



Département d'automatique

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Automatique

Développement d'un DCS pour une station de dessalement

réalisé par :

KHENNOUNE Wissam & HADDADI Yousra

Soutenu le 06 juillet devant le jury composé de :

Président	M.Omar STIHI	Professeur	ENP
Examineur	M.Messouad CHAKIR	Docteur	ENP
Promoteur	M.El Madjid BERKOUK	Professeur	ENP
Co-Promoteur	M.Samir BENALIA	Ingénieur d'état	Siemens



Département d'automatique

Mémoire de projet de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme d'ingénieur d'état en Automatique

Développement d'un DCS pour une station de dessalement

réalisé par :

KHENNOUNE Wissam & HADDADI Yousra

Soutenu le 06 juillet devant le jury composé de :

Président	M.Omar STIHI	Professeur	ENP
Examineur	M.Messouad CHAKIR	Docteur	ENP
Promoteur	M.El Madjid BERKOUK	Professeur	ENP
Co-Promoteur	M.Samir BENALIA	Ingénieur d'état	Siemens

ملخص

أمام تناقص المياه العذبة على كوكب الأرض ووفرة المياه المالحة، أصبح تحلية مياه البحر حلاً بديلاً لا غنى عنه لتلبية الطلب المتزايد على المياه العذبة في العديد من مناطق العالم. يتركز هذا المشروع على تطوير نظام تحكم (DCS) لمحطة تحلية ذات سعة متوسطة. يهدف هذا النظام إلى مراقبة والتحكم في الجزء الرئيسي من المحطة حيث يتم إجراء عملية التناضح العكسي. باستخدام برنامج PCS7 من Siemens ، قمنا بإنشاء منطق تحكم مثلى لمراقبة والتحكم الفعال في نظامنا.

الكلمات مفتاحية : الماء، تحلية المياه، التناضح العكسي، محطة تحلية المياه، DCS ، PCS7 ، التحكم ، الأتمتة ، المراقبة ، Siemens .

Abstract

In the face of decreasing freshwater resources on the planet and the abundance of saltwater, seawater desalination has become an essential alternative solution to meet the growing demand for freshwater in many regions of the world.

This project focuses on the development of a Distributed Control System (DCS) for a medium-sized desalination plant. This system aims to supervise and control the main part of the plant where the reverse osmosis process takes place. Using Siemens' PCS7 software, we have created an optimal control logic to effectively monitor and control our system.

Keywords : Water, Desalination, Reverse Osmosis, Desalination Plant, DCS, PCS7, Control, Automation, Supervision, Siemens.

Résumé

Face à la diminution de l'eau douce sur la planète et à l'abondance d'eau salée, le dessalement de l'eau de mer est devenu une solution alternative incontournable pour répondre à la demande croissante en eau douce dans de nombreuses régions du monde.

Ce projet de fin d'études se focalise sur le développement d'un système de contrôle-commande distribué (DCS). pour une station de dessalement de capacité moyenne. Ce système vise à superviser et à commander la partie principale de la station où se déroule le processus d'osmose inverse. En utilisant le logiciel PCS7 de Siemens, nous avons créé une logique de contrôle optimale pour surveiller et contrôler efficacement notre système.

Mots clés : Eau, Dessalement, Osmose Inverse, Station de dessalement, DCS , PCS 7, Contrôle ,Automatisation,Supervision , SIEMENS.

Remerciement

Nous tenons tout d'abord à remercier **ALLAH** , le Tout-Puissant et Miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience nécessaires pour mener à bien ce modeste travail.

Nous tenons à remercier tout particulièrement notre encadrant **Pr.BERKOUK** , pour son aide précieuse, sa patience et son encouragement. Son regard critique nous a été d'une grande valeur pour structurer notre travail et améliorer la qualité des différentes sections.

Nous tenons également à remercier notre promoteur, **M. BENALIA Samir**, pour son immense soutien, la qualité de son suivi et pour tous les conseils et informations qu'il nous a prodigués avec une patience et un professionnalisme exceptionnels.

Nous aimerions également adresser nos sincères remerciements à tout le personnel de Siemens, ainsi qu'à tous les ingénieurs de la division Digital Industries, pour leur précieuse aide, leurs encouragements et pour avoir rendu notre stage chez Siemens une expérience extrêmement enrichissante.

Nous souhaitons que les membres du jury trouvent ici l'expression de notre gratitude sincère pour l'honneur qu'ils nous font en prenant le temps de lire et d'évaluer ce travail.

Enfin, nous tenons à remercier toutes les personnes qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Nous souhaitons également exprimer notre reconnaissance envers l'équipe pédagogique et administrative de l'ENP pour leurs efforts visant à nous offrir une excellente formation.

Dédicace

“

À ma mère, mon père qui ont fait d'innombrables sacrifices pour moi et pour ma réussite académique,

À ma soeur ,mes frères ainsi que mes amis, qui sont une source de motivation et d'encouragement pour moi.

À toutes les personnes qui me poussent à poursuivre mes objectifs avec détermination et gratitude.

”

W.KHENNOUNE

Dédicace

“ À mes chers parents, qui m’ont accompagné depuis mes premiers pas à la maternelle jusqu’à aujourd’hui, ce mémoire est dédié à vous. Votre soutien inconditionnel et vos nombreux sacrifices ont façonné la personne que je suis devenue. Ma mère, tu as toujours été là pour m’encourager et te rapprocher de moi à chaque étape de mon parcours. Mon père, malgré toute la fatigue que tu as endurée, tu n’as jamais cessé de répondre à mes besoins avec amour et dévouement. Je ne saurais exprimer toute ma gratitude envers vous deux.

À mes chères sœurs, qui occupent une place spéciale dans mon cœur, je vous dédie également ce mémoire. Votre amour, votre soutien et notre complicité ont rendu mon cheminement plus léger et plus enrichissant. Et à ma tante, qui a toujours été présente pour moi, je vous suis reconnaissante pour vos précieux conseils et votre soutien indéfectible.

À mon fiancé, qui a toujours été à mes côtés, me soutenant dans tous les aspects de ma vie, je te dédie ce mémoire avec une profonde affection. Ta présence et ton soutien inébranlable ont été une source inestimable de motivation et de réconfort durant cette aventure académique.

À tous ceux qui ont joué un rôle essentiel dans ma vie et ont contribué à ma réussite, je vous adresse mes plus sincères remerciements. Votre amour, votre encouragement et votre soutien ont fait une différence immense et ont nourri mes aspirations. Puissiez-vous trouver dans ces mots l’expression de ma reconnaissance et de mon amour éternels.

”

- *Y.HADDADI*

Table des matières

Liste des Figures

Liste des Tableaux

Liste des Abréviations

Introduction Générale	15
1 Généralité sur le traitement des eaux de mer	17
1.1 Introduction	17
1.2 Le cycle d'eau dans la planète	17
1.2.1 La distribution de l'eau dans la planète	18
1.2.2 La composition de l'eau de mer	19
1.2.3 L'eau potable	19
1.3 Le dessalement d'eau de mer	20
1.3.1 Le classement des stations de dessalement	20
1.4 Les différents procédés de dessalement	21
1.4.1 Les procédés par méthode de distillation	22
1.4.2 Les procédés membranaires	25
1.4.3 La distillation membranaire (DM)	28
1.5 Conclusion	29
2 Étude d'une station de dessalement moyenne	30
2.1 Introduction	30
2.2 Étude générale du parcours de l'eau dans une station de dessalement de taille moyenne basée sur la technique d'osmose inverse	30
2.2.1 Prise d'eau	32
2.2.2 Pré-traitement	33
2.2.3 Osmose inverse (OI)	36
2.2.4 Post-traitement	37
2.2.5 Distribution	40
2.3 Instrumentation et équipements	41
2.3.1 Les actionneurs	41
2.3.2 Les capteurs transmetteurs	44
2.3.3 Autres équipements	48
2.3.4 Bilan d'instrumentation	50
2.4 Conclusion	50
3 Analyse fonctionnelle et configuration matérielle	51
3.1 Introduction	51
3.2 DCS (Distributed Control System)	51
3.2.1 L'architecture d'un système de contrôle distribué (DCS)	51
3.2.2 Avantage du DCS	52

3.3	Analyse fonctionnelle	53
3.3.1	Sous-processus des pompes à haute pression	53
3.3.2	Sous-processus des racks d'osmose inverse	57
3.3.3	Sous processus du réservoir réactif	60
3.4	L'architecture matérielle du projet	64
3.5	Logiciel de programmation SIMATIC Manager PCS7	64
3.5.1	Création d'un nouveau projet	64
3.5.2	Les vues dans SIMATIC Manager	67
3.5.3	Configuration matérielle de la station AS	68
3.5.4	Configuration de la station d'opérateur OS " Operator Station "	73
3.5.5	Configuration des connexions réseaux	73
3.5.6	Table des mnémoniques	74
3.6	Conclusion	75
4	Programmation et Supervision	76
4.1	Introduction	76
4.2	Programmation avec PCS7	76
4.2.1	Création des dossiers hiérarchiques	76
4.2.2	Éditeur CFC	77
4.2.3	Programmation SFC	91
4.3	Simulation et supervision	96
4.3.1	Windows Control Center (WinCC)	96
4.3.2	Les Vues Synoptiques	96
4.3.3	Simulation	98
4.4	Conclusion	103
	Conclusion Générale	104
	Bibliographie	107
	Annexes	108
	A Chargement et compilation du programme	108
	B Utilisation du Graphic Designer de WinCC	112
	C Simulation	114

Table des figures

1.1	Cycle d'eau	18
1.2	Exemples de classification par taille des usines dedessalement	21
1.3	Principaux procédés industriels de dessalement d'eau de mer	22
1.4	Schéma MSF à une cellule	23
1.5	Installation MSF industrielle	23
1.6	Principe du procédé à multiple-effet (MED)	24
1.7	Principe du procédé à compression mécanique de vapeur (MVC)	24
1.8	Comparaison des différents procédés de distillation	25
1.9	Principe de l'électrodialyse	25
1.10	Composants de base d'une usine d'osmose inverse.	26
1.11	Schéma explicatif du principe de l'osmose et l'osmose inverse	27
1.12	Vue découpée d'un module de membrane enroulée en spirale	27
1.13	Module de membrane à fibres fines creuses	28
1.14	Principe de la distillation membranaire	29
2.1	Le processus de dessalement	31
2.2	Puit de plage	32
2.3	Dosage d'hypochlorite	33
2.4	Réservoir d'eau de mer	33
2.5	Technologie de dosage pour le pré-traitement	33
2.6	Filtre à sable	34
2.7	Réservoir d'eau de lavage	34
2.8	Réservoir d'eau de dilution & Réservoir de dilution :	35
2.9	Dosage de pré-traitement	35
2.10	Filtres à cartouches	36
2.11	Les pompes à haute pression	36
2.12	Modules d'osmose inverse	37
2.13	Le réservoir réactif	37
2.14	Dosage dans l'étape de neutralisation	38
2.15	Neutralisation	38
2.16	Le dosage dans l'étape de post-traitement	39
2.17	Post-chloration à l'hypochlorite	39
2.18	Le réservoir d'eau dessalée	40
2.19	Réservoir d'eau potable	40
2.20	Station de pompage d'eau potable	40
2.21	Eau de service	40
2.22	Moteur	41
2.23	La turbine Pelton	41
2.24	Vue en coupe d'une vanne de régulation pneumatique	42
2.25	Pompe d'alimentation	43
2.26	Une pompe de dosage	43
2.27	Une pompe de distribution	43
2.28	Les pompes à haute pression	44

2.29	Transmetteur de débit SITRANS FM MAG 6000	44
2.30	le capteur capacitif Pointek cls 300	45
2.31	Indicateur de pression	45
2.32	Transmetteur de pression	46
2.33	Le transmetteur SITRANS TH 400	46
2.34	Le turbidimètre ULTRATURB de HACH	47
2.35	Transmetteur de pH et de rédox	47
2.36	Conductimètre	48
2.37	Correcteur PID dans une boucle d'asservissement.	49
3.1	L'architecture d'un DCS [1]	52
3.2	Diagramme P&ID des pompes à haute pression	53
3.3	Grafcet principale de démarrage des pompes à haute pression	54
3.4	Grafcet Principale d'arrêt des pompes à haute pression	54
3.5	Grafcet - sous programme de démarrage HPP1-2	55
3.6	Grafcet - sous programme d'arrêt HPP1-2	56
3.7	Grafcet - sous programme de démarrage HPP3	56
3.8	Grafcet - sous programme d'arrêt HP3	57
3.9	Diagramme P&ID des racks d'osmose inverse	58
3.10	GRAF CET de la séquence de fonctionnement des sous processus des racks d'osmose inverse	60
3.11	Diagramme P&ID de réservoir réactif	61
3.12	GRAF CET de la séquence de remplissage	62
3.13	GRAF CET de la séquence de lavage	63
3.14	Étape 1 de création d'un nouveau projet	65
3.15	Étape 2 de la création d'un projet sous PCS7	65
3.16	L'assistant pcs7 pour la création d'un nouveau projet	66
3.17	Étape 3 de la création d'un nouveau projet sous PCS7	66
3.18	Étape 4 de la création d'un nouveau projet sous PCS7	67
3.19	Les différentes vues dans SIMATIC Manager	68
3.20	Configuration matérielle AS	68
3.21	ET 200SP HA	69
3.22	SCALANCE-XF204-2BA	69
3.23	SCALANCE XC206 EEC	70
3.24	SCALANCE XC208G EEC	70
3.25	Principe de l'intégration d'une CFU dans l'environnement d'automatisation	71
3.26	SIMOCODE pro V pn	71
3.27	CPU 410-5H	72
3.28	CP443-1	72
3.29	Configuration de l'OS	73
3.30	Configuration des connexions réseaux	74
3.31	Partie de la liste de la table des mnémoniques	75
4.1	Les dossiers hiérarchiques et les blocs CM des capteurs du sous-processus des pompes à haute pression	77
4.2	L'éditeur CFC	77
4.3	CMT-AnalogMonitoring	79
4.4	CM de la température HP1 TIRA O1	80
4.5	CMT - AnalogMonitoring Fb	80
4.6	CM PISA RO1 O1	81
4.7	Les limites de PISA RO1 O1 en bars	81
4.8	Bloc CMT de DigitalMonitoring	82

4.9	CM NS RT1 01	83
4.10	CMT - PID	83
4.11	CM PID FY RO1	84
4.12	CMT - Pompe Moteur	84
4.13	CM NC HP1 07 - vue 1	85
4.14	CM NC HP1 07 - vue 2 des blocs Protect	86
4.15	CM NC HP1 07 - vue 3	86
4.16	CM NSRT1 13 - vue 1	87
4.17	NS RT1 13 - vue 2 des blocs Protect lors du remplissage	87
4.18	NS RT1 13 - vue 3 des blocs Protect lors du lavage	88
4.19	CMT - ValveMotor	88
4.20	CM HP1 YIC 06	89
4.21	CMT - ValveLean	90
4.22	CM HP1 YIRS 01	91
4.23	Diagramme SFC	92
4.24	Création d'un diagramme SFC	93
4.25	SFC de la séquence de lavage [2]	93
4.26	Action de l'étape X0 - SFC de la séquence de lavage	94
4.27	Transition 1 - SFC de la séquence de lavage	94
4.28	Action de l'étape X1 - SFC de la séquence de lavage	94
4.29	Transition 2 - SFC de la séquence de lavage	94
4.30	Action de l'étape X2 - SFC de la séquence de lavage	95
4.31	Transition 3 - SFC de la séquence de lavage	95
4.32	Action de l'étape X3 - SFC de la séquence de lavage	95
4.33	Transition 4 - SFC de la séquence de lavage	95
4.34	Transition 5 - SFC de la séquence de lavage	95
4.35	Action de l'étape X4 - SFC de la séquence de lavage	95
4.36	Action de l'étape X5 - SFC de la séquence de lavage	95
4.37	TRANSITION 6 - SFC de la séquence de lavage	96
4.38	La vue principale et de contrôle	96
4.39	La vue du sous-processus des pompes à haute pression	97
4.40	La vue du sous-processus des racks d'osmose inverse	97
4.41	La vue du sous-processus de réservoir réactif	98
4.42	Vue principale et contrôle du système.	98
4.43	Démarrage des pompes à haute de pression	99
4.44	Vue de démarrage des trains d'osmose inverse	100
4.45	Fin de démarrage des pompes.	100
4.46	Remplissage du réservoir	101
4.47	Chauffage et mélange	101
4.48	Vue des pompes à l'arrêt	102
4.49	Vue des racks d'osmose inverse à l'arrêt	102
4.50	Vue de démarrage de la séquence de lavage	103
A.1	Lancement du simulateur	108
A.2	Chargement de la station d'automatisation	108
A.3	Chargement des diagrammes	109
A.4	compilation de la station opérateur	109
A.5	compilation de la station opérateur	110
A.6	compilation de la station opérateur	110
A.7	compilation de la station opérateur	111
A.8	WinCC Explorer	111

B.1	Création de la vue	112
B.2	Vue générale du winCC Explorer	113
B.3	Graphic Designer	113
C.1	Code QR pour les premières simulations	114
C.2	Code QR pour les deuxièmes simulations	114
C.3	Code QR pour les dernières simulations	115

Liste des tableaux

2.1	Bilan d'instrumentation	50
3.1	La liste des points de mesure des pompes à hautes pressions	54
3.2	La liste des points de mesure des racks d'osmose inverse	58
3.3	La liste des points de mesure du réservoir réactif	61
3.4	Configuration matérielle de l'automate S7400 [2]	71

LISTE DES ABRÉVIATIONS

DCS	Distributed Control System (Système de Contrôle Distribué)
PCS7	Process Control System 7(système de Contrôle de process 7)
MSF	Multi-stage flash(Flash à plusieurs niveaux)
MED	Multiple-Effect Distillation(Distillation à Effets Multiples)
MVC	Mechanical Vapor Compression(Compression Mécanique de Vapeur)
TVC	Thermal Vapor Compression(Compression Thermique de Vapeur)
ED	Électrodialyse
DM	Distillation Membranaire
HPP	High Pressure Pump (Pompe à haute pression)
HP	High Pressure(Haute pression)
SDI	Silt Density Index(Indice de densité de limon)
TDS	Total Dissolved Solids(Total des Solides Dissous)
OI	Osmose Inverse
HFF	Hollow Fine Fiber(Fibre fine creuse)
PH	Potentiel d'Hydrogène
RedOx	Réduction-Oxydation
TOR	Tout Ou Rien
NTU	Nephelometric turbidity unit(Unité de colmatage)
PID	Proportionnel-Intégral-Dérivé
E/S	Entrée Sortie
AS	Automation Station(Station d'automatisation)
OS	Operator Station(Station d'opérateur)
DI	Digital Input(Entrée numérique)
AI	Analog Input(Entrée analogique)
DO	Digital Output(Sortie numérique)
CPU	Central processing unit(Unité Centrale de Traitement)
CFU	Compact Field Unit(Unité de terrain compacte)
MRP	Media Redundancy Protocol(Protocole de Redondance de Support de Transmission)

HART	Highway Addressable Remote Transducer(Transducteur à Adresse Distante sur Bus)
CP	Communication Processor(Processeur de Communication)
PC	Personal Computer(Ordinateur Personnel)
PA	Process Automation(Automatisation des Processus)
Mgpd	Millions de Gallons par Jour
GOR	Gas-Oil Ratio(rapport gaz-huile)
IEC	Commission électrotechnique internationale
P&ID	Piping and Instrumentation Diagram(Schéma de tuyauterie et d'instrumentation)
CMT	Controller Module Type(Type de module de contrôleur)
CM	Control Module(Module de contrôle)
CFC	Continuous Function Chart(Graphique de Fonction Continue)
SFC	Sequential Function Charts(Les graphes de fonction séquentielle)
WinCC	Windows Control Center(Centre de Contrôle Windows)
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol(Protocole de Contrôle de Transmission/Protocole Internet)
IHM	Interface Homme-Machine
PLC	Programmable Logic Controller(Automate Programmable Industriel)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition(Supervision, Contrôle et Acquisition de Données)
HW-Config	Hardware Configuration(Configuration matérielle)
ESD	Emergency Shutdown System(Système d'Arrêt d'Urgence)

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'eau est une ressource vitale pour la survie de l'humanité et la santé des écosystèmes de notre planète, comme le mentionne le verset coranique qui dit : "Et Nous avons fait de l'eau toute chose vivante". L'eau est indispensable pour mener une vie digne. Cependant, la raréfaction de l'eau douce constitue un défi mondial croissant. Seulement environ 2,5 % de l'eau sur terre est de l'eau douce, tandis que le reste est de l'eau salée présente dans les océans [3]. De ce pourcentage, une grande partie est immobilisée sous forme de glace dans les calottes glaciaires et les glaciers, et une autre partie est présente dans les nappes souterraines. Ainsi, seulement 0,3 % de l'eau douce est disponible pour répondre à nos besoins en eau potable, agricole, industrielle et environnementale [3].

De plus, la répartition inégale des ressources en eau entre les pays est le résultat des fluctuations des cycles climatiques passés et présents. Ces variations géographiques ont entraîné des changements significatifs dans la disponibilité de l'eau. Les régions les plus touchées par une pénurie d'eau comprennent la péninsule Arabique, le Proche-Orient, l'Afrique du Nord, le Sahel et la zone désertique d'Afrique australe[4].

Face à cette situation préoccupante, le dessalement de l'eau de mer offre une opportunité vitale d'obtenir des ressources supplémentaires en eau pour répondre aux besoins de consommation humaine, industrielle et agricole. Le processus de dessalement implique la conversion de l'eau de mer ou de l'eau saumâtre en eau douce. Parmi les techniques les plus couramment utilisées, l'osmose inverse se démarque. Elle repose sur l'utilisation d'une membrane semi-perméable qui permet de filtrer les sels et autres impuretés présents dans l'eau salée, produisant ainsi de l'eau douce d'une qualité élevée. Cette technique joue un rôle essentiel dans la fourniture d'une source d'eau alternative et durable, ce qui explique pourquoi le développement des techniques d'automatisation des stations de dessalement est devenu essentiel.

Ce projet de fin d'études se concentre sur le développement d'un système de contrôle distribué (DCS) en utilisant le logiciel PCS7 pour une station de dessalement basée sur la technologie de l'osmose inverse. L'objectif principal est de créer un système de contrôle et d'automatisation avancé permettant la surveillance et la régulation d'une partie du processus de dessalement. Cette approche vise à garantir une production efficace et ininterrompue d'eau potable de haute qualité. Le système de contrôle et d'automatisation sera capable de surveiller en temps réel les paramètres clés du processus, de prendre des décisions automatisées pour ajuster les paramètres de fonctionnement et de garantir des performances optimales. Cela contribuera à améliorer l'efficacité globale du processus de dessalement, tout en préservant les ressources utilisées .

Dans cette optique, le présent mémoire est structuré en quatre chapitres :

- **Chapitre 1** : Ce chapitre aborde la répartition de l'eau à l'échelle mondiale et met en évidence les problèmes liés à la pénurie d'eau. On examine également les différentes techniques de dessalement qui sont utilisées pour surmonter cette problématique. Finalement, on se concentre sur la technique d'osmose inverse, qui est la méthode utilisée dans notre projet .
- **Chapitre 2** :Ce chapitre fournit une description détaillée du fonctionnement de notre station de dessalement, ainsi qu'une présentation du matériel utilisé et un bilan d'instrumentation.
- **Chapitre 3** :Dans ce chapitre, nous abordons le Distributed Control System (DCS) et ses avantages, suivi d'une analyse fonctionnelle de notre partie de travail, et enfin on présente l'architecture matérielle du projet.
- **Chapitre 4** : Dans ce chapitre, nous aborderons la programmation sur PCS7 en utilisant les logiques CFC et SFC, ainsi que le contrôle et la supervision sur WinCC Explorer.

1.1 Introduction

Au cours de ce chapitre, nous traiterons l'insuffisance de l'eau douce potable et de la possibilité de recourir à l'eau de mer comme solution alternative pour remédier à ce problème. Nous étudierons les différentes méthodes de dessalement de l'eau de mer, notamment les techniques de distillation et de membrane, en nous focalisant plus spécifiquement sur la technique d'osmose inverse qui constitue l'objet central de notre mémoire.

1.2 Le cycle d'eau dans la planète

Le montant total d'eau présent dans l'hydrosphère reste relativement constant au fil des années. Bien que l'eau subisse des changements d'état, de gaz à liquide ou solide, elle continue de circuler dans le cycle de l'eau. L'eau s'évapore pour former de la vapeur d'eau, qui se condense pour former des précipitations. Ces précipitations alimentent les mers, les rivières et les eaux souterraines. En d'autres termes, l'eau n'est ni perdue ni créée, elle se transforme simplement selon le cycle de l'eau.

Le processus de dessalement de l'eau de mer et de l'eau saumâtre se produit principalement dans l'atmosphère, où l'eau est principalement présente sous forme de vapeur. L'eau liquide provenant des précipitations est principalement stockée dans les nuages ou les eaux souterraines, et une petite quantité est utilisée par les plantes. Les racines des plantes absorbent l'eau, qui est ensuite évaporée par transpiration des feuilles. Les lacs et les océans subissent également une évaporation de l'eau.

Chaque année, la somme des précipitations sur les continents est supérieure de 40 000 km³ à l'évaporation, ce qui signifie que les continents renvoient cette quantité d'eau aux océans pour maintenir l'équilibre du cycle de l'eau. Le soleil est le moteur de ce cycle, car il fournit l'énergie solaire nécessaire pour provoquer des changements d'état de l'eau, tels que la formation et la fonte de la glace, ainsi que l'évaporation de l'eau dans l'atmosphère[5].

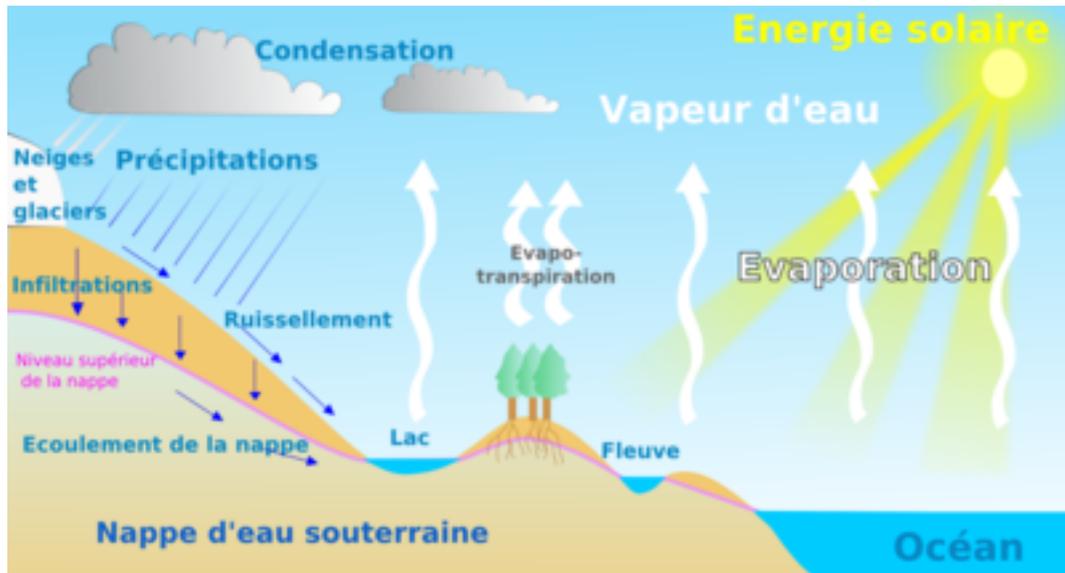


FIGURE 1.1 – Cycle d'eau

Bien que la quantité totale d'eau sur Terre reste relativement constante, la disponibilité et la répartition de l'eau douce peuvent être sujettes à des changements et à des défis, en particulier en raison des facteurs tels que la croissance démographique, le changement climatique et la gestion des ressources en eau.

1.2.1 La distribution de l'eau dans la planète

Pour la question de l'utilisation humaine de l'eau, il est important de considérer les aspects quantitatifs et qualitatifs de cette ressource sur notre planète. Voici les points clés à retenir [5] :

La grande majorité de l'eau sur terre (97,5%) est salée et se trouve dans les océans, ce qui la rend inutilisable telle quelle pour la consommation humaine.

L'eau douce est très limitée sur notre planète, mais elle est stockée dans différentes sources. Les calottes polaires contiennent la majorité de l'eau douce de la planète, mais cette réserve est inaccessible.

L'eau douce que nous utilisons provient principalement des lacs, des rivières et des aquifères souterrains. Bien que ces sources soient renouvelables dans l'ensemble, certains aquifères très profonds (jusqu'à 1 000 mètres) sont considérés comme "fossiles" et se renouvellent très lentement sur une échelle de temps de plusieurs millénaires, ce qui les rend presque non renouvelables à l'échelle humaine. Ces dépôts d'eaux souterraines "fossiles" peuvent représenter une importante réserve d'eau douce de haute qualité dans certaines régions, notamment dans les grands bassins du Sahara et de la péninsule arabique, bien qu'ils ne soient pas très pertinents à l'échelle mondiale.

Arabie Saoudite : 500 milliards de m^3 .

Jordanie : 30 milliards de m^3 .

Libye (Bassin de Kufra) : 3400 milliards de m^3 .

Libye (Bassin de Murzuk) : 4800 milliards de m^3 .

Les réserves d'eau souterraine "fossiles" ne sont pas seulement exploitées à travers des techniques minières pour l'exploration et la production, mais également parce que ces réserves d'eau s'épuisent comme les gisements de pétrole ou de minéraux. De plus, l'utilisation des aquifères qui s'étendent sur plusieurs pays peut causer des conflits. En considérant les flux de différentes parties de l'hydrosphère et les volumes de chaque réservoir, il est possible d'estimer le temps nécessaire pour le renouvellement de chaque source [5] :

Les océans sont renouvelés en moyenne tous les 2 500 ans.
Les glaciers et les calottes glaciaires sont renouvelés entre 1 000 et 10 000 ans.
Toutes les eaux souterraines sont renouvelées en 1 500 ans.
Les lacs d'eau douce sont renouvelés en 17 ans.
L'humidité du sol est renouvelée en 1 an.
Les rivières sont renouvelées en 16 jours.
L'atmosphère est renouvelée en 8 jours.

1.2.2 La composition de l'eau de mer

La salinité de l'eau de mer dans les mers ouvertes connectées aux masses océaniques (telles que l'Atlantique, la Manche, la mer du Nord et le Pacifique) est généralement d'environ 35 g/L, ce qui est considéré comme la salinité standard de l'eau de mer. Cependant, la salinité peut varier considérablement autour de cette valeur moyenne en fonction de l'équilibre entre les précipitations et l'évaporation. Dans le cas des mers fermées ou partiellement fermées, la salinité peut être très différente[5].

- Mer Méditerranée 36-39 g/L.
- Mer Rouge 40 g/L.
- Mer Baltique 7 g/L.
- Mer Caspienne 13 g/L.
- Mer Morte 270 g/L.
- Golfe Persique/Arabique 40-70 g/L.
- Mer Noire 20 g/L.

Il est important de noter que la composition précise de l'eau de mer peut varier légèrement en fonction de la région géographique et des conditions locales. Des mesures précises de la salinité, de la température et d'autres paramètres sont nécessaires pour obtenir une évaluation précise de la composition de l'eau de mer dans une zone donnée.

1.2.3 L'eau potable

La composition de l'eau potable

L'eau potable est une ressource qui peut être consommée ou utilisée en toute sécurité à la fois pour les besoins domestiques et industriels.

Pour être considérée comme potable, l'eau doit être dépourvue de toute substance jugée nocive pour la santé, notamment les germes pathogènes tels que les bactéries et les virus, les micro-organismes parasites, ainsi que les substances chimiques indésirables comme les nitrates, les phosphates, les métaux lourds, les hydrocarbures et les pesticides. Cependant, certaines substances essentielles à l'organisme et naturellement présentes dans l'eau doivent être conservées, telles que les sels minéraux (calcium, magnésium, potassium, chlore, etc.) et les oligo-éléments (fluor, cuivre, fer, silicium, manganèse, zinc, etc)[6].

Les critères de potabilité de l'eau

Les critères de qualité de l'eau potable sont établis avec rigueur par le Ministère de la Santé et le Conseil Supérieur du secteur d'Hygiène Publique de France. Ces normes varient en fonction de la législation en vigueur et dépendent de l'utilisation prévue de l'eau, qu'il s'agisse de la consommation humaine ou d'une utilisation industrielle. Actuellement, il existe 63 critères de potabilité de l'eau, classés en 5 grands paramètres[6] :

A. Les paramètres physico-chimiques

Ils correspondent aux différentes caractéristiques par exemples :

- La concentration de sulfate doit être inférieure à 250 mg/l.
- La concentration de chlorures doit être inférieure à 200 mg/l.
- La concentration de potassium doit être inférieure à 12 mg/l.
- Le pH de l'eau doit être compris entre 6,5 et 9.
- Le TH (Titre Hydrotimétrique), qui mesure la dureté de l'eau en fonction des ions calcium et magnésium, l'eau ne doit pas contenir moins de 60 mg/l de calcium ou 36 mg/l de magnésium.

B. Les paramètres organoleptiques

Ils concernent la couleur, le goût et l'odeur de l'eau.

C. Les paramètres microbiologiques

Ils concernent le germe pathogène, comme les virus, les bactéries ou les parasites, pouvant provoquer des maladies, voire de épidémies.

D. Les paramètres liés aux substances indésirables

Ils concernent les substances telles que les nitrates, les nitrites et les pesticides.

- La teneur en nitrates ne doit pas dépasser 50 mg/l
- La teneur en fluor doit être inférieure à 1.5 mg/l

E. Les paramètres liés aux substances toxiques

Ils concernent les micropolluants toxiques tels que l'arsenic, le cyanure, le chrome, le nickel, le sélénium ainsi que certains hydrocarbures

1.3 Le dessalement d'eau de mer

Le dessalement est un processus permettant de convertir l'eau de mer, l'eau saumâtre ou l'eau salée en eau douce potable ou utilisable à des fins industrielles. Ce processus est essentiel dans les régions où l'eau douce est rare et où les sources d'eau naturelles ne sont pas suffisantes pour répondre aux besoins croissants en eau.

1.3.1 Le classement des stations de dessalement

Le classement des stations de dessalement par taille peut varier en fonction de divers critères, tels que la capacité de production d'eau douce, le débit d'eau traité ou la superficie de l'installation. Voici un classement général des stations de dessalement par taille, allant de petite à très grande :

A. Petite station de dessalement :

Capacité de production : Jusqu'à quelques milliers de mètres cubes par jour.

Exemples : Des petites communautés côtières ou des installations industrielles de petite taille.

B. Station de dessalement de taille moyenne :

Capacité de production : De quelques milliers à plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes par jour.

Exemples : Villes de taille moyenne, zones côtières densément peuplées ou complexes industriels de taille modérée.

C. Grande station de dessalement :

Capacité de production : De plusieurs dizaines de milliers à plusieurs centaines de milliers de mètres cubes par jour.

Exemples : Grandes villes côtières, régions métropolitaines ou complexes industriels importants.

D. Très grande station de dessalement :

Capacité de production : De plusieurs centaines de milliers à des millions de mètres cubes par jour.

Exemples : Grandes villes côtières, régions métropolitaines ou complexes industriels importants.

Ces exemples d'application ont été créés en tenant compte des classifications des usines de dessalement d'eau de mer selon leur taille/capacité[7].

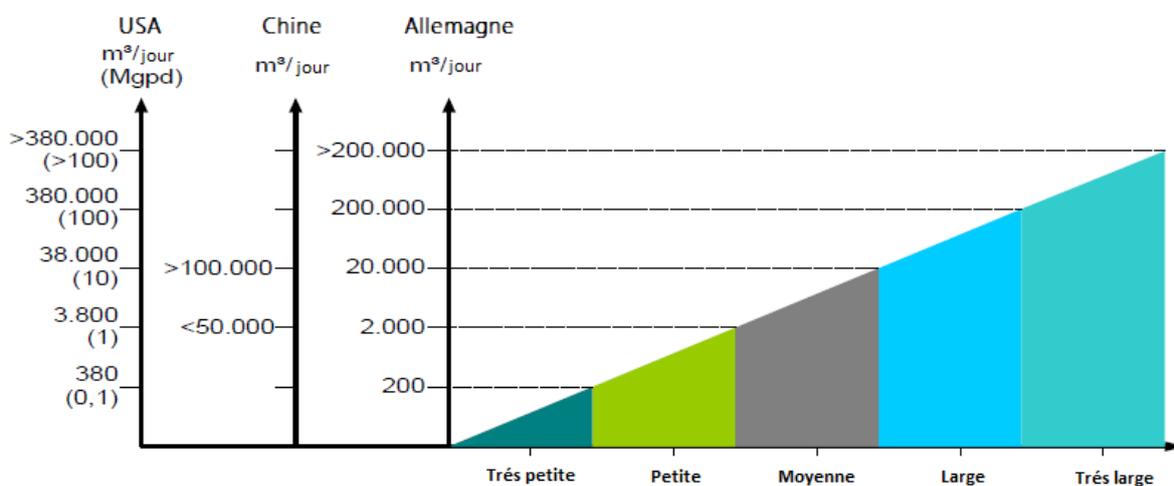


FIGURE 1.2 – Exemples de classification par taille des usines de dessalement

La classification des tailles des stations de dessalement fournit une vision précieuse de la gamme des capacités de production d'eau douce dans le domaine du dessalement. Cette classification facilite une planification et une mise en œuvre efficace de solutions de dessalement adaptées aux besoins spécifiques des régions, contribuant ainsi à garantir un approvisionnement en eau douce durable et fiable pour les populations et les industries qui en dépendent.

1.4 Les différents procédés de dessalement

Le dessalement de l'eau comprend plusieurs techniques principales, telles que les procédés de distillation et les procédés membranaires. Le choix du procédé dépend de plusieurs facteurs, tels que la nature de l'eau à traiter (eau de mer ou eau saumâtre), la capacité de production souhaitée et la source d'énergie disponible en premier lieu.

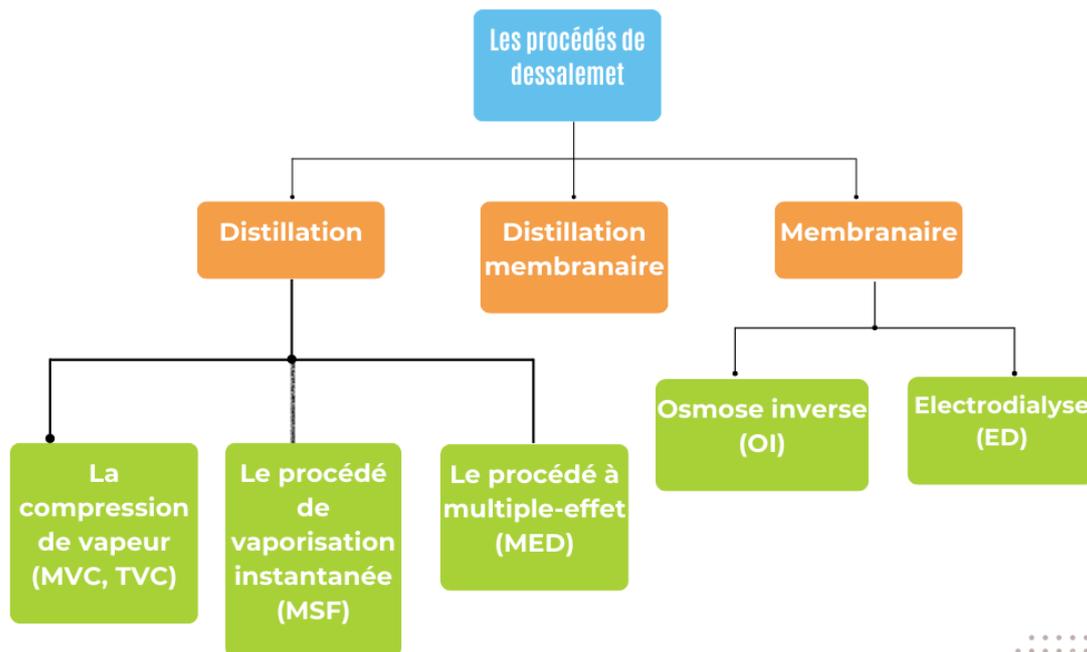


FIGURE 1.3 – Principaux procédés industriels de dessalement d’eau de mer

1.4.1 Les procédés par méthode de distillation

Les procédés de distillation consistent à chauffer l’eau de mer afin d’en évaporer une partie. La vapeur ainsi obtenue est dépourvue de sels, et il suffit alors de la condenser pour obtenir de l’eau douce liquide. En réalité, il s’agit d’accélérer le cycle naturel de l’eau. En effet, l’eau s’évapore naturellement des océans, forme des nuages et retombe sur terre sous forme de précipitations. Ce principe simple de dessalement a été utilisé depuis l’antiquité pour produire de petites quantités d’eau douce à bord des navires [8].

A. Le procédé de vaporisation instantanée (MSF)

La méthode de dessalement de l’eau de mer appelée vaporisation instantanée ou MSF (Multi-Stage Flash) consiste à chauffer l’eau de mer à une température élevée (de 25 °C à 85 °C) et à la faire passer dans une série de cellules où la pression est réduite. Cela entraîne une vaporisation rapide de l’eau surchauffée, qui revient ensuite à un état d’équilibre thermodynamique à une pression plus basse (60 mbar) et une température plus basse (35 °C). La vapeur produite est ensuite condensée en utilisant de l’eau de mer préchauffée, ce qui permet de réaliser des économies d’énergie.

Le bilan énergétique de ce processus prend en compte la quantité d’eau vaporisée, l’enthalpie de vaporisation de l’eau, le débit d’eau soumis au processus de vaporisation et la capacité calorifique de l’eau. La quantité d’eau vaporisée dépend de la différence de température lors de la détente, et généralement, le débit d’eau soumis au processus de vaporisation est environ dix fois supérieur au débit d’eau produit.

