système de soude caustique (NaOH)**

Dosé dans le réservoir d'eau de mélange afin d'ajuster le PH de l'eau produite.

- **Système de dosage post-chloration hypochlorite**

La dernière étape du traitement de l'eau est la désinfection qui peut être effectuée par différentes méthodes. L'une des méthodes de désinfection est réalisée par l'hypochlorite.

- **Dosage de neutralisation d'acide chlorhydrique et caustique**

Les doses d'acide chlorhydrique ou de soude caustique garantissent que l'eau de rejet se situe dans les limites de sécurité et de conformité aux réglementations environnementales c'est à dire pour assurer une valeur de pH appropriée des eaux usées avant d'être rejetée dans la bache de rejet et le milieu l'émissaire.

### **2.2.7 Système de mélange**

L'eau reminéralisée sortant des cellules de calcite est ensuite acheminée vers le réservoir de mélange pour rencontrer la première partie du perméat. Dans ce réservoir, les deux flux sont mélangés pour donner le LSI ajusté.

### **2.2.8 Système de rejet**

Le système de rejet comprend les éléments suivants :

- ✓ Bâche de neutralisation.
- ✓ Pompes de neutralisation.
- ✓ Bâche de rejet .
- ✓ Systèmes de dosage d'acide et de soude caustique.

## 2.3 Instrumentations et équipements

Dans cette partie, nous allons discuter l'instrumentation utilisée dans la station de dessalement de Corso, Boumerdes.

### 2.3.1 Instruments de mesure

#### a) Instruments de pression

- **Transmetteur indicateur de pression**

Il mesure la pression, l'affiche localement, et il transmet cette information sous forme de signal électrique à un système de contrôle centralisé pour la surveillance et le contrôle du processus.

- **Interrupteur de pression**

C'est un pressostat qui détecte la pression et active ou désactive un circuit électrique lorsque la pression atteint un seuil prédéfini. Souvent utilisé pour des fonctions de sécurité.

- **Indicateur de pression**

C'est un manomètre qui affiche la pression à un point spécifique du système. Il fournit une lecture visuelle directe de la pression mais ne transmet pas de signal.

#### b) Instruments de niveau

- **Transmetteur indicateur de niveau**

Il mesure le niveau de liquide et affiche cette valeur localement, et il transmet cette information sous forme de signal électrique à un système de contrôle centralisé pour la surveillance et le contrôle du processus.

- **Capteur de niveau**

Le capteur détecte la variation du niveau de liquide dans un réservoir ou un équipement, cela peut inclure les capteurs à flotteur ultrasonique et à pression.

- **Interrupteur de niveau**

C'est un commutateur de niveau détecte le seuil de niveau de liquide et active ou désactive un circuit électrique en conséquence. Il peut être utilisé pour contrôler le remplissage ou la vidange d'un réservoir.

**c) Instruments de débit**

- **Indicateur de débit**

Il mesure le débit de fluide dans une conduite. Il génère un signal basé sur le débit du fluide on distingue le capteur électromagnétique , ultrasonique, différence de pression ..

- **Transmetteur Indicateur de débit**

Il transforme le signal de capteur de débit à un signal électrique et affiche cette valeur localement et transmet le signal au centre de contrôle.

**d) Dispositifs d'analyse des procédés**

- ✓ Capteur de PH.
- ✓ Capteur de température.
- ✓ Capteur de turbidité.
- ✓ Capteur de conductivité électrique.
- ✓ Capteur du potentiel d'oxydo-réduction.
- ✓ Capteur de Cl<sub>2</sub>.
- ✓ Capteur de l'indice de colmatage.

### 2.3.2 Instruments de contrôle

#### a) Vannes

- **Vannes d'isolement PV**

Sur l'arrivée il existe deux vannes motorisées pour isoler les conduites.



*Figure 2.18. Vannes d'isolement des conduites d'eau brute*

- **Vannes motorisées XV**

Les refoulements des pompes sont équipés par des vannes motorisées électriques qui permettent le pilotage et le contrôle à distance des vannes par l'intermédiaire d'un automate. Ces vannes peuvent être actionnées manuellement en cas de coupure de courant.

- **Vannes motorisées de régulation CV**

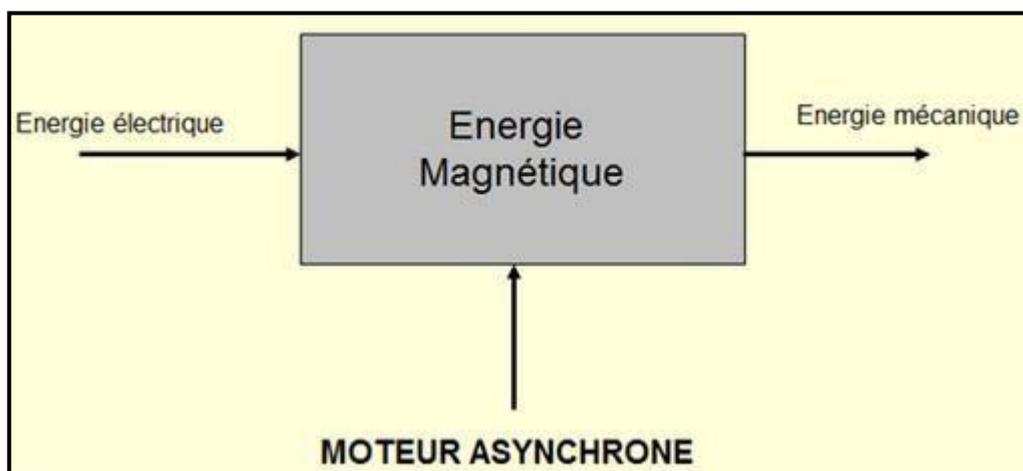
Les vannes de régulation sont des organes essentiels dans les procédés industriels. Elles contrôlent le débit. Ces vannes peuvent être actionnées manuellement en cas de coupure de courant.

- **Vannes manuelles V**

Ce sont dispositifs essentiels pour contrôler et arrêter le flux. C'est des vannes qui sont actionnées manuellement plutôt que par un système automatisé.

**b) Moteurs**

Les moteurs sont des dispositifs électromécaniques qui convertissent l'énergie électrique en énergie mécanique. Ils sont utilisés dans diverses parties du système de dessalement pour faire fonctionner les différentes pompes et agitateurs. Le moteur asynchrone triphasé cumule de multiples avantages, tels que : sa simplicité, sa robustesse et facilité d'entretien, qui font de lui le moteur idéal pour l'utilisation dans une usine de dessalement.



*Figure 2.19. Schéma général du moteur asynchrone triphasé [15]*

**▪ Principe de fonctionnement des moteurs asynchrones**

Dans un moteur asynchrone triphasé, le stator contient trois bobines placées à des angles des 120 degrés les unes par rapport aux autres. Ces bobines sont alimentées par une tension alternative triphasée. L'interaction entre ces bobines crée un champ magnétique variable qui tourne autour du stator à une fréquence correspondant à celle de la tension d'alimentation. Ce champ magnétique rotatif est communément appelé champ tournant ou champ statorique.

### c) Pompes

Les pompes sont des dispositifs utilisés pour transporter des fluides par conversion de l'énergie cinétique en énergie hydrodynamique.

- 1. Pompes dynamiques centrifuges** : Les pompes centrifuges sont des dispositifs mécaniques utilisés pour déplacer le liquide. Elles fonctionnent en utilisant la force centrifuge générée par la rotation, qui propulse le liquide à travers une canalisation.
- 2. Pompes volumétriques péristaltiques** : Ces pompes sont utilisées pour transférer le liquide en le comprimant et en le déplaçant à travers un tube flexible à l'aide de rouleaux ou de galets.
- 3. Pompes volumétriques à piston** : Ces pompes sont des dispositifs utilisés pour déplacer le liquide en utilisant un mouvement alternatif d'un ou plusieurs pistons dans un cylindre.

✓ **Pompes dynamiques centrifuges**

▪ **Pompes de javellisation**

Deux pompes d'eau motrice sont prévues pour véhiculer le javel de désinfection des deux tours de captage et les conduites d'amenée d'eau. Ces pompes fonctionnent au moment de chloration choc.



**Figure 2.20. Pompes de javellisation**

- **Pompes à haute pression**

Les pompes à haute pression pressurisent l'eau d'alimentation à une pression d'environ 68 bar, l'eau d'alimentation sous pression est acheminée vers l'unité RO. Le système se compose de huit pompes haute pression de service (4 pompes par ligne de production) et d'une pompe de réserve non installée.



*Figure 2.21. Pompes à haute pression*

- **Pompes du dispositif de récupération d'énergie**

Les pompes booster pressurisent l'eau qui sort de l'échangeur de pression pour atteindre la pression nécessaire pour alimenter les membranes. Le système se compose de huit pompes de surpression.



*Figure 2.22. Pompes booster*

- **Pompes d'alimentation en eau brute**

La station de pompage a été dimensionnée pour l'installation de neuf pompes à eau de mer.



*Figure 2.23. Pompes d'alimentation en eau brute*

- **Pompe d'extraction de boue**

Chaque décanteur lamellaire contient une pompe à vis d'extraction de boue qui aspire à partir de la fosse d'extraction et l'envoi vers la chaîne de traitement de boue.



*Figure 2.24. Pompes d'extraction de boue*

- **Pompes de lavage à contre courant des filtres à sable**

Ces pompes jouent un rôle crucial dans le maintien des performances des filtres à sable assurant une filtration efficace et une qualité d'eau optimale.



*Figure 2.25. Pompes de lavage à contre-courant*

- **Pompes de nettoyage/ rinçage**

Ces pompes sont cruciales pour garantir un nettoyage efficace et hygiénique des membranes d'osmose inverse.



*Figure 2.26. Pompes de nettoyage/ rinçage CIP*

Nous trouverons ainsi :

- Pompes de déchargement
  - Pompes d'eau produite
  - Pompes d'eau potable
  - Pompes de neutralisation
  - Pompes d'admission
- 
- ✓ **Pompes volumétriques péristaltiques**
    - **Pompes d'échantillonnage**

Deux pompes d'échantillonnage sont prévues pour alimenter les instruments de mesure.



*Figure 2.27. Pompes d'échantillonnage*

- ✓ **Pompes volumétriques à piston**
  - **Pompes de dosage**

Ces pompes permettent d'injecter le produit chimique au point désiré.



*Figure 2.28. Pompes de dosage*

### 2.3.3 Equipements

#### a) Mélangeur statique

Les mélangeurs statiques sont conçus pour assurer le mélange rapide des liquides dans le traitement chimique. Ils sont utilisés dans les processus en continu, assurant ainsi une solution homogène à la sortie.



*Figure 2.29. Mélangeur statique*

#### b) Racleur de boue

Chaque décanteur lamellaire contient un racleur de boue à chaîne qui fait racler la boue vers une fosse d'extraction.



*Figure 2.30. Racleur de boue*

**c) Compresseur d'air**

Un compresseur est un organe mécanique destiné à augmenter par un procédé uniquement mécanique la pression d'un gaz. Le compresseur donne des pressions de 5 à 15 bars.

**d) Surpresseur d'air**

Le surpresseur d'air fonctionne pour fluidifier le sable avant que le lavage à contrecourant avec de l'eau commence. Cela améliore l'efficacité de nettoyage du sable, le système se compose de trois surpresseurs, deux en service et l'autre de secours.



**Figure 2.31. Surpresseurs d'air**

**e) Réservoirs de dosage et stockage des produits chimiques**

Ces réservoirs sont des équipements essentiels pour la manipulation efficace des produits chimiques.



**Figure 2.32. Réservoirs de stockage/dosage des produits chimiques**

#### f) Dispositif de récupération d'énergie isobare

Le système d'échangeur de pression transfère l'énergie directement de la ligne de saumure à la ligne d'alimentation RO, avec une efficacité de 95 à 97%. Les appareils fonctionnent sur le concept de cylindre rotatif (utilisé par l'appareil PX ERD). La haute pression de la saumure augmente la basse pression de l'eau brute à une pression juste en dessous de la pression de la saumure. En application normale, cette pression est alors augmentée pour compenser les pertes. L'avantage du dispositif échangeur de pression est qu'il récupère plus de 90% de l'énergie de la saumure pour un travail utile, par rapport aux autres dispositifs de récupération d'énergie, qui en récupéreront probablement plus de 70%. De plus, la taille de la pompe haute pression est beaucoup plus petite.



*Figure 2.33. Système d'échangeur de pression*

#### 2.3.4 Analyseurs

Nous distinguons :

- ✓ Analyseur de turbidité
- ✓ Analyseur d'hydrocarbures
- ✓ Analyseur de conductivité
- ✓ Analyseur de pH
- ✓ Rydox ORP

## 2.4 Consommation de l'énergie de la station

La consommation d'énergie d'une station de dessalement d'eau de mer s'estime habituellement à 3.54 kWh d'électricité par mètre cube d'eau produite, donc la consommation d'énergie totale pour produire 80,000 mètres cubes d'eau par jour et d'environ 283,200 kilowattheures par jour. Dans ce cas, la puissance totale nécessaire pour le bon fonctionnement de la station est d'environ 11,800 kVA.

## 2.5 Conclusion

Trouver une solution pour réaliser des économies d'énergie significatives et réduire le gaspillage d'eau est crucial, surtout lorsque nous considérons les 80 000 mètres cubes d'eau produite par jour. Nous devons explorer des méthodes d'optimisation énergétique dans le processus de dessalement et mettre en place des pratiques de gestion efficaces pour minimiser les pertes hydriques et énergétiques. Dans le chapitre suivant, nous plongerons dans les principes fondamentaux de la philosophie de contrôle SCADA de la station, en mettant particulièrement l'accent sur l'utilisation du logiciel pour la programmation de notre automate.

