N° Ordre……/DGM/FT/UMBB/2021

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA BOUMERDES

Faculté de Technologie
Département Génie Mécanique

Mémoire de Master

En vue de l'obtention du diplôme de **MASTER** en **:**

Filière : Electromécanique
Spécialité : Electromécanique

THEME :

Automatisation d'une station de dessalement d'eau de mer à base d'API S7-400

Présenté par :

BELLAHDID Madjid

SAIGH Nassim

Promoteur :

Dr. BOUMEDINE Mohamed Said

Co-Promoteur :

M.Lamrani Ali

Membres du jury :

Dr. BEDDEK Karim

Dr. CHELLIL Ahmed

Promotion 2020- 2021

Remerciement

Nous tenons à exprimer nos remerciements avec un grand plaisir et un grand respect envers nôtre encadrant, le Docteur M.Boumedine pour ses conseils, Sa disponibilité et ses encouragements qui nous ont permis de réaliser ce travail dans les meilleurs conditions. Ainsi qu'a nôtre promoteur, l'ingénieur A.Lamrani sans qui ce travail n'aurait pas vu le jour.

Nous exprimons de même notre gratitude envers tous ceux qui nous ont accordé leur soutien, tant par leur gentillesse que par leur dévouement.

A tous les enseignants qui nous ont aidé pendant les cinq ans passés.

A toute personne ayant contribué de près ou de loin à l'avancement de notre projet de fin d'étude.

Table des matières

Introduction générale 1
Chapitre I 3
Description de la centrale de Cap-Djinet 3
I.1. Généralités sur la production de l'électricité 4
I.2. Présentation de la Centrale électrique de Cap-Djinet 4
I.2.1. Implantation de la centrale 4
I.2.2. Historique 5
I.2.3. Constitution de la centrale 6
I.2.4. Principe de fonctionnement de la centrale 7
I.2.5. Fonctionnement du cycle eau-vapeur 9
Conclusion 16
Chapitre II 16
Le procédé de dessalement 16
II.1. Introduction 17
II.2. Principe de dessalement Multi-Flash (MSF) 17
II.3. Caractéristiques techniques de l'installation (par unité) 18
II.3.1. Données techniques 18
II.3.2. Matières/énergies consommables 19
II.3.3. Nature des matériaux 19
II.3.4. Dimensions et poids 19
II.4. Différents constituants de la station de dessalement 20
II.4.1. Evaporateur 20
II.4.2. Chaudière 22
II.4.3. Brûleur mixte (gaz/fioul) 23
II.4.4. Réchauffeur final (échangeur thermique) 26
II.4.5. Pompes de traitement et de transfert d'eau de mer 26
II.4.5.1. Les pompes centrifuges 26
II.4.5.1.1. Motopompe centifuge 27
II.4.5.1.2. Principe de fonctionnement 27
II.4.5.1.3. Réglage de débit 28
II.4.5.2. Les pompes volumétriques 28
II.4.5.2.1. Principe de fonctionnement 28
II.4.6. Filtre d'eau de mer auto-nettoyant 30
II.4.6.1. Fonctionnement en mode filtration 30

II.4.6.2. Fonctionnement en mode nettoyage (régénération) 31
II.5. Système de repérage Alpha/Numérique de l'installation 32
II.6. Le procédé de dessalement de la centrale de Cap-Djinet 33
II.7. Principe de fonctionnement du procédé de dessalement 34
Conclusion 37
Chapitre III 37
Instrumentation et moyens d'automation 37
III.1. Introduction 38
III.2. Contrôle des niveaux dans la station de dessalement 38
III.2.1. Indicateur de niveau avec capteur de niveau type BNA 38
III.2.1.1. Description 38
III.2.1.2. Conception et principe de fonctionnement 39
III.3. Contrôle de la conductivité 41
III.3.1. Conductivité 41
III.3.2. Mesure de la conductivité électrique dans l'eau 42
III.4. Mesure de pression 46
III.4.1. Eléments de mesure 46
III.4.1.1. Manomètre à tube manométrique à contacts électriques 46
III.4.1.2. Manomètre à membrane avec signal de sortie 47
III.4.1.3. Indicateur de pression différentielle 48
III.5. Mesure de débit 49
III.5.1. Elément de mesure 49
III.5.2. Principe de la mesure de débit électromagnétique 50
III.5.3. Transmetteur de débit 51
III.6. Mesure de température 52
III.6.1. Eléments de mesure 52
III.6.1.1. Le thermocouple (TC) 52
III.6.1.2. Thermomètre à résistance RTD 53
III.6.2. Transmetteur de température 54
III.6.3. Exemple de mise à l'échelle d'une mesure de température 55
III.7. Partie opérative (actionneurs) 56
III.7.1. Servomoteurs électriques 56
III.7.1.1. Définition 56
III.7.1.2 Automatisation de vannes industrielles 57
III.7.2. Groupes motopompes 61
III.7.2.1. Démarrage automatique des moteurs asynchrones triphasés 61

III.8. Boucle de courant 4–20 mA 63
III.8.1. Description 63
III.8.2. Avantages 64
Conclusion 64
Chapitre IV 65
Analyse fonctionnelle 65
IV.1. Installations d'avertisseurs et de sécurité automatique 66
IV.2. Classification des signalisations d'avertisseurs 67
IV.2.1. Groupe 01 67
IV.2.2. Groupe 02 67
IV.2.3. Groupe 03 67
IV.2.4. Groupe 04 67
IV.2.5. Groupe 05 67
IV.3. Liste des alarmes et signalisations 68
IV.3.1. Groupe 1 68
IV.3.2. Groupe 2 70
IV.3.3. Groupe 3 72
IV.3.4. Groupe 4 74
IV.3.5. Groupe 5 75
IV.4.3. Mise à l'arrêt d'une unité de dessalement 86
Conclusion 88
V.1. Introduction 90
V.2. Architecture des automates 90
V.2.1. Aspect extérieur 90
V.2.1.1. Automate compact 90
V.2.1.2. Automate modulaire 91
V.2.2. Aspect intérieur 91
V.2.3. Description des éléments d'un API 92
V.2.3.1. Le processeur 92
V.2.3.2. Les mémoires 92
V.2.3.3. Les modules entrées/sorties 93
V.2.3.4. L'alimentation 93
V.2.3.5. Liaisons de communication 93
V.3. Traitement du programme automate 94
V.4. Langages de programmation des API 94
V.4.1. Langages graphiques 95

V.4.2. Langages textuels 96
V.3. Critères de choix d'un automate 97
V.4. Aperçu sur les gammes d'automates Siemens 98
V.4.1. Les modules logiques LOGO 99
V.4.2. L'automate SIMATIC S7-200 99
V.4.3. L'automate SIMATIC S7-300 99
V.4.4. L'automate SIMATIC S7-400 99
V.4.5. L'automate SIMATIC S7-1200 99
V.4.6. L'automate SIMATIC S7-1500 99
V.5. Présentation de l'automate S7-400 99
V.5.1. Constituants d'un S7-400 100
V.5.2. Avantages du S7-400 101
V.5.3. Caractéristique de modularité 102
V.5.4. Gamme de CPU S7-400 102
V.5.5. Installation et configuration d'un S7-400 103
V5.6. Fonction des châssis 104
V.5.7. Système de diagnostic 105
V.5.8. Choix des modules entrées/sorties 105
V.5.9. Adresses géographiques et logiques 105
V.5.9.1. Adresses 105
V.5.9.2. Adresses géographiques 106
V.5.9.3. Adresses logiques 106
V.5.9.4. Adressage sur un module TOR 106
V.5.9.5. Adressage sur un module analogique 106
V.5.10. Alimentation électrique des modules 107
V.5.10.1. Modules d'alimentation et alimentation 107
V.5.10.2. Choix du module d'alimentation 108
V.5.10.2.1. Bilan de consommation 108
V.5.10.2.2. Application calculatoire 108
V.5.10.3. Pile de sauvegarde 109
V.6. Liaisons et mise en réseau du système S7-400 109
V.6.1. Interface multipoint MPI/DP 110
V.7. Logiciel de programmation TIA PORTAL (V.13) 111
V.7.1. Structure de l'interface utilisateur 111
V.7.2. Création d'un projet et configuration d'une station S7-400 113
V.7.3. Configuration matérielle (HW-Config) 114

V.7.4. Adressage des modules 116
V.7.5. Chargement de la configuration matérielle 117
V.7.6. Les variables API 119
V.7.6.1. Adresse absolue et nom symbolique 119
V.8. Structure du programme 120
Conclusion 123
Conclusion générale 124
Bibliographie 125

Liste des figures

Fig 1.1. Vue par satellite de la Centrale électrique de Cap-Djinet……..5
Fig 1.2. Centrale électrique à vapeur de Cap-Djinet……...6
Fig 1.3. Illustration des différentes formes de transformation d'énergie……7
Fig 1.4. Schéma thermique d'une tranche de production……8
Fig 1.5. Réchauffeur basse-pressionb……9
Fig 1.6. Bâche alimentaire……10
Fig 1.7. Vue d'ensemble : Chaudière / Salle des machines……..11
Fig 1.8. Le condenseur……..12
Fig 1.9. Poste de départ d'énergie électrique……14
Fig 1.10. Circuit de cycle eau-vapeur……...15
Fig 2.1. Schéma simplifié de la station de dessalement……...17
Fig 2.2. Illustration de la station de dessalement de Cap-Djinet……..20
Fig 2.3. Illustration de l'évaporateur……....21
Fig 2.4. La chaudière……22
Fig 2.5. Constituants du brûleur « Weishaupt / WM 30 »……24
Fig 2.6. Schéma de principe de la recirculation de fumées avec brûleur WM 30……25
Fig 2.7. Schéma de principe : Manager de combustion W-FM 200……25
Fig 2.8. Le réchauffeur final……26
Fig 2.9. Pompe centrifuge horizontale……..27
Fig 2.10. Pompe à piston et membrane……29
Fig 2.11. Filtre d'eau de mer auto-nettoyant……31
Fig 3.1. Indicateur de niveau magnétique avec capteur de niveau……39
Fig 3.2. Illustration du principe de fonctionnement : capteur de niveau……...39
Fig 3.3. Câblage électrique du capteur/transmetteur de niveau saumure étage 18……...40
Fig 3.4. Plan de connexions : capteur de niveau/régulateur/API/actionneur……41
Fig 3.5. Mesure de la conductivité électrique dans l'eau……..42
Fig 3.6. Le conductivimètre……..43
Fig 3.7. Schéma de principe d'un conductivimètre……..43
Fig 3.8. Plan de connexions : Transmetteur du conductivité/Indicateur/API……...44
Fig 3.9. Schéma de principe d'un conductivimètre……..45
Fig 3.10. Manomètre à tube manométrique à contacts électriques……...46
Fig 3.11. Manomètre à membrane avec signal de sortie……...47
Fig 3.12. Indicateur de pression différentielle « BOLL »……48
Fig 3.13. Débitmètre électromagnétique « Endress+Hauser »……..49
Fig 3.14. Schéma de principe de la mesure de débit électromagnétique……..49
Fig 3.15. Schéma de raccordement du transmetteur de débit……...50
Fig 3.16. Exemples de raccordement du transmetteur de débit……50
Fig 3.17. Point de mesure d'un thermocouple……..51
Fig 3.18. Principe de mesure d'un thermocouple……52
Fig 3.19. Thermomètre à résistance avec sonde Pt-100……53
Fig 3.20. Illustration d'un transmetteur de température……53
Fig 3.21. Désignation des bornes de connexion des transmetteurs de température……..54
Fig 3.22. Mise à l'échelle d'une mesure de température……..54
Fig 3.23. Ensemble : vanne/servomoteur électrique……55

Fig 3.24. *Bloc de commande électromécanique du servomoteur*.....57
Fig 3.25. Plan de commande par API de la vanne WR14S002……58
Fig 3.26. Schéma de commande et de puissance de la vanne WR14S002……...59
Fig 3.27. Motopompe de recirculation de saumure WR11D001……..60
Fig 3.28. Plan de commande par API de la motopompe WS11D001……...61
Fig 3.29. Schéma de commande et de puissance de la motopompe WS11D001……..63
Fig 4.1. Pupitres opérateur pour le contrôle des unités de dessalement……79
Fig 4.2. Bloc séquenceur modélisant les différentes étapes de démarrage d'une unité……82
Fig 4.3. Bloc séquenceur modélisant les étapes de mise à l'arrêt d'une unité……..85
Fig 5.1. Automate compact LOGO-V8 de Siemens…….86
Fig 5.2. Automates modulaires…….87
Fig 5.3. Structure interne d'un automates programmables industriels (API)……88
Fig 5.4. Fonctionnement cyclique d'un API…….90
Fig 5.5. Exemple d'un mode de programmation à contacts……..91
Fig 5.6. Exemple d'un programme avec le langage FBD…….92
Fig 5.7. Exemple d'une programmation avec SFC……...92
Fig 5.8. Exemple d'une programmation avec List……93
Fig 5.9. Exemple d'un programme littéral structuré…….93
Fig 5.10. Modèles des différentes gammes d'automates Siemens……95
Fig 5.11. Vue des composants du SIMATIC S7-400 par accrochage des modules……..99
Fig 5.12. CPU S7-400 en sept classes de puissance……...100
Fig 5.13. CPU S7-400 PN (PROFINET intégré) en trois classes de puissance…….100
Fig 5.14. Illustration du mode d'dressage sur module TOR/Analogique……...104
Fig 5.15. Alimentation en courant et en tension des différents modules du S7-400……...105
Fig 5.16. Interfaces de communication de la CPU 416-3 PN/DP……...107
Fig 5.17. Vue De réseau d'un système S7-400……...108
Fig 5.18. Vue du Portail……..109
Fig 5.19. Vue du projet……...110
Fig 5.20. Création d'un projet…….111
Fig 5.21. Editeur du matériel et de réseau……...112
Fig 5.22. Paramétrage des modules entrées/sorties (alarme de diagnostic)……113
Fig 5.23. Adressage des modules……114
Fig 5.24. Chargement de la configuration matérielle dans l'appareil…….115
Fig 5.25. Charger l'appareil dans le projet……..116
Fig 5.26. Table des variables API standard……117

Liste des tableaux

Tableau 2.1. Données techniques de l'installation……18
Tableau 2.2. Matières/énergies consommables…….19
Tableau 2.3. Nature des matériaux……19
Tableau 2.4. Dimensions et poids d'une unité de dessalement…….20
Tableau 2.5. Caractéristiques aux différents points de l'évaporateur……...22
Tableau 2.6. Caractéristiques de la chaudière……...23
Tableau 2.7. Caractéristiques des pompes de circulation (centrifuges)……29
Tableau 2.8. Caractéristiques des pompes doseuses (volumétriques)……...30
Tableau 2.9. Système de repérage Alpha/Numérique……...32
Tableau 2.10. Désignations du 3ième rang du système de repérage…….32
Tableau 2.11. Fonctions des appareils de mesure…….33
Tableau 4.1. Liste des alarmes du groupe 01……67
Tableau 4.2. Progression des débits de l'eau en fonction de la température……79
Tableau 5.1. Constituants d'un S7-400…….98
Tableau 5.2. Modules dans les différents châssis……...102
Tableau 5.3. Bilan de consumation pour châssis 01……...105
Tableau 5.3. Bilan de consumation pour châssis 02……...106
Tableau 5.4. Exemples d'adressage symbolique et absolu…….116
Tableau 5.5. Signification des colonnes la table des variables API……117
Tableau 5.6. Structure d'appels de blocs……122

Introduction générale

Introduction générale

Les humains sont toujours à la recherche du bonheur. Ce genre de réflexion liée à la notion de demande semble être loin du curriculum des sciences industrielles, mais c'est la base du développement de la science en général et la base de l'automatisation en particulier. Les humains commencent par penser, concevoir et réaliser. Lorsqu'il est nécessaire d'augmenter le nombre d'objets fabriqués pour produire plus de quantités, l'automatisation des tâches émerge. Face aux exigences concurrentielles croissantes et exigeantes des industries telles que les machines, la transformation de produits ou les biens de consommation, les fabricants doivent maintenir l'efficacité et la fiabilité de leurs outils de production. Dans ce domaine, l'automatisation occupe une place très importante. Aujourd'hui, il est difficile de concevoir un système de production sans recourir aux différentes technologies et composants qui constituent un système de production automatisé.

Un système automatisé ou automatique est un système qui effectue des opérations, et le personnel n'intervient que dans la programmation et le réglage du système. L'objectif des systèmes automatisés est d'effectuer des tâches complexes ou dangereuses, d'effectuer des tâches douloureuses ou répétitives, ou d'améliorer l'efficacité et la précision pour les humains. Afin de préparer la prochaine carrière professionnelle, nous devions effectuer un stage d'un mois. Le stage a été validé par la rédaction d'un mémoire de fin d'étude décrivant notre projet achevé. Pour notre part, nous avons effectué notre stage au sein de la société algérienne de production d'électricité (SPE), filiale du Groupe SONELGAZ de la Centrale Thermique Vapeur Cap-Djinet. Au cours de ce stage, nous avons été assigné à diverses tâches. Ce document décrit ces différentes tâches en détail et tout le travail accompli.

La centrale thermique de Cap-Djinet occupe une place importante dans le réseau national de production d'électricité, fournissant une puissance utile (704 MW) et est équipée de quatre (04) groupes de production d'énergie. La demande d'électricité du réseau est automatiquement corrélée à la demande de débit de vapeur nécessaire pour entraîner la turbine. La source de débit de vapeur est directement proportionnelle au débit d'eau

d'alimentation de la chaudière. L'eau d'alimentation de la chaudière est directement raccordée à l'eau d'appoint du condenseur. Cette dernière est alimentée par la station de traitement d'eau (par le réservoir d'eau de tête) et passe d'abord par la station de dessalement, c'est un thème particulier de notre travail.

Problématique :

Le dessalement de l'eau de mer est réalisé dans 4 unités identiques selon le principe de la distillation à détente continue.

Ces unités sont commandées et surveillées par des automates programmables du type SIMATIC S5-110S (Siemens) installés dans la salle de commande où s'effectue la supervision par un pupitre opérateur pour le fonctionnement de chacune des unités de dessalement.

Contraintes d'utilisation :

Le programme utilisateur établi pour la gestion de ces unités est décrit en langage STEP5, et manipule 248 entrées, 192 sorties, 249 mémentos. Ce programme a été fourni par le constructeur.

Il n'est pas accompagné d'une documentation complète et lisible qui permet une meilleure exploitation de l'installation.

Ces automates tombent continuellement en panne, et présentent un certain nombre d'inconvénients.

Manque des pièces de rechange : le modèle S5-110S devient obsolète et est révoqué par les nouvelles techniques de commande.

Solution :

L'objectif de notre projet est d'analyser tous les modes de fonctionnement du procédé de dessalement (fonctionnement normal, démarrage, arrêt, arrêt d'urgence) pour élaborer un programme de commande à base d'Automate Programmable Industriel (API) SIEMENS / S7-400 afin de pallier les aléas cités dans la problématique.

Développement de l'étude :

Notre travail est réparti en cinq (05) chapitres, il s'ensuit :

Introduction générale.

Chapitre I : Nous aborderons la généralité de la production d'électricité, en mettant l'accent sur les principes de fonctionnement du cycle de la vapeur et présenterons la centrale de Cap-Djinet.

Chapitre II : Nous présenterons les aspects process du processus technique de la station de dessalement automatisée.

Description détaillée du processus et composants technologiques.

Chapitre III : Elle portera sur les moyens d'automatiser le contrôle automatique du procédé.

Chapitre IV : Nous analyserons la fonction de tous les modes de fonctionnement du processus de développement :

Fonctionnement normal.

Démarrage / Arrêt.

Arrêt d'urgence.

Chapitre V : il sera consacré à l'automate programmables et logiciels associés :

Le choix et les caractéristiques de l'API proposé (Siemens - S7-400).

Le logiciel de programmation TIA Portal (V.13).

Conclusion générale.

Bibliographie : Les références des documents examinés sont jointes à la fin de l'étude.

Chapitre I

Description de la centrale de Cap-Djinet

I.1. Généralités sur la production de l'électricité

Le développement de la technologie nécessite de plus en plus la production d'énergie sous différentes formes pour répondre aux besoins industriels.

À notre époque, la vie quotidienne est inimaginable sans électricité. Par conséquent, il est nécessaire de comprendre comment produire de l'électricité de manière efficace et durable. Afin de répondre à la consommation électrique toujours croissante, il est nécessaire d'inventer et de construire des usines capables de produire cette énergie en grande quantité.

L'électricité n'existe pas dans la nature sous une forme directement valorisable à l'échelle des besoins industriels, elle doit donc partir d'une autre source appelée « énergie primaire », comme l'hydroélectricité, l'énergie solaire, l'énergie nucléaire, l'énergie thermique, l'énergie éolienne, etc...

L'électricité est produite dans des usines génératrices dites centrales, comprenant un ou plusieurs groupes tournants, chaque groupe est composé d'une machine de puissance qui entraîne un alternateur, générant un courant triphasé (50 Hz) et une tension comprise entre 05 et 15,5 KV Cette tension n'est pas suffisante pour le transport, elle est donc portée à une valeur comprise entre 63 et 235 KV grâce à un transformateur (booster) situé dans le poste de départ. En Algérie, le principal mode de production d'électricité est la centrale thermique dont le principe est de convertir l'énergie thermique en énergie électrique.

I.2. Présentation de la Centrale électrique de Cap-Djinet

Les centrales à vapeur sont généralement situées à proximité des rivières ou des lacs pour s'assurer qu'elles disposent de suffisamment d'eau pour leur fonctionnement. La centrale thermique de Cap-Djinet étant conçue pour fonctionner à base d'eau, elle a donc été construite à proximité de la mer.

I.2.1. Implantation de la centrale

La centrale est située au bord de la mer à l'est d'Alger près de la ville de Cap-Djinet dans la Wilaya de Boumerdès (30 Km à l'est du chef-lieu de la Wilaya). (Fig 1.1)
Le choix du site s'est fait sur la base des critères suivants :

- Proximité de la mer.
- Proximité des consommateurs importants situés notamment dans la zone industrielle Rouïba - Réghaïa.
- Possibilité d'extension.
- Conditions du sous-sol favorables ne nécessitant pas de fondations profondes.

Fig.1.1. *Vue par satellite de la Centrale électrique de Cap-Djinet*

I.2.2. Historique

En 1986, la centrale thermique de Cap-Djinet servait à renforcer le Parc National de Production d'Energie, avec quatre (04) groupes de production, chacun d'une puissance de 176MW (Figure 1.2). Il a été construit par le consortium austro-allemand : KWU (Kraftwerk Alliance) de la Royal Air Force et SGP (Simmering GRAZ Pauker et Siemens) d'Autriche, responsable de la recherche, de la supervision de l'assemblage et du contrôle structurel. Et la société espagnole DRAGADOS, qui a été mandatée pour réaliser l'extraction d'eau de mer. De nombreuses entreprises algériennes ont également participé à la construction de l'usine. Les activités de chaque entreprise sont : ENCC, ETTERKIB, BATIMETAL, GENISIDER, INERGA, SNLB, PROSIDER, ENATUB, SNIC, GTP, SONATRAM, SOGEP [2]. Les différentes étapes de réalisation se sont déroulées comme suit :

- Les principaux contrats de réalisation ont été signés en 1980, les travaux de terrassement ont démarré en 1981, et les travaux de montage ont commencé en Mars l984.
- La première fourniture d'énergie électrique au réseau s'est effectuée le 17 juin 1986.
- Calendrier de réalisation des principales parties de la centrale :
    - Travaux de génie civil : Juin l981 - Mars l985.
    - Montage mécanique : Mars 1984 - Septembrel986.
    - Montage électrique : Mars 1984 - Septembre 1986.
- La mise en service des groupes de production d'électricité s'est déroulée comme suit
    - Groupe 1 : Décembre l985.
    - Groupe 2 : Avril 1986.
    - Groupe 3 : Septembre 1986.
    - Groupe 4 : Décembre 1986

Fig.1.2. *Centrale électrique à vapeur de Cap-Djinet*

I.2.3. Constitution de la centrale

La centrale est essentiellement constituée de :

- 04 groupes de production (Turbo-Alternateurs) d'une puissance maximale de 176 MW chacun.
- 04 Chaudières de type circulation naturelle.
- 04 disjoncteurs machines (alternateurs) et 04 disjoncteurs ligne (réseau).
- 04 transformateurs principaux (élévateurs) et 04 transformateurs de soutirage (abaisseurs).
- 02 salles de commande pour le contrôle des 04 groupes.
- Des installations auxiliaires communes pour les 04 groupes dont :
    - La station de filtration et de pompage d'eau de mer.
    - Le poste de traitement des eaux qui comporte 04 unités de dessalement
    - Une station de déminéralisation.
    - Une station de production d'hydrogène.
    - Un poste de détente gaz et un poste de dépotage fuel.
    - 02 salles de compresseurs et 02 groupes Diesel.

I.2.4. Principe de fonctionnement de la centrale

Avant de décrire le fonctionnement de la centrale, il sera utile de rappeler les différentes transformations énergétiques pour la production de l'électricité (Fig 1.3).

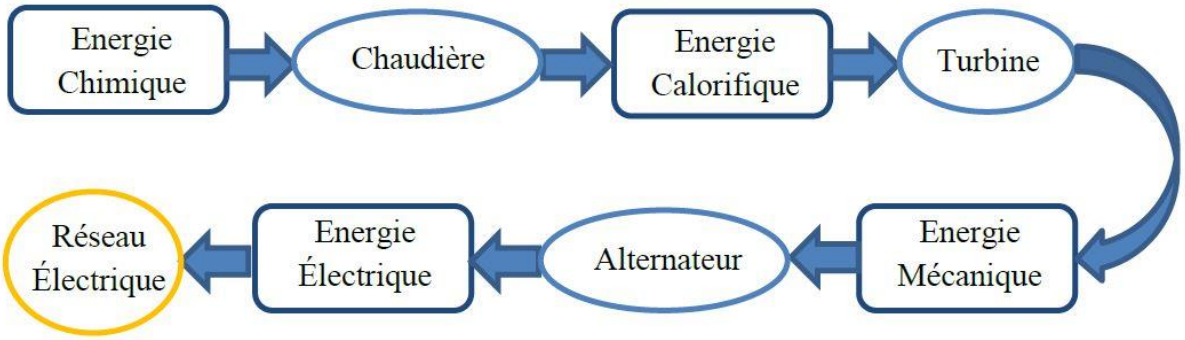


Fig.1.3. *Illustration des différentes formes de transformation d'énergie*

- **Chaudière :** transforme l'énergie chimique du combustible en énergie calorifique pour la production de la vapeur.
- **Turbine :** transforme l'énergie calorifique et cinétique de la vapeur en énergie mécanique pour la rotation turbine et l'entrainement de l'alternateur par la suite.
- **Alternateur :** transforme l'énergie mécanique en énergie électrique.

Dans la centrale de Cap-Djinet, l'énergie électrique provient de la transformation de l'énergie thermique en énergie mécanique qui se produit de la manière suivante :

- L'usine comporte des générateurs de vapeur ou chambres de combustion (chaudières) fonctionnant au carburant (gaz ou fuel). (Fig.1.4).
- La chaleur dégagée par cette combustion est utilisée pour chauffer l'eau traitée en vue de recueillir de la vapeur à haute température et pression.
- La détente de cette vapeur dans les aubages de la turbine produit une énergie mécanique (couple moteur) que l'on utilise pour entrainer l'alternateur.

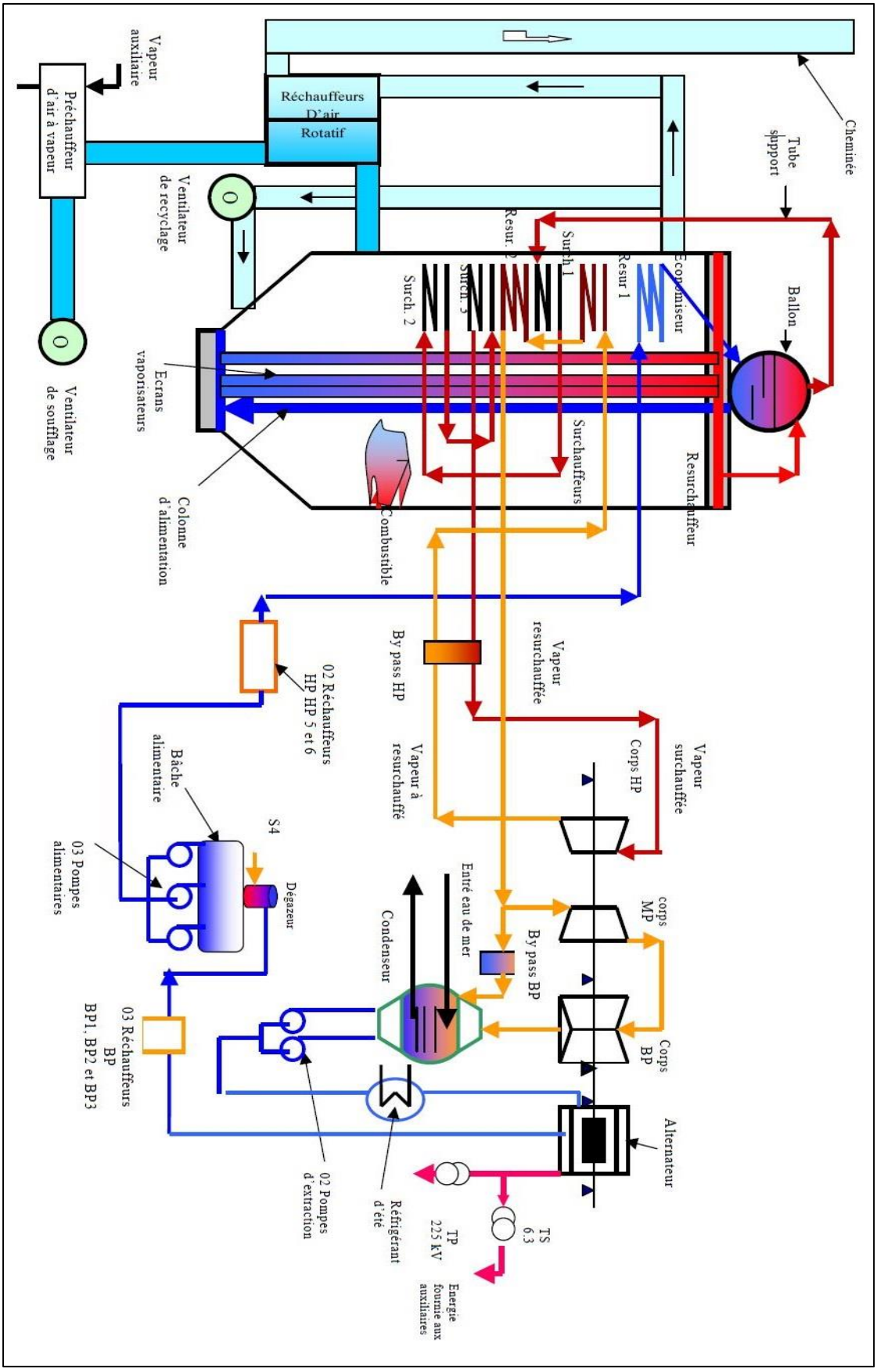


Fig 1.4. *Schéma thermique d'une tranche de production*

I.2.5. Fonctionnement du cycle eau-vapeur

La vapeur traversant les turbines (corps principal HP, MP, BP) (2, 3, 4) (Figure 1.10) pénètre enfin dans le condenseur (8) situé en dessous du corps principal BP (4). Cette vapeur va se diffuser dans 15000 tuyaux en titane (9) et les disposer horizontalement dans le condenseur. L'eau de mer circule dans le condenseur comme source froide pour condenser la vapeur. Ceci produira le condensat principal, qui sera collecté dans le puits du condenseur (10) et aspiré par l'une des 02 pompes aspirantes (13) (une en fonctionnement et une en veille). La pompe utilisée refoule cette eau condensée vers le circuit basse pression (circuit d'eau d'extraction) et refoule l'eau vers le réservoir alimentaire, où elle est physiquement dégazée. Le niveau de liquide dans le condenseur est régulé par la vanne de régulation (14). Lors de son passage dans le circuit d'extraction d'eau (Figure 1.5), l'eau sera progressivement réchauffée par le fluide frigorigène de l'alternateur, le condenseur des buées, les éjecteurs de vapeur ainsi que le poste de réchauffage basse pression composé des réchauffeurs BP1, BP2, BP3(17).

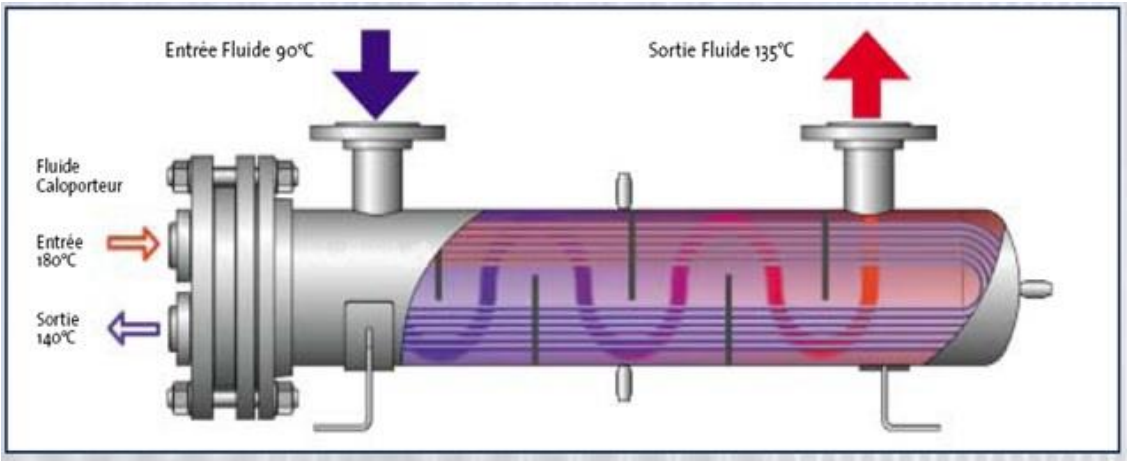


Fig.1.5. *Réchauffeur basse-pression*

Puis il pénètre dans la bâche alimentaire (18) par le dégazeur pour le dégazage (élimination de l'O2) et le réchauffage par mélange (Figure 1.6). L'eau dégazée dans le réservoir alimentaire est chauffée à environ 140C° et sera aspirée par la bâche alimentaire. Trois d'entre elles (19) (deux en service et une en veille) sont chauffées par une chaudière d'alimentation ou un générateur de vapeur (29) La température des HP5 et HP6 (20) est portée à 240 °C avant d'entrer dans la chaudière (eau d'alimentation) [1].

Fig.1.6. *Bâche alimentaire*

L'eau d'alimentation entrera dans la chaudière au niveau d'eau de l'économiseur (22) à travers la vanne alimentaire (21) (vanne de régulation du niveau du réservoir d'eau de la chaudière), et sa température sera encore augmentée à environ 300° avant d'entrer dans le réservoir d'eau de la chaudière. (24). L'eau fournie au réservoir d'eau occupera la partie inférieure et son niveau d'eau sera réglé à 50 %. L'eau descendra ensuite par la colonne d'alimentation (23) jusqu'au collecteur inférieur, qui alimentera le tube ou écran d'évaporation directement exposé aux flammes des huit brûleurs (26) disposés sur l'une des quatre faces (25) Pour la cheminée du ballon chaudière. En raison de la différence de densité entre l'eau et la vapeur (la vapeur est plus légère que l'eau), la vapeur générée dans ces tubes (tamis/évaporateur) s'élèvera vers le collecteur supérieur. Ce type de chaudière est appelé chaudière à circulation naturelle (29). La vapeur saturée sera évacuée du collecteur supérieur du tamis de l'évaporateur, puis acheminée vers la partie supérieure du réservoir d'eau de la chaudière. Par conséquent, le réservoir de la chaudière (24) servira de réserve d'eau et de vapeur saturée pour fournir de la vapeur HP surchauffée à la turbine. La pression de vapeur réglée dans le ballon est de 160 bars. Cette vapeur humide (contenant des gouttelettes d'eau) doit être séchée avant d'entrer dans la turbine principale de la turbine HP (2). Par conséquent, il sortira du ballon et passera par les surchauffeurs n° 1, 2 et 3 (27) pour le séchage, puis se transformera en vapeur fraîche ou en vapeur sèche. La vapeur sera évacuée de la chaudière à une pression de 160 b et une température de 540 °C (Figure 1.7). Elle se dirigera ensuite vers le corps de turbine HP (2), où elle subira une détente et sera évacuée sous forme de vapeur moyenne pression à une température proche de la

température de vapeur saturée. A cet effet, il sera réintroduit dans la chaudière pour passer les resurchauffeurs N° 1 et 2 (28) où elle sera resurchauffée.

Les trois surchauffeurs (27), les deux resurchauffeurs (28), ainsi que l'économiseur (22) sont disposés au-dessus du foyer chaudière. C'est donc la chaleur contenue dans les gaz de combustion qui servira à sécher et à resurchauffer la vapeur motrice de la turbine.

Fig.1.7. *Vue d'ensemble : Chaudière / Salle des machines.*

La vapeur surchauffée sortira de la chaudière avec une pression moyenne variant entre 20 et 30 bar, selon la charge de l'unité (la puissance active produite par l'alternateur, en MW), la température est de 540 °C, et MP sera alimenté Le corps principal de la turbine (3) où il subira une autre détente pour produire basse pression et température, et entrera directement dans le corps principal BP (4) de la turbine, où il subira le dernier groupe de détente (8) avant d'entrer dans le condenseur. Le condenseur est un élément à l'état de vide (vide généré par quatre éjecteurs de vapeur : 2 pour le service et 2 pour le démarrage (Figure 1.8).

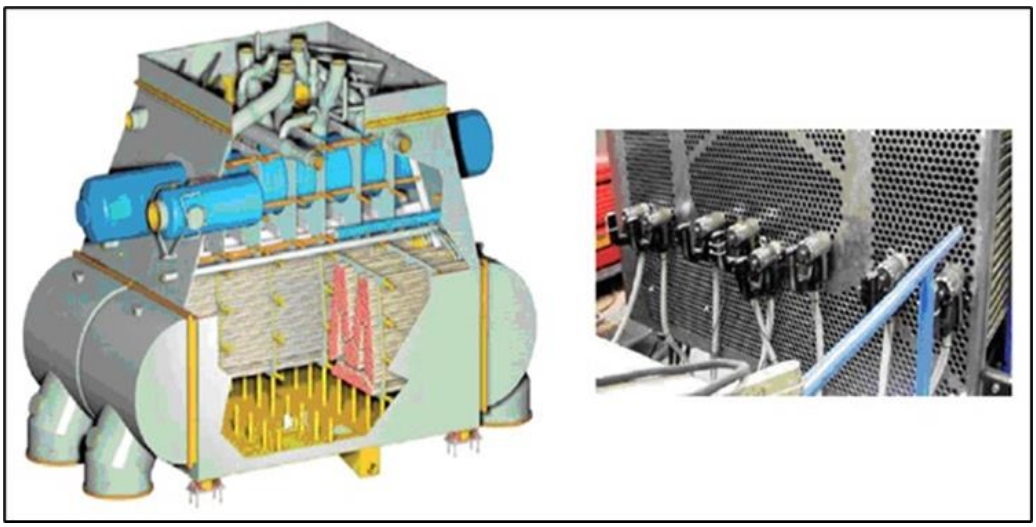


Fig.1.8. *Le condenseur*

La vapeur ajoutée au condenseur sera en contact avec la surface d'échange du tube en titane. Le tube en titane est la source froide dans laquelle circule l'eau de mer évacuée du circulateur (15). Il y en a deux dans le lieu de pompage. L'eau de mer sera utilisée pour le refroidissement par vapeur (condensation) et sera transportée de la sortie du condenseur vers le canal de décharge (16) vers la mer. La vapeur en contact avec le tuyau froid va se condenser et devenir liquide dans le puits du condenseur (10). Ce liquide constituera le condensat principal, qui sera à nouveau aspiré par la pompe aspirante en service et renvoyé dans le même circuit dans le cycle vapeur. Il est à noter que les pertes (fuites d'eau et de vapeur) feront baisser le niveau du condenseur, et le condenseur doit être réglé à un niveau stable de 900mm.