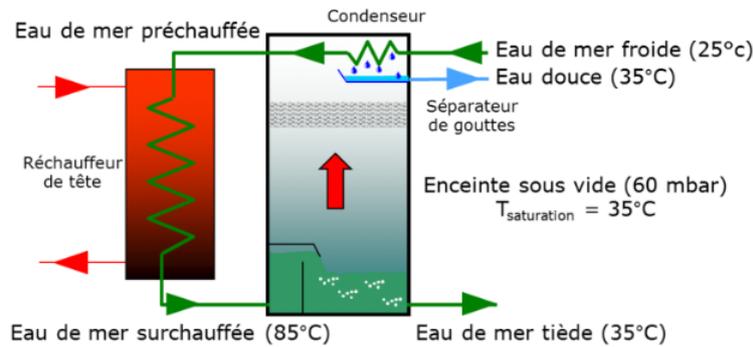


FIGURE 1.4 – Schéma MSF à une cellule

Pour atteindre un équilibre thermodynamique optimal et maximiser la récupération de chaleur, la détente s'effectue en plusieurs étages successifs, généralement jusqu'à 16 ou plus. Entre chaque étage, la température diminue légèrement. Cette configuration en plusieurs étages permet de minimiser les pertes thermodynamiques. Cependant, il est important de ne pas avoir un nombre excessif d'étages en raison des limites économiques et de l'inefficacité résultant des irréversibilités.

Pour optimiser encore davantage le processus thermique, les étages sont organisés en deux sections distinctes : une section de récupération de chaleur et une section de rejet. Le rapport molaire gaz/eau (GOR) de ce type d'installation varie généralement entre 7 et 12 [9].

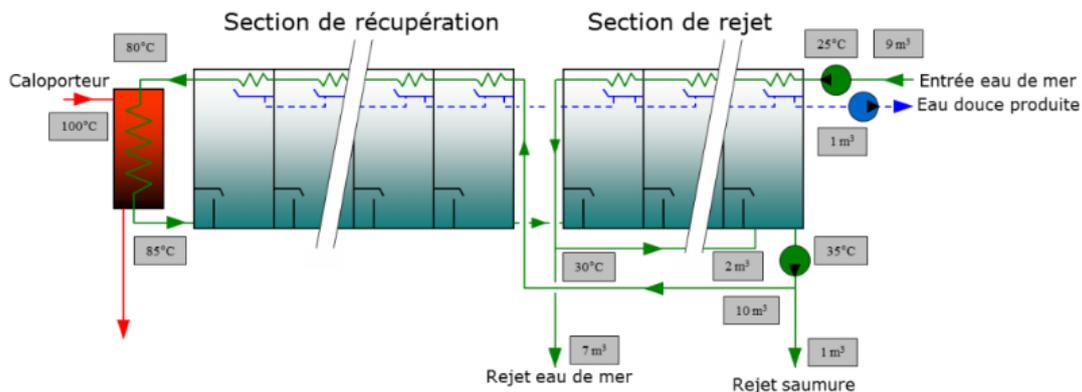


FIGURE 1.5 – Installation MSF industrielle

B. Le procédé à multiple-effet (MED)

Le procédé de distillation à multiple effet (MED) a été développé pour économiser l'énergie thermique et remonte au 19ème siècle. La vapeur produite est condensée dans l'évaporateur suivant, appelé le premier effet, et l'enthalpie de condensation sert à évaporer à nouveau de l'eau de mer dans le processus d'effet suivant jusqu'au condenseur final. La perte d'énergie thermique due aux irréversibilités est d'environ 10 à 20% , et le nombre d'effets est limité par ces irréversibilités et des considérations économiques. Le GOR (Ratio d'extraction globale) est égal au nombre d'effets diminué de 10 à 20%. Les installations à multiple-effet sont souvent combinées avec une compression de vapeur pour augmenter les performances énergétiques [9].

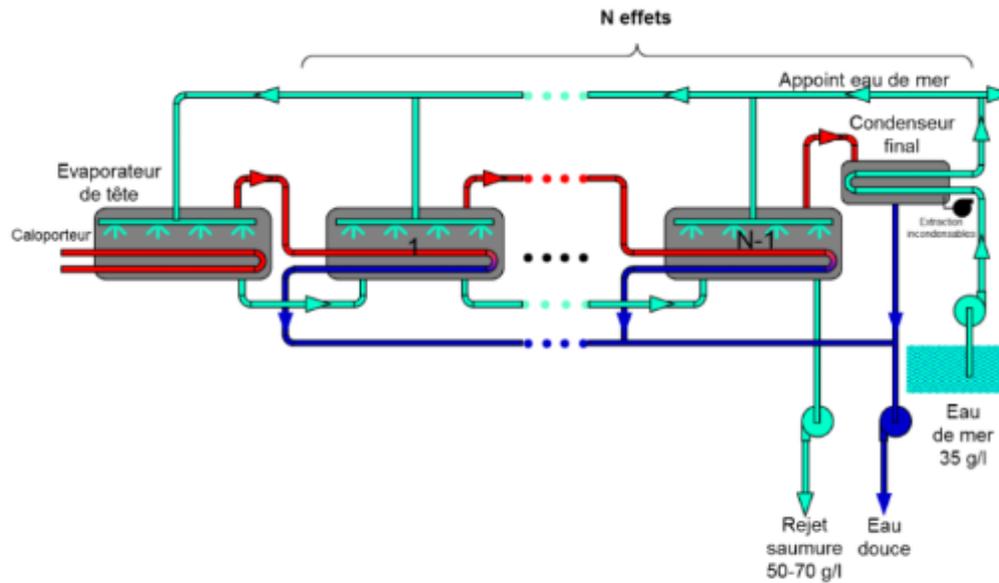


FIGURE 1.6 – Principe du procédé à multiple-effet (MED)

C. La compression de vapeur (MVC, TVC)

La distillation par compression de vapeur est une méthode qui permet de produire de l'eau en minimisant la consommation d'énergie. Cette méthode est généralement combinée avec le procédé de distillation à multiple effet, bien qu'elle puisse être utilisée avec un seul effet. Le principe est similaire à celui des pompes à chaleur, mais cette fois-ci, c'est l'eau qui subit le cycle thermodynamique. Contrairement à une pompe à chaleur, le circuit du fluide thermodynamique est ouvert au lieu d'être fermé. La compression peut être réalisée soit avec un compresseur mécanique (MVC) soit avec un thermocompresseur (TVC)[9].

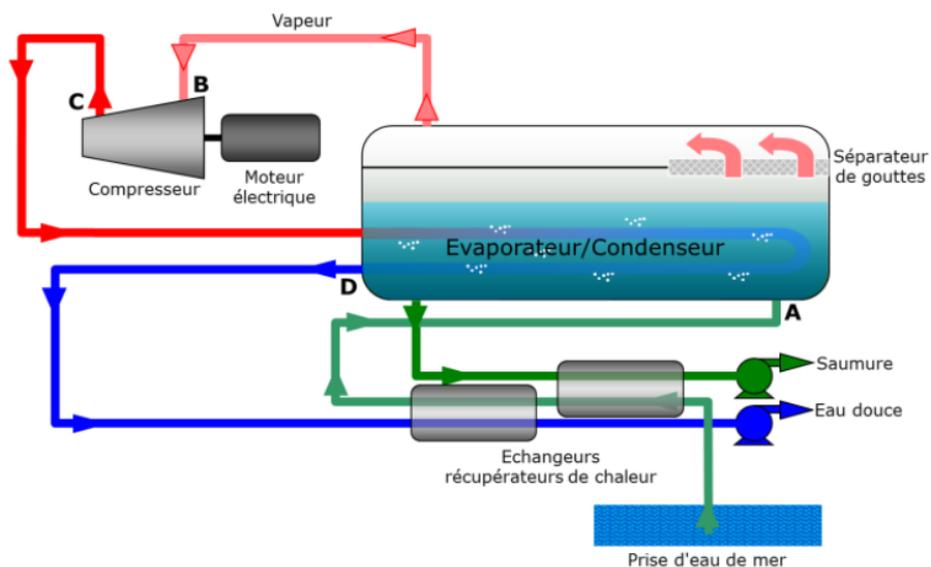


FIGURE 1.7 – Principe du procédé à compression mécanique de vapeur (MVC)

Comparaison des différents procédés de distillation

	MSF	MED	MVC	MED-TVC
Température de tête °C	<120	<70	<70	<70
Source d'énergie principale	Vapeur	Vapeur, eau chaude	Electricité	Vapeur
Consommation thermique kWh/m ³	70 – 80	50 – 70	0	50 – 60
Consommation électrique kWh/m ³	3.5	1.5	8 -14	1.5
Capacité par ligne m ³ /j	5 000 – 70 000	500 – 12 000	10 – 2 500	100 – 25 000

FIGURE 1.8 – Comparaison des différents procédés de distillation

Les coûts de l'énergie thermique de la distillation ont conduit à l'utilisation de procédés membranaires. Actuellement, la production d'eau douce par distillation représente environ la moitié de l'eau douce produite à partir de l'eau de mer, grâce aux très grandes usines de dessalement du Moyen-Orient alimentées en énergie thermique à faible coût. Toutefois, cette situation pourrait changer lorsque ces usines arriveront en fin de vie[9].

1.4.2 Les procédés membranaires

A. L'électrodialyse (ED)

L'électrodialyse (ED) a été mise au point dans les années 60 pour éliminer les ions chlorure et sodium de l'eau en utilisant un champ électrique et des membranes sélectives. Bien qu'il soit efficace pour traiter des eaux peu salines, sa consommation d'énergie devient prohibitif au-delà d'une salinité de 4 grammes par litre. Par conséquent, l'osmose inverse est plus appropriée pour les concentrations plus élevées en raison de son efficacité énergétique supérieure [9].

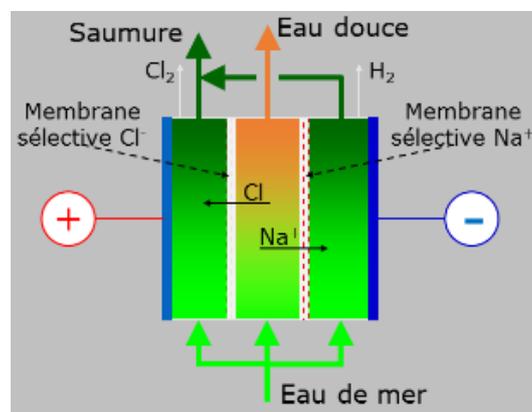


FIGURE 1.9 – Principe de l'électrodialyse

B. L'osmose inverse (OI)

Comparativement à la distillation et à l'électrodialyse, l'osmose inverse est relativement récente, sa commercialisation réussie ayant eu lieu au début des années 1970. L'osmose inverse est un processus de séparation par membrane dans lequel l'eau d'une solution saline pressurisée est séparée des solutés (les matières dissoutes) en passant à travers une membrane. Aucun chauffage ou changement de phase n'est nécessaire pour cette séparation. L'énergie majeure requise pour le dessalement est celle nécessaire à la pressurisation de l'eau d'alimentation. En pratique, l'eau salée d'alimentation est pompée dans un récipient fermé où elle est pressurisée contre la membrane. Une partie de l'eau passe à travers la membrane, ce qui augmente la teneur en sel de l'eau d'alimentation restante. En même temps, une partie de cette eau d'alimentation est déchargée sans passer à travers la membrane [10].

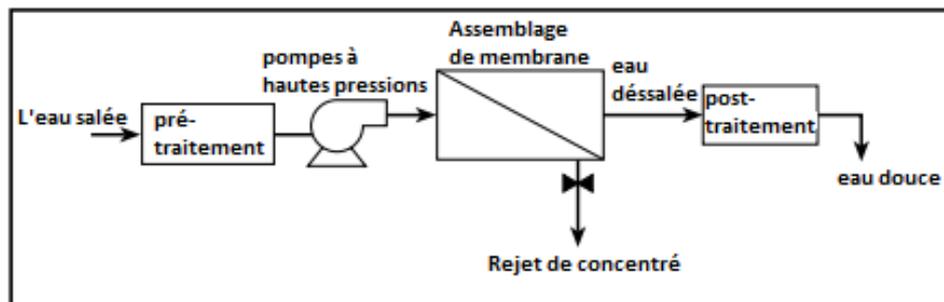


FIGURE 1.10 – Composants de base d'une usine d'osmose inverse.

Principe de fonctionnement

- **L'Osmose** : L'osmose est un phénomène naturel par lequel l'eau se déplace à travers une membrane semi-perméable, allant d'une solution peu concentrée en solides dissous vers une solution à forte concentration de ces solides. Cette membrane autorise le passage de l'eau et de certains ions, mais elle empêche la plupart des solides dissous de traverser [11].
- **L'Osmose inverse** : L'osmose inverse est une technologie de purification de l'eau qui utilise une membrane semi-perméable pour séparer l'eau pure des impuretés. Dans ce processus, une pression supérieure à la pression osmotique est appliquée sur le compartiment contenant la solution à haute concentration. Cette pression permet à l'eau de traverser la membrane dans le sens opposé à celui de l'osmose, c'est-à-dire du compartiment à haute concentration vers celui à faible concentration. De cette manière, les solides dissous et les impuretés sont retenus dans l'autre compartiment, tandis que l'eau pure traverse la membrane dans le compartiment désiré [11].

L'osmose inverse est devenue une technologie courante pour le traitement de l'eau potable et de l'eau de mer en raison de sa grande efficacité et de sa faible consommation d'énergie par rapport aux autres méthodes de purification de l'eau. Cependant, il est important de noter que ce processus ne peut pas éliminer certains contaminants tels que les produits chimiques organiques volatils ou les métaux lourds, qui peuvent nécessiter des méthodes de traitement supplémentaires.

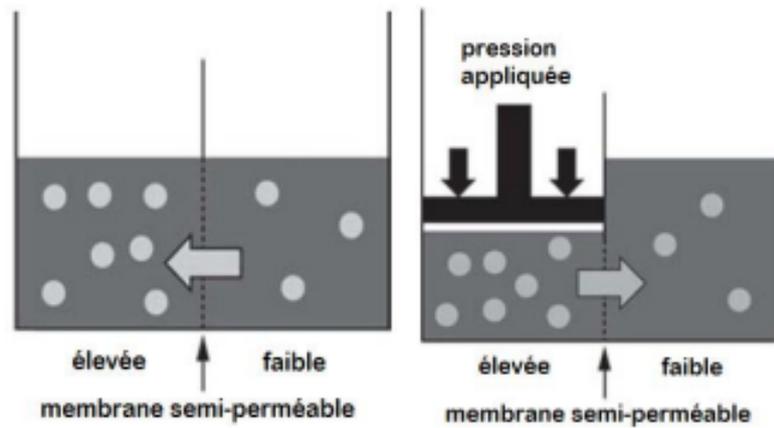


FIGURE 1.11 – Schéma explicatif du principe de l'osmose et l'osmose inverse

Les membranes d'osmose inverse

Pour les modules d'osmose inverse (séparation par membrane), la membrane doit être suffisamment solide pour supporter la baisse de pression totale à travers elle. Une quantité relativement faible de sels passe à travers la membrane et apparaît dans le perméat. En principe, les membranes d'osmose inverse devraient être semi-perméables, possédant un degré élevé de perméabilité à l'eau mais présentant une barrière imperméable aux sels. Une membrane devrait avoir une grande surface pour permettre un flux maximum [12].

Les membranes d'osmose inverse sont fabriquées dans une variété de configurations. Deux des membranes les plus commercialement réussies sont la membrane enroulée en spirale et la fibre fine creuse (HFF), et toutes deux sont utilisées pour dessaler l'eau saumâtre et l'eau de mer.

Membrane enroulée en spirale : ce type d'élément de membrane est le plus souvent fabriqué sous forme de feuille plate [13].

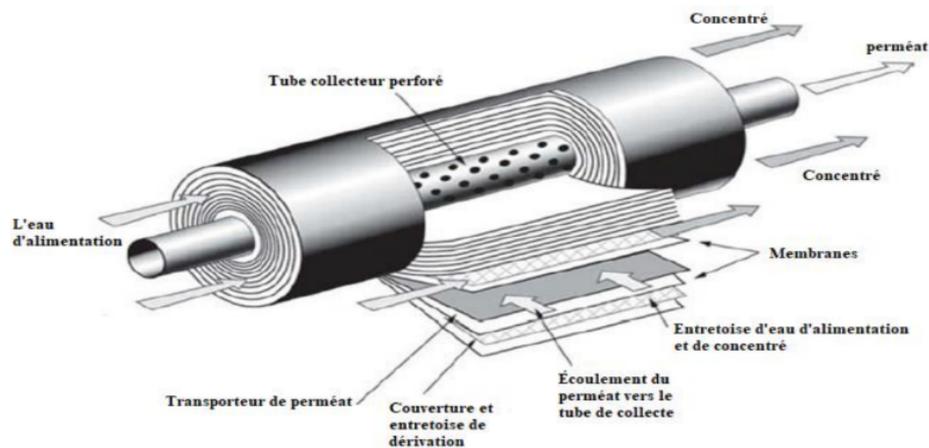


FIGURE 1.12 – Vue découpée d'un module de membrane enroulée en spirale

Membrane HFF : HFF est un faisceau de fibres en forme de U logé dans un récipient sous pression. Leur arrangement permet la plus grande surface spécifique de toutes les configurations de modules, ce qui donne des installations compactes [13].

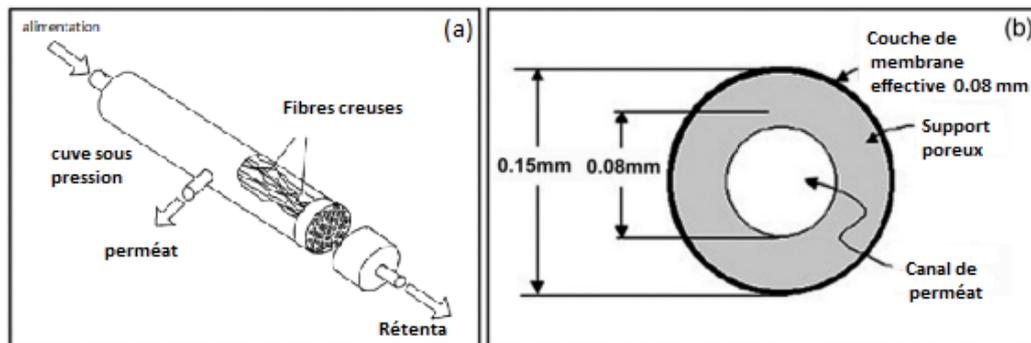


FIGURE 1.13 – Module de membrane à fibres fines creuses

Les avantages de l'osmose inverse

Les conditions de température ambiante réduisent considérablement les problèmes de corrosion des matériaux par rapport aux processus MSF et MED[12].

Faible empreinte environnementale : Comparée à certaines autres méthodes de dessalement, l'osmose inverse présente une empreinte environnementale relativement faible. Elle ne produit pas de rejets chimiques nocifs et permet de préserver les ressources en eau douce en exploitant les sources d'eau salée ou saumâtre.

Rendement élevé : deux développements ont permis de réduire les coûts d'exploitation des usines d'osmose inverse ces dernières années[12] :

- Des membranes opérationnelles durables et à des prix plus abordables ont été développées.
- Des dispositifs de récupération d'énergie, reliés au flux concentré au moment où il quitte le récipient sous pression, sont également utilisés pour réduire les coûts.

Les inconvénients de l'osmose inverse sont : le coût des membranes qui se dégradent (notamment à cause des phénomènes de colmatage). Lors du dimensionnement d'une installation d'osmose inverse, on tient compte en moyenne d'une durée de vie des membranes de l'ordre de 3 ans.

1.4.3 La distillation membranaire (DM)

La distillation membranaire (DM), développée dans les années 60, est similaire à l'osmose inverse car elle permet également d'extraire de l'eau, mais elle utilise un écart de pression de vapeur plutôt que la pression mécanique pour réaliser le transfert. Cette méthode membranaire atypique requiert principalement de l'énergie thermique [9].

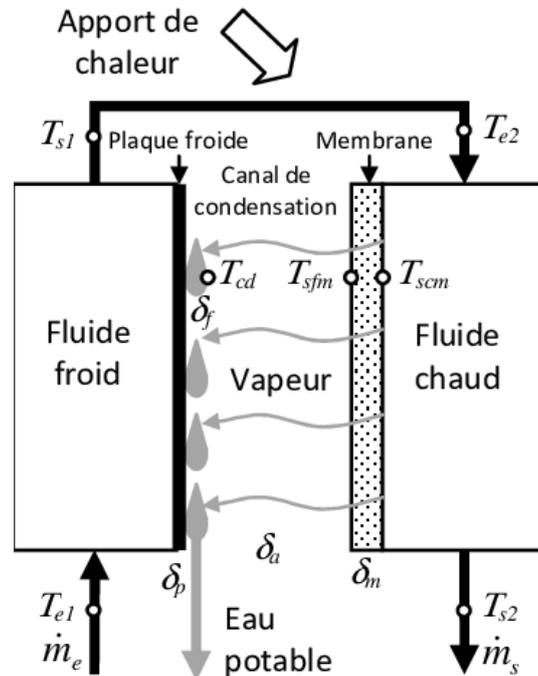


FIGURE 1.14 – Principe de la distillation membranaire

1.5 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons souligné l'importance cruciale de la ressource naturelle en eau douce, ainsi que son accès limité dans de nombreuses régions du monde. Pour pallier ce manque, de nouvelles techniques d'approvisionnement en eau douce sont nécessaires, notamment le dessalement de l'eau de mer.

Nous avons examiné les différentes techniques et caractéristiques des procédés de dessalement thermique et membranaires, en portant une attention particulière à la technique d'osmose inverse, qui est l'objet central de notre travail. Cette méthode est la plus utilisée actuellement en raison de sa faible consommation d'énergie et de sa capacité à être adaptée à une production en grande échelle. Toutefois, pour produire de l'eau potable à partir d'eau de mer, une étape supplémentaire de filtration est nécessaire car l'eau de mer peut contenir des particules indésirables.

La station de dessalement doit être dotée d'une instrumentation adéquate et d'instruments de mesure et d'actionneurs pour son automatisation. Ainsi, une compréhension détaillée des processus ainsi que la mise en place d'une instrumentation appropriée sont essentielles. Dans le prochain chapitre, nous approfondirons cette question.

CHAPITRE 2

ÉTUDE D'UNE STATION DE DESSALEMENT MOYENNE

2.1 Introduction

Comme nous l'avons vu précédemment, les usines de dessalement à travers le monde jouent un rôle crucial dans la résolution du problème de pénurie d'eau douce. Parmi les techniques de dessalement utilisées, l'osmose inverse se distingue comme l'une des plus couramment utilisées. L'osmose inverse est un procédé de dessalement largement adopté en raison de son efficacité et de sa capacité à produire de l'eau douce de haute qualité à grande échelle.

Dans ce chapitre, nous allons examiner un exemple d'une station de dessalement qui utilise la technique de l'osmose inverse, avec une capacité d'environ 14 000 m³/jour. L'objectif principal de cette étude est de comprendre en détail le fonctionnement du processus de dessalement, ainsi que les technologies et les équipements utilisés dans cette station spécifique.

2.2 Étude générale du parcours de l'eau dans une station de dessalement de taille moyenne basée sur la technique d'osmose inverse

Le processus de dessalement de l'eau de mer dans l'exemple d'une station moyenne (de capacité de 14 000 m³/jour), implique une série d'étapes fondamentales (prise d'eau, pré-traitement, osmose inverse, post-traitement et distribution) pour garantir la production d'eau potable de haute qualité. Ces différentes étapes sont montrées de manière schématique dans la figure 2.1.

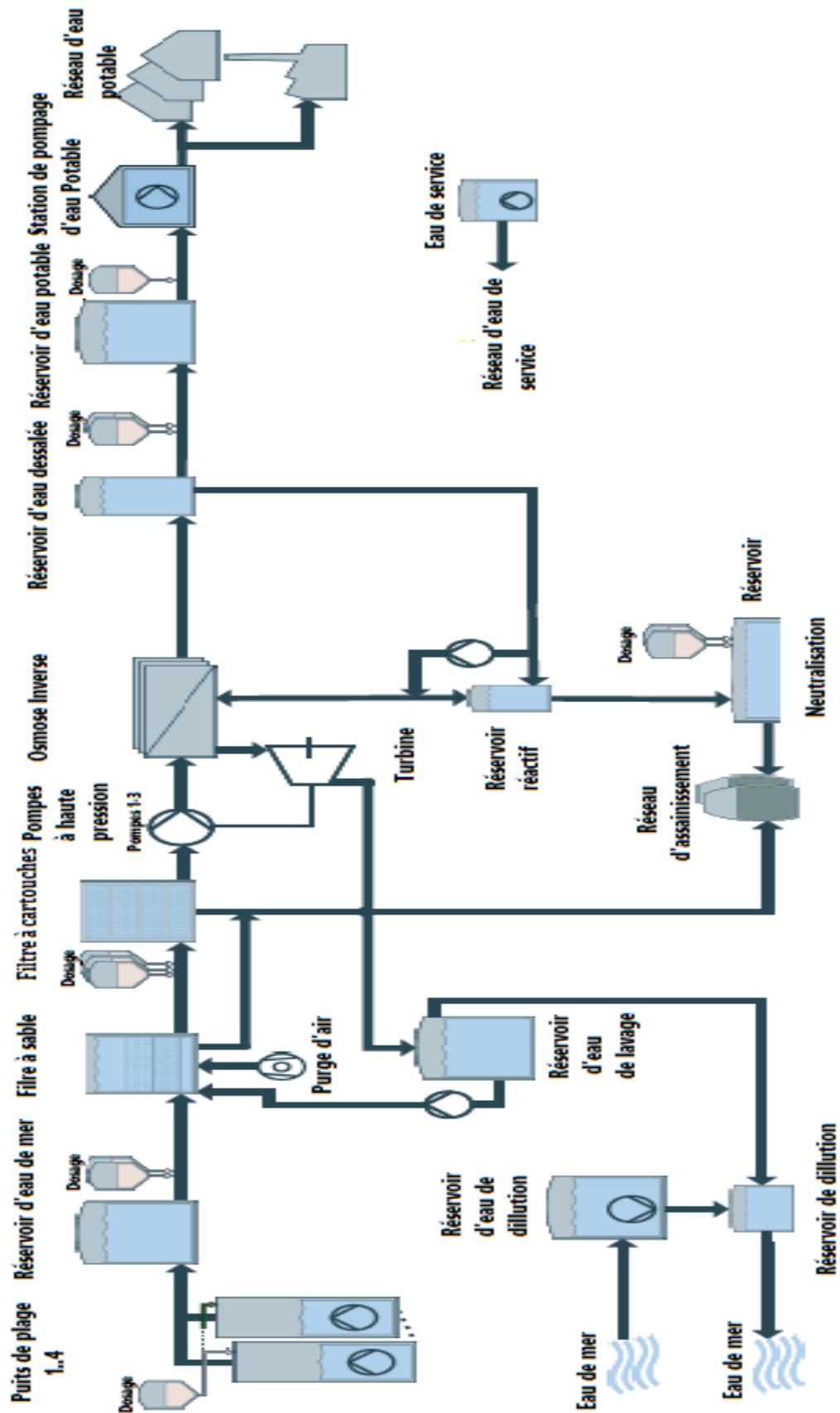


FIGURE 2.1 – Le processus de dessalement

Le système d'osmose inverse est l'étape la plus cruciale et la plus complexe du processus de production d'eau fraîche .

Les étapes du processus de traitement de l'eau dans une station de dessalement sont :

2.2.1 Prise d'eau

A. Puits de plage

La première étape dans le parcours de l'eau d'une station de dessalement est "Intake"(la prise d'eau) .Dans cette étape ,l'eau provenant des "beach wells" (Puits de plage) figure 2.2 est pompée vers le réservoir d'eau de mer, tel que l'eau de mer est filtrée par des couches naturelles de sable avant de passer à l'usine de traitement. Ces couches de sable aident à réduire la quantité de particules en suspension et de polluants organiques présents dans l'eau.

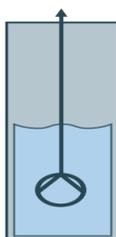


FIGURE 2.2 – Puit de plage

Pour notre exemple de station de dessalement , dans cette étape nous avons :

- 4 puits de plage.
- 150 m de profondeur, séparés tous les 50 m.
- 1 pompe immergée par puits de 85 kW chacune .

Le dosage d'hypochlorite

Le dosage d'hypochlorite est une technique courante de désinfection utilisée pour tuer les bactéries et les autres micro-organismes présents dans l'eau de mer. tel que le pH est ajusté afin de conditionner l'eau pour l'opération de pré-traitement.

Dans notre exemple, nous avons :

- Une station d'hypochlorite avec 2 pompes de dosage d'une capacité maximale de 170 l/h chacune.
- Concentration d'hypochlorite : 0,5-1 mg/l.
- Dosage proportionnel au temps de réaction du flux d'eau de mer [7].

B. Réservoir d'eau de mer

Depuis les puits de plage, l'eau de mer s'écoule à travers une canalisation vers les réservoirs d'eau de mer.

L'eau de mer est collectée et stockée, puis pompée vers la section de pré-traitement. Dans notre exemple de station de dessalement nous avons :

- Un réservoir d'eau de mer d'un volume de 400 m³.

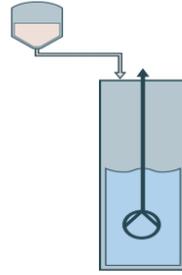


FIGURE 2.3 – Dosage d'hypochlorite

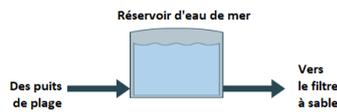


FIGURE 2.4 – Réservoir d'eau de mer

- 3 pompes avec une capacité maximale de $750 \text{ m}^3/\text{h}$ chacune [7].

2.2.2 Pré-traitement

A. Les dosages utilisés au début de l'étape de pré-traitement

La station de dessalement d'exemple comprend les dosages suivants :

1. **Dosage de chlorure ferrique** : Coagulant pour diminuer la taille des particules qui doivent être éliminées par le traitement de filtration. Améliorer la performance du filtre en réduisant la turbidité causée par les particules.
Produire un effluent qui est plus acceptable en termes de qualité d'eau de consommation.
Dans notre exemple :
 - Eau de puits à haute salinité ($\text{SDI} < 3$).
 - Paramètres de qualité de l'eau de mer : $\text{PH} = 8,1$, $\text{TDS} = 39\ 000 \text{ mg/l}$.
2. **Dosage d'acide sulfurique** : Aide à stabiliser les sels dissous dans l'eau de mer qui peuvent provoquer des dépôts sur la membrane. Le pH doit être corrigé par l'ajout d'acide sulfurique via une pompe de dosage. Dans notre exemple pour ce sous-processus on a :
 - 3 pompes de dosage avec une capacité maximale de 30 l/h chacune [7].

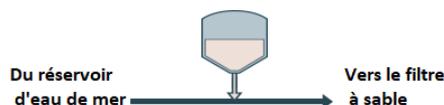


FIGURE 2.5 – Technologie de dosage pour le pré-traitement

B. Filtre à sable

L'eau provenant de l'étape de coagulation est filtrée pour éliminer les colloïdes et les substances qui pourraient endommager les membranes.

Dans notre exemple pour ce sous-processus , nous avons :

- 3 filtres à sable de taille : $\phi = 4$ m.
- Hauteur = 13 m, volume = 163 m³ chacun.
- 2 soufflantes pour nettoyer les filtres 55 kW.



FIGURE 2.6 – Filtre à sable

Réservoir d'eau de lavage :

Une partie du flux provenant des racks de dessalement est réutilisée pour laver les filtres.

Des pompes entraînent le flux directement vers les filtres à sable pour le lavage à contre-courant des filtres.

Pour ce sous-processus, nous avons :

- Un réservoir d'eau de lavage d'un volume total de 300 m³.
- 3 pompes d'une puissance de 30 kW chacune et d'un débit de 500 m³/h.

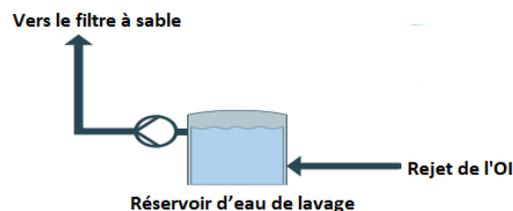


FIGURE 2.7 – Réservoir d'eau de lavage

C. Réservoir d'eau de dilution et Réservoir de dilution :

Avant que la saumure ne soit renvoyée dans la mer, la concentration de sel doit être réduite.

Le flux de concentré est dilué avec de l'eau de mer avant de retourner à la mer.

Pour ce sous-processus, nous avons :

- 3 pompes de dilution avec un débit de 500 m³/h chacune. .

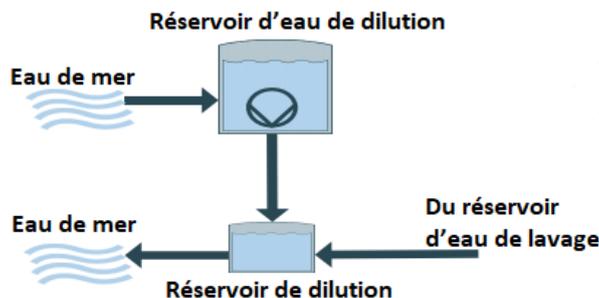


FIGURE 2.8 – Réservoir d'eau de dilution & Réservoir de dilution :

D. Dosage de pré-traitement

L'exemple de station de dessalement comprend les stations de dosage suivantes dans la phase de pré-traitement :

1. **Dosage de la soude caustique** : En raison d'un traitement de dosage précédent, le flux d'eau qui provient des filtres à sable a un pH acide. La soude caustique aide à adoucir l'eau à un pH de 9. Dans notre exemple, nous avons :
 - Des pompes de dosage de 30 l/h chacune.
 - Un réservoir de soude caustique d'un volume = 2000 l.
2. **Dosage de dispersant** : Les dispersants sont utilisés pour contrôler l'entartrage des carbonates et des sulfates. Ils évitent également la formation de substances en suspension et maintiennent les membranes d'osmose inverse propres en dispersant les polluants de particules. Pour ce sous-processus, nous avons :
 - 2 pompes de dosage de dispersant de 5 l/h chacune.
 - Un réservoir de dispersant d'un volume = 950 l.
 - Un dosage de 3 à 6 mg/l.
3. **Dosage de bisulfite de sodium** : Suppression du chlore libre et contrôle de l'encrassement biologique. Prévention de l'oxydation de la membrane d'osmose inverse. Pour ce sous-processus, nous avons :
 - Un réservoir de bisulfite de sodium d'une capacité de 950l.
 - 3 pompes de dosage avec une capacité maximale de 45 l/h chacune.

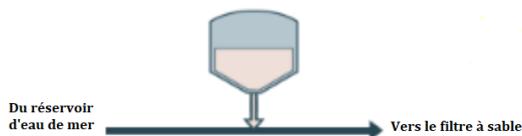


FIGURE 2.9 – Dosage de pré-traitement

E. Filtres à cartouches

Les filtres à cartouches sont utilisés pour absorber les composés organiques qui pourraient endommager les membranes, éliminer les solides en suspension de plus de 5 μm et enlever l'excès de chlore qui oxyde les membranes.

Dans notre exemple, nous avons :

- 3 filtres à cartouches.
- 170 unités par filtre à cartouches.
- Les filtres à cartouche ont une cote de filtration de 5 micromètres , une taille de $\phi = 1$ m et une hauteur de 1 m [7].



FIGURE 2.10 – Filtres à cartouches

2.2.3 Osmose inverse (OI)

A. Les Pompes à haute pression

Les Pompes à haute pression (HPP) sont nécessaires pour surmonter la pression osmotique, de sorte que le sel peut être séparé de l'eau par les membranes d'osmose inverse. La pression du concentré est alimentée à une turbine Pelton pour aider les pompes qui pressurisent le système d'osmose inverse.

Pour réaliser ce sous-processus ,nous avons :

- 2 pompes à haute pression et 1 pompe de réserve .
- La consommation de puissance de chaque pompe est de 1000 kW [7].

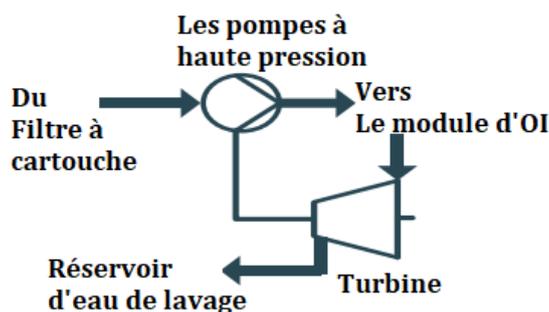


FIGURE 2.11 – Les pompes à haute pression

B. Racks d'osmose inverse

L'osmose inverse est un processus où l'eau est filtrée en utilisant une membrane semi-perméable à haute pression.

L'eau est séparée en produit à faible teneur en sel (perméat) et en concentré élevé (flux de saumure).

Dans notre exemple, nous avons :

- 2 racks d'osmose inverse produisent chacune 7000 m³/j d'eau potable.
- Récipient sous pression dans chaque ligne : 86 bars .
- Nombre d'éléments dans chaque récipient : 7.

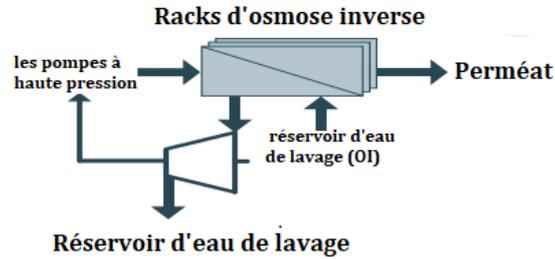


FIGURE 2.12 – Modules d'osmose inverse

C. Le réservoir réactif

Le réservoir réactif nettoie le module d'osmose inverse en prenant de l'eau du réservoir d'eau dessalée.

Dans ce sous-processus ,on a :

- Le volume total du réservoir réactif : 18 m³.
- 3 résistances de réservoir réactif de 20 kW chacune.
- 2 pompes de réservoir d'eau réactif [7].

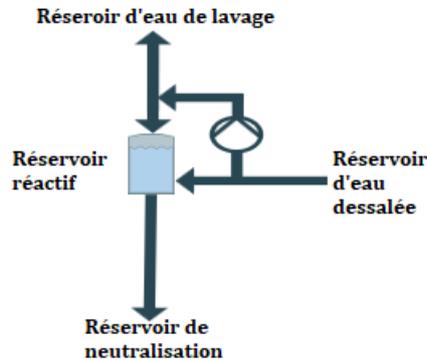


FIGURE 2.13 – Le réservoir réactif

2.2.4 Post-traitement

A. Dosage dans l'étape de neutralisation

Dans cet exemple , il y a deux types de dosage de traitement dans l'étape de neutralisation de la station de dessalement.

1. Dosage d'acide sulfurique :

Le dosage d'acide aide à augmenter la solubilité des sels de calcium et de magnésium et réduire la concentration de précipité, une inhibition de la formation de dépôts pour prévenir la concentration de sels par acidification.

Dans ce sous-processus, nous avons :

- 3 pompes de dosage débitant chacune 30 l/h.
- Un réservoir d'acide sulfurique de 5000 l.

2. Dosage de la soude caustique :

À cette étape, nous contrôlons les taux de réaction chimique et la production de polluants organiques. Par un processus de réduction/oxydation, la soude est dosée pour éliminer la dureté des ions calcium et magnésium.

Dans ce sous-processus, nous avons :

- 3 pompes de dosage débitant chacune 30 l/h.
- Un réservoir de soude caustique de 2000 l.

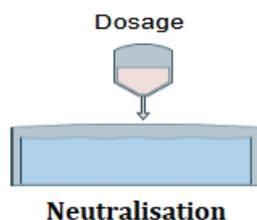


FIGURE 2.14 – Dosage dans l'étape de neutralisation

Neutralisation :

L'eau provenant du réservoir réactif subit un ajustement de pH avant d'être rejetée dans le réseau d'eaux usées (d'assainissement).

Après cette étape, la valeur du pH devrait être comprise entre 6 et 9. Pour ce sous-processus, nous avons :

- 2 pompes de neutralisation débitant chacune 33 m³/h.
- Un réservoir de neutralisation d'un volume de 50 m³ [7].

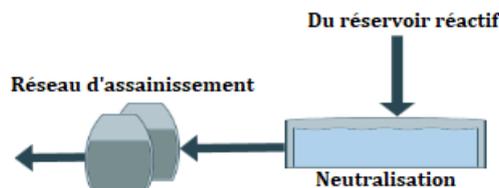


FIGURE 2.15 – Neutralisation

B. Les dosages dans l'étape de post-traitement

L'exemple de station de dessalement comprend les dosages suivantes dans l'étape de post-traitement :

1. Dose de lait de chaux :

Pour corriger la qualité de l'eau potable, le flux de perméat reçoit un ajustement de pH.

Pour ce dosage ,nous avons :

- 1 pompe de dosage d'un débit de 30 m³/h.
- Un réservoir de lait de chaux d'un volume de 3 m³.
- Dose de lait de chaux d'environ 150 g/m³.

2. Dosage de dioxyde de carbone :

Lorsque nous l'ajoutons au flux d'eau dessalée, cela évite la précipitation de l'hydroxyde de calcium, ajuste également la valeur du pH, assure que toute la dose de chaux réagit pour former du bicarbonate de calcium soluble et atteint la capacité tampon du pH.

Pour réaliser ce dosage ,nous avons :

- Un réservoir réfrigéré de dioxyde de carbone d'un volume maximum de 32 tonnes.

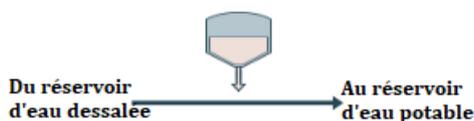


FIGURE 2.16 – Le dosage dans l'étape de post-traitement

C. Dosage de post-chloration

La station de dosage pour l'hypochlorite dans l'étape de post-traitement de la station de dessalement.

Post-chloration à l'hypochlorite Nous l'utilisons pour prévenir tout effet corrosif dans le réseau de distribution, stabiliser le pH de l'eau et la désinfecter pour garantir une alimentation en eau "sûre" et maintenir l'eau potable exempte de bactéries et de matières organiques.

Tel que 0,52 g d'hypochlorite pour chaque m³ d'eau potable produite.

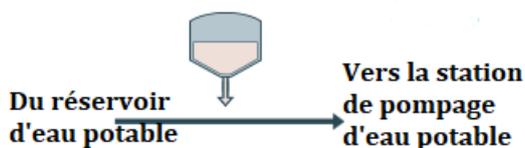


FIGURE 2.17 – Post-chloration à l'hypochlorite

D. Réservoirs distincts pour l'eau dessalée et l'eau potable :

Le réservoir d'eau dessalée : Après la déminéralisation de l'eau de mer par une membrane, l'eau traitée est stockée dans le réservoir d'eau dessalée. L'eau a besoin d'un ajustement de pH (de 6,5 à 8,5). afin de respecter les normes de qualité pour l'eau potable.