## **Chapitre 03**

### **Présentation du système de contrôle**

#### **SCADA**

### 3.1 Introduction

L'automatisation industrielle, particulièrement de la station de dessalement, repose sur la programmation des PLC, pour optimiser le processus de production. Un système est dit automatisé lorsque le processus qui permet le passage de l'état initial à l'état final se produit sans intervention humaine, et que ce comportement se répète chaque fois que les conditions initiales soient réunies. Cette automatisation permet d'accroître la rapidité et la régularité des résultats tout en libérant les humains des tâches répétitives et pénibles.

### 3.2 Systèmes automatisés

Un système automatisé comprend toujours deux parties essentielles : Une partie commande, et une partie opérative. Pour faire fonctionner ce système, l'opérateur donne des consignes à la partie commande, pour que cette dernière traduit ces consignes en ordres, ces ordres sont exécutés par la partie opérative. Une fois les ordres accomplis, la PO envoie un compte-rendu à la PC indiquant une tâche est terminée ou signalant un problème. Enfin la partie opérative informe l'opérateur de l'état d'achèvement ou des éventuels problèmes.

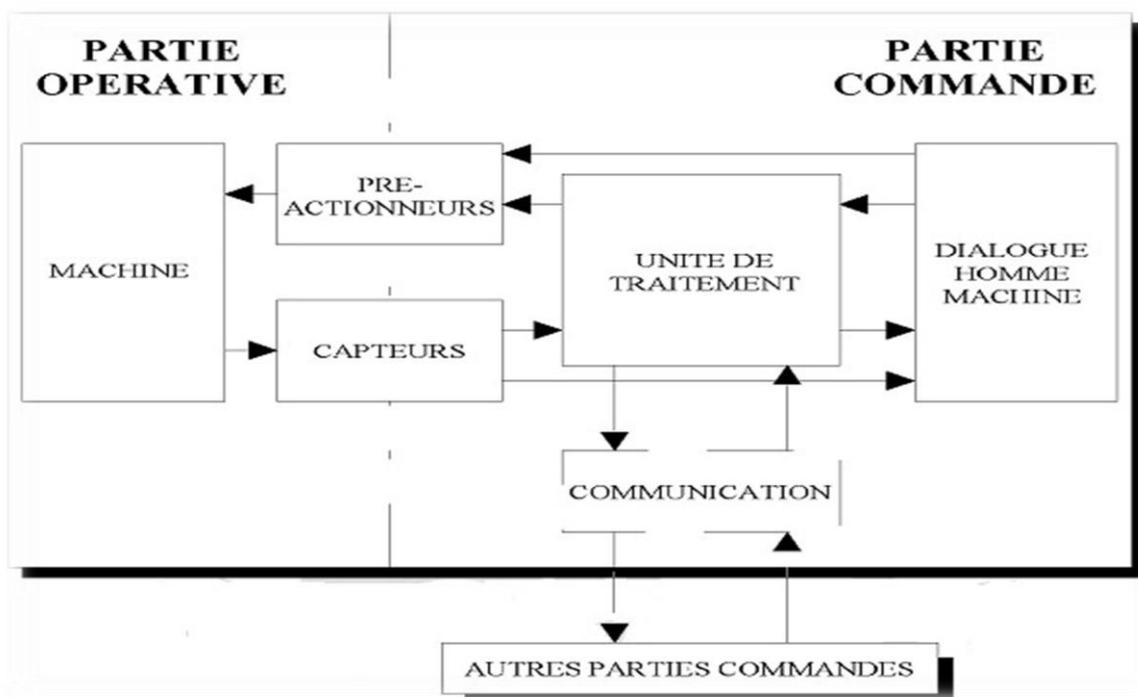


Figure 3.1. Structure d'un système automatisé

### 3.2.1 Partie opérative

C'est l'ensemble des composants mécaniques, électriques, et autres dispositifs qui exécutent les ordres de la PC. Cela inclut les moteurs, les vannes, les capteurs, les convoyeurs, etc.

### 3.2.2 Partie commande

C'est le cerveau du système automatisé. Elle reçoit les consignes de l'opérateur et les traduit en ordres précis à exécuter par la partie opérative. Dans de nombreux cas, cette partie est composée d'un automate programmable qui est programmé pour contrôler et surveiller les opérations de la PO.

### 3.2.3 Automatisation de la station

Un système automatisé garantit une interaction continue et efficace entre l'opérateur, la partie commande, et la partie opérative, assurant une gestion optimale du processus.

- **Consigne de Démarrage** : L'opérateur demande à la PC de démarrer le processus de dessalement.
- **Envoi d'Ordres** : La PC envoie des ordres pour activer les pompes, ouvrir les vannes, et ajuster les paramètres des filtres.
- **Exécution** : La PO réalise ces actions en contrôlant physiquement les équipements.
- **Retour d'Information** : Les capteurs de la PO signalent à la PC que l'eau est en cours de traitement et que tous les dispositifs fonctionnent correctement
- **Notification** : La PC informe l'opérateur que le dessalement est en cours.

### 3.3 Automates programmables industrielle API

Les Automates Programmables Industriels API (PLC) sont des dispositifs électroniques adaptés à l'environnement industriel. Ils envoient des ordres vers les actionneurs à partir des données d'entrée des capteurs et d'un programme informatique. [16]

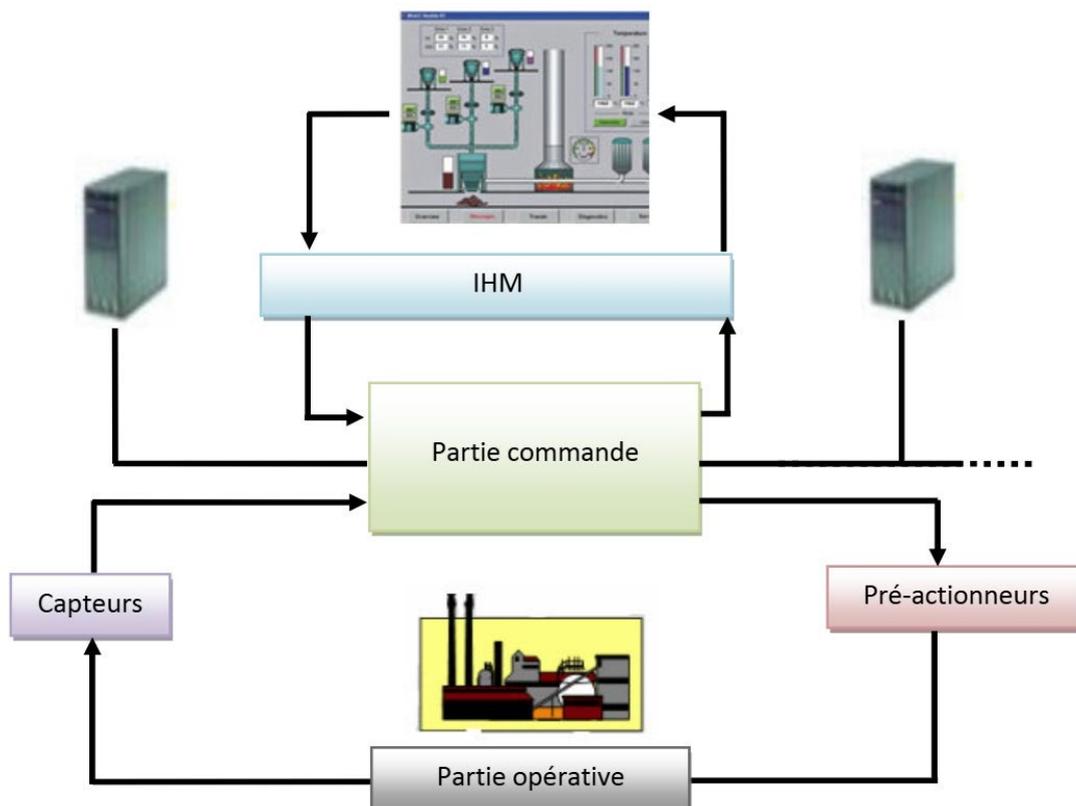


Figure 3.2. Schéma explicatif d'un système automatisé

### 3.3.1 Structure d'un API

L'API contient les éléments suivants :

- a) **Module d'alimentation** : Il assure la distribution d'énergie aux différents modules.
- b) **Processeur ou unité centrale de traitement (CPU)** : Il interprète les signaux d'entrée et effectue les actions de commande conformément au programme stocké en mémoire, en communiquant aux sorties les décisions sous forme de signaux d'action.
- c) **La mémoire** : Elle contient le programme, et les données qui proviennent des entrées en vue de leur traitement, ou sont dirigées vers les sorties en vue de leur exécution.
- d) **Périphérique de programmation** : C'est là où le programme est développé, puis transféré dans la mémoire de l'API.
- e) **Modules d'entrée /sortie** :

- **Module d'entrée**

Comporte des adresses d'entrée qui reçoivent des informations en provenance des éléments de détection (capteurs) et du pupitre opérateur.

- **Module de sortie**

Comporte aussi des adresses de sortie et qui transmettent des informations aux pré-actionneurs (relais, électrovanne) et aux éléments de signalisation (voyants) du pupitre. [16]

Les automates peuvent être de type compact ou modulaire. Le processeur, l'alimentation, les interfaces d'entrées et de sorties, sont intégrées dans le premier type, cependant, elles résident dans des unités séparées (modules) et sont fixées sur un ou plusieurs racks dans le 2ème type.

### 3.3.2 Langages de programmations des API

Chaque automate dispose de son propre langage de programmation, cependant, la norme industrielle CEI 61131-3 définit des langages universels de programmation pour les automates programmables industriels.

Nous distinguons les langages graphiques et les langages textuels [17]

#### a) Langages graphiques

- **Ladder Diagram**

Le LD se base sur une approche visuelle évoquant des schémas électriques.

- **Fonction Block Diagram**

Le FBD un langage graphique qui permet la construction d'équations complexes sous forme de diagrammes relié entre eux.

- **Séquentiel Fonction Charts**

Le SFC est issu du langage GRAFCET.

#### b) Langages textuels

- **Instruction List**

Le IL est un langage très proche du langage informatique dit assembleur.

- **Structure text**

Le ST s'agit d'un langage textuel de haut niveau qui est utilisé pour décrire des procédures complexes. Il ressemble au langage C utilisé pour les ordinateurs.

### 3.4 Choix de l'automate utilisé

Le choix de l'API est une étape cruciale dans la réalisation de tout projet industriel, plus les tâches à accomplir sont sensibles et nécessitent une grande fiabilité, plus ce choix devient critique. Plusieurs critères doivent être pris en compte lors de cette sélection, tels que le coût, le temps de cycle, la disponibilité en termes de composants de rechange et les interfaces de communication disponibles sur l'API, ainsi que le cahier des charges et des spécificités techniques du projet à réaliser. La station a opté pour l'automate M580 de Schneider Electric. Ce choix est associé aux outils de programmation et de supervision adaptés, garantit une gestion efficace et sécurisée du processus de dessalement, répondant ainsi aux exigences techniques et opérationnelles du projet.

La programmation des automates est effectuée avec *Control Expert* « *EcoStruxure* » anciennement « *Unity Pro* », un logiciel de programmation des API développé par Schneider Electric. D'autre part, la supervision du système est assurée avec *Aveva* anciennement « *Vijeo Citect* », un logiciel de supervision et d'acquisition de données SCADA développé par Aveva, qui permet de surveiller en temps réel les processus industriels et de contrôler les équipements à distance. Cette configuration est courante dans de nombreux projets industriels, où différents logiciels spécialisés sont utilisés pour la programmation et la supervision afin d'optimiser les performances et les fonctionnalités du système global.



**Figure 3.3. Panneau de contrôle automatisé**

## 3.5 Généralités sur l'automate Modicon M580

### 3.5.1 Description générale de l'automate

La gamme Modicon M580 est une série avancée d'automates programmables industriels (PLC) de sécurité conçue par Schneider Electric pour répondre aux besoins des applications industrielles complexes et exigeantes. Elle supporte jusqu'à 4 configurations de rack, dispose de 36 canaux spécifiques pour des besoins applicatifs variés, et consomme 270mA à 24V CC.

Le M580 peut gérer jusqu'à 1024 canaux d'E/S discrètes locales, 256 canaux d'E/S analogiques locales, et 64 équipements distribués, facilitant l'intégration de systèmes complexes et distribués. Le M580 utilise un processeur multicœur offrant une haute performance pour le traitement des tâches en temps réel et prend en charge une extension modulaire pour répondre aux besoins spécifiques des différentes applications industrielles. Il intègre des capacités de communication étendues, supportant divers protocoles industriels comme Ethernet/IP, Modbus TCP/IP, et d'autres standards.

Il inclut des interfaces Ethernet-TCP/IP pour les services de maintenance et de configuration, deux ports Ethernet TCP/IP pour le réseau d'appareils, un port HSBY pour la redondance et la haute disponibilité, ainsi qu'un port USB de type mini B.

En termes de sécurité, le M580 offre des fonctionnalités avancées pour protéger les réseaux industriels contre les cybermenaces, incluant l'authentification des utilisateurs, le cryptage des données et la gestion des accès. Il permet la mise en place de systèmes distribués, centralisant la gestion et la supervision tout en facilitant l'interconnexion et l'interopérabilité des différentes parties du système de contrôle.