Ces pertes seront compensées par de l'eau traitée supplémentaire, et cette compensation se fera automatiquement grâce à un ballon tampon (12) situé à proximité du condenseur. La bâche elle-même sera fournie par la station de traitement des eaux (11). L'eau traitée utilisée pour générer de la vapeur dans le cycle de la vapeur d'eau est une source d'eau de mer puisée à la station de pompage. Elle passe par quatre dispositifs de dessalement d'eau de mer (11), dont chacun produira 500 mètres cubes par jour. Ces eaux dessalées seront stockées dans 2 bâches (2x2700m3), elles seront acheminées vers la station de déminéralisation, où se trouvent 2 filtres à lit mixte, chacun pouvant produire 40m3/h d'eau déminéralisée, qui est stockée dans 2 A 1500m3 réservoir de stockage.

L'eau adoucie sera envoyée vers les bâches surélevées (2x40m3) : l'une sert à alimenter les bâches tampons des premier et deuxième groupe et l'autre sert à alimenter les troisième et quatrième groupe.

La production d'électricité n'est qu'une résultante de différentes transformations successives de l'énergie chimique contenue dans le gaz naturel provenant des puits de Hassi R'mel :

Energie chimique (gaz) ⟹ Energie thermique (combustion, chaudière).

Energie thermique (chaudière) ⟹ Energie mécanique (turbine).

Energie mécanique (turbine) ⟹ Energie électrique (alternateur).

Après avoir brûlé le mélange air/gaz dans les 8 brûleurs (26) de la chaudière (29), l'énergie chimique contenue dans le gaz naturel sera convertie en énergie calorifique. La chaleur générée par cette combustion sera transférée à l'eau circulant dans le tube évaporateur ou tamis (25). Cette chaleur (énergie thermique) sera transférée par la vapeur aux turbines (2, 3, 4), où elle sera convertie en énergie mécanique équivalente à une fréquence de 50 Hz (mouvement de rotation d'un arbre tournant à 3000 tr/min).

Par conséquent, le rotor de l'alternateur sera entraîné par la rotation de l'arbre de turbine, et l'arbre de turbine générera alors de l'énergie électrique à la sortie des trois phases de l'alternateur (5). La puissance active générée à la borne de l'alternateur (BA) ou charge active de base sera de 176 MW. La tension de sortie de l'alternateur est de 15,5KV, le courant par phase est jusqu'à 8000A et la fréquence est de 50Hz. L'énergie électrique fournie par l'alternateur sera évacuée par le disjoncteur d'alternateur (BBC) ou le disjoncteur de groupe, puis entrera dans le transformateur principal pour augmenter la tension de 15,5KV à 220KV. Après le transformateur principal TP, l'énergie fournie sera fournie au réseau 220KV des postes d'Alger Est et de Si Mustapha à travers des disjoncteurs de ligne (postes blindés SF6).

Fig.1.9. *Poste de départ d'énergie électrique*

Veuillez noter que juste avant le transformateur TP, une partie de l'énergie électrique générée est extraite. Cette énergie électrique sera fournie au transformateur d'extraction TS pour convertir la tension de sortie de l'alternateur de 15,5 KV à 6,3 KV, alimentant ainsi l'auxiliaire électrique, équipement du groupe. Il s'agit d'un équipement auxiliaire auto-alimenté spécifique au groupe, chacun consommera environ 8 MW. Ainsi, nous fournirons une BU de puissance unitaire (terminal d'usine) de 168 MW par groupe. La puissance totale fournie au réseau est de 4x168Mw. La ligne 63KV va de la sous-station Si Mustapha au transformateur TR (transformateur secteur), qui convertit la tension 63KV en 6,3KV, fournit une alimentation de secours pour les quatre bus 6,3KV (BA/BB) des quatre unités, et alimente les machines auxiliaires du groupe.

La puissance totale fournie au réseau est de 4x168 MW. Actuellement 1 et 2 flux sont à la station Alger Est 220KV, 3 et 4 flux sont à la station Si Mustapha 220KV.

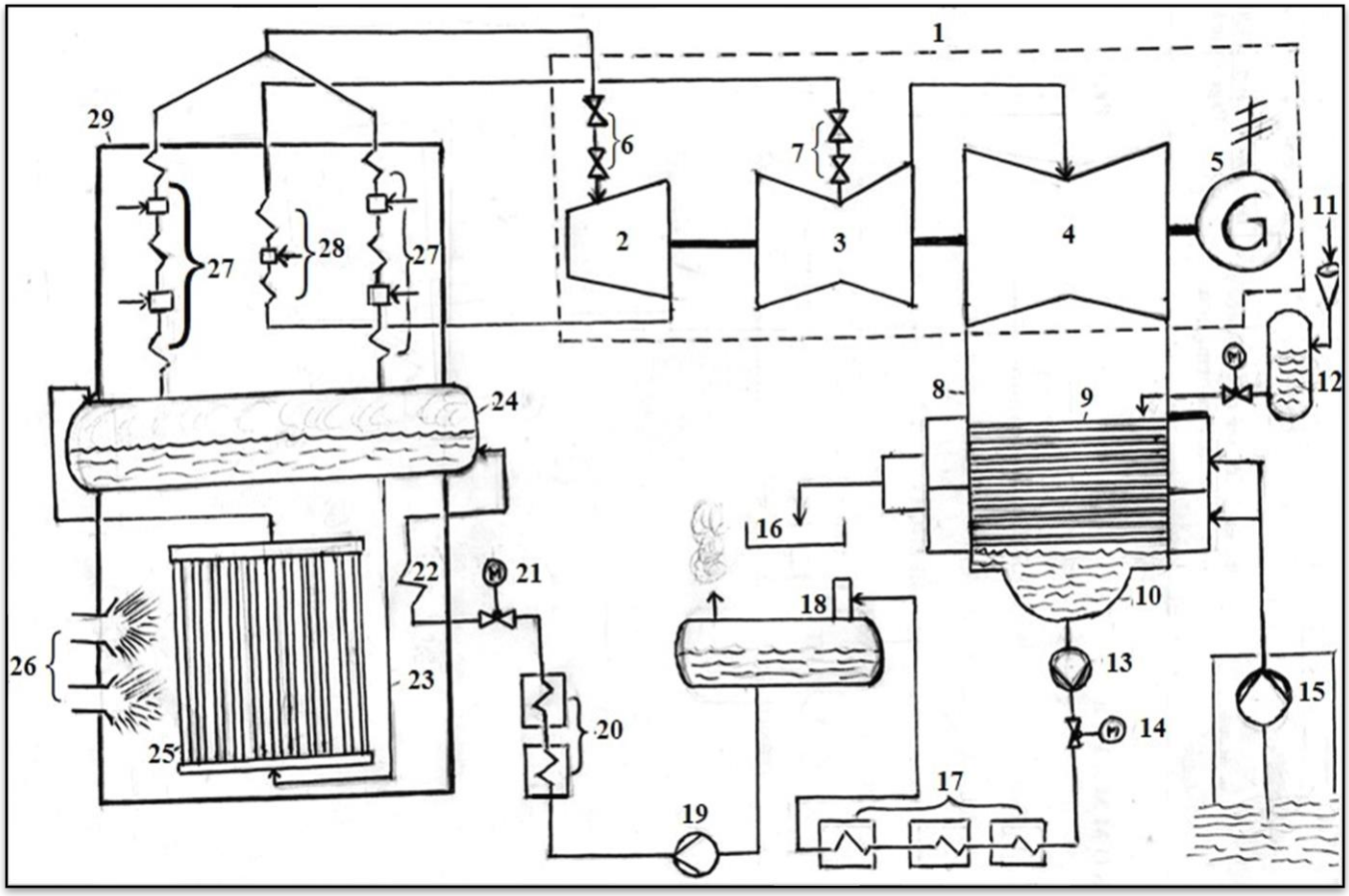


Fig.1.10. *Circuit de cycle eau-vapeur*

Légende du schéma cycle eau-vapeur (Fig. 1.10)

1. Groupe turbo-alternateur.
2. Corps HP de la turbine (haute pression).
3. Corps MP de la turbine (moyenne pression).
4. Corps BP de la turbine (basse pression).
5. Alternateur.
6. Ensemble vanne d'arrêt/soupapes régulatrices HP.
7. Ensemble vanne d'arrêt/soupapes régulatrices MP.
8. Condenseur.
9. Tubes condenseur en titane (14850 tubes).
10. Puits du condenseur.
11. Station de dessalement + déminéralisation.
12. Bâche tampon.
13. Pompes d'extraction.
14. Vanne régulatrice niveau condenseur.
15. Station de pompage + pompes de circulation.
16. Canal de rejet.
17. Poste de réchauffage basse pression (BP1+BP2+BP3).
18. Bâche alimentaire-dégazeur.
19. Pompes alimentaires.
20. Poste de réchauffage HP (HP5+HP6).
21. Vanne régulatrice niveau ballon chaudière (soupape alimentaire).
22. Economiseur.
23. Colonnes de descente pour alimentation des tubes écran.
24. Ballon chaudière.
25. Tubes écran/vaporisateur.
26. Bruleurs (N^{bre} de 8).
27. Surchauffeurs N°1, 2, 3 +désurchauffeurs.
28. Resurchauffeurs N°1, 2 + désurchauffeurs.
29. Chaudière ou générateur de vapeur.

Conclusion

La recherche sur les phases de production de la centrale thermique de Cap-Djinet permet de mieux comprendre les phases et conversions nécessaires à la production d'électricité, le rôle des différentes institutions (chaudières, condenseurs, turbines) impliquées dans ces conversions et les cycles de production impliqués. Importance des additifs. Par conséquent, nous pouvons voir l'importance de l'eau traitée et la disponibilité des procédés de traitement de l'eau pour les opérations de l'usine. Pour cette raison, l'eau traitée est considérée comme essentielle pour le fonctionnement du groupe électrogène.

Dans le chapitre suivant, nous décrirons le procédé de dessalement (MSF), son principe de fonctionnement et les caractéristiques techniques de l'appareil.

.

Chapitre II
Le procédé de dessalement

II.1. Introduction

La demande quotidienne en eau dessalée de la centrale thermique de Cap-Djinet est d'environ 1100 mètres cubes. L'usine de dessalement se compose de quatre (04) unités et son principe de fonctionnement est la distillation par détente continue en 18 étages. Chaque appareil produit 500 mètres cubes d'eau dessalée par jour, qui est stockée dans deux (02) réservoirs de 2700 mètres cubes d'eau (Figure 2.1).

Chaque unité fonctionne indépendamment des autres. En marche normale trois unités sont en service, la quatrième sert en secours, mais exceptionnellement il est possible d'utiliser les quatre unités en même temps [3].

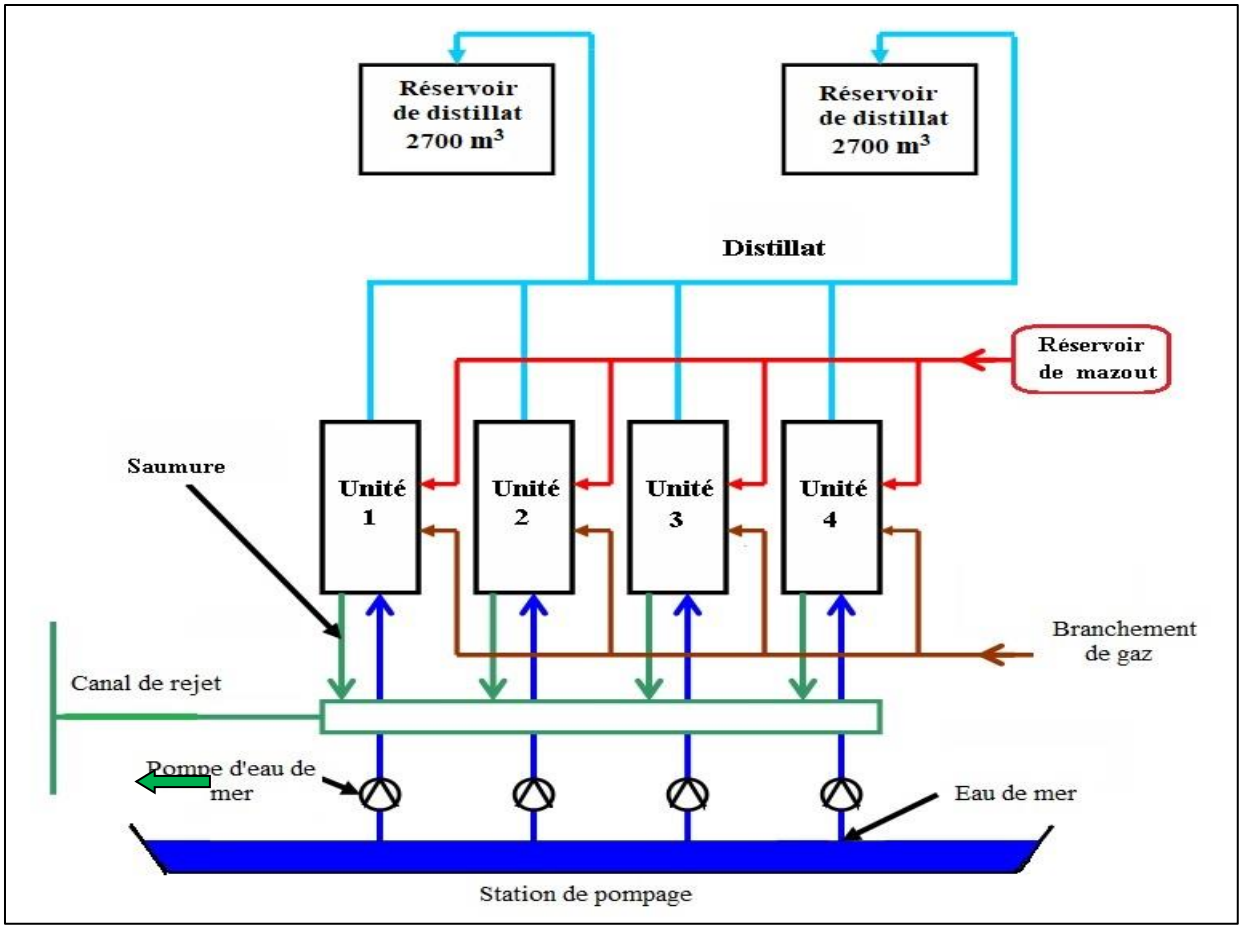


Fig.2.1. *Schéma simplifié de la station de dessalement*

II.2. Principe de dessalement Multi-Flash (MSF)

Le dessalement multi-flash (MSF : Multi-Stage Flash) Il s'agit d'un procédé de distillation basé sur le principe de la vaporisation instantanée (évaporation flash) (Figure 2.2). L'eau de mer prétraitée pénètre dans l'appareil, où elle est préchauffée par des condenseurs à différentes étapes du processus. Il est ensuite introduit dans un réchauffeur (échangeur de chaleur), où il est chauffé à une température d'environ 83°C. L'eau de mer chaude est ensuite introduite dans le fond du premier étage, où la pression est inférieure à

sa pression de vapeur saturée. Cela conduit à une évaporation immédiate par expansion (clignotement). La vapeur résultante se condense sur la paroi du condenseur et est collectée. L'eau de mer restante entre dans la chambre suivante avec une température et une pression inférieure. Par conséquent, une nouvelle évaporation flash est effectuée dans cette chambre. Ce phénomène se répète jusqu'à la dernière chambre. La différence de pression entre les chambres permet à l'eau de mer et à l'eau douce produites de s'écouler vers la dernière chambre sans l'utilisation d'une pompe. Le débit d'eau douce dans l'unité de distillation n'est que d'environ 1/9 du débit de saumure entrant, mais cette eau doit être traitée pour limiter l'entartrage des faisceaux tubulaires. Il est donc intéressant de limiter le débit nécessaire à la production d'eau dessalée. Ceci est réalisé grâce au recyclage. La plus grande partie de la saumure est extraite et récupérée. Un circuit froid qui fait circuler une grande quantité d'eau de mer non traitée est nécessaire pour évacuer la chaleur dans la mer. La purification de l'eau salée peut limiter la concentration de minéraux dans les cellules. Le recyclage réduit la quantité d'eau d'appoint nécessaire pour produire « 1 mètre cube » d'eau douce à environ « 3 mètres cubes » [4].

II.3. Caractéristiques techniques de l'installation (par unité)

II.3.1. Données techniques

Paramètre	Mesure	Unité
Production de distillat	500 ÷ 600	m^3/j
Impureté de distillat	< 15	mg/l
Température maximale de saumure	83 ÷ 91	°C
Quantité d'eau de mer	239 ÷ 256	m^3/h
Salinité maximale : eau de mer/saumure	39 400 / 65 300	mg/l
Débit de recirculation	239 ÷ 256	m^3/h
Débit de saumure rejetée	31 ÷ 37	m^3/h
Débit d'eau d'alimentation	52 ÷ 62	m^3/h

Tableau 2.1. *Données techniques de l'installation*

II.3.2. Matières/énergies consommables

Matière/énergie	Dosage	Consommation
Inhibiteur d'incrustation : Belgard EVN	3.8 ÷ 5.8 (mg/l)	0.2 ÷ 0.36 (l/h)
Produit anti-mousse : Belite M33	0.1 ÷ 1 (mg/l)	26 (g/h)
Gaz de chauffage	-	242 ÷ 300 (m^3/j)
Mazout (Fioul)	-	202 ÷ 250 (l/j)
Energie électrique sans pompe d'alimentation d'eau de mer	-	93.3 (KW)
Energie électrique de la pompe d'alimentation d'eau de mer	-	41.5 (KW)
Courant électrique	-	380 V/50 Hz

Tableau 2.2. *Matières/énergies consommables*

II.3.3. Nature des matériaux

Equipement	Matière
Enveloppe de l'évaporateur	CuNi10Fe
Tubes du condenseur	Titane
Plaques tubulaires du condenseur	CuNi30Fe
Conduites	Inox/CuNi10Fe/plastique armé au verre
Tubes du réchauffeur final	Titane
Plaques tubulaires du réchauffeur	CuNi30Fe
Circuit de l'eau de chaudière	Acier au carbone

Tableau 2.3. *Nature des matériaux*

II.3.4. Dimensions et poids

Dimension/poids	Mesure
Longueur x *Largeur* x *Hauteur*	9.1 x 4.1 x 5.1 (m)

Poids à vide	50 000 (kg)
Poids en ordre de marche	env 60 000 (kg)

Tableau 2.4. *Dimensions et poids d'une unité de dessalement*

Fig.2.2. *Illustration de la station de dessalement de Cap-Djinet*

II.4. Différents constituants de la station de dessalement

II.4.1. Evaporateur

C'est un évaporateur à multiples effets fonctionnant suivant le procédé de détente successive MSF, il est constitué de 18 chambres divisées en deux zones (Fig.2.3) :

- **Zone de récupération de chaleur :** composé des 15 premières chambres, c'est la zone de récupération de chaleur de la condensation des vapeurs.
- **Zone de dissipation de chaleur :** composé des 3 dernières chambres, à la sortie de cette zone une partie de l'eau chaude est rejetée, d'où le nom dissipation de chaleur.

L'évaporateur est équipé d'une série de condenseurs : ce sont des échangeurs multitubes placés en série sur la partie supérieure de l'équipement, disposés transversalement dans le sens de l'évaporateur et de la circulation de la saumure. Ils sont utilisés pour condenser la vapeur d'eau de mer chauffée et récupérer la chaleur de condensation pour chauffer le flux d'alimentation. Les tubes condenseurs sont en titane et disposés en triangles.

Fig.2.3. *Illustration de l'évaporateur*

	Zone de récupération de chaleur	**Zone de dissipation de chaleur**	**Unité de mesure**
Liquide caractéristique	Saumure/dans les tubes	Eau de mer/dans les tubes	
Débit	239	239	m^3/h
T° d'entrée	27.4	20	°C
T° de sortie	75.4	27.51	°C
Réchauffement total	48	7.51	°C
Réch.moyen/étage	3.2	2.5	°C
Echange moyen de chaleur	826	663	KW
Facteur d'encrassement	0.000129	0.000178	$W.m^{-2}.K^{-1}$
Surface de chauffe/étage	72.25	72.25	m^2
Vitesse moyenne dans les tubes	1.55	1.55	m/s
Taux total de salinité	60 000	39 400	mg/l
Nombre d'étages	15	03	-
Liquide caractéristique	Saumure de détente		
T° d'entrée	83		°C
T° 1er étage	79.6		°C
T° dernier étage	27.3		°C
	Saumure rejetée		
Débit	31		m^3/h
T°	27.3		°C
Salinité	65 300		mg/l
	Eau d'alimentation		
Débit	52		m^3/h

T°	27.51	°C
	Distillat	
Débit	20÷25	m^3/h
T°	26.1	°C

Tableau 2.5. *Caractéristiques aux différents points de l'évaporateur*

II.4.2. Chaudière

Il s'agit d'une chaudière à eau basse pression qui combine le principe de la flamme réversible et du triple passage. L'eau est chauffée sur deux étages. La première surface chauffante comprend la paroi de la chaufferie, et la seconde surface chauffante est située sur un côté de l'enveloppe du conduit de fumée. Cette conception assure l'optimisation de la circulation de l'eau, du transfert de chaleur et de la température des fumées de la cheminée.

La chaudière est équipée de brûleurs adaptés au gaz et au fioul, de pompes à combustion et de brûleurs à réglage automatique, de tuyaux de raccordement au réchauffeur final, ainsi que de sécurités de température, de pression et de niveau de liquide, pompe de recirculation eau chaude, vases d'expansion et sas chimiques. Le carburant, le gaz et le pétrole sont respectivement amenés de la station de détente de gaz de la centrale électrique et de sources externes à l'unité de dessalement, et sont fournis au brûleur par le pipeline en passant par un distributeur.

Fig.2.4. *La chaudière*

Caractéristique	Mesure	Unité
Débit eau chaude	270	m^3/h
Pression de service	4	bar
T° de service	95	°C
T° d'air de combustion	50	°C
Pression de chaufferie	4.8	mbar
T° gaz d'échappement	230	°C
Consommation de combustible	202	Kg/h
Puissance calorifique	1.98	MW
T° eau d'alimentation	88	°C
Amenée de chaleur	2.41	MW
Rendement	85	%
Volume de chaufferie	2.3	m^3
Surface de chauffe	55	m^2
Contre pression de gaz d'échappement	4.8	mbar
Pression d'air	1	bar
Capacité d'eau chaudière	1.41	m^3

Tableau 2.6. *Caractéristiques de la chaudière*

II.4.3. Brûleur mixte (gaz/fioul)

Le brûleur est l'une des pièces les plus importantes de la chaudière : il brûle du combustible et de l'air pour fournir de la chaleur. Le combustible utilisé est généralement du fioul ou du gaz. Les développements technologiques actuels permettent une gestion numérique de la combustion, ce qui améliore grandement les performances et la fiabilité du brûleur et minimise les pertes d'énergie.

En ce qui concerne la station de dessalement, les brûleurs récemment installés lors de la révision sont des brûleurs hybrides (gaz/fioul) de marque « Weishaupt / WM 30 », qui peuvent utiliser à la fois du gaz naturel et du fioul. Fournir généralement des opérations de base pour le gaz. Il est même possible de changer de combustible pendant que le brûleur fonctionne (Figure 2.5).

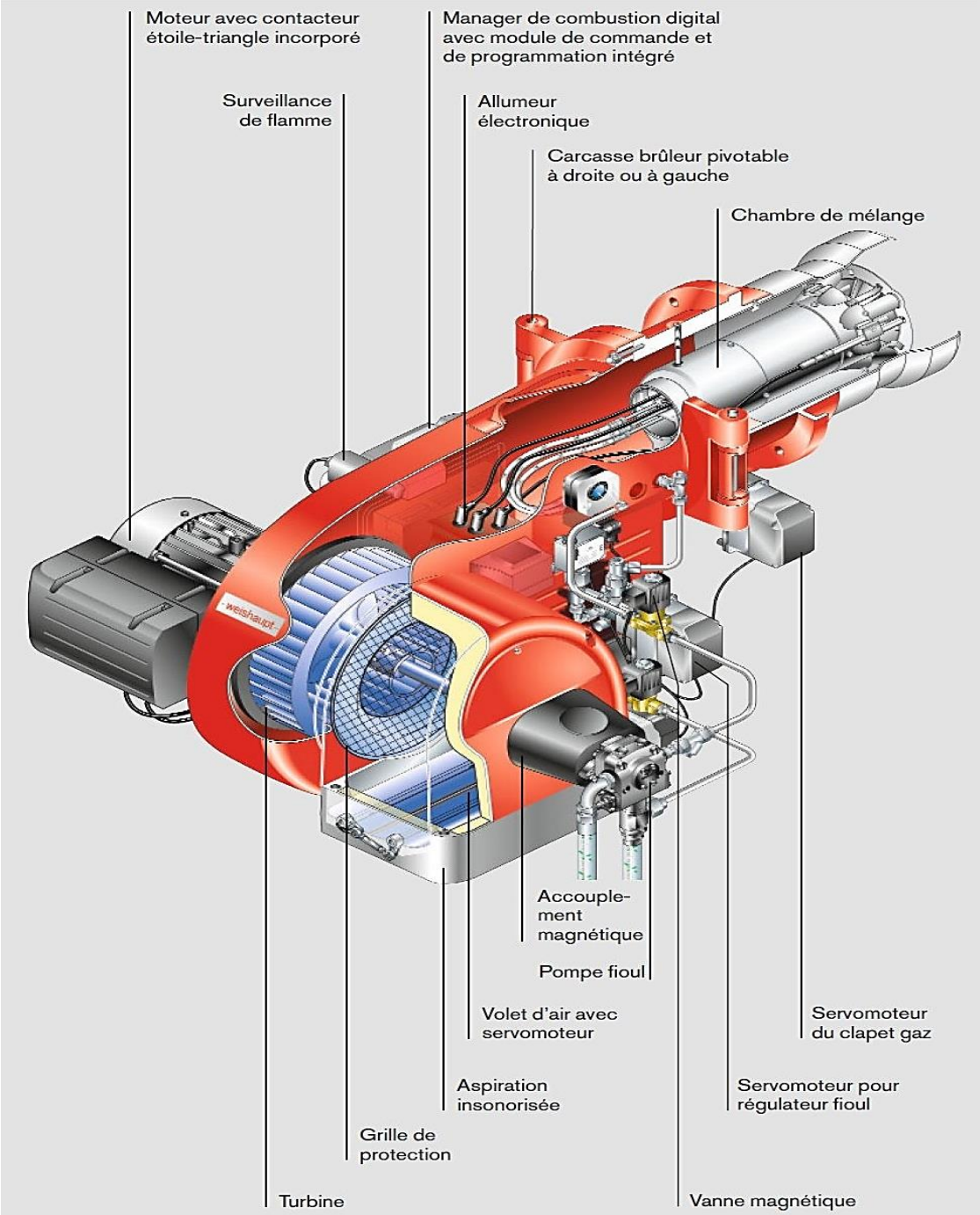


Fig.2.5. *Constituants du brûleur « Weishaupt / WM 30 »*

Le volet d'air régule le débit d'air nécessaire à la combustion. Ils sont entraînés par un servomoteur commandé par le "Combustion Manager / W-FM200" (Figure 2.6), qui est l'unité de commande centrale intégrée du brûleur. Il contrôle le déroulement de la phase de démarrage, surveille la flamme et communique avec tous les composants. Lorsque le brûleur s'arrête, le volet se ferme automatiquement. De ce fait, les déperditions thermiques de la chaudière à l'arrêt sont réduites.

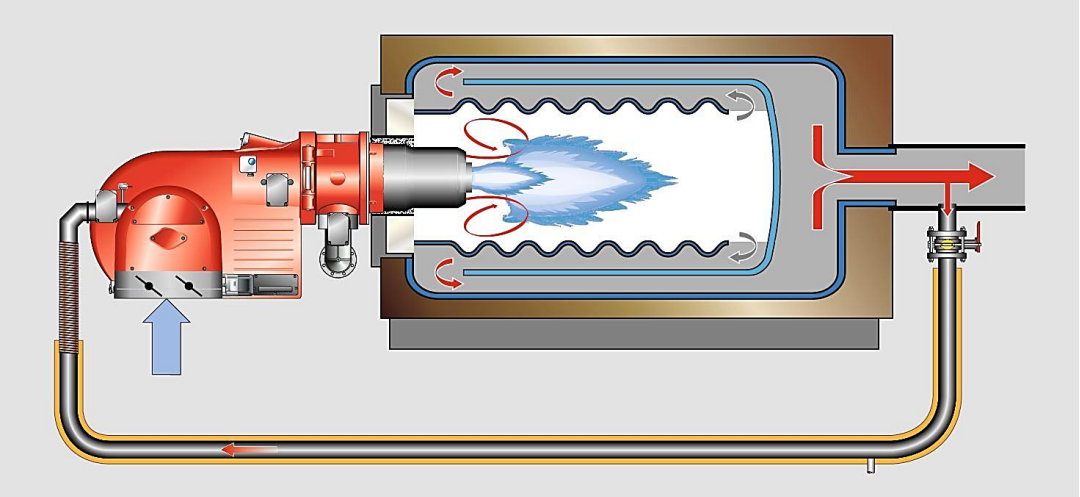


Fig.2.6. *Schéma de principe de la recirculation de fumées avec brûleur WM 30*

Les fumées sont aspirées par la turbine du brûleur pour fournir de l'air de combustion à la flamme (Figure 2.6). En raison de l'utilisation de la gestion numérique de la combustion, le brûleur ne génère que la chaleur nécessaire au processus de dessalement (Figure 2.7). Le manager de combustion est conçu pour mesurer parfaitement la quantité de fumées. L'optimisation de la combustion est obtenue grâce à deux composants supplémentaires, le capteur de température des fumées et la vanne de régulation des fumées. Cependant, à l'aide d'un logiciel, la quantité de fumée requise peut être allouée pour chaque mode de fonctionnement afin de garantir un comportement de démarrage fiable et un fonctionnement normal sûr.

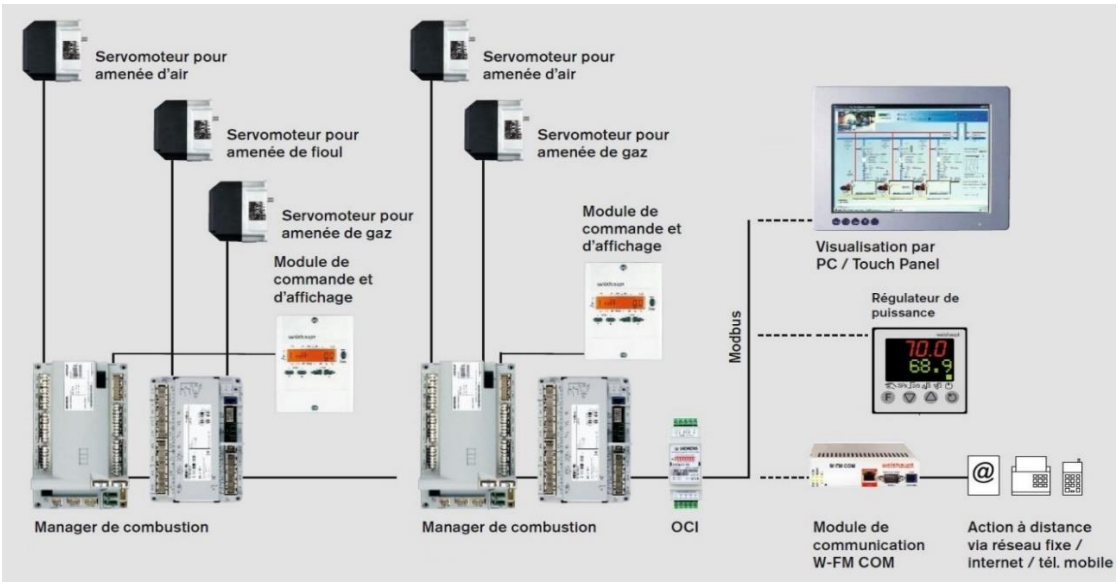


Fig.2.7. *Schéma de principe : Manager de combustion W-FM 200*

La régulation de charge du brûleur s'effectue par ouverture/fermeture de la vanne du combustible. La puissance entre le petit et le grand débit est adaptée à la demande de chaleur

par un servomoteur. Le déplacement entre les deux points de fonctionnement s'effectue progressivement. Il n'y a pas de variation instantanée du débit du combustible.

Pour le cas de la station de dessalement, le régulateur de charge du brûleur est incorporé dans l'armoire de commande au niveau de la salle de contrôle.

II.4.4. Réchauffeur final (échangeur thermique)

Le réchauffeur final est un échangeur de chaleur à faisceau tubulaire, également appelé échangeur de chaleur multitube ou échangeur de chaleur à calandre et à tubes (Figure 2.8). Le dispositif est constitué d'un faisceau de tubes disposés dans une enveloppe appelée calandre. L'eau de mer à chauffer circule dans le tube, tandis que l'eau chaude de la chaudière circule dans la virole et autour du tube. Le nombre de chicanes et leur forme ont été optimisés pour améliorer le transfert de chaleur. Chaque extrémité du faisceau de tubes est reliée à un boîtier de distribution, de sorte que l'eau de mer circule et se réchauffe dans le tube. Leur configuration est de deux (02) canaux. La calandre est également équipée de tuyaux d'entrée et de sortie (raccords) pour fournir de l'eau chaude à l'extérieur du tuyau le long du chemin imposé par le déflecteur. Le choix du diamètre du tube est également optimisé en fonction de la nature du fluide qui y circule.

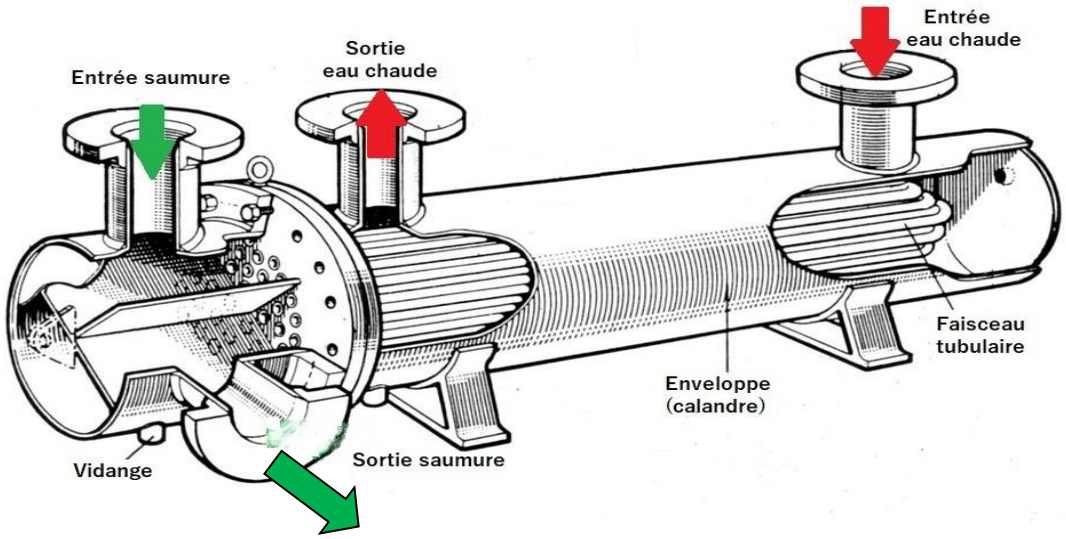


Fig.2.8. *Le réchauffeur final*

II.4.5. Pompes de traitement et de transfert d'eau de mer

On distingue deux types de pompes :

II.4.5.1. Les pompes centrifuges

Pour tous les liquides circulant dans le poste de dessalement, on emploie des pompes à volute horizontales à un (01) étage (pompes centrifuges) :

1. Pompes de recirculation de saumure.
2. Pompes de rejet de saumure.

3. Pompes de distillat.
4. Pompes de recirculation d'eau chaude.
5. Pompes d'eau motrice.

Pour le transfert de l'eau de mer d'alimentation de la station de pompage vers le poste de dessalement on utilise des pompes centrifuges verticales à deux (02) étages.

II.4.5.1.1. Motopompe centifuge

Une motopompe centrifuge est une machine rotative (entrainée par un moteur électrique) qui pompe un liquide en le forçant au travers d'une roue à aube ou d'une hélice appelée impulseur (souvent nommée improprement turbine). C'est le type de pompe industrielle le plus commun. Par l'effet de la rotation de l'impulseur, le fluide pompé est aspiré axialement dans la pompe, puis accéléré radialement, et enfin refoulé tangentiellement.

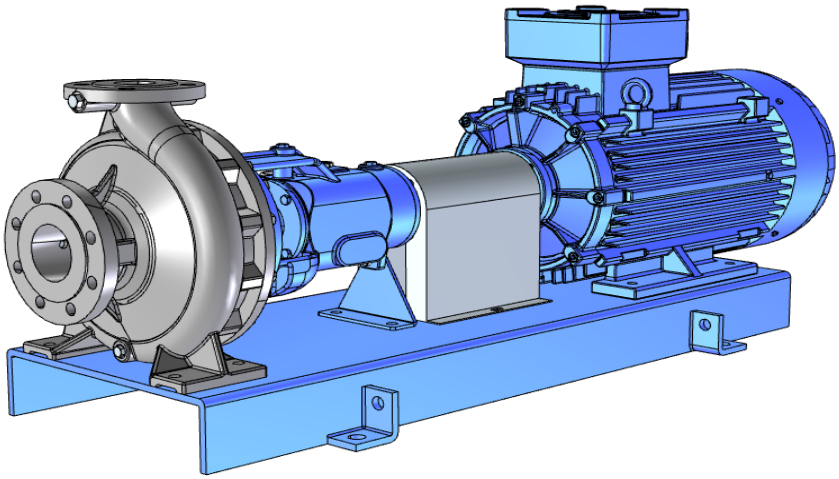


Fig.2.9. *Pompe centrifuge horizontale*

II.4.5.1.2. Principe de fonctionnement

Une pompe centrifuge est constituée de :

- Une roue à aube tournant autour de son axe.
- Un distributeur dans l'axe de la roue.
- Un collecteur de section craoissante, en forme de spirale appelée volute.

Le liquide arrive dans l'axe de l'appareil par le disributeur et la force centrifuge le projette vers l'extérieur de la turbine. Il acquiert une grande énergie cinétique qui se transforme en énergie de pression dans le collecteur où la section est croissante. L'utilisation d'un diffuseur (roue à aube fixe) à la périphérie de la roue mobile permet une diminution de la perte d'énergie.

II.4.5.1.3. Réglage de débit

Trois moyens sont possibles :

- Variation de la vitesse de rotation du moteur d'entrainement par un dispositif électronique.
- Vanne de réglage située sur la canalisation de refoulement de la pompe pour éviter le risque de cavitation : suivant son degré d'ouverture, la perte de charge du réseau va augmenter ou diminuer ce qui va entraîner la variation du point de fonctionnement.
- Réglage en « canard » avec renvoi à l'aspiration d'une partie du débit de refoulement (débit nul).

Le réglage du débit est important pour des besoins dus au procédé mais aussi pour se placer dans des plages de fonctionnement où le rendement est meilleur.

II.4.5.2. Les pompes volumétriques

La station de dessalement est équipée d'un dispositif de dosage de produits chimiques pour le traitement de l'eau de mer de recirculation. Il est assuré par des pompes volumétriques à piston et membrane.

II.4.5.2.1. Principe de fonctionnement

Le principe est d'utiliser les variations de volume occasionnés par le déplacement d'un piston lié à une membrane dans un cylindre. Ces déplacements alternativement dans un sens ou dans l'autre produisent des phases d'aspiration et de refoulement. Quand le piston se déplace dans un sens le liquide est comprimé : il y a fermeture du clapet d'admission et ouverture du clapet de refoulement. Le fonctionnement est inverse lors de l'aspiration du liquide dans la pompe.