L'eau est suffisante pour être utilisée comme eau de nettoyage pour la membrane. .

Réservoir d'eau potable : L'eau potable est stockée dans le réservoir d'eau potable après l'ajustement de l'alcalinité et de la dureté.

Pour réaliser ce sous-processus ,nous avons :

- Un réservoir d'eau dessalée d'un volume de 213 m³.
- Un réservoir d'eau potable d'un volume de 3000 m³ [7].

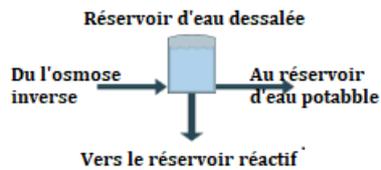


FIGURE 2.18 – Le réservoir d'eau dessalée

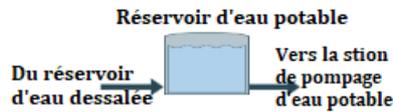


FIGURE 2.19 – Réservoir d'eau potable

2.2.5 Distribution

A. Station de pompage d'eau potable

Les pompes distribuent l'eau potable aux clients municipaux et industriels. Cette station nécessite :

- 3 pompes à eau potable de 300 m³/h chacune.

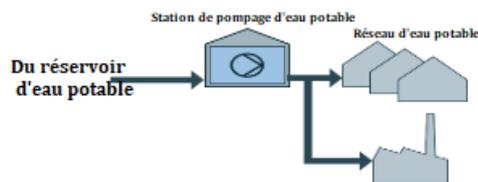


FIGURE 2.20 – Station de pompage d'eau potable

B. Eau de service

Une partie de l'eau dessalée est nécessaire pour le processus de dessalement et l'autre partie est utilisée pour le nettoyage et la dilution.

Dans ce sous-processus , nous avons :

- Des pompes d'eau de service sous pression de 3 bars chacune.
- Le débit d'eau de service est de 20 m³/h [7].

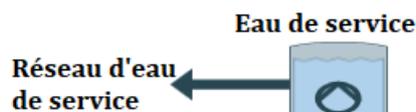


FIGURE 2.21 – Eau de service

2.3 Instrumentation et équipements

2.3.1 Les actionneurs

Un actionneur est un élément qui permet la réalisation de tout phénomène physique grâce à l'énergie qui lui est fournie. Pour cette station de dessalement, nous utiliserons différents types d'actionneurs.

A. Moteurs

Un moteur est un dispositif qui convertit l'énergie en mouvement mécanique. Il peut être alimenté par divers types d'énergie tels que l'électricité, le carburant, la vapeur, l'air comprimé, etc.

La plupart des équipements de la station fonctionnent à l'électricité, c'est pourquoi l'utilisation de moteurs électriques est essentielle.



FIGURE 2.22 – Moteur

B. Turbine

Une turbine est un dispositif rotatif convertissant partiellement l'énergie interne d'un fluide, liquide (comme l'eau) ou gazeux (vapeur, air, gaz de combustion), en énergie mécanique au moyen d'aubes disposées sur un arbre tournant à grande vitesse [14].

La turbine Pelton, figurant à la figure 2.23, est utilisée dans les stations de dessalement pour aider les pompes à haute pression qui pressurisent le système d'osmose inverse. L'utilisation d'une turbine Pelton est un moyen rentable et efficace de générer de l'énergie et d'améliorer l'efficacité d'une usine de dessalement.



FIGURE 2.23 – La turbine Pelton

C. Vannes

Une vanne est un équipement utilisé pour réguler (bloquer ou modifier) le débit d'un fluide dans une canalisation. Quelle que soit sa catégorie, une vanne peut toujours être décomposée en deux parties technologiques distinctes : l'actionneur (la source d'énergie qui provoque le mouvement, qu'elle soit hydraulique, pneumatique, motorisée ou manuelle) et le sélecteur (la partie mobile qui permet ou bloque le passage du fluide).

On peut distinguer deux principales catégories de vannes : les vannes tout-ou-rien (TOR) qui ont pour rôle de bloquer ou de permettre complètement le passage du fluide, et les vannes de régulation qui constituent un élément clé de la boucle de contrôle en permettant de réguler le débit du fluide pour maintenir une variable de procédé à une valeur proche du point de consigne souhaité. La vanne de régulation agit sur le débit du fluide en ajustant la position de son sélecteur sous l'influence de l'actionneur.

Dans la station de dessalement que nous étudions, différents types de vannes sont utilisés à différentes étapes du processus. On y trouve des vannes TOR, des vannes motorisées, ainsi que des vannes de régulation figure 2.24.

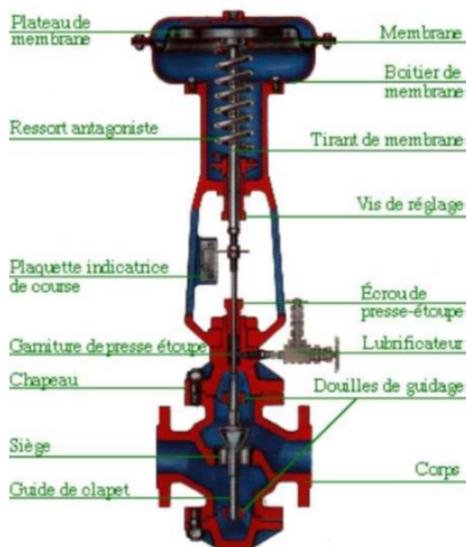


FIGURE 2.24 – Vue en coupe d'une vanne de régulation pneumatique

D. Pompes

Les pompes sont des dispositifs mécanique utilisé pour transférer de l'eau ou tout autre fluide d'un niveau de pression bas à un niveau de pression élevé. Elles permettent de convertir l'énergie mécanique en énergie hydraulique pour réaliser des opérations nécessitant une force hydraulique importante dans les processus industriels.

Pour distribuer l'eau aux différents sous-processus des usines de dessalement, on utilise différents types de pompes :

- **Les pompes d'alimentation** : Ce type de pompe fig 2.25 est utilisé pour acheminer l'eau brute vers l'usine. Ce sont des pompes centrifuges monocellulaires avec un orifice d'aspiration axiale et un débit de $537,4 \text{ m}^3/\text{h}$. Elle est auto-régulante et génère un débit et non une pression.



FIGURE 2.25 – Pompe d'alimentation

- **Les pompes de dosage** : sont des dispositifs fig 2.26 utilisés pour doser des quantités précises de produits chimiques (hypochlorite de sodium...etc) .



FIGURE 2.26 – Une pompe de dosage

- **Les pompes de distribution** : Ces dispositifs, illustrés dans la figure 2.27, sont utilisés pour transporter de l'eau sous pression, par exemple depuis le réservoir réactif vers les racks d'osmose inverse ou du réservoir d'eau dessalée vers le réservoir réactif.



FIGURE 2.27 – Une pompe de distribution

- **Les pompes à haute pression HPP** : illustrées sur la figure 2.28, sont des dispositifs utilisés pour générer des flux d'eau à haute pression. Elles alimentent les modules d'osmose inverse et sont conçues pour envoyer de l'eau sous haute pression. Les valeurs de pression d'alimentation se situent dans la plage de 55 à 80 bars.



FIGURE 2.28 – Les pompes à haute pression

2.3.2 Les capteurs transmetteurs

Les capteurs jouent un rôle important dans le fonctionnement d'une usine de dessalement. Les capteurs envoient des alertes et des retours d'informations sur l'état des équipements de l'usine, qu'il s'agisse de la pression, de la température, de la conductivité, etc..

A. débitmètre

Un débitmètre est un dispositif utilisé pour mesurer le débit d'un fluide traversant une conduite ou une canalisation. Il est couramment utilisé pour surveiller et contrôler l'écoulement des fluides. Les débitmètres fonctionnent en mesurant la vitesse du fluide, puis en utilisant ces données pour calculer le débit volumique ou massique. Le débitmètre complet utilisé dans notre projet combine le Sitrans FM MAG600 figure 2.29 et le capteur Sitrans FM MAG5100 W, spécifiquement conçu pour les applications aquatiques. Le transmetteur de mesure évalue les signaux des capteurs électromagnétiques, les convertit en signaux standards 4-20 mA et les transmet via PROFIBUS-PA[15].



FIGURE 2.29 – Transmetteur de débit SITRANS FM MAG 6000

B. Capteur de niveau

Le capteur utilisé dans notre station de dessalement est un capteur capacitif qui fonctionne en utilisant le principe de la variation de capacité électrique en fonction de la hauteur du liquide. Il est composé d'une sonde capacitante qui est plongée dans le liquide à mesurer. La sonde est généralement constituée de matériaux non conducteurs pour éviter les interférences électriques.

Lorsque la sonde est en contact avec le liquide, la capacité électrique entre la sonde et la paroi du réservoir change en fonction de la hauteur du liquide. Cette variation

de capacité est détectée par l'électronique interne du capteur, qui la convertit en un signal numérique représentant le niveau du liquide.

Dans l'exemple de la station de dessalement étudiée le capteur capacitif Pointek cls 200/300 figure 2.30 est utilisé pour mesurer le niveau d'eau [16].



FIGURE 2.30 – le capteur capacitif Pointek cls 300

C. Capteur de pression

C'est un dispositif utilisé pour mesurer et surveiller la pression dans différentes applications.

- **Indicateur de pression** : est utilisé pour mesurer la pression des fluides et des gaz dans différentes parties de l'usine de dessalement, telles que les membranes d'osmose inverse et les pompes haute pression. Ces indicateurs de pression peuvent être des jauges mécaniques simples, ou des affichages électroniques plus avancés comme présentées dans la figure 2.31.



FIGURE 2.31 – Indicateur de pression

- **Transmetteur de pression** : est utilisé pour mesurer la pression d'un liquide ou d'un gaz. Contrairement à les indicateurs de pression, les transmetteurs de pression fig 2.32 fournissent un signal de sortie, tel que 4-20 mA, 0-10 VDC ou des protocoles de communication numériques tels que HART ou Modbus , qui peuvent être transmis à un système de contrôle ou à un système d'acquisition de données.

Un exemple spécifique de transmetteur de pression utilisé dans notre exemple

de station de dessalement étudiée est le SITRANS P DS III figure 2.32. Il s'agit d'un transmetteur numérique qui fournit des mesures précises et fiables de la pression. Il peut être facilement intégré dans le système de contrôle de la station [17].



FIGURE 2.32 – Transmetteur de pression

D. Capteur de température

Un capteur de température dans une station de dessalement est utilisé pour mesurer la température de l'eau d'entrée, ainsi que celle de l'eau stockée dans le réservoir réactif.

Dans notre exemple de la station de dessalement, nous avons utilisé le transmetteur SITRANS TH400 (fig 2.33) en combinaison avec un capteur de température. Le SITRANS TH400 joue le rôle de convertir les signaux du capteur en un signal standardisé, tel que le protocole Profibus PA, 4-20 mA, HART. Ce signal standardisé est ensuite transmis au système de contrôle ou d'enregistrement des données pour la surveillance, le contrôle ou l'enregistrement des mesures de température [18].



FIGURE 2.33 – Le transmetteur SITRANS TH 400

E. Capteur de turbidité

La turbidité est une mesure de la quantité de matières en suspension dans un liquide, telles que des particules solides, des colloïdes ou des microorganismes, qui peuvent rendre l'eau trouble ou opaque. Le capteur de turbidité est un dispositif qui mesure la turbidité de l'eau. Il utilise un faisceau de lumière qui est émis dans l'eau et détecte la quantité de lumière réfléchiée ou diffusée par les particules en suspension dans l'eau.

Dans l'exemple de la station de dessalement, le capteur de turbidité utilisé est l'ULTRATURB de HACH figure 2.34, qui est un capteur de turbidité très polyvalent. Grâce à sa plage de mesure étendue allant de 0 à 1 000 NTU, ce capteur est idéal pour diverses applications telles que la surveillance des effluents de filtration, des systèmes de distribution et de l'eau brute. Ce turbidimètre garantissant une grande précision sur l'ensemble de sa plage de mesure [19].



FIGURE 2.34 – Le turbidimètre ULTRATURB de HACH

F. Capteur de pH et de Redox

est un dispositif fig 2.35 utilisé pour mesurer le pH ou le potentiel redox de solutions aqueuses. Il est couramment utilisé dans les secteurs de l'eau et des eaux usées. Le transmetteur dispose de deux entrées analogiques et peut être configuré pour mesurer soit le pH soit le potentiel redox. Le dispositif joue un rôle crucial dans le maintien de l'efficacité et de l'efficacité des processus de traitement de l'eau en fournissant des données précises et fiables pour le contrôle et la surveillance des processus.



FIGURE 2.35 – Transmetteur de pH et de rédox

G. Conductimètre

Est un instrument figure 2.36 qui mesure la conductivité électrique d'une solution en détectant sa capacité à conduire un courant électrique entre deux électrodes. L'unité de mesure de la conductivité est le microsiemens par centimètre ($\mu\text{S}/\text{cm}$) ou le millisiemens par centimètre (mS/cm), ce qui indique la conductivité électrique de la solution entre deux électrodes placées à un centimètre d'intervalle [20].



FIGURE 2.36 – Conductimètre

2.3.3 Autres équipements

Les tuyaux

Les tuyaux jouent un rôle crucial dans le fonctionnement d'une station de dessalement. Le processus nécessite le transport de l'eau à travers différentes étapes, qui sont reliées par un réseau de tuyaux. Dans une station de dessalement, les tuyaux sont utilisés pour transporter l'eau de mer brute ou saumâtre du système d'admission jusqu'à l'étape de post-traitement. Les tuyaux, également connus sous le nom de conduites hydrauliques, existent en différentes formes, tailles et fonctions. Ils peuvent être des tubes ou des canaux fermés ou des successions variées sur toute leur longueur. Les tuyaux sont utilisés pour transporter des liquides sur toutes les échelles de distance.

Régulateur PID

Le régulateur PID (proportionnel, intégral et dérivé) est largement utilisé dans l'industrie pour améliorer le comportement des systèmes de contrôle. Ce correcteur évalue l'erreur entre le signal de référence et le signal de sortie du système. L'erreur est ensuite corrigée en utilisant les gains du correcteur PID. Le correcteur PID est généralement représenté dans un schéma bloc d'asservissement. Ce schéma bloc illustre comment le signal de référence est comparé au signal de sortie, puis l'erreur est corrigée en utilisant les termes proportionnel, intégral et dérivé du correcteur PID. La figure ci-dessous (fig 2.37) présente un exemple de ce schéma bloc d'asservissement.

D'après la figure 2.37, le correcteur PID est la combinaison des trois actions : proportionnelle, intégrale et dérivée.

— La fonction de transfert du régulateur PID est comme suit :

$$K_p + K_i \cdot \frac{1}{s} + K_d \cdot s$$

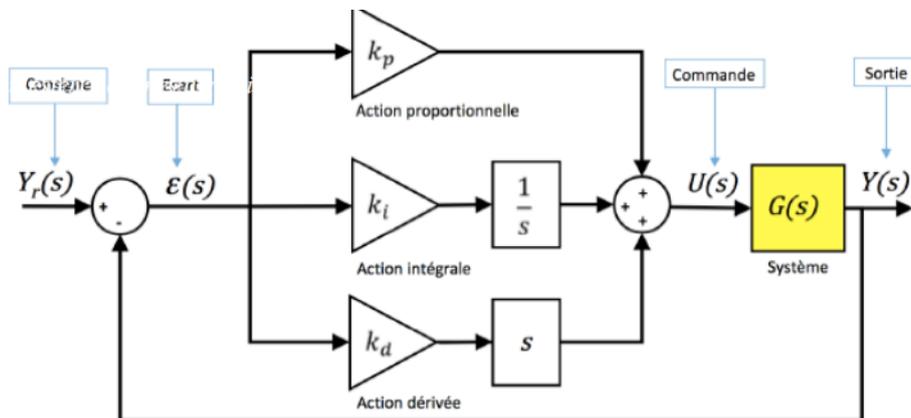


FIGURE 2.37 – Correcteur PID dans une boucle d'asservissement.

Avec :

K_p :est le gain proportionnelle.

K_i :est le gain intégral.

K_d :est le gain dérivé .

- Le principal objectif du correcteur PID est d'améliorer les performances d'un système asservi en ajustant les coefficients K_p , K_i et K_d . Cela se traduit par une amélioration de la stabilité, de la précision et de la rapidité du système.

Dans le cas de la station étudiée, le régulateur PID ajuste l'ouverture d'une vanne en fonction de la mesure de débit. Cela permet de maintenir le débit proche de la valeur souhaitée.

Les groupes de dosage

Dans un système de dosage, le niveau du produit à doser est vérifié dans chaque groupe de dosage, et les pompes de dosage sont surveillées pour un fonctionnement approprié. Ce processus peut être réalisé grâce à l'utilisation de minuteries et de capteurs qui surveillent le niveau de produit et le fonctionnement de la pompe. Ces capteurs peuvent détecter des problèmes tels que des niveaux bas ou des pannes de pompe, et déclencher des alertes ou des ajustements automatiques pour maintenir des niveaux de dosage appropriés.

Les résistances de chauffe d'eau

Les résistances de chauffe d'eau sont des dispositifs électriques conçus pour produire de la chaleur lorsqu'ils sont alimentés en courant électrique. Elles sont couramment utilisées dans divers domaines, y compris les stations de dessalement, pour élever la température de l'eau à des niveaux spécifiques. Dans le cas de la station de dessalement étudiée, ces résistances sont utilisées pour augmenter la température de l'eau stockée dans le réservoir réactif.

2.3.4 Bilan d'instrumentation

Équipement/Instrument		Prise d'eau	Pré-traitement	OI	Post-traitement	Distribution
Capteurs	Capteur de niveau	4	34	3	15	-
	Capteur de température	1	1	40	6	2
	débitmètre	1	10	6	16	-
	Capteur de pression	3	14	24	3	1
	Conductimètre	1	2	3	1	-
	Capteur de pH	1	3	2	3	-
	Capteur de turbidité	-	1	-	-	-
Actionneurs	Vannes	12	39	35	23	2
	Pompes	6	26	11	13	2
	Moteurs	-	13	2	9	2
	turbines	-	-	2	-	-

TABLEAU 2.1 – Bilan d'instrumentation

2.4 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons appris que la station de dessalement est très structurée et utilise plusieurs méthodes de traitement pour produire de l'eau qui respecte les normes. Le processus de traitement commence par un pré-traitement suivi de l'osmose inverse, qui utilise des technologies spécifiques pour séparer l'eau pure du sel. Ensuite, l'eau subit un post-traitement où des minéraux nécessaires sont ajoutés pour l'enrichir. Le système de nettoyage et de maintenance est en place pour garantir une performance optimale de l'équipement de la station. Nous avons également mis en évidence l'utilisation de régulateurs de débit qui permettent à la station de produire une capacité de 14 000 m^3 /jour d'eau désalinisée. Enfin, nous avons pu élaborer un bilan d'instrumentation très utile pour l'automatisation de la station, fournissant des informations précieuses pour la programmation et la configuration des équipements matériels qui seront décrits dans le prochain chapitre.

3.1 Introduction

Afin de garantir le bon fonctionnement du sous-processus de l'osmose inverse, sans intervention humaine, il est essentiel de mettre en place un système automatisé.

Dans ce chapitre, nous présenterons le système de Contrôle distribué (DCS) de manière générale. De plus, nous effectuerons une analyse fonctionnelle détaillée de notre contribution spécifique. Enfin, nous décrirons la configuration matérielle utilisée pour la mise en œuvre de notre travail, ainsi que l'architecture réseau et une partie de la liste des entrées/sorties (la table des mnémoniques).

3.2 DCS (Distributed Control System)

Un système de contrôle distribué (DCS) est un système de contrôle pour un processus ou une installation, dans lequel les éléments de contrôle sont répartis dans tout le système. Le DCS utilise des ordinateurs et des logiciels pour contrôler et surveiller les opérations du système, collectant des données à partir de différents points et les utilisant pour prendre des décisions de contrôle. Les avantages d'un DCS comprennent une précision améliorée et une plus grande flexibilité dans le contrôle des processus, ainsi que des coûts de câblage et de maintenance réduits en raison de la distribution des éléments de contrôle.

3.2.1 L'architecture d'un système de contrôle distribué (DCS)

L'architecture d'un système de contrôle distribué (DCS) est complexe, comme le montre la figure 3.1. Les systèmes de contrôle distribués sont conçus de la manière suivante : une station d'opérateur (salle de contrôle) où se trouvent les écrans de supervision, la deuxième étape peut être composée de serveurs, d'archives et de stations d'ingénierie où les données sont créées, transférées et enregistrées ; et la dernière étape où l'on trouve des automates programmables (PLC), des capteurs et des actionneurs. Cette combinaison de logiciels et de matériel est connectée les uns aux autres en utilisant différents protocoles tels que Profinet , Profibus et Ethernet ,etc .

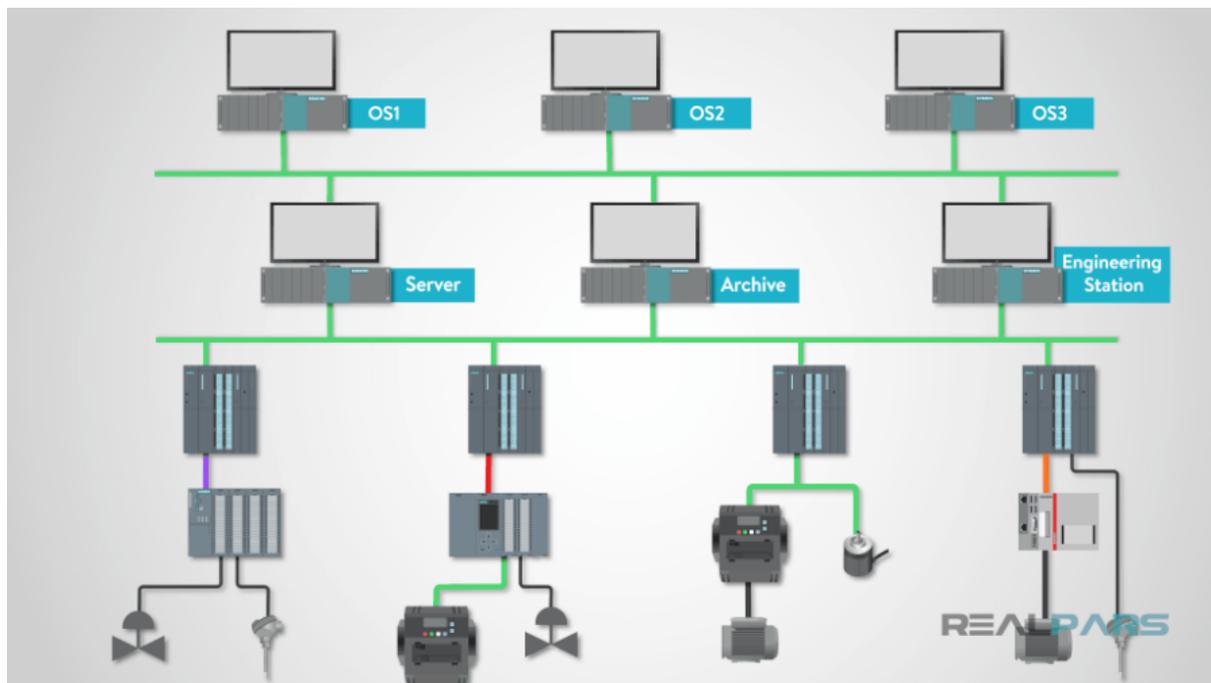


FIGURE 3.1 – L'architecture d'un DCS [1]

3.2.2 Avantage du DCS

Le système DCS présente de nombreux avantages par rapport aux anciens systèmes de contrôle, ce qui justifie son adoption. Parmi ces avantages :

- **Distribution des fonctions** : Les fonctions de conduite du procédé sont réparties sur plusieurs dispositifs ou stations, assurant ainsi la continuité de la conduite même en cas de problème sur l'une des stations. Cela améliore la disponibilité et la résilience du système.
- **Redondance** : Le DCS permet la mise en place de redondance au niveau des stations et des réseaux, ce qui accroît la fiabilité globale du système. En cas de défaillance d'un composant, un autre prend automatiquement le relais, réduisant ainsi les arrêts intempestifs.
- **Ouverture** : Le DCS est conçu comme un système ouvert, ce qui lui permet de communiquer avec d'autres systèmes indépendants tels que les systèmes SCADA, les systèmes ESD, etc. Cela facilite l'intégration avec d'autres systèmes et favorise une meilleure interopérabilité.
- **Analyse et optimisation** : Grâce à ses fonctionnalités avancées de commande et à ses outils mathématiques intégrés, le DCS permet l'utilisation de fonctions d'analyse et d'optimisation pour une meilleure conduite des procédés. Cela peut entraîner des améliorations de performances, une réduction des coûts énergétiques et une optimisation des ressources.
- **Simplicité d'utilisation** : Le DCS offre une interface homme-machine conviviale, souvent basée sur des graphiques interactifs, facilitant ainsi la conduite du procédé par les opérateurs. Les opérateurs peuvent utiliser des moyens habituels tels que des ordinateurs personnels et des imprimantes pour interagir avec le système. De plus, les ingénieurs peuvent effectuer des tâches de maintenance et de développement du système en utilisant des logiciels informatiques standard [21].

3.3 Analyse fonctionnelle

Notre projet vise à développer un système de contrôle distribué (DCS) pour la partie de l'osmose inverse en se basant sur les schémas de tuyauterie et d'instrumentation (P&ID) fournis. La partie de l'osmose inverse comprend trois sous-processus essentiels :

- le sous-processus des pompes à haute pression .
- le sous-processus des racks d'osmose inverse .
- le sous-processus du réservoir réactif.

3.3.1 Sous-processus des pompes à haute pression

Ce sous-processus est responsable de pomper l'eau à travers les pompes à haute pression. Les pompes à haute pression fournissent la force nécessaire pour pousser l'eau brute à travers la membrane d'osmose inverse. Elles augmentent la pression de l'eau brute afin de surmonter la pression osmotique et permettre le passage de l'eau purifiée à travers la membrane.

Schéma de tuyauterie et d'instrumentation (P&ID)

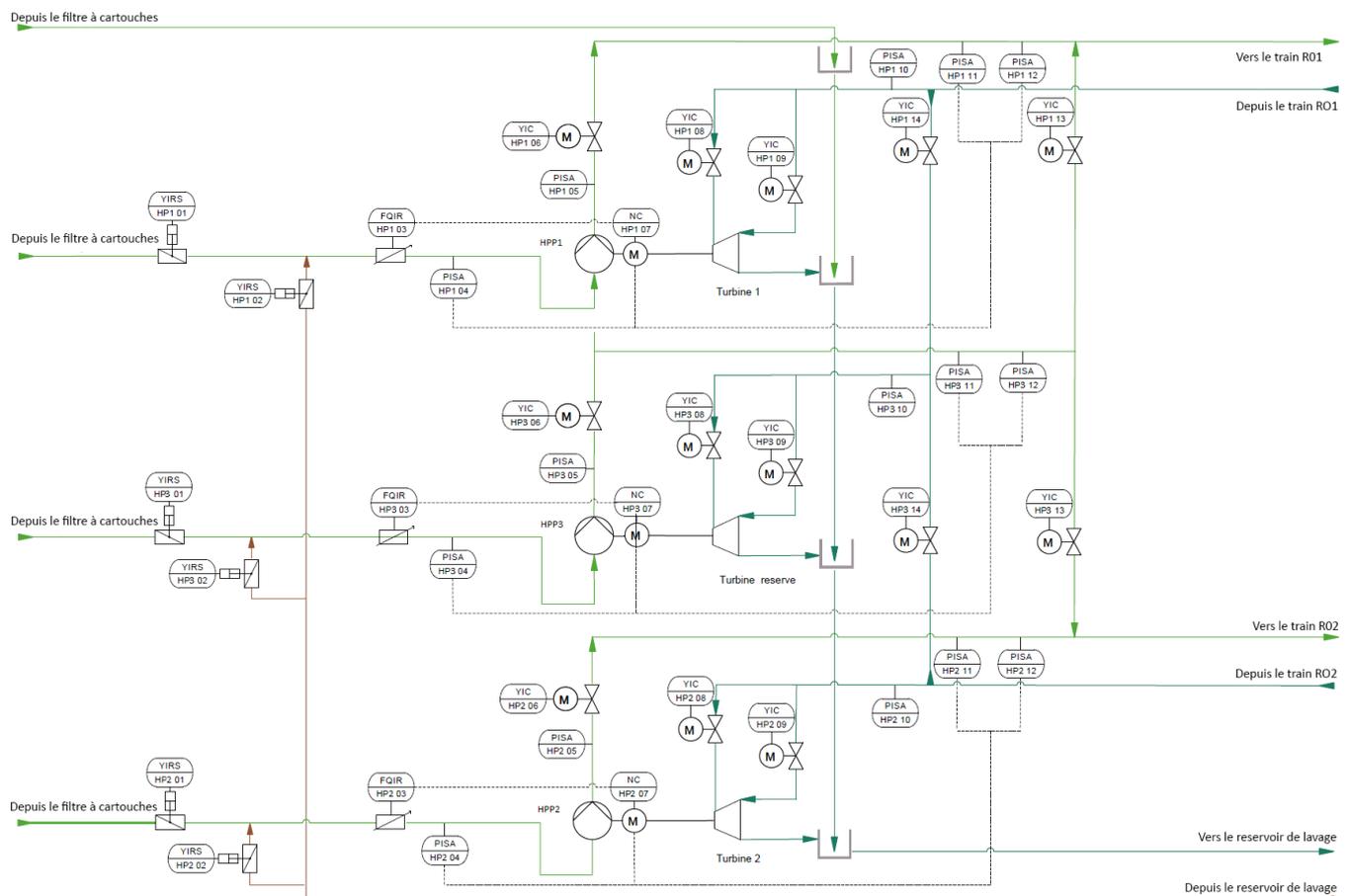


FIGURE 3.2 – Diagramme P&ID des pompes à haute pression

Liste des points de mesure

Le tableau suivant 3.1 contient la liste des points de mesure des pompes à haute pression .

Désignation	Signal	Matériel
Débit d'aspiration	FQIR HPX 03 (×3)	SITRANS FM MAG6000 (×3)
Pression d'aspiration	PISA HPX 04 (×3)	SITRANS P DS III (×3)
Pression de refoulement	PISA HPX 05 (×3)	SITRANS P DS III (×3)
Pression rejetée du RO	PISA HPX 10 (×3)	SITRANS P DS III (×3)
Pression de l'eau pompée vers RO	PISA HPX 11 (×3)	SITRANS P DS III (×3)
Pression de l'eau pompée vers RO	PISA HPX 12 (×3)	SITRANS P DS III (×3)
Températures du moteur de la pompe	TIRA HPX 01-13 (×3)	AI de ET200SP HA

TABLEAU 3.1 – La liste des points de mesure des pompes à hautes pressions

Description

Le sous processus est constitué de trois pompes : deux fonctionnent en continu, tandis que la troisième est une pompe de réserve qui démarre en cas d'arrêt d'urgence de la pompe 1 ou de la pompe 2.

Les deux pompes HPP1 et HPP2 qui ont des séquences identiques, et HPP3 c'est la pompe de réserve.

Les grafquets représentés dans les figures 3.3 et 3.4 décrivent les séquences de démarrage et d'arrêt des pompes d'une manière générale, par la suite nous détaillerons les sous programmes de ces grafquets en expliquant au mieux les séquences.

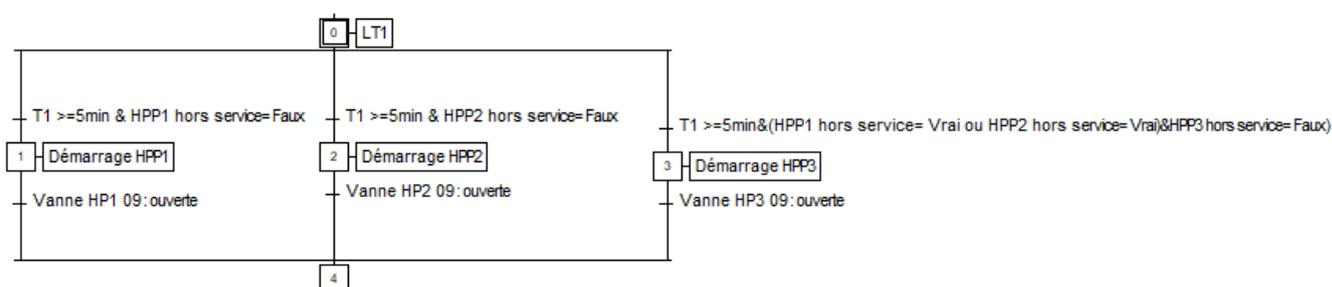


FIGURE 3.3 – Grafquet principale de démarrage des pompes à haute pression

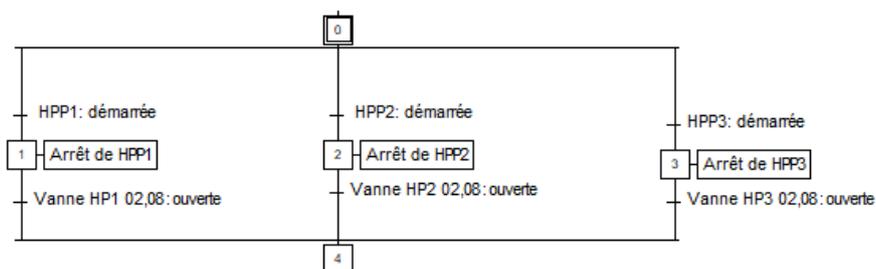


FIGURE 3.4 – Grafquet Principale d'arrêt des pompes à haute pression

A. Fonctionnement de HPP1 et HPP2

— Séquence de démarrage

Au départ avant le démarrage de la pompe, on doit s'assurer que les vannes :

HP1-2 YIRS 01 : Ouverte.

HP1-2 YIRS 02 : fermé.

HP1-2 YIC 06 : fermé.

Dans ce cas, on lance le démarrage de la pompe HP1-2.

Une fois la pompe HP1-2 démarré on doit :

S'assurer que : HP1-2 PISA 05 \geq 84 bars puis lancer l'ouverture de la vanne HP1-2 YIC 06.

S'assurer de l'ouverture de la vanne HP1-2 YIC 06 et que HP1-2 PISA 10 \geq 81 bars puis lancer l'ouverture de la vanne HP1-2 YIC 09. Cette dernière permet de laisser passer l'eau vers la turbine, lorsque la turbine tourne, elle transmet ce mouvement de rotation à l'axe, qui est ensuite transmis au moteur de la pompe HP1-2. Le moteur utilise cette rotation pour générer de l'énergie mécanique.

Une fois que la vanne 09 est ouverte, cette séquence est terminée.

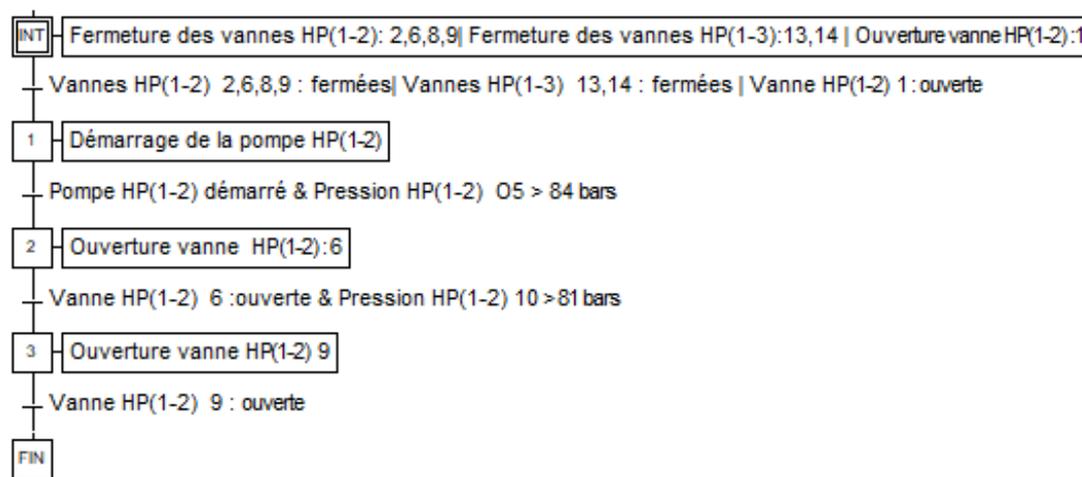


FIGURE 3.5 – Grafset - sous programme de démarrage HPP1-2

— Séquence d'arrêt

On arrête la pompe HP1-2 puis on lance la fermeture des vannes HP1-2 YIRS 01 et HP1-2 YIC 09.

Une fois que ces deux dernières sont fermées, on lance l'ouverture de la vanne HP1-2 YIRS 02, une fois ouverte, on ouvre la vanne HP1-2 YIC 08.

Lorsque on reçoit le signal d'ouverture de la vanne HP1-2 YIC 08 également la séquence est terminée et on peut passer au mode lavage et on lance la demande de lavage.

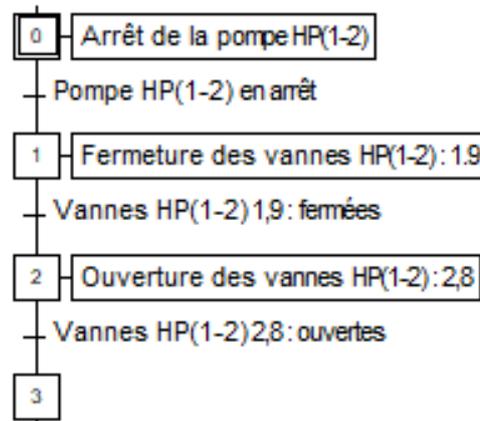


FIGURE 3.6 – Grafcet - sous programme d'arrêt HPP1-2

B. Fonctionnement de la pompe de réserve HPP3

La pompe de réserve a le même fonctionnement que les deux pompes précédentes, cependant elle démarre si la pompe HP1 ou la pompe HP2 est en panne.

Si HPP1 est en panne : on ouvre HP1 YIC 13 et HP1 YIC 14. Et la pompe HPP3 suivra la canalisation de la HPP1.

Si HPP2 est en panne : on ouvre HP3 YIC 13 et HP3 YIC 14. Et la pompe HPP3 suivra la canalisation de la HPP2.

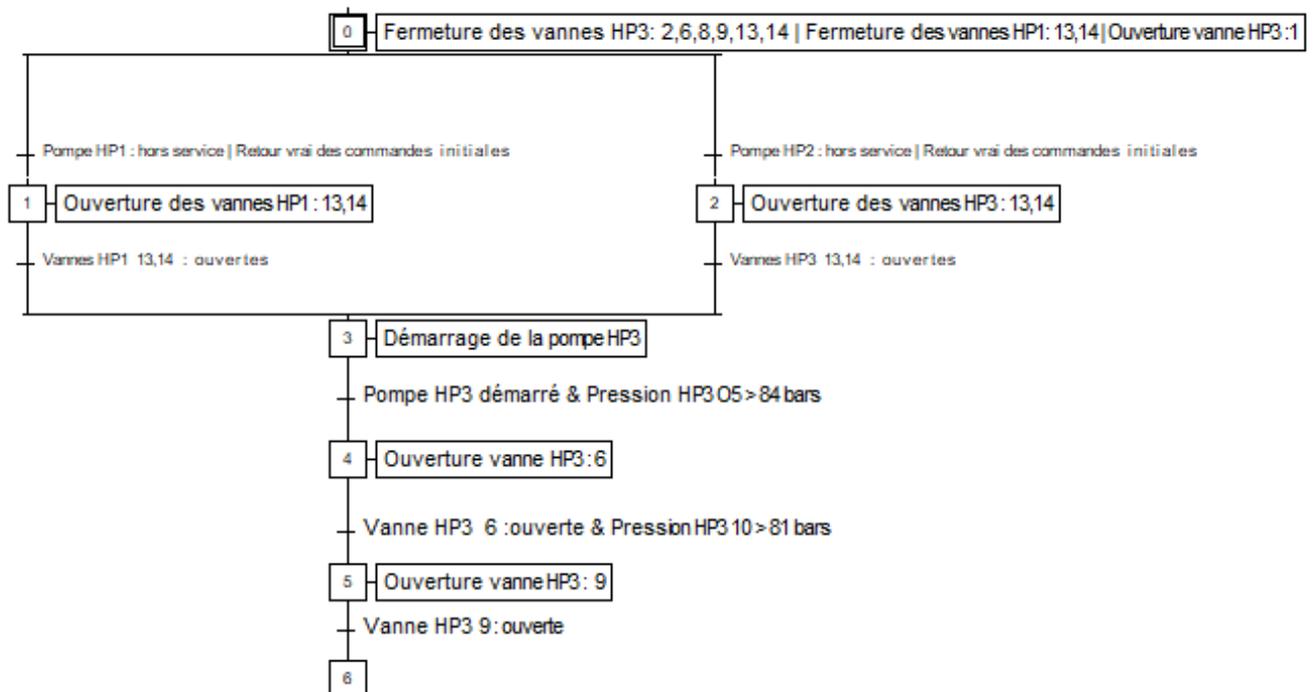


FIGURE 3.7 – Grafcet - sous programme de démarrage HPP3

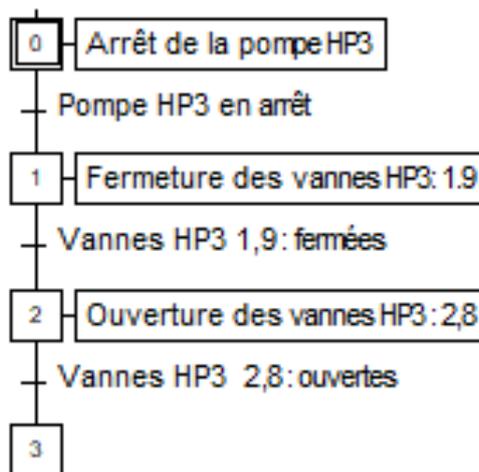


FIGURE 3.8 – Grafset - sous programme d'arrêt HP3

C. L'arrêt d'urgence des pompes

Pour les trois pompes précédents, on surveille en temps continue les pressions, débits et températures si l'une des conditions est vérifié on passe en arrêt d'urgence :

- TIRA HPX 06-11 > 115 °C.
- TIRA HPX 01-05 > 95 °C.
- TIRA HPX 12-13 > 95 °C.
- PISA HPX 11-12 > 90 bars.
- PISA HPX 10 > 85 bars.
- PISA HPX 04 < 4 bars.
- FQIR HPX 03 < 285 m³/h.
- La vanne YIC HPX 06 fermée après 60 secondes du lancement de la commande de démarrage de la pompe HPX.
- La vanne YIRS HPX 01 fermée.