Conçu pour des environnements industriels rigoureux, le M580 est robuste et fiable, capable de fonctionner dans des conditions extrêmes de température, de vibration et de poussière. Il dispose de fonctionnalités de redondance et de reprise automatique pour minimiser les temps d'arrêt et garantir une continuité de service.



**Figure 3.4. Automate programmable Modicon M580 [18]**

### 3.5.2 Module d'alimentation

C'est une plate-forme commune de modules pour les automates programmables contrôleurs Modicon M580 et M340. Ce module d'alimentation a une tension primaire de 100V à 240V CA. Il s'agit d'un module d'alimentation avec une puissance secondaire de 40W à 24V CC, un courant à la tension secondaire de 5,5A à 3,3V CC et une dissipation de puissance maximale de 8,5W. Ce produit est robuste, de haute qualité et basé sur les dernières technologies innovantes. [19]



**Figure 3.5. Modicon X80\_ Module d'alimentation [19]**

### 3.5.3 Module de communication

Ce module de communication pour rack déporté fait partie de la gamme Modicon X80. Ce produit est robuste, de haute qualité et basé sur les dernières technologies innovantes. Les données d'entrée sont collectées et publiées sur l'adaptateur de tête d'E/S distant et les modules de sortie sont mis à jour avec les données reçues de l'adaptateur de tête d'E/S distant.



**Figure 3.6. Module de communication [20]**

Ce module de communication dispose de 3 ports. Il est intégré avec 3 connecteurs Ethernet RJ45. Les services de communication sont la gestion de la bande passante, le serveur FDR, le scrutateur et la messagerie d'E/S Modbus TCP, le scrutateur et la messagerie d'E/S Ethernet / IP, le commutateur 4 ports intégré.

### 3.5.4 Module convertisseur de fibre

Ce convertisseur de fibre fait partie de la gamme Modicon X8, il prend en charge les fonctions d'échange multimode et à chaud, il s'agit d'un répéteur à fibre optique d'un courant de 200 mA et d'une tension nominale de 24 V. Elle présente une longueur d'onde de 1310 nm. [20]



**Figure 3.7. Convertisseur fibre [20]**

### 3.5.5 Communication avec le CPU

Pour établir la communication entre le programmeur et le CPU M580 via une interface Ethernet basée sur le protocole MODBUS TCP/IP, nous aurons besoin d'un câble Ethernet standard CAT5 avec des connecteurs RJ-45. Avant de connecter le programmeur au réseau, nous devons définir une adresse IP pour le CPU M580 à l'aide de l'outil logiciel "Adresse IP initiale". Après avoir défini l'adresse IP, nous connectons le CPU M580 et l'ordinateur exécutant le logiciel de programmation à l'interface Ethernet à l'aide du câble Ethernet.

### 3.5.6 Configuration

Le CPU et le système d'E / S M580 sont configurés avec le logiciel de programmation. Le CPU vérifie la configuration réelle du module et du rack à la mise sous tension et périodiquement pendant le fonctionnement. La configuration réelle doit être identique à la configuration programmée. Les écarts sont signalés à la fonction de processeur d'alarme de le CPU pour la réponse aux pannes configurée.

### 3.5.7 Modules d'entrées/sorties

Ils assurent le rôle d'interface entre la CPU et le processus, en récupérant les informations sur l'état de ce dernier et en coordonnant les actions.

Plusieurs types de modules sont disponibles sur le marché selon l'utilisation souhaitée :

- **Modules TOR**

Ces modules traitent des informations qui ne peuvent prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1, etc.). C'est le type d'information délivrée par des dispositifs tels qu'une cellule photoélectrique.

- **Modules analogiques**

Ces modules traitent des informations continues qui prennent des valeurs évoluant dans une plage déterminée. C'est le type d'information délivrée par des capteurs comme un débitmètre, un capteur de niveau ou un thermomètre.

## 3.6 Logiciel de programmation

### 3.6.1 Description du EcoStruxure control expert (Unity pro)

Cette solution multitâche (anciennement connu sous le nom de Unity Pro) est destinée aux automatismes dans les industries de process et hybrides. Elle permet de réaliser les opérations de programmation, de mise au point et d'exploitation. EcoStruxure Control Expert intègre également des fonctionnalités dédiées aux automatismes de sécurité et contribue à protéger les installations contre les menaces liées à la cybersécurité. [21]

### 3.6.2 Principaux avantages du logiciel EcoStruxure control expert

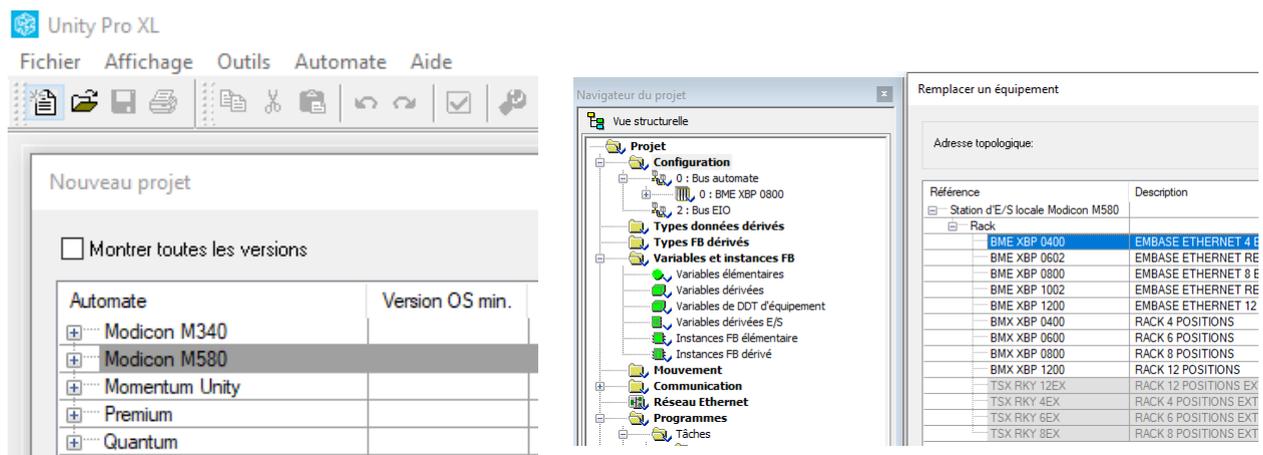
- ✓ Intégration complète
- ✓ Support multi-plateformes
- ✓ Environnement de développement unifié
- ✓ Gestion des variables et des bibliothèques
- ✓ Fonctionnalités de simulation et de test
- ✓ Interface utilisateur conviviale
- ✓ Outils de débogage et de diagnostic
- ✓ Conformité aux normes industrielles
- ✓ Mise à jour et support
- ✓ Évolutivité



Figure 3.8. Icône du logiciel Unity pro XL

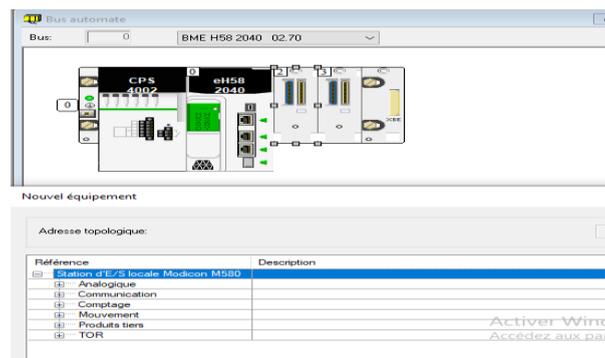
### 3.6.3 Création d'un projet

Après avoir ouvert le logiciel, on doit cliquer sur le bouton « New » afin de choisir l'API principal. Pour créer les stations distantes « RIO », nous appuyons sur « EIO BUS », ensuite nous choisissons le rack, les modules d'entrée/sortie (d'E/S) et d'alimentation appropriés pour le projet à réaliser en appuyant deux fois sur ses emplacements.



**Choix de l'automate**

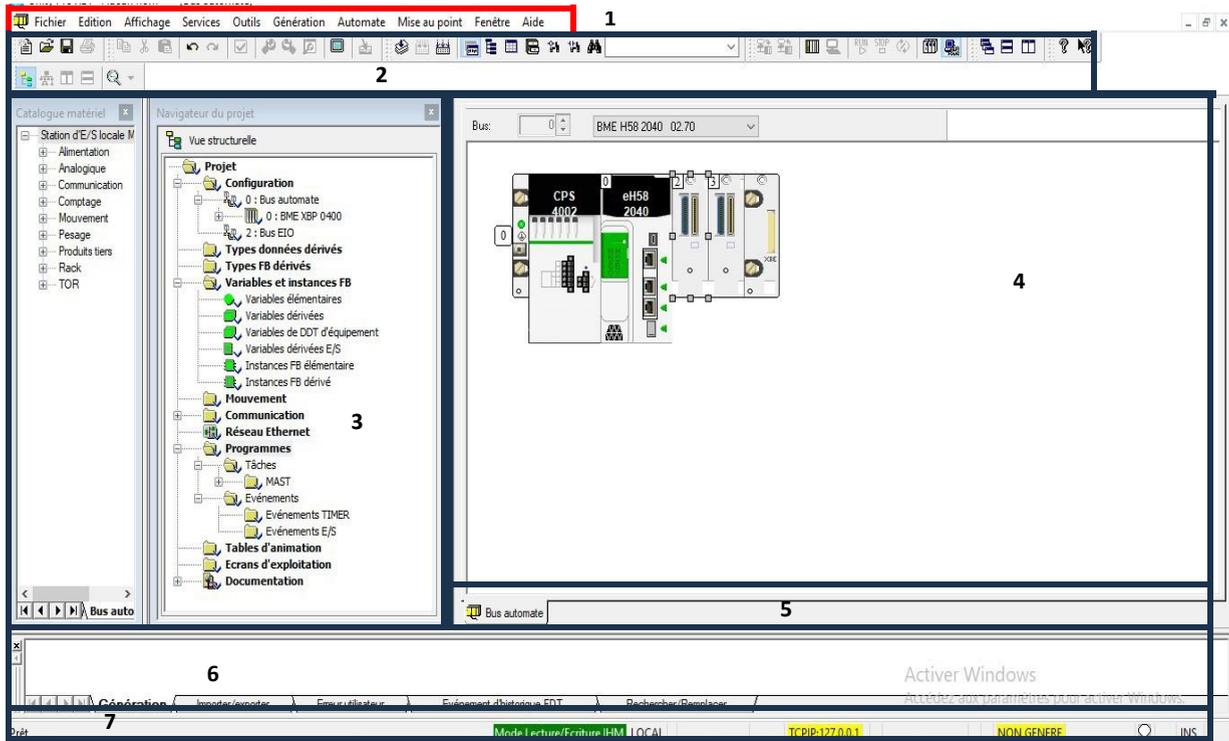
**Choix du rack**



**Choix des modules d'entrée et sortie**

Figure 3.9. Création d'un projet dans Unity Pro

A la fin de la création, une interface d'utilisateur s'affiche. Elle se compose de plusieurs fenêtres et barres d'outils pouvant être positionnées librement.



### Légende :

**1** : Barre de menus, **2** : Barre d'outils, **3** : Navigateur du projet, **4** : Fenêtre de l'éditeur,  
**5** : onglets d'accès direct aux fenêtres de l'éditeur, **6** : Fenêtre d'information, **7** : Ligne d'état.

**Figure 3.10. Interface d'utilisateur**

### 3.6.4 Déclaration des variables

Une variable est une entité mémoire, dont le contenu peut être modifié par le programme au cours de l'exécution. Il existe différents types de variables :

- Une variable affectée à un module d'E/S, qui est donc associée à une référence mémoire.
- Une variable non affectée, dont la position en mémoire est impossible à déterminer.

- Une variable publique ou privée unique au FBD, où la variable publique peut être utilisée dans SCADA.

Pour déclarer une variable affectée ou non affectée, il suffit d'appuyer sur « Elementary variables » située dans le navigateur de projet sous « Variables & FB instances ». Un tableau s'affiche, qui nous permettra d'éditer les données (Data Editor). Nous saisissons le nom et le type pour les variables non affectées, tandis que nous saisissons le nom, le type et l'adresse pour les variables affectées.