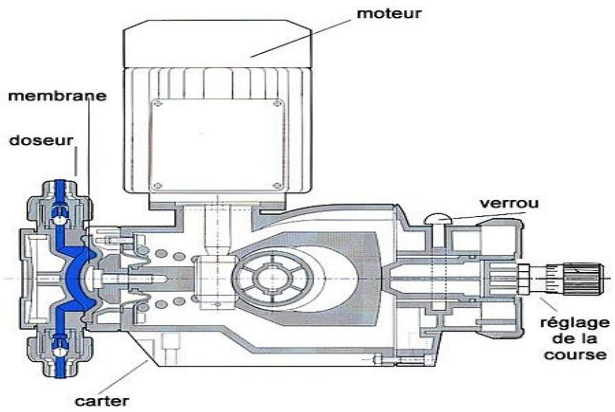


Fig.2.10. *Pompe à piston et membrane*

Les pompes doseuses sont essentiellement à piston et à membrane. L'introduction d'un débit bien déterminé du liquide est rendu possible grâce à un dispositif précis de réglage (manuel) de la course du piston et de sa fréquence. Elles ont des débits relativement faibles

(de quelques l/h) et peuvent mettre en œuvre des pressions importantes. L'intérêt des membranes est l'utilisation avec des produits chimiques corrosifs, abrasifs ou acides.

- Avantages :
  - fonctionnement à sec sans dommage.
  - bon rendement (> 90%).
- Inconvénients :
  - débit limité.
  - viscosités assez faibles.
  - pompage de particules solides impossible : la pompe ne fonctionne bien que si l'étanchéité est parfaite entre le cylindre et le piston.

Les caractéristiques des pompes centrifuges sont résumées dans le tableau 2.7, et celles des pompes volumétriques dans le tableau 2.8.

Pompe	Recirculation de saumure	Saumure	Distillat	Transfert d'eau de mer	Circulation d'eau chaude	Unité de mesure
Débit	258	36	25	289	280	m^3/h
Rendement	67	66	48	70	80	%
Puissance sur l'arbre	65.8	2.75	4.2	44.8	8.1	KW
Haiteur de refoulement	61	18	33	39	8.8	m
Valeur de NPSH	1.9	1.2	1.4	3.7	2.8	m
Vitesse de rotation	1450	1450	2900	1450	1450	t/min
Moteur						
Puissance nominale	75	4	505	55	11	KW
Rendement	94.2	83	85	93.5	88	%
Tension de fonctionnement	380	380	380	380	380	V

Tableau 2.7. *Caractéristiques des pompes de circulation* (centrifuges)

Pompe	Pour Belgard/Belite	Pour Bisulfite de Sodium	Agitateur	Unité de mesure
Débit	Max : 0.0024	Max : 0.0051	-	m^3/h
Puissance sur l'arbre	0.25	0.25	-	KW
Hauteur de refoulement	460	460	-	m
Vitesse de rotation	1500	1500	1500	t/min
Moteur				

Puissance nominale	0.25	0.25	0.25	KW
Rendement	60	66	60	%
Tension de fonctionnement	220/380	220/380	220/380	V

Tableau 2.8. *Caractéristiques des pompes doseuses (volumétriques)*

II.4.6. Filtre d'eau de mer auto-nettoyant

Situé à l'entrée de l'évaporateur sur la conduite d'appoint d'eau de mer. Le filtre automatique à décolmatage par contrecourant retient les particules solides nuisibles contenues dans l'eau de mer. Les seules parties mobiles du filtre sont le bras de nettoyage (1) et le dispositif d'étranglement (2) dont les douilles en matière synthétique s'ajustent automatiquement. Le palier lisse et les patins de rinçage sont étanches contre les impuretés (Fig.2.11).

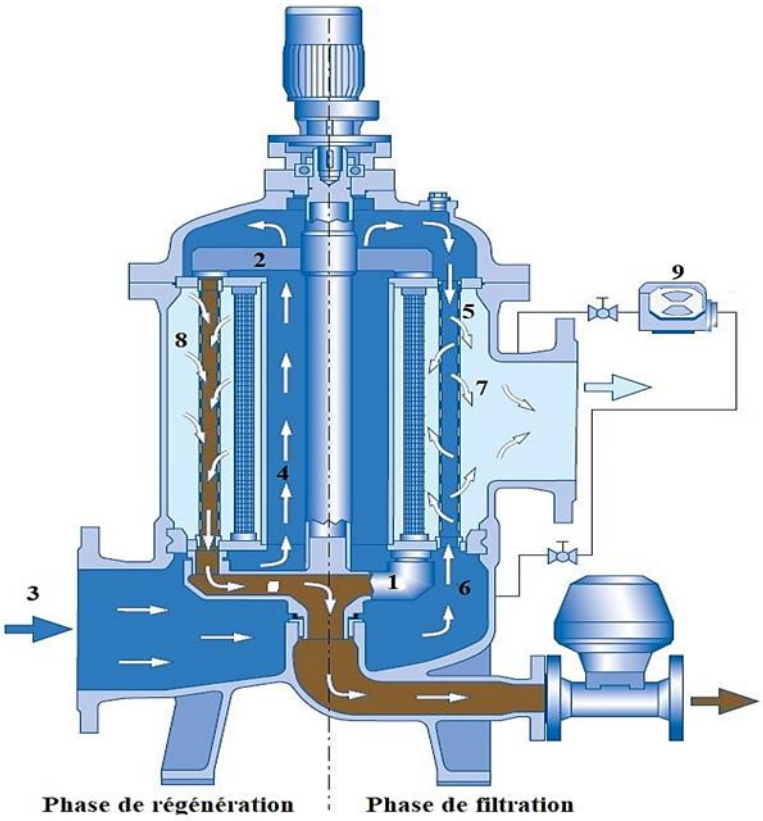


Fig.2.11. Filtre d'eau de mer auto-nettoyant

II.4.6.1. Fonctionnement en mode filtration

L'eau de mer à filtrer parvient dans la partie inférieure du filtre par la bride d'entrée (3). Un courant partiel d'environ 50% de l'eau non filtrée est conduit vers la moitié supérieure du filtre par la colonne centrale (4) de l'élément filtrant et repasse, par le haut,

dans les bougies filtrantes (5). L'autre moitié coule du bas dans la bougie (6) du filtre. Cela signifie que les bougies filtrantes sont traversées par les deux extrémités de l'intérieur vers l'extérieur et les particules d'impuretés sont retenues sur toute la longueur de la bougie filtrante. L'eau filtrée pénètre à travers les bougies (7) du filtre vers l'extérieur.

II.4.6.2. Fonctionnement en mode nettoyage (régénération)

L'indicateur de pression différentielle (9) monté, surveille la chute de pression qui se produit à la suite du colmatage des bougies entre l'entrée et la sortie du filtre. Si une pression différentielle d'environ 0,4 bar (standard) est obtenue ou si le temps réglé dans le système de commande est écoulé, la commande automatique déclenche la régénération des bougies filtrantes.

Le moto-réducteur fait tourner le bras de nettoyage (1), avec les douilles de nettoyage, de bougie filtrante en bougie filtrante, pour les nettoyer successivement. La vanne d'évacuation des boues s'ouvre simultanément. Il se produit alors un courant axial puissant et les particules d'impureté retenues sont entraînées. Le dispositif d'étranglement (2) tournant synchroniquement au-dessus de l'extrémité supérieure des bougies pourvoit à un débit du contre-courant (8) transversal adéquat et à une répartition de l'énergie du contre-courant sur toute la longueur des bougies. La chute de pression fait passer, en même temps que le courant axial, une petite quantité de l'eau filtrée de l'extérieur vers l'intérieur à travers les bougies filtrantes. Au bout d'environ un quart de tour du dispositif de nettoyage, la commande automatique stoppe le moto-réducteur. Le filtre est alors de nouveau propre.

Du fait du nettoyage des bougies, l'une après l'autre, le débit n'est pas interrompu, même pendant la phase de régénération. Puisque la pompe d'alimentation en eau de mer est de type centrifuge, il ne se produit pas de chute de débit à la sortie du filtre pendant le temps de nettoyage. Le débit du contre-courant peut encore être optimisé par la soupape de réglage dans la conduite d'évacuation des boues en fonction de la pression et du genre de colmatage.

II.5. Système de repérage Alpha/Numérique de l'installation

Rang	1	2	3	4
Structure générale	AA	NN	A	NNN
Exemple	WF	11	S	003

Tableau 2.9. *Système de repérage Alpha/Numérique*

- **Rang 1 :** Equipement / conduite (circuit) :

WB : Buées de condensation
WC : Désaérage
WE : Eau de mer
WF : Rejet de saumure
WG : Evaporateur
WH : Circuit d'eau chaude
WJ : Distillat
WL : Bruleur/Chaudière
WN : Nettoyage avec acide
WO : Alimentation en mazout
WP : Traitement chimique
WQ : Ballon de désaérage
WR : Recirculation de saumure
WS : Pompe d'éjection à eau
WW : Alimentation en gaz
WY : Rejet eau de lavage filtre

- **Rang 2 :** Numéro du sous-groupe ou agrégat / conduite parallèle.
- **Rang 3 :** Type de la machine ou de l'appareil / Grandeur physique s'il s'agit d'un appareil de mesure :

A : Analyse chimique (conductivité, PH)	**G :** Boite à borne, commande locale
B : Réservoir, échangeur de chaleur, etc…	**L :** Mesure de niveau
C : Régulateur	**P :** Mesure de pression
D : Pompe, Moteur	**S :** Vanne à moteur ou manuelle
F : Mesure de débit	**T :** Mesure de température

Tableau 2.10. *Désignations du 3^{ième} rang du système de repérage*

- **Rang 4 :** Numéro chronologique de la machine ou de l'appareil.

Examples:

- **WF11S003 :** Vanne régulatrice niveau de saumure étage 18.

- **WE11D001 :** Pompe d'alimentation eau de mer.
- **WH12T001 :** Capteur de température eau chaude entrée chaudière.
- **WG11B001 :** Evaporateur.

- Fonctions des appareils de mesure :

AH	Valeur limite d'alarme « haut »
AHH	Valeur limite d'alarme « très haut »
AL	Valeur limite d'alarme « bas »
ALL	Valeur limite d'alarme « très bas »
SH	Verrouillage pour valeur limite « haut »
SHH	Verrouillage pour valeur limite « très haut »
SL	Verrouillage pour valeur limite « bas »
SLL	Verrouillage pour valeur limite « très bas »

Tableau 2.11. Fonctions des appareils de mesure

II.6. Le procédé de dessalement de la centrale de Cap-Djinet

L'évaporation par expansion par circulation à plusieurs étages est un processus de distillation simple. L'eau de mer amenée par la pompe à eau de mer traverse le condenseur dans la zone de dissipation thermique, où elle est chauffée. L'eau chauffée retourne à la mer et une partie de l'eau de mer chaude entre dans le processus et sert d'eau d'alimentation pour la recirculation de la saumure. La saumure traverse ensuite le condenseur, le réchauffeur et la chambre d'expansion dans la zone de récupération de chaleur, et atteint enfin le canal de décharge à travers la pompe à saumure. L'évaporation se produit à chaque étape du réservoir de saumure. À partir de la saumure préchauffée elle-même, la chaleur latente d'évaporation nécessaire est progressivement réduite en réduisant progressivement la pression, abaissant ainsi la température d'ébullition, entraînant une expansion et une évaporation continues (figure 2.12).

L'avantage du procédé MSF consiste dans le fait que l'évaporation se fait dans le liquide lui-même et non sur les surfaces d'échange de chaleur. De ce fait et du fait des vitesses élevées avec lesquelles le liquide traverse les tubes du condenseur, sont empêchés en grande partie l'entartrage et les incrustations d'impuretés venant de la mer [3].

II.7. Principe de fonctionnement du procédé de dessalement

La pompe à eau de mer WE11D001 fait passer l'eau de mer à travers la vanne WE11S001-WE11S002, le filtre à eau de mer et le clapet anti-retour WE12S004, et à travers le condenseur de dissipation de chaleur. Une partie de l'eau de mer est détournée avant la vanne WE12S004 pour refroidir le système de recirculation de l'air d'admission. L'eau chauffée de l'étage de dissipation thermique retourne à la mer et une partie de l'eau de mer chaude est introduite dans la circulation et pénètre dans la canalisation WE19 avec la vanne de régulation WE19S001 comme eau alimentaire. Il remplace la saumure et l'eau produites et ajuste la concentration de la saumure recyclée.

La solution d'inhibiteur d'incrustation prélevée dans la cuve chimique WP11B001 est ajoutée à l'eau d'alimentation. L'ajout continu de produits chimiques (Belgard EVN) réduit l'encrassement des tubes. L'équipement principal du système de dosage chimique est le clapet anti-retour de pression WP14S002, le réservoir avec agitateur WP11B001, la pompe doseuse WP12D001, WP13D001 et le clapet anti-retour WP12S002 et WP13S002. La capacité du réservoir d'eau est suffisante pour une journée de travail. Le réservoir d'eau est équipé d'un indicateur de niveau de liquide. La solution chimique est pompée dans la ligne d'alimentation WR12 sous haute pression.

L'eau de mer, surjetée à une augmentation saisonnière de sa teneur en produits organiques peut avoir tendance à mousser. Le produit chimique anti-mousse (BéliteM33) peut être dissous et dosé avec l'inhibiteur d'incrustation.

L'eau d'alimentation dégazée s'écoule à travers le tuyau côté aspiration de la pompe de circulation WR11D001, est mélangée à la saumure en circulation et quitte le dernier étage de l'évaporateur (18). Cette saumure recyclée est pompée de l'étage de récupération de chaleur de l'évaporateur (1 à 15) à travers le faisceau de condenseurs et est réchauffée par la chaleur d'évaporation de la vapeur condensée de chaque étage. La saumure quitte le dernier condenseur évaporateur et pénètre dans le dernier réchauffeur WH11B001, l'amenant à la température maximale attendue. La saumure circulante chauffée entre dans le premier étage (1) de l'évaporateur via la vanne de régulation WR15S001. La perte de pression réglable par la vanne de régulation empêche l'expansion prématurée de la saumure dans le tube de chauffage final.

La pression de la 1ère chambre de détente est légèrement inférieure à la pression de saturation, qui correspond â la température d'entrée de la saumure, faisant ainsi évaporer une partie de celle-ci. La buée ascendante passe par un séparateur d'humidité et se condense finalement sur les parois des tubes de condenseur dans la partie supérieure de l'étage de l'évaporateur.

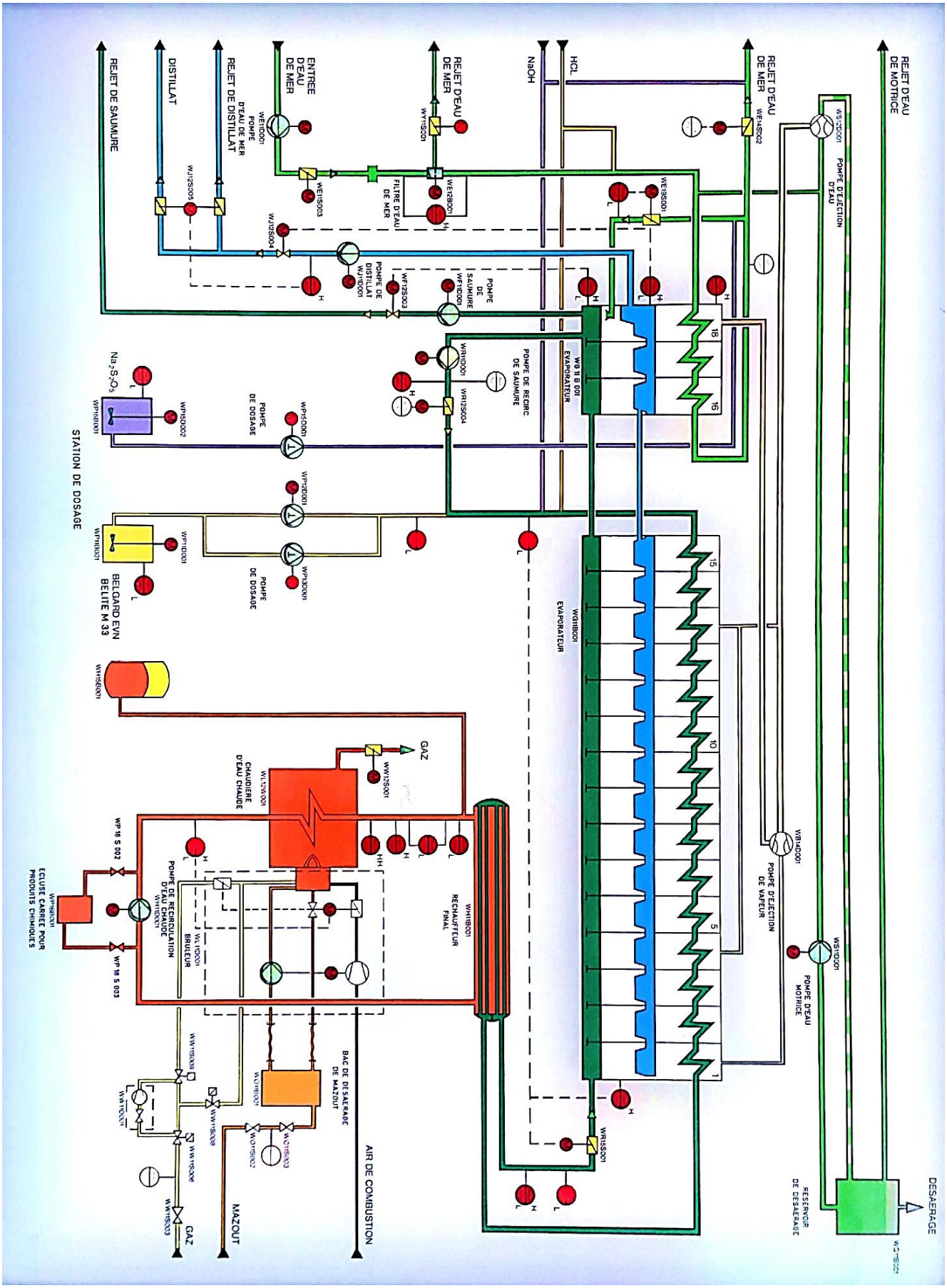


Fig 2.12. *Schéma synoptique d'une unité de dessalement*

La saumure s'écoule sur le sol de l'étage par des passages spéciaux et se dirige vers la chambre suivante où elle est de nouveau inférieure à la pression de saturation qui elle-même correspond à la température de la saumure. Une nouvelle partie de la saumure s'évapore ainsi. Ce processus se renouvelle à chaque étage. L'évaporation entraîne une baisse progressive de la température de saumure, alors que la concentration des matières dissoutes de la saumure de recirculation augmente.

Dans la partie supérieure de chaque étage, la condensation qui se forme sur les parois des tubes libère la chaleur latente contenue dans les buées, entraînant ainsi un réchauffement progressif de l'eau de mer/saumure, qui traverse le faisceau de tubes du condenseur.

Le distillat tombe goutte à goutte dans les parois des tubes dans les cuves de dernier. Ensuite celui-ci traverse les ouvertures de passage pour arriver d'étage en étage par la conduite WJ11 à la pompe de distillât WJ11D001 qui l'évacue vers le dernier étage. Le distillat est pompé par les conduites W12 et WJ13 jusqu'aux réservoirs de distillat.

La quantité de distillat est réglée par la soupape de réglage WJ12S004, en fonction du niveau de distillat à l'étage 18. Une partie de la saumure concentrée ressort du dernier étage par la conduite WF11, pompée par la pompe de saumure WF11D001, dans le canal de rejet. Ce flux est réglé par la soupape de réglage WF12S003 en fonction du niveau de saumure à l'étage 18. La plus grande partie de la saumure s'écoule vers la pompe de recirculation WR11D001.

Les gaz non condensables sont évacués par la pompe d'éjection de vapeur WB14D001 et celle d'éjection d'eau WS12D001. Ces gaz se trouvent toujours dans les vapeurs et se composent de l'air infiltré et surtout des gaz dissous dans l'eau de mer, libérés pendant le processus d'évaporation.

Le flux de vapeur de la conduite WB14, destiné à la pompe d'éjection de vapeur, provient du 1er étage de l'évaporateur. Cette pompe crée un vide partiel (dépression) dans les étages 16 à 18. Dans les autres étages c'est la pompe d'éjection d'eau qui crée le vide. Le flux d'eau destiné à la pompe d'éjection d'eau est livré par la pompe d'eau motrice vers les conduites WE 16/17/18 et au réservoir de désaérage.

L'énergie nécessaire au fonctionnement du poste est fournie par la chaudière d'eau chaude WL12D001 munie d'un brûleur marchant au gaz ou au mazout WL11D001. La pompe WH11D001 met en recirculation l'eau de la chaudière, en cycle fermé, vers les conduites WH11/WH12/WH13 et vers le réchauffeur final. Les dispositifs de sécurité sont la soupape de sûreté WH14S001 et le bac de dilatation WH15B001.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous décrivons le procédé de dessalement et le principe de fonctionnement de l'appareil. Le but est d'effectuer une analyse fonctionnelle de tous les modes de fonctionnement (fonctionnement normal, démarrage, arrêt, arrêt d'urgence) afin de développer « ultérieurement » sur "API S7 400".

Le chapitre suivant présentera spécifiquement les instruments et les méthodes d'automatisation utilisés pour le contrôle automatique du processus de dessalement.

.

Chapitre III

Instrumentation et moyens d’automation

III.1. Introduction

L'instrumentation industrielle est un vaste domaine. Il comprend principalement des appareils de contrôle et des appareils de mesure de certains paramètres physiques, notamment l'analyse chimique, la pression, le débit, le niveau de liquide et la température, et fournit un signal proportionnel à la valeur mesurée. Ces appareils envoient des signaux standardisés et d'autres appareils peuvent les utiliser pour des informations, des alarmes ou un contrôle automatique. De nombreux signaux normalisés sont utilisés dans les systèmes de contrôle, notamment des signaux électriques avec des courants variant entre 4 et 20 mA ou des tensions allant de 0-24 V et des signaux pneumatiques avec des valeurs variant entre 20 et 100 kPa.

Dans ce chapitre, nous présenterons les équipements utilisés pour l'automatisation des usines de dessalement et pour mesurer les paramètres physiques et transmettre les signaux correspondants. Nous nous intéressons à cinq paramètres : pression, débit, niveau de liquide la température et la conductivité électrique de l'eau.

III.2. Contrôle des niveaux dans la station de dessalement

Les niveaux de saumure et de distillat sont contrôlés par la boucle de contrôle de niveau. Ces circuits protègent la pompe des pertes d'aspiration en fermant la vanne de refoulement lorsque le niveau de liquide baisse. Pour mesurer les niveaux de saumure et de distillat, le 18e niveau fournit un indicateur de niveau à volet magnétique et le premier niveau fournit un indicateur de saumure supplémentaire. Les niveaux 2 et 17 sont également équipés d'indicateurs de niveau à volets magnétiques. Pour les réservoirs de dosage de produits chimiques, une alarme de niveau minimum est fournie. Le point de commutation "L (bas)" donne un signal d'alarme. Le point de commutation "LL" arrête la pompe doseuse, ce qui déclenche la fermeture de la station de dessalement.

III.2.1. Indicateur de niveau avec capteur de niveau type BNA

III.2.1.1. Description

La jauge de niveau magnétique de type BNA se compose d'une chambre de dérivation qui bifurque latéralement vers le réservoir par au moins deux raccords process (bride, filetage ou soudure). Selon le principe de mise en communication du conteneur, le niveau de liquide dans la chambre de dérivation suit le niveau de liquide du réservoir. Un flotteur équipé d'un système d'aimant permanent intégré est installé dans la cavité de dérivation et transmet le niveau de liquide sans toucher l'indicateur magnétique externe. Ce dernier a deux couleurs de rouleaux en plastique ou de volets en acier inoxydable, installés à 10 mm d'intervalle.

En raison du champ magnétique de l'aimant permanent situé dans le flotteur, l'élément d'affichage pivote de 180° à travers la paroi de la chambre de dérivation. Pour les niveaux croissants, ils passent du blanc au rouge, et pour les niveaux descendants, ils passent du rouge au blanc. Par conséquent, l'indicateur de niveau de liquide magnétique indique le niveau de liquide de manière très intuitive dans la cuve sans aucune alimentation électrique (Fig.3.1).

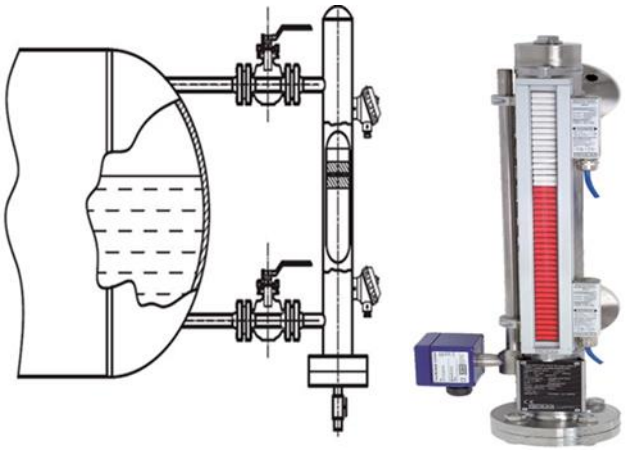


Fig.3.1. *Indicateur de niveau magnétique avec capteur de niveau*

III.2.1.2. Conception et principe de fonctionnement

Dans une chambre montée en dérivation sur le côté d'une cuve, un flotteur se déplace avec le niveau du fluide à mesurer. Le champ magnétique radial et symétrique de l'aimant positionné dans le flotteur active l'indicateur magnétique monté sur l'extérieur de la chambre de by-pass ainsi que les éventuels contacts à seuils ou transmetteur (Fig.3.2).

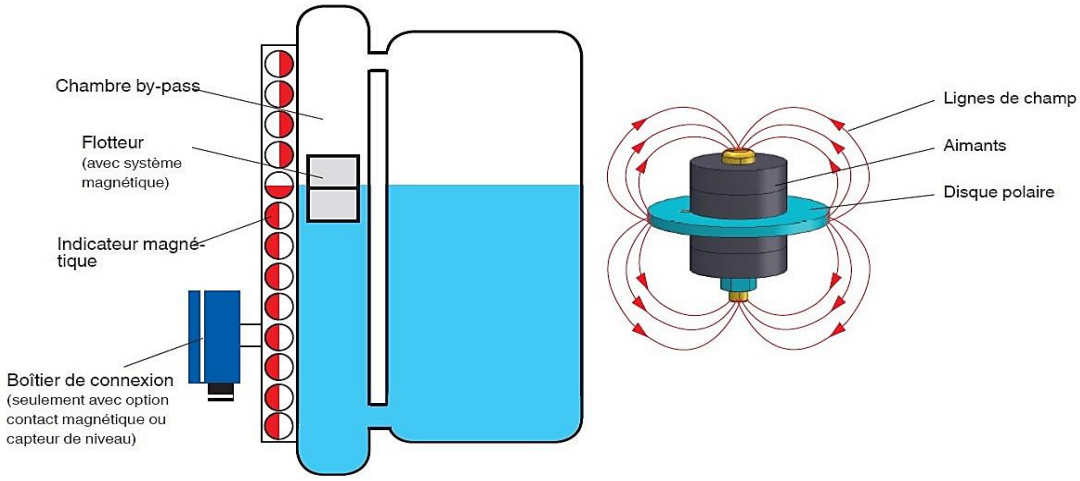


Fig.3.2. *Illustration du principe de fonctionnement : capteur de niveau*

Des contacts magnétiques et/ou une transmission sur toute la hauteur permet d'obtenir soit des seuils d'alarme, soit une indication continue par signal (4-20 mA). Ainsi, les capteurs de niveau se divisent en deux types principaux :

- ***Le capteur de niveau TOR :*** utilisé pour marquer une seule hauteur de liquide discrète dont une condition de niveau est prédéfinie. Généralement, ce type de détecteur de niveau fonctionne comme une alarme haute, pour signaler une condition de débordement, ou en tant qu'indicateur pour une condition d'alarme basse.

- ***Le capteur de niveau continu :*** Il mesure le niveau de liquide dans une plage, plutôt qu'à un seul point, ce qui produit une sortie analogique (4-20 mA) qui est directement corrélée au niveau de la cuve. Pour créer un système de gestion de niveau, le signal de sortie est relié à une boucle de commande de procédé et à un indicateur visuel (Fig3.3) et (Fig 3.4).

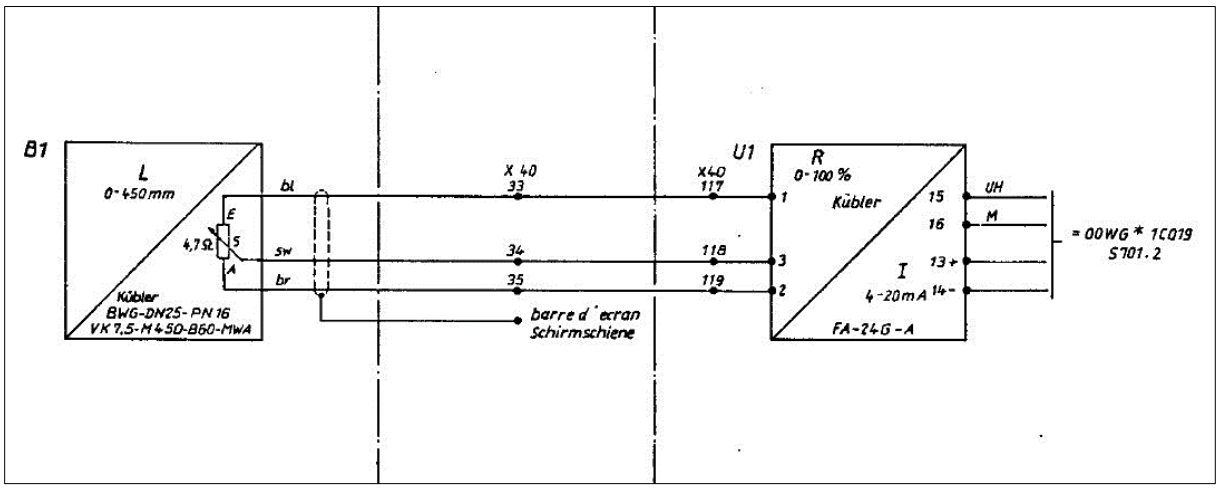


Fig.3.3. *Câblage électrique du capteur/transmetteur de niveau saumure étage 18*

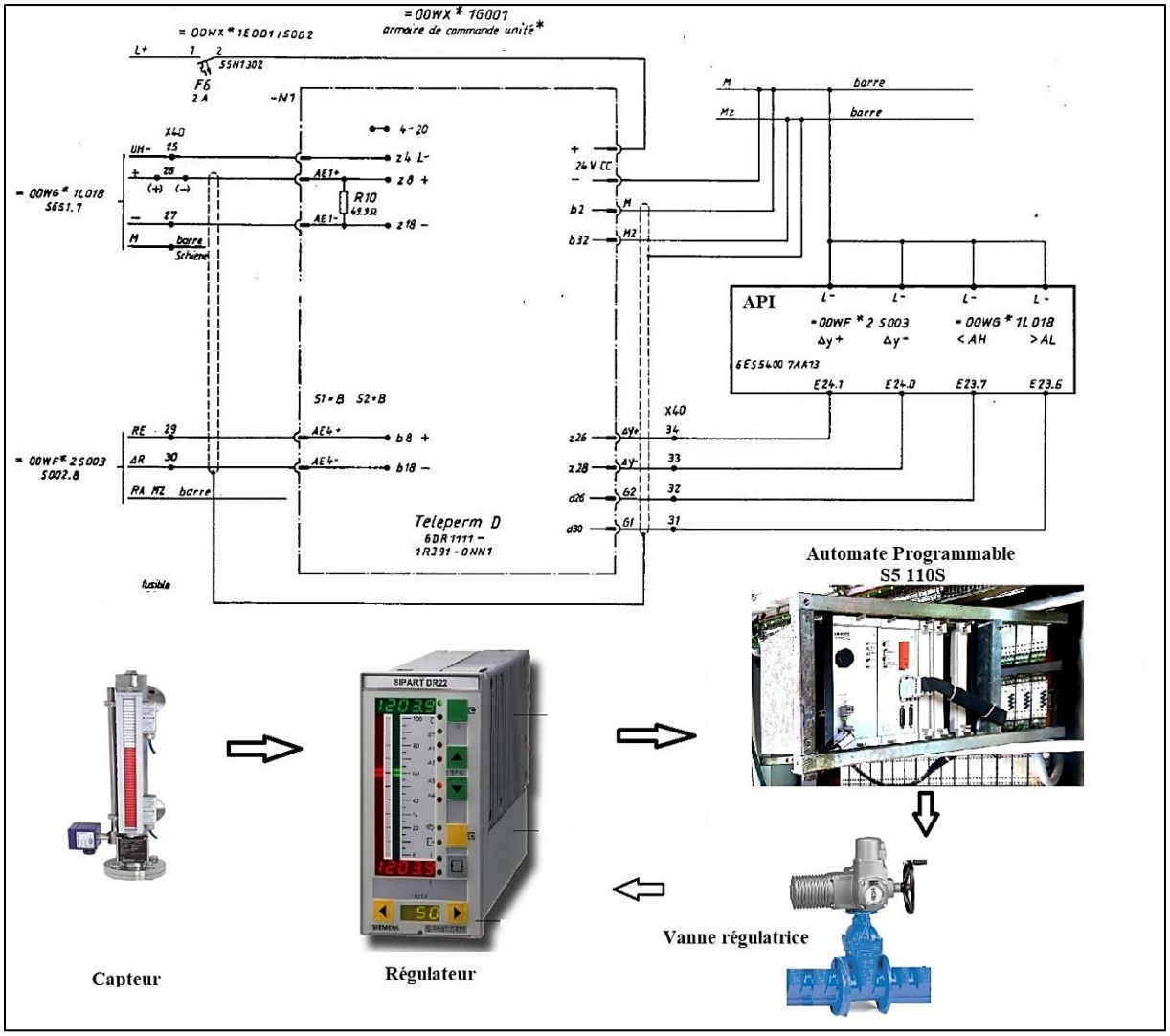


Fig.3.4. *Plan de connexions : capteur de niveau/régulateur/API/actionneur*

III.3. Contrôle de la conductivité

La conductivité du compteur WJ12A001 indique et surveille en permanence la qualité du distillat.

La conductivité maximale admissible du distillat dépend de l'utilisation prévue, que ce soit comme eau potable ou comme eau d'alimentation. La limite réglable déclenche automatiquement l'évacuation du distillat par la vanne WJ12S005. Appuyez sur le bouton (panneau de commande) et relâchez le point de commutation inférieur pour commuter (récupérer la production).

III.3.1. Conductivité

La conductivité électrolytique mesure la capacité d'une solution à transporter du courant. Dans les liquides, le courant est transporté par des ions. Tout changement de concentration ionique modifiera également la conductivité de la solution. Lorsqu'une substance (comme le sel) est dissoute dans l'eau, elle forme des ions dans l'eau. NaCl (sel de table) se dissout

pour former des cations chargés positivement (Na +) et des anions chargés négativement (Cl-) et favorise la conductivité de la solution.

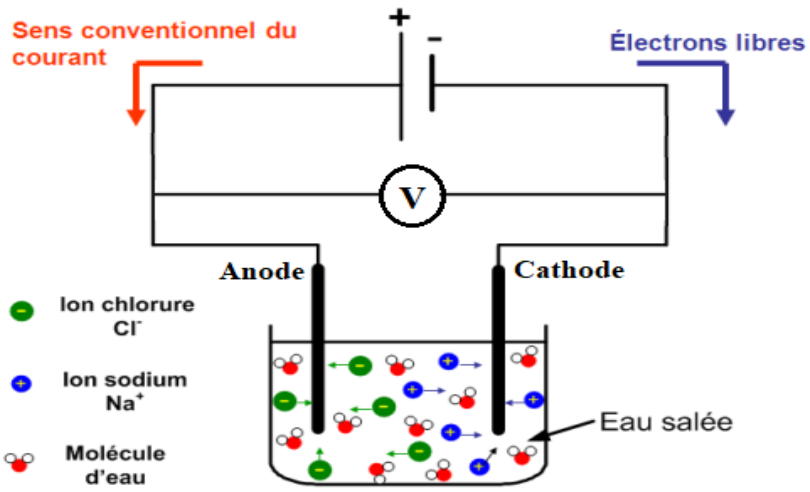


Fig.3.5. *Mesure de la conductivité électrique dans l'eau*

La conductivité dépend de la charge (la taille et le nombre d'ions) des éléments dissous dans l'eau. Elle est définie comme l'inverse de la résistivité (en ohms) d'un liquide de 1 cm^3 à une température donnée. La conductivité est exprimée en siemens/cm, ou lorsqu'elle est très faible, en un millionième de siemens ou micro siemens/cm (cmS/cm).

III.3.2. Mesure de la conductivité électrique dans l'eau

La cellule de conductivité est constituée de deux plaques identiques et parallèles (électrodes) connectées à un générateur de tension alternative (pour éviter la polarisation des électrodes). Quand on plonge la cellule de conductivité dans une solution conductrice et qu'on change la tension U à ses bornes en mesurant l'intensité du courant I la traversant, on verra le rapport entre U et I : la partie de la solution contenue entre les plaques se comporte conducteur ohmique (figure 3.7).

Capteur

Sonde

Afficheur

Fig.3.6. *Le conductivimètre*

La loi d'Ohm s'écrit alors :

$$U = R * I$$

- R est la résistance de la portion de solution R en ohms (Ω).
- U en volts (V) ; I en ampères (A).

En conductimétrie, on mesure la conductance G, qui est définie comme l'inverse de la résistance

$$G = 1/R = I/U$$

- U en volts (V) ; I en ampères (A) ; G en siemens (S).

La conductance d'une portion de solution dépend :

- De la géométrie de la cellule de la mesure.
- De la nature de la solution.

On peut séparer ces deux facteurs en exprimant la conductance sous la forme :

$$G = k * \sigma$$

- k est la constante de cellule en mètres (m) et **σ** la conductivité de la solution en siemens par mètre ($S * m^{-1}$).

La constante de cellule k ne dépend que de sa géométrie : on montre que :
k= S/L, où S est la surface d'une électrode (m2) et L la distance entre les électrodes (m).

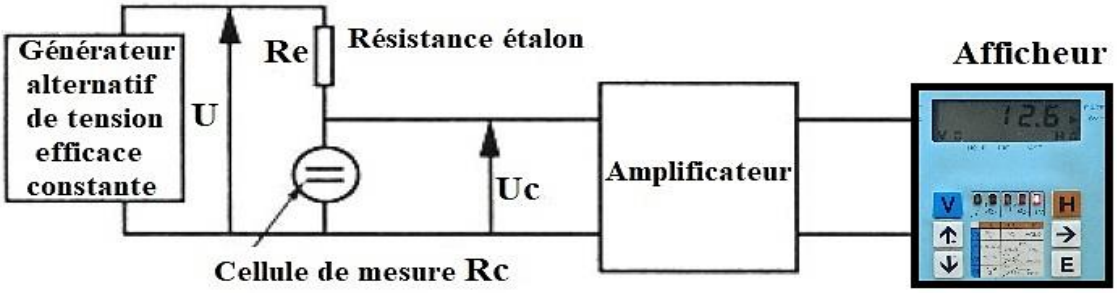


Fig.3.7. *Schéma de principe d'un conductivimètre*

La loi d'ohm conduit à la relation :

$$Uc/Rc=U/(Rc+Re)$$

et si : $Rc<<Re \rightarrow Uc \approx U*Rc/Re$

Uc est proportionnelle à Rc et doit être amplifiée.