3.3.2 Sous-processus des racks d'osmose inverse

Dans ce sous-processus, l'eau préalablement pompée par les pompes à haute pression est acheminée à travers les membranes d'osmose inverse. Sous l'effet de la pression, une partie de l'eau traverse les membranes et devient de l'eau purifiée, appelée "perméat", tandis que le reste, contenant les sels et les impuretés, est rejeté en tant que saumure. Ce processus permet ainsi de produire de l'eau purifiée, appelée perméat, qui est stockée dans un réservoir d'eau dessalée. Parallèlement, la saumure rejetée est ingénieusement utilisée pour faire tourner la turbine.

Schéma de tuyauterie et d'instrumentation (Diagramme P&ID)

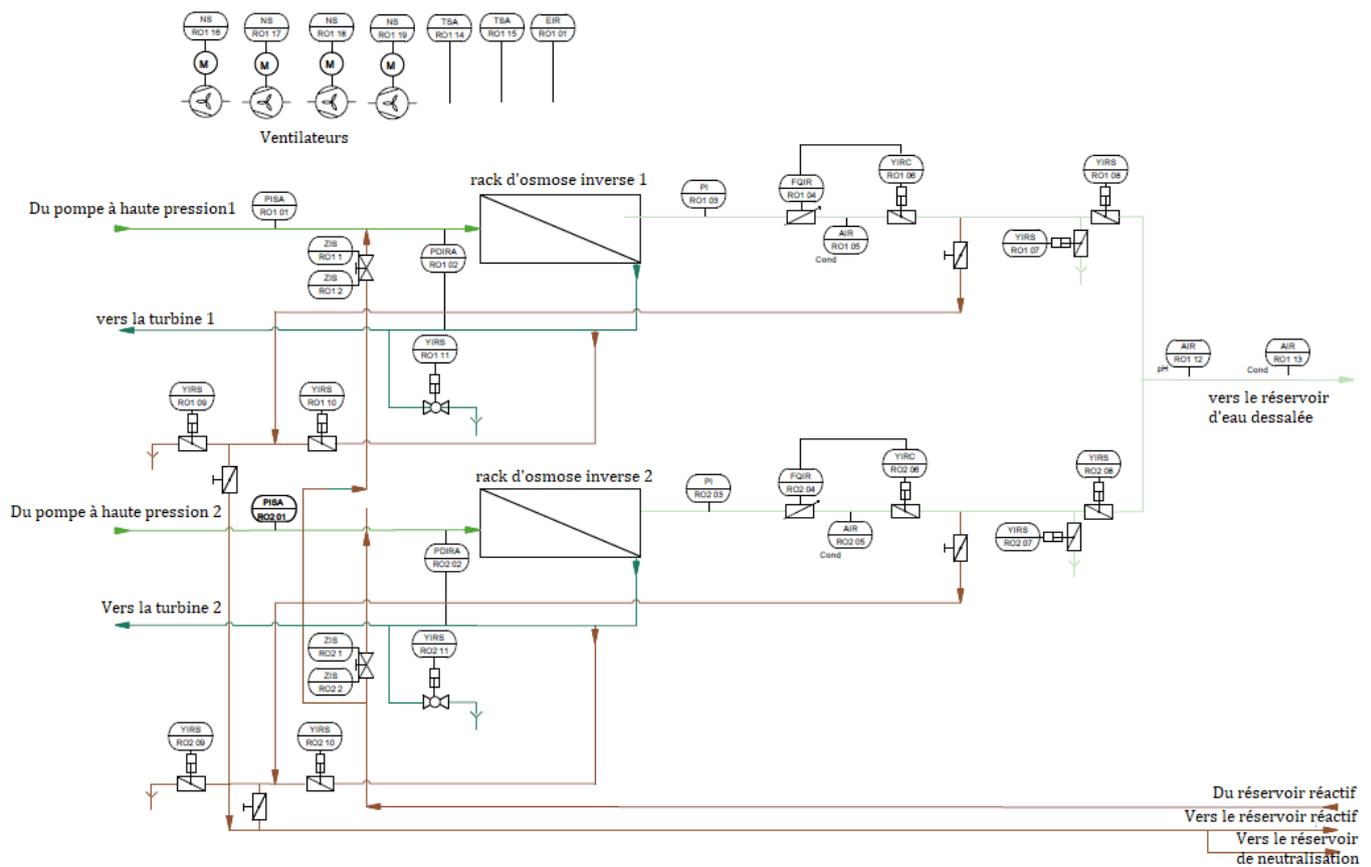


FIGURE 3.9 – Diagramme P&ID des racks d’osmose inverse

Liste des points de mesure

Le tableau suivant 3.2 contient la liste des points de mesure du sous-processus des modules d’osmose inverse :

signal	Désignation	Matériel
Pression d’entrée	PISA RO1-2 01	SITRANS P DS III (× 2)
Pression de sortie (de perméat)	PI RO1-2 03	SITRANS P DS III (× 2)
Débit de l’eau traitée (perméat)	FQIR RO1-2 04	SITRANS FM MAG6000 (× 2)
Conductivité de sortie de chaque rack	AIR RO1-2 05	Conductimètre "AI" (× 2)
Pression Différentielle (l’eau rejetée-l’eau d’entrée du rack)	PDIRA RO1-2 02	SITRANS P DS III (× 2)
PH de l’eau traitée par les 2 racks d’osmose inverse	AIR RO1 12	Transmetteur de pH "AI"
Conductivité de l’eau traitée par les 2 racks d’osmose inverse	AIR RO1 13	Conductimètre "AI"
Position de l’actionneur de la vanne (ouverte)	ZIS RO1-2 1	SIRIUS "DI"
Position de l’actionneur de la vanne (fermée)	ZIS RO1-2 2	SIRIUS "DI"

TABLEAU 3.2 – La liste des points de mesure des racks d’osmose inverse

Description

Le sous-processus des racks d'osmose inverse se compose de 2 racks d'osmose inverse .

La pression de l'eau provenant de la pompe à haute pression HPP1-2 PISA RO1-2 01 est d'environ 86 bars .Si cette pression est au dessous de ce seuil ,il y aura un arrêt d'urgence de la pompe HPP1-2.

PI RO1-2 03 c'est la pression de la sortie de rack d'osmose inverse. Cette pression est entre 75 et 81 bars .Si cette pression est au dessous de ce seuil ,il y aura un arrêt d'urgence de la pompe HPP1-2.

Le régulateur PID utilise comme consigne la mesure du débit FQIR RO1-2 04 et régule l'ouverture de la vanne YIRC RO1-2 06.

AIR RO1-2 05 c'est la mesure de la conductivité de l'eau de sortie de rack d'osmose inverse 1-2 qui doit être au environ de 7-10mS/cm.

La vanne YIRS RO1-2 08 est généralement maintenue en position ouverte, à l'exception du moment où nous lançons une demande de lavage.

AIR RO1 12 c'est la valeur du pH de l'eau provenant des deux racks d'osmose inverse, qui doit se situer approximativement entre 6,5 et 8.

AIR RO1 13 c'est la valeur de conductivité de l'eau provenant des deux modules d'osmose inverse, qui doit être inférieure ou égale à 10 mS/cm. Si cette valeur dépasse 10, les pompes à haute pression 1 et 2 sont arrêtées.

PDIRA RO1-2 02 représente la différence de pression entre l'eau rejetée par les modules d'osmose inverse, qui sert de source d'alimentation à la turbine, et la pression d'entrée des modules d'osmose inverse. Cette différence de pression doit être d'environ 2 à 5 bars.

Les vannes YIRS RO1-2 08 sont ouvertes , à l'exception du moment où nous lançons une demande de lavage.

L'eau provenant du réservoir réactif est utilisée pour nettoyer les modules d'osmose inverse.

En cas de défaillance des mesures mentionnées précédemment, telles que des problèmes au niveau des membranes d'osmose, il peut y avoir un arrêt d'urgence des pompes à haute pression 1 ou 2. Cela permet de prévenir d'éventuels dommages supplémentaires au système et de garantir la sécurité de l'installation.

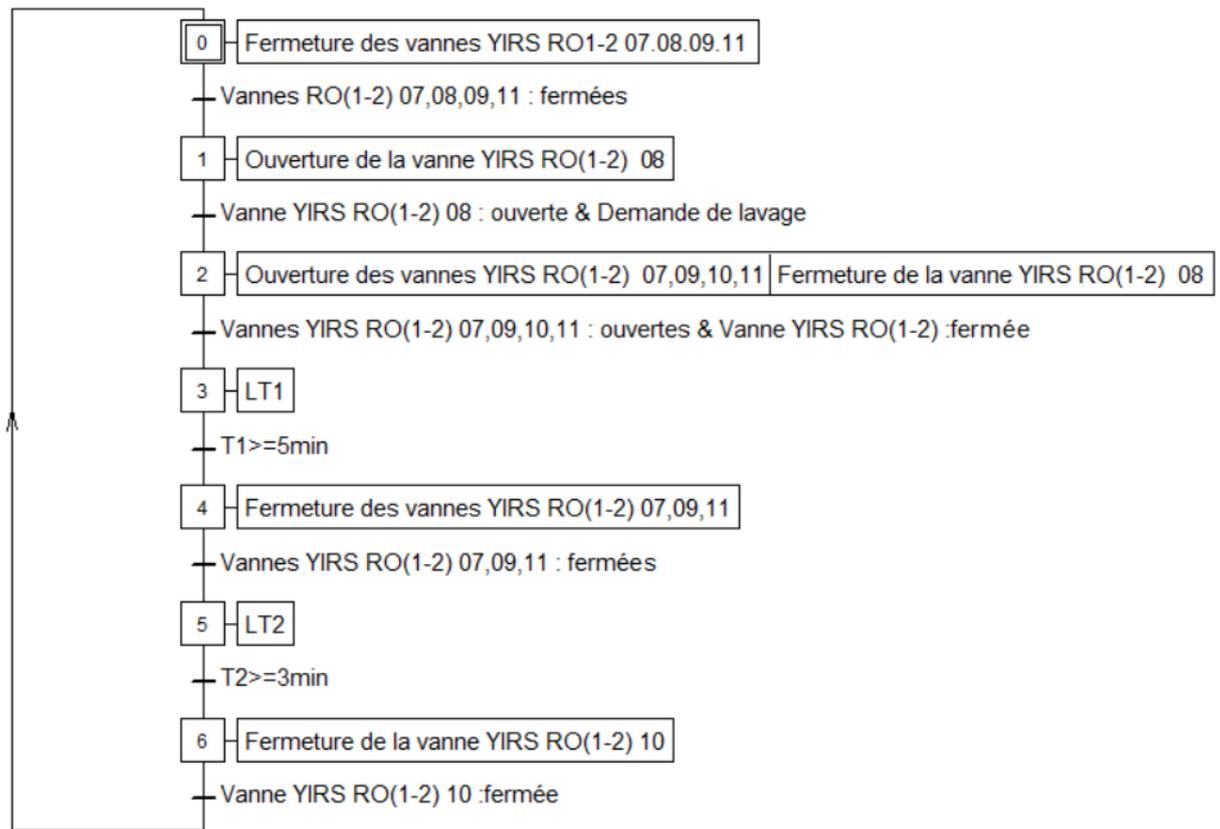


FIGURE 3.10 – GRAFCET de la séquence de fonctionnement des sous processus des racks d'osmose inverse

3.3.3 Sous processus du réservoir réactif

Dans ce sous-processus, l'eau provenant du réservoir réactif est utilisée pour le nettoyage des membranes d'osmose inverse. C'est pourquoi ce sous-processus comprend deux séquences : une de remplissage et une deuxième de lavage.

Schéma de tuyauterie et d'instrumentation

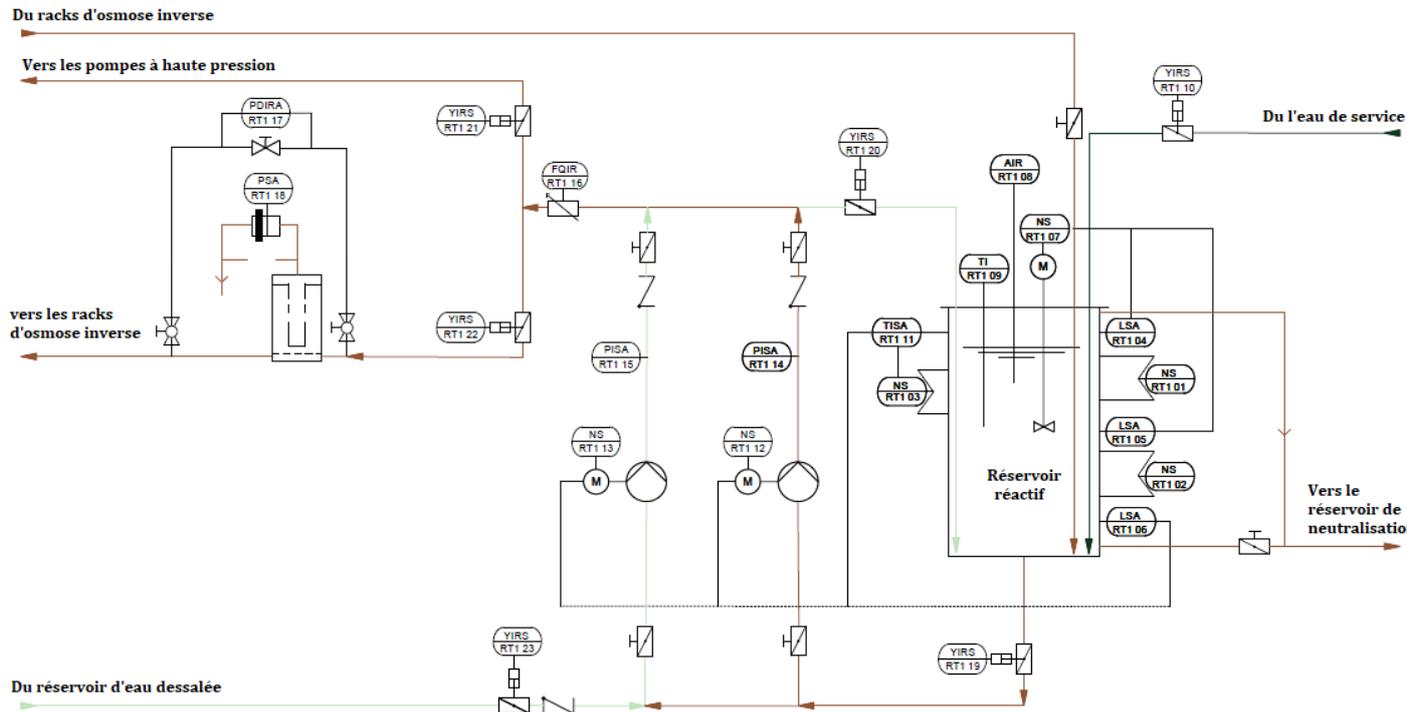


FIGURE 3.11 – Diagramme P&ID de réservoir réactif

Liste des points de mesure

Le tableau suivant 3.3 contient la liste des points de mesure du sous-processus de réservoir réactif.

Signal	Désignation	Matériel
Pression de refoulement de la pompe NS RT1 13	PISA RT1 15	SITRANS P DS III
Pression de refoulement de la pompe NS RT1 12	PISA RT1 14	SITRANS P DS III
Niveau élevé	LSA RT1 04	Pointek "DI"
Niveau moyen	LSA RT1 05	Pointek "DI"
Niveau bas	LSA RT1 06	Pointek "DI"
Température du réservoir (Transmetteur)	TISA RT1 11 TI RT1 09	SITRANS TH 400 (×2)
PH de l'eau stockée dans le réservoir réactif	AIR RT1 08	Transmetteur de pH "AI"
Débit de l'eau pompée vers les pompes à haute pression et les racks d'osmose inverse.	FQIR RT1 16	SITRANS FM MAG6000
Pression Différentielle	PDIRA RT1 17	SITRANS P DS III
Sortie numérique	PSA RT1 18	DO "Voyant"

TABLEAU 3.3 – La liste des points de mesure du réservoir réactif

Description

— Séquence de remplissage :

Les vannes YIRS 23, 20 et 10 sont des vannes TOR qui doivent toujours être ouvertes lors du remplissage du réservoir réactif.

La pompe NS RT1 13 transporte de l'eau dessalée du réservoir d'eau vers le réservoir réactif. En cas de panne de la pompe NS RT1 13, la pompe NS RT1 12 agit en tant que pompe de secours.

La pression (PISA RT1 15) de refoulement de la pompe NS RT1 13 est d'environ 31 bars. Si cette pression dépasse ce seuil, il y aura un arrêt d'urgence de la pompe. De même, cela s'applique à la pression de refoulement de la pompe NS RT1 12, contrôlée par PISA RT1 14.

Dès que LS RT1 04 est activé, cela entraîne la fermeture des vannes précédemment ouvertes et l'arrêt des pompes en fonctionnement, ce qui interrompt la phase de remplissage. Simultanément, les trois résistances NS RT1 01-02-03 sont activées pour réchauffer l'eau stockée dans le réservoir réactif. Lorsque TISA RT1 11 indique une température supérieure à 45 °C, les trois résistances sont désactivées. L'objectif de ce processus est de porter la température de l'eau stockée dans le réservoir réactif à 45 °C.

L'agitateur NS RT1 07 est activé lorsque le capteur de niveau LSA RT1 04 est activé, ce qui permet de maintenir le mélange en mouvement. Cependant, si le capteur LSA RT1 04 est désactivé et que le capteur LSA RT1 05 est activé, l'agitateur s'arrête.

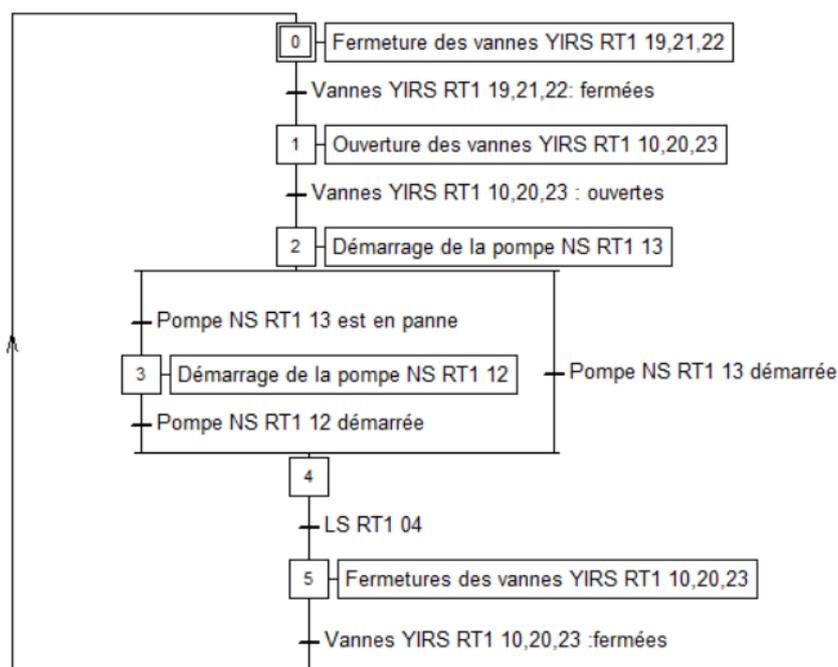


FIGURE 3.12 – GRAFCET de la séquence de remplissage

— Séquence de lavage :

Les vannes YIRS 19, 21 et 22 sont des vannes TOR qui doivent toujours rester ouvertes lors de la demande de lavage.

La pompe NS RT1 12 est responsable du transfert de l'eau du réservoir réactif vers les racks d'osmose inverse ainsi que vers les pompes à haute pression. En cas de panne de la pompe NS RT1 12, la pompe NS RT1 13 prend le relais en tant que pompe de secours.

La pression de refoulement de la pompe NS RT1 13, contrôlée par PISA RT1 15, est maintenue à environ 31 bars. En cas de dépassement de ce seuil, la pompe s'arrête en urgence. De même, cela s'applique à la pression de refoulement de la pompe NS RT1 12, qui est surveillée par PISA RT1 14.

Le débit d'eau transmis par la pompe NS RT1 13 (12) vers les pompes à haute pression et les racks d'osmose inverse est mesuré par FQIR RT1 16. Ce débit doit être d'environ 13 m³/h. Tout écart par rapport à cette valeur entraînera un arrêt d'urgence de la pompe.

PDIRA RT1 18 est la différence de pression de l'eau pompée vers les racks d'osmose inverse, entre l'eau en amont et en aval du processus de filtration. Si cette différence est inférieure à 10 bars, la sortie PSA RT1 18 s'active.

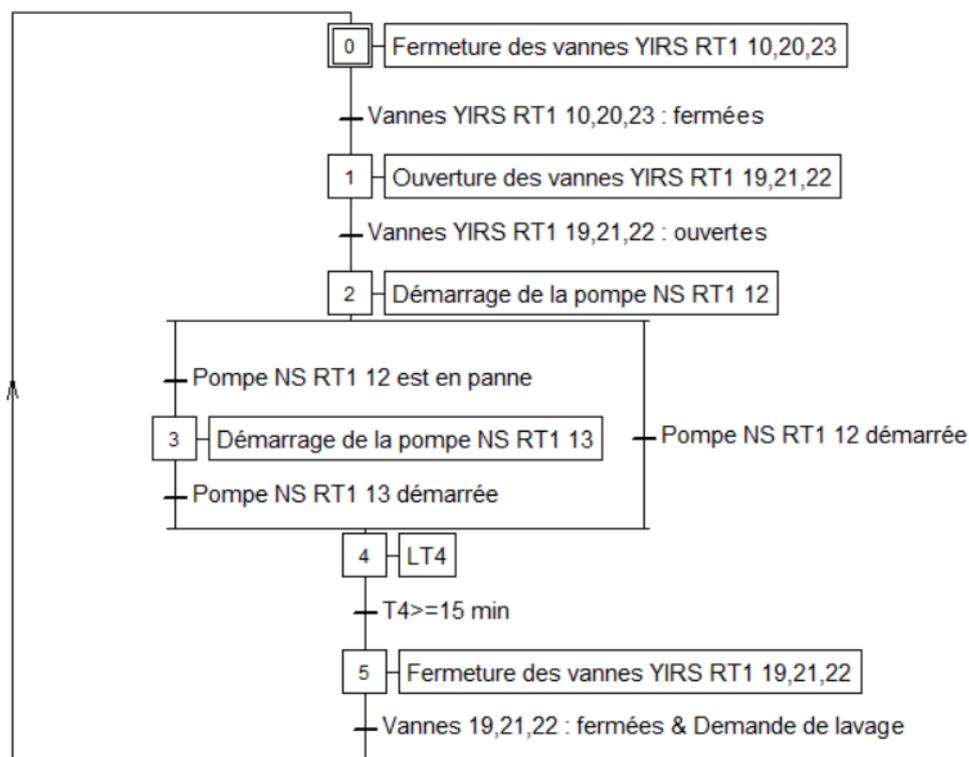


FIGURE 3.13 – GRAFCET de la séquence de lavage

3.4 L'architecture matérielle du projet

La solution proposée repose sur le système de contrôle de processus Siemens Simatic PCS7 (Process Control system), qui est un système de contrôle de processus utilisé dans diverses applications d'automatisation industrielle. C'est un système complet et intégré qui comprend des composants matériels, logiciels et réseau. Le système offre une gamme de fonctions pour l'automatisation des processus, notamment la visualisation des processus, l'acquisition et l'analyse de données, le contrôle et la surveillance, ainsi que la communication.

L'architecture du système SIMATIC PCS7 est conçue de manière à ce que le système de contrôle soit configuré de manière optimale en fonction des spécifications imposées. De plus, il est possible à tout moment d'augmenter ou de modifier les capacités du système de contrôle.

La plateforme du système PCS7 est essentiellement une extension logicielle du contrôleur logique programmable S7-400 de Siemens et du logiciel de supervision WinCC. Ces extensions se présentent sous forme de bibliothèques et de fonctionnalités intégrées qui permettent la programmation du PLC S7-400 et facilitent des interfaces homme-machine plus simples et plus efficaces.

Pour réduire la complexité et le coût des installations industrielles, des stations d'entrée/sortie ET 200SP HA et Compact field unit (CFU) sont utilisés qui connectent le contrôleur S7-400 à des modules d'entrée/sortie décentralisés. La communication entre le contrôleur et ces stations d'entrée/sortie est réalisée grâce à l'utilisation du protocole de communication industrielle Profinet.

3.5 Logiciel de programmation SIMATIC Manager PCS7

SIMATIC PCS7 est un système de contrôle de processus utilisé dans l'industrie de processus qui offre une plateforme ouverte pour des solutions modernes, rentables et orientées vers l'avenir. Sa conception et son architecture modernes permettent une installation au meilleur coût et un fonctionnement efficace tout au long de son cycle de vie, de la planification et de la mise en service à la formation, l'exploitation, la maintenance et l'extension future.

Un projet PCS7 se compose des objets suivants :

- **SIMATIC Manager** : portail d'accès à toutes les autres applications utilisées pour créer un projet PCS7.
- **HW Configuration** : la configuration de l'ensemble du matériel d'une installation.
- **L'éditeur CFC (Continuous Function Chart) et la programmation SFC (Sequential Function Chart)** : La création de diagrammes CFC et de contrôles séquentiels.

3.5.1 Création d'un nouveau projet

Pour créer un nouveau projet sous PCS7, nous pouvons suivre les étapes suivantes :

1. Ouvrez le PCS7 Project Builder (SIMATIC Manager) : lorsque nous ouvrons SIMATIC Manager, nous obtenons cette fenêtre comme indiqué dans la figure 3.14 ci-dessous .

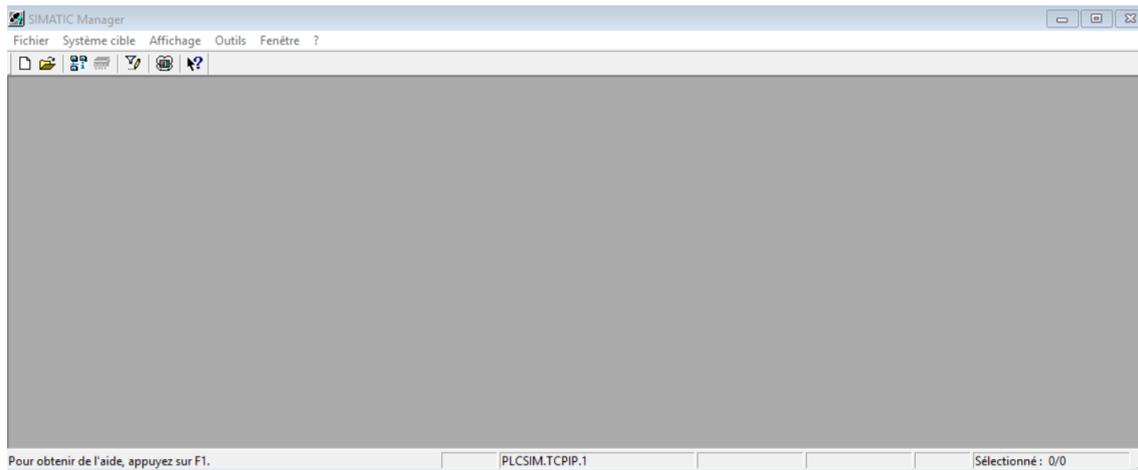


FIGURE 3.14 – Étape 1 de création d'un nouveau projet

2. Cliquez sur "Fichier" dans la barre de menu, puis sélectionnez "Assistant Nouveau Projet" pour créer un nouveau projet (fig 3.15).

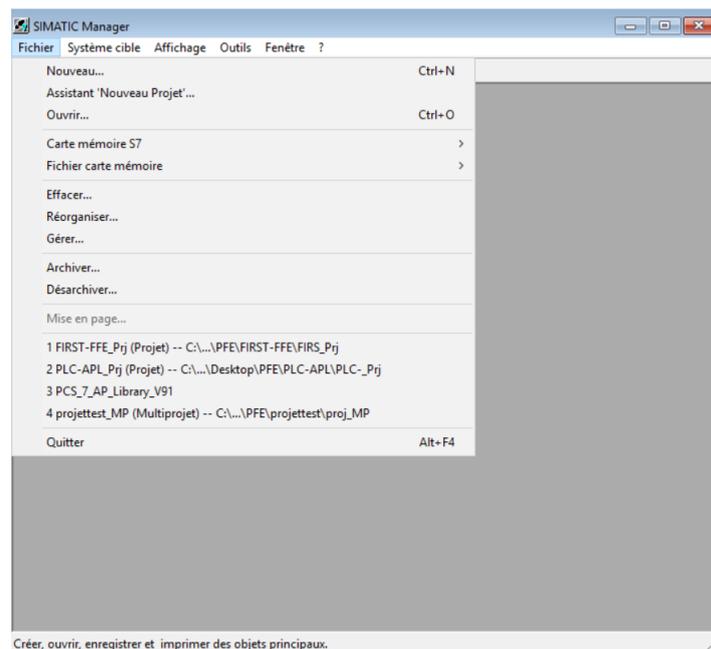


FIGURE 3.15 – Étape 2 de la création d'un projet sous PCS7

Et après ça cette fenêtre va être apparaître (fig 3.16), puis nous cliquons sur "Suivant".

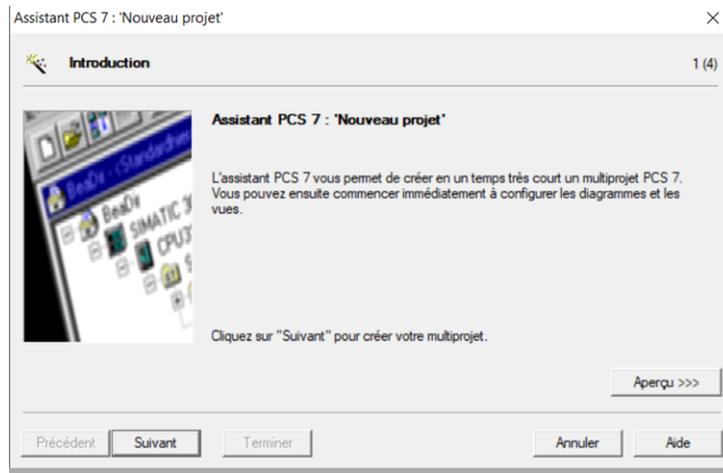


FIGURE 3.16 – L'assistant pcs7 pour la création d'un nouveau projet

3. Choisissez les options que vous souhaitez pour votre nouveau projet et cliquez sur "Suivant", Nous choisissons la CPU 410-5H, le nombre de modules de communication dont nous avons besoin (1), le nombre de niveaux de hiérarchie de la station (Nous en choisissons 4), dans notre cas : pour les objets AS (station d'automatisation), nous sélectionnerons le diagramme CFC et le diagramme SFC et pour les objets Os (station d'opérateur), nous sélectionnerons les objets PCS7 OS, comme indiqué dans la figure ci-dessous (fig 3.17).

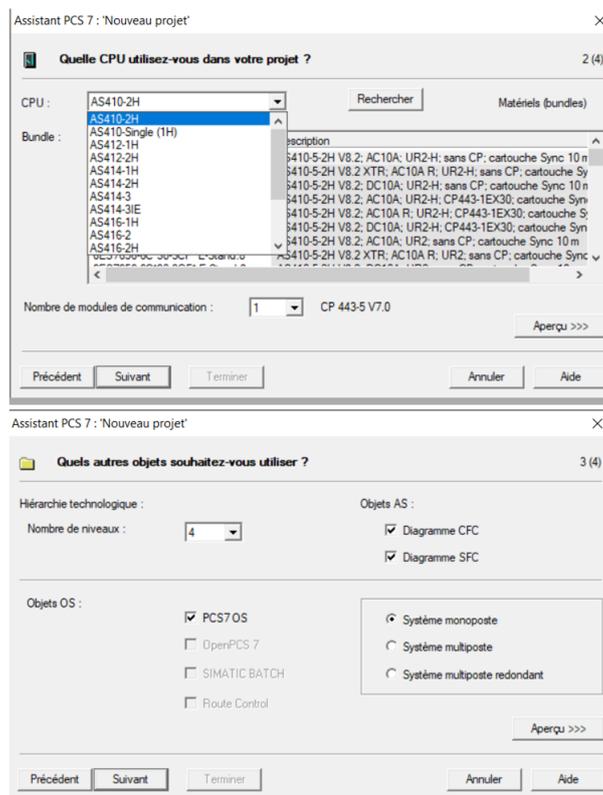


FIGURE 3.17 – Étape 3 de la création d'un nouveau projet sous PCS7

4. Entrez un nom et choisissez l'emplacement pour votre nouveau multi-projets, puis cliquez sur "Suivant".

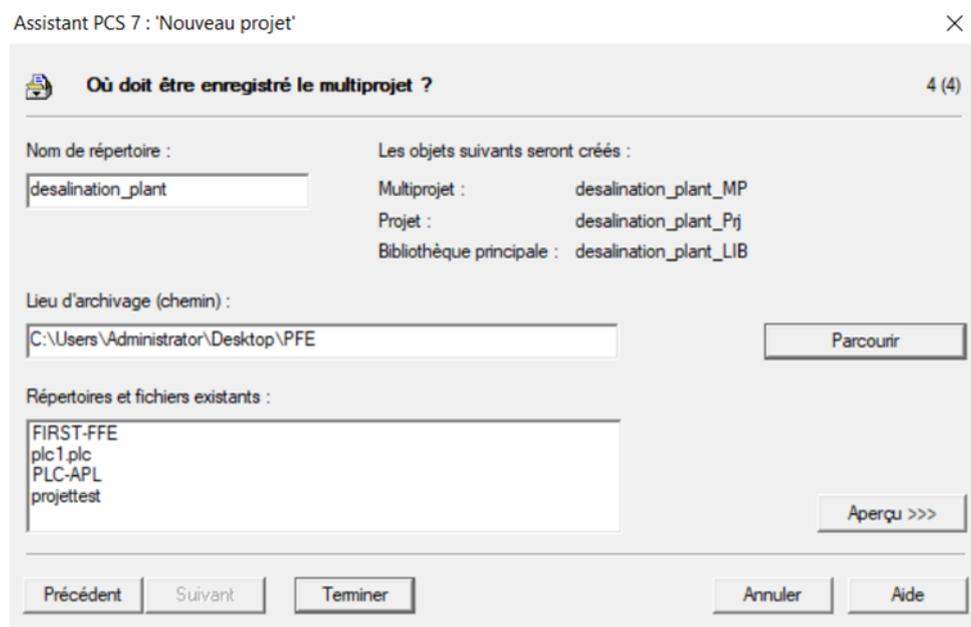


FIGURE 3.18 – Étape 4 de la création d'un nouveau projet sous PCS7

5. Revoir les paramètres de votre nouveau projet (cliquer sur "aperçu") et cliquer sur "Terminer", le projet sera ensuite créé.

3.5.2 Les vues dans SIMATIC Manager

SIMATIC Manager est l'interface de programmation principale de PCS7. Il offre un accès à trois vues différentes, chacune affichant le même ensemble d'objets qui n'existent qu'une seule fois dans le système. Cela permet aux utilisateurs de travailler avec et de manipuler ces objets sous différents angles, en fonction de la tâche à accomplir.

— Vue des Composants

La vue des Composants dans PCS7 offre une représentation graphique des composants physiques qui constituent le système d'automatisation. Cela inclut des équipements tels que des CPUs, des modules d'E/S et des interfaces de communication, ainsi que des topologies de réseau et des connexions entre les équipements. La vue des Composants permet aux utilisateurs de configurer et de gérer les aspects matériels du système, notamment l'ajout ou la suppression d'équipements, la configuration des paramètres de communication et la surveillance de l'état des équipements et des connexions. Elle offre un outil visuel pour concevoir et optimiser la configuration matérielle du système d'automatisation. Dans cette vue vous voyez immédiatement quels blocs et quels diagrammes appartient à quel AS.

— Vue technologique

La vue technologique dans PCS7 est une représentation graphique de la structure hiérarchique de l'installation, qui permet d'organiser l'installation en unités et de visualiser les diagrammes et les images associées. Elle est utile pour gérer les installations grandes et complexes, surveiller l'état de chaque unité et composant, et identifier rapidement et résoudre les problèmes dans l'installation. Dans cette vue vous pouvez diviser de manière claire votre installation en installations partielles

et voir quels diagrammes ou quels synoptiques appartiennent à quel installation partielle.

— Vue d'objets de process

Cette vue affiche des détails sur les objets individuels dans la vue technologique .Elle convient tout particulièrement lorsque vous souhaitez paramétrer, commenter ou connecter de manière similaire une grande quantité d'objets.

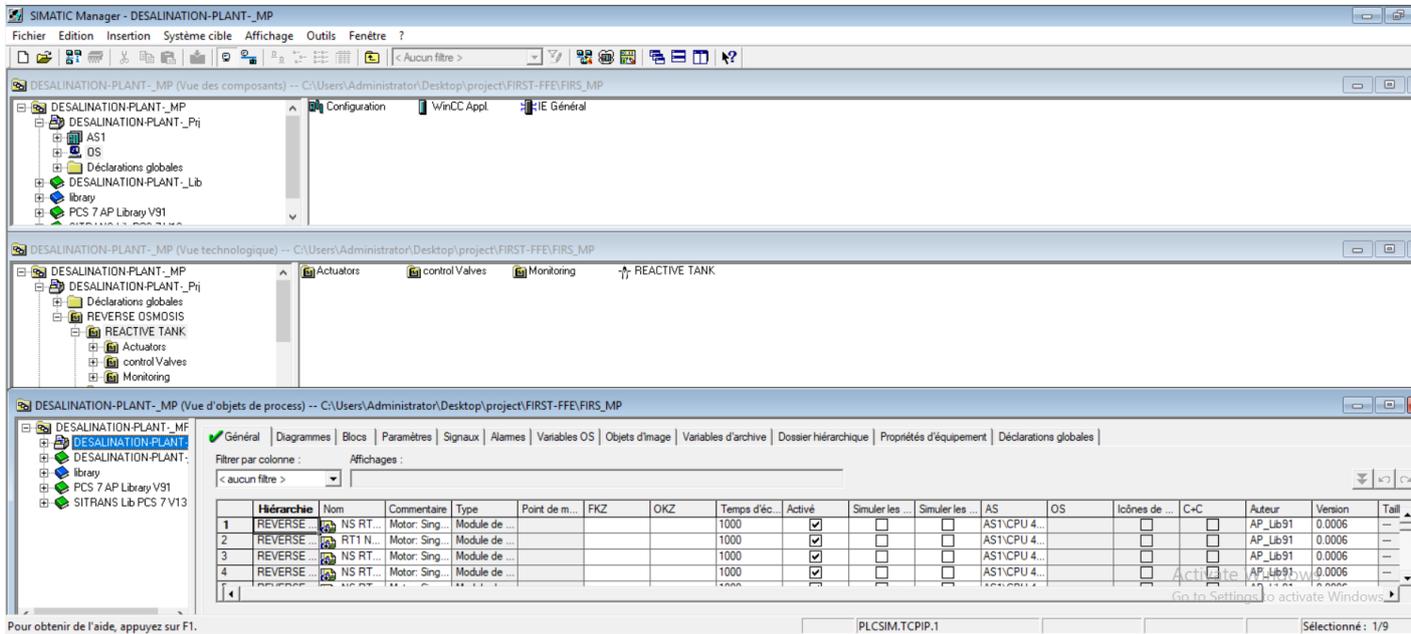


FIGURE 3.19 – Les différentes vues dans SIMATIC Manager

3.5.3 Configuration matérielle de la station AS

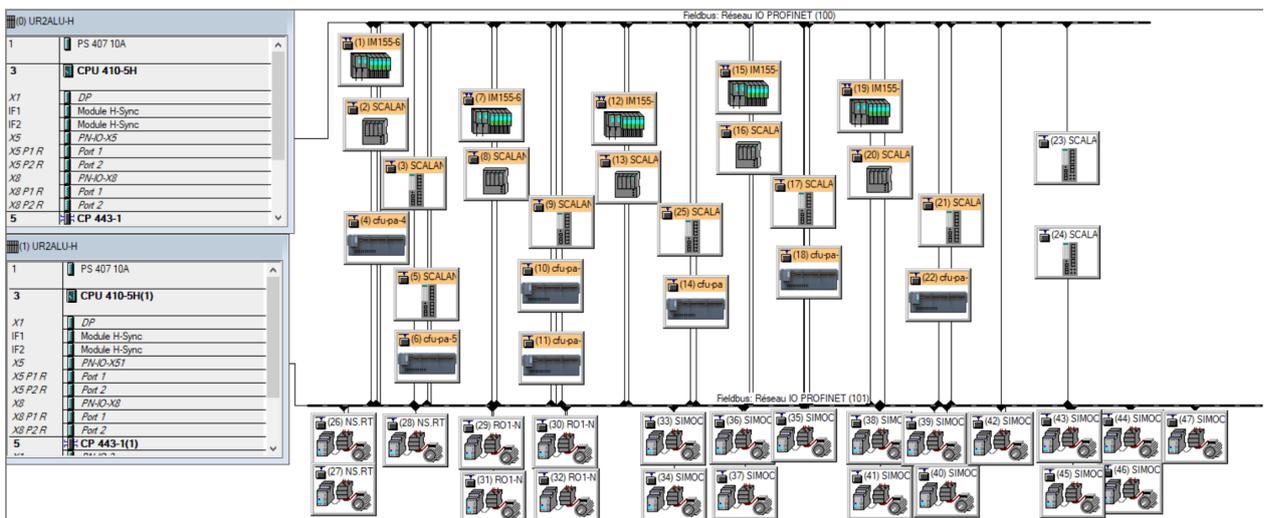


FIGURE 3.20 – Configuration matérielle AS

HW-config est un outil utilisé pour définir les modules implémentés dans une solution d'automatisation, ainsi que les adresses utilisées pour y accéder à partir du programme utilisateur. Il permet également de spécifier les caractéristiques du contrôleur. En somme, HW-config est utilisé pour configurer les éléments matériels et les paramètres nécessaires au bon fonctionnement de la solution d'automatisation.