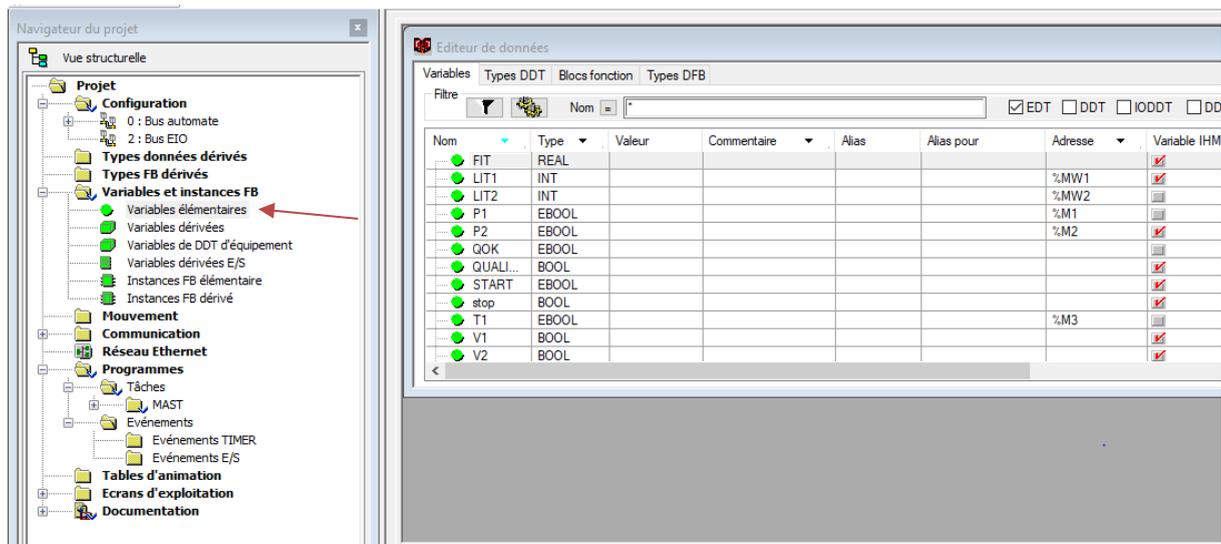


Figure 3.11. Interface pour saisir les variables (Editeur de données)

### 3.6.5 Elaboration du programme

La séquence de programme à exécuter est écrite dans la sous-section « logique » du « MAST » sous la section « Programmes » dans la vue structurelle du navigateur du projet. Dans le but de mieux organiser le programme en partie qui possèdent elle-même des sections, Lorsqu'un projet possède plusieurs phases, un « module fonctionnel » est créé pour chaque phase à l'aide de la « vue fonctionnelle », contenant ainsi des sections de logique pour mieux structurer le programme. Ces sections peuvent être écrites dans n'importe quel langage de programmation disponible dans le logiciel et sont trouvés dans la sous-section « logique ».

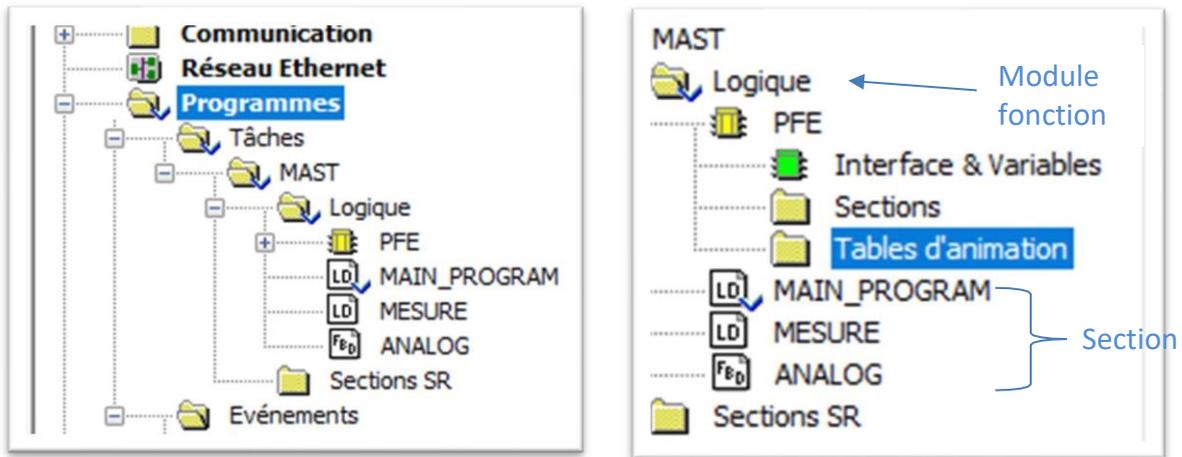


Figure 3.12. Les différentes sections d'un programme.

### 3.6.6 Simulation

Le simulateur est installé automatiquement avec Unity Pro. Il permet de tester pas à pas le bon fonctionnement du programme sur la CPU simulée. Avant une simulation, le programme doit être compilé afin d'être transformé en fichier exécutable et signaler les erreurs s'il existe. La compilation se fait en appuyant sur le bouton « Générer » (1) situé dans la barre d'outils. Pour démarrer la simulation, il faut d'abord choisir le mode de simulation « Mode de simulation » (2) dans la barre d'outils, ensuite connecter à l'API virtuel à travers le bouton « connecter » (3) et transférer le programme à ce dernier à l'aide du bouton « Charger le projet » (4).



Figure 3.13. Outils utilisés pour la réalisation d'une simulation

Une méthode pour faciliter la simulation consiste à créer une table d'animation. Cette dernière est utilisée pour surveiller, modifier et/ou forcer les valeurs des variables. Pour créer une table d'animation, cliquez bouton droit sur « Animation Tables » dans le navigateur du projet, puis cliquez sur « New Animation Table ». La fenêtre de la Figure 3. 10 s'affiche dont le nom de la table est introduit, puis une table apparaît où vous pouvez ajouter les variables .

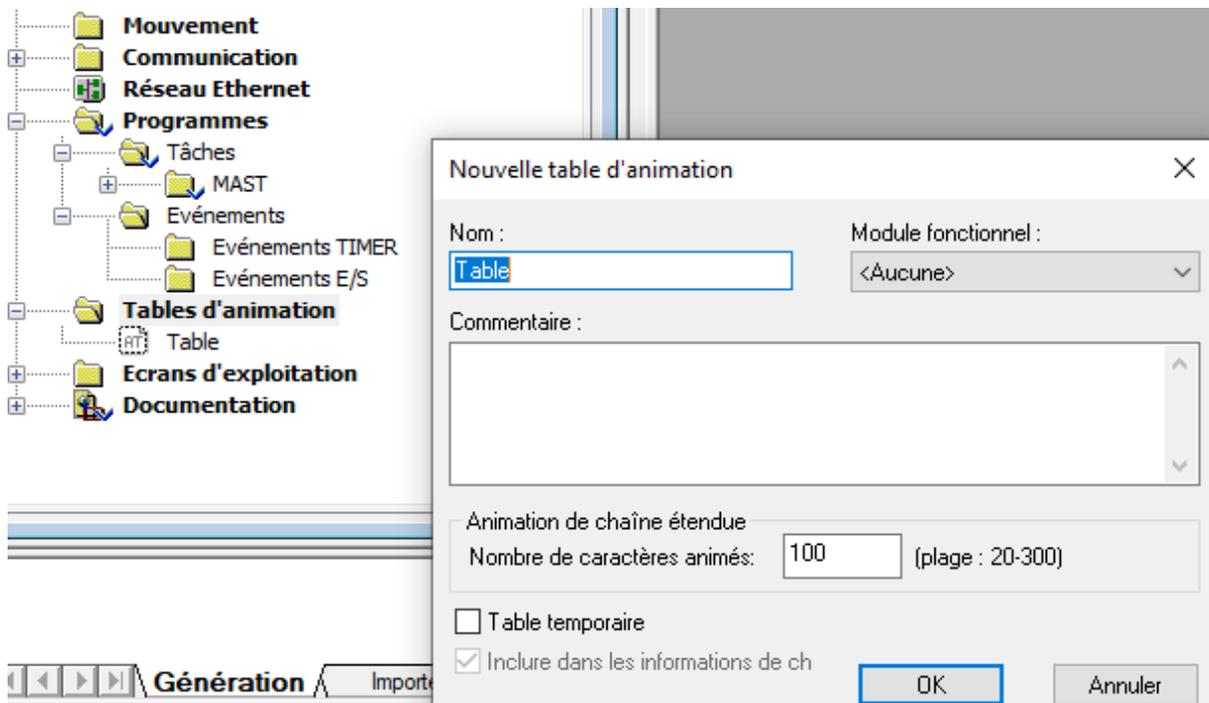


Figure 3.14. Création d'une table d'animation

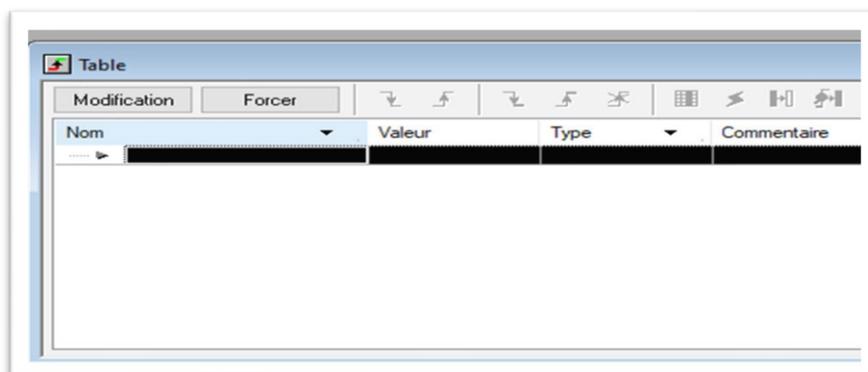


Figure 3.15. Saisie des variables de la table d'animation

### 3.7 Système SCADA

SCADA est l'acronyme de « Supervisory Control And Data Acquisition » c'est-à-dire un système de contrôle et d'acquisition de données, un terme qui décrit les fonctions de base d'un système SCADA. Les entreprises utilisent des systèmes SCADA pour contrôler les équipements sur tous leurs sites, mais aussi pour collecter et enregistrer des données au sujet de leurs opérations.

Les systèmes SCADA collectent des données en temps réel à partir de capteurs et d'instruments situés sur le terrain. Ces données sont ensuite transmises à un centre de contrôle où elles sont analysées et affichées sur des interfaces graphiques pour permettre aux opérateurs de surveiller et de contrôler les processus industriels. Les opérateurs peuvent également envoyer des commandes aux équipements sur le terrain via le système SCADA pour ajuster les paramètres ou prendre des mesures correctives si nécessaire. En résumé, SCADA permet une surveillance et un contrôle efficaces des processus industriels à distance.

#### 3.7.1. Avantages des systèmes SCADA

Les systèmes SCADA offrent de nombreux avantages pour la gestion et le contrôle des processus industriels tels que :

- Surveillance en temps réel
- Amélioration de l'efficacité opérationnelle
- Détection et réponses rapides aux problèmes
- Gestion et analyse des données
- Contrôle centralisé
- Sécurité et conformité
- Scalabilité et flexibilité
- Optimisation des ressources
- Réduction des coûts de maintenance
- Amélioration de la qualité

Ces avantages font des systèmes SCADA un outil essentiel pour les industries cherchant à améliorer leur efficacité, leur sécurité et leur rentabilité.

3.7.2. Philosophie de contrôle de la station

La philosophie principale d'opération et de contrôle à appliquer pour l'usine de dessalement d'eau de mer "Corso SWRO 80,000 M3/D". L'usine est composée de plusieurs étapes : prise d'eau brute, prétraitement de l'eau brute, flux d'OI, post-traitement, traitement des eaux usées et système de dosage des produits chimiques. L'usine est conçue en deux lignes de production indépendantes avec une capacité de ligne de 40.000 m3/d, chacune contenant quatre unités de dessalement pour permettre une meilleure disponibilité et fiabilité de l'usine.

