

République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de L'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique

Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou



Faculté de Génie Electrique et d'Informatique

Département d'Automatique

Mémoire de Fin d'Etudes de MASTER ACADEMIQUE

Domaine : **Sciences et Technologie**

Filière : **Automatique**

Spécialité : **Automatique et Informatique Industrielle**

Présenté par

Mlle Zaïna Ait CHEKDIDH

Mlle Dyhia BETOUCHE

(Thème proposé par **Mr Yacine FIROUK** Dirigé par **Mme Ouiza Boukendour**)

Thème

Automatisation d'une station de déminéralisation d'eau à l'ENIEM.

Mémoire soutenu le...septembre 2022, devant le jury composé de :

Mme. Khedoudja KHERRAZ

MCA, UMMTO, Président

Mme Ouiza BOUKENDOUR

MAA, UMMTO, Encadreur

Mme Aldjia Nait Abdesselam

, UMMTO, Examineur

REMERCIEMENTS

Nous remercions avant tout le bon dieu qui nous a donné la santé, le courage et la volonté pour finir ce travail.

Nous tenons à remercier vivement notre promotrice Mme BOUKENDOUR QUIZA de nous avoir encadrées orientées et pour ses conseils, ainsi que pour la confiance qu'elle a mise en nous tout au long de la préparation de ce mémoire.

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à notre Copromoteur Mr FIROUK YACINE qui nous a proposé ce sujet et pour l'aide précieuse qu'il nous a apporté ainsi pour l'ensemble du personnel administratif et technique de l'E.N.I.E.M en particulier l'équipe maintenance de l'unité froids à sa tête Mr LAMARI AZOUAOU qui nous ont permis d'accomplir notre travail dans un environnement très agréable et pour avoir répondu présent à toutes nos attentes.

Nos remerciements s'adressent également aux membres du jury pour l'honneur d'avoir assisté à notre soutenance et juger ce travail.

Nous tenons à remercier également nos amis (es) et nos familles pour leurs aides considérables.

Il nous serait inimaginable de terminer sans remercier tous les enseignants du département automatique qui nous ont encadrées et pour tout le savoir qu'ils nous ont inculqué durant toutes ces années. Ce fut un honneur pour nous, de vous avoir comme professeur.

Merci à tous.



Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes très chers **PARENTS** pour leur soutien sans faille durant toutes ces années et pour leurs sacrifices pour me voir arriver à ce stade.

A ma très chère sœur **Yamina**

A mes très chers frères **AMMAR, NOURDINNE** et **NACER**

A La mémoire de mes grands-parents que dieu les accueille dans son vaste paradis.

A mes oncles et tantes.

A ma tante **Hamama** et sa famille.

A Mes cousins et cousines.

A toute la famille **AIT CHEKDHIDH, OUSSIDOUM** et **FELLANI**

A mes amies(es) et camarades Siham, Sarah, Katia , Les 2 Liza, Hayet, Kousseila, Idir, Azzedine, Les 2 Lydia, Ghiles , Mouh , Linda, Zakia, sans oublier mes très chères amies Ryma et Sonia .

A tous ceux qui me sont chers, aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études.

A ma binôme **Dyhia** avec qui j'ai partagé ce travail.

ZAINA



Dédicaces

Je dédie ce travail :

A mes très chers **PARENTS** pour leur soutien sans faille durant toutes ces années et pour leurs sacrifices pour me voir arriver à ce stade.

A ma très chère sœur **THANINA**.

A mes très chers frères **ALI, HAKIM, GHILES**.

A ma chère **grand-mère** et mon oncle **AHCENE**.

A H. DALILA, A. NASSIM, A. LYNA.

A mes amies(es) **BOB** et sa femme **MELINA** et son binôme **JIGOU**,
Amrar Lydia, Adjaout Lydia.

A tous ceux qui me sont chers, aux personnes qui m'ont toujours aidé et encouragé, qui étaient toujours à mes côtés et qui m'ont accompagné durant mon chemin d'études.

A ma binôme **Zaina** avec qui j'ai partagé ce travail.

DYHIA

SOMMAIRE

Préface

1. Présentation de l'entreprise.....	01
2. Les objectifs de l'ENIEM.....	01
3. Les différents types d'unité de l'entreprise ENIEM.....	02
4. Certification.....	03
5. Ressource humaine.....	03
6. Organigramme de l'ENIEM	04
Introduction générale.....	05

CHAPITRE 01 : Description et étude du fonctionnement de la station

I- Introduction.....	07
II -Fonctionnement de la station.....	08
II-1) Les éléments constituent la station.....	08
II -1-a) Pompe de récupération.....	08
II-1-b) Filtre à charbon actif.....	09
II-1-c) Réservoir d'eau brute.....	09
II -1-d) Colonne échangeuse d'anions	09
II -1-e) Colonne échangeuse de cation	10
II -1-f) Tour de dégazage.....	10
II -1-j) Réservoir d'eau dégazé.....	10
II -1-h) Réservoir d'eau pure.....	10
II -1-i) Réservoir de stockage de soude caustique (NAOH).....	11
II -1-j) Réservoir de stockage d'acide chlorhydrique (HCL)	11
II-1-k) Epurateur.....	11
II -1-l) Bac de dosage d'acide chlorhydrique.....	11
II -1-m) Bac de dosage de soude caustique (NaOH).....	11
II -1-n) Ballon de stockage d'air.....	12
II-2)Fonctionnement de la station.....	12
II -2-1) Vidange de la colonne échangeuse de cations	12
II -2-2)Vidange de la colonne échangeuse d'anions	13
II-3) Fonctionnement en cas de bonne conductivité	13