En nous basant sur la configuration matérielle proposée par Siemens, où ils ont choisi leurs équipements en fonction du nombre total d'entrées et de sorties (E/S) des sous-processus d'Osmose Inverse, nous avons sélectionné les modules suivants :

- Module d'alimentation électrique **AC PS407 10A** avec capacité redondante.
- **5 Modules ET200SP HA** ,tel que Le SIMATIC ET 200SP HA est un système de distribution d'E/S conçu pour l'industrie des procédés. Il offre une haute disponibilité grâce à des connexions PROFINET redondantes, une extension modulaire avec jusqu'à 56 modules d'E/S par station, et une standardisation des signaux. Lorsqu'il est ajouté à un automate existant, il améliore la fiabilité, permet l'ajout de fonctionnalités supplémentaires et simplifie la gestion des câbles. En résumé, le SIMATIC ET 200SP HA est un choix avantageux pour augmenter la performance et la flexibilité d'un automate [22].



FIGURE 3.21 – ET 200SP HA

- **5 Scalance XF 204 2BA** ,tel que le Scalance XF 204 2BA est un commutateur industriel de Siemens, faisant partie de la famille SCALANCE-X. Il offre une connectivité réseau fiable et des performances élevées pour les applications industrielles exigeantes. Ce commutateur possède des fonctionnalités avancées telles que la gestion de réseau, la redondance de liens, la priorisation du trafic et la sécurité des données. Il est conçu pour répondre aux exigences des réseaux industriels et peut être utilisé dans divers secteurs, offrant une connectivité fiable pour les systèmes d'automatisation et les équipements . le Scalance utilisé dans notre configuration dispose de 4 ports. [2] .



FIGURE 3.22 – SCALANCE-XF204-2BA

- **2 Scalance XC206** ,le Scalance XC206 est un commutateur Ethernet industriel conçu pour les environnements industriels exigeants. Il offre des fonctionnalités avancées de gestion de réseau, telles que la redondance des liens, la sécurité des données, la qualité de service et une configuration facile. Ce commutateur répond aux exigences des réseaux industriels et peut être utilisé dans différents secteurs, tels que l'automatisation des processus, la fabrication et les infrastructures d'énergie. Le Scalance XC206 utilisé dans notre configuration dispose de 8 ports RJ45. [2].



FIGURE 3.23 – SCALANCE XC206 EEC

- **6 Scalance XC208G EEC**, le Scalance XC208 est un commutateur manageable de couche 2 conçu spécialement pour les réseaux industriels. Il dispose de 8 ports RJ45 offrant des vitesses de transmission rapides et fiables. Il garantit un niveau élevé de sécurité. Avec son port console et ses LED de diagnostic, sa configuration est aisée et son état est facilement vérifiable. Doté d'une alimentation redondante, il assure une disponibilité optimale. Grâce à ses cartes imprimées vernies, il résiste aux environnements industriels exigeants. Le SCALANCE XC208G EEC est parfaitement adapté aux petits réseaux Industrial Ethernet, offrant une connectivité rapide et sécurisée, même dans des conditions difficiles [2].



FIGURE 3.24 – SCALANCE XC208G EEC

- **7 Compact Field Unit PA**, la SIMATIC Compact Field Unit PA (CFU PA) est une unité de terrain utilisée comme périphérique d'E/S sur le réseau PROFINET IO d'un système d'automatisation. Elle permet des connexions redondantes, cette Compact Field Unit comprend les interfaces suivantes :
 - Des ports de bus de terrain pour les dispositifs de terrain PA (avec possibilité de modifier la configuration en cours d'exécution)
 - Des canaux configurables librement (entrées/sorties TOR pour les capteurs et les actionneurs)

L'adressage automatique des dispositifs de terrain garantit une mise en service efficace, tandis que l'utilisation de profils PA permet un remplacement rapide de ces derniers [23].

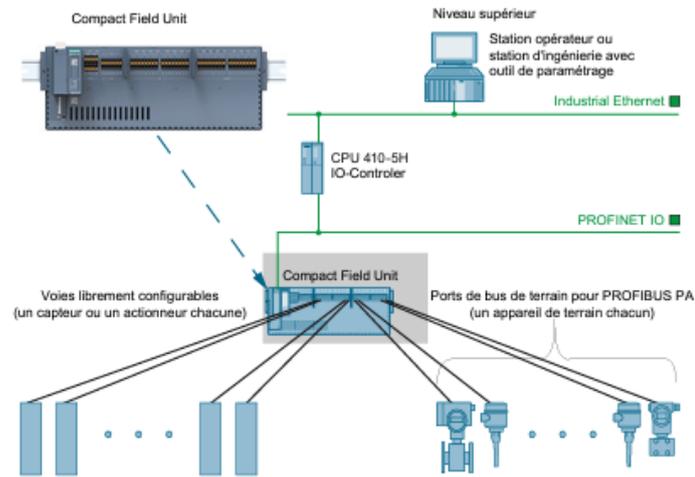


FIGURE 3.25 – Principe de l'intégration d'une CFU dans l'environnement d'automatisation

- **22 SIMOCODE pro V pn**, tel que SIMOCODE pro V pn est un système de gestion et de contrôle flexible et modulaire pour les moteurs basse tension. Il offre une protection complète, des fonctions de surveillance et de contrôle. Il peut être facilement connecté directement aux systèmes d'automatisation via PROFINET / PROFIsafe [24].



FIGURE 3.26 – SIMOCODE pro V pn

Comme nous avons choisi une CPU redondante, nous avons deux racks UR2ALU-H, chacun ayant 9 emplacements. Les cinq premiers emplacements sont réservés pour des modules spécifiques.

Module	Emplacement	Syntaxe	Référence
Alimentation	1	PS 407 10A	6ES7 407-0KR02-0AA1
CPU	3	CPU 410-5H	6ES7 410-5H X08-0AB0/V8.2
CP	5	CP 443-1	6GK7 443-1 EX30 0XE0/V3.0

TABLEAU 3.4 – Configuration matérielle de l'automate S7400 [2]

La CPU 410-5H : La CPU 410-5H Process Automation est un contrôleur de dernière génération spécifiquement conçu pour le système de contrôle SIMATIC PCS 7 [25]. la CPU 410-5H qu'on a choisi présente les caractéristiques suivantes :

- Haute disponibilité et capacité de sécurité renforcée. Contrôleur adapté à tous les secteurs de l'industrie des procédés.
- Performances correspondantes à la carte d'extension du système (100 à environ 2600 objets de processus ou 4 à 32 Mo de mémoire de travail, 2048 à 16384 octets d'E/S).
- 9 tâches de processus, pouvant être configurées individuellement à partir de 1 ms.
- Temps moyen de traitement des fonctionnalités typiques de PCS 7, 110 microsecondes ou temps de traitement de commande typique de 7,5 ns.
- 48 Mo de mémoire de charge intégrée.
- 1 * DP, 2 * PN et 2 emplacements pour modules Sync.
- Contrôleurs PROFINET IO.
- 2 interfaces PROFINET et 2 ports chacun.

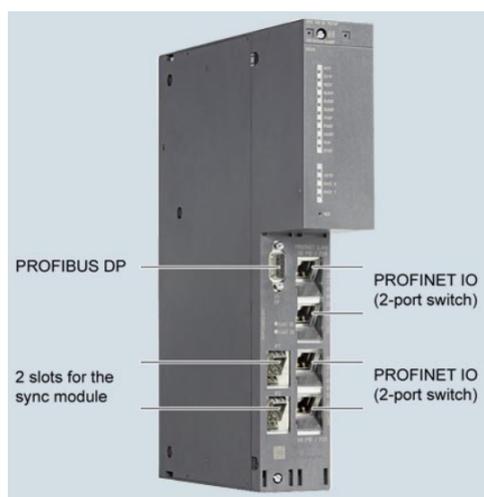


FIGURE 3.27 – CPU 410-5H

Pour connecter la CPU redondante (410-5H) aux modules d'E/S (ET200SP HA ,CFU ...etc), nous avons utilisé le bus de terrain Profinet.

CP 443-1 : Le module CP443-1 de la gamme SIMATIC NET est une solution de communication polyvalente et performante. Il est doté de deux ports RJ-45 prenant en charge des vitesses de transfert de 10/100 Mbps, avec une fonctionnalité intégrée de commutation industrielle (IE SWITCH). Le CP443-1 prend en charge plusieurs protocoles de communication [2] . Grâce à ces caractéristiques, le CP443-1 permet une intégration flexible et sécurisée dans les systèmes d'automatisation industrielle. Ainsi que le CP443-1 assure la connectivité entre les différentes stations OS et AS.



FIGURE 3.28 – CP443-1

3.5.4 Configuration de la station d'opérateur OS " Operator Station "

La station d'opérateur est responsable de la supervision et de la gestion du contrôle-commande de l'installation tout au long du processus en cours de fonctionnement.

La configuration de l'ordinateur dans PCS7 peut être effectuée en utilisant la station d'ingénierie (ES) en tant que PC local en suivant la procédure suivante :

1. Dans l'arborescence du projet, sélectionnez "ENG" dans la vue détaillée.
2. Choisissez la commande de menu "Édition" et sélectionnez "Ouvrir objet". Cela ouvrira la fenêtre HW .
3. Dans la fenêtre HW, sélectionnez le CP à partir du "Catalogue du matériel" suivant : Station PC Simatic > CP industriel Ethernet > General IE > SW6.2 SP1.
4. Après avoir choisi le CP, sélectionnez la commande de menu "Station" et choisissez "Enregistrer et compiler" [26].

Ces étapes permettent de configurer l'ordinateur à l'aide de PCS7 en utilisant la station d'ingénierie en tant que PC local .

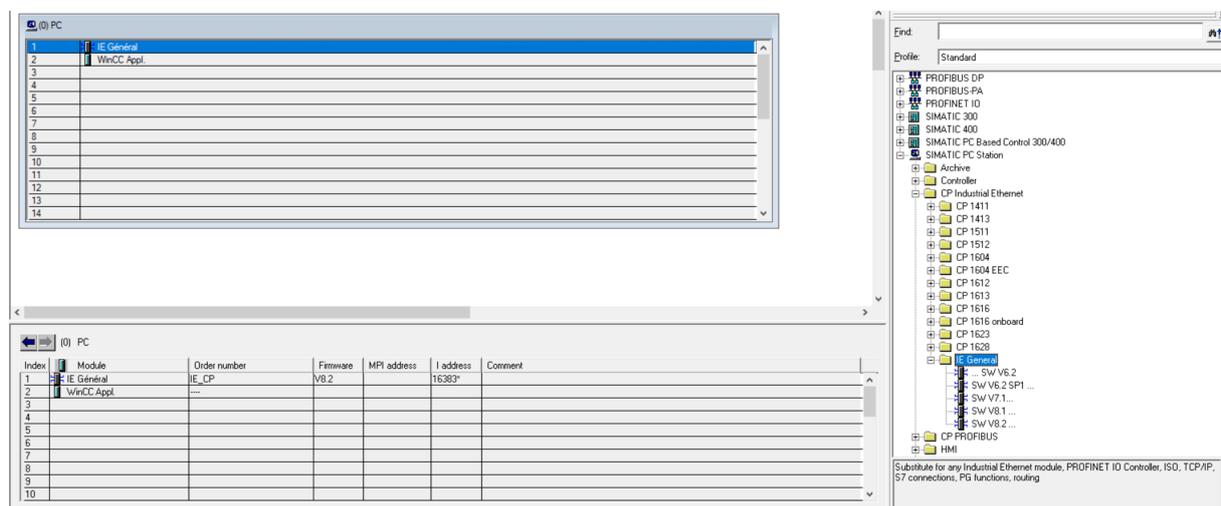


FIGURE 3.29 – Configuration de l'OS

3.5.5 Configuration des connexions réseaux

La configuration du réseau (Net Pro) permet de définir le type de liaison entre les différentes stations, notamment la station AS, la station Simatic PC, ainsi que les composants utilisés dans la configuration matérielle (ET200SP HA, SCALANCE XF 204, SCALANCE XC208, SCALANCE XC206 et CFU-PA).

Dans notre cas, la communication entre la station AS et la station Simatic PC (Wincc) se fait par Ethernet industriel. De plus, la communication entre les différents composants (ET200SP HA, SCALANCE XF 204, SCALANCE XC208, SCALANCE XC206 et CFU-PA) et la station "AS" se fait par le protocole Profnet industriel Ethernet.

Table Edition Insertion Affichage Outils Fenêtre ?					
Tous les mnémoniques					
	Etat	Mnémonique /	Opérande	Type de do	Commentaire
54		high RT1 LSA 04	IB 750	BYTE	High level Reactive tank
55		HP1TIRA01	W 65	WORD	Temperature High pressure pumps
56		HP1TIRA02	W 67	WORD	Temperature High pressure pumps
57		HP1TIRA03	W 69	WORD	Temperature High pressure pumps
58		HP1TIRA04	W 71	WORD	Temperature High pressure pumps
59		HP1TIRA05	W 73	WORD	Temperature High pressure pumps
60		HP1TIRA06	W 75	WORD	Temperature High pressure pumps
61		HP1TIRA07	W 77	WORD	Temperature High pressure pumps
62		HP1TIRA08	W 79	WORD	Temperature High pressure pumps
63		HP1TIRA09	W 81	WORD	Temperature High pressure pumps
64		HP1TIRA10	W 83	WORD	Temperature High pressure pumps
65		HP1TIRA11	W 85	WORD	Temperature High pressure pumps
66		HP1TIRA12	W 87	WORD	Temperature High pressure pumps
67		HP1TIRA13	W 89	WORD	Temperature High pressure pumps
68		HP2 TIRA 01	W 512	WORD	Temperature High pressure Pumps
69		HP2 TIRA 02	W 514	WORD	Temperature High pressure Pumps
70		HP2 TIRA 03	W 516	WORD	Temperature High pressure Pumps
71		HP2 TIRA 04	W 518	WORD	Temperature High pressure Pumps
72		HP2 TIRA 05	W 520	WORD	Temperature High pressure Pumps
73		HP2 TIRA 06	W 522	WORD	Temperature High pressure Pumps
74		HP2 TIRA 07	W 524	WORD	Temperature High pressure Pumps
75		HP2 TIRA 08	W 526	WORD	Temperature High pressure Pumps
76		HP2 TIRA 09	W 528	WORD	Temperature High pressure Pumps
77		HP2 TIRA 10	W 530	WORD	Temperature High pressure Pumps
78		HP2 TIRA 11	W 532	WORD	Temperature High pressure Pumps
79		HP2 TIRA 12	W 534	WORD	Temperature High pressure Pumps
80		HP2 TIRA 13	W 536	WORD	Temperature High pressure Pumps
81		HP3 TIRA 01	W 546	WORD	Temperature High pressure Pumps
82		HP3 TIRA 02	W 548	WORD	Temperature High pressure Pumps
83		HP3 TIRA 03	W 550	WORD	Temperature High pressure Pumps
84		HP3 TIRA 04	W 552	WORD	Temperature High pressure Pumps
85		HP3 TIRA 05	W 554	WORD	Temperature High pressure Pumps
86		HP3 TIRA 06	W 556	WORD	Temperature High pressure Pumps
87		HP3 TIRA 07	W 558	WORD	Temperature High pressure Pumps
88		HP3 TIRA 08	W 560	WORD	Temperature High pressure Pumps
89		HP3 TIRA 09	W 562	WORD	Temperature High pressure Pumps
90		HP3 TIRA 10	W 564	WORD	Temperature High pressure Pumps
91		HP3 TIRA 11	W 566	WORD	Temperature High pressure Pumps

FIGURE 3.31 – Partie de la liste de la table des mnémoniques

3.6 Conclusion

Ce chapitre offre une vue d'ensemble complète de notre approche automatisée visant à garantir l'efficacité et la fiabilité du processus de dessalement par osmose inverse. Dans ce chapitre, nous avons présenté de manière générale le système de contrôle distribué (DCS) et son architecture. Nous avons également abordé l'analyse fonctionnelle de la partie dédiée à l'osmose inverse afin de développer une solution programmable de commande et de supervision intégrée au système DCS. Enfin, nous avons expliqué la configuration matérielle utilisée dans notre projet.

4.1 Introduction

Dans ce chapitre, nous nous concentrons sur deux aspects essentiels : la programmation et la supervision de la station. Tout d'abord, nous aborderons les étapes de programmation conformément aux spécifications détaillées mentionnées dans le chapitre précédent. Pour cela, nous utiliserons des méthodes telles que la CFC (Continuous Function Chart) et la SFC (Sequential Function Chart) afin de créer une logique claire et structurée pour le fonctionnement de la station.

Une fois la programmation terminée, nous nous concentrerons sur la supervision du système. Nous utiliserons le logiciel WinCC Explorer pour mettre en place une interface de supervision .

4.2 Programmation avec PCS7

Le développement du programme s'effectue principalement dans la vue technologique du Simatic Manager. Une fois que le matériel utilisé a été configuré et que toutes les variables d'entrées et de sorties ont été éditées, nous procédons au développement du programme.

4.2.1 Création des dossiers hiérarchiques

La structure hiérarchique du projet représente la partie d'osmose inverse de la station de dessalement, qui comprend les dossiers suivants :

- "HIGH PRESSURE PUMPS" (pompes à haute pression).
- "REVERSE OSMOSIS RACKS" (racks d'osmose inverse).
- "REACTIVE TANK" (réservoir réactif).

Chacun de ces dossiers contient d'autres dossiers hiérarchiques et des diagrammes CFC et CM.

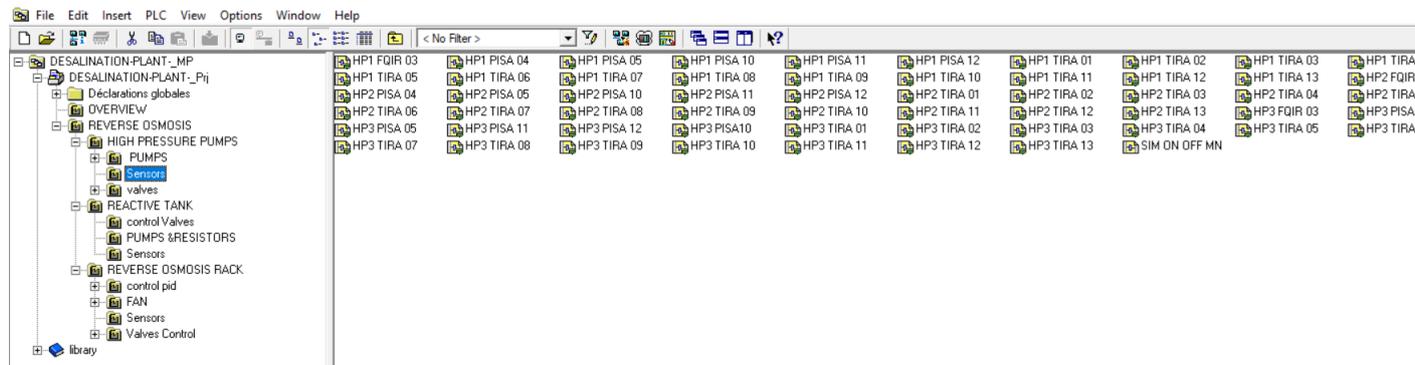


FIGURE 4.1 – Les dossiers hiérarchiques et les blocs CM des capteurs du sous-processus des pompes à haute pression

4.2.2 Éditeur CFC

L'éditeur CFC (Continuous Function Chart) est un outil de configuration graphique et de mise en service essentiel. Il offre la possibilité de placer, paramétrer et interconnecter des instances de différents types de blocs fonctionnels. De plus, il joue un rôle important dans le chargement des programmes utilisateurs.

Ce puissant éditeur CFC prend en charge les modules de logiciel standardisés suivants :

- Type de bloc fonctionnel.
- Type de point de mesure.
- Type de module de commande [25].

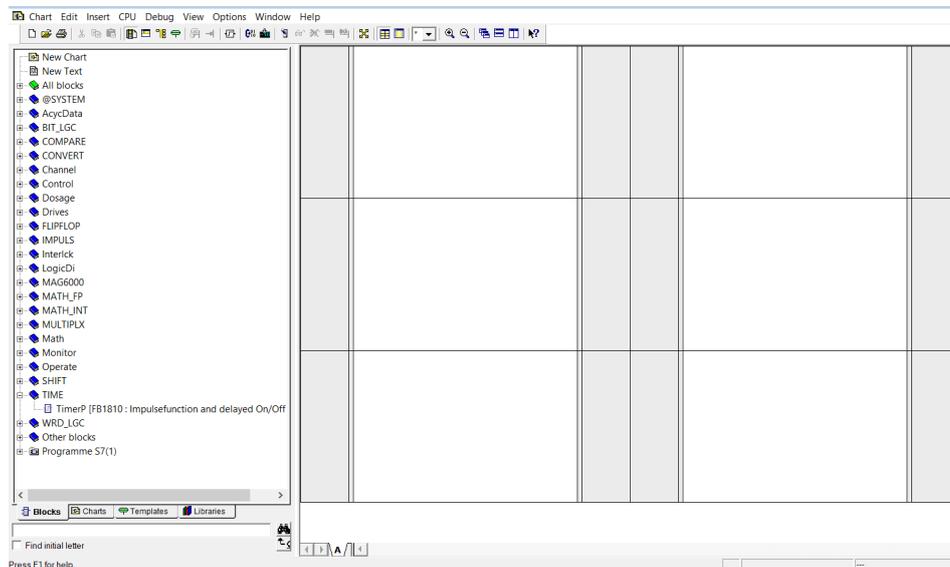


FIGURE 4.2 – L'éditeur CFC

Programmation en utilisant l'éditeur CFC

Type de module de commande (CMT)

Type de module de commande (CMT) est un bloc de programmation spécifique qui est configuré pour une fonction de commande spécifique dans l'automatisation de base d'une installation de génie des procédés. À l'aide du système d'ingénierie avancée ou de l'éditeur CFC, des instances des modules de commande (CM) peuvent être créées à partir du type de module de commande (CMT) [26].

Création de CM à partir de CMT sur PCS7

La création des modules de commande (CM) à partir des types de modules de commande (CMT) dans PCS7 se fait à travers les étapes suivantes :

A. Étape 1 : Création du CMT

1. Définissez les entrées et sorties requises.
2. Placez, paramétrez et interconnectez les blocs fonctionnels correspondant à chaque type de module de commande (CMT) ou insérez un CMT à partir des bibliothèques existantes dans PCS7 (APLPCS7V9.1).
3. Compilez et enregistrez le CMT dans la bibliothèque de votre projet.

B. Étape 2 : Création des CM

1. Accédez à la bibliothèque de votre projet (où vous avez créé ou inséré des CMT) et sélectionnez le CMT nécessaire pour votre application.
2. Faites glisser le CMT dans l'aire de travail (dans un dossier hiérarchique).
3. Configurez les paramètres et les fonctionnalités spécifiques de chaque module de commande (CM) en fonction des besoins du système.
4. Personnalisez le CM en ajoutant des blocs fonctionnels ou des sous-graphiques spécifiques pour répondre aux besoins de contrôle précis de votre système. Utilisez les fonctionnalités de l'éditeur CFC pour configurer et interconnecter ces composants.
5. Une fois la configuration terminée, compilez et validez le CM pour vous assurer qu'il fonctionne correctement.

L'utilisation de CMT offre les avantages suivants :

- Réduction des efforts de test (test basé sur le type).
- Planification de projet plus rapide grâce à l'instanciation.
- Réduction des efforts de maintenance pour les bibliothèques.
- Suivi des changements en détectant les écarts sur l'instance.

Les différents types de module de commande créés pour notre projet

1. AnalogMonitoring (Surveillance analogique)

Le module de contrôle de type "AnalogMonitoring" est utilisé pour surveiller une mesure analogique (configurée pour recevoir des données de type "word").

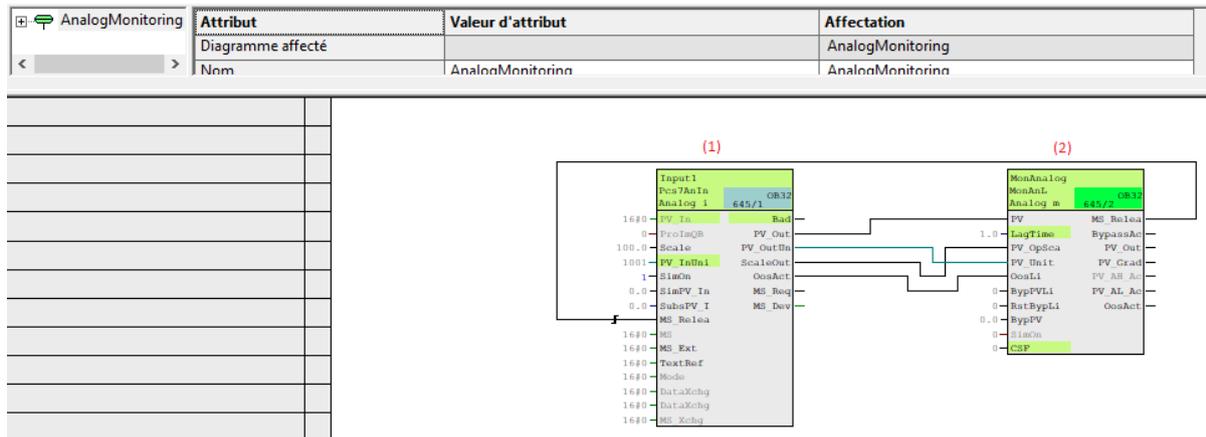


FIGURE 4.3 – CMT-AnalogMonitoring

Les blocs présents dans la figure représentent [2] :

(1) : "Pcs7AnIn" permet le :

- Traitement du signal (service cyclique) selon le profil "Transmitter" de PROFIBUS PA d'une valeur d'entrée analogique.
- Traitement des voies d'entrée redondantes.

Ce bloc est configuré pour accepter une entrée de type "WORD".

(2) : "MonAnL" permet la :

- surveillance d'une valeur de processus analogique.
- surveillance des pentes d'une valeur de processus analogique.

Dans l'exemple de notre application, on a utilisé ce type de module de commande (CMT) pour ces différentes mesures analogiques :

- HPX TIRA 01
- HPX TIRA 02
- HPX TIRA 03
- HPX TIRA 04
- HPX TIRA 05
- HPX TIRA 06
- HPX TIRA 07
- HPX TIRA 08
- HPX TIRA 09
- HPX TIRA 10
- HPX TIRA 11
- HPX TIRA 12
- HPX TIRA 13
- AIR RO1-2 05
- AIR RO1 12
- AIR RO1 13
- AIR RT1 08

Prenons l'exemple de la figure 4.4, qui représente le CM de la température HP1 TIRA 01. Nous avons personnalisé ce CM en connectant PV-IN du bloc PCS7AnIn au signal d'entrée "Temperature HP1 TIRA 01". Nous avons défini l'unité de mesure analogique à surveiller en modifiant la valeur du PV-InUnit du PCS7AnIn à 1001 (ce code indique l'unité Degré Celsius °C). De plus, nous avons activé la simulation en attribuant la valeur 1 à la variable SimOn.

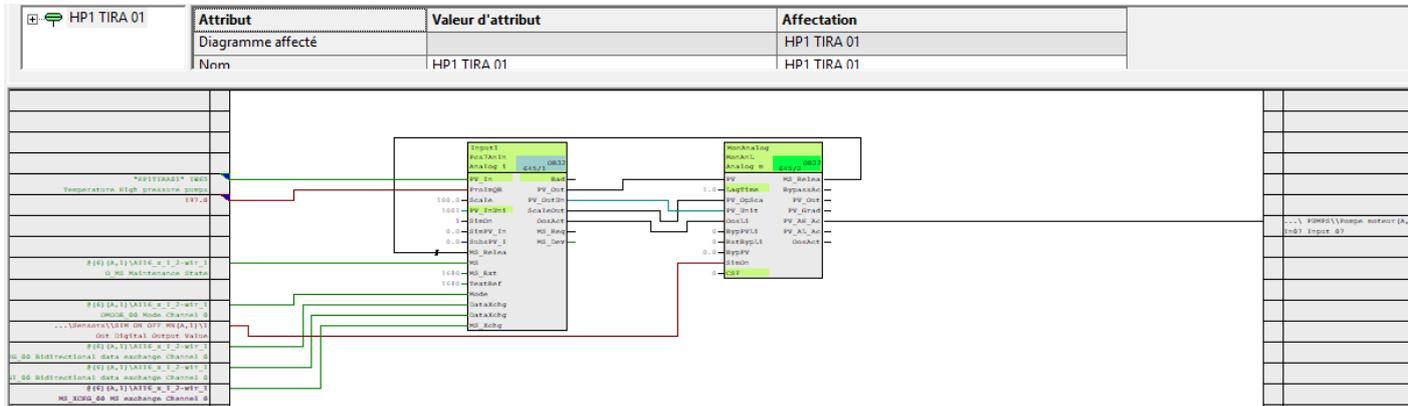


FIGURE 4.4 – CM de la température HP1 TIRA 01

2. AnalogMonitoring Fb

Le module de contrôle de type "AnalogMonitoring Fb" est utilisé pour surveiller une mesure analogique (configurée pour recevoir des données de type "Réel").

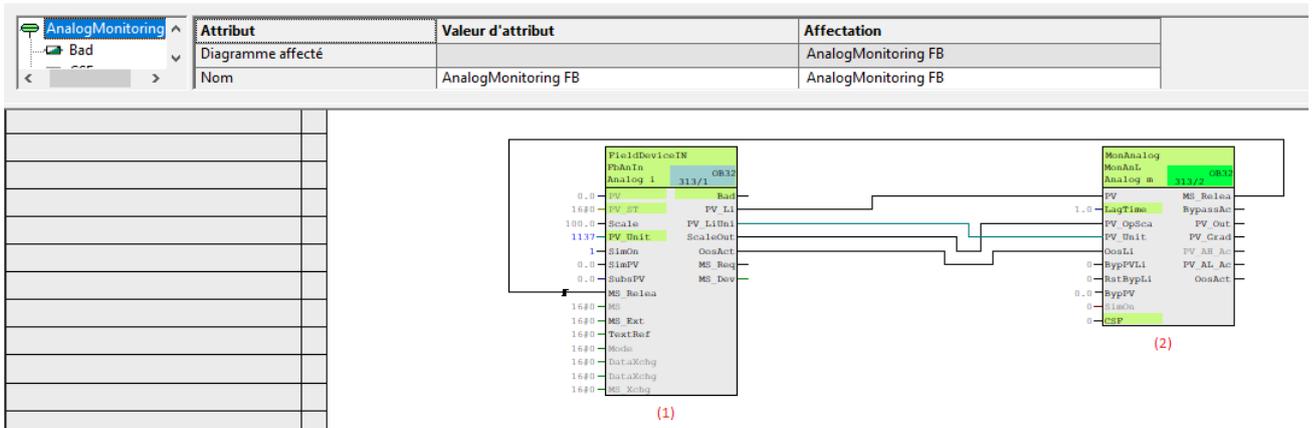


FIGURE 4.5 – CMT - AnalogMonitoring Fb

Les blocs présents dans la figure représentent[2] :

- (1) : "FbAnIn" permet le :
 - Traitement du signal (service cyclique) selon le profil "Transmitter" de PRO-FIBUS PA d'une valeur d'entrée analogique.
 - Traitement des voies d'entrée redondantes.

Ce bloc est configuré pour accepter une entrée de type "REAL".

- (2) : "MonAnL" permet la :
 - surveillance d'une valeur de processus analogique.
 - surveillance des pentes d'une valeur de processus analogique.

Dans l'exemple de notre application, on a utilisé ce type de module de commande (CMT) pour ces différentes mesures analogiques de type "Réel" :

- HPX FQIR 03
- HPX PISA 04
- HPX PISA 05
- HPX PISA 10
- HPX PISA 11
- HPX PISA 12
- PISA RO1-2 01
- PDIRA RO1-2 02
- PI RO1-2 03
- FQIR RO1-2 04

- TSA RO1 14
- TSA RO1 15
- FQIR RT1 16
- PDIRA RT1 17
- PISA RT1 14
- PISA RT1 15
- TI RT1 09
- TISA RT1 11

Prenons l'exemple de la figure 4.6 qui représente le CM PISA RO1 01. Nous avons personnalisé ce CM de la même manière que le CM précédent. Nous avons connecté l'entrée Pv-In du bloc PCS7AnIn à l'entrée du transmetteur de pression ("Pressure RO1 PISA01" du SITRANS PD SII). Nous avons mis la valeur simon à 1 pour les deux blocs, et nous avons changé la valeur de PV-Unit à 1137 (ce code indique l'unité de bars).

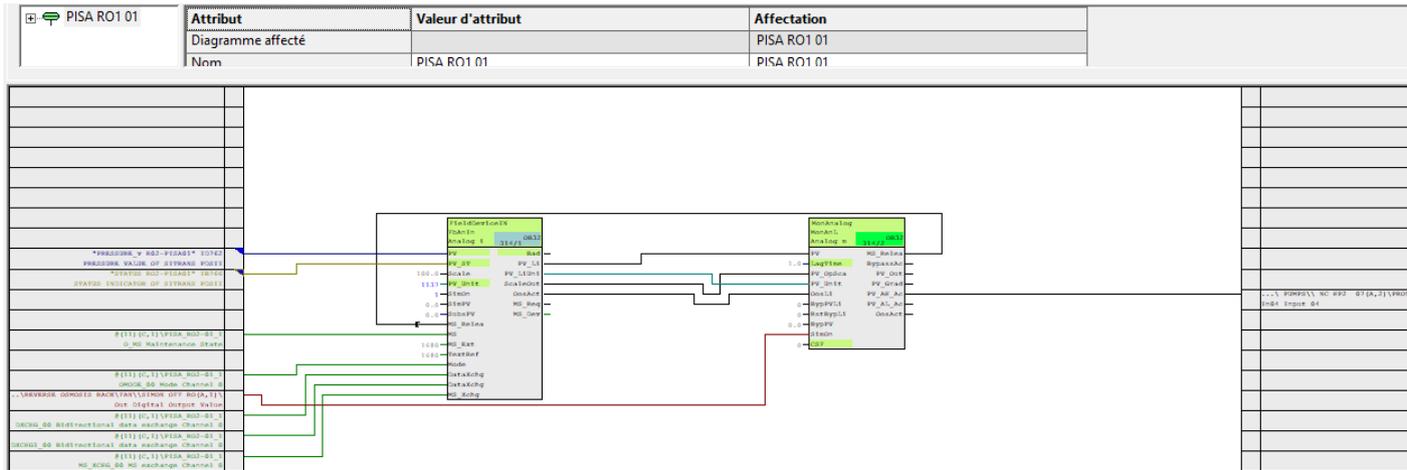


FIGURE 4.6 – CM PISA RO1 01

De plus, nous avons configuré les limites suivantes pour PV AH lim, PV WH lim, PV TH lim, PV TL lim, PV WL lim et PV AL lim :

21	PV_AH_Lim	IN	REAL	90.0
22	PV_WH_Lim	IN	REAL	88.0
23	PV_TH_Lim	IN	REAL	87.0
24	PV_TL_Lim	IN	REAL	83.0
25	PV_WL_Lim	IN	REAL	81.0
26	PV_AL_Lim	IN	REAL	80.0

FIGURE 4.7 – Les limites de PISA RO1 01 en bars

3. DigitalMonitoring (surveillance numérique)

Le module de contrôle de type "DigitalMonitoring" est utilisé pour surveiller une mesure numérique .

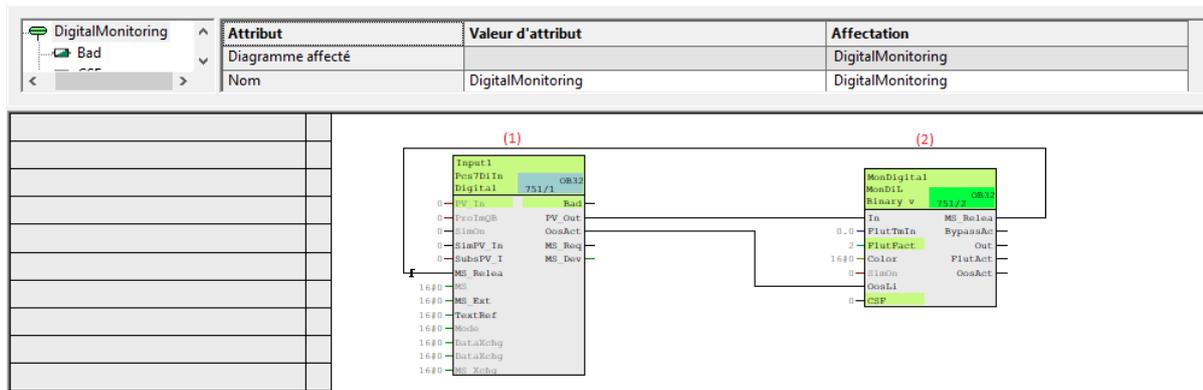


FIGURE 4.8 – Bloc CMT de DigitalMonitoring

Les blocs présents dans la figure représentent[2] :

(1) : "Pcs7DiIn" permet le :

- Traitement du signal d'une valeur d'entrée TOR d'un module d'entrées TOR SM S7-300/400.
- Traitement des voies d'entrée redondantes.

Ce bloc est configuré pour accepter une entrée de type "BOOL".

(2) : "MonDiL" permet la :

- Surveillance d'un point de mesure TOR.

Les mesures numériques suivantes sont de type "DigitalMonitoring" :

- ZIS RO1-2 1
- ZIS RO1-2 2
- LSA RT1 04
- LSA RT1 05
- LSA RT1 06
- PSA RT1 18
- NS RT1 01
- NS RT1 02
- NS RT1 03

Prenons l'exemple de la figure 4.9, qui représente le CM NS RT1 01 (la 1ère résistance de chauffe d'eau). Nous avons configuré les entrées du bloc PCS7DiIn (PV-In et SimOn) et nous avons ajouté le bloc fonctionnel "RS FF" (Bascule RS) pour répondre aux spécifications du cahier des charges. Selon le cahier des charges, la résistance NS RT1 01 s'active dès que LSA RT1 04 est activé et se désactive lorsque la température indiquée par TISA RT1 11 atteint 45 °C (PV AH de TISA RT1 11 est active).

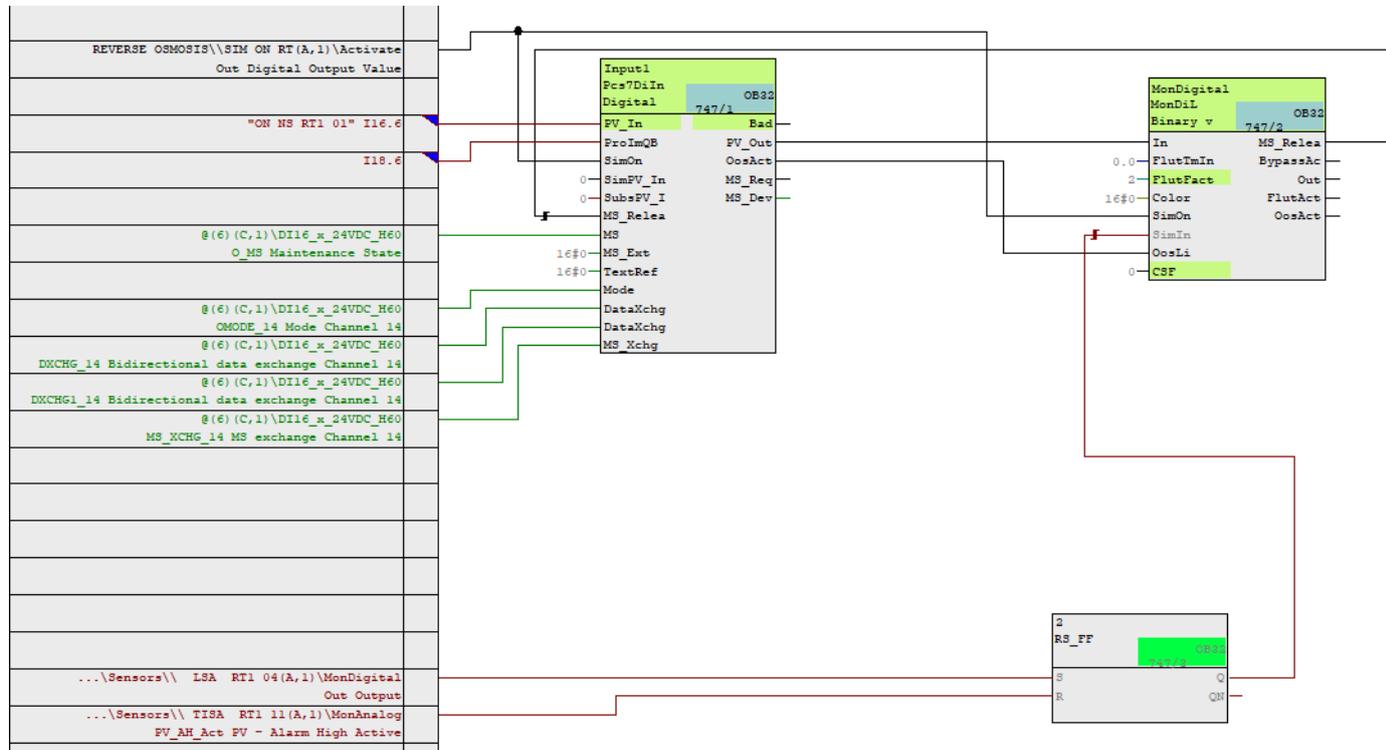


FIGURE 4.9 – CM NS RT1 01

4. PID

Ce module de contrôle de type est un régulateur proportionnel intégral dérivé avec une sortie de signal continue (variable manipulée).