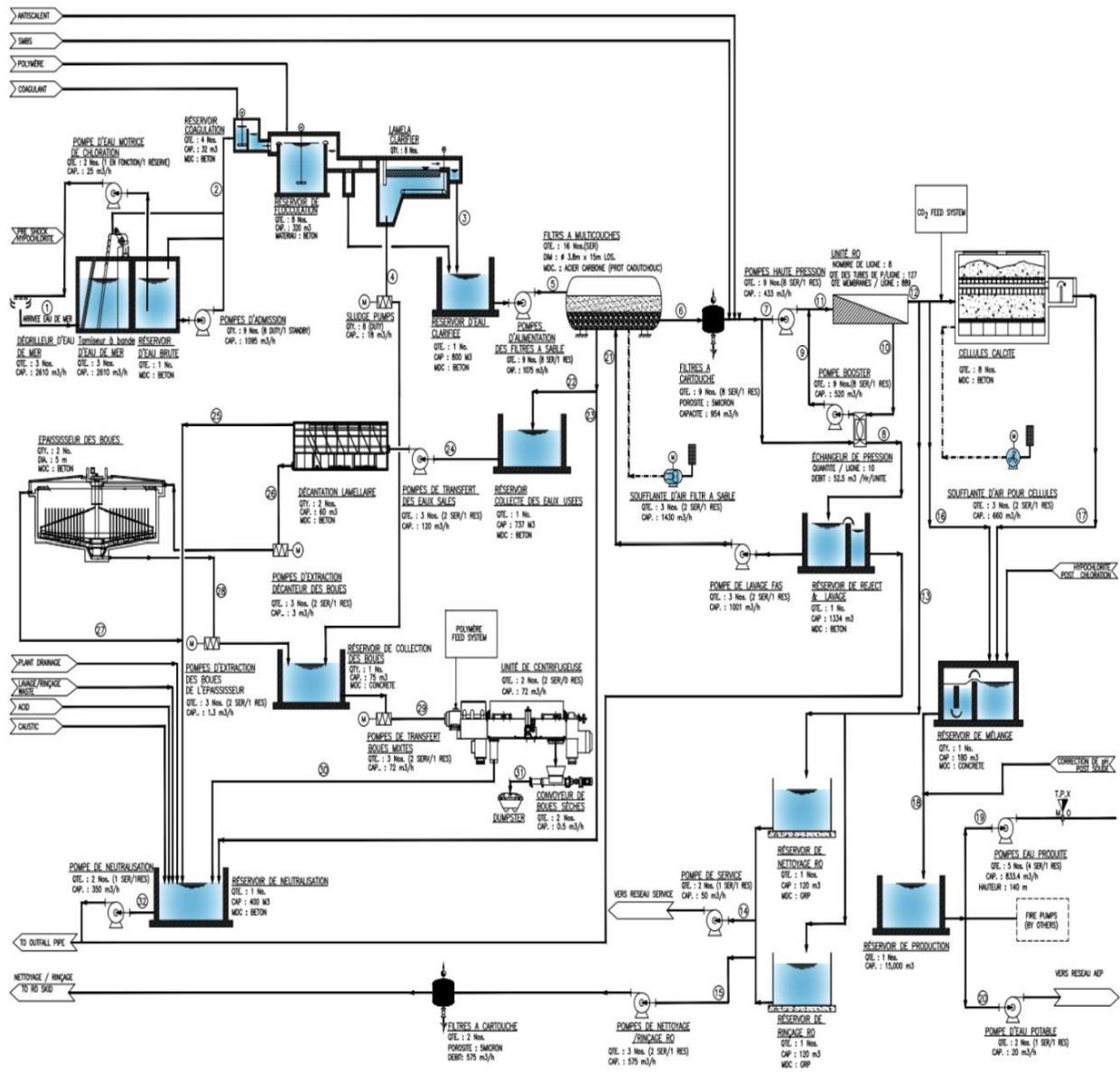


Figure 3.16. Diagramme de processus de l'usine

### 3.7.3. Vue d'ensemble du système de contrôle

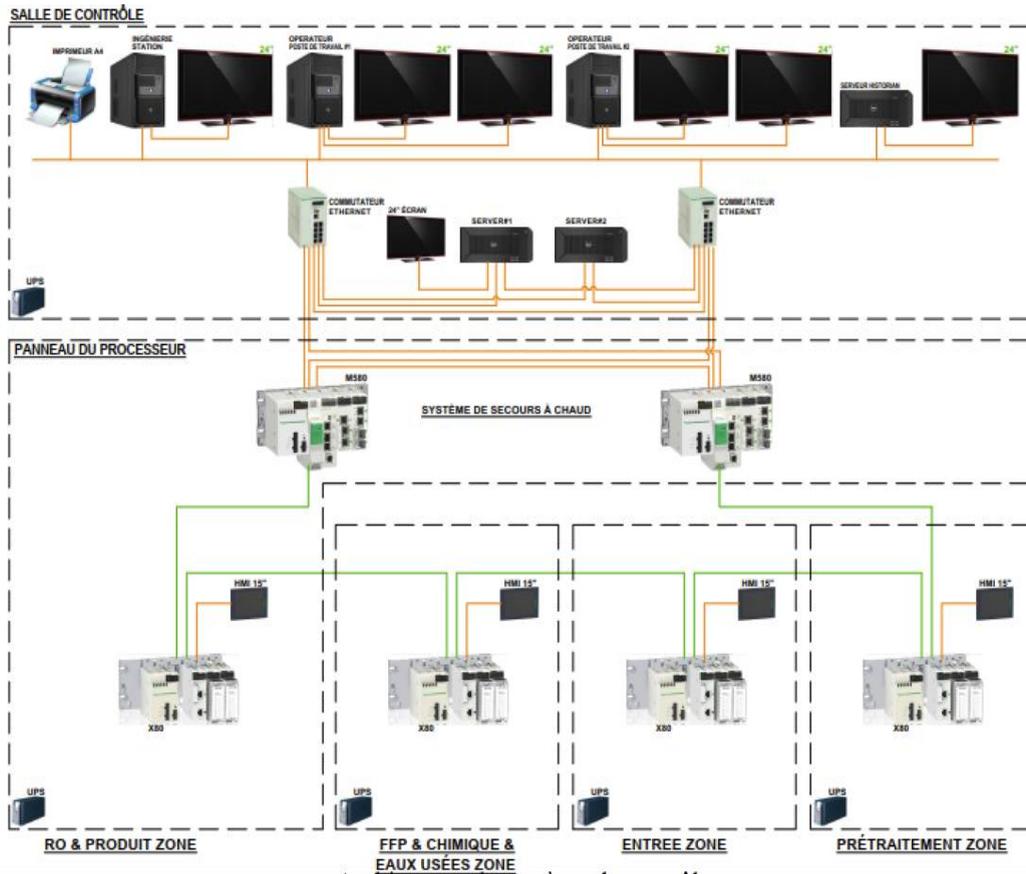
Le système de contrôle se compose de deux contrôleurs redondants et de quatre E/S distantes réparties entre les zones de l'usine (zone d'entrée, zone de prétraitement, zone d'alimentation des filtres, zone des produits chimiques et des eaux usées, zone d'osmose inverse et zone de production). Une interface homme-machine (IHM) locale doit être fournie à chaque zone pour pouvoir contrôler et surveiller sa zone spécifique ainsi que la surveillance des autres zones de l'usine. Tous les contrôleurs doivent communiquer avec deux serveurs redondants dans la salle de contrôle. Les deux serveurs redondants doivent fournir toutes les données nécessaires pour :

- ✓ Deux postes de travail d'opérateur avec double affichage par poste
- ✓ Une station d'ingénierie
- ✓ Un serveur Historien
- ✓ Une imprimante de rapport

Le système de contrôle doit fournir une page écran pour l'architecture globale du système avec les informations suivantes :

- ✓ Chaque statut de processeur redondant (Run, Stop, Fault, primaire, secondaire, synchronisé ou non)
- ✓ Charge du processeur (%)
- ✓ État de chaque carte E/S
- ✓ État des modules de communication
- ✓ Modules de communication IP
- ✓ État des commutateurs de communication
- ✓ État de l'anneau de communication

La commande locale depuis l'IHM doit être autorisée par la salle de contrôle (SCADA-Admin).



**Figure 3.17. Architecture du système de contrôle**

### 3.7.4 Vijeo Citect

Vijeo Citect, développé par Schneider Electric, est un logiciel SCADA utilisé pour la surveillance et le contrôle de processus industriels, il fait désormais la partie du portefeuille la plus large d'AVEVA, offrant ainsi des solutions complètes et intégrées pour la gestion et l'optimisation des opérations industrielles.

### 3.7.5 Caractéristiques de ce logiciel

- Vijeo Citect est automatiquement synchronisé avec les automates Control Expert EcoStruxure garantir en permanence un système cohérent.
- Vijeo Citect offre une vision globale du procédé tout en permettant un pilotage au plus près des équipements pour une optimisation des coûts de fonctionnement. D'autre part la souplesse de l'architecture permet d'équilibrer la charge des machines tout en augmentant la fiabilité.

- Vijeo Citect contient aussi un puissant outil de mise en corrélation des alarmes et des tendances pour analyser et traiter rapidement les écarts de fonctionnement.
- Vijeo Citect bénéficie des toutes dernières technologies des systèmes d'exploitation Windows. [22]

### **3.8 Conclusion**

Ces compétences seront cruciales pour la phase suivante de notre projet, où nous allons concevoir et mettre en œuvre une solution d'automatisation et de supervision. Grâce à Unity Pro, nous pourrons développer un système fiable et efficace, répondre aux besoins spécifiques de notre projet, et assurer une gestion optimale des processus industriels.

## **Chapitre 04**

# **Programmation et simulation du projet**

## 4.1 Introduction

Après avoir présenté des généralités sur les automates et le logiciel Unity Pro, nous nous pencherons dans le développement du processus centré sur le contrôle et la supervision du système proposé. L'objectif principal, est de démontrer comment les données sont collectées, analysées et utilisées pour optimiser en temps réel le processus de recyclage, assurant ainsi une performance opérationnelle optimale de la station de dessalement.

## 4.2 Schéma P&ID

Un schéma P&ID est un diagramme détaillé utilisé en ingénierie des procédés pour montrer l'interconnexion des équipements, des tuyauteries et des composants de contrôle dans un système, voici le P&ID de notre système proposé.

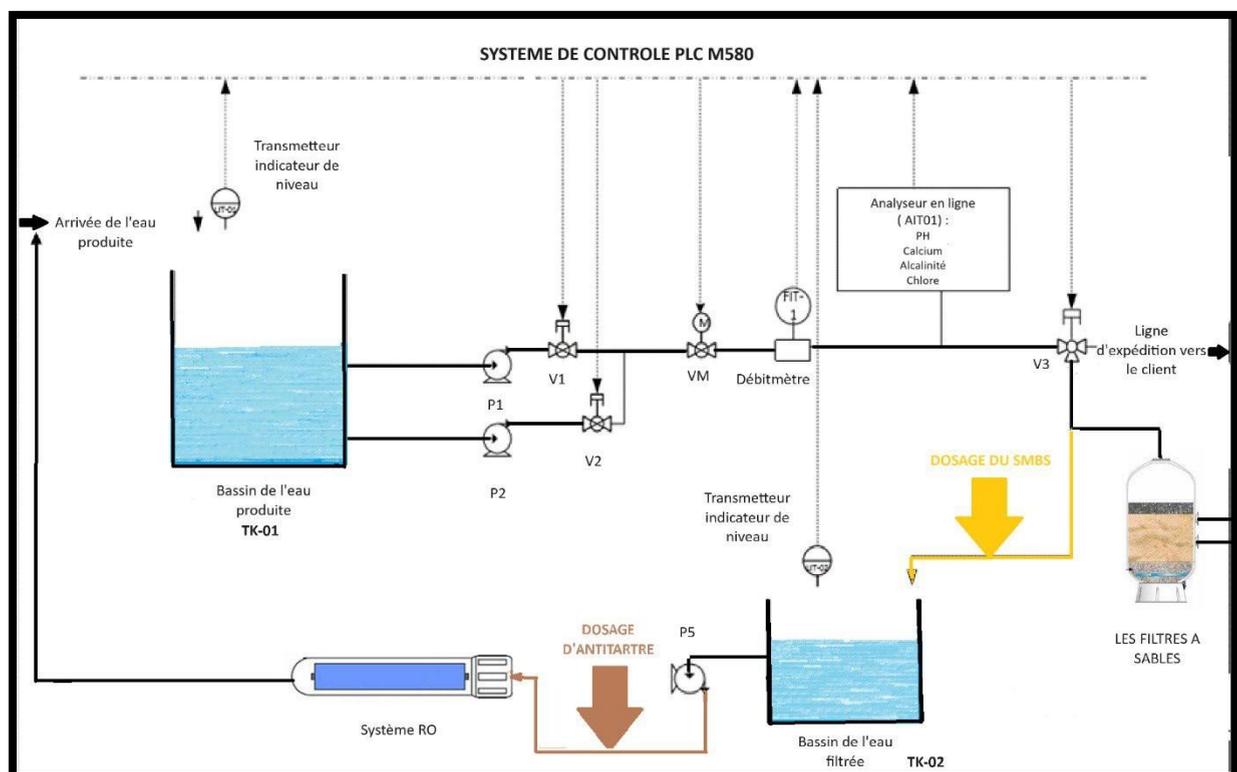


Figure 4.1. Schéma P&ID de la boucle de recyclage

### 4.3 Spécification fonctionnelle

Les éléments utilisés dans la boucle de recyclage de l'eau produite aux exigences permettent de recycler l'eau produite non conforme plutôt que de la rejeter dans la mer. Les équipements nécessaires à cette boucle de recyclage comprennent les pompes, les vannes, les analyseurs et les indicateurs de niveau.

- a) **Pompes** : P1 et P2 sont utilisées pour expédier l'eau produite vers le réseau de distribution. Ces pompes jouent un rôle crucial en maintenant une pression adéquate et un grand débit pour assurer une distribution efficace. Elles sont conçues pour résister à la corrosion et aux conditions sévères associées aux procédés de dessalement.
  - b) **Vannes** : V1, V2, V3 et VM sont utilisés principalement pour contrôler, diriger et réguler le débit et la pression de l'eau produite dans le système. Elles permettent de moduler le passage de l'eau, assurant ainsi un fonctionnement optimal des pompes et du système de distribution. Ces vannes sont manuelles et automatisées. Elles sont conçues pour résister à la corrosion et aux conditions rigoureuses présentes dans les environnements de dessalement. Elles jouent un rôle très important dans le contrôle précis et la sécurité de cette opération, en évitant les surpressions, et en facilitant l'isolation des pompes en cas de maintenance.
  - c) **Capteurs de niveau** : LIT-01 et LIT-02 représentent deux flotteurs. Un flotteur est un dispositif de détection de niveau utilisé pour mesurer le niveau de liquide dans un réservoir ou un bassin. Il fonctionne en flottant à la surface du liquide, la variation de niveau dans le bassin fait correspondre au signal électrique à la sortie de capteurs.
  - d) **Analyseurs** : Ils sont utilisés pour mesurer les paramètres physico-chimiques en ligne pour assurer la qualité, l'efficacité de traitement d'eau, nous distinguons la mesure de pH, taux de chlore, l'alcalinité.
- ✓ **pH-mètre** : Il mesure l'acidité ou la basicité de l'eau. Un pH optimal est crucial pour la prévention de la corrosion des équipements et pour assurer une désinfection efficace.

- ✓ **Colorimètre** : Il mesure la concentration de chlore en mg/l ou en ppm. Un contrôle et mesure précis est nécessaire pour assurer la destruction des microorganismes dans la conduite sans laisser de résidus nocifs.