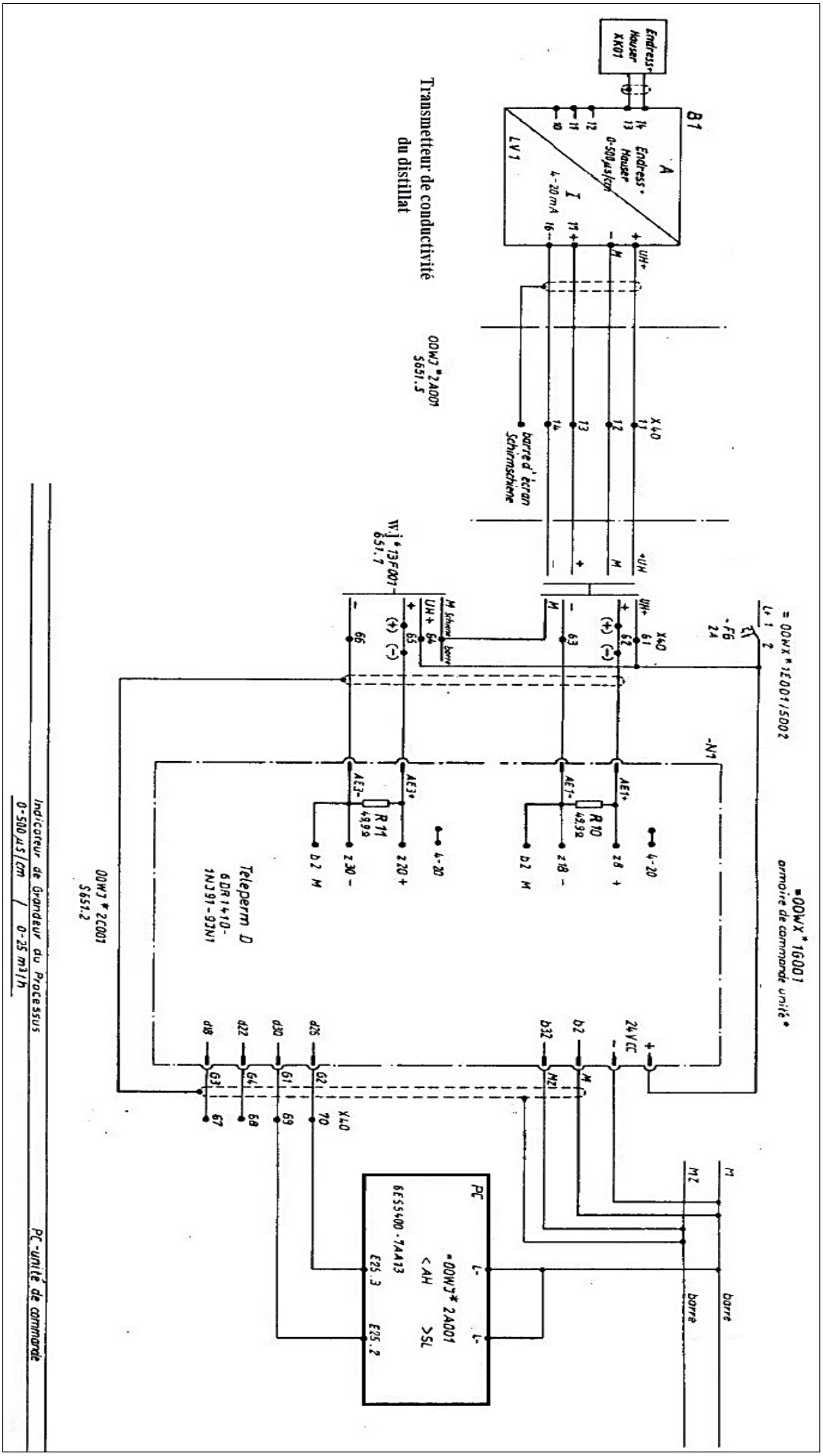


Fig 3.8. *Plan de connexions : transmetteur de conductivité/indicateur/API*

III.4. Mesure de pression

Le manomètre installé dans l'équipement de dessalement comprend l'indicateur de vide partiel de 18e niveau WG11P002 et l'indicateur de pression de saumure WR14P001 à la sortie du réchauffeur final. Le manomètre au 18ème niveau indique la pression de saturation, indiquant ainsi l'effet de dégazage. La pression est affichée dans l'armoire de commande. Des manomètres sont également installés du côté refoulement de chaque pompe. Le manomètre WH13P001 est placé sur la ligne de recirculation d'eau de la chaudière pour indiquer s'il y a de l'eau dans le circuit. Si la pression la plus basse est détectée, le système de contrôle de l'équipement arrête automatiquement le brûleur pour protéger la chaudière.

III.4.1. Eléments de mesure

III.4.1.1. Manomètre à tube manométrique à contacts électriques

Le manomètre « switchGAUGE » type « PGS23.1x0 (WIKA) » peut être utilisé partout où la pression du process doit être affichée localement et où il est nécessaire en même temps de commuter des circuits (P.ex. WH13P001 pour la protection de la chaudière). L'élément de mesure est constitué d'un tube métallique de section ovale en forme de C (tube de Bourdon). Une des extrémités est fermée et libre alors que l'autre extrémité est fixe et en relation avec le fluide à mesurer. Sous l'effet de la pression le tube s'ouvre et entraîne l'aiguille par l'intermédiaire d'un mécanisme amplificateur (Fig 3.9) [16].

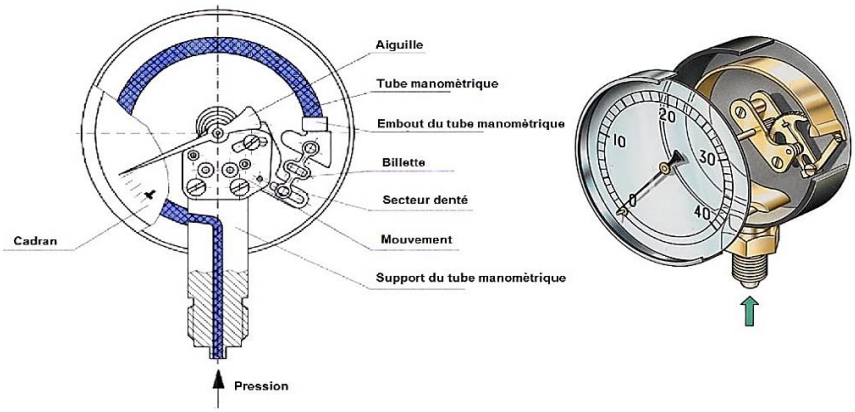


Fig.3.7. *Schéma de principe d'un conductivimètre*

Les contacts électriques ferment ou ouvrent un circuit de commande électrique en fonction de la position de l'aiguille et donc de l'indication de l'instrument de mesure. Les contacts électriques sont réglables sur l'étendue totale de l'échelle de mesure et ils sont montés essentiellement au-dessous du cadran, mais également en partie au-dessus du cadran. L'aiguille de l'instrument (l'aiguille indiquant la mesure actuelle) se déplace

librement sur la totalité de la gamme, indépendamment du réglage. L'indicateur de la valeur de consigne peut être réglé à l'aide d'une clé de réglage amovible dans le voyant.

Fig.3.10. *Manomètre à tube manométrique à contacts électriques*

Les contacts électriques constitués de plusieurs contacts peuvent également être réglés sur une valeur de seuil identique. Le contact est déclenché lorsque l'aiguille se déplace en dessous ou en dessus du point de seuil désiré.

La détection de la pression a pour objectif l'affichage de la pression sur le cadran, la régulation d'une opération ou l'émission d'un signal électrique (4–20 mA) proportionnel à la pression mesurée.

III.4.1.2. Manomètre à membrane avec signal de sortie

Le manomètre à membrane est généralement utilisé pour la mesure de faibles pressions pour lesquelles le tube de Bourdon reste insensible. Il est équipé d'une membrane, raccordée au mouvement par un dispositif étanche. La pression dans l'enceinte cause une déformation dans le sens indiqué par la flèche (Fig.3.11) et est transmise de la membrane à l'arbre de transmission en donnant une lecture rapide et précise de la pression.

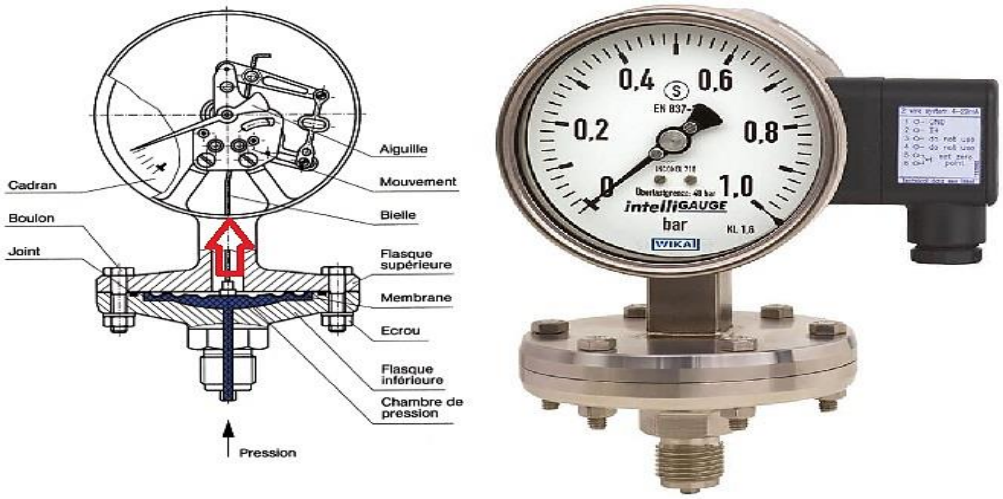


Fig.3.11. *Manomètre à membrane avec signal de sortie*

III.4.1.3. Indicateur de pression différentielle

L'indicateur de pression différentielle « BOLL » est un dispositif robuste et compact indiquant le niveau de contamination des éléments du filtre auto-nettoyant. La pression différentielle entre l'entrée et la prise du filtre est indiquée et mesurable par le degré de contamination de l'éléments filtrant. Lorsque la valeur maximale prédéfinie de la pression différentielle est atteinte, le filtre doit être nettoyé. La couleur des segments de disque visibles dans les deux écrans indique le degré de contamination. Le segment rouge augmente proportionnellement au niveau de contamination. Lorsque le segment est complètement rouge, la limite de pression différentielle est atteinte (Fig 3.12).

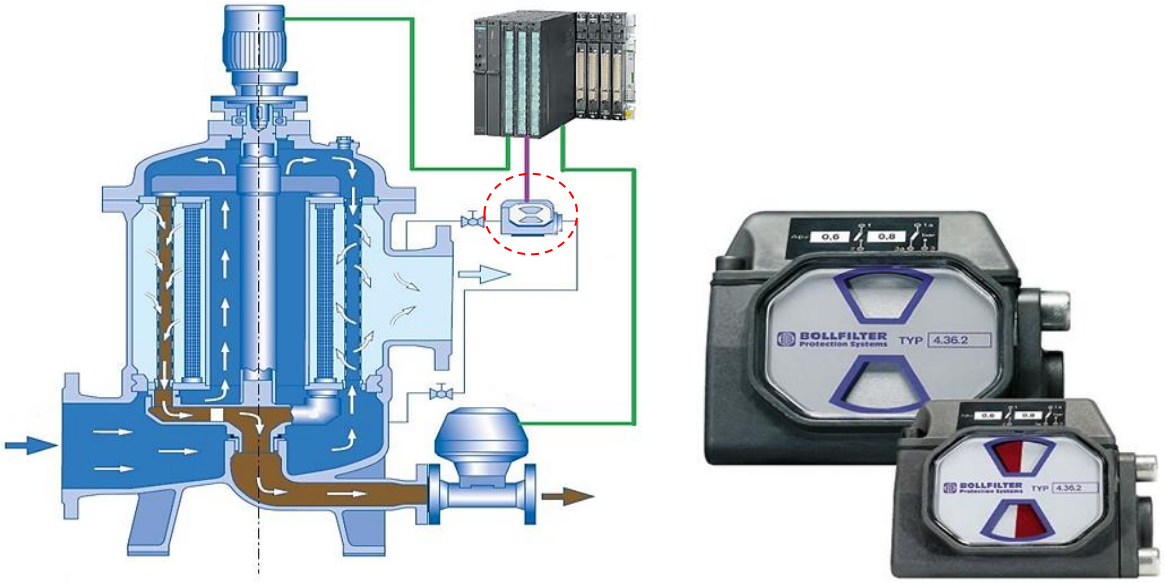


Fig.3.12. *Indicateur de pression différentielle « BOLL »*

À l'intérieur de l'appareil est un piston qui est maintenu en position zéro par un ressort. À mesure que la pression différentielle augmente avec une contamination

croissante, le piston est déplacé contre la résistance du ressort. Par transmission magnétique, le disque d'affichage tourne en fonction du mouvement du piston et affiche de plus en plus de segments rouges. L'indicateur de pression différentielle avec des contacts électriques intégrales est muni de deux commutateurs qui peuvent être utilisés indépendamment soit comme contact de commutation ou de contact d'alarme. À 75 % et à 100 % de la valeur du seuil de pression différentielle prédéfinie, les contacts des deux commutateurs sont activés magnétiquement et le signal d'alarme sera transmis au système de commande (p.ex. API).

III.5. Mesure de débit

La quantité de saumure de recirculation se dirigeant vers la zone de récupération de chaleur est réglée par la soupape WR15S001. Le débit de saumure est indiqué à l'armoire de commande. Lors du démarrage, ce débit augmente progressivement, et proportionnellement à la température de la sortie du réchauffeur final et à la température de l'eau chaude de la chaudière.

Le débit d'eau d'alimentation en eau de mer (WE19F001) est indiqué à l'armoire de commande et est réglé par la soupape WE19S001. Le débit du distillat (WJ13F001) est indiqué à l'armoire de contrôle et sur la machine.

III.5.1. Elément de mesure

Le débitmètre électromagnétique (DEM) « Endress+Hauser » [16] est un débitmètre utilisant le principe de l'induction électromagnétique. Pour ce faire, un champ magnétique est appliqué au fluide dont on souhaite mesurer le débit, ce qui crée une force électromotrice d'autant plus forte que le débit est élevé. Ce type de débitmètre nécessite que le fluide ait une conductivité électrique suffisante (Fig.3.13).

Fig.3.13. *Débitmètre électromagnétique « Endress+Hauser »*

III.5.2. Principe de la mesure de débit électromagnétique

Le débitmètre électromagnétique fonctionne selon la loi d'induction de Faraday et génère une tension dans un milieu conducteur se déplaçant dans un champ magnétique. Dans le DEM, deux bobines de champ magnétique sont placées de part et d'autre du tube de mesure et génèrent un champ magnétique d'intensité constante. Les deux électrodes de mesure sont disposées perpendiculairement à ces bobines sur la paroi interne du tube. Une fois que le composant liquide chargé traverse le champ magnétique, une tension est induite.

La tension mesurée par les deux électrodes de mesure est proportionnelle au débit et donc proportionnelle au débit volumique. Le champ magnétique est généré par un courant continu qui change de polarité. Cela garantit une position zéro stable et rend la mesure non affectée par des produits multiphasiques, des inhomogénéités ou une faible conductivité (Figure 3.14).

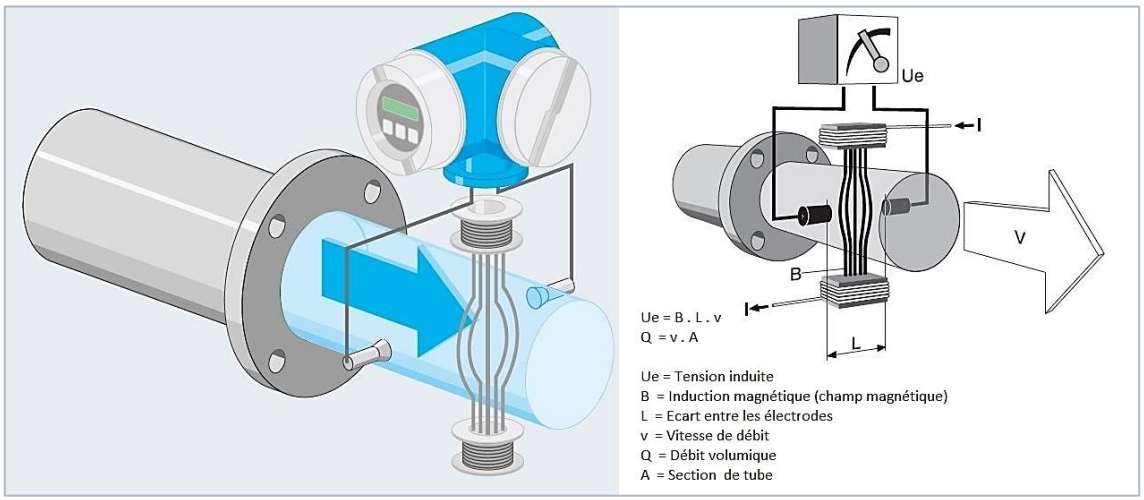


Fig.3.14. *Schéma de principe de la mesure de débit électromagnétique*

Pour le principe électromagnétique, le fluide en mouvement représente le conducteur. La tension induite (**Ue**) est proportionnelle à la vitesse d'écoulement (**v**) et est amenée à

l'amplificateur par le biais des deux électrodes de mesure. Le volume écoulé (**Q**) est calculé à partir de la section de la conduite (**A**).

III.5.3. Transmetteur de débit

Le transmetteur de débit convertit les valeurs envoyées par le capteur en signaux de sortie normés (Fig.3.15). A cet effet, plusieurs sorties sont disponibles (Fig.3.16) :

- Sorties courant (fin d'échelle librement réglable).
- Sortie impulsion (valeur librement réglable).
- Sortie état :

  - Indications des erreurs de système/ process.
  - Reconnaissance du sens d'écoulement.

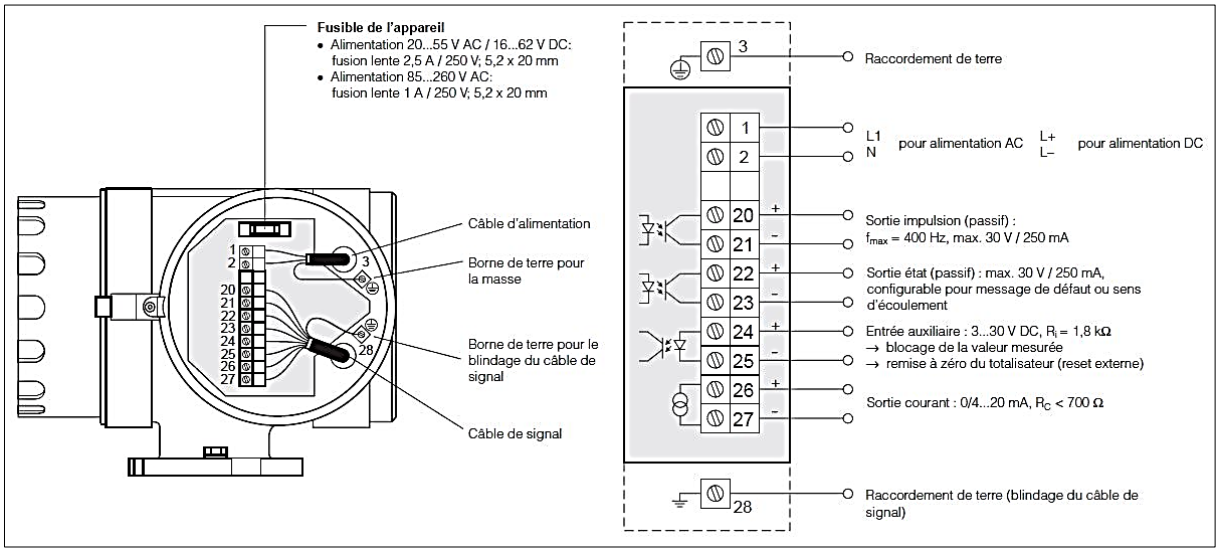


Fig.3.15. *Schéma de raccordement du transmetteur de débit*

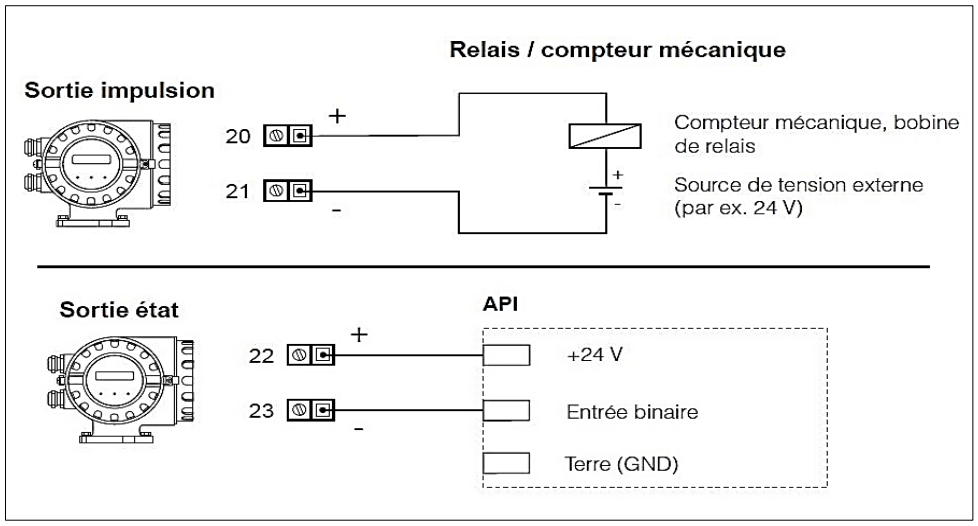


Fig.3.16. *Exemples de raccordement du transmetteur de débit*

III.6. Mesure de température

La température de l'eau de mer, à la sortie de la zone de dissipation de chaleur (WE13T002) est indiquée à l'armoire de commande.

Le télé-indicateur placé à la sortie du réchauffeur final donne la température maximale de saumure (WR14T002). Les indicateurs de température dans le circuit d'eau de la chaudière permettent de se faire une idée sur l'état du système de la chaudière.

Le thermorégulateur règle le brûleur de la chaudière suivant le signal donné par le thermomètre (WH12T001) placé dans la chaudière.

A chaque étage se trouve des thermomètres, qui indiquent la température de détente de la saumure dans les divers étages de l'évaporateur.

III.6.1. Eléments de mesure

Dans le domaine de la mesure électrique de température industrielle, on utilise communément deux groupes de capteurs : les sondes à résistance (RTD) et les thermocouples (TC). Les deux types de capteurs ont leurs avantages et leurs inconvénients. Les sondes à résistance Pt100, communément utilisées, conviennent particulièrement à des mesures situées dans des plages de température basses à moyennes (-200 ... +600 °C). Les thermocouples, eux, (à part quelques exceptions) sont avantageux à de plus hautes températures (jusqu'à 1700 °C).

Le point commun de ces instruments de mesure pour la mesure de température électrique est un capteur qui convertit la température mesurée en un signal électrique [5].

III.6.1.1. Le thermocouple (TC)

Un thermocouple consiste en deux conducteurs de métaux différents connectés entre eux à une extrémité, de sorte que le point de connexion est le point de mesure (Fig 3.17).

Lorsque l'on chauffe le point de mesure, la tension sur les extrémités du câble (jonction froide) est mesurée, elle représente la température du point de mesure (Effet thermoélectrique = effet Seebeck) (Fig.3.18).

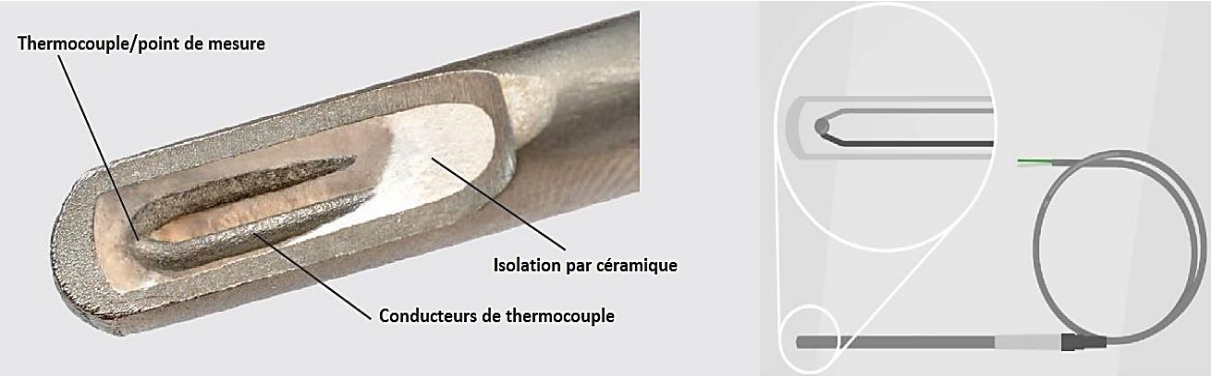


Fig.3.17. *Point de mesure d'un thermocouple*

Cette tension (FEM = force électromotrice) est produite à cause de la différente densité en électrons des deux conducteurs en métal (différents) utilisés, en combinaison avec la différence de température entre le point de mesure et la jonction froide.

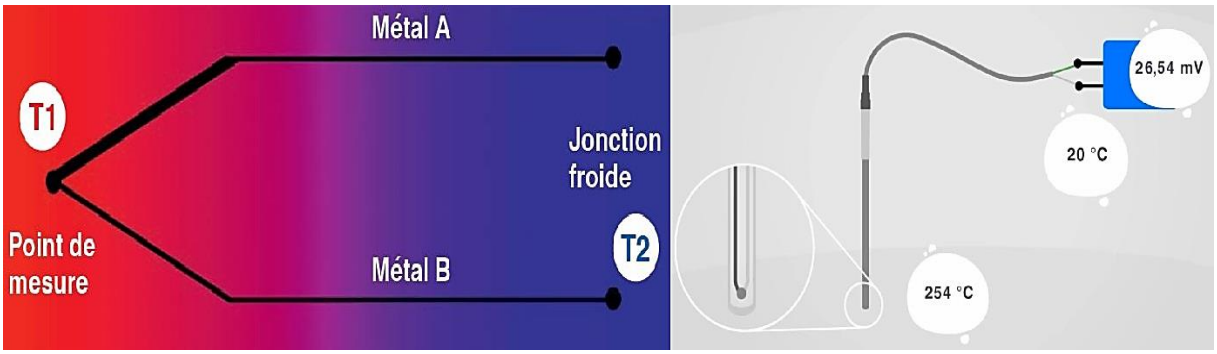


Fig.3.18. *Principe de mesure d'un thermocouple*

Tout simplement, un thermocouple ne mesure pas la température absolue, mais la température différentielle entre le T1 (Point de mesure : jonction chaude) et T2 (Point froid : jonction froide). Parce que les tensions de sortie des thermocouples sont très faibles, il est nécessaire d'utiliser le gain le plus élevé possible, afin d'améliorer la résolution et les performances de bruit. L'amplification et la gamme d'entrée du convertisseur analogique/numérique (CAN) déterminent la gamme d'entrée utilisable pour système de commande.

III.6.1.2. Thermomètre à résistance RTD

Le thermomètre à résistance de platine est un dispositif (un type de thermistance) permettant de mesurer la température. Il est basé sur le fait que la résistance électrique du platine varie selon la température. Le thermomètre à résistance de platine fut développé en

1888. En anglais on parle généralement de sonde RTD pour Resistance Temperature Detector. En pratique, les thermomètres à résistance de platine se distinguent par la valeur de référence de leur résistance à la température t90 = 0 °C. Elles sont nommées Pt-X, Pt pour platine et X étant la valeur de référence de la résistance (en ohms). Par exemple, une sonde Pt-100 (modèle le plus couramment employé dans l'industrie) possède une résistance de 100 ohms à la température t90 de 0 °C.

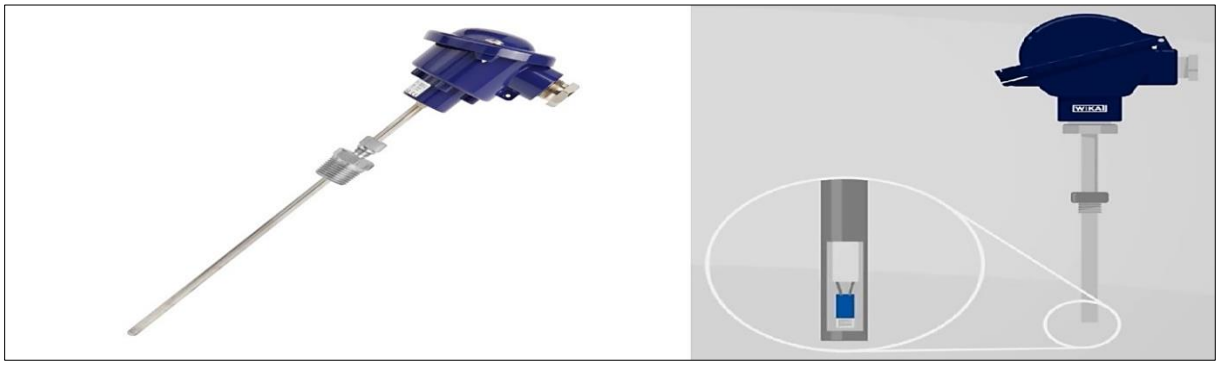


Fig.3.19. *Thermomètre à résistance avec sonde Pt-100*

III.6.2. Transmetteur de température

Les transmetteurs de température sont adaptés à certaines exigences d'applications industrielles. En fonction de leur signal de sortie, ils sont idéalement adaptés pour une connexion directe à des automates ou convertisseurs avec entrée tension ou courant (Fig3.20).

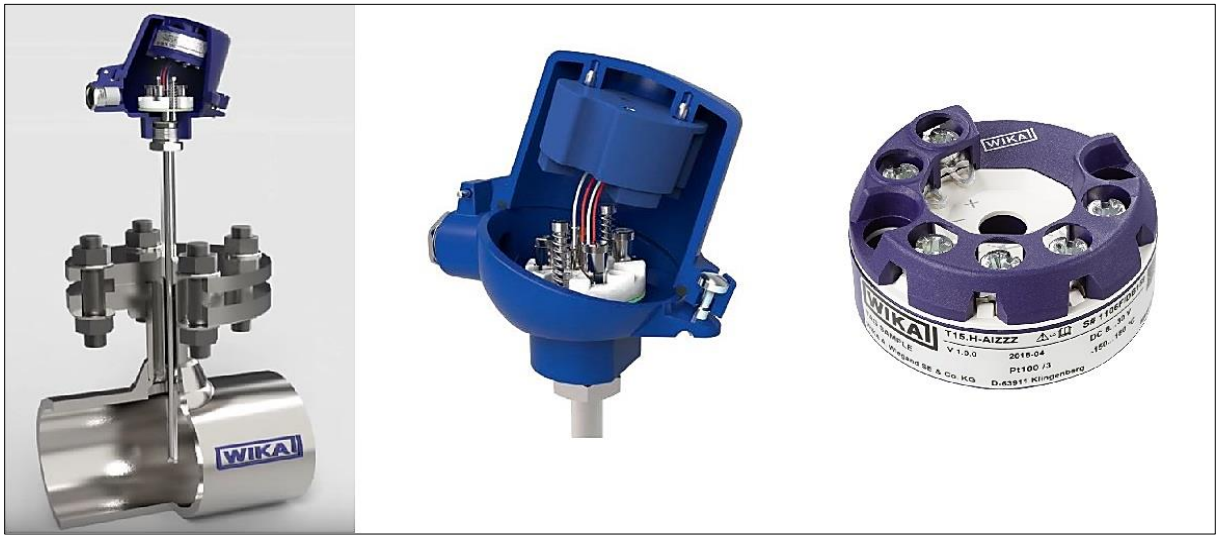


Fig.3.20. *Illustration d'un transmetteur de température*

Les transmetteurs convertissent une variation de résistance (dans le cas d'une sonde à résistance) ou une variation de tension (dans le cas d'un thermocouple) en fonction d'une

variation de température en signal de sortie (4 – 20 mA ou 0 – 24 V). Ce signal standard permet une transmission aisée et fiable des valeurs de température mesurée.

Les transmetteurs de température à thermocouple convertissent la petite sortie en millivolts (mV) d'un thermocouple en un signal de courant (généralement de 4 - 20mA cc) insensible au bruit et aux chutes de tension sur de longues distances. Les transmetteurs de température à thermocouple isolés éliminent les problèmes de boucle de masse en isolant l'entrée de la sortie du transmetteur. Les options de sortie incluent le courant analogique, la tension analogique ou la sortie relais / commutateur (Fig.3.21).

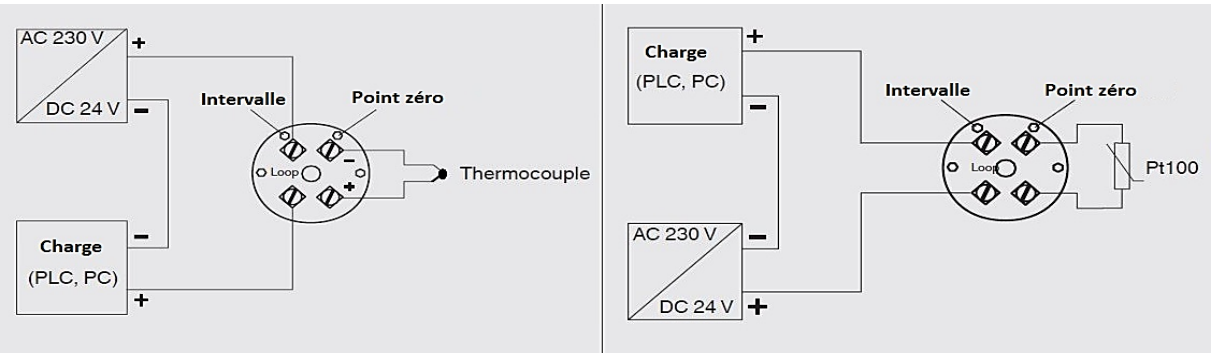


Fig.3.21. *Désignation des bornes de connexion des transmetteurs de température*

III.6.3. Exemple de mise à l'échelle d'une mesure de température

Nous avons mesuré une température dans la conduite d'eau de chaudière grâce à une sonde PT-100 qui convertit cette température en une résistance. Cette résistance est transmise au transmetteur de température qui à son tour la convertit en un signal de 4-20 mA et il va transmettre ce signal à la carte d'entrée analogique de l'automate qui est paramétrable en 4-20 mA pour une plage de 0 - 27648 points. Cette valeur est ensuite mise à l'échelle pour l'interface homme machine (HMI) pour un affichage en °C(Fig 3.22).

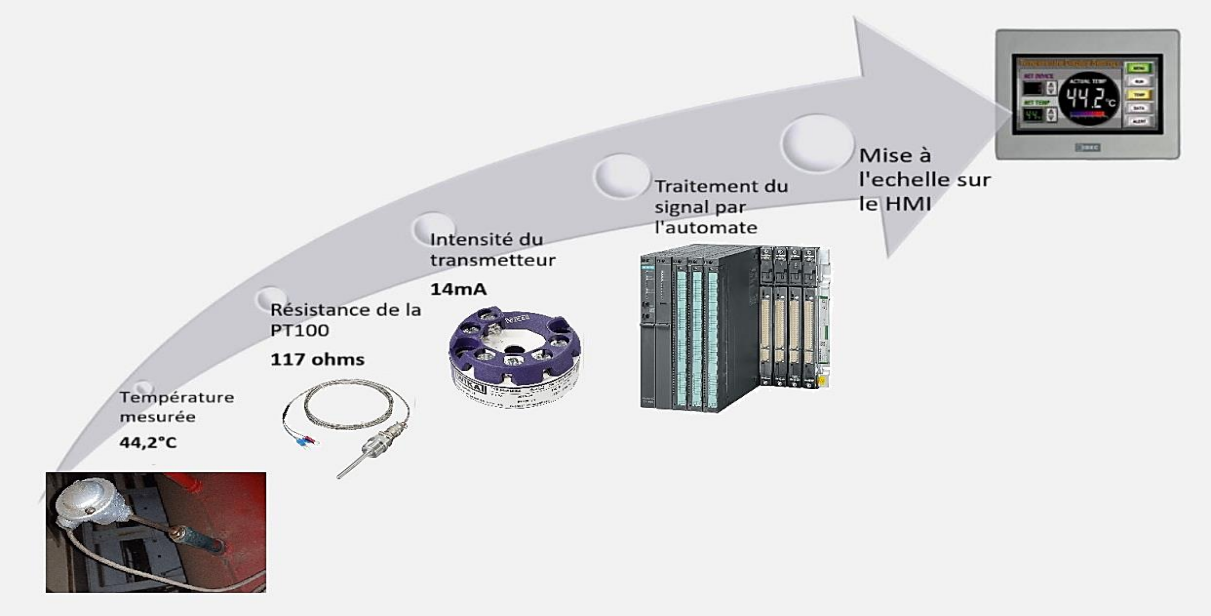


Fig.3.22. *Mise à l'échelle d'une mesure de température*

III.7. Partie opérative (actionneurs)

Les actionneurs existant dans la station de dessalement sont uniquement les moteurs asynchrones triphasés. On distingue les moteurs asynchrones triphasés de faible puissance pour la commande des différentes vannes avec démarrage direct par inversion du sens de rotation, et les moteurs asynchrones triphasés de moyenne puissance pour l'entrainement des différentes pompes, avec démarrage direct.

III.7.1. Servomoteurs électriques

III.7.1.1. Définition

Un servomoteur (généralement abrégé en "servo", du latin "servus", qui signifie "esclave") est un moteur qui peut résister aux forces statiques, et sa position est constamment vérifiée et corrigée en fonction des valeurs mesurées. C'est donc un système contrôlé. Les servomoteurs intègrent des machines (moteurs et engrenages) et des composants électroniques dans un seul boîtier pour la commande de moteur et la servocommande. Cette position est définie avec une limite de course angulaire de 180° mais elle peut également être utilisée pour une rotation continue. Les actionneurs sont très populaires dans les vannes industrielles (Figure 3.23).

Fig.3.23. *Ensemble : vanne/servomoteur électrique.*

Le terme servomoteur désigne également de manière abusive le pré-actionneur, la plupart du temps pneumatique (système membrane/ressort), et aussi hydraulique ou électrique d'une vanne de régulation. Dans ce cas l'asservissement de position est toujours effectué par un organe distinct nommé positionneur.

III.7.1.2 Automatisation de vannes industrielles

L'opération des vannes est différente selon les applications et le design. La norme NF EN 15714-2 distingue trois classifications :

- **Classe A :** Ouverture/Fermeture ou Tout-ou-rien. Il est requis que le servomoteur commande l'appareil de robinetterie sur la totalité de sa course en allant de la position d'ouverture totale à la position de fermeture totale et vice versa.
- **Classe B :** Avance pas à pas/Positionnement pas à pas. Il est requis que le servomoteur commande occasionnellement l'appareil de robinetterie dans toute position (totalement ouverte, intermédiaire ou totalement fermée).
- **Classe C :** Régulation ou Service régulation. Il est requis que le servomoteur commande fréquemment l'appareil de robinetterie dans une position quelconque entre l'ouverture totale et la fermeture totale.

La commande de servomoteur assure d'une part le traitement des signaux du servomoteur et d'autre part le traitement des commandes de manœuvre du système de contrôle. Cette tâche peut être effectuée par une commande externe, par exemple, un API (Automate Programmable Industriel).

Le contrôle se fait par les commandes : Ouverture / Fermeture. L'atteinte d'une des positions finales et des signaux de défaut collectifs (signaux de contacts de fins de course, de limiteurs de couple, de protection moteur ou de la position de la vanne) sont retransmis au système de commande externe pour traitement. Ces informations sont également indiquées par les voyants sur la commande locale. En option, la position de la vanne peut être retransmise via un signal de 4–20 mA au système de commande. Par ailleurs, l'armoire de commande loge les contacteurs pour le contrôle du moteur câblé avec le servomoteur.

Fig.3.24. *Bloc de commande électromécanique du servomoteur.*

Le bloc de commande intègre les contacts permettant l'arrêt automatique du servomoteur lors de l'atteinte de la position finale. Dans cette configuration, l'enregistrement des positions finales et de couple se fait mécaniquement.

Légende de la figure.3.24

1. Réglage de contacts fin de course et limiteurs de couple.
2. ***Transmetteur de position à distance*** **:** La position de la vanne est signalée au système de commande à l'aide d'un potentiomètre ou d'un signal 4 – 20 mA.
3. ***Réducteur*** **:** un réducteur est requis pour démultiplier la course de la vanne à la plage d'enregistrement du transmetteur de position à distance et de l'indicateur de position mécanique.
4. ***Contact clignotant pour indication de marche*** **:** pendant la manœuvre, une came tournante actionne le contact clignotant.
5. ***Résistance de chauffage*** **:** pour réduire la formation de condensation dans le boîtier de commande.

6. ***Contact de fin de course et limiteur de couple*** **:** le contact concerné est actionné lorsqu'une position finale a été atteinte ou le couple d'arrêt a été dépassé. Dans sa version de base, l'appareil est équipé d'un contact fin de course pour chaque position finale « Ouverte » et « Fermée » et un limiteur de couple pour chaque direction de manœuvre en directions ouverture et fermeture.