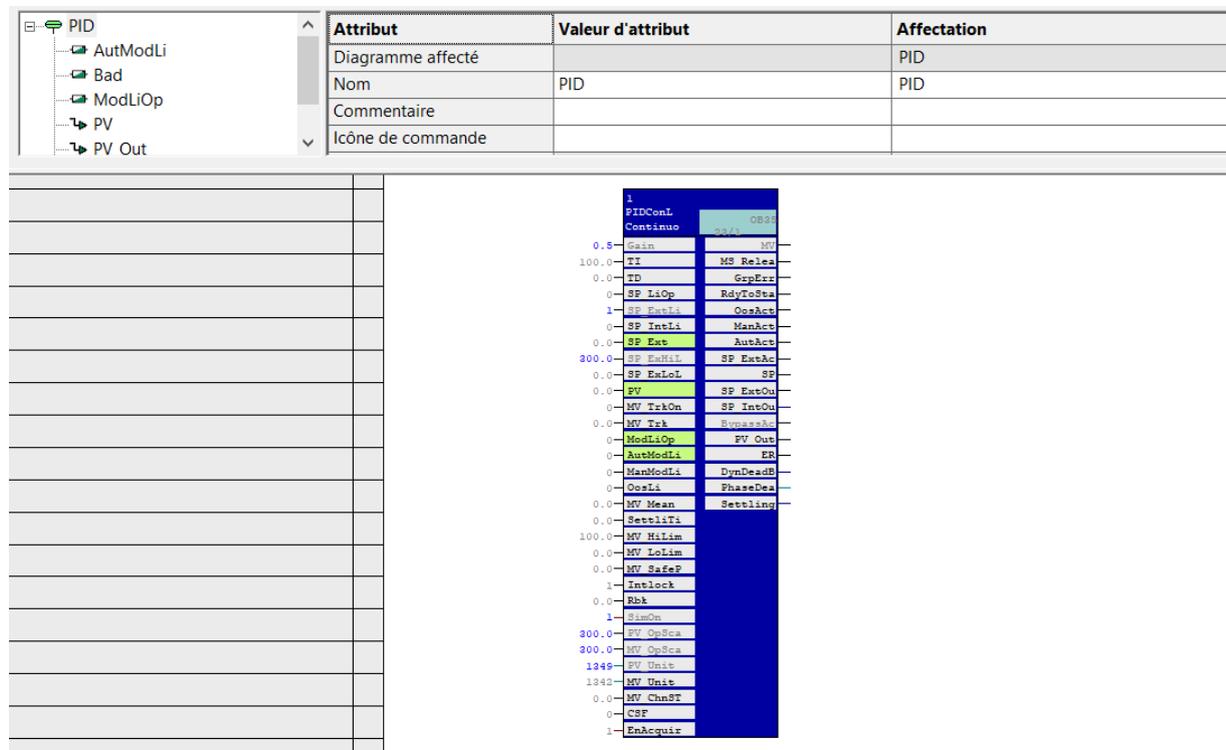


FIGURE 4.10 – CMT - PID

Les régulateurs PID utilisés contrôlent l'ouverture de la vanne YIRC RO1-2 06 .
 Les CM suivants sont de type "PID" :

- PID FY RO1 (régule l'ouverture de la vanne YIRC RO1 06)
- PID FY RO2 (régule l'ouverture de la vanne YIRC RO2 06)

Prenons l'exemple de la figure 4.11, qui représente le CM PID FY RO1 responsable de la régulation de la vanne YIRC RO1 06. Nous avons configuré les entrées du bloc PIDConL (kp=0.5, Ti=100, Td=0) en utilisant la méthode de Ziegler-Nichols afin de régler les valeurs du régulateur PID. De plus, pour améliorer la performance de la régulation, nous avons ajouté un filtre passe-bas, également connu sous le nom de bloc Smooth, pour atténuer les variations rapides indésirables dans le signal de commande.

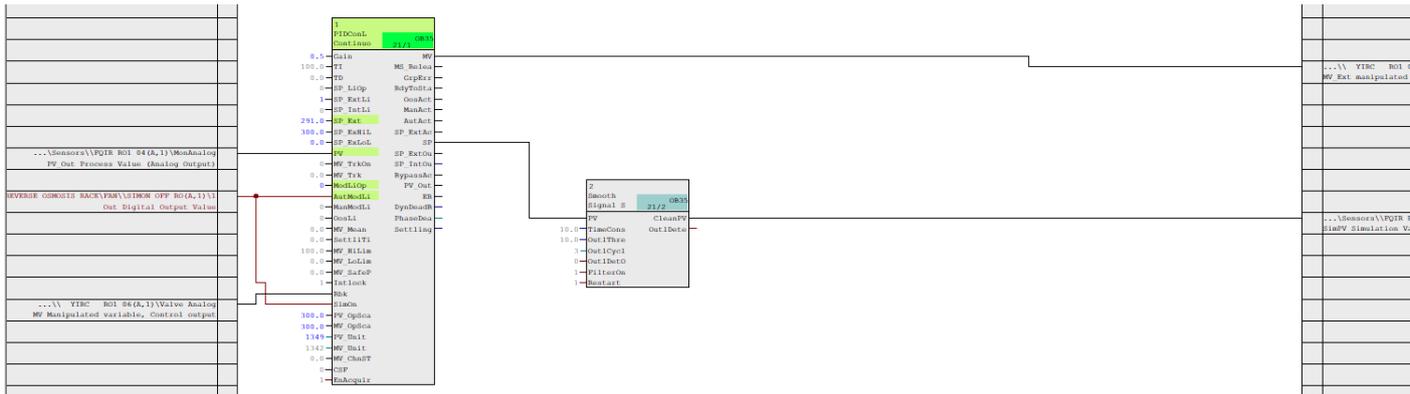


FIGURE 4.11 – CM PID FY RO1

5. Pompe motorisée

Le module de contrôle de type "Pompe moteur" est utilisé pour la mise en marche du moteur des pompes à haute pression.

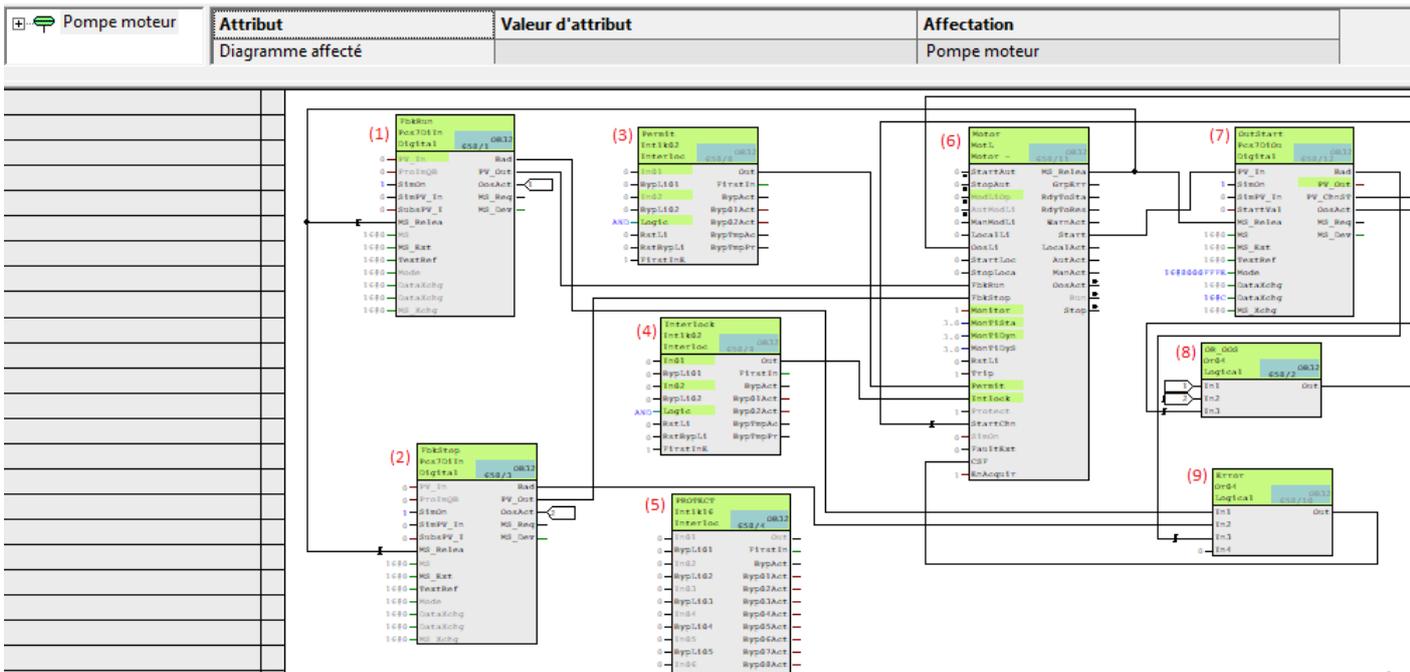


FIGURE 4.12 – CMT - Pompe Moteur

Les blocs présents dans la figure représentent[2] :

(1-2) : "Pcs7DiIn" permet le :

- Traitement du signal d'une valeur d'entrée TOR d'un module d'entrées TOR SM S7-300/400.
- Traitement des voies d'entrée redondantes.

Ce bloc est configuré pour accepter une entrée de type "BOOL".

(3-4-5) : "Intlk" permet le :

- verrouillage standardisé avec affichage.

(6) : "MotL" permet :

- Commande de moteurs avec un signal de commande.

(7) : "Pcs7DiOu" permet le :

- Traitement de signal d'une valeur de sortie TOR de modules de sorties TOR SM S7-300/400.
- Traitement des voies de sortie redondantes

(8-9) : "OR08" permet :

- La formation d'un signal de sortie OR- à partir de 8 valeurs d'entrée binaires.

Dans l'exemple de notre application, on a utilisé ce type de module de commande (CMT) pour les moteurs suivants :

- NC HPX 07
- NS RT1 13
- NS RT1 12

Prenons comme exemple des figures 4.13, 4.14, 4.15 qui représentent le CM NC HP1 01, nous avons personnalisé ce CM en connectant le PV-IN du bloc FbkRun PCS7AnIn Digital au signal d'entrée "RUN NC HP1 07", ainsi que le PV-IN du bloc FbkStop PCS7AnIn Digital au signal d'entrée "STOP NC HP1 07". De plus, nous avons activé la simulation en attribuant la valeur 1 à la variable SimOn.

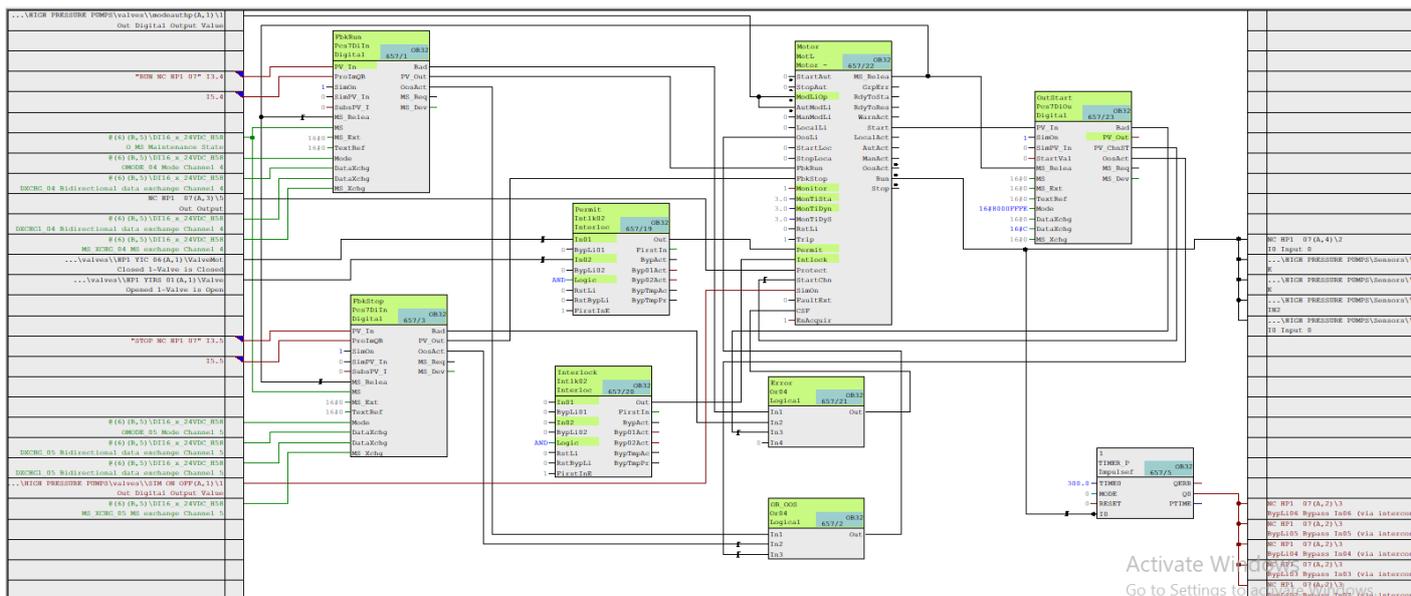


FIGURE 4.13 – CM NC HP1 07 - vue 1

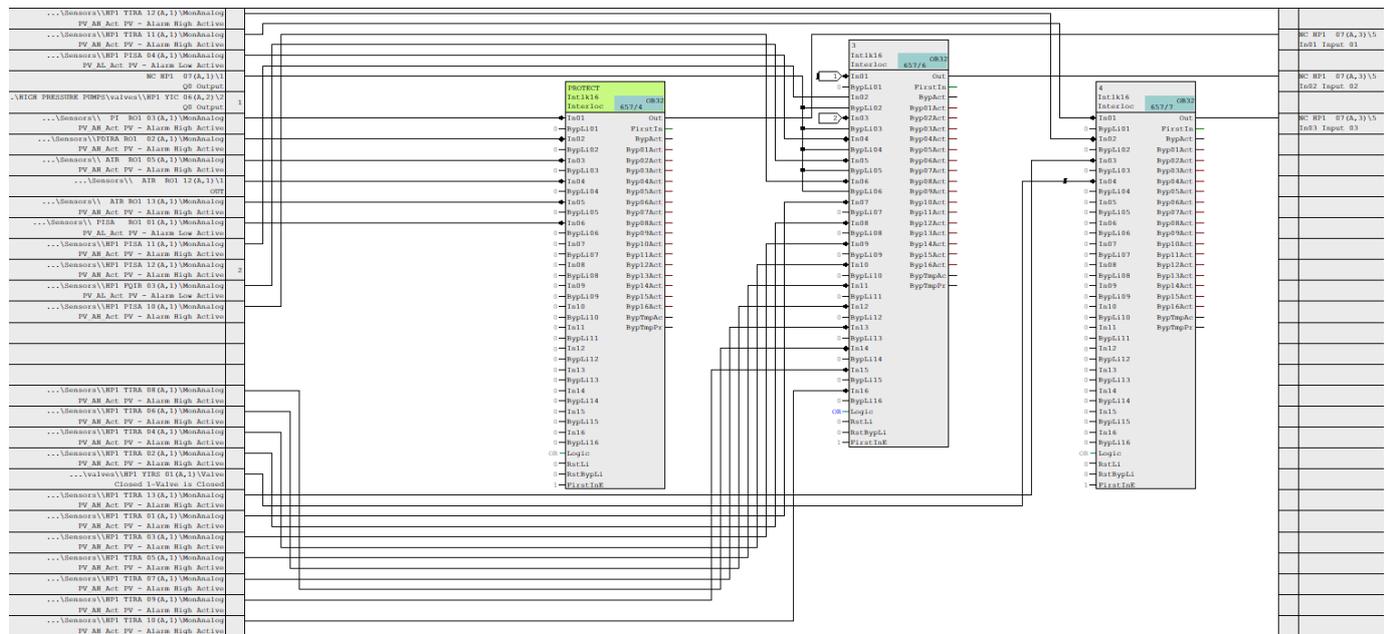


FIGURE 4.14 – CM NC HP1 07 - vue 2 des blocs Protect

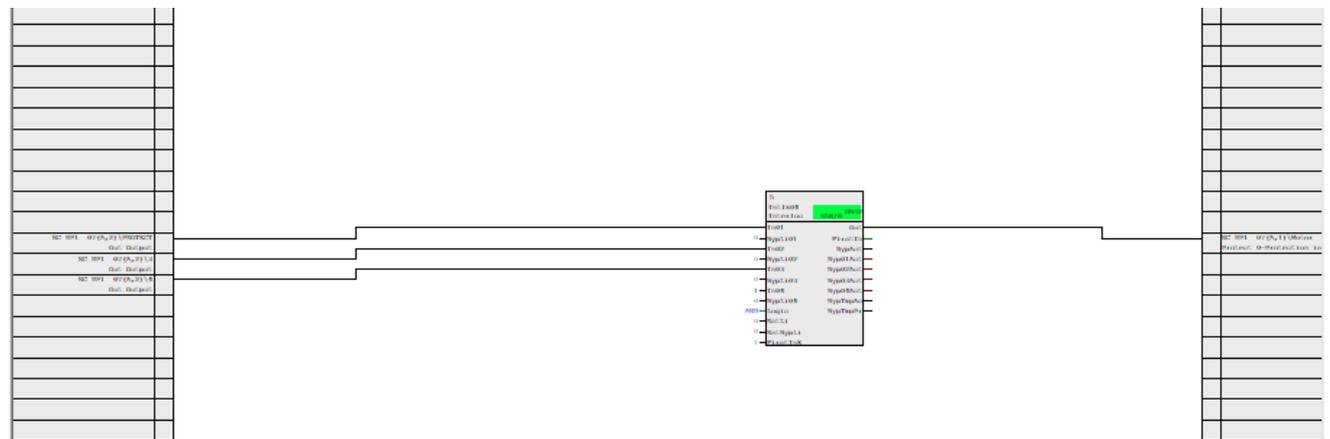


FIGURE 4.15 – CM NC HP1 07 - vue 3

Le bloc "Permit" :

Le bloc permet sert à autoriser le démarrage du moteur de la pompe lorsque la vanne HP1 YIRC 06 est fermé et la vanne HP1 YIRS 01 est ouverte.

Le bloc "Protect" :

Nous pouvons renforcer les mesures de sécurité et de protection dans notre système en ajoutant des blocs de protection. Ces blocs sont utilisés pour mettre en place des mesures spécifiques afin de prévenir les incidents, de garantir la sécurité des opérations et de protéger à la fois les équipements et les personnes travaillant dans l'environnement industriel. Nous avons inclus toutes les conditions identifiées lors de l'analyse fonctionnelle du projet qui peuvent déclencher l'arrêt d'urgence du moteur de la pompe HP1, tels que la surveillance continue des pressions, températures, débits, etc.

Prenons encore en détails l'exemple le CM NS RT1 12(13) qui représente la pompe du sous-processus du réservoir réactif, nous avons paramétré les "FbkRun", "FbkStop" et "OutStart". Nous avons également ajouté le bloc fonctionnel "Protect" pour protéger la pompe et répondre aux exigences du cahier des charges.

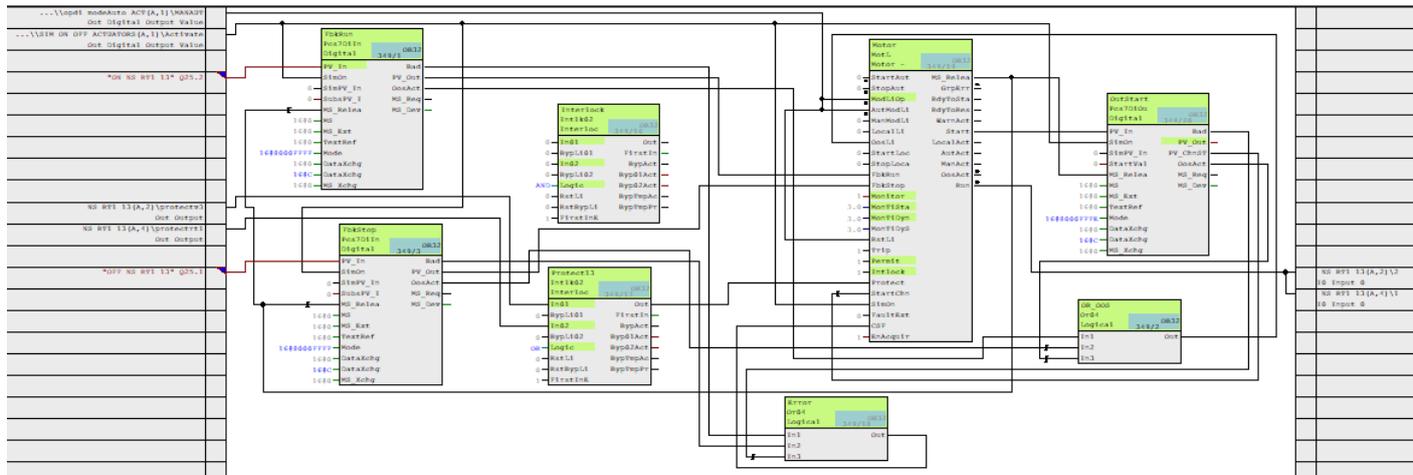


FIGURE 4.16 – CM NSRT1 13 - vue 1

- Lors du remplissage du réservoir réactif, les deux vannes YIRS RT1 23 et YIRS RT1 20 doivent être ouvertes, et LSA RT1 04 doit être désactivé. De plus, la pression de refoulement de la pompe (PISA RT1 15 (14)) doit être d'environ 35 bars. Sinon, la pompe s'arrête.

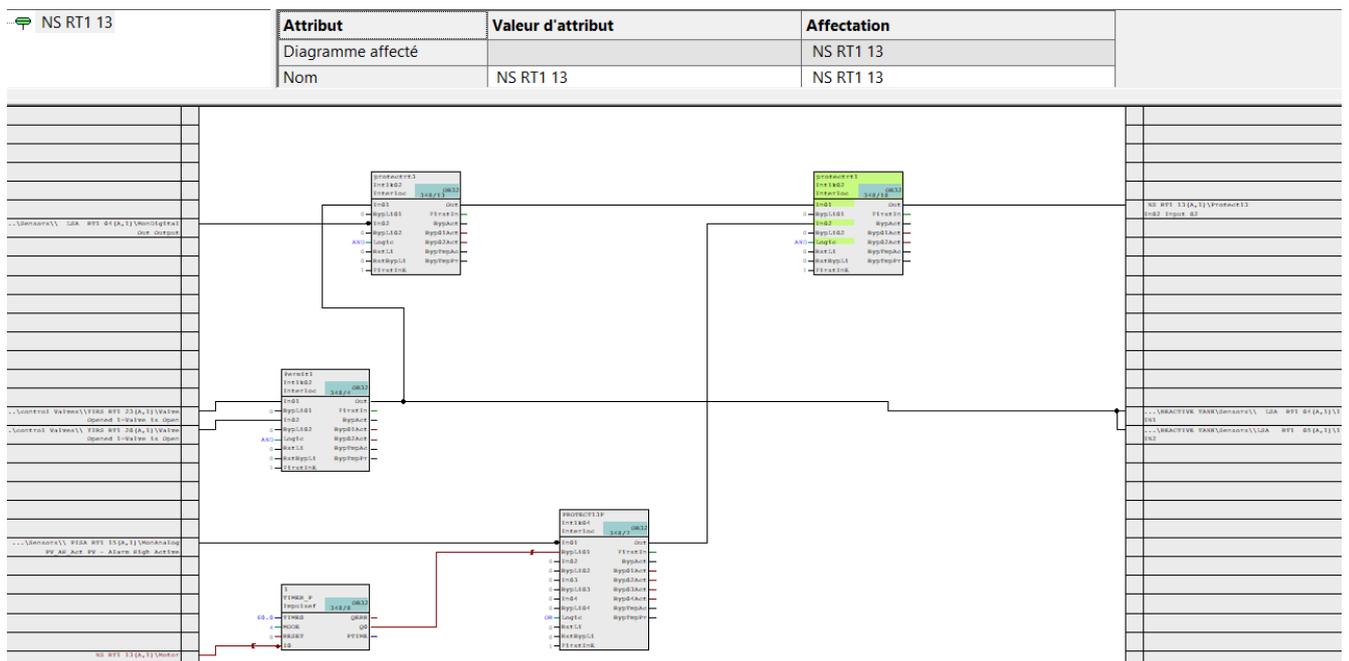


FIGURE 4.17 – NS RT1 13 - vue 2 des blocs Protect lors du remplissage

- Lors du lavage, les trois vannes YIRS RT1 19, YIRS RT1 21 et YIRS RT1 22 doivent être ouvertes. De plus, le capteur de température TISA RT1 11 doit indiquer une température d'environ 45 °C et LSA RT1 06 ne doit pas être désactivée. La pression de refoulement doit être d'environ 31 bars, et le débitmètre (FQIR RT1 16) doit indiquer une valeur ne dépassant pas 15 m³/h. Sinon, la pompe s'arrête.

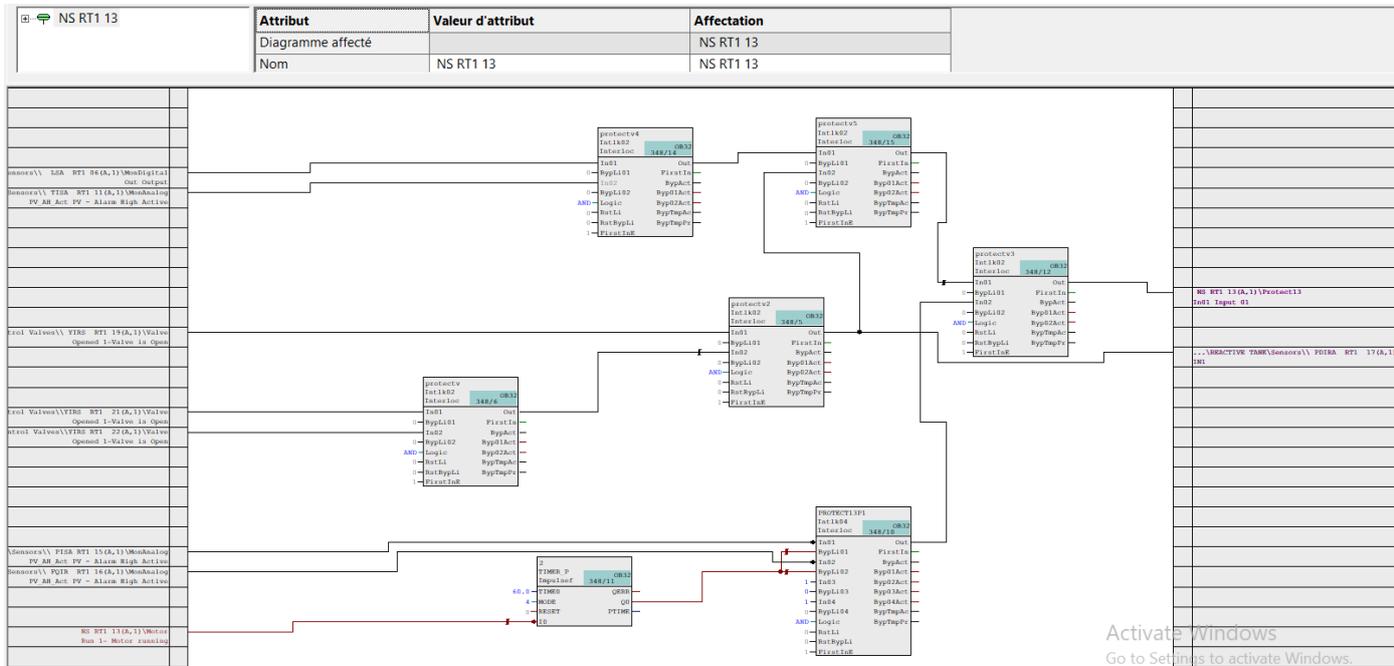


FIGURE 4.18 – NS RT1 13 - vue 3 des blocs Protect lors du lavage

6. Vanne motorisée

Le module de contrôle de type "ValveMotor" est utilisé pour contrôler l'ouverture et la fermeture des vannes des pompes à hautes pressions

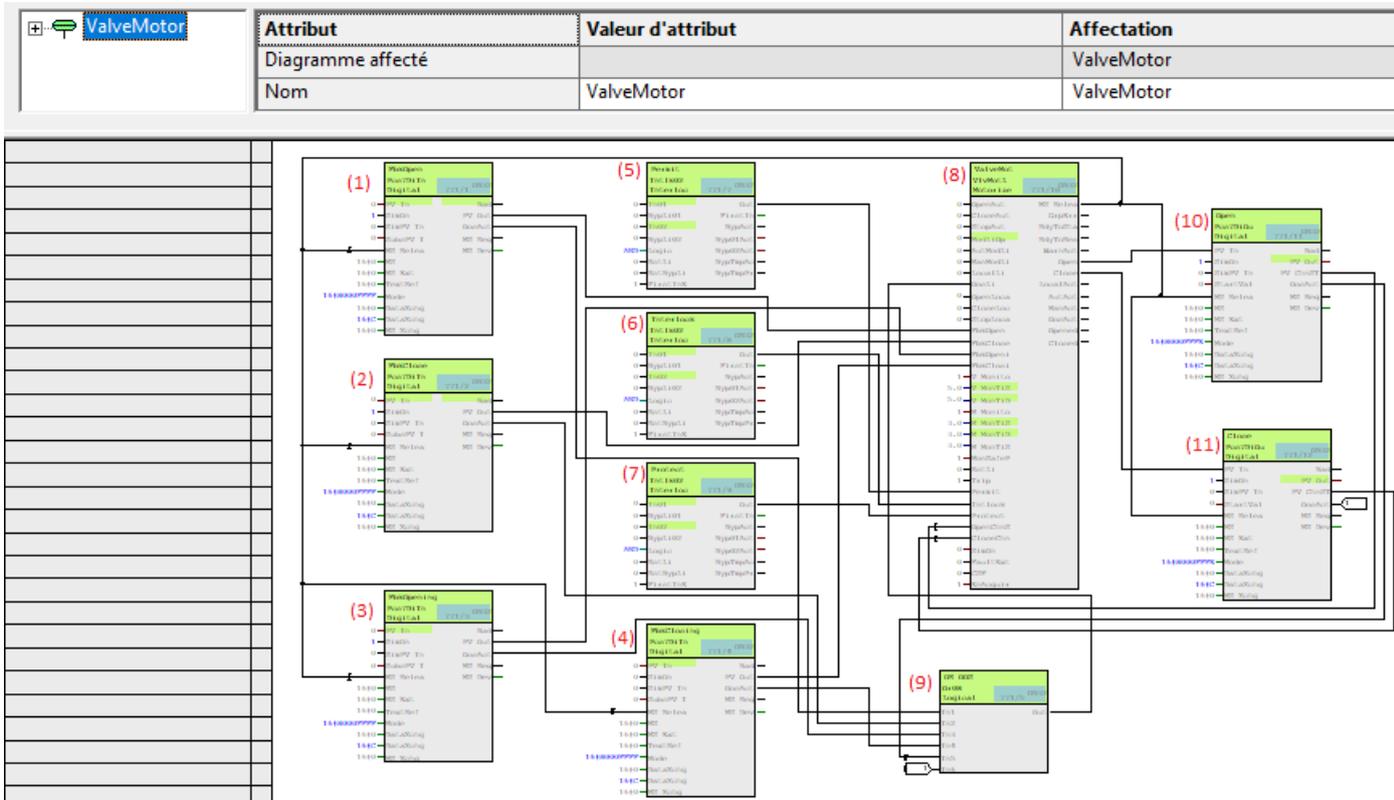


FIGURE 4.19 – CMT - ValveMotor

Les blocs présents dans la figure représentent[2] :

(1-2-3-4) : "Pcs7DiIn" permet le :

- Traitement du signal d'une valeur d'entrée TOR d'un module d'entrées TOR SM S7-300/400.

- Traitement des voies d'entrée redondantes.

Ce bloc est configuré pour accepter une entrée de type "BOOL".

(5-6-7) : "Intlk" permet le :

- verrouillage standardisé avec affichage.

(8) : "VlvMotL" permet :

- L'activation de la vanne-moteur.

(9) : "OR08" permet :

- La formation d'un signal de sortie OR- à partir de 8 valeurs d'entrée binaires.

(10-11) : "Pcs7DiOu" permet le :

- Traitement de signal d'une valeur de sortie TOR de modules de sorties TOR SM S7-300/400.

- Traitement des voies de sortie redondantes

Dans l'exemple de notre application, nous avons utilisé ce type de module de commande (CMT) pour les vannes suivantes :

- HPX YIC 06
- HPX YIC 08
- HPX YIC 09
- HPX YIC 13
- HPX YIC 14

Prenons comme exemple la figure 4.20 qui représente le CM HP1 YIC 06, nous avons personnalisé ce CM en connectant PV-IN du bloc FbkOpen PCS7AnIn Digital au signal d'entrée "OPEN(HP1 YIC 06)", ainsi que le PV-IN du bloc FbkClose PCS7AnIn Digital au signal d'entrée "Close(HP1 YIC 06)". De plus, nous avons activé la simulation en attribuant la valeur 1 à la variable SimOn.

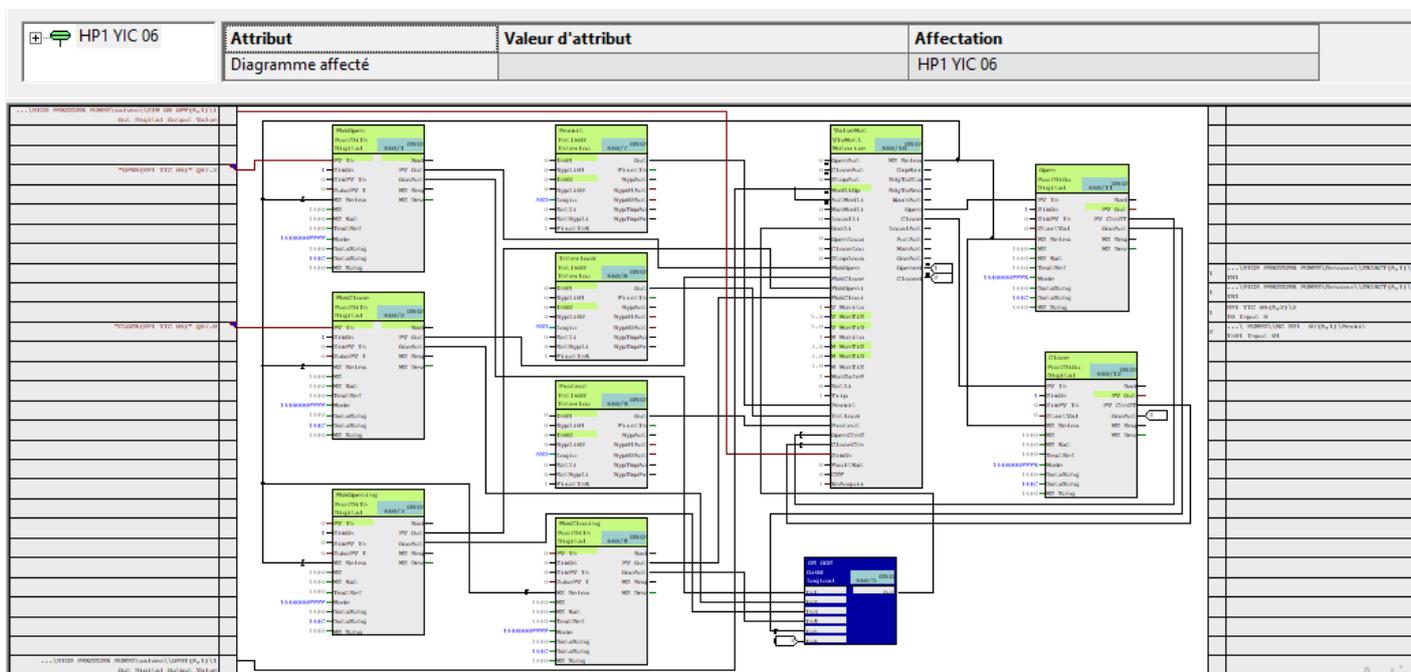


FIGURE 4.20 – CM HP1 YIC 06

7. Vanne Pneumatique

Le module de contrôle de type "ValveLean" est utilisé pour contrôler l'ouverture et la fermeture des vannes pneumatiques.

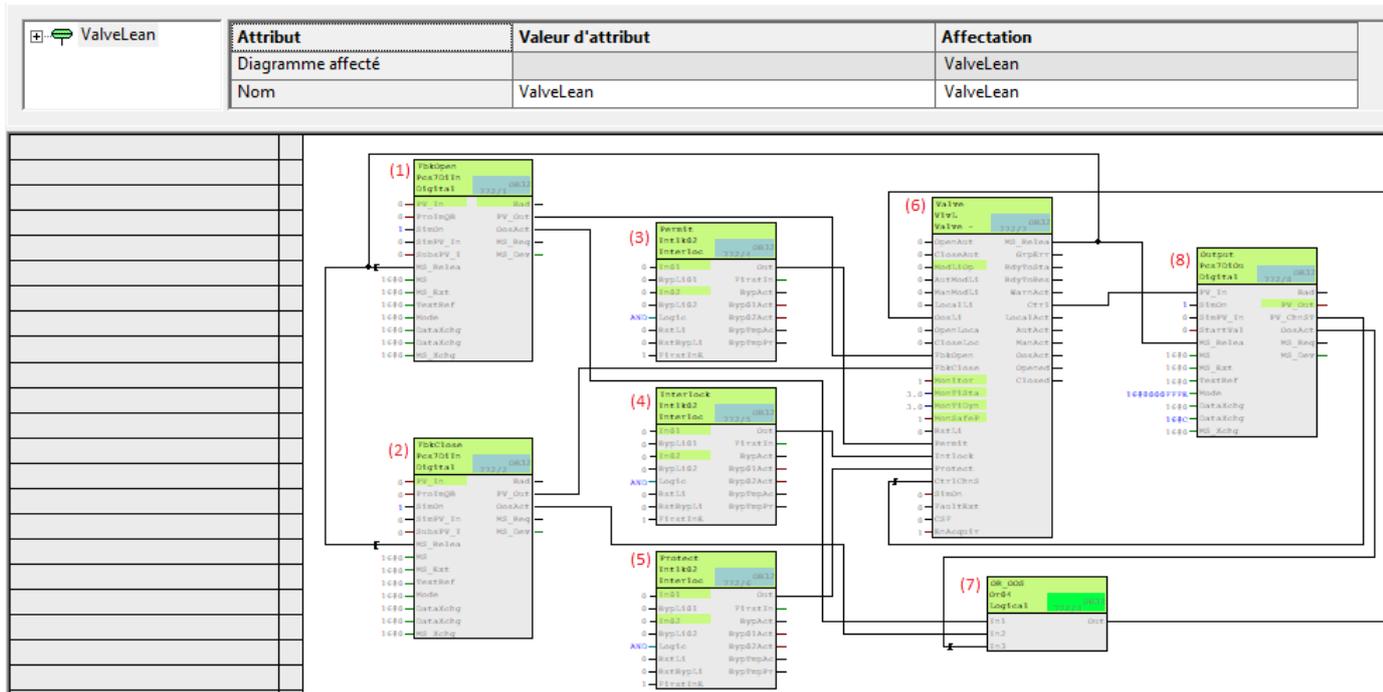


FIGURE 4.21 – CMT - ValveLean

Les blocs présents dans la figure représentent[2] :

(1-2) : "Pcs7DiIn" permet le :

- Traitement du signal d'une valeur d'entrée TOR d'un module d'entrées TOR SM S7-300/400.
- Traitement des voies d'entrée redondantes.

Ce bloc est configuré pour accepter une entrée de type "BOOL".

(3-4-5) : "Intlk" permet le :

- verrouillage standardisé avec affichage.

(6) : "VlvL" permet :

- Commande d'une vanne dans deux positions ("Ouvverte" / "Fermée") avec position de repos paramétrable.

(7) : "OR08" permet :

- La formation d'un signal de sortie OR- à partir de 8 valeurs d'entrée binaires.

(8) : "Pcs7DiOu" permet le :

- Traitement de signal d'une valeur de sortie TOR de modules de sorties TOR SM S7-300/400.
- Traitement des voies de sortie redondantes

Dans l'exemple de notre application, on a utilisé ce type de module de commande (CMT) pour les vannes suivantes :

- HPX YIRS 01
- HPX YIRS 02
- YIRS RT1 10
- YIRS RT1 19
- YIRS RT1 20
- YIRS RT1 21

- YIRS RT1 22
- YIRS RT1 23
- YIRS R02 07
- YIRS R02 11
- YIRS R01 11
- YIRS R01 07
- YIRS R01 10
- YIRS R01 09
- YIRS R01 08
- YIRS R02 09
- YIRS R02 10
- YIRS R02 08
- Valve lean RO1
- Valve lean RO2

Prenons comme exemple la figure 4.22 qui représente le CM HP1 YIRS 01, nous avons personnalisé ce CM en connectant PV-IN du bloc FbkOpen PCS7AnIn Digital au signal d'entrée "OPEN HP1 YRS 01", ainsi que le PV-IN du bloc FbkClose PCS7AnIn Digital au signal d'entrée "Close HP1 YIRS 01". De plus, nous avons activé la simulation en attribuant la valeur 1 à la variable SimOn.

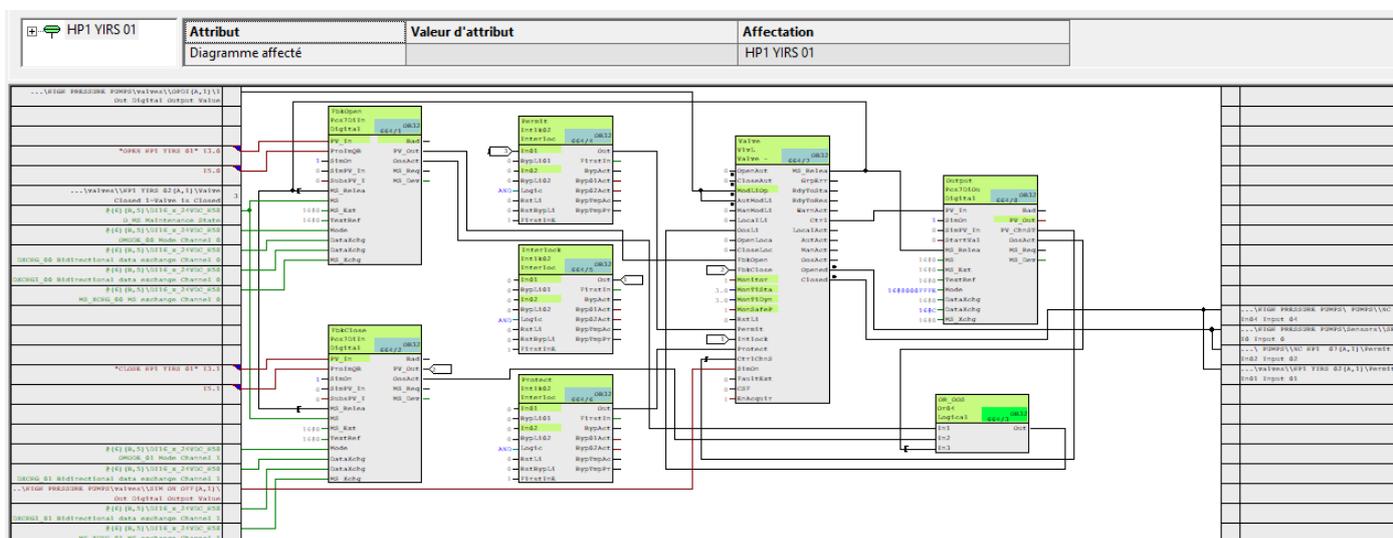


FIGURE 4.22 – CM HP1 YIRS 01

Le bloc "Permit" : est utilisé pour définir des conditions spécifiques qui doivent être remplies avant qu'une action ne soit autorisée à se produire. Par exemple, dans ce cas la vanne HP1 YIRS 01 n'est pas autorisé à s'ouvrir si la vanne HP1 YIRS 02 est ouverte.