D'après les deux analyses il faudra :

- Calculer la concentration de calcium dans l'eau dessalée en utilisant un colorimètre et un indicateur spécifique, car elle est essentielle pour prévenir la formation de dépôts calcaires et garantir la qualité de l'eau.
  - Calculer l'alcalinité car une mesure élevée peut conduire à la formation de carbonates de calcium et de magnésium qui peuvent précipiter et obstruer les membranes d'osmose inverse.
- e) **Pompes doseuses** : P3, P4 sont utilisées pour injecter avec précision et d'une manière continue des produits chimiques tels que le métabisulfite de sodium et l'antitartre. Ces produits chimiques sont essentiels pour assurer le bon fonctionnement du système de dessalement en évitant la formation des dépôts et en protégeant les membranes contre les dommages.
- ✓ **Injection de SMBS (Métabisulfite de Sodium)** : Le SMBS est utilisé principalement pour déchlorer l'eau d'alimentation avant qu'elle n'atteigne les membranes de dessalement, car le chlore peut endommager ces membranes.
  - ✓ **Injection d'Antitartre** : Les antitartres sont des produits chimiques qui empêchent la formation de dépôts minéraux (comme le calcaire) sur les membranes et autres équipements de dessalement.

#### 4.3.1 Organigramme du système proposé

Nous avons suggéré la solution suivante sous forme de graphique, en utilisant une approche fonctionnelle qui nous permet de créer un graphique adapté à notre système, cet organigramme représente le système général de recyclage :

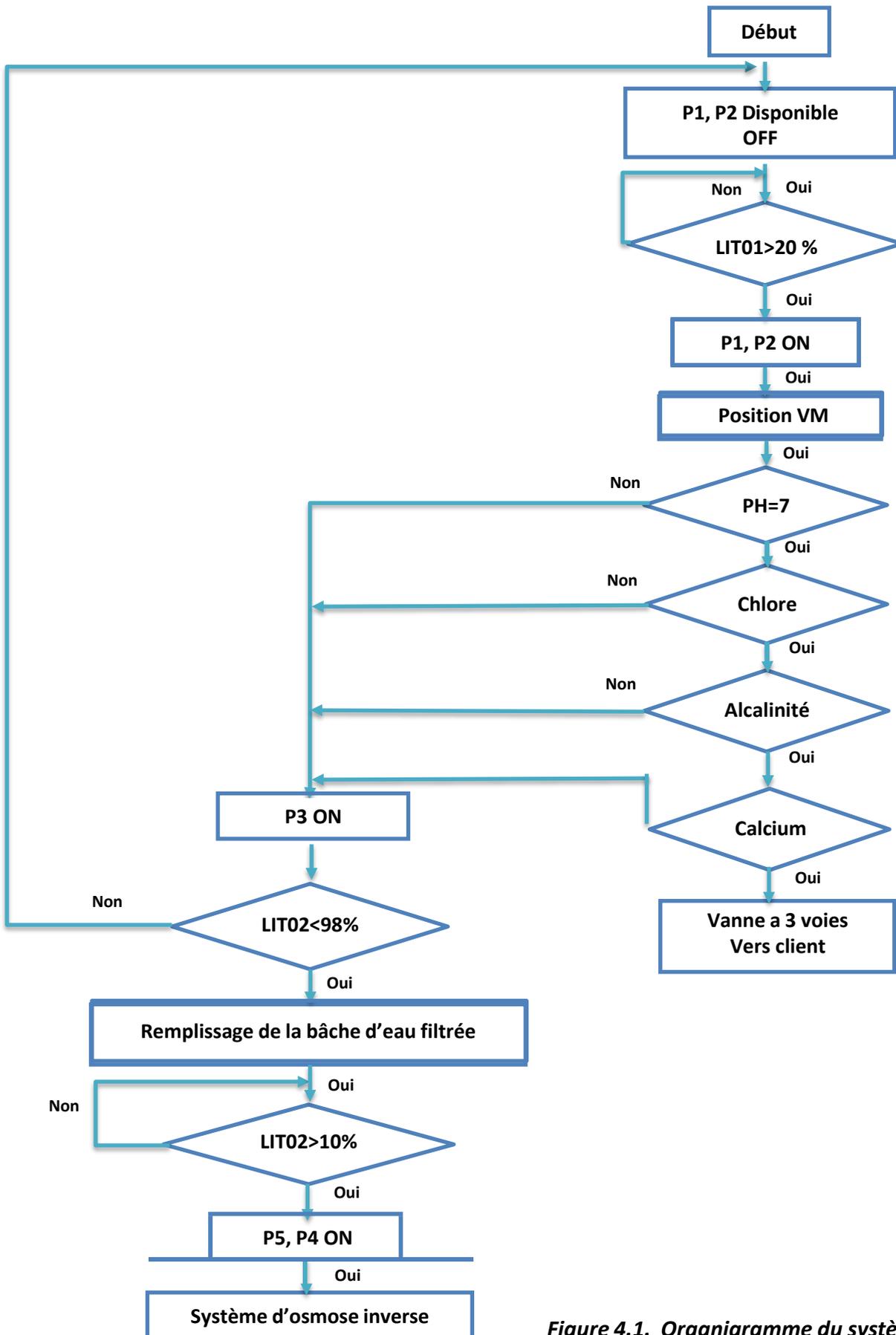


Figure 4.1. Organigramme du système proposé

### 4.3.2. Cahier de charge

- Lorsque le système de recyclage est mis en marche, les deux pompes **P1**, **P2** doivent initialement être à l'état **OFF**.
- Un indicateur de niveau **LIT-01** surveille en continu le niveau de fluide. Cette condition garantit l'activation des pompes uniquement.
  - ✓ Si le niveau est inférieur à **20%**, les pompes **P1** et **P2** ne permettent leur démarrage.
  - ✓ Si le niveau dans le bassin est supérieur à **20%**, les pompes **P1** et **P2** permettent leur démarrage avec le bouton **start**.
- **VM** est une vanne motorisée avec un positionneur de **0-100%**, afin de pouvoir régler le débit d'expédition ou de recyclage.
- Ensuite les analyseurs mesurent la qualité de l'eau.
  - ✓ Si l'analyseur de **pH** détecte que le niveau de **pH** est exactement à 7, cette étape est considérée comme valide, et le système passe automatiquement au contrôle du deuxième analyseur.
  - ✓ Si l'analyseur de **Chlore** détecte que le niveau de **Chlore** est supérieur ou égale à 0.1mg /l, cette étape est considérée comme valide.
  - ✓ Si les paramètres de **l'alcalinité** et le **calcium** ne sont pas hors normes, et que les analyseurs ont validé leurs paramètres respectifs, confirmant ainsi que la qualité de l'eau est parfaite, le système passe à l'étape suivante : la distribution de l'eau vers le client.
  - ✓ Si la qualité est hors normes la vanne **V3** change sa position pour envoyer l'eau vers le bassin de l'eau filtrée, après que la pompe doseuse **P3** injecte le **SMBS** en ligne.
- ✓ Un capteur de niveau est prévu pour surveiller en continu le niveau de fluide dans le bassin de l'eau filtrée.
  - ✓ Si le niveau ne dépasse pas **98%**, donc l'eau non conforme peut être recyclée vers le bassin de l'eau filtrée pour un autre traitement.

- ✓ Si le niveau dépasse **98%**, cela signifie que le bassin ne peut pas continuer de se remplir, dans ce cas les pompes sont automatiquement arrêtées pour éviter tout débordement.
- ✓ Si le niveau est supérieur à **10%** la pompe **P5** démarre et commence à pomper l'eau filtrée vers le système d'osmose inverse après que la pompe doseuse **P4** injecte l'antitartre en ligne.

## 4.4 Structure du programme

### 4.4.1 Table des variables

Nom	Type	Valeur	Commentaire	Alias	Alias pour	Adresse	Variable IHM	Droits lecture/écriture (R/W) de la varia...
FIT	REAL					%MW6	✓	
FIT_int	INT							
LIT1	INT					%MW1		
LIT2	INT					%MW2		
LIT2_F...	EBOOL						✓	
LIT2_L...	EBOOL						✓	
P1	EBOOL					%M1		
P2	EBOOL					%M2	✓	
P3	BOOL						✓	
P4	BOOL						✓	
P5	BOOL						✓	
QOK	EBOOL						✓	
sel_deux	BOOL		sélection deux pomp...				✓	
START	EBOOL						✓	
start_P2	BOOL						✓	
stop	BOOL						✓	
stop_P2	BOOL						✓	
T1	EBOOL					%M3		
V1	BOOL						✓	
V2	BOOL						✓	
VM	EBOOL					%M4		
VM_SP	REAL						✓	

Figure 4.3. Table des variables

### 4.4.2 Programme logique

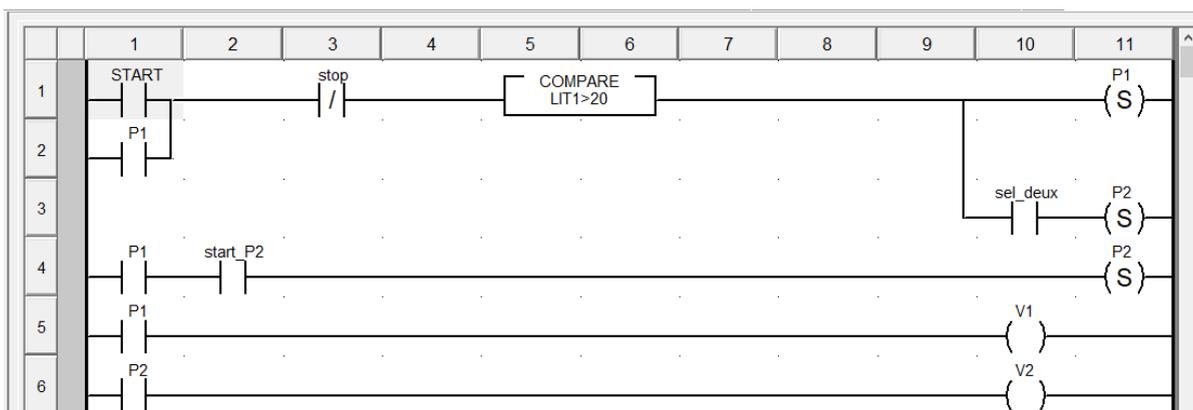


Figure 4.4. Première partie du Main\_program

Notre programme commence en appuyant sur le bouton **START**. Ensuite, un comparateur évalue la valeur de **LIT01** si cette valeur est supérieure à **20**, la pompe **P1** s'active. En actionnant le **sélecteur**, la pompe **P2** démarre, accélérant ainsi le remplissage du bassin d'eau filtrée.

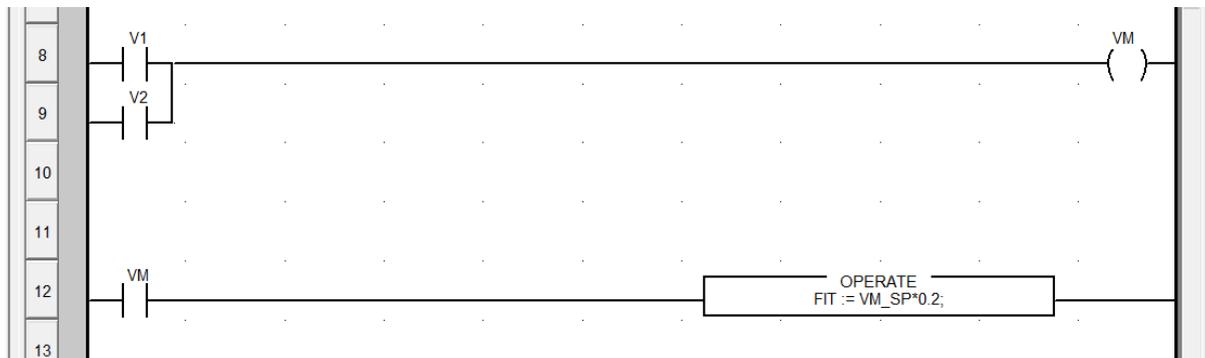


Figure 4.5. Deuxième partie du Main\_program

Le démarrage de **P1** entraîne l'activation de la vanne **V1**, tandis que le démarrage de **P2** active la vanne **V2**. L'activation conjointe de **V1** et **V2** met en marche la vanne motorisée, conformément à une **instruction** programmée en langage **ST**.

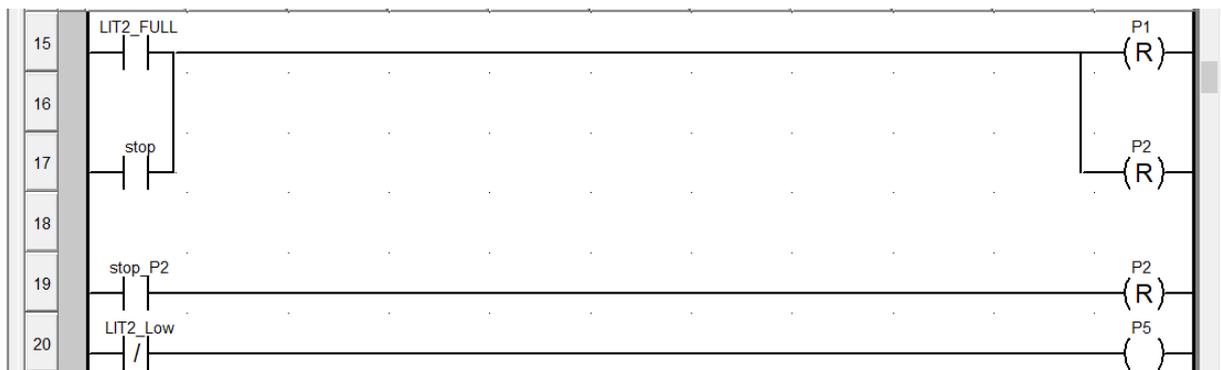


Figure 4.6. Troisième partie du Main\_program

Lorsque le capteur **LIT2** détecte que le bassin d'eau filtrée est **FULL (98%)**, les pompes **P1** et **P2** sont réinitialisées.