Contacts de positions intermédiaires : pour chaque sens de manœuvre, des contacts de positions intermédiaires optionnels peuvent être fournis afin de pouvoir régler selon besoin un point de commutation supplémentaire pour chaque direction.

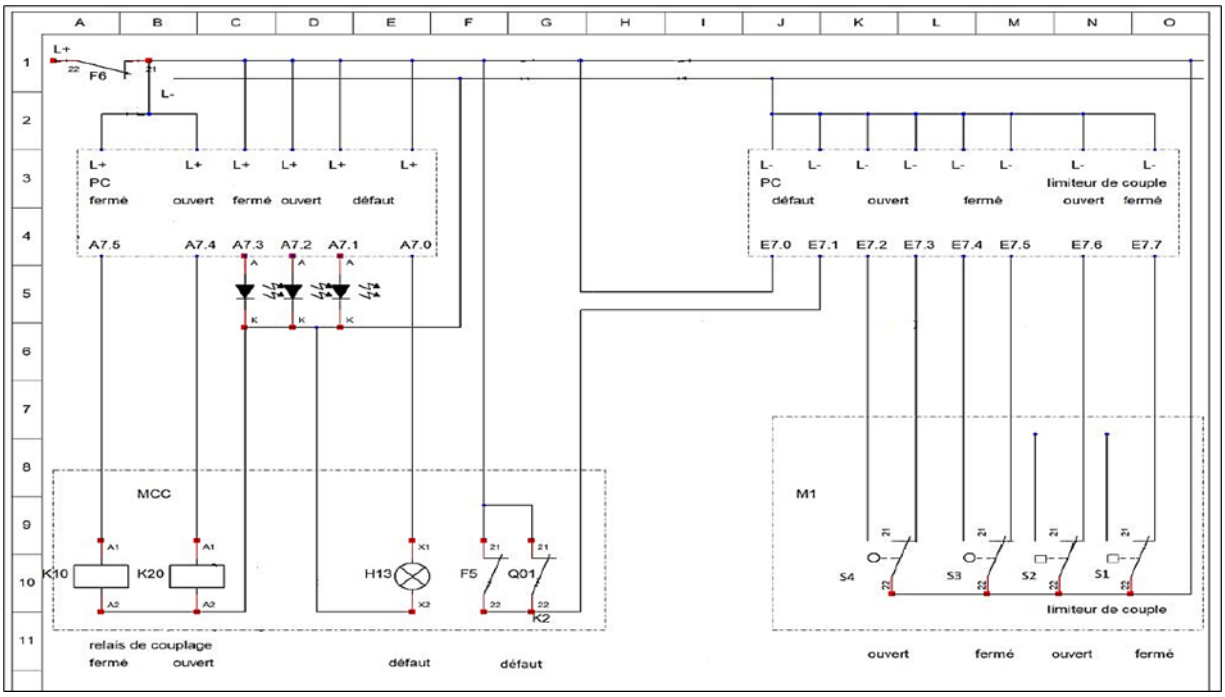


Fig.3.25. Plan de commande par API de la vanne WR14S002

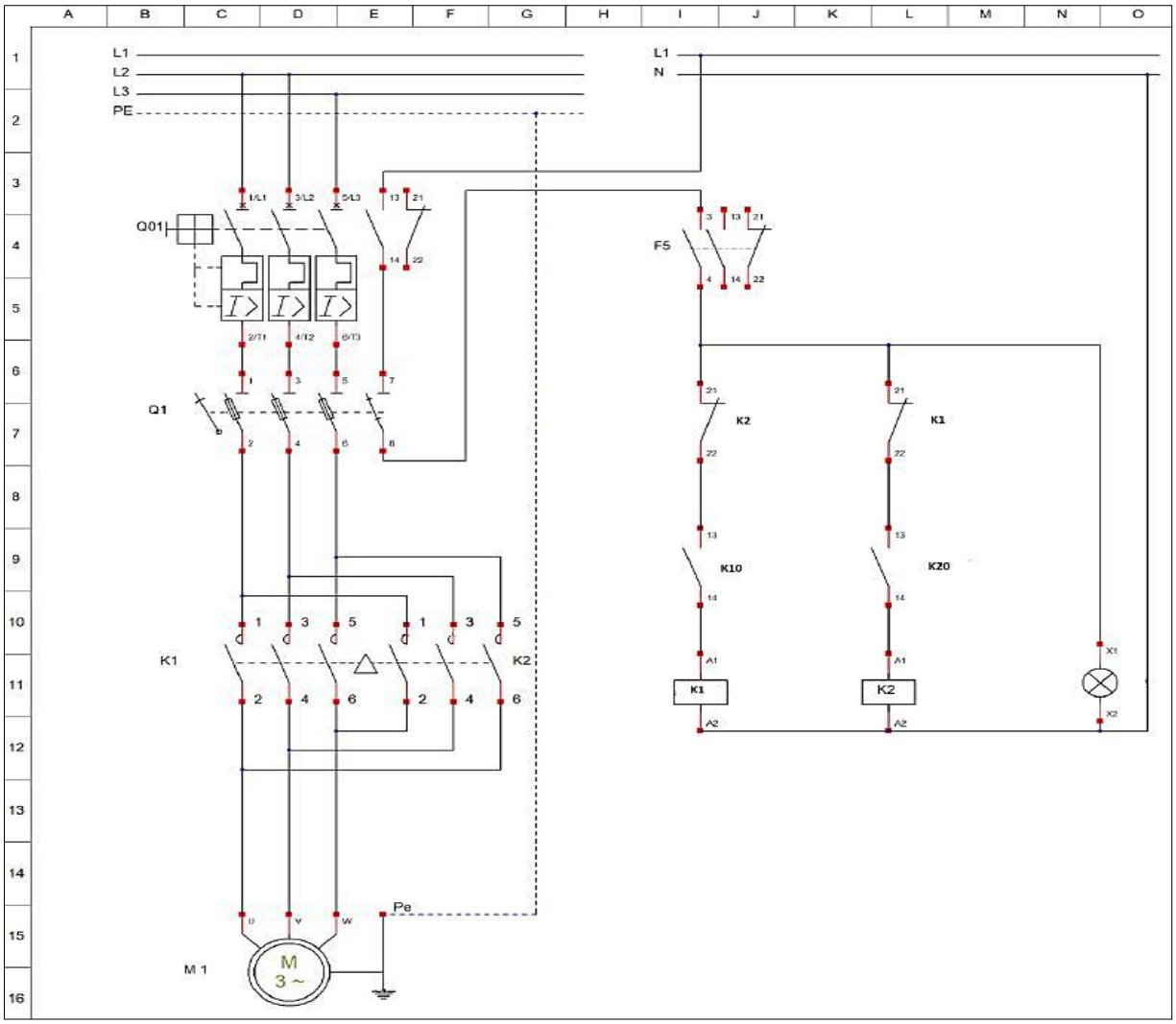


Fig.3.26. Schéma de commande et de puissance de la vanne WR14S002

III.7.2. Groupes motopompes

Les pompes sont entraînées par des moteurs asynchrones triphasés avec un démarrage direct qui constitue la méthode la plus fréquemment utilisée en industrie pour le démarrage des moteurs triphasés. La popularité de cette technique s'explique par sa simplicité et son coût d'installation relativement bas comparativement à d'autres méthodes.

Fig.3.27. *Motopompe de recirculation de saumure WR11D001*

III.7.2.1. Démarrage automatique des moteurs asynchrones triphasés

Les démarreurs automatiques sont les démarreurs de moteurs à pleine tension les plus fréquemment employés en industrie. On les utilise lorsque l'on désire commander un moteur à distance à l'aide d'un poste de commande à boutons-poussoirs ou quand la puissance du moteur excède la capacité maximale des démarreurs manuels.

Le démarreur automatique se divise essentiellement en trois parties :

- **Un contacteur** : possédant un électro-aimant, trois contacts de puissance et un contact auxiliaire.
- **Un relais de protection thermique** : à trois pôles servant à protéger le moteur contre les surcharges. A ce moment, la chaleur est transmise au relais par l'entremise de trois éléments chauffants branchés en série avec le moteur.
- **Un disjoncteur :** peut compléter l'équipement pour assurer la protection contre les courts-circuits.

Pour commander la mise en marche et l'arrêt d'un moteur, on fait appel au poste marche-arrêt. Ce poste est installé au niveau de la salle de contrôle sur le pupitre opérateur. Ils sont

constitués d'un bouton-poussoir à fermeture (F), servant à commander la mise en marche du moteur, d'un bouton-poussoir à ouverture (0) pour en commander l'arrêt et éventuellement des voyants.

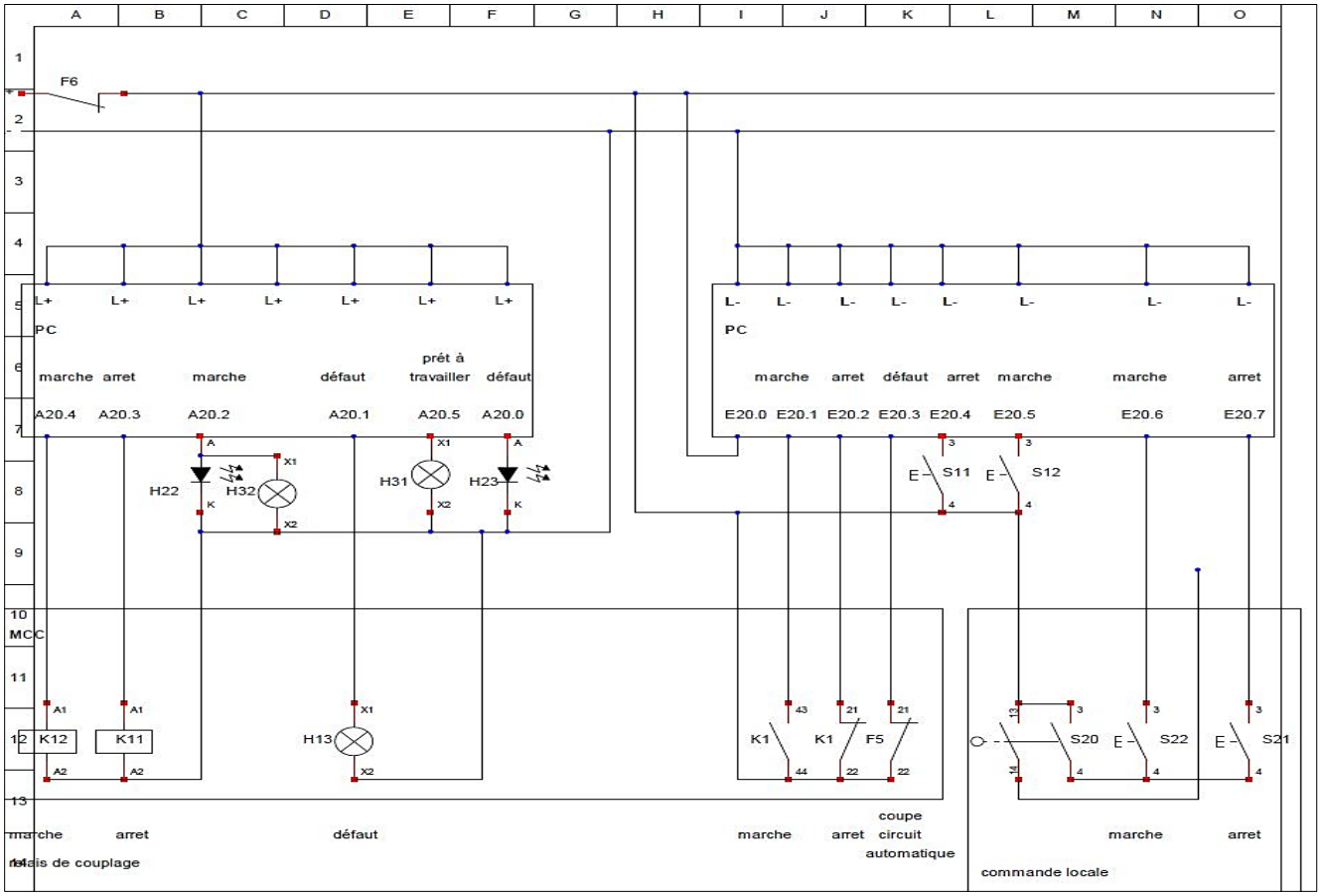


Fig.3.28. *Plan de commande par API de la motopompe WS11D001*

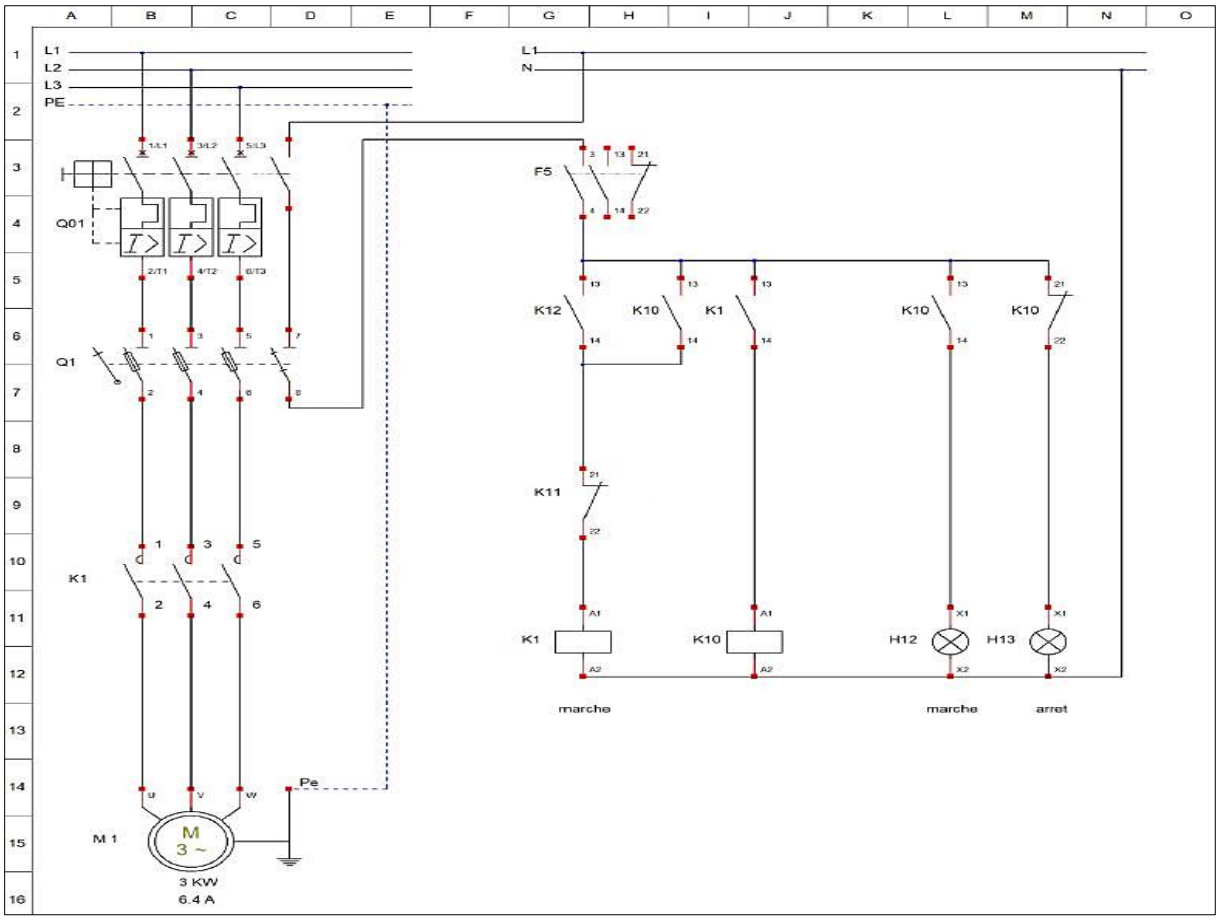


Fig.3.29. *Schéma de commande et de puissance de la motopompe WS11D001*

III.8. Boucle de courant 4–20 mA

La boucle de courant est une méthode utilisée en contrôle industriel pour communiquer avec des capteurs ou des actionneurs, consistant à faire circuler dans une paire de conducteurs électriques un courant dont l'intensité est l'image du signal à transmettre.

III.8.1. Description

La boucle de courant la plus utilisée dans l'industrie est le 4-20 mA, où 4 mA représente le minimum d'échelle, et 20 mA représente le maximum d'échelle, avec une relation linéaire entre le signal à transmettre et l'intensité du courant. Ainsi, un courant de 8 mA correspond à 25 % d'échelle. Si l'échelle est par exemple définie de 0% à 100% (mesure de niveau), la mesure de 50% va correspondre à 12 mA d'où la relation :

$$I = (X\ \%) * 0.16 + 4.$$

De nos jours, les boucles de courant, qui sont purement analogiques, tendent à être complétées par le protocole HART, voire remplacées par des bus de terrain. Néanmoins, une

boucle de courant est plus facile à diagnostiquer, dans la mesure où un simple multimètre, ou de manière encore plus simple, une pince ampèremétrique, sont généralement suffisants.

III.8.2. Avantages

Par rapport à la boucle de tension, son principal avantage est que la précision du signal de transmission n'est pas affectée par la perte de ligne, car le courant circulant dans la boucle est fourni par une source de courant dont la force est ajustée pour correspondre au signal à transmettre, quelle que soit la résistance de ligne. Un autre avantage est que l'intensité dans la boucle n'est généralement jamais nulle, même si le signal à transmettre correspond à la plus petite échelle. Par conséquent, la déconnexion peut être détectée car dans ce cas, l'intensité est nulle.

Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons introduit la partie instrumentation du processus de dessalement pour clarifier la connexion entre la partie contrôle (PLC, Régulateurs) et la partie fonctionnement (Actionneurs) établie par les capteurs et les dispositifs de contrôle. mesure. Afin d'automatiser l'usine de dessalement, le prochain chapitre procédera à une analyse fonctionnelle du procédé.

Chapitre IV
Analyse fonctionnelle

IV.1. Installations d'avertisseurs et de sécurité automatique

Pendant le fonctionnement normal, des interférences peuvent se produire, affectant la qualité et/ou la quantité de l'eau produite, ou dans des cas graves, mettant gravement en danger les composants de l'équipement. Pour cette raison, chaque dispositif de dessalement d'eau de mer est équipé d'un système de surveillance et d'une fonction d'alarme, éliminant les soucis du personnel de service d'un grand nombre de tâches de surveillance.

Affiché sur le tableau de bord sous la forme d'indications à diodes électroluminescentes (LED) sur le panneau de commande et le tiroir enfichable de l'équipement MCC (centre de contrôle des moteurs) à travers des lumières. Pour l'affichage sur le tiroir enfichable de l'équipement MCC, il s'agit généralement de l'affichage de la surcharge thermique du moteur. Afin de diagnostiquer le défaut, l'un des affichages suivants apparaîtra dans ce cas

- Panne de MCC.
- Surcharge thermique du servomoteur.
- Surcharge de couple de rotation de servomoteur.

Lors d'une indication d'instruments de mesure, les signalisations d'avertisseurs peuvent également être réunies p.ex. : AL/AH. Dans ce cas l'opérateur doit constater la nature de la panne sur la base de l'indication des instruments.

Toutes les indications d'avertisseurs sont données par le clignotement (fréquence 2 Hz) d'une lampe indicatrice attribuée au circuit en panne dans le tableau synoptique et dans le cas d'importantes signalisations d'avertisseurs concernant le processus, elles sont affichées supplémentairement aux tableaux d'alarme. En même temps un signal acoustique retentit. Les deux signalisations d'alarme peuvent être annulées séparément par actionnement des boutons « Acquitter/éteindre » et « Acquitter klaxon ».

Les signalisations d'avertisseurs prévues dans une unité de dessalement peuvent être divisées en cinq (05) groupes qui peuvent être considérés comme groupes fonctionnels sur la base de leurs effets. La signalisation visible reste maintenue sous la forme d'un allumage ininterrompu jusqu'à ce que la panne soit éliminée. Après élimination de la panne l'allumage ininterrompu passe au clignotement (0.5 Hz) qui peut à nouveau être annulé en utilisant le bouton poussoir « Acquitter/éteindre ».

IV.2. Classification des signalisations d'avertisseurs

IV.2.1. Groupe 01

Les signalisations d'avertisseurs faisant partie du présent groupe sont prévues pour différentes fonctions qui déclenchent uniquement des signaux optiques et acoustiques. Elles ne servent à l'opérateur que pour la surveillance du fonctionnement.

IV.2.2. Groupe 02

Lorsque l'une des signalisations de panne réagit à une panne, il est déclenché tout d'abord un signal visible et acoustique. Lorsque cependant l'unité de dessalement est en plein fonctionnement, c'est-à-dire que la lampe « Complètement en service » s'allume, la mise à l'arrêt automatique est amorcée avec cinq (05) minutes de retard. L'arrêt de l'unité de dessalement est effectué automatiquement j'jusqu'à une température d'environs 40 °C de la saumure de recirculation (Arrêt avec refroidissement postérieur).

IV.2.3. Groupe 03

Outre le déclenchement des signaux d'alarmes visibles et acoustiques, est immédiatement, c'est-à-dire sans les cinq (05) minutes de retard, mise à l'arrêt. Le processus de l'arrêt a lieu comme décrit sous le groupe 02.

IV.2.4. Groupe 04

Lorsque l'une des signalisations de panne faisant partie de ce groupe réagit, l'unité de dessalement complète est mise immédiatement à l'arrêt sans le refroidissement postérieur usuel (Arrêt d'urgence).

Dans les systèmes auxiliaires, les pompes faisant partie (systèmes) ou les agitateurs mécaniques sont mis à l'arrêt.

IV.2.5. Groupe 05

Font partie de ce groupe :

- Les verrouillages ou blocages fonctions ou affichages qui interviennent dans la séquence de démarrage ou de mise à l'arrêt.
- Ou bien indiquent des états de fonctionnement qui se produisent par erreur de réglage ou de commande et peuvent être éliminés par de peu nombreuses manipulations au pupitre lorsqu'ils apparaissent.

IV.3. Liste des alarmes et signalisations

IV.3.1. Groupe 1

Ce groupe regroupe toutes les alarmes de l'installation (désignations pour l'unité N° 01) qui sont résumées dans le tableau 4.1 :

N°	Equipement / Appareil de mesure	Désignation
01	Pompe de transfert d'eau de mer	WE11D001
02	Pompe de rejet de saumure	WF11D001
03	Pompe de distillat	WJ11D001
04	Pompe de recirculation de saumure	WR11D001
05	Pompe d'eau motrice	WS11D001
06	Pompe doseuse de Belgard EVNA/01	WP12D001
07	Pompe doseuse de Belgard EVNA/02	WP13D001
08	Pompe doseuse de Bisulfite de Sodium	WP15D001
09	Agitateur de Belgard EVNA/01	WP11D001
10	Agitateur de de Bisulfite de Sodium	WP15D001
11	Pompe de recirculation d'eau chaude	WH11D001
12	Brûleur de chaudière	WL11D001
13	Servomoteur/vanne de réglage chaudière à	WW11S010
14	Servomoteur/vanne de réglage débit saumure de recirculation	WR15S001
15	Servomoteur/vanne de réglage pression saumure de recirculation	WR12S004
16	Moteur de filtre autonettoyant	WE12B001
17	Servomoteur/vanne de réglage niveau saumure étage 18	WF11S003
18	Servomoteur/vanne de réglage niveau distillat étage 18	WJ12S004
19	Servomoteur/vanne de rejet distillat	WJ13S001
20	Servomoteur/vanne de réglage rejet eau de mer	WE13S002
21	Servomoteur/vanne de réglage débit eau d'appoint évaporateur	WE19S001
22	Pompe de détection de gaz chaudière	WW11D001

23	Servomoteur/vanne de refoulement pompe eau de mer	WE11S003
24	Servomoteur/claper de gaz d'échappement	WW12S001
25	Servomoteur/vanne de rinçage filtre autonettoyant	WY11S001
26	Niveau min dans le réservoir de dosage Belgard EVNA	WP11L002-AL
27	Niveau min dans le réservoir de dosage Bisulfite de Sodium	WP15L002-AL
28	Débit minimal de dosage Belgard EVNA	WP14F001-AL
29	Débit minimal de saumure de recirculation	WR12F001-AL
30	Température élevée de saumure de recirculation (maximale)	WR14T002-AH
31	Basse température de saumure de recirculation (minimale)	WR14T002-AL
32	Basse pression de saumure de recirculation (minimale)	WR14P001-AL
33	Niveau de saumure élevé au 1er étage de l'évaporateur	WG11L001-AH
34	Niveau de saumure élevé au dernier étage de l'évaporateur	WG11L018-AH
35	Niveau de saumure bas au dernier étage de l'évaporateur	WG11L018-AL
36	Niveau de saumure élevé au dernier étage de l'évaporateur	WG11L019-AH
37	Niveau de saumure bas au dernier étage de l'évaporateur	WG11L019-AL
38	Mauvais vide évaporateur	WG11P002-AH
39	Faible débit eau d'alimentation évaporateur	WE19F001-AL
40	Conductivité élevée saumure de recirculation	WR12A001-AH

41	Conductivité élevée distillat	WJ12A001-AH
42	Haute pression différentielle filtre autonettoyant	WE12P004-AH
43	Niveau bas d'eau de chaudière	WH16L001-AL
44	Basse pression circuit eau de chaudière	WH13P001-AL
45	Température très élevée eau de chaudière	WH13T001-AHH
46	Température élevée eau de chaudière	WH13T002-AH
47	Température élevée entrée eau de chaudière	WH12T001-AH
48	Basse température entrée eau de chaudière	WH12T001-AL
49	Arrêt après 05 min	
50	Perturbation du brûleur	
51	Arrêt d'urgence	
52	Manque de gaz	
53	Retour de mazout bloqué	
54	Prêt au départ (disponible pour mise en service)	
55	Complètement en marche	
56	Surcharge de couple servomoteur	
57	Surcharge thermique servomoteur	
58	Perturbation clapet de gaz d'échappement	
59	Perturbation MCC	
60	Perturbation de l'alimentation en courant continu 24V	

Tableau 4.1. Liste des alarmes du groupe 01

IV.3.2. Groupe 2

Les indications de perturbations suivantes tombent sous la présente rubrique :

1. Vide incorrect étage 18 (WG11P002-AH).

2. Température maximale élevée de la saumure de recirculation (WR14T002-AH).
3. Débit de dosage trop bas de Belgard EVNA (WP14F001-AL).
4. Niveau de saumure élevé au 1er étage de l'évaporateur (WG11L001-AH).
5. Débit trop faible de la saumure de recirculation (WR12F001-AL).
6. Perturbation du brûleur.
7. Conductivité haute de la saumure de recirculation (WR12A001-AH).

Si la perturbation ou le défaut ne peuvent pas être supprimés dans les 05 minutes, ce qui est en règle générale possible, l'installation doit être arrêtée dans les formes prescrites, c'est-à-dire que le débit de la saumure de recirculation est tout d'abord réduit après arrêt de l'apport de chaleur. Avec ce débit l'installation est refroidie pendant environ 30 minutes à environs 40°C et ensuite toutes les vannes sont fermées, puis toutes les pompes sont à l'arrêt.

L'arrêt de l'installation dans le cas où se présente une des perturbations indiquées ci-dessus a les raisons suivantes :

- Cas 1 :

En cas de vide trop élevé (P >= **0,6** Bar) il existe soit de l'air soit du CO_2 dans les condenseurs ou bien le transfert de chaleur aux condenseurs est perturbé d'autre façon. Dans ce cas la production normale du distillat n'est pas atteinte. Au cas où l'on ne peut pas obtenir une amélioration à bref délai, p.ex. en augmentant le débit de l'eau de refroidissement, l'installation doit être arrêtée.

- Cas 2 :

Dans le cas d'une température trop élevée de la saumure de recirculation (maximale), c'est-à-dire une température dépassant 94 °C, il peut éventuellement se produire une augmentation de l'encrassement des condenseurs.

- Cas 3 :

Lorsque le débit de dosage des produits chimiques Belgard EVNA est trop faible (F < 2 l/h) dans la conduite de recirculation de saumure il en vient rapidement à se produire une formation de pierres inaccoutumées et il se produit en liaison avec ce phénomène un fort accroissement de la consommation de chaleur.

- Cas 4 :

En cas de niveau trop élevé de la saumure au 1er étage de l'évaporateur (L > 80%), la pression différentielle entre les étages est trop faible pour causer le transport de la saumure, étant donné qu'il y a danger de ce que l'eau de mer pénètre dans les cuves du distillat, l'installation doit être arrêtée.

- Cas 5 :

Un débit faible de la saumure de recirculation (F < 40 m^3/h) peut provoquer le dépôt de matières en suspension dans les condenseurs par suite de la diminution de vitesse. Si en même temps la température maximale est relativement élevée, il se produit un soufflage dans les déversoirs entre étages et une augmentation du dépôt de tartre dans le réchauffeur final.

- Cas 6 :

Lorsque l'indication perturbation brûleur (défaut brûleur) apparaît, on peut tout d'abord essayer d'analyser le défaut en se basant sur d'autres indications d'avertisseurs et de l'éliminer, en règle générale par actionnement du bouton remise à l'état initial du brûleur. Si toutefois de cette manière l'on ne peut pas maintenir l'adduction de chaleur au processus, il convient d'arrêter l'installation.

- Cas 7 :

Lorsque la conductivité de la saumure de recirculation est élevée ($\boldsymbol{\sigma}$ > 55.000 µS/cm), on peut tout d'abord tenter d'obtenir une amélioration par augmentation du débit d'alimentation en eau de mer. En cas d'inefficacité il convient d'arrêter l'installation car l'encrassement par sursaturation de la concentration de la saumure de recirculation se produit.

IV.3.3. Groupe 3

Les pannes faisant partie de ce groupe sont également répertoriées dans le groupe 1. Ici contrairement aux avertissements du groupe 2 il existe peu de possibilité de supprimer le défaut dans les 05 minutes. Il se produit en plus des signaux optiques et acoustiques une interruption directe de l'adduction de chaleur (arrêt brûleur). On refroidit alors avec un débit de saumure de recirculation réduit et le courant non déminué de l'eau de mer, l'installation pendant 30 minutes à environs 40 °C. Ensuite on met hors service tous les groupes (motopompes).

Les pannes (alarmes) faisant partie de ce groupe sont les suivantes :

1. Surintensité de courant : pompe de recirculation d'eau chaude (WH11D001).
2. Surintensité de courant : moteur de brûleur (WL11D001).
3. Température d'eau chaude de la chaudière trop élevée (WH13T001-AHH).
4. Niveau trop bas dans le circuit d'eau chaude de la chaudière (WH16L001-AL).
5. Pression trop basse de circuit d'eau chaude (WH13P001-AL).
6. Surintensité de courant : pompe de distillat (WJ11D001).

7. Surintensité de courant : éjecteur-pompe d'eau motrice (WS11D001).
8. Avertissement de manque mazout (WO01L001-ALL), lorsque le brûleur est connecté sur le fonctionnement au mazout.

La raison pour la mise à l'arrêt de l'installation dans le cas de ces pannes est la suivante :

- Cas 1 :

Surintensité de courant - pompe de recirculation d'eau chaude : en cas de panne de la pompe de recirculation d'eau chaude on arrête immédiatement le brûleur, car sans pompe la recirculation n'est pas suffisante pour évacuer la chaleur, c'est-à-dire qu'il peut se produire des surchauffes locales dans les tubes foyer et dans les tubes de fumée. L'installation est alors sans source de chaleur et n'est plus exploitable. Toutefois dans ce cas par suite de la recirculation naturelle le refroidissement a lieu un peu plus lentement et n'atteint éventuellement pas les 40 °C désirées.

- Cas 2 :

Surintensité de courant – brûleur de chaudière : en cas de panne de brûleur de chaudière, aucune chaleur n'est plus mise à la disposition du réchauffeur final, c'est-à-dire que la température maximale de l'eau de mer diminuera immédiatement et que les pressions différentielles des étages de l'évaporateur nu suffisent plus pour transporter l'eau de mer à travers les fentes à saumure. Pour cette raison il convient d'arrêter l'installation.

- Cas 3 :

Lorsque le circuit d'eau de chaudière atteint une température dépassant 110 °C il y a danger de ce que la température de tube atteigne sur la paroi interne une valeur pour laquelle on peut s'attendre à une augmentation des pannes ou bien à la formation du tartre et il peut ainsi se produire un encrassement du réchauffeur final. Pour cette raison il faut arrêter immédiatement l'installation. En outre il existe une prescription selon laquelle la chaudière ne doit fonctionner au-dessus de 110 °C.

- Cas 4 :

Si le niveau de l'eau dans le circuit de chaudière est trop bas, il en est de même dans ce cas, conformément à l'exigence de la protection chaudière, elle doit être mise hors fonctionnement et ainsi l'installation également, car elle est ainsi sans alimentation en chaleur.

- Cas 5 :

Si la pression dans le circuit d'eau de chaudière est très basse, ici s'applique ce qui a été dit précédemment. Le brûleur de chaudière est arrêté et ainsi l'installation doit également

s'arrêter. La chute de la pression dans le circuit, peut provoquer cavitation de la pompe de recirculation d'eau de chaudière.

- Cas 6 :

En cas de surintensité de courant de la pompe de distillat, sans pompe de distillat, il ne peut y avoir aucun prélèvement du produit, ce qui prive l'exploitation de l'installation de son but. Si l'on continue la marche les condenseurs sont cachés à leur parties inférieure ce qui perturbe considérablement le transfert de chaleur.

- Cas 7 :

La panne de la pompe d'eau motrice suite à une surintensité de courant aurait en cas de continuation de marche l'effet décrit sous le groupe 2 (cas 1), c'est-à-dire avoir un vide incorrect à l'étage 18 de l'évaporateur (WG11P002-AH).

- Cas 8 :

En cas de manque de mazout, les pompes à engrenages du brûleur seront détruites en peu de temps par suite de manque de liquide de graissage.

IV.3.4. Groupe 4

Les signaux avertisseurs faisant partie de ce groupe ont également été déjà indiqués dans le groupe 1. Lorsque se présente l'un des signaux d'avertissement ci-après indiqués on arrêtera immédiatement l'installation, car sans cela il se produirait des dommages à bref délai. Au cas où il se produirait l'une des pannes suivantes, il conviendrait d'arrêter immédiatement et complètement l'installation, c'est-à-dire sans la période de refroidissement postérieur de 30 minutes. Dans le détail il s'agit ici des pannes suivantes :

1. Surintensité de courant : pompe d'eau de mer (WE11D001).
2. Surintensité de courant : pompe de recirculation de saumure (WR11D001).
3. Surintensité de courant : pompe de rejet de saumure (WF11D001).
4. Arrêt d'urgence.

Les raisons d'un arrêt immédiat et complet de l'installation sont les suivantes :

- Cas 1 :

Surintensité de courant – pompe de transfert d'eau de mer : sans pompe de transfert d'eau de mer l'installation ne peut plus être exploitée et ne peut pas non plus subir de refroidissement postérieur, de ce fait la période de refroidissement de 30 minutes est supprimée.

- Cas 2 :

Surintensité de courant – pompe de recirculation de saumure : sans pompe de recirculation de saumure l'installation ne peut plus être exploitée ni refroidie postérieurement, de ce fait la période de refroidissement de 30 minutes est supprimée.

- Cas 3 :

Surintensité de courant – pompe de rejet de saumure : sans pompe de rejet de saumure l'installation n'est pas non plus prête à fonctionner, car l'eau de mer amenée dans l'installation ne peut plus être enlevée. Pour cette raison on procède ici également à un arrêt immédiat de l'installation.

- Cas 4 :

L'arrêt d'urgence est effectué manuellement, au cas où des personnes sont en danger ou si un dommage mécanique ou quelque chose d'analogue pouvait se produire dans l'installation. Lors de la manœuvre de ce bouton toute l'installation est immédiatement arrêtée, ainsi que cela a été décrit au début.

IV.3.5. Groupe 5

Blocages et signalisations pour le démarrage et l'exploitation des unités de dessalement :

Les conditions de démarrage pour l'exploitation sont les suivantes :

- Toutes les vannes à commande par moteur doivent être fermées, à l'exception de la vanne de rejet de distillat WJ12S005. Celle-ci se trouve en position ouverte. La signalisation a lieu à partir des interrupteurs limiteurs de course (commutateurs de fin de course) en position « fermé » des servomoteurs.
- Toutes les machines doivent être mises à l'arrêt, les tiroirs de MCC doivent être enfichés en position d'exploitation.
- Il ne doit y avoir aucune signalisation d'avertisseur des groupes 3 et 4 et aucune perturbation de l'alimentation en courants 24 V.
- Tous les commutateurs sur place doivent être en position « Télé » (commande automatique / à distance).
- L'essai des lampes doit avoir été effectué.

L'état sus-indiqué est signalisé par la lampe « prêt au départ ».

Remarques :

- Différentes vannes à servomoteur entrent en action par commande à timing (temporisation) au cours de démarrage de l'installation (phase initiale). On peut en tout temps intervenir dans cette commande par actionnement des boutons « Ouvert » - « Fermé » ou bien par l'intermédiaire des sélections commande manuelle de

régulateurs. Les servomoteurs vont aussi longtemps vers la position « Ouvert » ou « Fermé » que l'on actionne le bouton correspondant. La course de la vanne est, dans chaque cas, limitée par les interrupteurs limiteurs de course. Lorsque la vanne de démarrage ou de réglage est en position « Fermé », la pompe correspondante est mise à l'arrêt. Les pompes ne doivent fonctionner que peu de temps avec une vanne en position « Fermé ».

- La fonction d'avertisseur « mise à l'arrêt après 05 minutes » (groupe 2) est supprimée, mais non sa signalisation. Les signalisations d'avertisseurs des groupes 3 et 4 restent suivies d'effet.
- Les blocages cités ci-après ne sont en règle générale pas suivis d'effet lorsque les machines sont démarrées sur place par MCC.

Cela étant entendu, les groupes (motopompes) et appareils sont programmés et bloqués au démarrage conformément aux points 1 à 12 :

1. Pompe d'eau motrice à éjecteur WS11D001 :

Conditionnée par l'état de marche de WE11D001 et l'ouverture complète de WE11S003

2. Pompe de transfert d'eau de mer WE11D001 :

Aucun autre blocage pour le démarrage. La vanne de démarrage WE11S003 entre en action par commande à timing, lorsque la pompe a atteint sa vitesse de rotation nominale après T1 (10 secondes). Lorsque l'on a la signalisation « pompe à eau de mer WE11D001 Marche » et « la vanne de de démarrage WE11S003 non Fermé » la vanne d'alimentation en eau de mer WE11S019 est mise en phase initiale à une valeur de consigne de sécurité allant jusqu'à 30 % de débit de passage nominal. La mise en phase initiale est interrompue et vanne d'alimentation est mise à nouveau sur la position « Fermé » lorsque le signal avertisseur de niveau WG11L019-AH se déclenche. Les signalisations « pompe Marche » et « vanne de démarrage Ouvert » débloquent le réglage au moyen de la commande manuelle WE14S002.

3. Filtre à eau de mer WE11B001 :

La signalisation « pompe de transfert d'eau de mer WE11D001 Marche » fait démarrer le cycle de commande T6, qui déclenche le lavage du filtre autonettoyant. Le lavage du filtre a lieu comme suit et peut être déclenché dans les limites de l'espace de temps T6 également par l'interrupteur à pression différentielle WE12P004–AH :

- Le moteur de filtre est mis en marche, en même temps la vanne de descente des boues WY11S001 s'ouvre.

- Après actionnement de l'interrupteur limiteur de course en position « Ouvert » de la vanne de descente des boues et après l'écoulement du temps T7 la vanne se ferme à nouveau.
- Le moteur de filtre s'arrête.
- La signalisation d'avertisseur de pression différentielle n'a lieu qu'après écoulement du temps T8 immédiatement après l'achèvement du lavage de filtre, lorsque la pression différentielle n'a pas été diminuée par le lavage.

4. Pompe de dosage WP15D001 :

La pompe de dosage démarre automatiquement lorsque :

- L'on a signalisation d'avertisseur de Chlore WE01A001-AH.
- Débit d'alimentation en eau de mer conforme à 30 % ≥ la valeur de consigne de sécurité.

Le blocage du fonctionnement de la pompe a lieu en cas de signalisation d'avertisseur de niveau WP15L002-ALL au réservoir de dosage. L'agitateur mécanique est en fonctionnement lorsque 1a pompe est en fonctionnement.