4.2.3 Programmation SFC

Les SFC sont utilisés pour la programmation et la visualisation des processus de contrôle dans PCS 7. Ils permettent de représenter graphiquement les séquences d'étapes et de conditions à suivre pour exécuter une fonction ou un processus donné. ils sont composés de graphes qui montrent l'enchaînement des étapes, les conditions de transition entre les étapes, les actions à effectuer à chaque étape, et les variables associées. Les SFC sont largement utilisés dans l'automatisation industrielle pour modéliser des séquences de fonctionnement complexes et faciliter la compréhension et la programmation des processus de contrôle.

Une commande séquentielle permet de commander les fonctions de base de l'automatisation créées avec le CFC et de les traiter de manière sélective en effectuant des changements de fonctionnement et d'état[27].

Le SFC offre deux variantes indépendantes de commandes séquentielles pour différents types d'applications :

- Diagramme SFC
- Type SFC avec ses instances SFC

Dans le présent projet nous allons utiliser les diagrammes SFC.

Diagramme SFC

Un diagramme SFC se compose des éléments suivants [27] :

- Une interface standardisée permettant au programme utilisateur ou à l'utilisateur de le commander.
- Jusqu'à 8 graphes séquentiels qui définissent la commande séquentielle (appelés "graphes séquentiels gris")

Dans ce contexte, la commande séquentielle accède directement aux blocs et aux signaux de l'automatisme de base, ce qui signifie qu'elle n'est pas réutilisable.

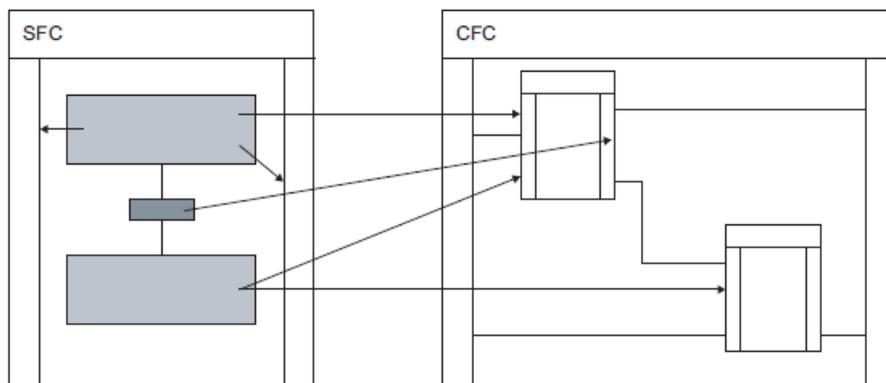


FIGURE 4.23 – Diagramme SFC

Programmation SFC

Commençons par créer SFC comme suit :

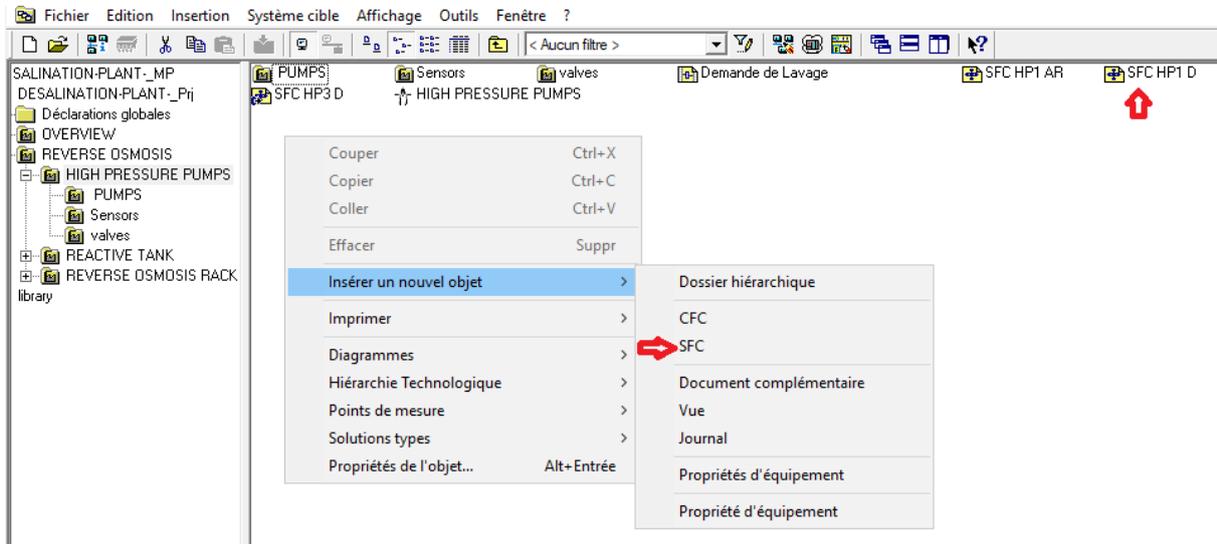


FIGURE 4.24 – Création d'un diagramme SFC

Prenons l'exemple du programme SFC de la séquence de lavage.

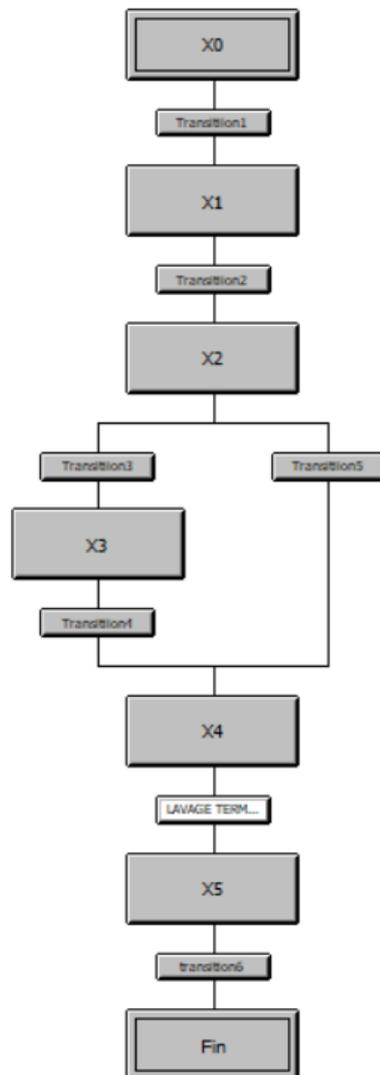


FIGURE 4.25 – SFC de la séquence de lavage [2]

Dans ce qui suit, nous examinerons les actions spécifiques requises à chaque étape

du programme, ainsi que les transitions successives qui garantissent une progression ordonnée d'une étape à l'autre. De manière similaire, nous procédons à la programmation des autres SFC en suivant les Grafquets mentionnés dans le chapitre précédent.

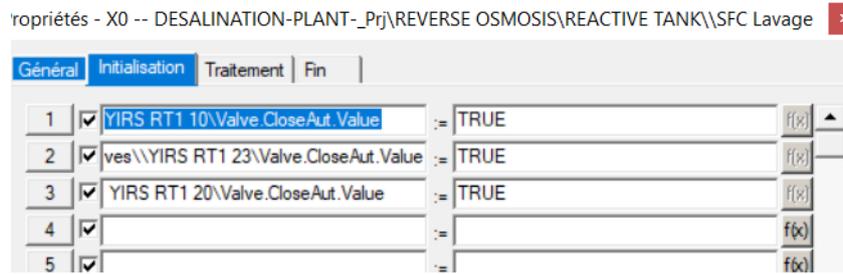


FIGURE 4.26 – Action de l'étape X0 - SFC de la séquence de lavage

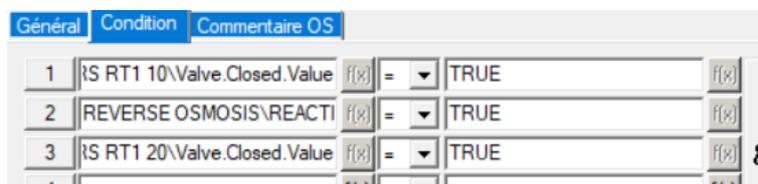


FIGURE 4.27 – Transition 1 - SFC de la séquence de lavage

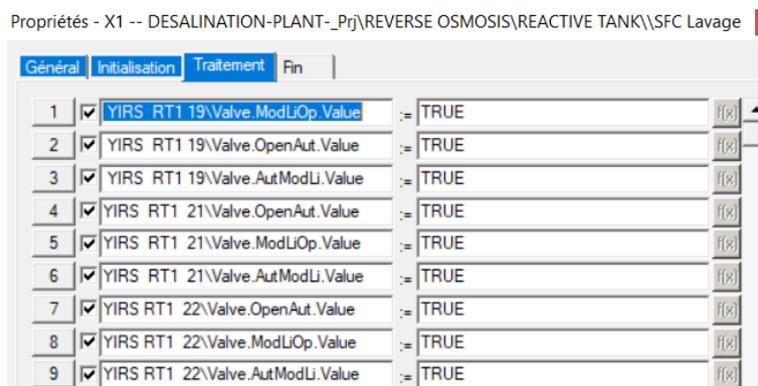


FIGURE 4.28 – Action de l'étape X1 - SFC de la séquence de lavage

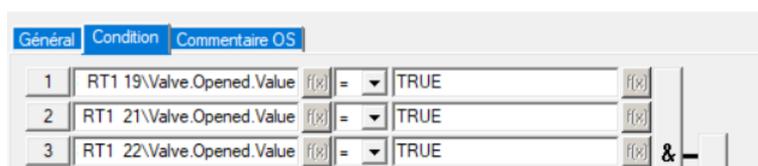


FIGURE 4.29 – Transition 2 - SFC de la séquence de lavage

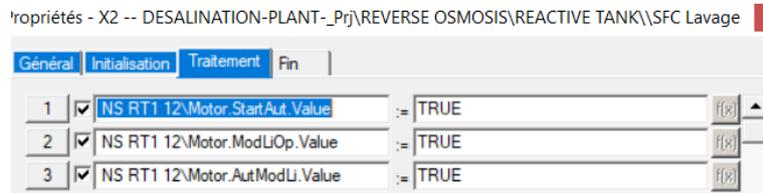


FIGURE 4.30 – Action de l'étape X2 - SFC de la séquence de lavage

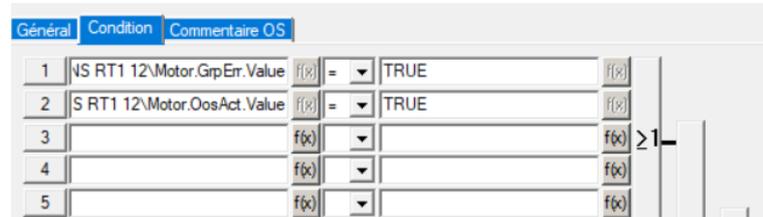


FIGURE 4.31 – Transition 3 - SFC de la séquence de lavage

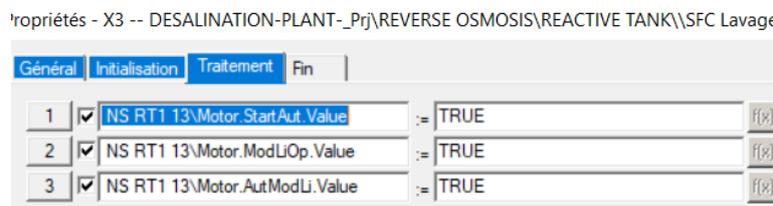


FIGURE 4.32 – Action de l'étape X3 - SFC de la séquence de lavage

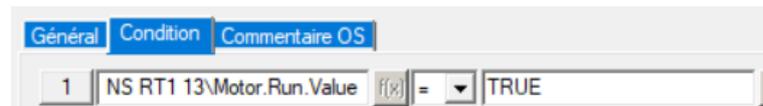


FIGURE 4.33 – Transition 4 - SFC de la séquence de lavage

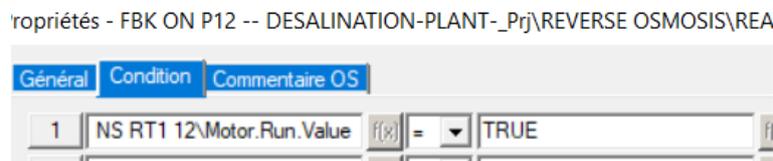


FIGURE 4.34 – Transition 5 - SFC de la séquence de lavage

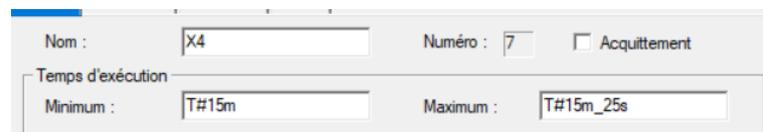


FIGURE 4.35 – Action de l'étape X4 - SFC de la séquence de lavage

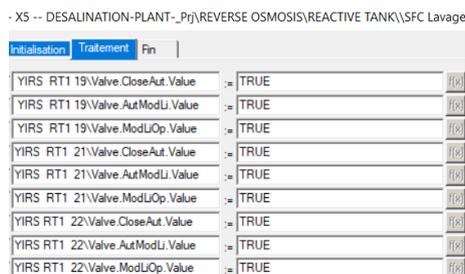


FIGURE 4.36 – Action de l'étape X5 - SFC de la séquence de lavage

	Général	Condition	Commentaire OS
1	S RT1 19\Valve.Closed.Value	f(x) =	TRUE
2	S RT1 21\Valve.Closed.Value	f(x) =	TRUE
3	S RT1 22\Valve.Closed.Value	f(x) =	TRUE
4	\\Demande de Lavage\5.OUT	f(x) =	TRUE

FIGURE 4.37 – TRANSITION 6 - SFC de la séquence de lavage

4.3 Simulation et supervision

Le système de supervision industrielle offre un soutien à l'opérateur tout au long du processus en fournissant une visualisation claire des résultats de la commande et en permettant leur interprétation. Son objectif est d'assister l'opérateur en lui présentant les informations pertinentes pour la conduite du processus, tel que WinCC PCS 7.

4.3.1 Windows Control Center (WinCC)

WinCC (Windows Control Center) est un système de supervision, de contrôle et d'acquisition de données (SCADA). Il s'agit d'une plateforme logicielle utilisée pour la visualisation, la surveillance et le contrôle des processus dans les environnements d'automatisation industrielle. L'annexe A contient les étapes de chargement et de compilation du programme avant de démarrer WinCC.

4.3.2 Les Vues Synoptiques

Après avoir terminé le dessin de la vue sur Graphics Designer (L'annexe B contient les détails concernant cette procédure), il faut enregistrer cette dernière et ensuite fermer le Graphics Designer. Les figures ci-dessous représentent les différentes vues que nous avons créées : la vue principale, la vue du sous-processus des pompes à haute pression, la vue du sous-processus des racks d'osmose inverse et la vue du sous-processus du réservoir réactif.

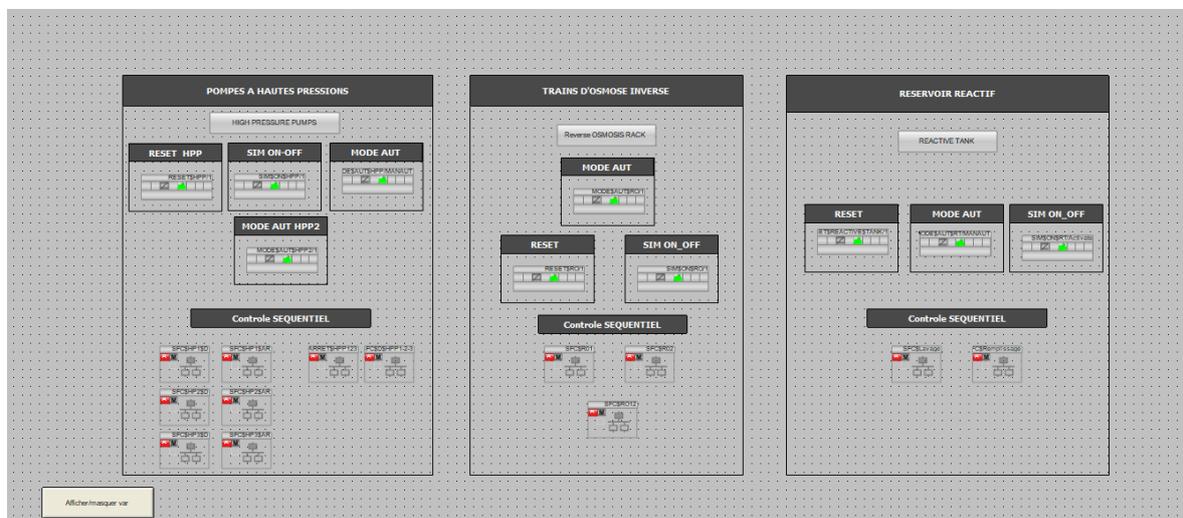


FIGURE 4.38 – La vue principale et de contrôle

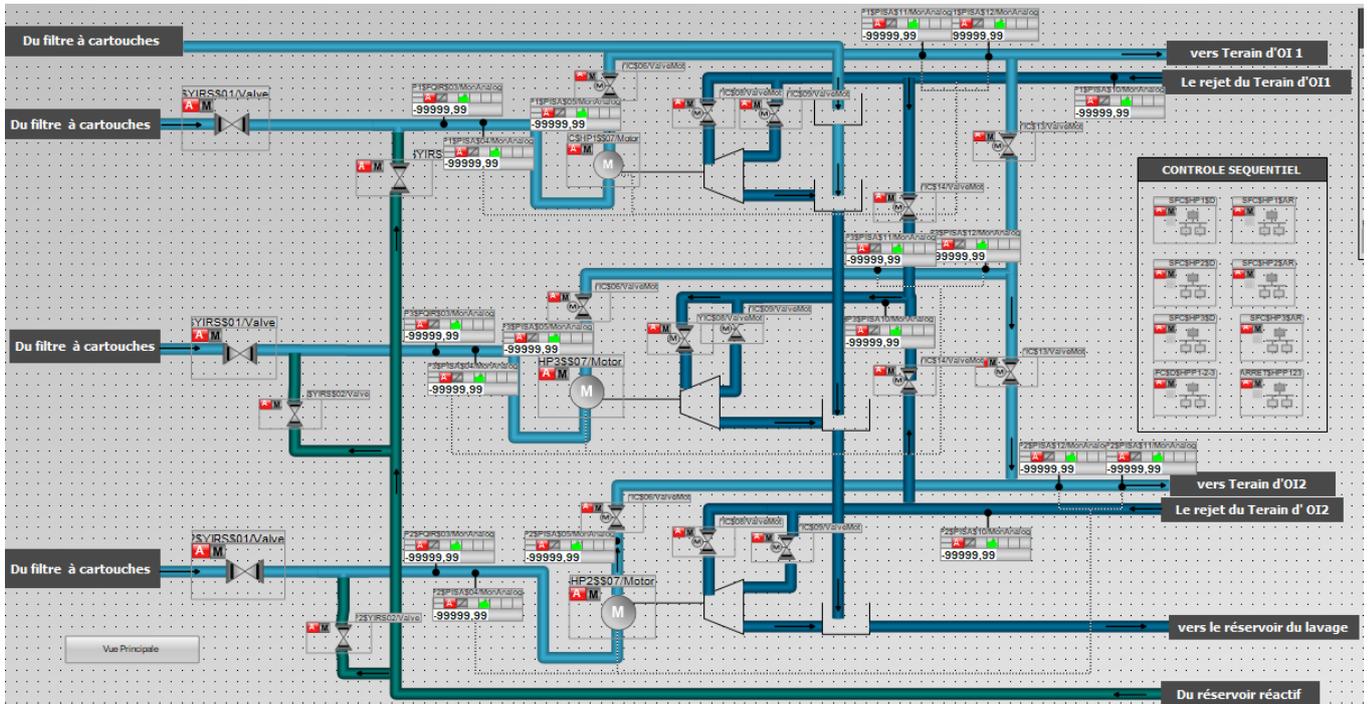


FIGURE 4.39 – La vue du sous-processus des pompes à haute pression

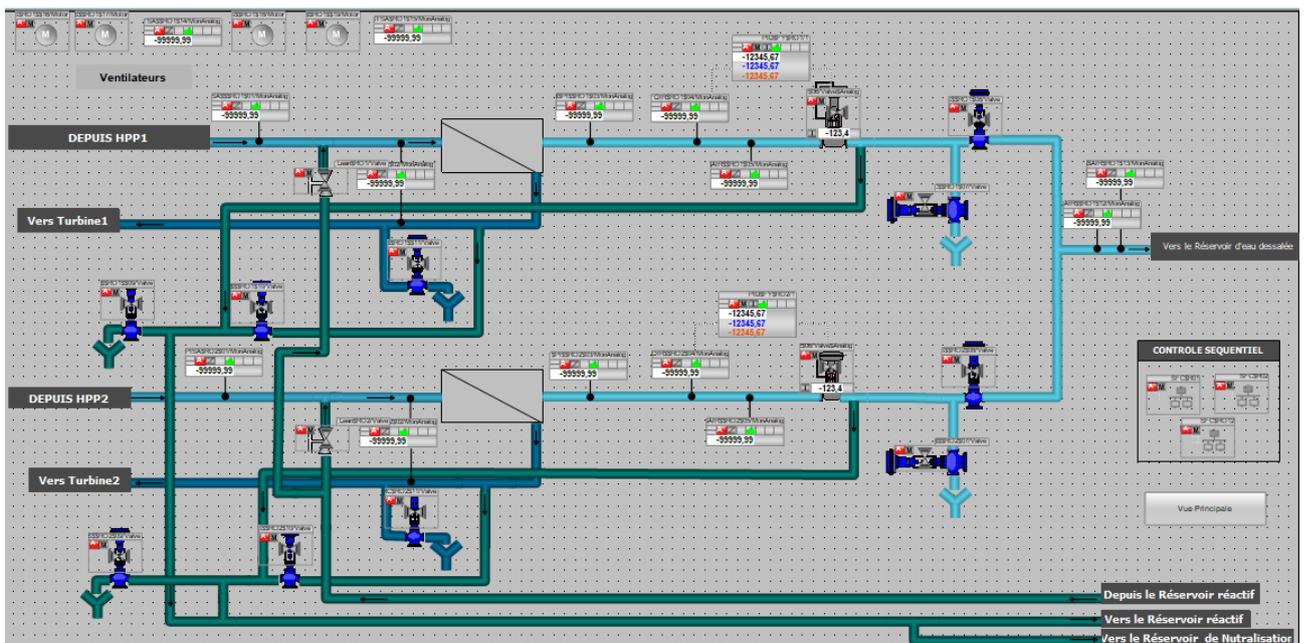


FIGURE 4.40 – La vue du sous-processus des racks d'osmose inverse

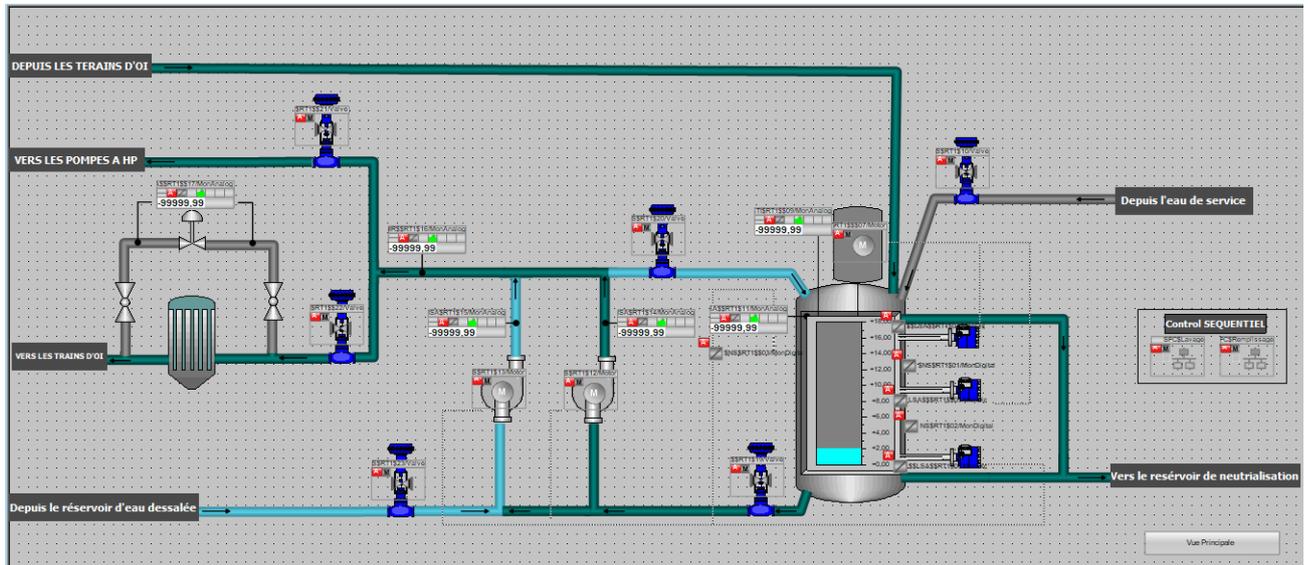


FIGURE 4.41 – La vue du sous-processus de réservoir réactif

4.3.3 Simulation

La simulation nous permettra de tester le bon fonctionnement de notre système.

a) Démarrage

Pour pouvoir démarrer notre système en mode automatique, nous devons effectuer les étapes suivantes sur la vue principale :

- activer le mode Aut.
- Mettre sim on à 1 pour tous les sous-processus.



FIGURE 4.42 – Vue principale et contrôle du système.

Une fois ces étapes effectuées, nous pouvons procéder au lancement de la séquence de démarrage des pompes à haute pression.

Lors du lancement de la séquence de démarrage des pompes à haute pression, comme l'indique la figure 4.43, la vanne HPX YIRS 01 s'ouvre, permettant la circulation de l'eau salée provenant des filtres à cartouches. Lorsque la pompe démarre et selon les conditions mentionnées précédemment, la vanne HPX YIC 06 s'ouvre, permettant à l'eau de se diriger vers les racks d'osmose inverse.

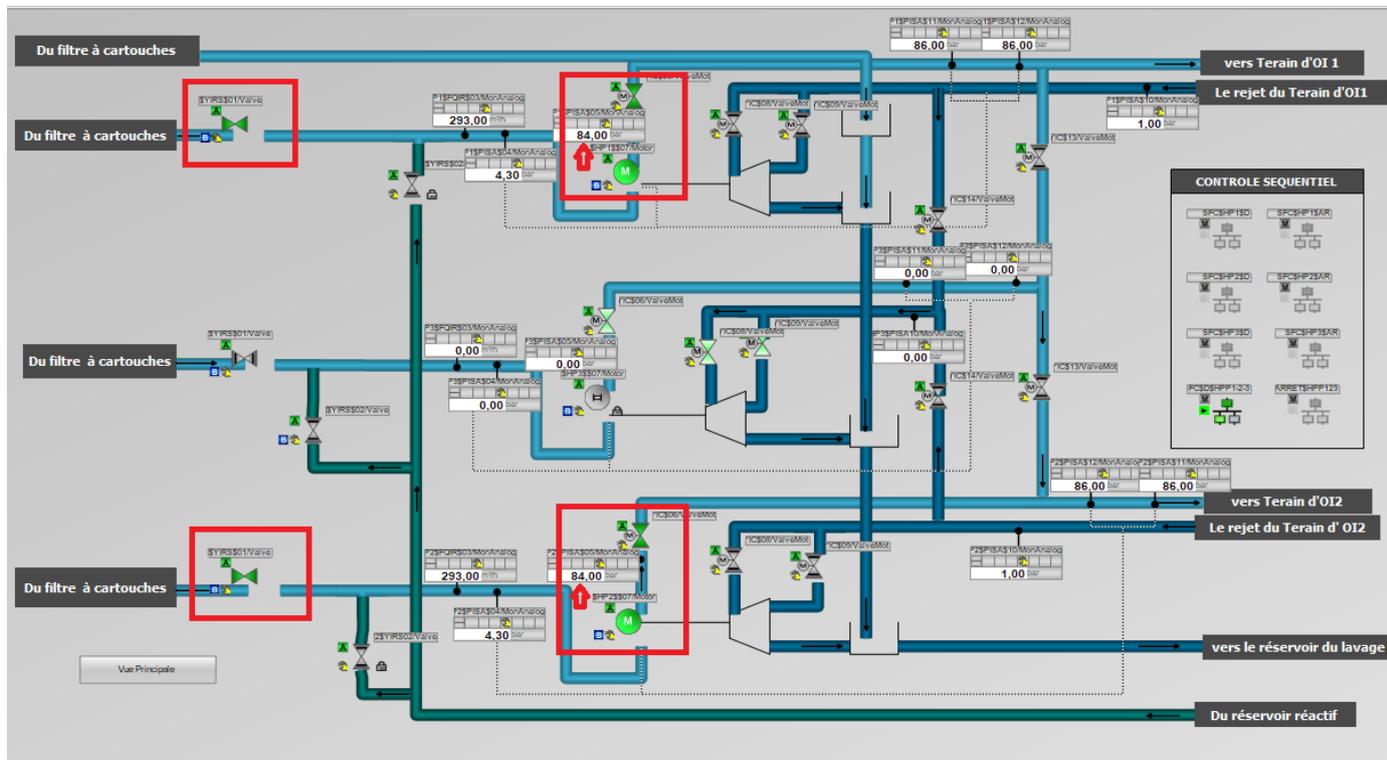


FIGURE 4.43 – Démarrage des pompes à haute de pression

Lorsque les vannes de refoulement s'ouvrent, l'eau sous pression osmotique se dirige vers les racks d'osmose inverse, où les vannes de dessalement sont ouvertes, comme illustré dans la figure ci-dessous.

La saumure rejetée par les membranes d'osmose inverse est dirigée sous une pression de 81 bars vers les turbines de récupération d'énergie. Pour cela, nous ouvrons les vannes permettant l'accès à la partie de récupération d'énergie (HPX YIC 09). Ainsi, la séquence de démarrage est terminée.

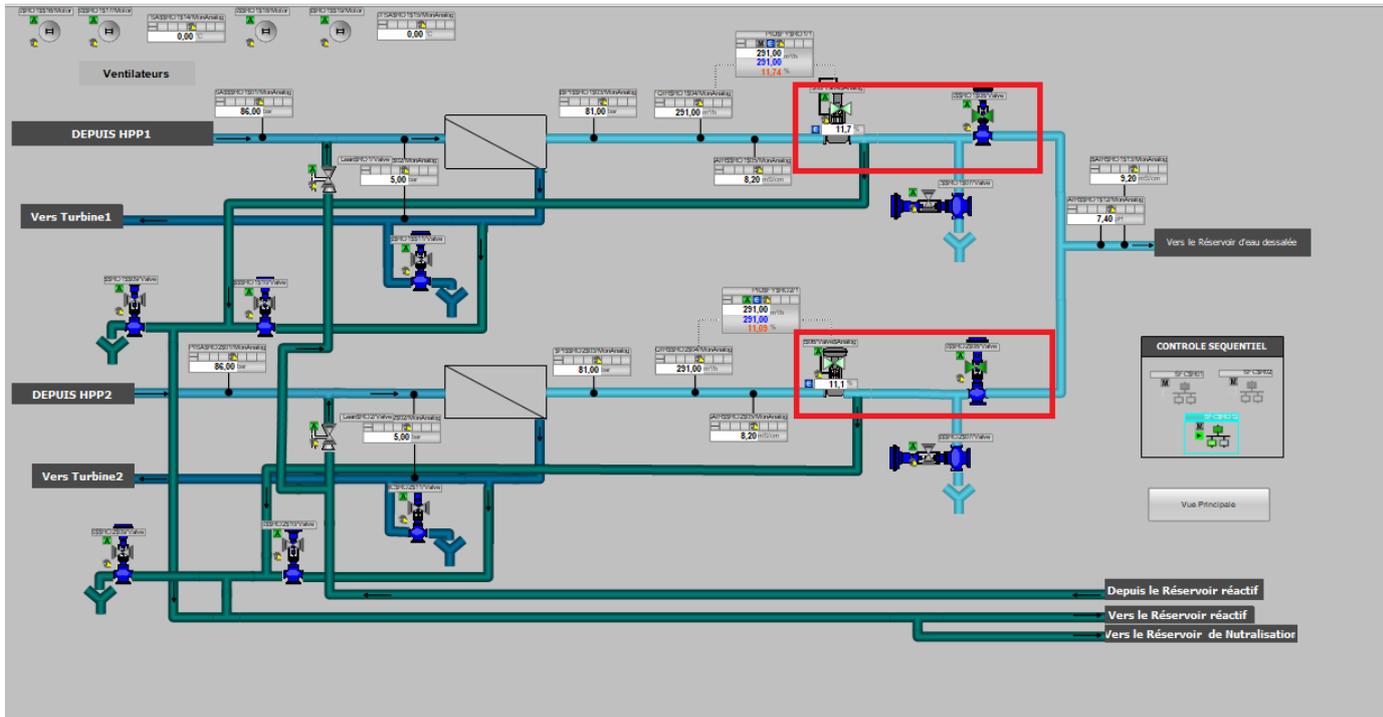


FIGURE 4.44 – Vue de démarrage des trains d’osmose inverse

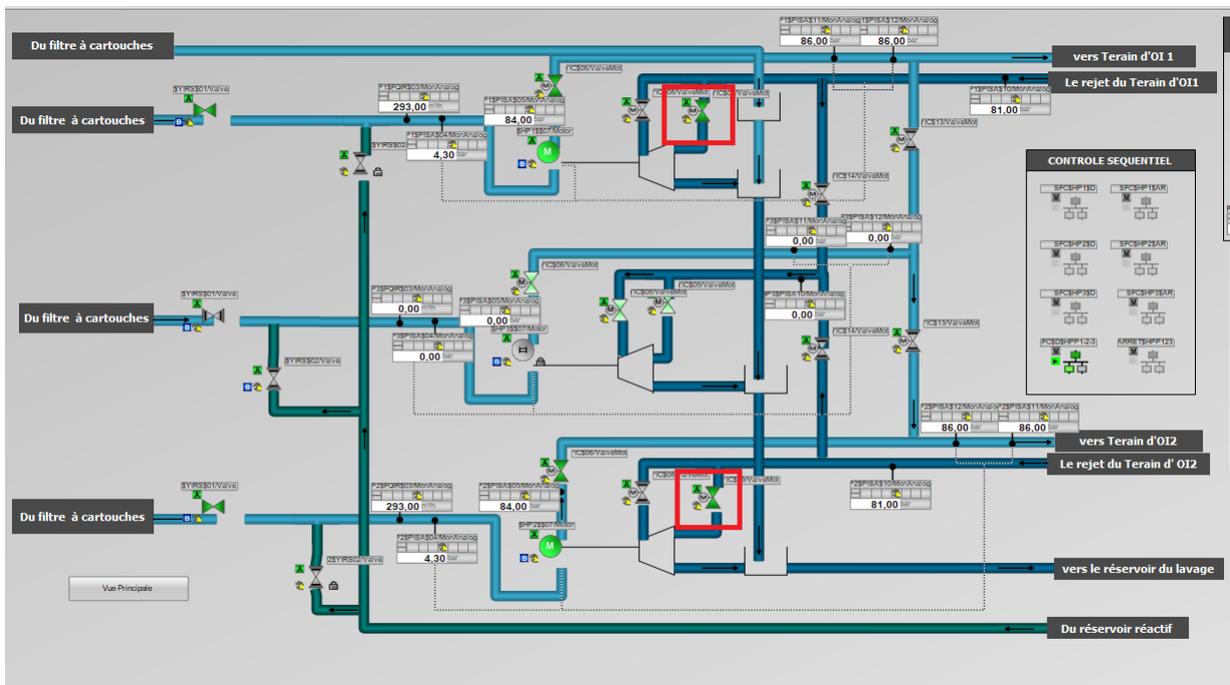


FIGURE 4.45 – Fin de démarrage des pompes.

b) Arrêt et nettoyage

Une fois le système démarré et que nous souhaitons le mettre à l’arrêt afin d’effectuer une séquence de nettoyage, plusieurs actions sont entreprises dans le processus. Tout d’abord, nous lançons la séquence de remplissage du réservoir réactif. Une fois que le réservoir est rempli, l’eau du réservoir est chauffée et mélangée.

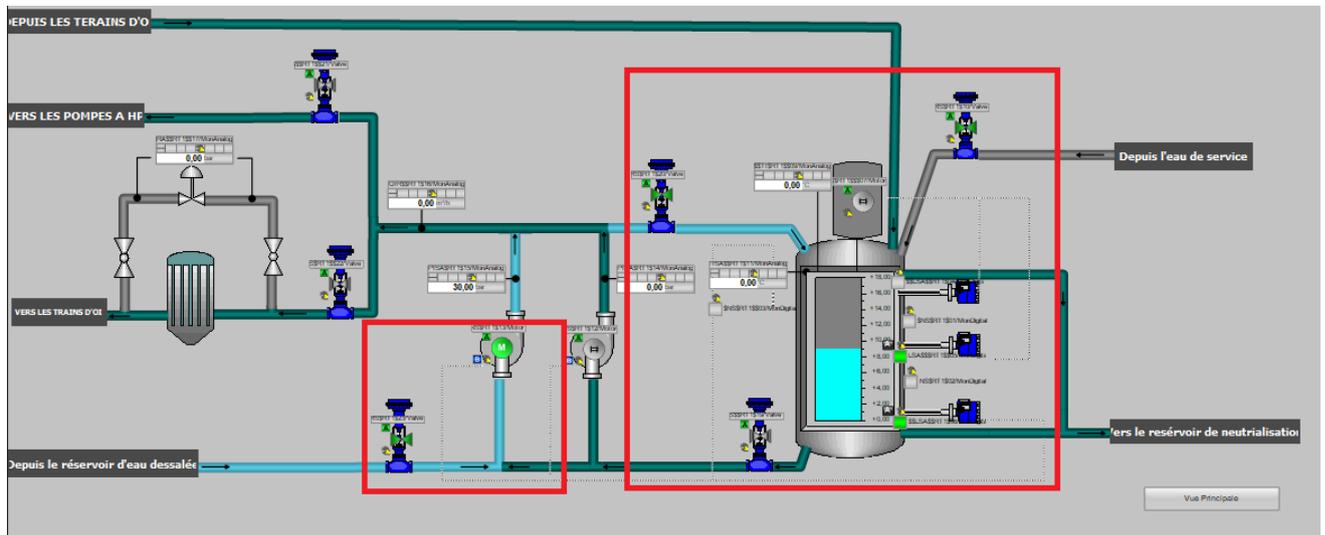


FIGURE 4.46 – Remplissage du réservoir

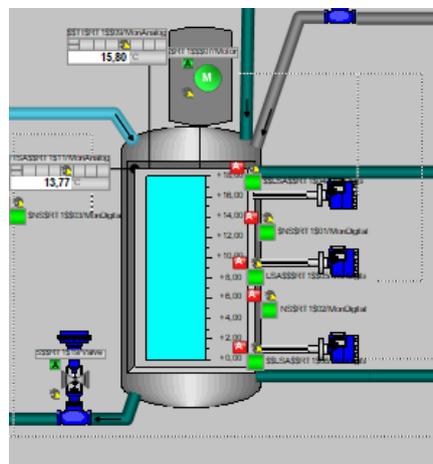


FIGURE 4.47 – Chauffage et mélange

Et après cela, nous lancerons la séquence d'arrêt, puis notre système (comportant des pompes à haute pression et des racks d'osmose inverse) se présentera comme suit, avec les vannes de nettoyage ouvertes :

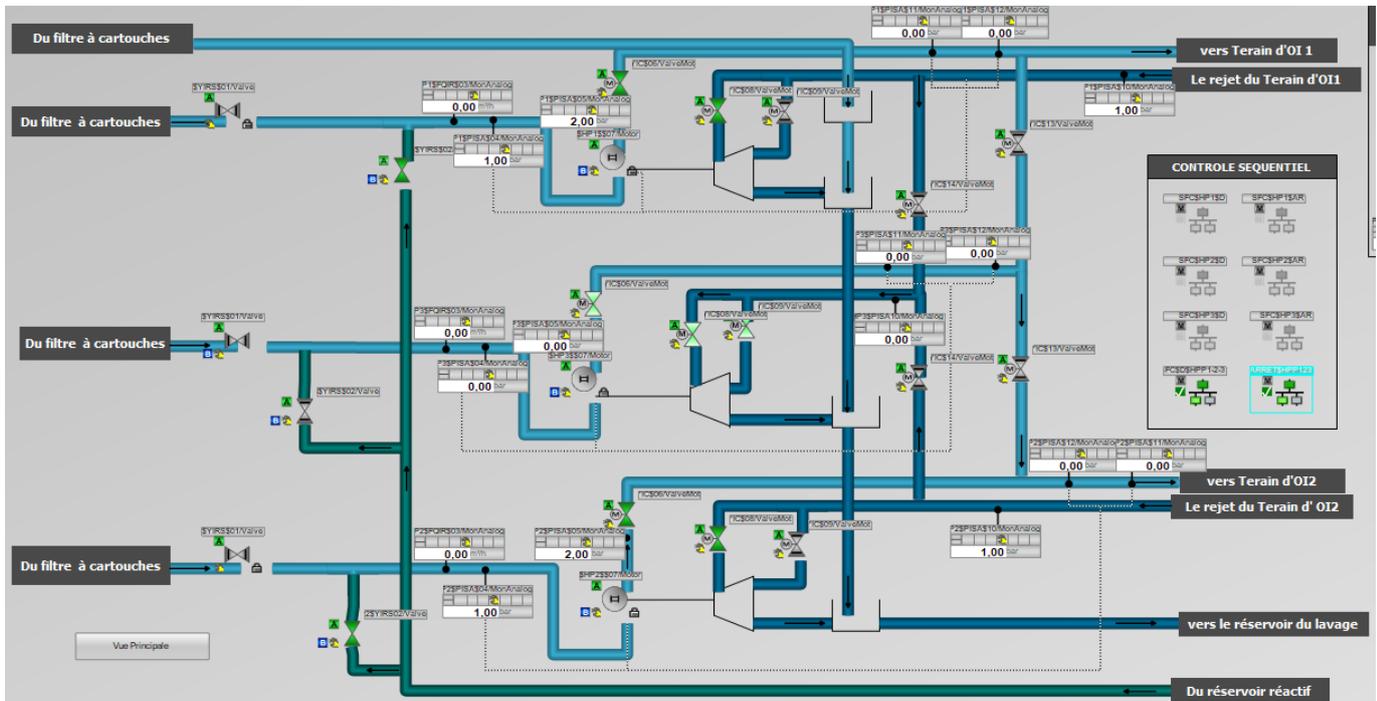


FIGURE 4.48 – Vue des pompes à l’arrêt

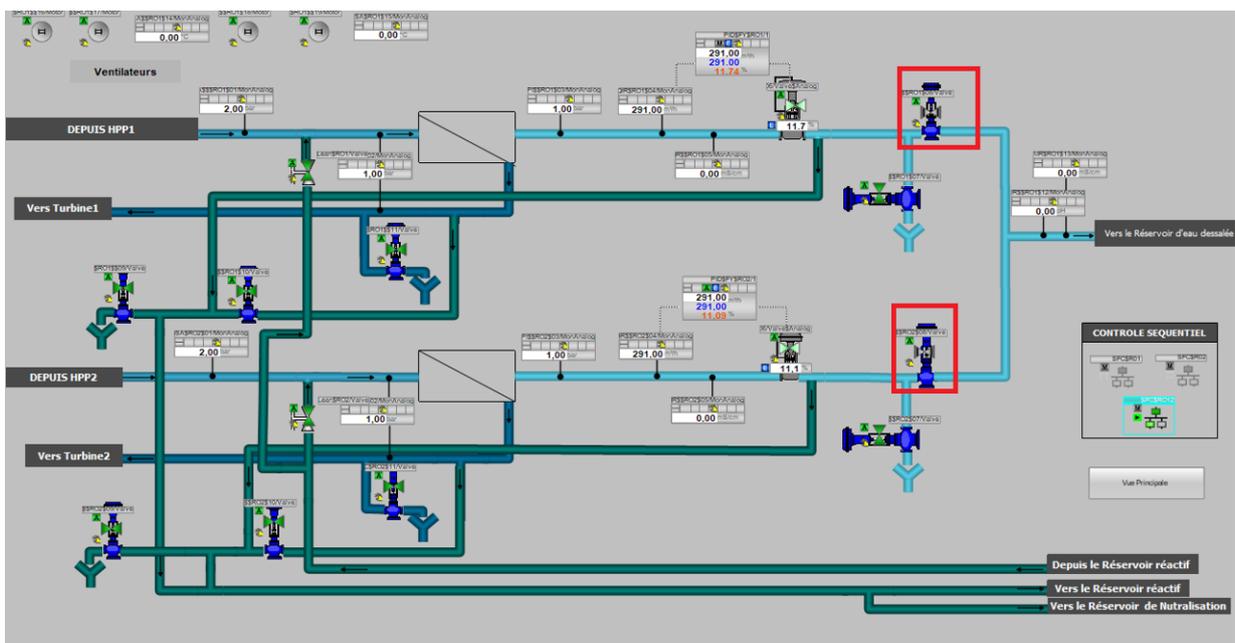


FIGURE 4.49 – Vue des racks d’osmose inverse à l’arrêt

Ensuite, on déclenche la séquence de lavage puisque le réservoir est rempli, les vannes de nettoyage sont ouvertes et les pompes à haute pression sont à l’arrêt.