Si le capteur **LIT2 LOW (10%)** indique que le niveau est supérieur à 10, la pompe **P5** qui sert à pomper l'eau vers le système d'osmose inverse, s'active.



Figure 4.7. Quatrième partie du Main\_program

Ensuite, les analyseurs regroupent les données, et si la variable de **QOK** est non conforme la pompe **P3** démarre pour doser le **SMBS**. Après l'activation de **P5**, la pompe **P4** s'enclenche pour doser **L'ANTI\_TARTRE** avant le système d'osmose inverse.

## Mesure

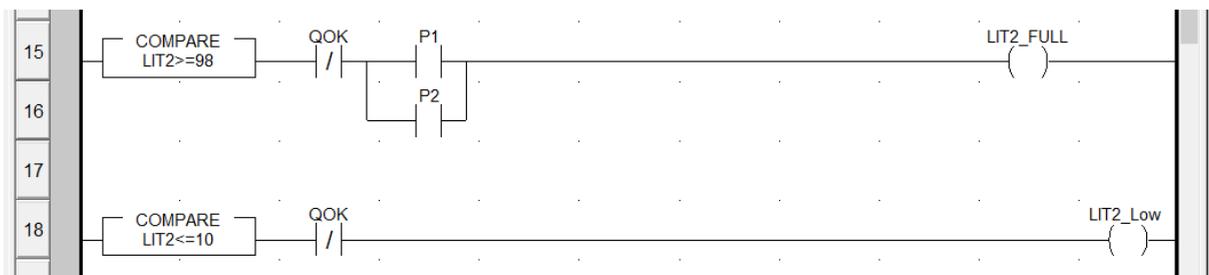


Figure 4.8. Une partie de la section de MESURE

La section **MESURE** comprend deux comparateurs l'un pour **LIT02 FULL** et l'autre pour **LIT2 LOW**. Les deux utilisent le bloc **COMPARE** avec deux différentes expressions en langage **ST** **LIT2 FULL** supérieur à **98** et le deuxième **LIT2 LOW** inférieur à **10**.

### 4.4.3 Présentation de la vue

Une fois la liaison est établie, nous accédons à la vue structurelle, pour se mettre sur l'onglet « Ecran d'exploitation » et pour commencer la simulation de la vue de notre projet. Dans cette étape, Unity Pro XL est adopté pour la réalisation des représentations de supervision, en insérant les différents éléments ainsi que les objets de vue statiques et actifs correspondant à notre installation (Pompe, tuyauteries, boutons, vannes ...). Ces composants sont configurés, en leur affectant les variables correspondantes.

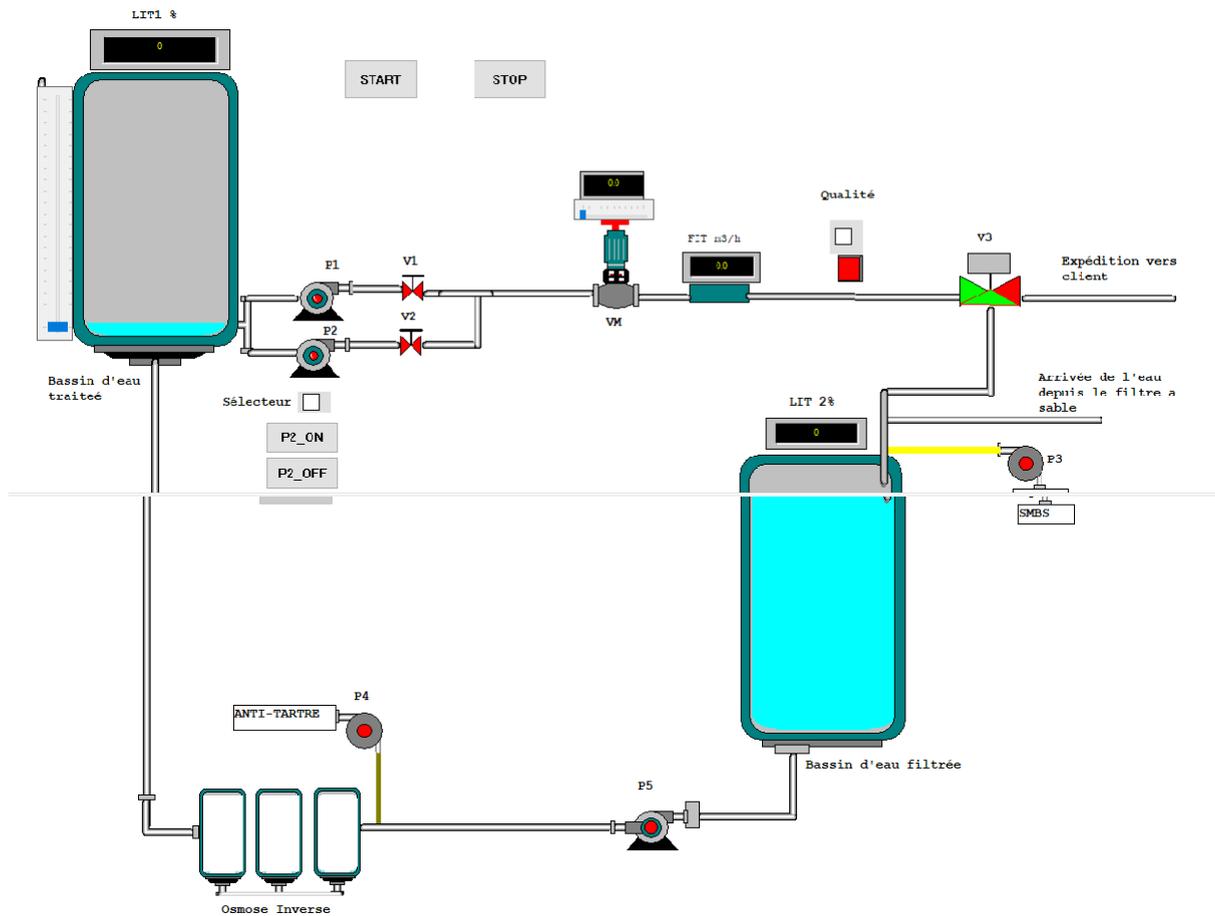


Figure 4.9. Vue générale du système

#### 4.4.4 Test et résultat de simulation

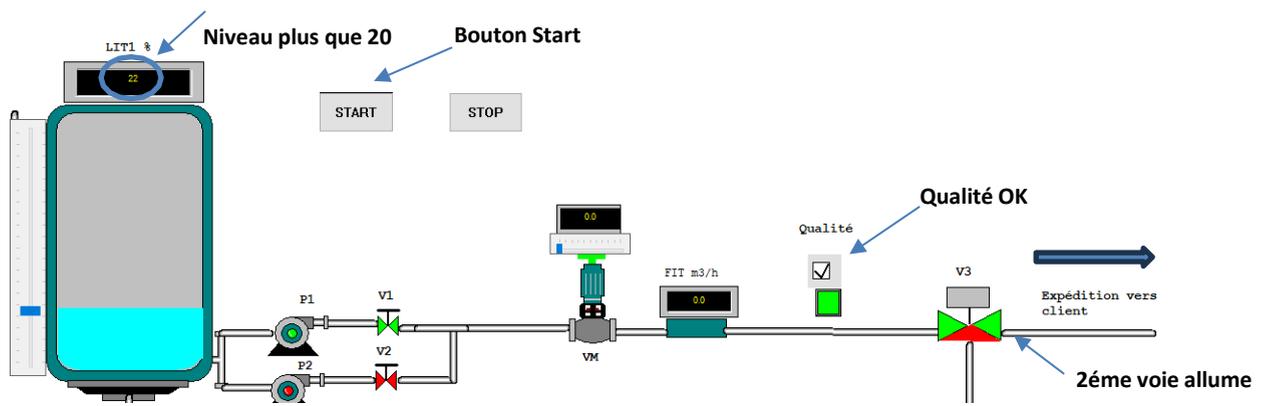


Figure 4.10. Test du cas de conformité d'eau

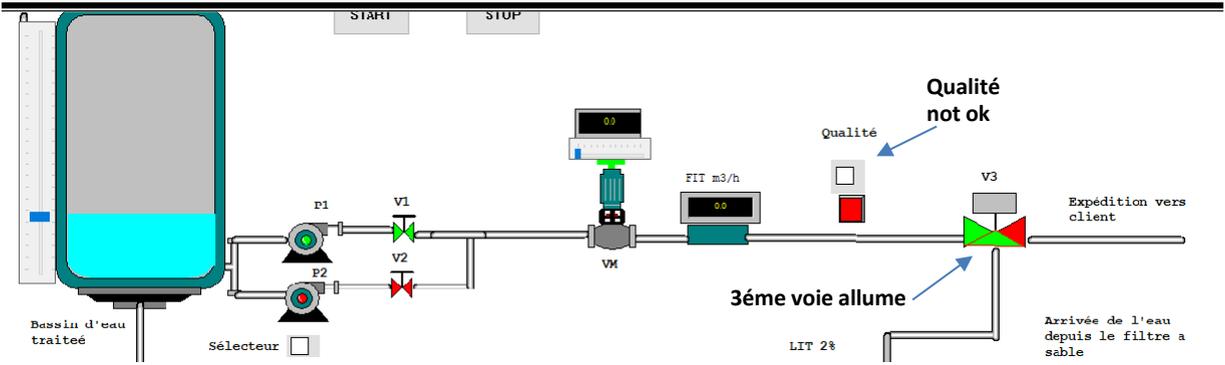


Figure 4.11. Test du cas d'eau hors spécifications

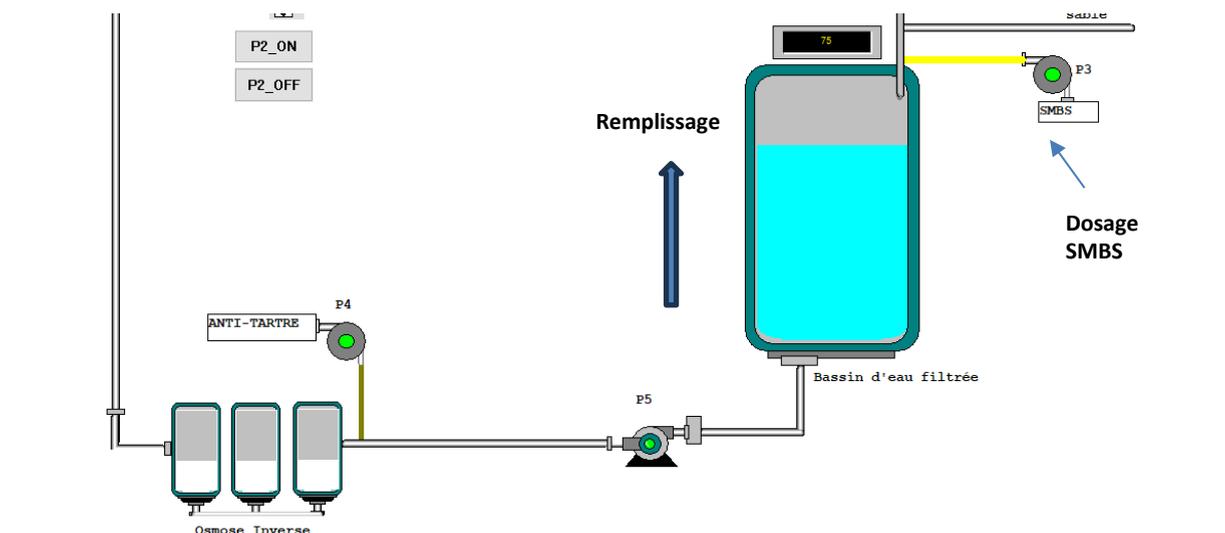


Figure 4.12. Test du système de recyclage

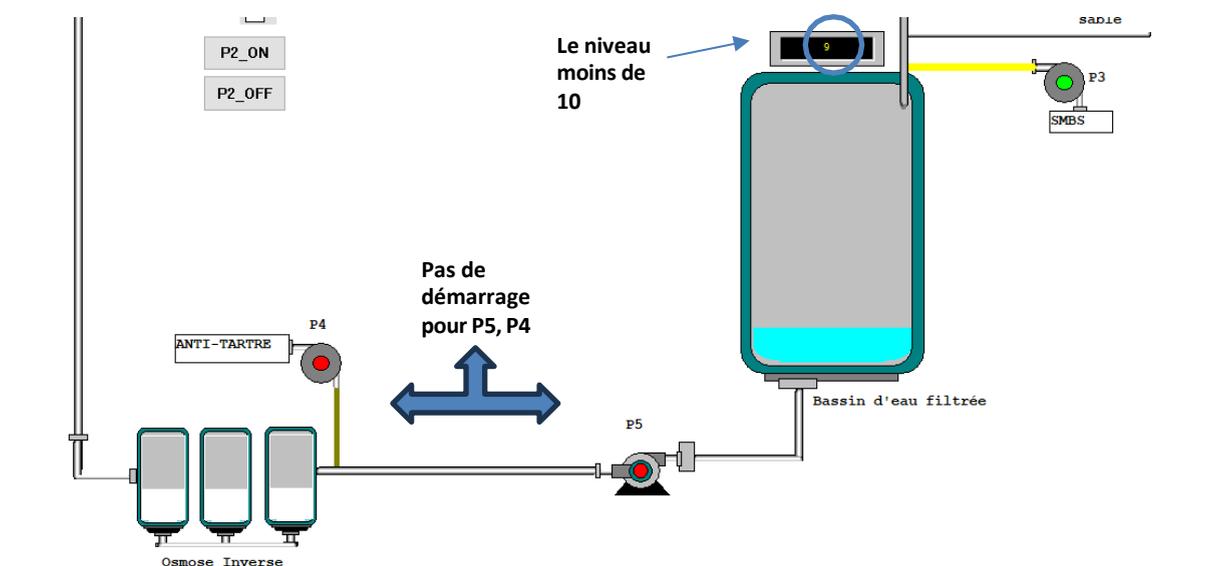


Figure 4.13. Test de la suite du système de recyclage

## 4.5 Conclusion

A la fin de ce chapitre nous sommes parvenues à interpréter les informations, permettant de déceler les tendances et les anomalies potentielles. Ensuite, nous avons examiné les mécanismes de rétroaction et de prise de décision automatisée qui permettent d'ajuster les paramètres du système en temps réel, afin de maximiser l'efficacité du processus de dessalement.