5. Pompe de recirculation de saumure WR11D001 :

Les conditions de démarrage de la pompe sont :

- On a la signalisation « Pompe eau de mer Marche ».
- On a « Interrupteur limiteur de course Ouvert » de la vanne de démarrage WE11S003.
- Il n'y a pas de signalisation d'avertisseur de niveau WG11L018-AL.

La vanne de démarrage WR12S004 entre en action par commande à timing (temporisation), lorsque la pompe a atteint sa vitesse de rotation nominale après T9 secondes.

La vanne de réglage d'alimentation en saumure WR15S001 est mise en phase initiale lorsque l'on a obtenu la signalisation « Pompe de recirculation de saumure Marche » et « vanne de démarrage WR12S004 non fermé ».

La mise en action a lieu jusqu'à obtention de la valeur de consigne de sécurité de 20 % de la valeur nominale du débit de recirculation de saumure.

6. Pompes de dosage WP12D0001, WP13D001 :

Lorsque l'on a la valeur de consigne de sécurité de la vanne de réglage de l'alimentation en saumure WR15S001 le blocage de démarrage de l'avertisseur de débit WP14P001-AL est supprimé.

Le blocage du fonctionnement de la pompe est causé par la signalisation d'avertisseur de niveau WP11L002-ALL au réservoir de dosage.

L'agitateur mécanique est en fonctionnement lorsqu'une pompe de dosage est en fonctionnement.

Lorsque l'une des pompes a démarré le fonctionnement de la pompe de réserve est bloqué.

7. Pompe de rejet de saumure WF11D001 :

Le démarrage de la pompe de rejet de saumure est bloqué lorsque l'avertisseur de niveau WG11L018-AL s'est déclenché. Après la mise en marche, le réglage du niveau est débloqué.

8. Pompe d'eau de chaudière WH11D001 :

Le démarrage de la pompe d'eau de chaudière est bloqué en cas de manque d'eau WH16L001-AL.

9. Brûleur WL12D001 :

Les conditions pour le démarrage du brûleur sont :

- Pompe de recirculation d'eau de chaudière WH11D001 en fonctionnement.
- Le dispositif de sécurité en cas de manque d'eau WH16L001-AL ne s'est pas déclenché.
- On a aucune signalisation de pression basse WH13P001-AL.
- Le thermostat de sécurité WH13T001-AHH ne s'est pas déclenché.
- La vanne de réglage de l'alimentation en saumure de recirculation WR15S001 a un débit ≥ la valeur de consigne de sécurité.
- L'avertisseur de manque de mazout WO01L001-ALL ne s'est pas déclenché lorsque l'on a préréglé le fonctionnement au mazout.
- On a préréglé le fonctionnement au mazout.
- Il ne s'est produit aucune panne de brûleur par arrêt d'un démarrage ou bien de fonctionnement de l'appareil de commande du brûleur (manager de combustion).

Après le démarrage du brûleur le registre des fumées entre en action, ensuite se produit le démarrage de l'installation de chaudière conformément au programme de l'appareil de commande du brûleur.

Lorsque la signalisation de température inférieure WR14T002-AL est atteinte, les vannes de réglage de l'alimentation WE19S001 et WR15S001 sont en outre mises en phase initiale simultanément.

Lorsque la signalisation d'avertisseur de niveau WG11L001-AH du 1er étage de l'évaporateur est déclenchée la mise en phase initiale est interrompue.

Lorsque les interrupteurs de fin de course des vannes WE19S001 et WR15S001 sont en position « Ouvert », il est mis fin à la mise en phase initiale.

10. Pompe de distillat WJ11D001 :

Le démarrage de la pompe de distillat est bloqué lorsque la signalisation d'avertisseur de niveau WG11L019-AL est déclenchée. Après la mise en marche de la pompe le réglage du niveau est débloqué.

11. Combinaison de vannes de distillat WJ13S001-WJ12S005 :

Lorsque la signalisation de l'avertisseur de conductivité WJ12A001-AH n'est pas atteinte, 1a vanne de stockage de distillat WJ13S001 est ouverte et la vanne de rejet WJ12S005 est en conséquence fermée.

12. Signalisation « Complètement en marche » :

La signalisation a lieu lorsque :

- Toutes les machines sus-indiquées et le brûleur son en fonctionnement.
- La signalisation d'avertisseur de débit WR12F001-AL est dépassée.
- La signalisation d'avertisseur de température WH12T001-AL est dépassée.

Après un retard de 05 minutes toutes les signalisations d'avertisseurs sont suivies d'effet et le compteur d'heures d'exploitation démarre.

13. Arrêt avec période de refroidissement postérieur :

Lorsque l'arrêt a lieu avec refroidissement postérieur, ceci a lieu dans l'ordre suivant :

- Le bruleur s'arrête. Après la fin de l'activité du brûleur le registre de fumées se ferme en dernier.
- Les vannes de réglage de débit d'alimentation WE19S001 et WR15S001 sont réglées sur la valeur de consigne de sécurité.
- 30 minutes après toutes les vannes se ferment.
- Après la fermeture des vannes tous les moteurs de pompes sont mis à l'arrêt.

IV.4. Résumé des phases de démarrage et l'arrêt :

IV.4.1. Préparatifs et contrôles à effectuer avant la mise en service d'une unité de dessalement par le personnel exploitant :

1. Contrôler si le circuit d'alimentation en eau de mer est bien disposé.

2. Contrôler les niveaux d'huile de toutes les pompes.

3. Contrôler les niveaux des réservoirs de Belgard et de Bisulfite de Sodium.

4. Contrôler si le circuit de dosage de la pompe de Belgard et Bélite est bien disposé, pour cela ouvrir les vannes manuelles d'aspiration suivantes : WP11S001, WP12S001 et WP13S001. Au refoulement les vannes manuelles suivants doivent être disposées : WP12S003 et WP13S003. Pour la pompe de Bisulfite de Sodium ouvrir la vanne manuelle de refoulement : WP15 S004.
5. Disposer le circuit gaz en ouvrant la vanne d'arrivée manuelle se trouvant sur le collecteur principal. Ouvrir la vanne manuelle gaz WW11S001 de l'alimentation de l'unité.
6. Vérifier si l'appoint en eau de chaudière est bien disposé, sinon effectuer le remplissage jusqu'à ce que l'alarme de niveau bas WH16L001-AL disparaît.
7. Ouvrir la vanne manuelle WE15S002 pour le remplissage du circuit d'eau motrice à 40 %. Contrôler le niveau en local par l'indicateur de niveau visuel WQ11L001.
8. Contrôler si l'alarme « Défaut 24 V » n'est pas affichée.
9. Contrôler si tous les disjoncteurs 380 V et 220 V (CA) sont embrochés.
10. Contrôler si l'alarme « Prêt au départ » est affichée. Cette alarme permet d'avoir une idée sur l'état des différents équipements (motopompes et vannes).

IV.4.2. Mise en service d'une unité de dessalement d'eau de mer :

1. Mettre en position manuelle les vannes suivants :
   - WE14S002 (vanne de rejet d'eau de mer) pour le contrôle de débit d'eau de mer dans le circuit d'alimentation.
   - WR12S004, WR15S001 (vanne de réglage de débit de re circulation de saumure) pour maintenir une pression dans le circuit de re circulation de saumure et augmenter rapidement la température de la saumure une fois la chaudière en service.
2. Mettre en position automatique les vannes suivantes :

- WE19S001 pour le réglage du débit eau de mer à l'entrée de l'évaporateur.
- WL11D001 : le clapet de réglage du brûleur permet d'avoir un contrôle de la température d'eau chaude, dès l'allumage du brûleur
- WJ12S004 : pour le réglage de niveau du distillat à l'étage 18 de l'évaporateur.
- WF12S003 : pour le réglage de niveau de Saumure à l'étage 18 de l'évaporateur.

3. Avant la mise en service de la pompe d'alimentation eau de mer WE11D001, mettre le point de consigne de réglage de débit d'appoint en eau de mer à 30%.
4. Mettre en marche la pompe d'alimentation d'eau de mer WE11D001, et contrôler l'ouverture automatique de la vanne de refoulement WE11S003, qui doit s'ouvrir progressivement (attendre l'ouverture complète avant de passer à une autre opération).

5. Mettre en marche la pompe d'eau motrice WS11D001, pour la mise sous-vide de l'évaporateur.
6. Contrôler l'intensité de la pompe d'alimentation eau de mer qui doit être à 75A en l'ajustant par la vanne de rejet d'eau de mer WE14S002.
7. Attendre que le vide partiel évaporateur atteigne 0,6 Bar, la signalisation «Vide bas» donnée par le manomètre WG11P002 doit disparaître.
8. Contrôler si le niveau de saumure à l'étage 18 de l'évaporateur s'est établi, et qui doit être >= 400 mm.
9. Une fois le niveau de saumure atteint 400 mm, démarrer la pompe de rejet de saumure WF11D001.
10. Démarrer la pompe de recirculation de Saumure WR11D001 et après un temps de 10S la vanne WR12S004 s'ouvre à 10% ensuite WR15S001 à 5%.
11. Ouvrir simultanément les vannes WR15S001 et WR12S004, augmenter progressivement le débit de recirculation de Saumure jusqu'à environ 55 à 60 t/h. L'ouverture au préalable de la vanne de refoulement pompe de recirculation de saumure WR12S004 à 10% d'écart par rapport à la vanne de réglage WR15S001 permet d'avoir une certaine pression dans le circuit.
12. La pompe doseuse WP12D001 ou WP13D001 (selon présélection) se met en marche automatiquement dès la mise en service de la pompe recirculation de saumure.
13. Mettre en marche la pompe de recirculation d'eau chaude WH11D001.
14. Mettre en service le brûlure WL11D001, et attendre que la température eau chaude augmente, la température de la saumure de recirculation doit augmenter progressivement, contrôler si le point de consigne de réglage de température eau chaude se trouve à 50% (la température finale de l'eau chaude sera d'environ 90°C).
15. Dès que la température de l'eau chaude atteint 65 °C environ ouvrir progressivement les vannes WR12S004 et WR15S001 de façon à augmenter le débit de recirculation de saumure sans provoquer des variations de température importante. A 75 t/h environ l'augmentation du débit d'eau de recirculation se fait progressivement avec la montée de la température de l'eau chaude, pour cela et à titre indicatif, le tableau ci-joint permet d'adapter approximativement en fonction de la température de l'eau chaude, le débit de recirculation de saumure, et le débit d'alimentation en eau de mer.

T° eau chaude	Débit de recirculation de saumure	Débit d'alimentation eau de mer
65 °C	75 t/h	84 t/h
70 °C	110t/h	84 t/h
75 °C	130 t/h	84 t/h
80 °C	180 t/h	115 t/h
86 °C	230 t/h	140 t/h

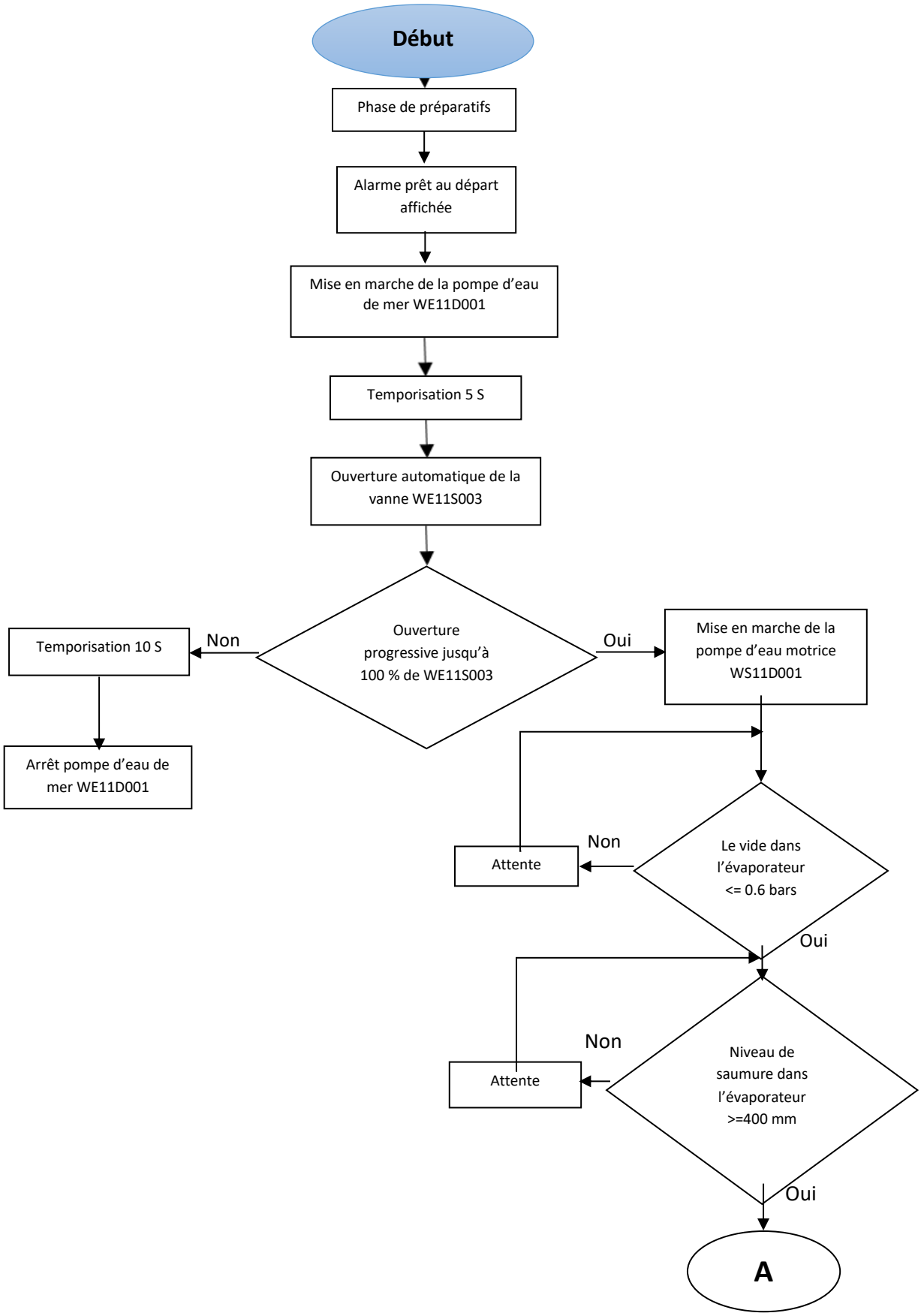
Tableau 4.2. Progression des débits de l'eau en fonction de la température

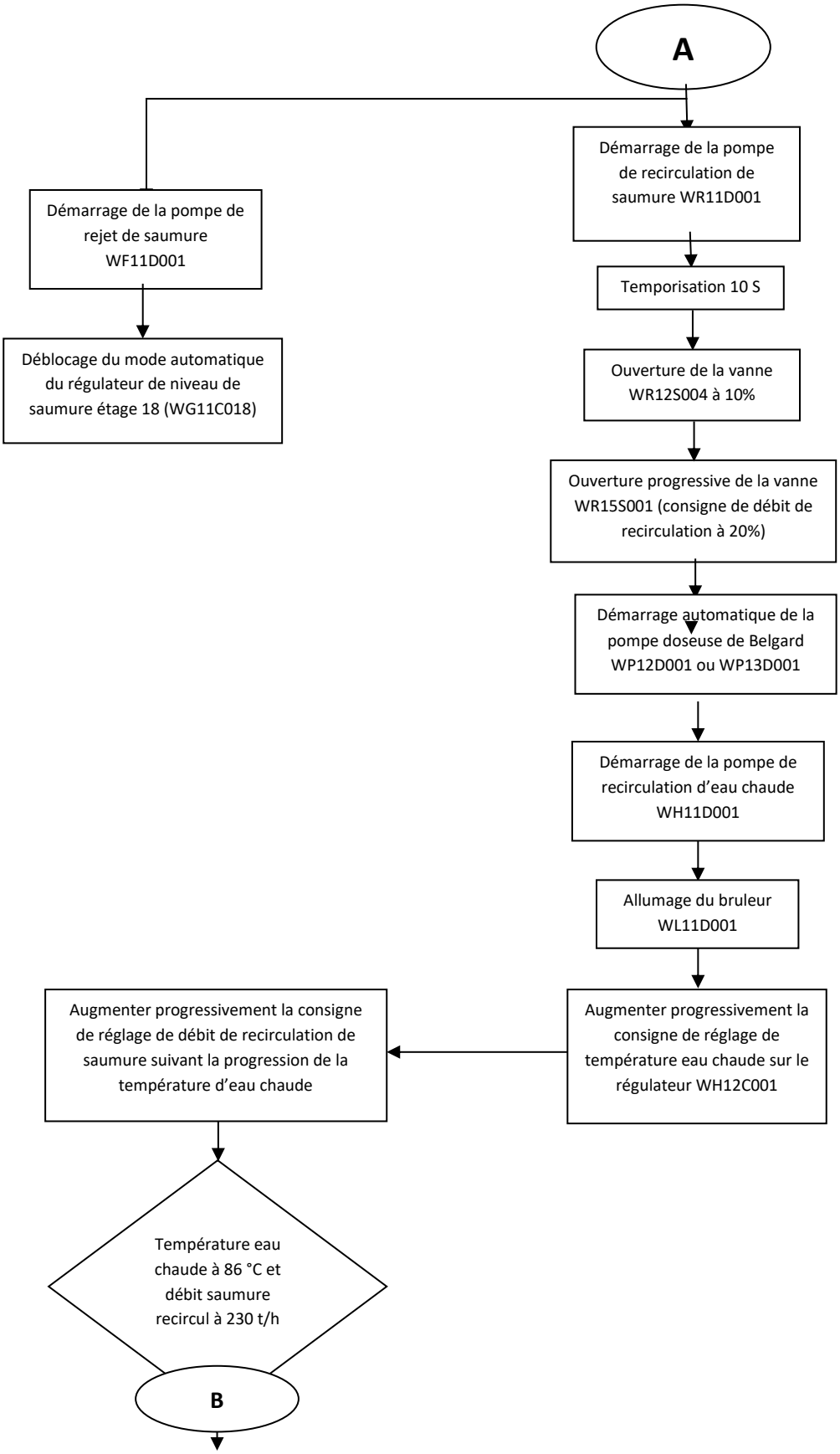
La température de la saumure de recirculation sera de 82 °C environ.

16. Attendre que la conductivité s'améliore et se stabilise à environ 8 à 10 µs/cm et que l'alarme haute « WJ12A001-AH » disparaît. Effectuer la commutation du clapet de rejet de distillat WJ12S005 en provoquant sa fermeture, l'asservissement mécanique ouvre le clapet de distillat WJ13S001 pour acheminer le distillat vers les bâches de stockage d'eau dessalée de 2700 m^3. Le débit de distillat doit se stabiliser à environ 18 à 20 m^3/h et l'alarme « unité complètement en service » doit apparaître.

Les unités de dessalement sont commandées et surveillées à partir de la salle de contrôle par des pupitres opérateur et schémas synoptiques.

Fig.4.1. Pupitres opérateur pour le contrôle des unités de dessalement


Début
Phase de préparatifs
Alarme prêt au départ affichée
Mise en marche de la pompe d'eau de mer WE11D001
Temporisation 5 S
Ouverture automatique de la vanne WE11S003
Ouverture progressive jusqu'à 100 % de WE11S003
Non
Oui
Temporisation 10 S
Arrêt pompe d'eau de mer WE11D001
Mise en marche de la pompe d'eau motrice WS11D001
Le vide dans l'évaporateur <= 0.6 bars
Non
Attente
Oui
Niveau de saumure dans l'évaporateur >=400 mm
Non
Attente
Oui
A


A
Démarrage de la pompe de recirculation de saumure WR11D001
Démarrage de la pompe de rejet de saumure WF11D001
Temporisation 10 S
Déblocage du mode automatique du régulateur de niveau de saumure étage 18 (WG11C018)
Ouverture de la vanne WR12S004 à 10%
Ouverture progressive de la vanne WR15S001 (consigne de débit de recirculation à 20%)
Démarrage automatique de la pompe doseuse de Belgard WP12D001 ou WP13D001
Démarrage de la pompe de recirculation d'eau chaude WH11D001
Allumage du bruleur WL11D001
Augmenter progressivement la consigne de réglage de température eau chaude sur le régulateur WH12C001
Augmenter progressivement la consigne de réglage de débit de recirculation de saumure suivant la progression de la température d'eau chaude
Température eau chaude à 86 °C et débit saumure recircul à 230 t/h
B

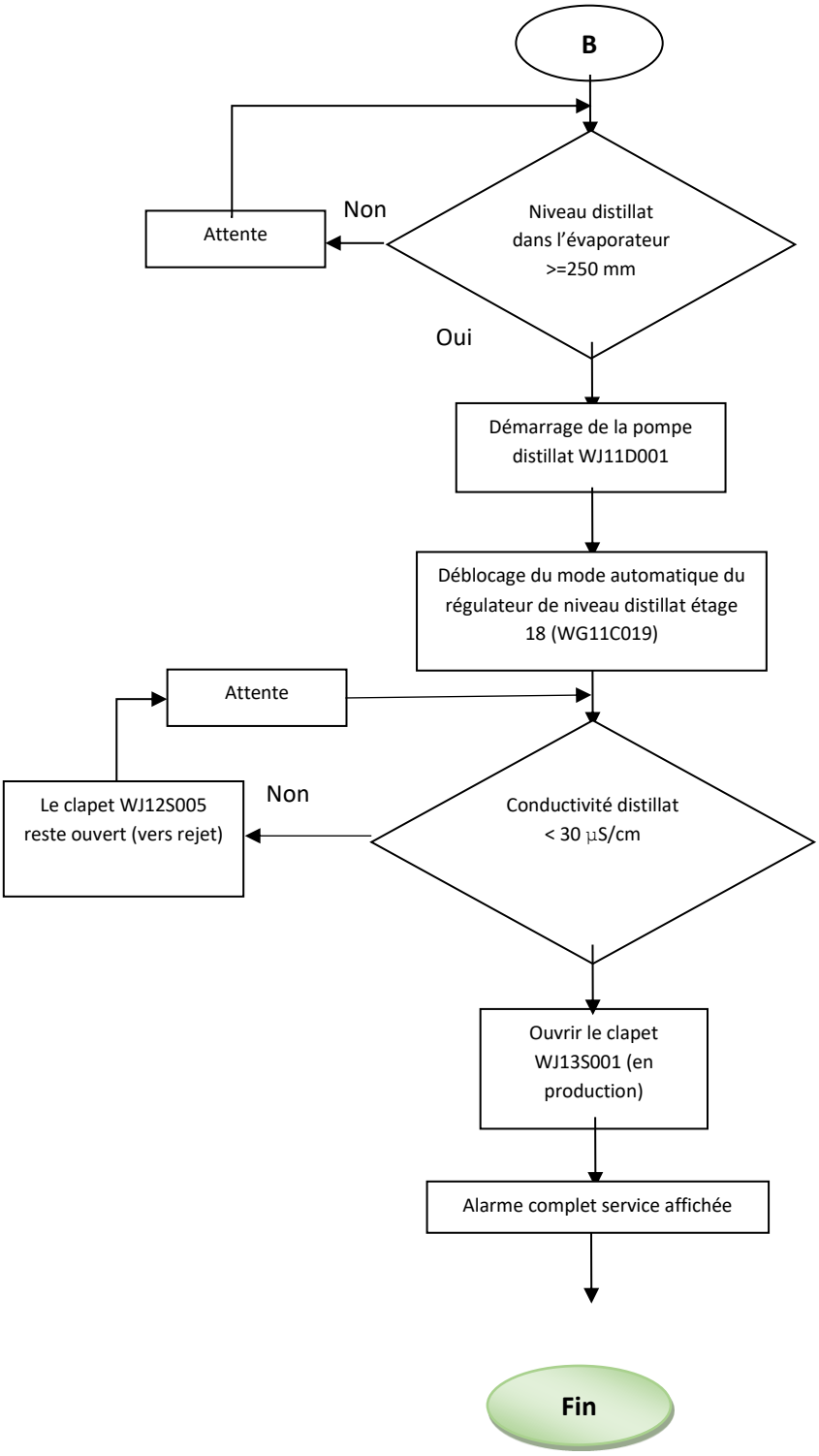


Fig.4.2. *Bloc séquenceur modélisant les différentes étapes de démarrage d'une unité*

IV.4.3. Mise à l'arrêt d'une unité de dessalement

L'arrêt de l'unité de dessalement s'effectue de la façon suivante :

1. Baisser progressivement la consigne de température d'eau chaude de chaudière jusqu'à 50 % de la valeur nominale (43 °C) et observer la baisse de température.
2. Eteindre le brûleur WL11D001.
3. Baisser la consigne de réglage de débit de recirculation de saumure et le débit sera diminué automatiquement.
4. Réduire le débit d'alimentation d'eau mer pour maintenir le niveau de saumure en baissant progressivement la consigne de réglage jusqu'à 30 % environ.
5. Après un temps de 30 min les températures doivent être baissées et on procède à la fermeture de toutes les vannes.
6. La pompe de recirculation de saumure s'arrête automatiquement par la fermeture complète de la vanne WR15S001.

- La pompe doseuse de Belgard/Bélite WP12D001 ou WP13D001 s'arrête automatiquement avec l'arrêt de la pompe de recirculation de saumure.
- La pompe de recirculation d'eau chaude WH11D001 s'arrête automatiquement avec l'arrêt de la pompe de recirculation de saumure.

7. La pompe d'alimentation en eau de mer WE11D001 s'arrête après la fermeture complète de la vanne de refoulement WE11S003.
8. La pompe d'eau motrice WS11D001, ainsi que les pompes de distillat WJ11D001 et de rejet de saumure WF11D001 s'arrêteront automatiquement après l'arrêt de la pompe d'alimentation WE11D001.
9. L'alarme « prêt au départ » apparaît.

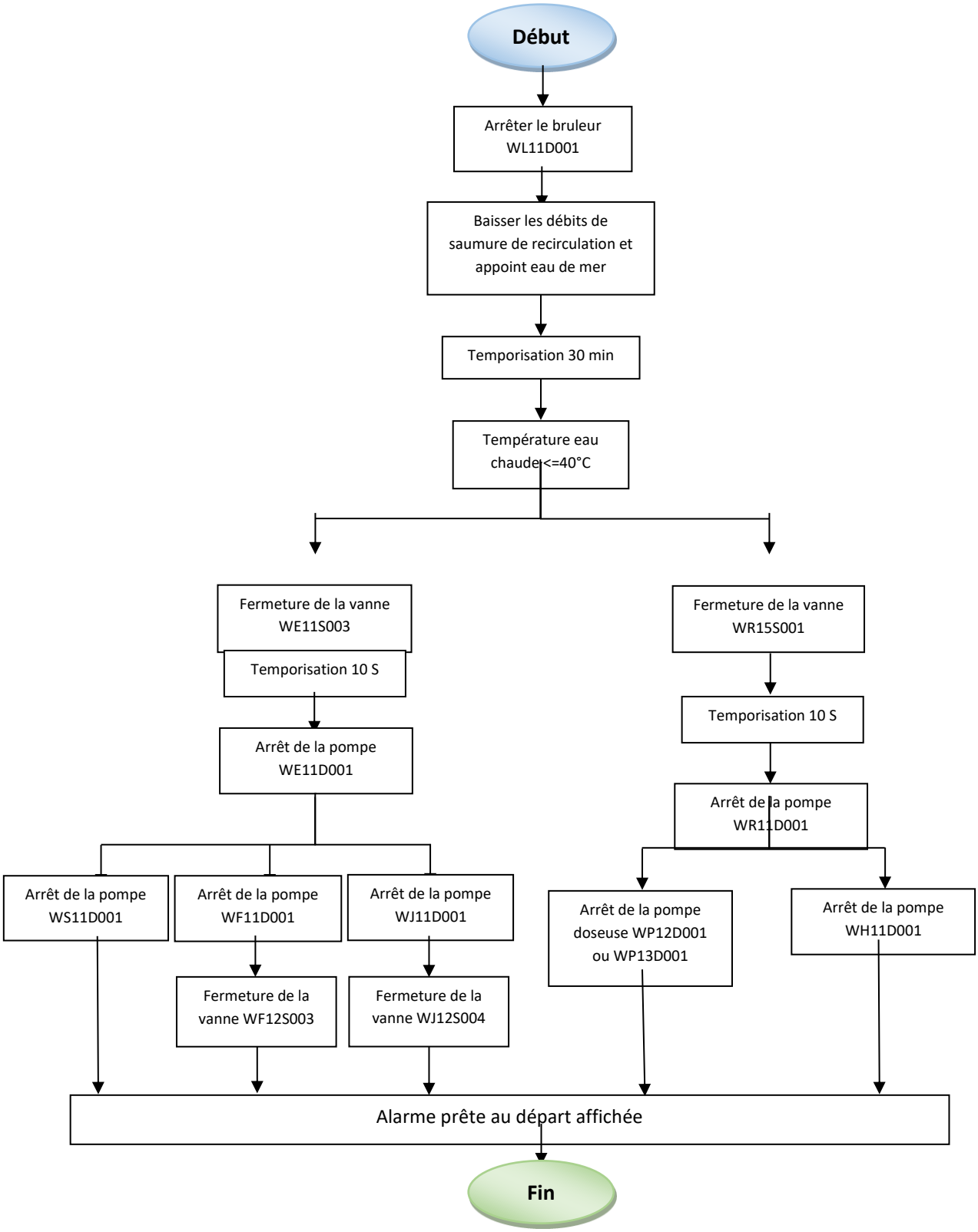


Fig.4.3. *Bloc séquenceur modélisant les étapes de mise à l'arrêt d'une unité*

Conclusion

Dans ce chapitre, nous introduisons l'analyse fonctionnelle de tous les modes de fonctionnement de l'usine de dessalement, y compris le fonctionnement normal, dans lequel nous indiquons toutes les alarmes et signaux pour les dispositifs de protection et de contrôle automatique, ainsi que le débogage et l'arrêt et l'arrêt d'urgence pour l'utilisation de Systèmes SCADA Le développement du système WinCC-RT-Professional est basé sur la commande et la surveillance de l'API S7 400.

Dans les chapitres suivants, la sélection et les caractéristiques de l'API fournie et du logiciel de programmation et de surveillance associé seront expliquées.

Chapitre V

Automate programmable et logiciels associés

V.1. Introduction

Les contrôleurs logiques programmables industriels (API) sont apparus aux États-Unis vers 1969, répondant au désir de l'industrie automobile de développer des lignes de production automatisées capables de suivre l'évolution des technologies et des modèles.

Le contrôleur logique programmable industriel ou API (anglais Programmable Logic Controller, PLC) est un dispositif électronique programmable conçu pour contrôler les processus industriels par le biais d'un traitement séquentiel. Il envoie des commandes à partir des données d'entrée (capteur) (partie commande ou PC côté capteur), instructions et programme informatique au pré-actionneur (partie opération ou PO côté actionneur). Dans le cas de l'ancien système d'automatisation utilisant des centaines de relais et de cames, un simple automate suffit. Les programmeurs de ces API sont appelés ingénieurs en automatisation [7].

V.2. Architecture des automates

V.2.1. Aspect extérieur

Les automates peuvent être de type compact ou modulaire :

V.2.1.1. Automate compact

Comme les mini-automates « LOGO de Siemens, ZELIO de Schneider, MILENEUM de Crouzet », ils intègrent le processeur, l'alimentation, les entrées et les sorties. Selon les modèles et les fabricants, ils pourront réaliser certaines fonctions supplémentaires (comptage rapide, E/S analogiques ...) et recevoir des extensions en nombre limité. Ces automates, de fonctionnement simple, sont généralement destinés à la commande de petits automatismes (Fig.5.1).

Fig.5.1. *Automate compact LOGO-V8 de Siemens*

V.2.1.2. Automate modulaire

Les API modulaires sont les plus répandus dans l'industrie. Ils s'adaptent avec un maximum de souplesse à la machine ou au processus à automatiser. Le processeur, l'alimentation et les interfaces d'entrées/sorties résident dans des emplacement séparées (modules) et sont fixés sur un ou plusieurs racks contenant le fond de panier (bus plus connecteurs) (Fig.5.2).

Fig.5.2. *Automates modulaires*

V.2.2. Aspect intérieur

Les API comportent quatre principales parties (Figure 5.3) :

- Une unité de traitement (un processeur CPU)
- Une mémoire
- Des modules d'entrées/sorties
- Des interfaces d'entrées/sorties
- Une alimentation 230 V, 50/60 Hz (AC) - 24 V (DC)

La structure interne d'un automate programmable industriel (API) est assez voisine de celle d'un système informatique simple, L'unité centrale (CPU : Control Process Unit) est le regroupement du processeur et de la mémoire centrale. Elle commande l'interprétation et l'exécution des instructions programme. Les instructions sont effectuées les unes après les autres, séquencées par une horloge.

Deux types de mémoire cohabitent :

- **La mémoire Programme :** où est stocké le langage de programmation. Elle est en général figée, c'est à dire en lecture seulement. (ROM : mémoire morte).
- **La mémoire de données :** utilisable en lecture-écriture pendant le fonctionnement, c'est la RAM (mémoire vive). Elle fait partie du système entrées-sorties. Elle fige les valeurs

(0 ou 1) présentes sur les lignes d'entrées, à chaque prise en compte cyclique de celle-ci, elle mémorise les valeurs calculées à placer sur les sorties.

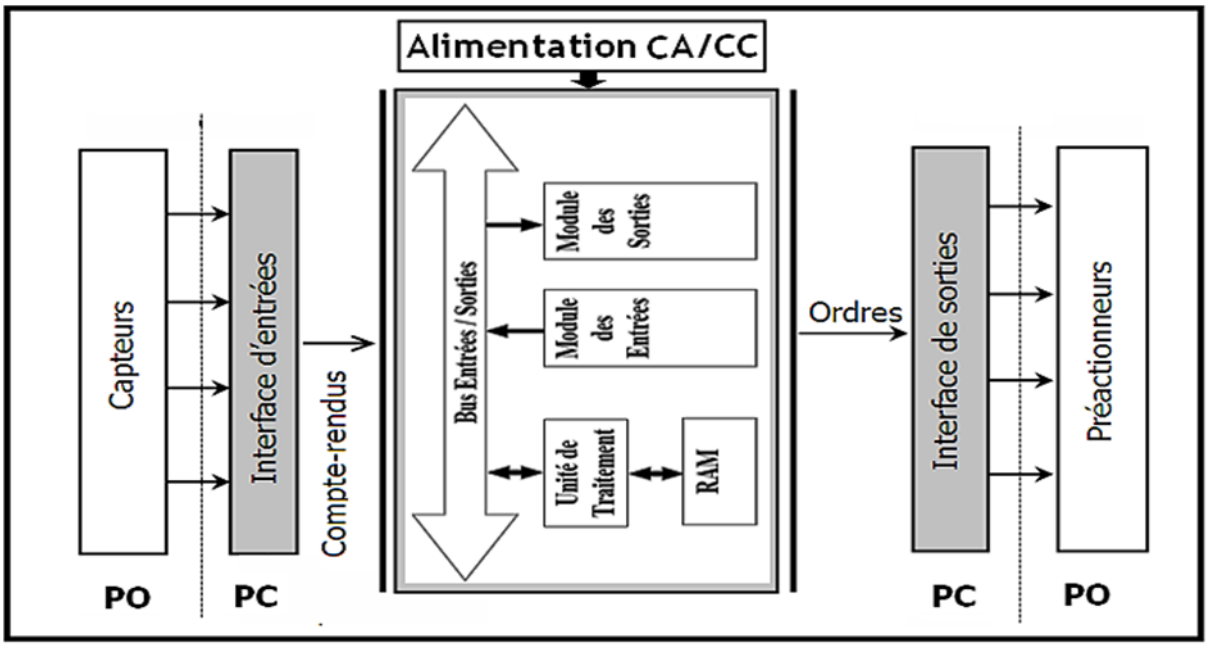


Fig.5.3. *Structure interne d'un automates programmables industriels (API)*

V.2.3. Description des éléments d'un API

V.2.3.1. Le processeur

Le processeur a pour rôle principal le traitement des instructions qui constituent le programme de fonctionnement de l'application. Mais en dehors de cette tâche de base, il réalise également d'autres fonctions :

- Gestion des entrées/sorties.
- Surveillance et diagnostic de l'automate par une série de tests lancés à la mise sous tension ou cycliquement en cours de fonctionnement.
- Dialogue avec le terminal de programmation (console de programmation PG) aussi bien pour l'écriture et la mise au point du programme qu'en cours d'exploitation pour des réglages ou des vérifications de données.

Le processeur est organisé autour d'un certain nombre de registres, ce sont des mémoires rapides permettant la manipulation des informations qu'elles retiennent, ou leur combinaison avec des informations extérieures.

V.2.3.2. Les mémoires

Les informations de l'API sont stockées dans la mémoire de l'API qui est composée de plusieurs éléments qui sont :

- La mémoire morte ROM (Read Only Memory) : pour stocker le système d'exploitation et les données utilisées par la CPU.
- La mémoire vive RAM (Random Access Memory) : utilisée pour stocker le programme utilisateur et les informations sur l'état des entrées et des sorties.
- La mémoire morte reprogrammable EPROM (Erasable Programmable Read Only Memory) : est parfois employée pour stocker de manière permanente les programmes.

V.2.3.3. Les modules entrées/sorties

Ils assurent le rôle d'interface entre la CPU et le processus, en récupérant les informations sur l'état de ce dernier et en coordonnant les actions. Plusieurs types de modules sont disponibles sur le marché selon l'utilisation souhaitée :

- **Modules TOR (Tout Ou Rien) :** l'information traitée ne peut prendre que deux états (vrai/faux, 0 ou 1). C'est le type d'information délivrée par un bouton poussoir, un point de commutation d'un capteur avec contacts électriques ...etc.
- **Modules analogiques :** l'information traitée est continue et prend une valeur qui évolue dans une plage bien déterminée (p.ex. 4-20 mA). C'est le type d'information délivrée par un capteur avec sortie analogique (débitmètre, capteur de niveau, thermomètre...etc.).
- **Modules spécialisés :** l'information traitée est contenue dans des mots codes sous forme binaire ou bien hexadécimale. C'est le type d'information délivrée par un ordinateur ou un module intelligent.

V.2.3.4. L'alimentation

Elle élabore à partir d'un réseau 220V en courant alternatif, ou d'une source 24V en courant continu, les tensions internes distribuées aux modules de l'automate. Afin d'assurer le niveau de sûreté requis, elle comporte des dispositifs de détection de baisse ou de coupure de la tension réseau, et de surveillance des tensions internes. En cas de défaut, ces dispositifs peuvent lancer une procédure prioritaire de sauvegarde.

V.2.3.5. Liaisons de communication

Elles Permettent la communication de l'ensemble des blocs de l'automate et des éventuelles extensions. Les liaisons s'effectuent :

- □ Avec l'extérieur par des borniers sur lesquels arrivent des câbles transportant les signaux électriques.
- □ Avec l'intérieur par des bus reliant divers éléments, afin d'échanger des données, des états et des adresses.

V.3. Traitement du programme automate

Tous les automates fonctionnent selon le même mode opératoire :

- **Traitement interne :** L'automate effectue des opérations de contrôle et met à jour certains paramètres systèmes (détection des passages en RUN / STOP, mises à jour des valeurs de l'horodateur, ...).
- **Lecture des entrées :** L'automate lit les entrées (de façon synchrone) et les recopie dans la mémoire image des entrées.
- **Exécution du programme :** L'automate exécute le programme instruction par instruction et écrit les sorties dans la mémoire image des sorties.
- **Ecriture des sorties :** L'automate bascule les différentes sorties (de façon synchrone) aux positions définies dans la mémoire image des sorties.

Ces quatre opérations sont effectuées continuellement par l'automate (fonctionnement cyclique) (Fig.5.4).