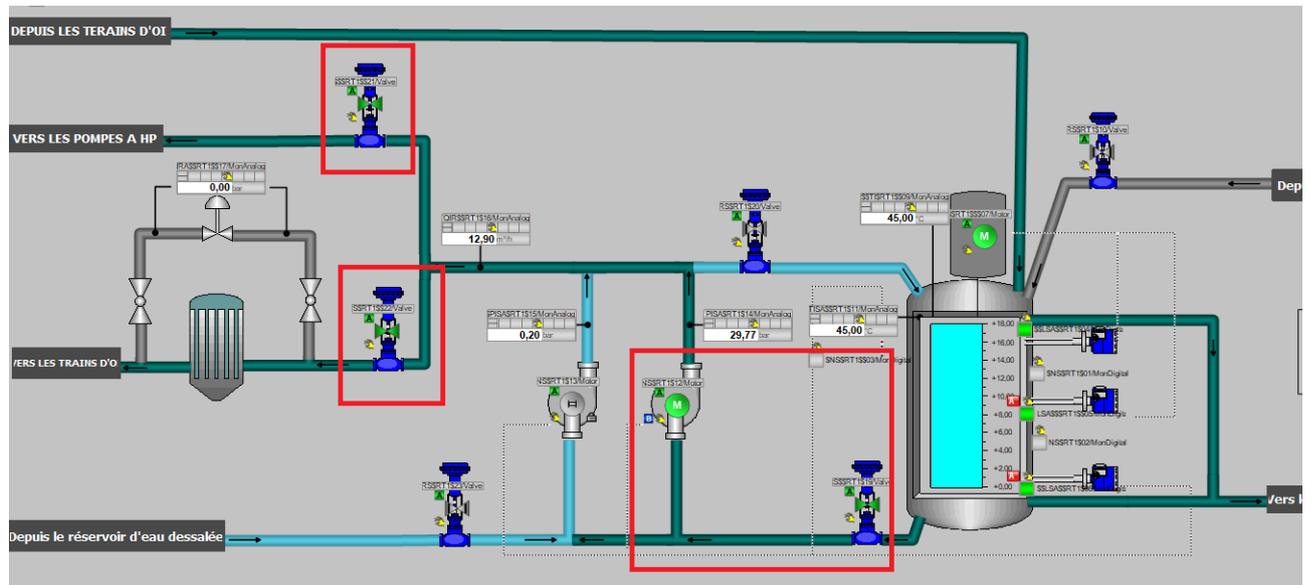


FIGURE 4.50 – Vue de démarrage de la séquence de lavage

-Pour le reste des simulations, vous les trouverez dans l'annexe C.

4.4 Conclusion

Au cours de ce chapitre, nous avons élaboré des programmes PCS7 nécessaires pour assurer le fonctionnement optimal des pompes à haute pression, des racks d'osmose inverse et du réservoir réactif, en utilisant les logiques CFC et SFC. L'objectif principal consistait à créer un système de contrôle-commande automatisé, tout en permettant également une intervention humaine en tenant compte des autorisations requises et des scénarios d'urgence. Par ailleurs, nous avons conçu une solution de supervision sur WinCC, qui offre une interface dédiée à chaque étape du processus de traitement, facilitant ainsi la gestion à distance de diverses tâches liées au processus.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce travail de fin d'étude s'inscrit dans le cadre de la commande et de la supervision d'une station de dessalement. Pour ce faire, nous avons commencé par étudier les différentes techniques de dessalement existantes, en effectuant une analyse approfondie des techniques de dessalement disponibles. Par la suite, nous nous sommes basés sur la technique d'osmose inverse (OI) qui est la technique utilisée dans notre travail.

L'objectif principal de notre projet de fin d'études est de commander et superviser le processus d'osmose inverse, qui est un processus décentralisé. Pour cela, nous avons travaillé sur le développement d'un système de contrôle distribué (DCS) en utilisant PCS7. Au début de notre travail, nous nous sommes concentrés sur l'étude de la station de dessalement d'une capacité moyenne de 14 000 m³/j, ainsi que sur son équipement et son instrumentation. Cela nous a permis d'établir un bilan d'instrumentation et de configurer l'AS (Station d'Automatisation) et l'OS (Station d'Opérateur) dans PCS7, en effectuant une analyse fonctionnelle du processus d'OI. Nous avons ainsi pu établir la liste des entrées et sorties et programmer ce processus avec PCS7 en utilisant CFC (Continuous Function Chart) et SFC (Sequential Function Chart).

Le DCS a joué un rôle central dans ce projet, offrant une automatisation avancée pour superviser et contrôler les différents sous-processus d'OI. Les avantages du DCS résident notamment dans sa capacité à faciliter la gestion des alarmes, à permettre la visualisation en temps réel des données de processus, à simplifier la maintenance et les diagnostics, ainsi qu'à offrir une flexibilité et une extensibilité élevées.

Afin de mener à bien ce travail, nous avons utilisé le logiciel WinCC pour la réalisation d'une interface homme-machine, permettant ainsi une interaction conviviale avec le système.

Ce travail a été très enrichissant en raison de sa complexité et de notre manque d'expérience face à ce type d'installations. Nous avons acquis de nouvelles connaissances et nous nous sommes familiarisés avec le logiciel PCS7, avec lequel nous n'avons jamais travaillé auparavant. De plus, grâce au matériel de Siemens que nous avons utilisé, nous avons pu comprendre le poids de la responsabilité qui repose sur l'équipe technique chargée du service d'automatisation.

Nous avons effectué plusieurs visites de stations de dessalement en Algérie, notamment à Fouka et à Bousmail, afin de bien comprendre le fonctionnement de la station

de dessalement.

En ce qui concerne les perspectives, il y a encore du travail à faire pour ce projet. Il est essentiel de poursuivre le développement de la commande des différents processus de la station, notamment le pré-traitement et le post-traitement. De plus, la commande et la supervision des alarmes doivent également être prises en compte.

Une perspective intéressante consisterait à implémenter notre programme sur le système réel d'une station de dessalement, qui utilise des équipements similaires et a une capacité de 14 000 m³/jour. Cela permettrait de tester notre solution dans des conditions réelles et de démontrer son efficacité à grande échelle.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] REALPARS. What is dcs? <https://realpars.com/dcs/>. date de consultation : 22-02-2023.
- [2] Siemens. logiciel pcs7 v9.1, 2021.
- [3] Wikipedia. Répartition de l'eau sur terre. https://fr.wikipedia.org/wiki/R%C3%A9partition_de_l%27eau_sur_Terre. date de consultation : 10-05-2023.
- [4] Le centre d'information sur l'eau. Quelles sont les ressources en eau dans le monde? <https://www.cieau.com/connaitre-leau/les-ressources-en-france-et-dans-le-monde/ou-en-sont-les-ressources-en-eau-dans-le-monde/>. date de consultation : 01-06-2023.
- [5] Alain MAUREL. *Dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres :et autres procédés non conventionnels d'approvisionnement en eau douce*. 2nd edition, 2006.
- [6] Le centre d'information sur l'eau. L'eau potable : sa définition, ses origines, ses critères de potabilité et ses traitement. <https://www.cieau.com/espace-enseignants-et-jeunes/les-enfants-et-si-on-en-apprenait-plus-sur-leau-du-robinet>. date de consultation : 2-04-2023.
- [7] Siemens AG. Application exampel water : Desalination plant based on reverse osmosis (approx. 14,000 m³/day). 135 :20–91, 2021.
- [8] CultureSciences-Chimie. Le dessalement de l'eau de mer et des eaux saumâtres. <https://culturesciences.chimie.ens.fr/thematiques/chimie-physique/thermodynamique-chimique/le-dessalement-de-l-eau-de-mer-et-des-eaux#>. date de consultation : 05-06-2023.
- [9] Encyclopédie de l'énergie. Le dessalement d'eau de mer et des eaux saumâtres. <https://www.encyclopedie-energie.org/le-dessalement-deau-de-mer-et-des-eaux-saumatres/>. date de consultation : 20-05-2023.
- [10] Buros OK. The abcs of desalting. *International Desalination Association Top-field, Massachusetts, USA*, 30 :16–17, 2000.

-
- [11] Jane Kucera. *Osmosis Industrial Processes and Applications*. 2nd edition, 2015.
- [12] B. Riffat saffa. Mahmoud, shatat. Water desalination technologies utilizing conventional and renewable energy sources. *International Journal of LowCarbon Technologies, Oxford Academic.*, 2022.
- [13] Ettouny H El-Dessouky H. Study on water desalination technologies. prepared for escwa. *United Nations*,, 2001.
- [14] Wikipedia. Turbine. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Turbine>. date de consultation : 30-03-2023.
- [15] Siemens. Sitrans f electromagnetic floximeters sitrans fm mag 5100 w. *Operating Instructions*, 84 :17–18, 2022.
- [16] Siemens. Point level capacitance switches pointek cls200/cls300 digital. *Operating Instructions*, 150 :11–15, 2021.
- [17] Siemens. Sitrans pressure transmitter sitrans p ds iii/p410 with profibus pa. *Operating Instructions*, 266 :21–30, 2016.
- [18] Siemens. Sitrans th400 temperature transmitter. *Operating Instructions*, 56 :9–12, 2014.
- [19] Wikipedia. Ultraturb seawater sc sensor with 5m cable. <https://www.hach.com/p-ultraturb-seawater-sc-sensor-with-5m-cable/LPV415.99.22002>. date de consultation : 01-04-2023.
- [20] Wikipedia. Conductimètre. <https://fr.wikipedia.org/wiki/Conductim%C3%A8tre>. date de consultation : 01-04-2023.
- [21] INSTBLOG. Top 5 advantages of a distributed control system, you need to know! <https://instrumentationblog.com/distributed-control-system-dcs-system/>. date de consultation : 24-04-2023.
- [22] Siemens. Simatic et 200sp ha. <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/WW/Catalog/Products/10412105>. date de consultation : 20-04-2023.
- [23] Siemens. Simatic périphérie décentralisée simatic cfu pa. *Manuel de mise en service*, 150 :9–10, 2017.
- [24] PI organization. Simocode pro v. <https://www.profibus.com/products/product-finder/simocode-pro-v/>. date de consultation : 20-04-2023.
- [25] Siemens. Simatic pcs 7 process control system cpu 410-5h process automation. *System Manual*, 380 :21–31, 2014.
- [26] Siemens. Simatic process control system pcs 7 getting started - part 1 (v9.1 with apl). *Getting Started*, 226 :46–47, 2021.
- [27] Siemens. Système de conduite de processus pcs 7 sfc pour simatic s7. *Manuel de programmation et d'utilisation*, 2009.

ANNEXE A

CHARGEMENT ET COMPILATION DU PROGRAMME

- D'abord, on ouvre le S7-PLCSIM qui permet d'exécuter et de tester notre programme.

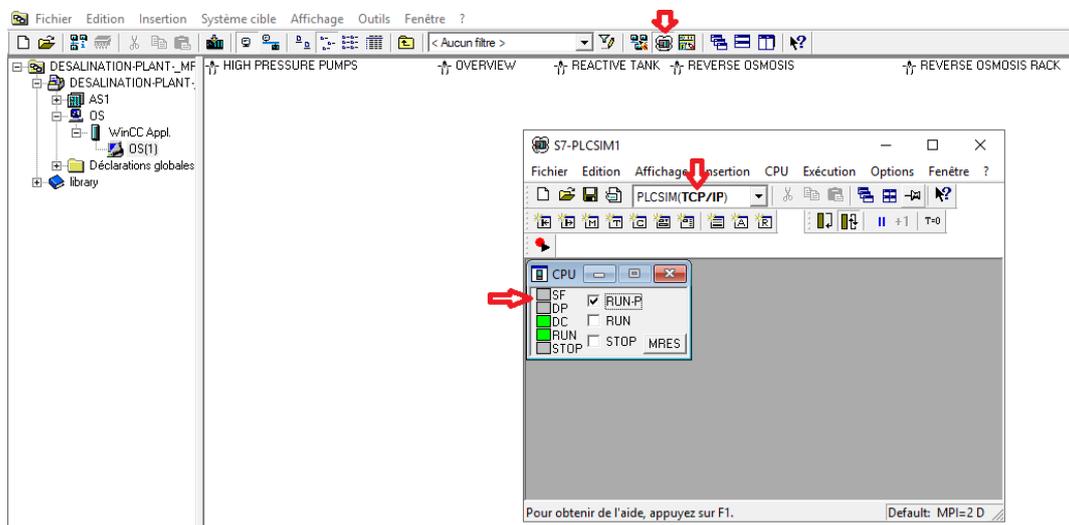


FIGURE A.1 – Lancement du simulateur

- Ensuite, on charge la station d'automatisation "AS" à l'aide du bouton "Charger".

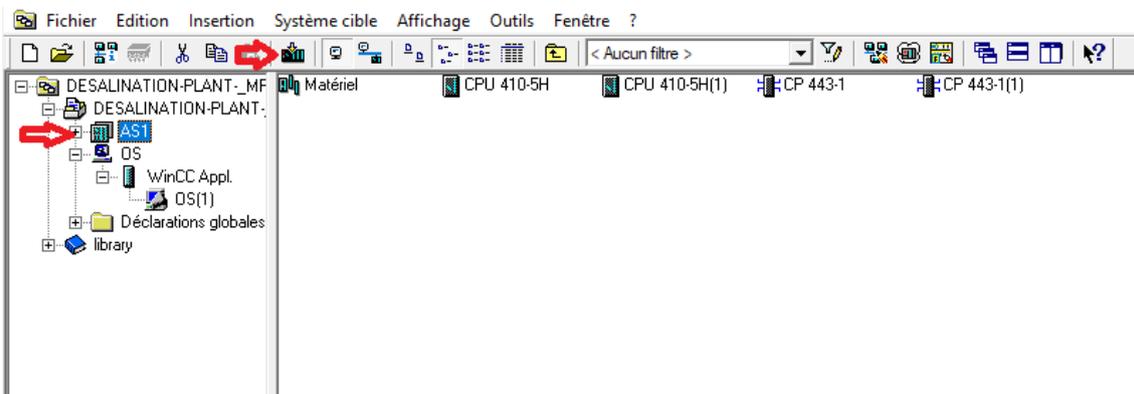


FIGURE A.2 – Chargement de la station d'automatisation

— Puis, on passe au chargement des diagrammes comme suit :

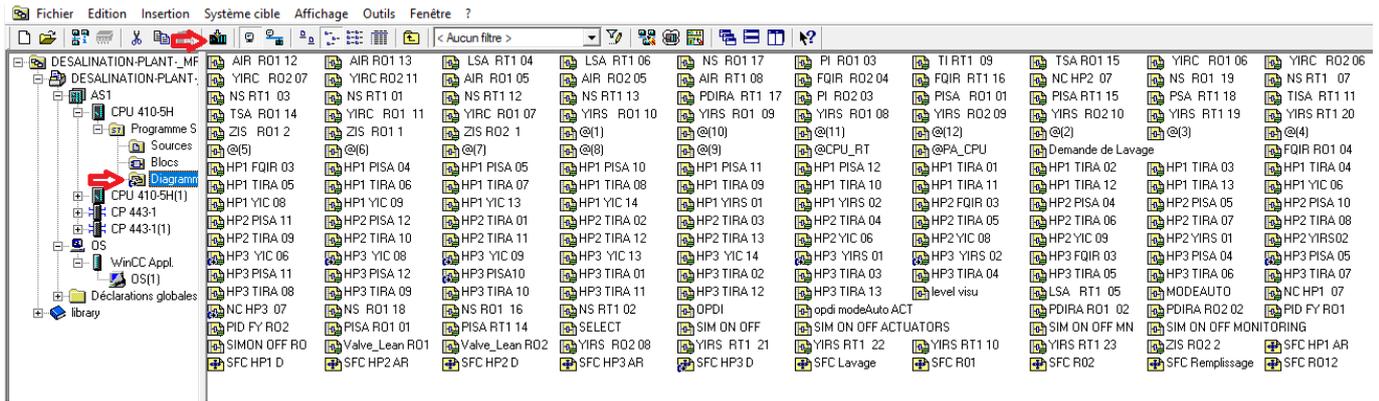


FIGURE A.3 – Chargement des diagrammes

— Par la suite, on compile la station opérateur "OS" .

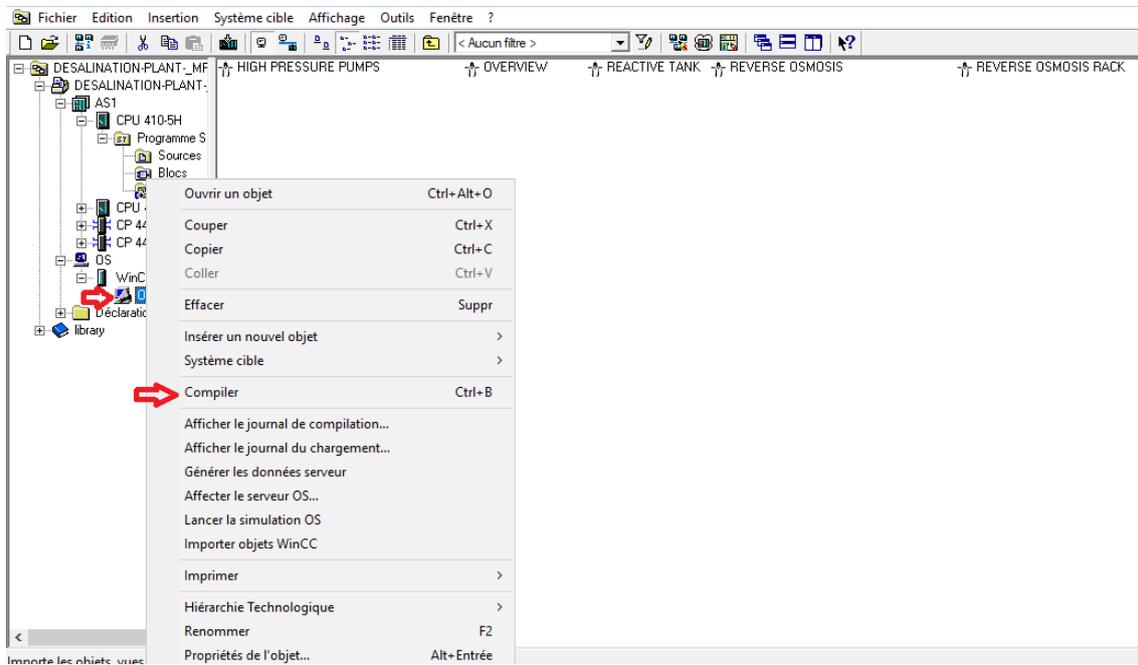


FIGURE A.4 – compilation de la station opérateur

— On clique sur suivant

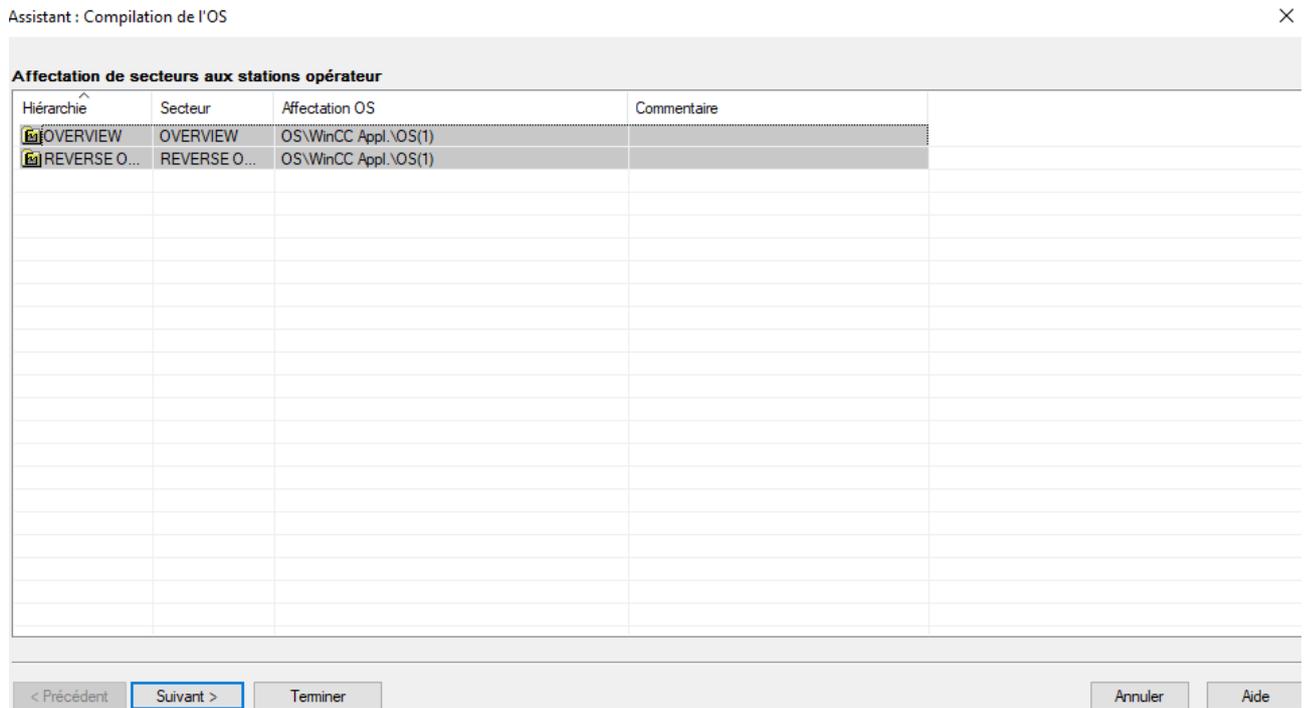


FIGURE A.5 – compilation de la station opérateur

— On choisit notre programme et on clique sur suivant pour choisir la liaison TCP/IP.

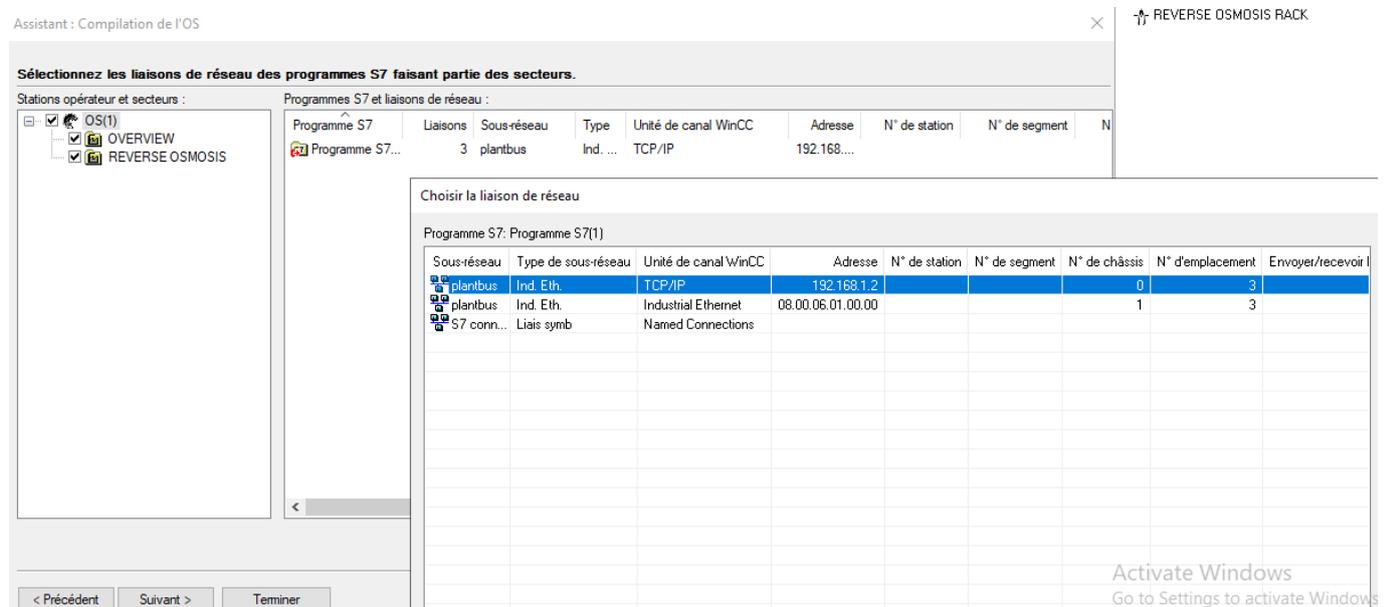


FIGURE A.6 – compilation de la station opérateur

- Une fois ces paramètres choisis on peut passer à la compilation en cliquant sur compiler.

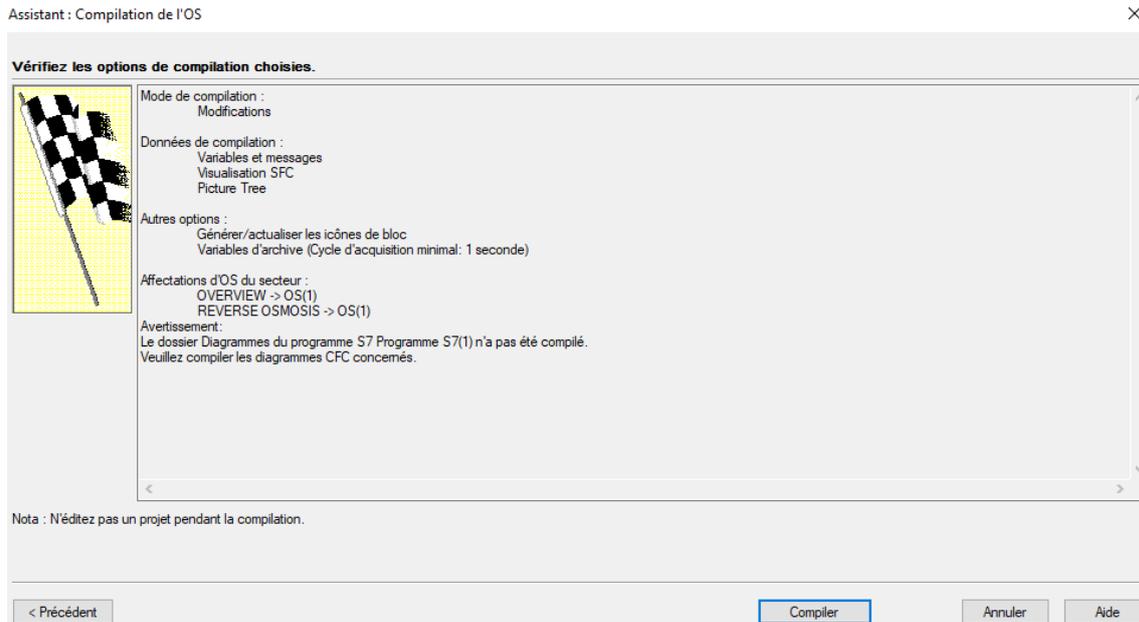


FIGURE A.7 – compilation de la station opérateur

- Une fois que le programme est compilé une fenêtre WinCC Explorer s'ouvre.

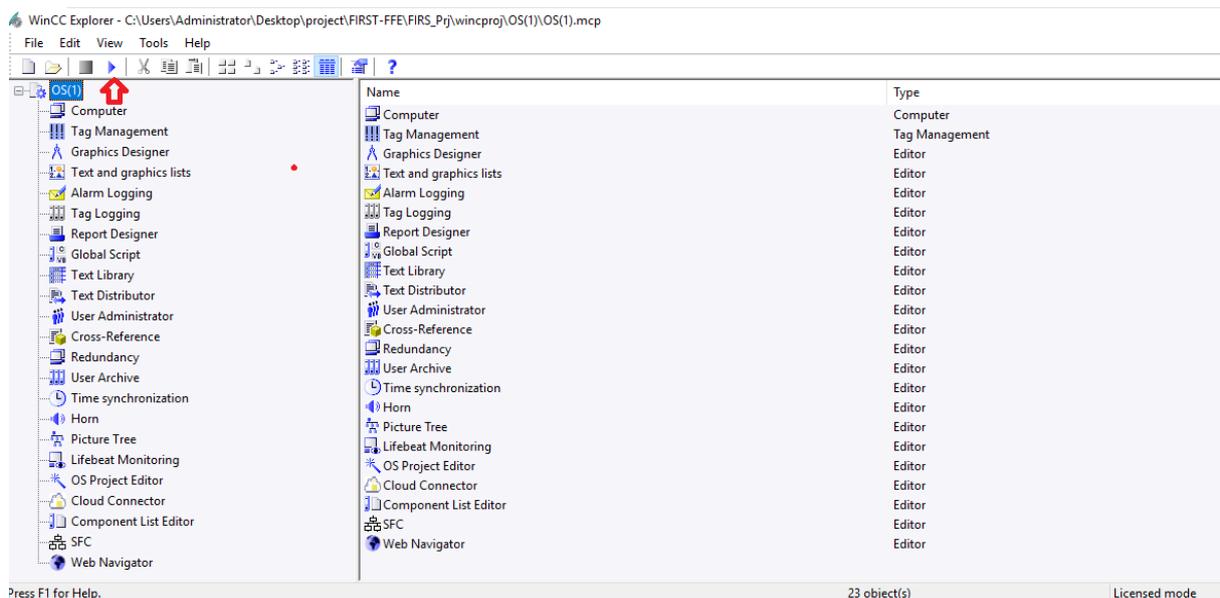


FIGURE A.8 – WinCC Explorer

Comme illustré dans la figure B.3, Le panneau de gauche contient toutes les applications de WinCC, où l'on peut trouver tous les éditeurs utilisables pour configurer le système d'exploitation de la station opérateur (OS). Ainsi que le panneau de droite présente la fenêtre qui affiche des informations détaillées sur l'application de WinCC que nous avons sélectionnée.

ANNEXE B

UTILISATION DU GRAPHIC DESIGNER DE WINCC

Le Graphics Designer de WinCC est un outil utilisé pour concevoir des interfaces homme-machine (IHM) graphiques. Il permet aux utilisateurs de créer des écrans interactifs, tels que des graphiques, des tableaux de bord, des alarmes et des tendances, pour surveiller et contrôler les processus industriels. Il permet aussi de configurer les fonctionnalités des objets graphiques, de lier des données en temps réel, de définir des actions et des événements, et de gérer les alarmes et les tendances.

il offre alors une intégration transparente entre la configuration des IHM et la programmation des automates programmables et des systèmes de contrôle distribué.

— Création de la vue sur Graphic designer

Il est possible de générer une image comprenant les icônes des blocs utilisés lors de la programmation, afin de pouvoir ensuite les organiser dans le Graphic Designer pour obtenir le schéma de supervision souhaité.

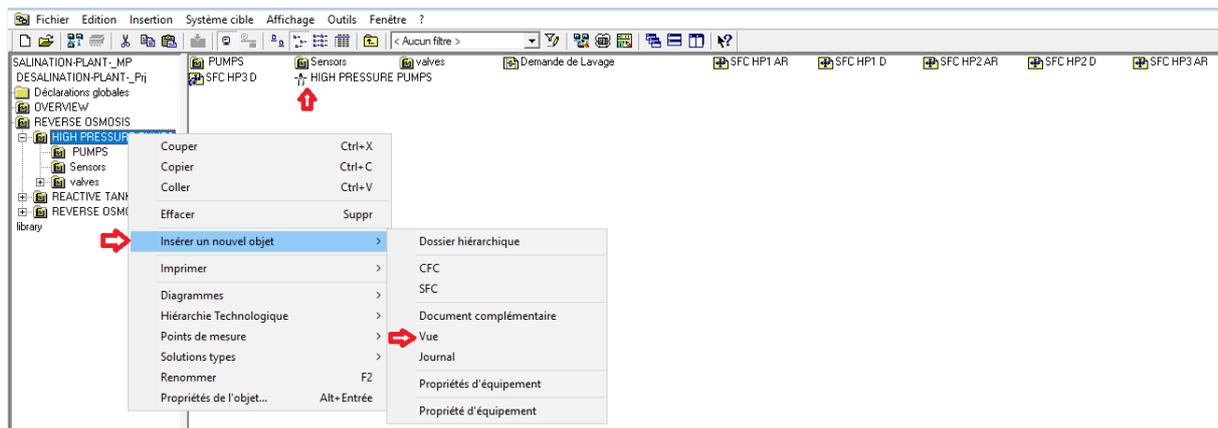


FIGURE B.1 – Création de la vue

— Ouverture du Graphic designer sur WinCC

Après avoir expliqué précédemment comment ouvrir WinCC Explorer, cette fois-ci nous sélectionnons le Graphic Designer. À droite, une liste d'options apparaît, permettant de choisir l'image que nous souhaitons modifier.

— Vue générale du Graphic designer sur WinCC

Après avoir sélectionné l'image souhaitée, les différents icônes des blocs utilisés seront disposés de manière dispersée sur l'écran, et on peut les déplacer en

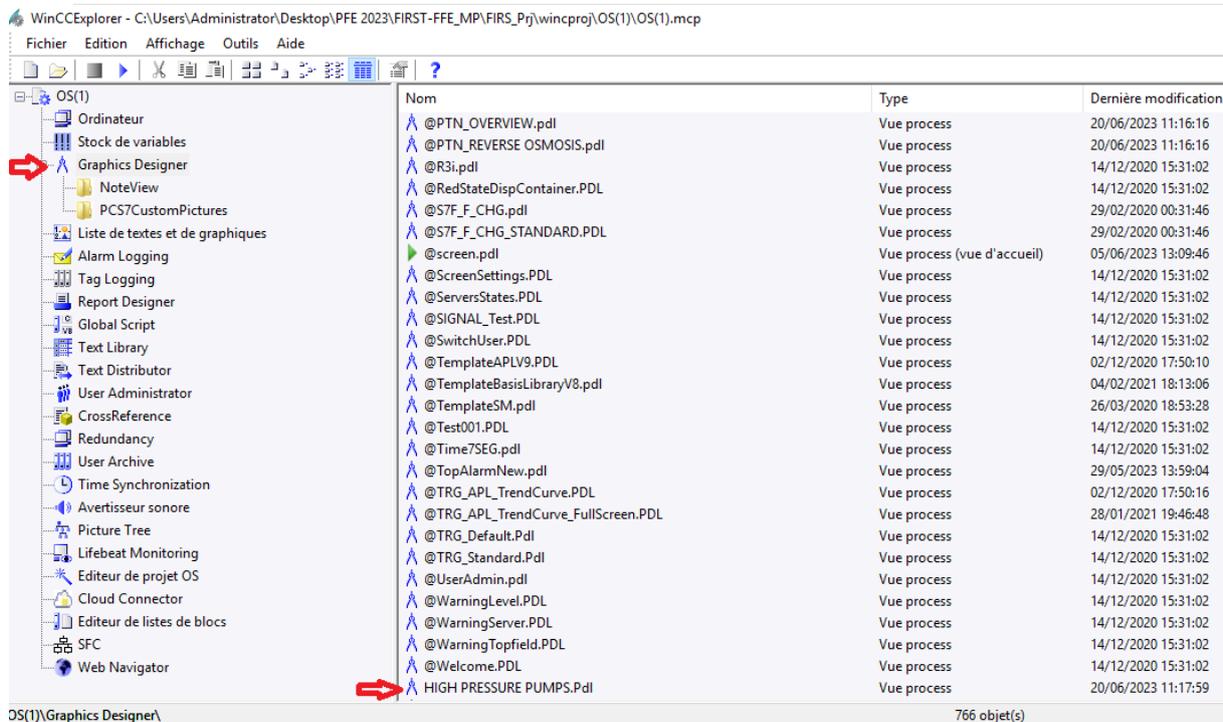


FIGURE B.2 – Vue générale du winCC Explorer

utilisant la souris afin de créer le schéma désiré. On peut également s'appuyer sur les outils à gauche de l'écran à fin d'améliorer le schéma.

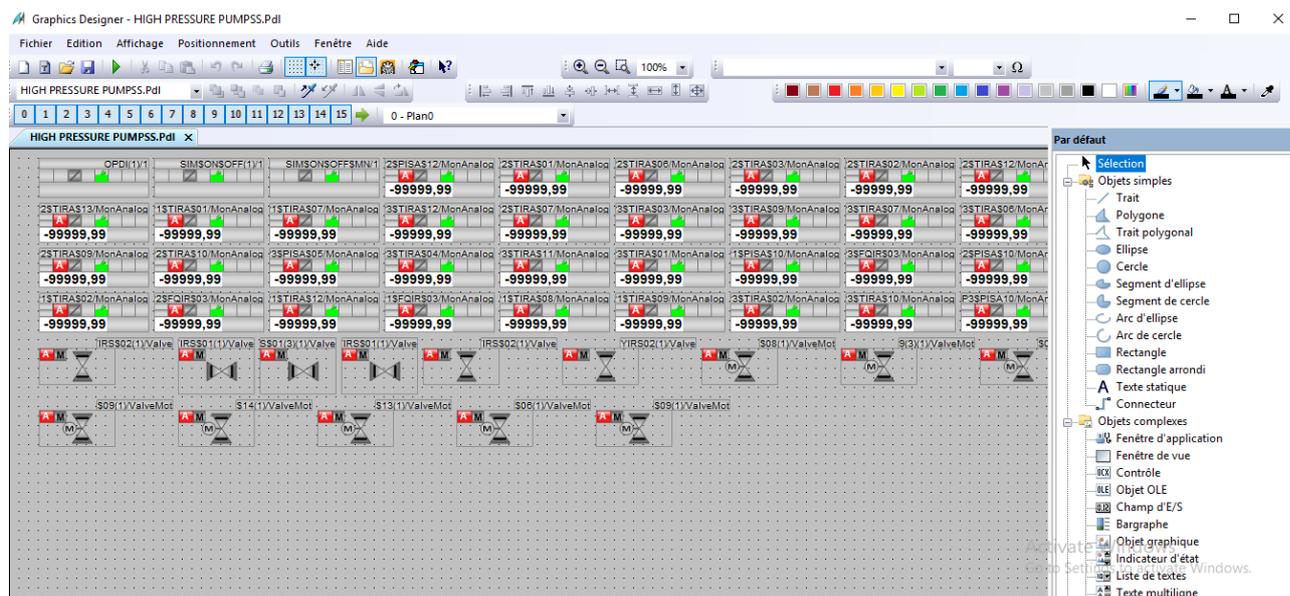


FIGURE B.3 – Graphic Designer

Nous avons effectué d'autres simulations que nous n'avons pas pu inclure dans notre mémoire. Par conséquent, pour accéder à l'ensemble des simulations que nous avons effectuées, vous pouvez scanner les codes QR suivants (vous pouvez utiliser l'application QR Code Scanner).

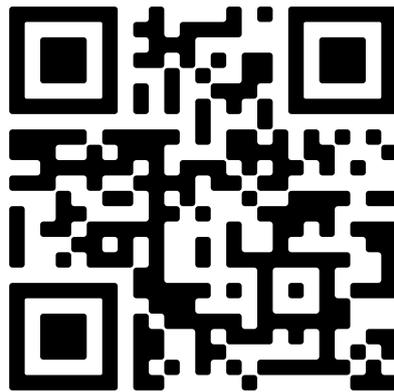


FIGURE C.1 – Code QR pour les premières simulations

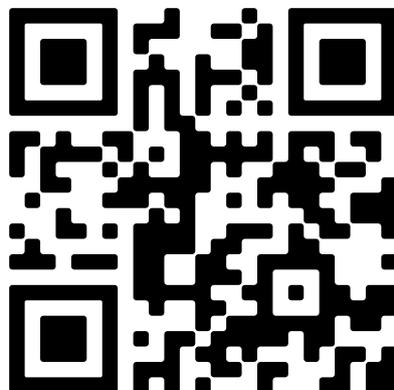


FIGURE C.2 – Code QR pour les deuxièmes simulations



FIGURE C.3 – Code QR pour les dernières simulations