L'intégration de ces différentes étapes constitue un système de contrôle robuste et intelligent, capable de s'adapter aux variations des conditions d'entrée et de fonctionnement. Ce chapitre a illustré comment cette approche intégrée contribue à la durabilité et à la performance optimale de la station de dessalement, tout en minimisant les coûts opérationnels et les impacts environnementaux.

# **Conclusion générale**

## Conclusion générale

---

Notre innovant projet a été développé au sein de la société Algerian Energy Company, filiale de SONATRACH, sur le site de la station de corso à Boumerdes, qui met en œuvre les techniques de dessalement les plus récentes, axées l'automatisation et la supervision SCADA, afin de concevoir une solution pure et programmable pour améliorer les performances opérationnelles en terme de gain hydrique, énergétique et financier.

Notre travail se divise en deux axes majeurs, le premier axe consiste en une étude détaillée de la technologie, du fonctionnement et de la modélisation de la station de dessalement car ce procédé représente un domaine complexe qui intègre l'automatique, la mécanique, la chimie, la physique et l'informatique..

Le deuxième axe repose sur la commande automatique réalisée par un automate M580, qui a été imposé par la station, en utilisant le logiciel de programmation "Unity Pro XL". Ce logiciel nous a permis de visualiser le fonctionnement en temps réel. Ce logiciel a considérablement simplifié notre travail en ce qui concerne la configuration, la programmation et la simulation, en dépit des contraintes rencontrées, nos objectifs a été atteints avec succès.

Ce projet nous a offert l'opportunité d'appliquer les connaissances acquises au cours de notre formation. Il nous a permis d'acquérir un savoir-faire pratique, de bénéficier de l'expérience de professionnels du domaine et d'apprendre une méthodologie rationnelle pour la réalisation de projets d'automatisation. Cette expérience a été très enrichissante.

En termes de futur, nous envisageons de concrétiser la mise en place de ce système de commande développé qui répond aux besoins de manière optimale.

Enfin, c'est avec une grande satisfaction que nous concluons ce projet, fières du travail accompli et de l'impact positif que notre contribution aura sur le système de dessalement dorénavant.

Nous souhaitons que cette étude sur l'automatisation supervisée constitue un modèle pour les futurs étudiants, qui pourraient éventuellement s'engager dans d'autres projets plus complexes, en proposant la même boucle de recyclage pour différents aspects.

## Références bibliographiques

---

- [1] Algerian energy company , [En ligne]. Available: [www.aec.dz](http://www.aec.dz).
- [2] Ministère de l'énergie et des mines, «Projet de dessalement de l'eau de mer,» [En ligne]. Available: <https://www.energy.gov.dz/?article=projet-de-dessalement-de-l'eau-de-mer>.
- [3] «FICHE D'INFORMATION SUR LE DESSALEMENT,» [En ligne]. Available: <https://www.safewater.org/french-fact-sheets/2017/3/18/dessalement>.
- [4] P. Bandelier, «Accueil - Usages de l'énergie - Le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres,» 29 Novembre 2016. [En ligne]. Available: <https://www.encyclopedie-energie.org/le-dessalement-deau-de-mer-et-des-eaux-saumatres/>.
- [5] V. Renaudin, «Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres,» [En ligne]. Available: <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamique-chimique/le-dessalement-de-l'eau-de-mer-et-des-eaux>.
- [6] EURODIA INDUSTRIE SAS, «Le principe de la filtration membranaire,» [En ligne]. Available: <https://eurodia.com/la-filtration-membranaire/>.
- [7] E. khabbazhatim, «Traitements des solutions modèles du lit par des membranes de nanofiltrations et d'osmose inverse,» Institut Marocain de l'information scientifique et technique, 07 Février 2008.
- [8] «Osmose,» [En ligne]. Available: <https://www.aquaportail.com/dictionnaire/definition/449/osmose>.
- [9] [En ligne].
- [10] D. H. MARKS, Review of the desalination and water purification technology roadmap, The national academies press, 2004.
- [11] WT.International, «Osmose inverse,» [En ligne]. Available: <https://www.wtinternational.ma/>.
- [12] D. K. e. J. KUNTZ, «Eau potable : enjeux géopolitiques. Le dessalement est-il une solution d'avenir ?,» Février 2012. [En ligne].
- [13] «Principe du colmatage des membranes,» [En ligne]. Available: <https://www.researchgate.net/figure/Principe-du-colmatage-des-membranes-et->

## Références bibliographiques

---

formation-du-gateau-cake\_fig7\_334331195.

[14] Algerian Energy Company , Metito,Génie civil et batiment, Description du processus, 2022.

[15] «Moteur asynchrone,» [En ligne].

[16] W. Bolton, «Automates programmables industriels-2e éd. Dunod.,» 2019. [En ligne].

[17] Schneider Electric. , « Langages de programmation.,» [En ligne]. Available: <https://www.se.com/fr/fr/work/products/product-launch/guides/plc.jsp>.

[18] schneider electric processeur , [En ligne]. Available: <https://www.se.com/fr/fr/product/BMEP581020/modicon-m580-processeur-1024-e-s-tor-256-e-s-ana-3-ports-ethernet-std/>.

[19] schneider electric module d'alimentation , [En ligne]. Available: <https://www.se.com/dz/fr/product/BMXCPS3020H/modicon-x80-module-dalimentation-24-48vcc-312w-durci/>.

[20] schneider electric convertisseur module, [En ligne]. Available: <https://www.se.com/be/fr/product/BMXNRP0201/module-convertisseur-de-fibre-modicon-x80-monomode/>.

[21] schneider electric , «EcoStruxure Control Expert (Unity Pro),» [En ligne]. Available: <https://www.se.com/fr/fr/product-range/548-ecostruxure-control-expert-unity-pro/>.

[22] schneider electric , «AVEVA™ Plant SCADA,» [En ligne]. Available: <https://www.se.com/africa/fr/product-range/1500-aveva-plant-scada/#overview>.

[23] B. Philippe, «LE DESSALEMENT D'EAU DE MER ET DES EAUX SAUMÂTRES,» 29 Novembre 2016. [En ligne]. Available: [https://www.encyclopedie-energie.org/le-dessalement-deau-de-mer-et-des-eaux-saumatres/#\\_ftn17](https://www.encyclopedie-energie.org/le-dessalement-deau-de-mer-et-des-eaux-saumatres/#_ftn17).

[24] P. Bandelier, «LE DESSALEMENT D'EAU DE MER ET DES EAUX SAUMÂTRES,» encyclopedie de energie, 29 Novembre 2016. [En ligne]. Available: [https://www.encyclopedie-energie.org/le-dessalement-deau-de-mer-et-des-eaux-saumatres/#\\_ftn17](https://www.encyclopedie-energie.org/le-dessalement-deau-de-mer-et-des-eaux-saumatres/#_ftn17).

[25] V. Renaudin, «Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres,» 18 Novembre 2003. [En ligne]. Available: <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamique-chimique/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-et-des-eaux>.

## Références bibliographiques

---

- [26] P. Bandelier. [En ligne]. Available: <https://www.encyclopedie-energie.org/le-dessalement-deau-de-mer-et-des-eaux-saumatres/>.
- [27] Algerian Energy Company, [En ligne]. Available: [www.aec.dz](http://www.aec.dz).
- [28] AEC, [En ligne]. Available: [www.aec.dz](http://www.aec.dz).
- [29] Algerian Energy Company, [En ligne]. Available: [www.aec.dz](http://www.aec.dz).
- [30] Alp'Osmose, 2022.
- [31] c. Georges Asch, Les capteurs en instrumentation industrielle, Dunod, Éd.
- [32] AVEVA , «Définition de SCADA (Système de Contrôle et d'Acquisition de Données),» [En ligne]. Available: <https://www.aveva.com/fr-fr/solutions/operations/scada/>.
- [33] «Qu'est-ce qu'un SCADA ?,» copadata, [En ligne]. Available: <https://www.copadata.com/fr/produits/zenon-software-platform/visualisation-controle/qu-est-ce-qu-un-scada-supervisory-control-and-data-acquisition-copa-data/>.



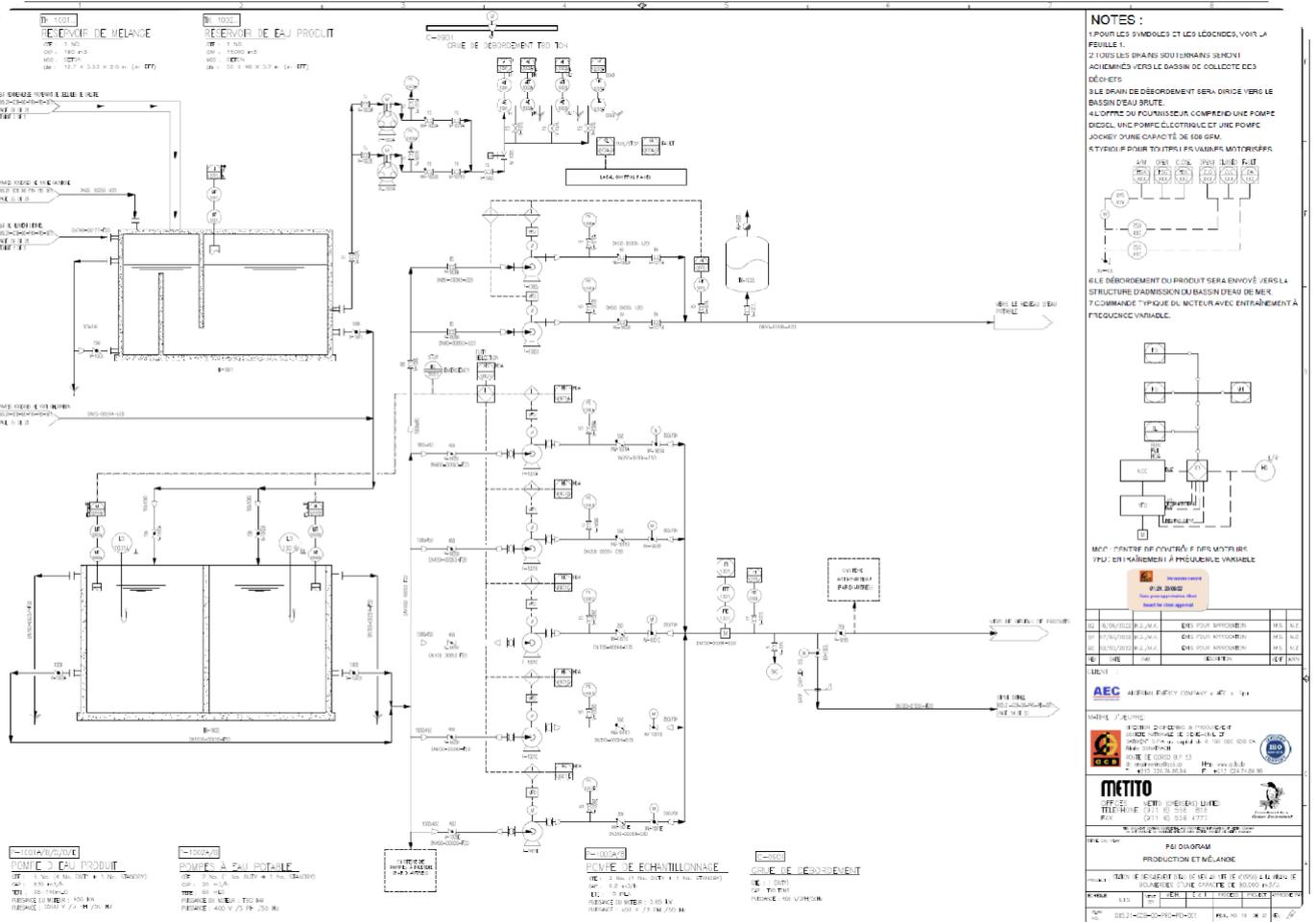


Figure A2 : Phase de production

**Tableau A.1. Qualité de l'eau de mer brute [1]**

<b>Paramètre</b>	<b>Unité</b>	<b>Concentration</b>
<b>PH</b>		8.20
<b>Température</b>	C	14 à 29
<b>Hydrocarbures</b>	(ppm)	0.1
<b>Matière en suspension</b>	(ppm)	200
<b>Solides Total dissous TDS</b>	(ppm)	38500
<b>Calcium (Ca<sup>2+</sup>)</b>	(ppm)	440
<b>Magnésium (Mg<sup>2+</sup>)</b>	(ppm)	1400
<b>Sodium (Na<sup>+</sup>)</b>	(ppm)	11827.81