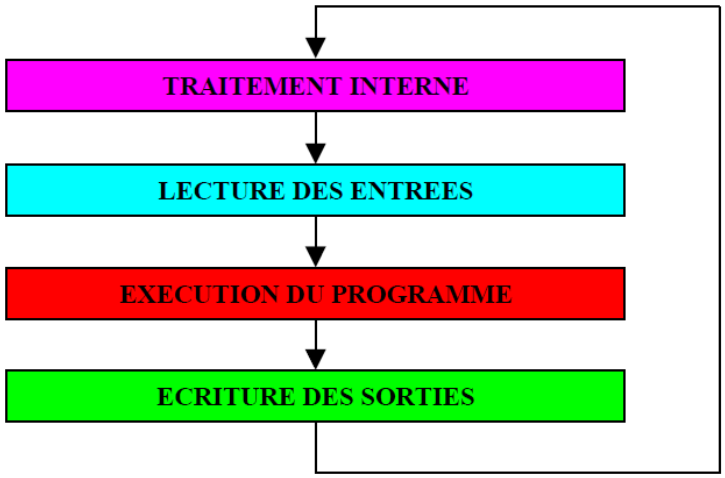


Fig.5.4. *Fonctionnement cyclique d'un API*

V.4. Langages de programmation des API

La programmation peut s'effectuer de trois manières différentes :

- Sur l'API lui-même à l'aide de touches.
- Avec une console de programmation reliée par un câble spécifique à l'API.
- Avec un PC et un logiciel approprié.

Chaque automate dispose de son propre langage de programmation, cependant il existe des langages universels à tous types d'automates. On distingue les langages graphiques et les langages textuels.

V.4.1. Langages graphiques

- **LD : Ladder Diagram (Contact) :** Langage graphique développé pour un personnel automaticien ou électromécanicien, il utilise des symboles tels que contacts, relais et blocs fonctionnels et s'organise en réseaux (labels). C'est le langage le plus utilisé. La figure 5.6 montre un exemple de langage de programmation à contacts (Fig.5.5).

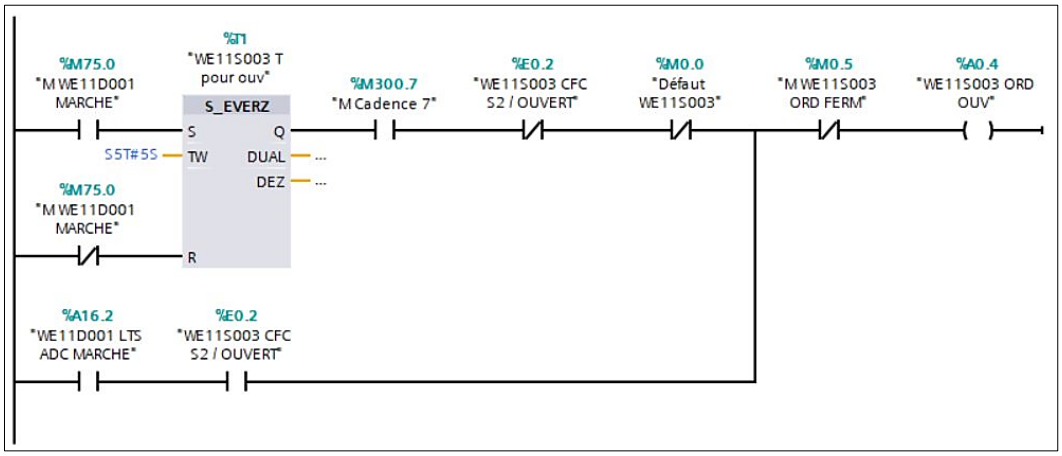


Fig.5.5. *Exemple d'un mode de programmation à contacts*

- **FBD : Function Block Diagram (Logigramme) :** Langage graphique où des fonctions sont représentées par des rectangles avec les entrées à gauche et les sorties à droite. Les blocs sont programmés (bibliothèque) ou programmables. Conçu pour un personnel automaticien. La figure 5.6 montre un exemple de langage de programmation FBD.

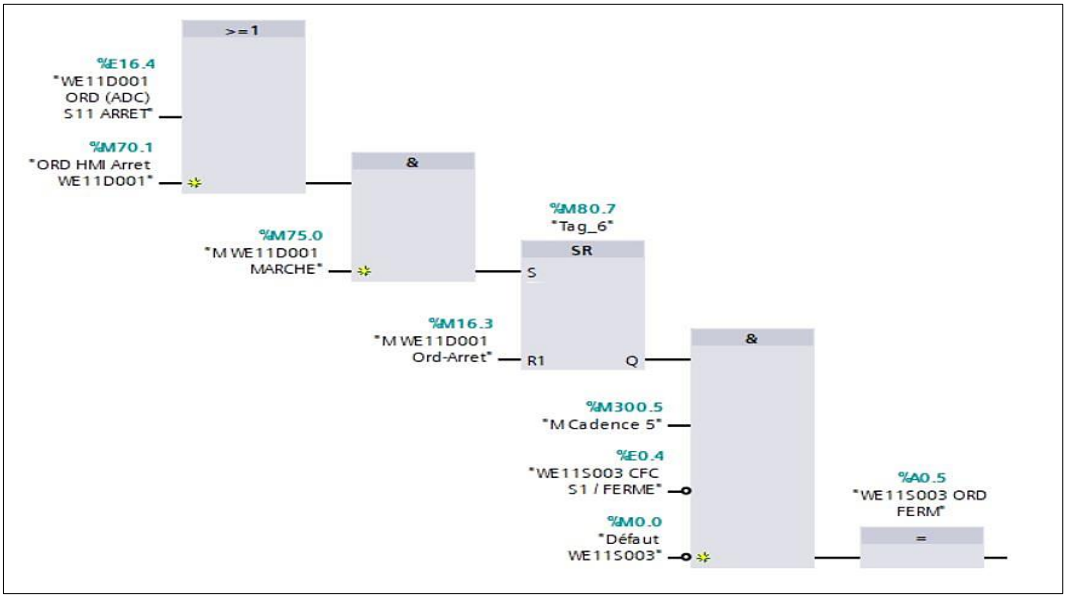


Fig.5.6. *Exemple d'un programme avec le langage FBD*

- **SFC : Sequential Function Chart (GRAFCET)** : C'est un langage graphique utilisé pour décrire les opérations séquentielles. Le procédé est représenté comme une suite connue d'étapes (états stables), reliées entre elles par des transitions, une condition booléenne est attachée à chaque transition. Les actions dans les étapes sont décrites avec les langages ST, IL, LD ou FBD (Fig.5.7).

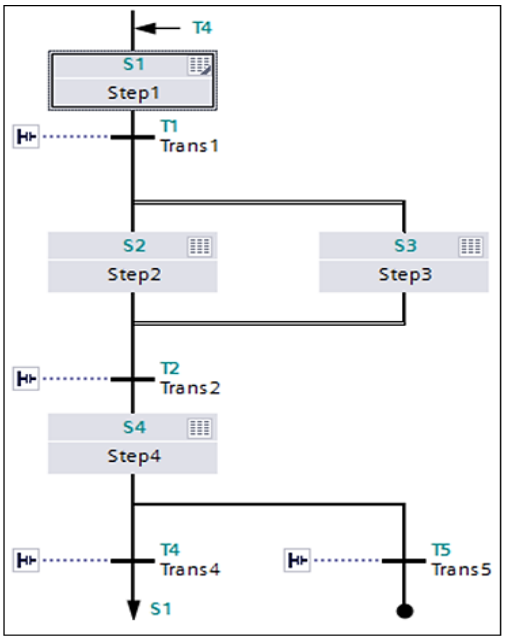


Fig.5.7. *Exemple d'une programmation avec SFC*

V.4.2. Langages textuels

- **IL : Instruction List (liste d'instruction) :** Langage textuel de même nature que l'assembleur (programmation des micros-contrôleurs), très peu utilisé par les automaticiens. La figure 5.8 montre un exemple de langage de programmation liste.

```
1     U(
2     U(
3     O     "WE11D001 ORD (ADC) S11 ARRET"          %E16.4
4     O     "ORD HMI Arret WE11D001"                %M70.1
5     )
6     U     "M WE11D001 MARCHE"                     %M75.0
7     S     "Tag_6"                                 %M80.7
8     U     "M WE11D001 Ord-Arret"                  %M16.3
9     R     "Tag_6"                                 %M80.7
10    U     "Tag_6"                                 %M80.7
11    )
12    U     "M Cadence 5"                           %M300.5
13    UN    "WE11S003 CFC S1 / FERME"               %E0.4
14    UN    "Défaut WE11S003"                       %M0.0
15    =     "WE11S003 ORD FERM"                     %A0.5
```

Fig.5.8. *Exemple d'une programmation avec List*

- **ST : Structure Text (Langage littéral structuré) :** Langage informatique de même nature que le Pascal, il utilise des instructions comme : if, then, else (si, alors, sinon...). Peu utilisé par les automaticiens, la figure 5.9 montre un exemple de langage de programmation littéral structuré.

```
#statVelocity := 0.0; // Correct, cause assignment with
                      //default value of data type 0.0
// Correct --> Working with constants
IF (ABS(#velocity) < #MAX_VELOCITY) THEN
  #statVelocity := #velocity;
ELSIF (#velocity < 0) THEN
  #statVelocity := -1.0 * #MAX_VELOCITY;
ELSE
  #statVelocity := #MAX_VELOCITY;
END_IF;
// Wrong --> Working with numerical values
IF (ABS(#velocity) < 10.0) THEN
  #statVelocity := #velocity;
ELSIF (#velocity < 0) THEN
  #statVelocity := -10.0;
ELSE
  #statVelocity := 10.0;
END_IF;
```

Fig.5.9. *Exemple d'un programme littéral structuré*

V.3. Critères de choix d'un automate

Le choix d'un automate programmable est en premier lieu lié :

- Au choix d'une société ou d'un groupe.
- Et les contacts commerciaux et expériences vécues sont déjà un point de départ.

En effet, es grandes sociétés privilégieront deux fabricants pour faire jouer la concurrence et pouvoir se retourner en cas de perte de vitesse de l'une d'entre elles.

Le personnel automaticien et de maintenance doit toutefois être formé sur ces matériels et une trop grande diversité des matériels peut avoir de graves répercussions.

La possession d'un logiciel de programmation est aussi source d'économies (achat du logiciel également souhaitables. Il faut ensuite quantifier les besoins :

- **Nombre d'entrées/sorties :** le nombre de cartes peut avoir une incidence sur le nombre de racks dès que le nombre d'entrées/sorties nécessaires devient élevé.
- **Type de processeur :** la taille mémoire, la vitesse de traitement et les fonctions spéciales offertes par le processeur permettront le choix dans la gamme souvent très étendue.
- **Spécificité des modules E/S :** par exemple avec système de diagnostic et alarmes de processus paramétrables (selon besoin).

- **Fonctions de communication :** l'automate doit pouvoir communiquer avec les autres systèmes de commande (API, supervision...) et offrir des possibilités de communication avec des standards normalisés (PROFINET, Profibus,...).

Dans notre projet, l'automate envisagé pour l'automatisation de la station de dessalement d'eau de mer a été imposé par l'entreprise d'accueil suite à des contrats de de service après-vente qui consistent aux révisions systématiques et rénovations des installations avec le constructeur de la centrale (Siemens). Pour cela le choix a été porté sur un automate programmable qui appartient à la gamme SIMATIC S7 de Siemens, le S7-400 (CPU 416-3 PN/DP).

V.4. Aperçu sur les gammes d'automates Siemens

Si nous devions nommer tous les modèles d'automates Siemens, nous passerions quelques heures à le faire, car il y en a trop. Cependant, les automates Siemens peuvent être classés par gamme. Le portefeuille de produits Siemens PLC est répertorié sous le nom de SIMATIC. Cela inclut non seulement les petits contrôleurs utilisés pour effectuer des tâches logiques simples, mais également les contrôleurs utilisés dans des systèmes plus complexes. Par conséquent, nous pouvons classer les automates Siemens en fonction de leur portée (Figure 5.10).

Fig.5.10. *Modèles des différentes gammes d'automates Siemens*

V.4.1. Les modules logiques LOGO

Ce sont des mini-automates largement utilisés pour les petites applications d'automatisation telles que la domotique ou sur de petites machines. Les modules logiques LOGO sont très flexibles, l'utilisateur a la possibilité d'ajouter des E/S supplémentaires via des modules d'extension.

V.4.2. L'automate SIMATIC S7-200

L'automate SIMATIC S7-200 est un micro-automate compact pour les applications simples, avec possibilité d'extension jusqu'à 7 modules, et une mise en réseaux par l'interface multipoint (MPI) ou PROFIBUS.

V.4.3. L'automate SIMATIC S7-300

L'automate SIMATIC S7-300 est un mini automate modulaire pour les applications milieux de gamme, avec possibilité d'extension jusqu'à 32 modules, et une mise en réseaux par l'interface multipoint (MPI), PROFIBUS ou Industriel Ethernet.

V.4.4. L'automate SIMATIC S7-400

C'est un automate haute gamme très utilisé dans les industries de process. Les CPU de la gamme S7-400 disposent d'une mémoire de travail, et d'un bon temps d'exécution répondant aux exigences des industries de process.

V.4.5. L'automate SIMATIC S7-1200

L'automate SIMATIC S7-1200 est un automate compact qui se programme avec le logiciel d'ingénierie TIA Portal de Siemens et qui sera le futur successeur de l'automate S7-200. Il est compatible avec PROFINET IO, et peut être utilisé avec des appareils PROFINET IO pour résoudre diverses applications. C'est l'automate idéal pour apprendre à programmer des automates Siemens sur TIA Portal.

V.4.6. L'automate SIMATIC S7-1500

C'est la dernière gamme d'automates Siemens. Il se programme sous TIA Portal et dispose d'un petit écran de façade permettant de faire quelques configurations basiques.

V.5. Présentation de l'automate S7-400

Le S7-400 est le plus puissant API de la gamme des contrôleurs SIMATIC. Il permet de réaliser des solutions d'automatisation performantes avec Totally Integrated Automation (TIA). Le S7-400 est une plateforme d'automatisation pour des solutions système dans le génie des procédés, qui se distingue avant tout par sa modularité et ses réserves de puissance.

V.5.1. Constituants d'un S7-400

Les principaux constituants d'un S7-400 et leur fonction sont listés dans le tableau suivant (Tableau 5.1) :

Constituants	Fonction	Illustration
Châssis (UR = Universal Rack) (CR = Central Rack) (ER = Extension Rack)	Forment la structure d'accueil mécanique et électrique pour les différents modules du S7-400	
Module d'alimentation **:** (PS = Power Supply) Accessoire : pile de sauvegarde	Convertissent la tension de secteur (120/230 V CA ou 24 V cc) en tensions de fonctionnement pour le S7-400, à savoir 5 V cc et 24 V cc	
Module unité centrale **:** (CPU = Central Processing Unit)	Exécutent le programme utilisateur, communiquent avec d'autres CPU et/ou avec une PG par l'intermédiaire de l'interface MPI.	
Carte mémoire	Mémorisent le programme utilisateur et les paramètres.	
Cartouche interface IF 964-DP	Sert à la connexion de périphérie décentralisée via «PROFIBUS-DP»	
Modules de signaux (SM = Signal Module) **:** **M**odules d'entrées TOR **M**odules de sorties TOR **M**odules d'entrées analogiques **M**odules de sorties analogiques Accessoire : connecteur frontal	Adaptent les différents niveaux des signaux de processus à l'automate programmable S7 400. Forment l'interface entre l'API et le processus.	

Coupleurs (IM = Interface Module) Accessoire : Câble de liaison Connecteur de terminaison	Font la liaison entre les différents châssis d'un S7-400.	
Câbles bus PROFIBUS Câbles PROFINET	Relient les CPU avec les appareils PROFIBUS/ PROFINET (par ex. API,PC,HMI,Switches…etc.)	
Câbles PG	Font la liaison entre une CPU et une PG.	
Répéteur RS 485	Amplifie les signaux sur le bus et assure la jonction de segments de bus.	
Console de programmation PG ou PC avec logiciel STEP7	Sert à configurer, à paramétrer, à programmer et à tester le S7-400.	

Tableau 5.1. *Constituants d'un S7-400*

V.5.2. Avantages du S7-400

Le S7-400 réunit tous les avantages de ses prédécesseurs avec les avantages que confèrent un système et un logiciel actualisés. Ce sont :

- Des CPU de puissances échelonnées.
- Des CPU à compatibilité ascendante.
- Des modules sous boîtiers d'une grande robustesse.
- Une technique de raccordement des modules de signaux des plus confortables.
- Des modules compacts pour un montage serré.
- Des possibilités de communication et de mise en réseau optimales.
- Une intégration confortable des systèmes de contrôle-commande.

- Le paramétrage logiciel de tous les modules.
- Une grande liberté dans le choix des emplacements.
- Un fonctionnement sans ventilation.

V.5.3. Caractéristique de modularité

La modularité est une caractéristique majeure du S7-400. Le bus fond de panier performant du S7-400 et les interfaces de communication DP (Decentralized Peripherals) supplémentaires enfichables directement sur la CPU permettent une exploitation performante de nombreuses lignes de communication. Ceci permet par exemple de scinder la communication en une ligne dédiée aux fonctions IHM et de programmation.

Fig.5.11. Vue des *composants du SIMATIC S7-400 par accrochage des modules*

Un S7-400 comprend fondamentalement un châssis, une alimentation (PS : Power Supply) et une unité centrale (CPU : Central Processing Unit) et des modules Entrées/Sorties (Fig.5.11). De configuration modulaire, il se prête parfaitement à des extensions. Les modules peuvent être placés librement à droite de l'alimentation. Le S7-400 se distingue par son fonctionnement robuste sans ventilation, avec possibilité d'embrochage et débrochage de modules d'E/S sous tension.

V.5.4. Gamme de CPU S7-400

Une vaste gamme de CPU de puissance échelonnée est disponible pour la réalisation des automatismes, de la CPU d'entrée de gamme à la CPU haute-performances. Toutes les CPU ont une grande capacité fonctionnelle et se prêtent au fonctionnement en combinaison dans une configuration multiprocesseur. Grâce à leur grande vitesse de traitement et à leurs temps de

réaction déterministes, les CPU maîtrisent les temps de cycle-machine les plus courts (Fig.5.12).

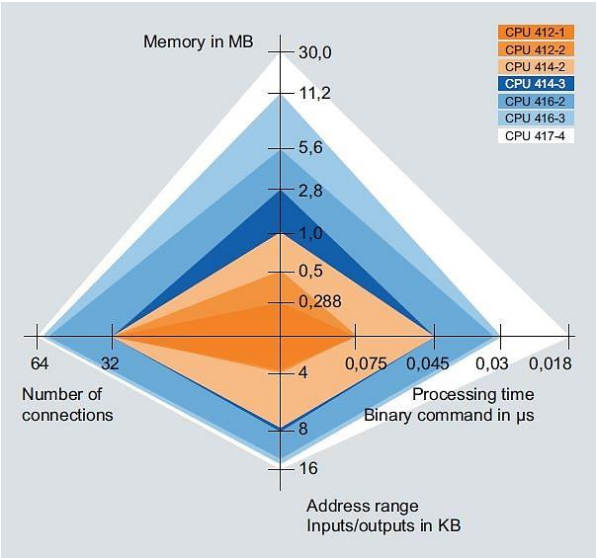


Fig.5.12. *CPU S7-400 en sept classes de puissance*

Les CPU diffèrent, par exemple au niveau de la mémoire de travail, de l'espace d'adressage, du nombre de blocs chargeables et du temps de traitement. Outre les CPU standard, il existe aussi deux CPU de sécurité et trois CPU à disponibilité élevée (Fig.5.13).

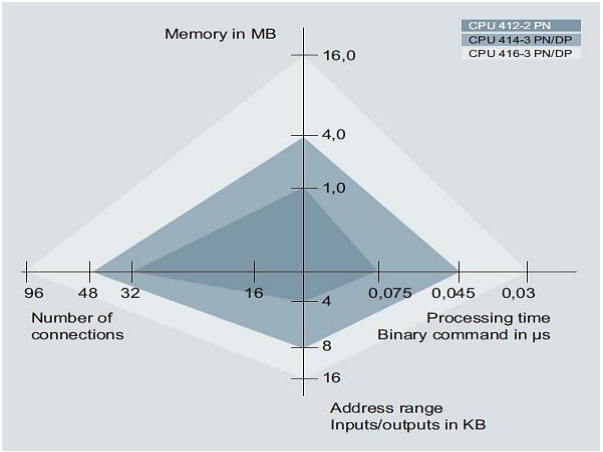


Fig.5.13. *CPU S7-400 PN (PROFINET intégré) en trois classes de puissance*

V.5.5. Installation et configuration d'un S7-400

Un automate programmable S7-400 se compose d'un appareil de base (allemand : ZG : Zentralgerät) et d'un ou plusieurs appareils étendus (par exemple : Erweiterungsgerät). Lorsque les emplacements disponibles dans l'appareil de base ne suffisent pas pour répondre aux exigences de notre application, ou si nous voulons séparer géographiquement le module de signaux de l'appareil de base, nous utilisons un appareil d'extension. Si nous utilisons des équipements d'extension, en plus du châssis, nous avons également besoin d'un coupleur (IM)

et, si nécessaire, d'un module d'alimentation supplémentaire. Pour les coupleurs, ils doivent toujours être utilisés par paire. En d'autres termes : le coupleur IM de l'émetteur est installé dans l'appareil de base et le coupleur IM du récepteur partenaire est installé dans l'appareil d'extension.

Le châssis avec le CPU est appelé "Basic Equipment (ZG)". Par analogie, "Expansion Equipment (EG)" est le châssis occupé par le module et connecté au châssis de base [7].

V5.6. Fonction des châssis

La structure du système S7-400 constitue la structure hôte de divers modules. Les modules échangent des données et des signaux et fournissent de l'énergie via le bus de fond de panier. Le cadre peut être fixé au mur, à la colonne métallique ou intégré au cadre ou au meuble.

En plus du cadre standard, il existe des cadres en aluminium à 9 et 18 emplacements. Le cadre en aluminium améliore la résistance aux conditions environnementales difficiles et aux vibrations, et réduit le poids de près de 25 %.

La disposition des modules dans un châssis doit obéir à deux règles seulement :

- Les modules d'alimentation doivent toujours être placés en commençant à l'extrême gauche (emplacement 1) du châssis.
- L'IM récepteur doit toujours être placé à l'extrême droite dans le châssis d'extension.

Dans le système S7-400 on dispose des châssis suivants :

- **UR1/UR2 :** Châssis universels, 18/9 emplacements.
- **UR1ALU/UR2ALU :** Châssis universels aluminium, 18/9 emplacements.
- **CR3 :** Châssis de base, 4 emplacements, ne convient pas aux modules d'alimentation redondants.
- **ER1/ER2 :** Châssis d'extension, 18/9 emplacements, uniquement pour modules SM (bus de périphérie).
- **ER1ALU/ER2ALU :** Châssis d'extension aluminium, 18/9 emplacements, uniquement pour modules SM (bus de périphérie).

Modules	Châssis			
	UR1,UR2 UR1ALU,UR2ALU Comme appareil de base	UR1,UR2 UR1ALU,UR2ALU Comme appareil d'extension	CR3	ER1,ER2
Modules d'alimentation	•	•	•	•

CPU	•		•	•
IM émetteur	•		•	
IM récepteur		•		•
Modules de signaux	•	•	•	•

Tableau 5.2. *Modules dans les différents châssis*

V.5.7. Système de diagnostic

Le système de diagnostic intelligent de la CPU surveille en permanence le bon fonctionnement du système et du processus. Dans le cadre de cette surveillance, il enregistre les défauts et les événements spécifiques qui affectent le système. Ce diagnostic permet de déterminer si l'acquisition du signal (pour les modules TOR) ou la conversion analogique (les modules analogiques) s'effectue correctement. S'il y a un message de diagnostic (par exemple, "L'alimentation du capteur est manquante"), le module émet une alarme de diagnostic pour transmettre l'état de diagnostic à la CPU. S'il y a plusieurs diagnostics, le diagnostic avec la priorité la plus élevée est signalé en premier à la CPU. Le diagnostic est envoyé via l'affichage LED sur le module concerné, et ces messages peuvent être transmis au système de surveillance pour visualiser la cause du défaut sur l'écran "IHM". La CPU interrompt alors l'exécution du programme utilisateur et traite le bloc d'alarme de diagnostic correspondant. Des alarmes de processus permettent de surveiller les signaux du processus et de déclencher des réactions aux modifications des signaux.

V.5.8. Choix des modules entrées/sorties

Le système S7-400 dispose principalement de deux types de modules d'entrées/ sorties, des modules paramétrables avec le logiciel de programmation STEP7 (diagnostic et alarme processus) et des modules non paramétrables. Pour notre cas (CPU 416-3 PN/DP), nous avons opté pour les modules paramétrables suivants :

- 16 modules d'entrées TOR SM 421 ; DI 16 x DC 24 V cc.
- 06 modules de sorties TOR SM 422 ; DO 32 x DC 24 V/0,5 A.
- 02 modules d'entrées analogiques SM 431 ; AI 16 x 16 bits.

V.5.9. Adresses géographiques et logiques

V.5.9.1. Adresses

Pour commander un processus on doit activer les voies (entrées et sorties) des modules de signaux à partir du programme utilisateur. Dans ce but, on doit faire correspondre très précisément la position (géographique) d'une voie et une adresse que nous utilisons dans le programme utilisateur.

V.5.9.2. Adresses géographiques

L'adresse géographique d'une voie est figée. En effet, elle est définie par le lieu où se situe physiquement l'entrée ou la sortie. Plus précisément, ce sont les paramètres suivants qui la conditionnent :

- Quel est le châssis (0 à 21) qui porte le module de signaux ?
- Quel est l'emplacement (1 à 18 ou 1 à 9) du module de signaux dans ce châssis ?
- Quelle est la voie (0 à 31) de ce module de signaux dont on veut définir l'adresse ?

V.5.9.3. Adresses logiques

L'adresse logique d'un module et donc aussi d'une voie peut être choisie librement. Le programme l'utilise pour activer (lecture ou écriture) une entrée ou une sortie bien définie. Pour la programmation, il n'est pas nécessaire de connaître le lieu d'implantation physique du module en question. C'est avec le logiciel de programmation STEP7 que nous faisons la corrélation entre l'adresse logique et l'adresse physique.

V.5.9.4. Adressage sur un module TOR

L'adressage d'une voie sur un module TOR se fait par bits. Dans le cas d'un module TOR à 32 entrées, on utilise 4 octets (en commençant par l'adresse par défaut du module) pour l'adressage des entrées. Dans le cas d'un module TOR à 16 entrées, on utilise 2 octets. Les différentes entrées (de haut en bas) occupent respectivement les bits 0 à 7 de ces octets. La figure 5.15 illustre ces rapports en prenant comme exemple un module TOR à 32 entrées. Dans le cas d'un module de sorties TOR, la lettre « E » serait remplacée par la lettre « A ».

V.5.9.5. Adressage sur un module analogique

L'adressage des voies sur des modules analogiques se fait par mots. En partant de l'adresse par défaut du module, qui constitue aussi l'adresse de la voie la plus haute sur le module, les adresses des différentes voies croissent respectivement de 2 octets (= 1 mot) de haut en bas. La figure ci-après illustre ces rapports en prenant comme exemple un module analogique à 8 sorties. Dans le cas d'un module d'entrées analogiques, les adresses sont précédées d'un « EW » à la place de « AW » (Fig 5.14).

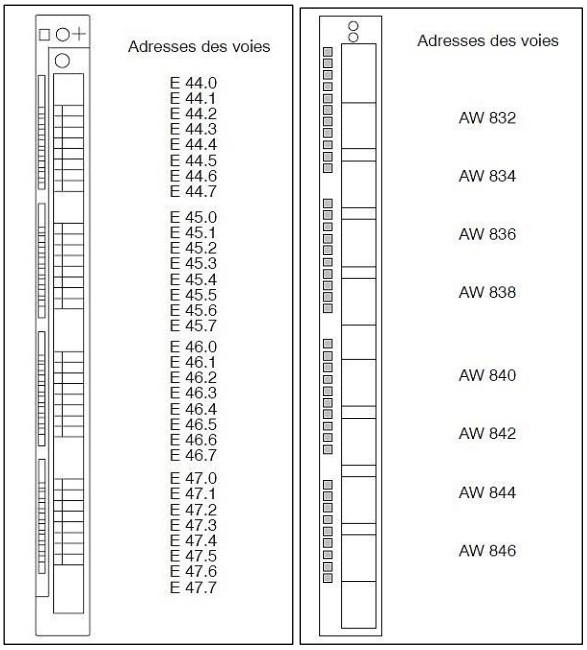


Fig.5.14. *Illustration du mode d'dressage sur module TOR/Analogique*

V.5.10. Alimentation électrique des modules

V.5.10.1. Modules d'alimentation et alimentation

Par l'intermédiaire du bus de fond de panier, le module d'alimentation fixé sur le châssis fournit aux modules du S7-400 toutes les tensions de service requises. Ils ne délivrent pas les tensions d'alimentation des circuits de capteurs/actionneurs des modules de signaux. Il existe différents modules d'alimentation selon les besoins du système (tension de secteur, consommation des différents modules utilisés). On doit prévoir des alimentations externes pour les tensions et courants de charge. La figure ci-après montre comment se fait l'alimentation en courant et en tension des différents modules du S7-400 (Fig.5.15).

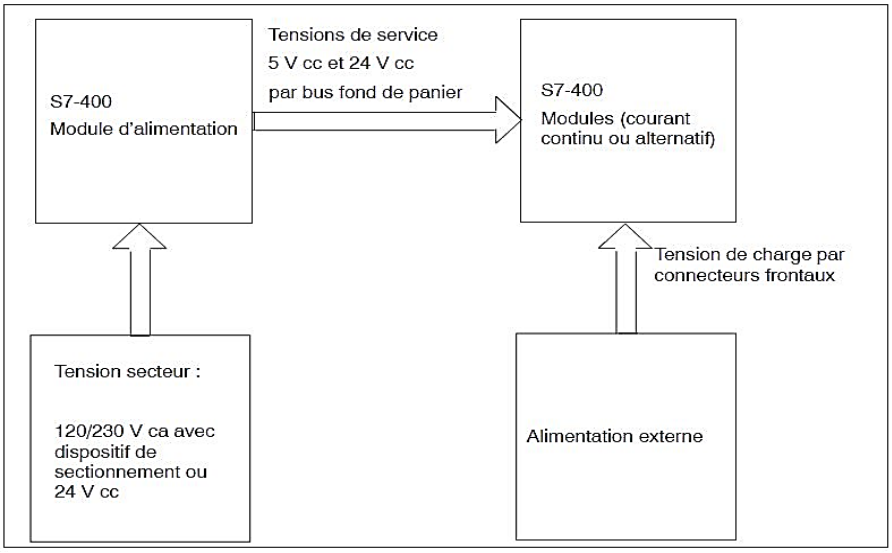


Fig 5.15. *Alimentation en courant et en tension des différents modules du S7-400*

V.5.10.2. Choix du module d'alimentation

V.5.10.2.1. Bilan de consommation

Il est recommandé d'établir un bilan de consommation pour chaque châssis de notre S7-400 afin que nous puissions mieux choisir le module d'alimentation dont nous avons besoin. On peut noter la consommation et la consommation électrique des différents modules dans leurs tableaux techniques respectifs.

V.5.10.2.2. Application calculatoire

Pour la configuration matérielle (HW-Config) de notre projet d'automatisation, nous avons une station S7-400 avec deux (02) châssis (châssis N°1 de base + châssis N°2 d'extension) équipés des modules suivants :

- Châssis 01 :
  - 01 CPU 416-3 PN/DP.
  - 14 modules d'entrées TOR SM 421 ; DI 16 x DC 24 V cc
  - 01 coupleur émetteur IM 460-0
- Châssis 02 :
  - 02 modules d'entrées TOR SM 421 ; DI 16 x DC 24 V cc
  - 02 modules d'entrées analogiques SM 431 ; AI 8 x 16 bits
  - 06 modules de sorties TOR SM 422 ; DO 32 x DC 24 V/0,5 A
  - 01 coupleur récepteur IM 461-0

A partir des données relevées dans les différentes fiches techniques des modules [13], [14], on calcule le courant I nécessité par chaque châssis de la manière suivante :

Modules/Châssis 01	Nombre	+ 5 V cc (valeurs maximales requises)	
		I / module	I total
CPU 416-3 PN/DP	01	1 500 mA	1 500 mA
SM 421 ; DI 16 x DC 24 V cc	14	130 mA	1 960 mA
IM 460-0	01	140 mA	140 mA
Somme			3 600 mA

Tableau 5.3. Bilan de consumation pour châssis 01

Modules/ Châssis 02	Nombre	+ 5 V cc (valeurs maximales requises)	
		I / module	I total
SM 421 ; DI 16 x DC 24 V	02	130 mA	260 mA
SM 422 ; DO 32 x DC 24 V/0,5 A	06	200 mA	1 200 mA
SM 431 ; AI 16 x 16 bits	02	700 mA	1 400 mA
IM 461-0	01	290 mA	290 mA
Somme			3 150 mA

Tableau 5.3. *Bilan de consumation pour châssis 02*

Pour couvrir les besoins en courant tels qu'ils ont été calculés, on doit monter dans les 2 châssis des modules d'alimentation PS 407 4A pour un raccordement sur 120/230 V ca ou PS 405 4A pour un raccordement sur 24 V cc.

V.5.10.3. Pile de sauvegarde

Les modules d'alimentation du S7-400 disposent d'un logement pour une ou deux piles de sauvegarde. Le montage de ces piles est facultatif. Si les modules sont équipés de piles de sauvegarde, les paramètres configurés et les contenus mémoire (RAM) des CPU et des modules paramétrables seront sauvegardés par le biais du bus de fond de panier en cas de coupure du module d'alimentation, et ce tant que la tension des piles est comprise dans les limites de tolérance.

V.6. Liaisons et mise en réseau du système S7-400

La CPU 416-3 PN/DP utilisée dans notre projet dispose des interfaces de communication suivantes :

- Interface MPI/DP 12 Mbits/s, (X1).
- Interface Ethernet/PROFINET (X5).
- Interface IF 964-DP enfichable (IF1).

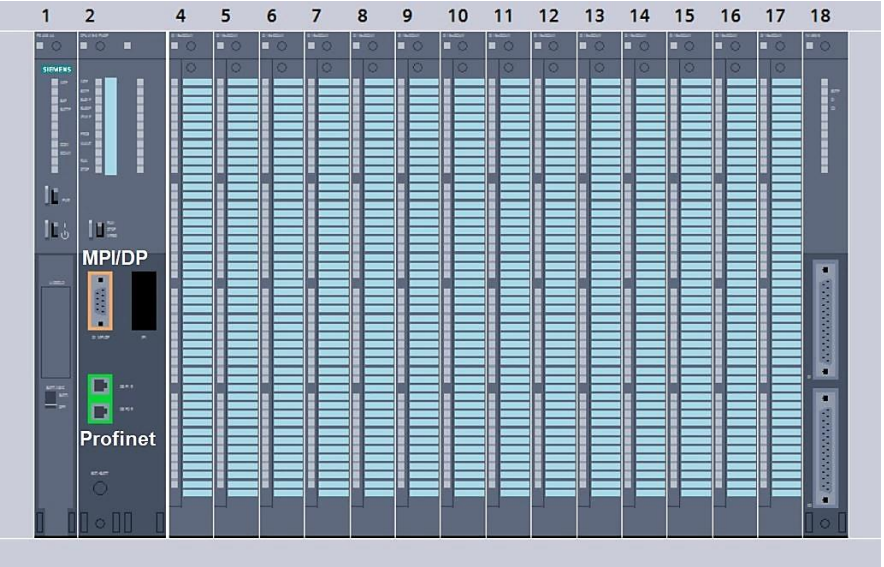


Fig.5.16. Interfaces de communication de la CPU 416-3 PN/DP

V.6.1. Interface multipoint MPI/DP

L'interface multipoint (MPI)-Siemens est l'interface propriétaire du contrôleur programmable industriel SIMATIC S7 de Siemens. Il est utilisé pour connecter des stations de programmation (PG ou PC), des panneaux de commande et d'autres appareils appartenant à la série SIMATIC. La vitesse de transmission fait référence à la vitesse de transmission des données en bits par seconde. Pour les interfaces de type MPI/DP, le taux de transfert peut aller de 19,2 kb/s à 12 Mb/s. Les caractéristiques physiques du bus correspondent aux caractéristiques physiques de Profibus.

Profibus (process field bus) est le nom d'un bus de terrain propriétaire et de son protocole, de son API interne et de sa surveillance. Au cours des dix dernières années, il est progressivement devenu un standard de communication dans l'industrie. Pour l'interface de type Profibus-DP, la vitesse de transmission peut être de 9,6 kb/s à 12 Mb/s.

V.6.2. Interface Ethernet/Profinet :

Profinet est un standard de communication ouvert pour l'automatisation industrielle. Il a été créé par l'organisation d'utilisateurs de Profibus PI (Profibus & Profinet International) développée par des fabricants tels que Siemens, Phoenix Contact et Molex. De par son ouverture et l'utilisation de supports de communication standards (Ethernet), Profinet permet l'utilisation de toutes les marques de matériel.

Grâce à la communication Ethernet intégrée, Profinet peut répondre à un large éventail de besoins, du paramétrage des données à la transmission de signaux d'E/S synchrones. La communication utilise le même câble pour toutes les applications, des tâches de contrôle simples aux applications de contrôle de mouvement très exigeantes. Dans le réseau Profinet, la communication TCP/IP peut toujours être effectuée en parallèle, par exemple, pour le

diagnostic depuis la salle de contrôle, ou encore pour le diagnostic via Internet dans les scénarios de télémaintenance.

Ethernet est un protocole de réseau local à commutation de paquets qui est une technique de commutation utilisée pour le transfert de données dans les réseaux informatiques.

TCP/IP (de l'anglais : Transmission Control Protocol/Internet Protocol) est l'ensemble des protocoles utilisés pour le transfert des données sur Internet.

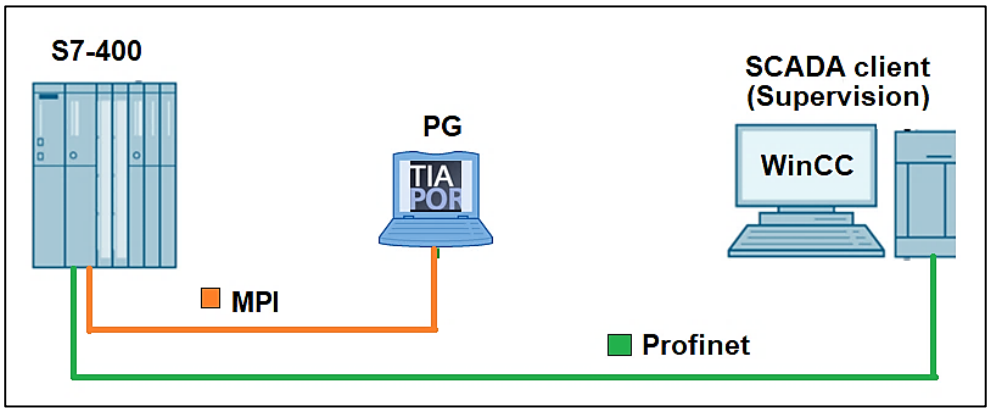


Fig.5.17. *Vue De réseau d'un système S7-400*

V.7. Logiciel de programmation TIA PORTAL (V.13)

La plateforme Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) est le nouvel environnement de développement et d'ingénierie de Siemens pour les logiciels de programmation des automates via STEP7 et les tâches de visualisation et de supervision via WinCC qui permet de mettre en œuvre des solutions d'automatisation avec un système d'ingénierie intégré. C'est un système de développement performant pour une programmation et une configuration efficace des automatismes [9].

V.7.1. Structure de l'interface utilisateur

Au démarrage du TIA PORTAL sous Windows, La vue du portail offre une vue orientée sur les tâches des outils. On peut y décider rapidement ce qu'on souhaite faire et appeler l'outil requis pour la tâche correspondante. Si nécessaire, un basculement automatique dans la vue du projet a lieu pour la tâche sélectionnée (Fig.5.18).

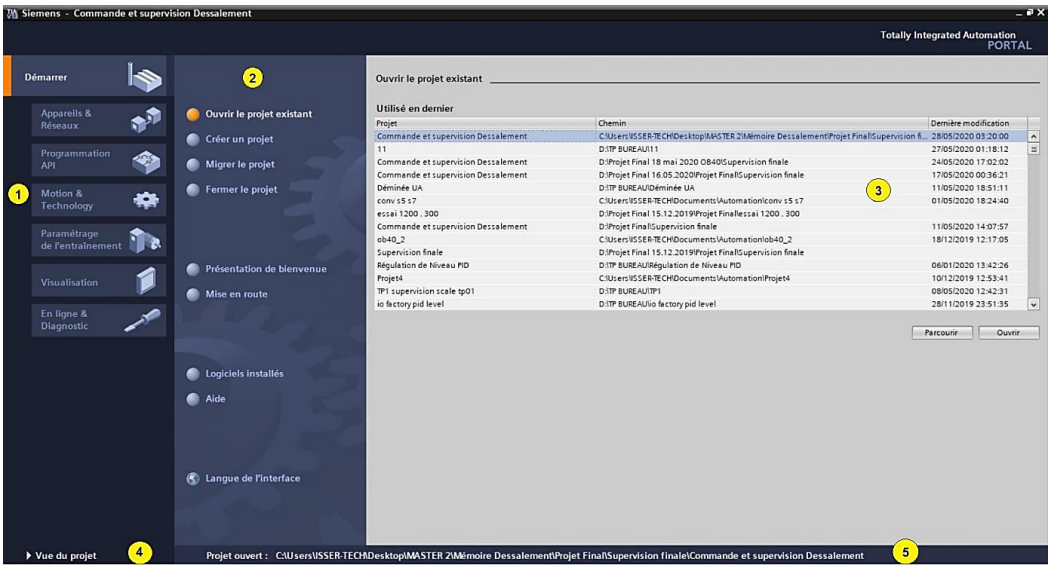


Fig.5.18. *Vue du Portail*

① Portails pour les différentes tâches

② Actions correspondant au portail sélectionné

③ Fenêtre de sélection correspondant à l'action sélectionnée

④ Basculer dans la vue du projet

⑤ Affichage du projet actuel ouvert

La vue du projet correspond à une vue structurée de l'ensemble des composants du projet (Fig5.19).

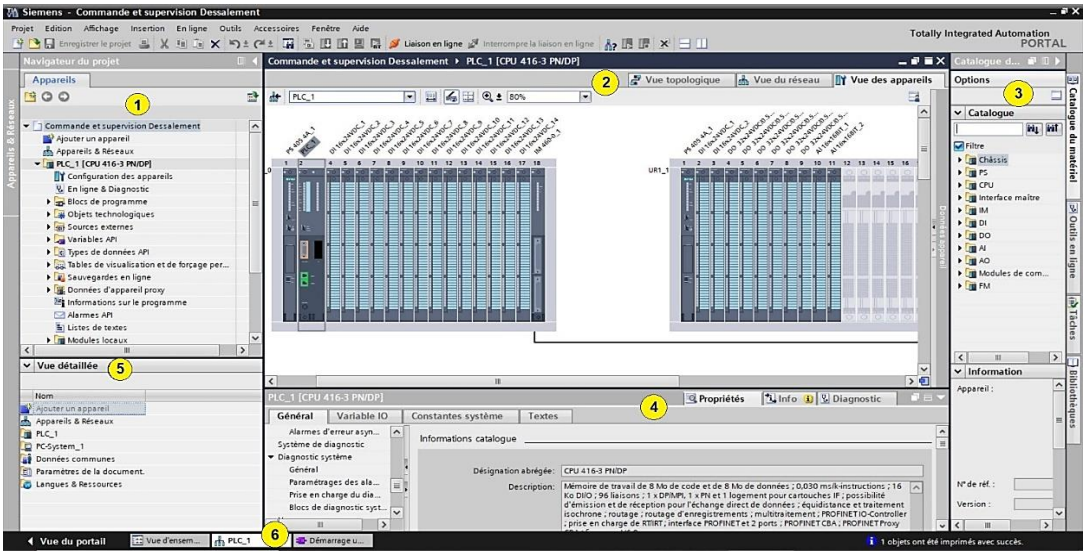


Fig.5.19. *Vue du projet*

① **Projet :** contient l'ensemble des éléments et des données nécessaires pour mettre en œuvre la solution d'automatisation souhaitée.

② **Fenêtre de travail :** permet de visualiser les éléments sélectionnés dans le projet pour être traités. Il peut s'agir des composants matériels, des blocs de programme, des tables des variables, des HMI…etc.

③ **Onglets de sélection de tâches :** ont un contenu qui varie en fonction de l'élément sélectionné dans la fenêtre de travail, par exemple :

- Vue des appareils (PLC_1) ⟹ Catalogue du matériel, outils en ligne…etc.
- Bloc de programme ⟹ Instructions de programme, tester…etc.

④ **Fenêtre d'inspection :** permet de visualiser des informations complémentaires sur un objet sélectionné ou sur les actions en cours d'exécution (propriété du matériel sélectionné, messages d'erreurs lors de la compilation des blocs de programme…etc.).

⑤ **Vue détaillée** de l'élément sélectionné en projet.

⑥ **Barre des tâches**.

Cet environnement de travail contient énormément de données. Il est possible de masquer ou réduire certaines de ces fenêtres lorsqu'on ne les utilise pas. Il est également possible de redimensionner, réorganiser, désancrer les différentes fenêtres.

V.7.2. Création d'un projet et configuration d'une station S7-400

V.7.2.1. Création d'un projet

Pour créer un projet dans la vue du portail, il faut sélectionner l'action suivante : « Créer un projet ». On peut nommer le projet, choisir un emplacement où il sera enregistré, indiquer un commentaire ou encore définir l'auteur du projet (Fig.5.20).

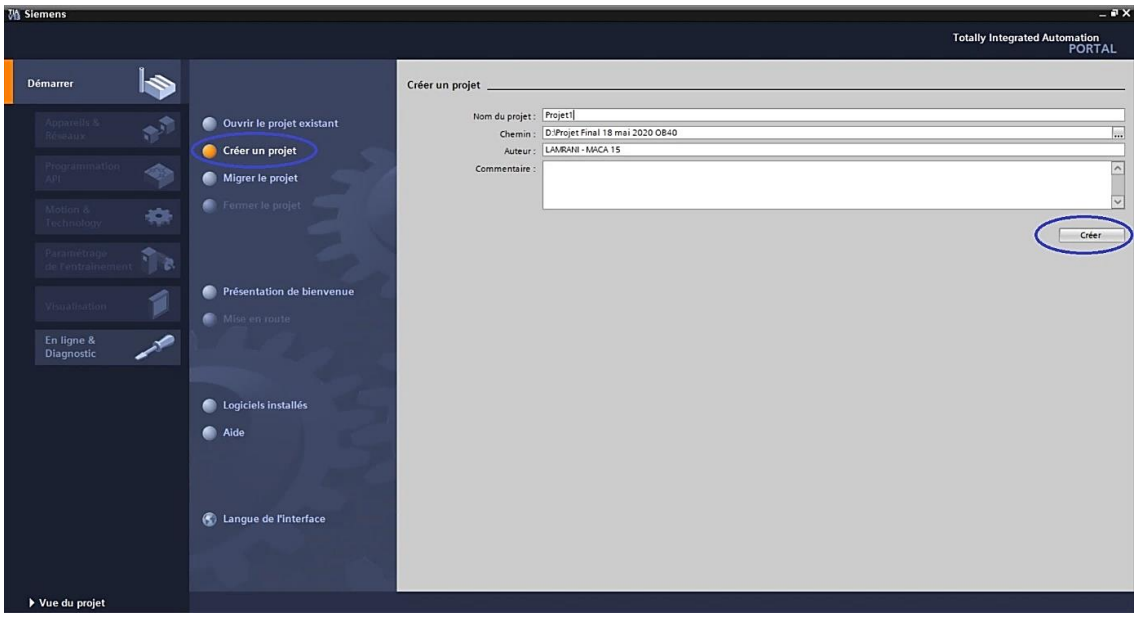


Fig.5.20. *Création d'un projet*

V.7.3. Configuration matérielle (HW-Config)

Pour créer un système d'automatisation, divers composants matériels doivent être configurés, paramétrés et liés. Les tâches principales sont effectuées dans la vue des appareils et du réseau. « Configuration » fait référence à la disposition, au paramétrage et à la mise en réseau des appareils et des modules dans la vue des appareils ou la vue de réseau. Le cadre est représenté symboliquement. Comme de vrais racks, ils permettent d'insérer un nombre défini de modules. Chaque module se voit automatiquement attribuer une adresse. L'adresse peut être modifiée par la suite. Au démarrage du système d'automatisation, la CPU compare la configuration logicielle prévue avec la configuration d'usine réelle. De cette façon, toutes les erreurs peuvent être détectées et signalées immédiatement.

On entend par « paramétrage » le réglage des propriétés des composants utilisés. Ce faisant, les composants matériels et les paramètres sont configurés pour l'échange de données :

- Propriétés des modules paramétrables.
- Paramètres pour l'échange de données entre les composants.

Les paramètres sont chargés dans la CPU et sont transmis aux modules correspondants au démarrage de la CPU. Les modules peuvent être facilement remplacés, car les paramètres configurés au démarrage sont chargés automatiquement dans le nouveau module. Les propriétés des systèmes d'automatisation et des modules sont définies par défaut de telle sorte que le paramétrage est généralement superflu. Le paramétrage est cependant nécessaire dans les cas suivants :

- On veut modifier les paramètres par défaut d'un module.

- On veut utiliser des fonctions spécifiques (fonctions de diagnostic et alarme process pour les modules d'entrées/sorties paramétrables).
- On veut configurer des liaisons de communication.

Une fois le projet créé, on procède à la configuration matérielle. Dans la navigation du projet, on double-clique sur la commande « Appareils et réseaux» pour ouvrir l'éditeur de matériels et de réseaux. L'éditeur de matériels et de réseaux est l'environnement de développement intégré pour la configuration, le paramétrage et la mise en réseau des appareils et des modules. Il offre une prise en charge maximale lors de la réalisation du projet d'automatisation (Fig.5.21).

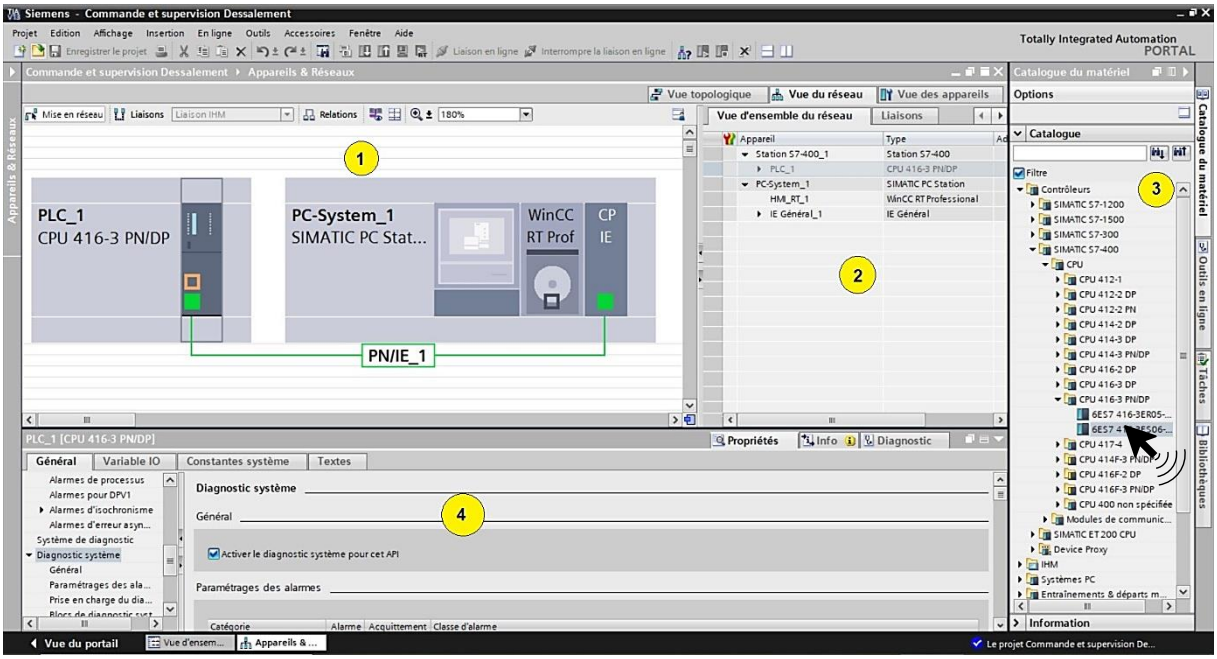


Fig.5.21. *Editeur du matériel et de réseau.*

① Vue des appareils, vue de réseau, vue topologique : Zone graphique.

② Vue des appareils, Vue de réseau, Vue topologique : Zone tabellaire.

③ Catalogue du matériel.

④ Fenêtre d'inspection.

L'éditeur de matériels et de réseaux nous propose trois vues différentes de notre projet. On peut à tout moment basculer entre ces trois vues, selon qu'on veut créer et éditer des appareils et des modules individuellement, des réseaux et des configurations d'appareils complets ou la structure topologique de notre projet.

On sélectionne dans le « Catalogue du matériel » les appareils et les modules requis pour notre système d'automatisation et les insérer dans la vue des appareils, des réseaux ou topologique. La fenêtre d'inspection contient des informations sur l'objet en cours de sélection. On peut y modifier les paramètres de l'objet sélectionné (Fig 5.22).

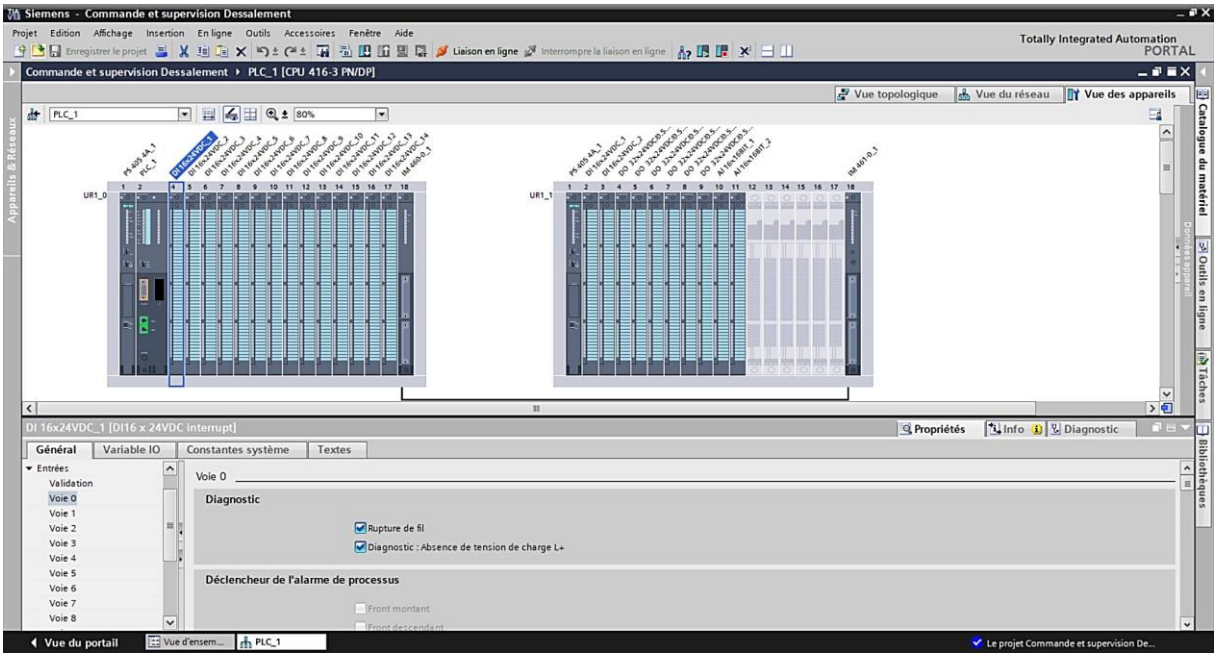


Fig.5.22. *Paramétrage des modules entrées/sorties (alarme de diagnostic)*

V.7.4. Adressage des modules

Dans la vue des appareils (Fig.5.24), les adresses ou les plages d'adresses des modules sont affichées dans les colonnes Adresse I (entrée) et Adresse Q (sortie). Les adresses d'entrée/sortie sont attribuées automatiquement lors de l'enfichage des modules sur le châssis. L'adresse de la première voie constitue l'adresse de début d'un module. Les adresses des voies suivantes découlent de cette adresse de début. L'adresse de fin dépend de la longueur d'adresse spécifique au module.

Particulièrement, certaines adresses de la zone d'adresse d'entrée sont repérées par un astérisque (*). Dans ce cas il s'agit d'adresses de diagnostic, par ex. de modules d'interface, qui n'adressent pas des données utiles, mais sont requises pour le diagnostic système.

Pour l'attribution d'adresses, il faut faire la distinction entre adresses d'abonné et adresses de périphérie (adresses d'entrées/sorties) (Fig.5.23) :

- Les adresses d'abonné sont des adresses de modules programmables (adresses Industrial Ethernet, MPI, Profibus). Elles servent à adresser les différents abonnés à un sous-réseau, p. ex. pour charger un programme utilisateur dans une CPU.

- Les adresses de périphérie sont utilisées pour lire des entrées ou paramétrer des sorties dans un programme utilisateur.

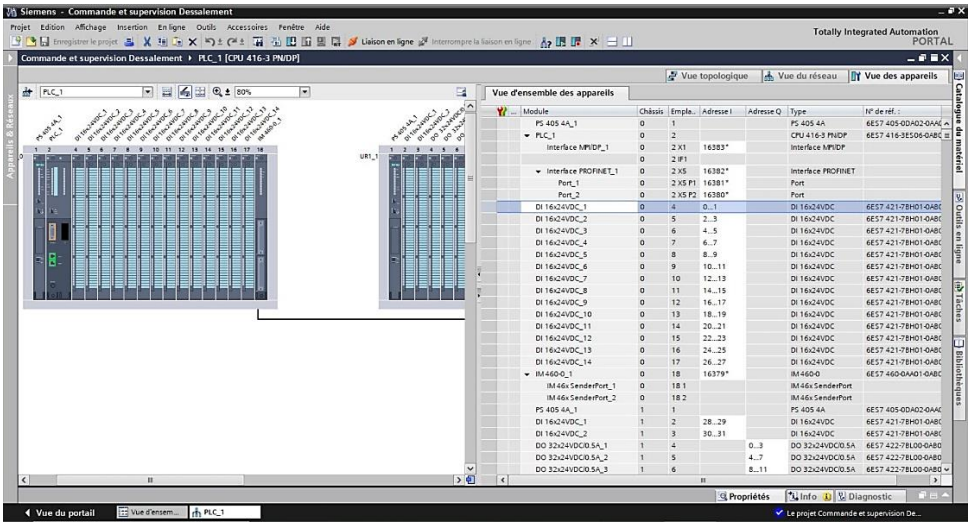


Fig.5.23. *Adressage des modules*

V.7.5. Chargement de la configuration matérielle

Une fois qu'on a ajouté et configuré les appareils et les modules dans le projet ou si on a modifié une configuration matérielle existante, on doit charger cette nouvelle configuration dans l'appareil. De cette manière, on est assuré que la configuration de la PG/du PC correspond à celle de l'appareil physiquement existant.

La configuration matérielle est chargée intégralement lors du premier chargement. Par la suite, seules les modifications de la configuration matérielle sont chargées. On dispose des possibilités suivantes pour charger la configuration matérielle :

- Chargement dans la vue des appareils et de réseau.
- Chargement dans la navigation du projet.
- Chargement dans un abonné accessible.

Afin de charger l'appareil complet comme nouvelle station dans notre projet, on procède comme suit :

1. Dans le menu « En ligne », on choisit la commande « Charger dans l'appareil », la boîte de dialogue « Charger l'appareil dans PG/PC » s'ouvre (Fig 5.24).

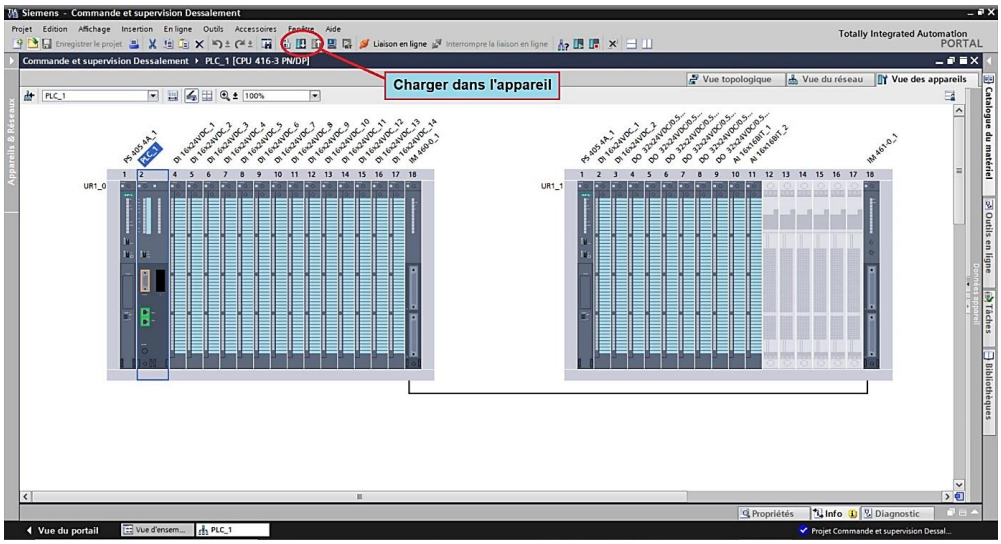


Fig.5.24. *Chargement de la configuration matérielle dans l'appareil*

2. Dans la liste déroulante « Mode d'interface PG/PC » (Fig.5.26), on sélectionne le type d'interface qu'on désire utiliser pour la procédure de chargement (pour notre cas c'est PN/IE).
3. Dans la liste déroulante « Interface PG/PC », on sélectionne l'interface qui doit être utilisée (pour notre cas c'est PLCSIM).
4. A droite de la liste déroulante « Interface PG/PC », on clique sur le bouton « Configurer l'interface » afin d'ajuster les paramètres pour l'interface choisie.
5. On affiche tous les abonnés compatibles en activant l'option correspondante et en cliquant sur la commande « Lancer la recherche ». Dans la table des abonnés accessibles, on sélectionne l'abonné dont on désire charger les données de projet.
6. On clique sur « Charger », les données de l'appareil sont chargées dans le projet. On peut le traiter en mode hors ligne et ensuite le recharger dans l'appareil (Fig.5.25).

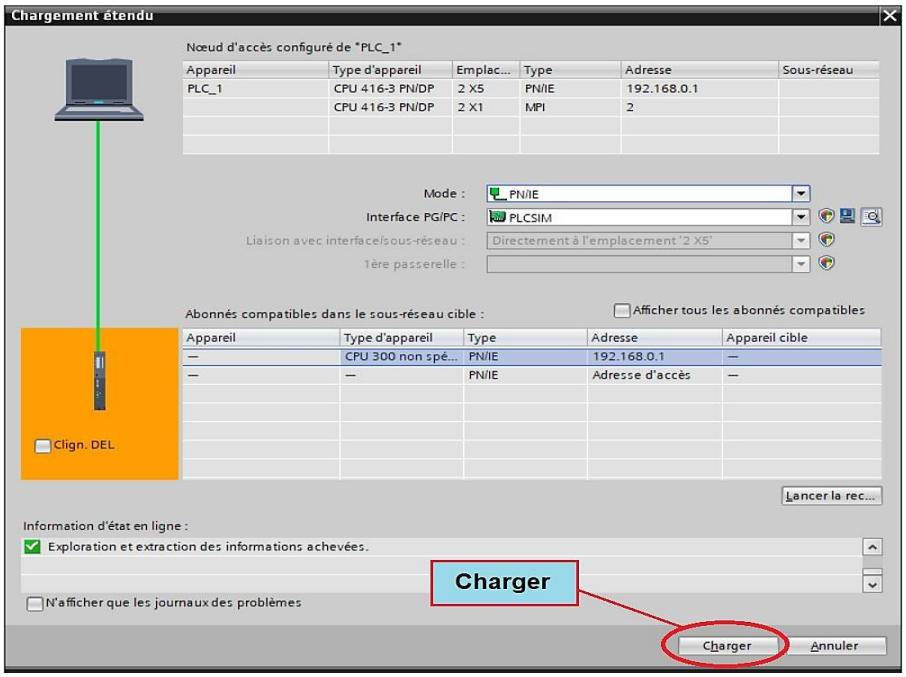


Fig.5.25. *Charger l'appareil dans le projet*

V.7.6. Les variables API

V.7.6.1. Adresse absolue et nom symbolique

Lors de la programmation d'instructions, on doit indiquer quelles valeurs de données l'instruction doit traiter. Ces valeurs sont désignées par la notion d'opérandes. Les opérandes sont identifiés via une adresse absolue et un nom symbolique. On définit les noms et les adresses dans le tableau de variables API ou dans la déclaration de variables des blocs.

Lors de l'adressage symbolique, on entre le nom de la variable à partir de la table des variables API. Le nom symbolique de variables globales est automatiquement mis entre guillemets. Dans le cas de l'adressage absolu, on entre l'adresse des variables à partir du tableau de variables API. L'adresse absolue utilise des adresses numériques qui commencent par zéro pour chaque zone d'opérandes. Le système place le repère d'adresse « % » en tête de l'adresse absolue des variables globales.

Exemples

Adressage	Explication
% E 0.5	Adresse absolue : Entrée 0.5
% A 1.0	Adresse absolue : Sortie 1.0
% EW 512	Adresse absolue : Mot d'entrée 512
"Moteur"	Adresse symbolique "Moteur"

Tableau 5.4. *Exemples d'adressage symbolique et absolu*

Les tables des variables API contient les définitions des variables API et constantes symboliques valables sur l'ensemble de la CPU. Une table des variables API est automatiquement créée pour la CPU figurant dans le projet. Dans la navigation du projet, il y a un dossier « Variables API » pour la CPU du projet qui contient la table des variables standard. Elle ne peut être ni supprimée, ni renommée, ni déplacée. La table de variables standard contient des anglets de variables API, des constantes utilisateur et des constantes système. On peut déclarer toutes les variables API dans la table des variables standard, ou bien créer si nécessaire d'autres tables des variables utilisateur. Sous l'onglet « Variables », on déclare les variables API globales dont on a besoin dans le programme. La figure suivante illustre la structure de l'anglet.

Fig.5.26. *Table des variables API standard*

Le tableau suivant donne la signification des différentes colonnes :

Colonne	Explication
	Symbole sur lequel on peut cliquer pour faire glisser la variable dans un programme et l'y utiliser comme opérande.
Nom	Nom de la variable univoque sur l'ensemble de la CPU.
Type de données	Type de données de la variable.
Rémanence	Indique que la variable est rémanente. Les valeurs des variables rémanentes sont conservées même après coupure de la tension d'alimentation.
Visible dans IHM	Indique si la variable est visible dans la sélection des opérandes de l'IHM selon le réglage par défaut.
Accessible depuis IHM	Indique si l'IHM peut accéder à cette variable pendant l'exécution.
Commentaire	Commentaire pour la documentation de la variable.

Tableau 5.5. *Signification des colonnes la table des variables API*

V.8. Structure du programme

Dans notre projet, nous avons structuré le programme élaboré suivant les besoins de l'exploitation du procédé et la classification des alarmes process cités dans le chapitre IV (analyse fonctionnelle). Le tableau suivant montre la structure du programme élaboré avec la structure des appels de blocs :

Totally Integrated Automation Portal

Commande et supervision Dessalement / PLC_1 [CPU 416-3 PN/DP] / Variables API

Table de variables standard [636]

Structure d'appels	!	Adresse	Détails	Données locales (dans le chemin)	Données locales (pour blocs)
Main-OB1		OB1		26	26
Préparatifs pour MES - FC1		FC1	Main-OB1 Ré1	26	0
RSE_FB, RSE_DB		FB49, DB49	Main-OB1 Ré3 (Appeler le bloc de diagnostic système)	52	26
Mise à l'échelle des entrées Analog - OB34		OB34		30	30
SCALE		FC105	Mise à l'échelle des entrées Analog - OB36 Ré1	50	20
SCALE		FC105	Mise à l'échelle des entrées Analog - OB36 Ré25	50	20
SCALE		FC105	Mise à l'échelle des entrées Analog - OB36 Ré24	50	20
SCALE		FC105	Mise à l'échelle des entrées Analog - OB36 Ré29	50	20
SCALE		FC105	Mise à l'échelle des entrées Analog - OB36 Ré27	50	20
SCALE		FC105	Mise à l'échelle des entrées Analog - OB36 Ré22	50	20
SCALE		FC105	Mise à l'échelle des entrées Analog - OB36 Ré11	50	20
SCALE		FC105	Mise à l'échelle des entrées Analog - OB36 Ré8	50	20
SCALE		FC105	Mise à l'échelle des entrées Analog - OB36 Ré19	50	20
SCALE		FC105	Mise à l'échelle des entrées Analog - OB36 Ré16	50	20
Défauts process - OB35		OB35		26	26
Défauts Vannes-FB2, Défaut Vanne WE11S003		FB2, DB1	Défauts process - OB35 Ré1 (Défaut Vanne WE11S003)	26	0
Défauts Vannes-FB2, Défaut Vanne WE14S002		FB2, DB5	Défauts process - OB35 Ré5 (Défaut Vanne WE14S002)	26	0
Défauts Vannes-FB2, Défaut Vanne WE19S001		FB2, DB4	Défauts process - OB35 Ré4 (Défaut Vanne WE19S001)	26	0
Défauts Vannes-FB2, Défaut Vanne WF12S003		FB2, DB6	Défauts process - OB35 Ré6 (Défaut Vanne WF12S003)	26	0
Défauts Vannes-FB2, Défaut Vanne WJ12S004		FB2, DB7	Défauts process - OB35 Ré7 (Défaut Vanne WJ12S004)	26	0
Défauts Vannes-FB2, Défaut Vanne WJ12S005		FB2, DB9	Défauts process - OB35 Ré9 (Défaut Vanne WJ12S005)	26	0
Défauts Vannes-FB2, Défaut Vanne WR12S004		FB2, DB8	Défauts process - OB35 Ré8 (Défaut Vanne WR12S004)	26	0
Défauts Vannes-FB2, Défaut Vanne WR15S001		FB2, DB3	Défauts process - OB35 Ré3 (Défaut Vanne WR15S001)	26	0
Défauts Vannes-FB2, Défaut Vanne WY11S001		FB2, DB2	Défauts process - OB35 Ré2 (Défaut Vanne WY11S001)	26	0
Aquit de défauts_OB36		OB36		26	26
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER ALARM PRESS CHAUDIERE BAS		FB3, DB35	Aquit de défauts_OB36 Ré34	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER ALARME CONDUCTIVITE H		FB3, DB33	Aquit de défauts_OB36 Ré32	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER ALARME VIDE PARTIEL		FB3, DB34	Aquit de défauts_OB36 Ré33	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT - WE19F001-AL		FB3, DB42	Aquit de défauts_OB36 Ré42	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT PROCESS		FB3, DB32	Aquit de défauts_OB36 Ré31	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WE11D001_[DB25]		FB3, DB25	Aquit de défauts_OB36 Ré20	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WE12B001		FB3, DB21	Aquit de défauts_OB36 Ré14	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WF11D001		FB3, DB27	Aquit de défauts_OB36 Ré23	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WH11D001		FB3, DB30	Aquit de défauts_OB36 Ré27	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WJ11D001		FB3, DB28	Aquit de défauts_OB36 Ré25	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WL11D001		FB3, DB31	Aquit de défauts_OB36 Ré29	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WP11D001		FB3, DB20	Aquit de défauts_OB36 Ré12	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WP12D001		FB3, DB22	Aquit de défauts_OB36 Ré15	26	0

AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WP13D001	FB3, DB23	Aquit de défauts_OB36 Ré17	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WP15D001	FB3, DB19	Aquit de défauts_OB36 Ré10	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WP15D002	FB3, DB24	Aquit de défauts_OB36 Ré18	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WR11D001	FB3, DB26	Aquit de défauts_OB36 Ré21	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WR12F001-AL	FB3, DB45	Aquit de défauts_OB36 Ré46	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUT WS11D001	FB3, DB29	Aquit de défauts_OB36 Ré26	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WE11S003	FB3, DB10	Aquit de défauts_OB36 Ré1	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WE14S002	FB3, DB14	Aquit de défauts_OB36 Ré5	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WE19S001	FB3, DB13	Aquit de défauts_OB36 Ré4	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WF12S003	FB3, DB15	Aquit de défauts_OB36 Ré6	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WG11L018 - AH-AL	FB3, DB39	Aquit de défauts_OB36 Ré39	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WG11L018 - AL	FB3, DB47	Aquit de défauts_OB36 Ré40	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WG11L019-AL/AH	FB3, DB43	Aquit de défauts_OB36 Ré44	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WJ12S004.	FB3, DB16	Aquit de défauts_OB36 Ré7	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WJ12S005	FB3, DB18	Aquit de défauts_OB36 Ré9	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WR12S004	FB3, DB17	Aquit de défauts_OB36 Ré8	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WR15S001	FB3, DB12	Aquit de défauts_OB36 Ré3	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS WY11S001	FB3, DB11	Aquit de défauts_OB36 Ré2	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS-FB3_DB	FB3, DB36	Aquit de défauts_OB36 Ré35	26	0
AQUITTER DEFAUTS-FB3, AQUITTER DEFAUTS-WH13T001	FB3, DB48	Aquit de défauts_OB36 Ré36	26	0
Démarrage unité - OB37	OB37		26	26
Démarrage/Arrêt Moto-Pompes - FB4, Démarrage/Arrêt - WF11D001	FB4, DB40	Démarrage unité - OB37 Ré21	26	0
Démarrage/Arrêt Moto-Pompes - FB4, Démarrage/Arrêt - WH11D001	FB4, DB41	Démarrage unité - OB37 Ré27	26	0
Démarrage/Arrêt Moto-Pompes - FB4, Démarrage/Arrêt - Bruleur WL11D001	FB4, DB46	Démarrage unité - OB37 Ré38	26	0
Démarrage/Arrêt Moto-Pompes - FB4, Démarrage/Arrêt WJ11D001	FB4, DB44	Démarrage unité - OB37 Ré31	26	0
Démarrage/Arrêt Moto-Pompes - FB4, Démarrage/Arrêt_WR11D001	FB4, DB38	Démarrage unité - OB37 Ré13	26	0
Démarrage/Arrêt Moto-Pompes - FB4, Démarrage/Arrêt_WS11D001	FB4, DB37	Démarrage unité - OB37 Ré9	26	0
Arrêt avec et sans Ref post - OB38	OB38		20	20
PS_FLT	OB81		26	26
RSE_FB, RSE_DB	FB49, DB49	PS_FLT Ré1 (Appeler le bloc de diagnostic système)	52	26
I/O_FLT1	OB82		26	26
RSE_FB, RSE_DB	FB49, DB49	I/O_FLT1 Ré1 (Appeler le bloc de diagnostic système)	52	26
I/O_FLT2	OB83		26	26
RSE_FB, RSE_DB	FB49, DB49	I/O_FLT2 Ré1 (Appeler le bloc de diagnostic système)	52	26
OBNL_FLT	OB85		22	22
RACK_FLT	OB86		26	26
RSE_FB, RSE_DB	FB49, DB49	RACK_FLT Ré1 (Appeler le bloc de diagnostic système)	52	26
RSE_GLOBAL_DB (DB global)	DB50		0	0

Tableau 5.6. Structure d'appels de blocs

Les OB de diagnostic OB81, OB82, OB83, OB85, OB86 sont générés automatiquementpar le logiciel de programmation STEP7 lors du paramétrage de la CPU et les modules entrées/sorties (activation de la fonction de diagnostic pour les modules paramétrables)

Conclusion

Dans ce chapitre, nous expliquons les options et fonctionnalités de l'API S7-400 recommandé (CPU 416-3 PN/DP) et de son logiciel de programmation TIA Portal (V.13). La structure modulaire du système SIMATIC S7-400, l'architecture décentralisée facile à mettre en œuvre et la facilité d'utilisation font de notre tâche d'automatisation une solution idéale.

Conclusion générale

Le projet de fin de recherche s'inscrit dans le cadre de l'automatisation et de la supervision de la station de dessalement de la centrale vapeur de Cap-Djinet, en remplaçant les commandes existantes basées sur des API. La nouvelle technologie, et en raison du manque de pièces de rechange et de composants associés, présente des inconvénients majeurs pour le contrôle de l'installation.

Nous avons recherché et analysé tous les modes de fonctionnement de ce procédé. Ensuite, nous avons montré le contrôleur S7-400 (CPU 416-3 PN / DP) conçu pour les tâches d'automatisation. En se concentrant sur la partie programmation de l'automate. Nous avons développé une application pour nous assurer que les différentes fonctions du procédé répondent parfaitement aux exigences du cahier des charges.

Ce projet nous a permis de voir les différents avantages des automates programmables de la série Siemens SIMATIC et de les appliquer au processus de dessalement. Equipé d'un logiciel de programmation très puissant TIA Portal (V.13), simple d'utilisation, et doté d'une interface graphique très intuitive. Nous avons construit notre programme utilisateur sur la station S7-400 et configuré la fonction de diagnostic pour la recherche de pannes et l'avons testée via PLCSIM, ce qui nous a permis de corriger les erreurs lors du processus de programmation.

Ce stage est un complément important à notre formation de master car il nous permet de passer facilement de la formation universitaire aux filières professionnelles. C'est dans cet environnement de diverses technologies de dispositifs que nous avons développé ce travail basé sur l'automatisation, afin d'utiliser l'expérience des travailleurs de l'entreprise pour mieux comprendre les processus industriels.

Après avoir atteint les objectifs fixés, nous espérons que notre projet pourra se concrétiser sur le terrain et apporter plus de connaissances et de progrès à notre université. Enfin, nous espérons que ce travail pourra être le point de départ de notre carrière et sera utile pour une future promotion.

Bibliographie

[1] Documentation interne de la centrale thermique de RAS-DJINET.

[2] Documentation technique des constructeurs de la centrale (siemens Autriche, siemens KWUAllemagne, SGP Autriche…).

[3] KWU, service de formation professionnelle, circuit de dessalement d'eau de mer, N°d'enregistrement 5515.

[4] Jean-Pierre Méricq « Approche intégrée du dessalement d'eau de mer », thèse de Doctorat,Université de Toulouse, Décembre 2009.

[5] George Asch. Les capteurs en instrumentation industrielle - 7ème édition Broché.2010.

[6] KWU, service de formation professionnelle, circuit eau vapeur N° d' enregistrement 5512.

[7] « G.MICHEL » Les API, architecture et application des automates programmables industriels. Edition 1988. DUNOD.

[8] K.LAMRANI et R. CHOUIDER : « Conception et réalisation d'un programme de démarrage de l'excitatrice d'alternateur à base d'un automate programmable industriel S7- 300 ». mémoire de Master, université de Boumerdès 2013.

[9] SIEMENS, SIMATIC, STEP 7 Basic V13 SP1- Manuel système (12/2014).

[10] SIEMENS, SIMATIC, Système d'automatisation S7-400-Installation et configuration- Manuel de mise en œuvre (11/2006-A5E00850742-01).

[11] SIEMENS, SIMATIC, WinCC Basic V13.0- Manuel système (02/2014).

[12] SIEMENS, SIMATIC, Langage CONT pour, SIMATIC S7-300/400, Manuel de référence(Edition 03/2006- A5E00706950-01).

[13] SIEMENS, SIMATIC, Système d'automatisation S7-400, Caractéristiques des modules- Manuel de référence (11/2016-A5E00850737-08).

[14] SIEMENS, SIMATIC, Système d'automatisation, S7-400, Caractéristiques des CPU- Manuel de référence (Edition 04/2006-A5E00267849-02).

[15] Commande et supervision par TIA PORTAL V13 du parc de stockage d'hydrocarbure OB1 HAOUD EL HAMRA- Mémoire de fin d'études-Master- (BEDIRINA Rabah, BOUDAHDIR Abederrahmane-FHC 2017).

[16] Sites internet :

- http://www.automation-sense.com.
- https://support.industry.siemens.com/cs/start?lc=fr-FR
- https://www.wika.fr/
- https://www.dz.endress.com/fr
- https://realpars.com/