SOMMAIRE

II-4) Fonctionnement en cas de mauvaise conductivité	14
II -4-1)Nettoyage par contre-courant du filtre à charbon actif.....	14
II -4-2)Régénération dans l'installation d'eau pure.....	16
II -4-2-1)Nettoyage par contre-courant de la colonne échangeuse d'anions	16
II -4-2-2)Nettoyage par contre-courant de la colonne échangeuse de cations.....	16
II -4-2-3) Décantation.....	17
II-4-2-4)Alimentation en fluide chimique de la colonne échangeuse de cations.....	17
II-4-2-5)Evacuation d'un fluide chimique de la colonne échangeuse d'anions.....	18
II-4-2-6)Rinçage de fluide chimique de la colonne échangeuse d'anions.....	18
II-4-2-7) Circulation.....	18
III) Instrumentation.....	19
III-1) Le capteur.....	19
III-1-1) Sonde de niveau ou électrode de niveau.....	20
III-1-2) Conductimètre.....	22
III-1-3) Les débitmètres.....	22
III-1-4) Manomètre métallique.....	23
III-1-5) Thermomètre.....	24
III-1-6) Souffleur	24
III-2) Les actionneurs.....	24
III-2-1) Vannes pneumatiques TOR.....	24
III-2-2) Le groupe électropompe.....	25
III-2-2-1) Pompe.....	25
III-2-2-2) Moteur asynchrone.....	28
III-2-3) Ejecteur.....	30
III-3) Armoire de commande.....	30
IV- Conclusion.....	31

CHAPITRE 02 : Modélisation et développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau.

I-Introduction.....	32
II-Modélisation.....	32
II-1) Définition du GRAFCET.....	32

SOMMAIRE

II-1-1) Normalisation (Symbolisation du Grafcet)	33
II-1-2) Les éléments de base du GRAFCET.....	33
II-1-2-a/ Les étapes.....	34
II-1-2-b/Etape initiale.....	34
II-1-2-c/Les actions.....	34
II-1-2-d /Les transitions.....	35
II-1-2-e/ Réceptivité.....	36
II-1-2-f/Les liaisons	36
II-1-3) Règles d'évolution d'un GRAFCET.....	37
II-1-4) Structure de base.....	38
II-1-5) Les niveaux de GRAFCET	40
II-1-6) Mise en équation du GRAFCET.....	43
II-2) Application du GRAFCET pour modéliser la machine.....	43
II-2-1) Liste des capteurs et actionneurs	43
II-2-2) Additif.....	45
II-2-3) Conditions initiales	45
II-2-4) Cahier de charge.....	45
II-2-4-a) Remplissage du réservoir d'eau brute	46
II-2-4-b) Vidange (lavage de la tour anions et cations)	46
II-2-4-c) Fonctionnement en cas de bonne conductivité	46
II-2-4-d) Fonctionnement en cas de mauvaise conductivité	47
II-2-4-d.1) nettoyage du filtre	47
II-2-4-d.2) remplissage des bacs de dosage	47
II-2-4-d.3) régénération	47
II-2-4-d.4) fin de régénération	48
II-3)Grafcet de la station de déminéralisation d'eau.....	48
II-3-1) Grafcet production d'eau pure de manière automatique.....	48
II-3-2) Grafcet remplissage réservoir d'eau brute.....	54
II-3-3) Grafcet production d'eau pure de manière manuelle	55
III - Conclusion	56

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de Déminéralisation d'eau.

SOMMAIRE

I)-Introduction	57
II)-Définitio d'un système automatisé	57
II-1) Structure d'un système automatisé	58
II-2) Les automates programmables industriels	58
II-2-a) Caractéristique d'un automate programmable industriel	59
II-2-b) Critères de choix d'un API	59
III Structure du programme	59
II-1) Présentation du S7-300	59
III -1-1) Constitution de l'Automate S7-300.....	60
III -1-2) Caractéristique de l'automate S7-300.....	60
III -1-3) La structure de l'automate S7-300	61
III -1-4) Les modules constitutionnels de l'automate S7-300.....	61
III-2) Programmation avec le SIMATIC STEP7.....	63
III -2-1) Définition du logiciel de programmation STEP 7.....	63
III -2-2) Programmation de l'automate S7-300.....	63
III -2-3) Langage de programmation	63
III -2-4) Structure d'un programme S7.....	65
III -2-5) Les blocs de logiciel step7	66
III -2-6) Les sections de programmes.....	67
III -3) Configuration matérielle	68
III -4) Les mnémoniques	69
III-5) Mise à l'échelle avec le bloc FC105.....	70
III -5-1) Les paramètre du bloc FC105.....	71
III-6) Simulation et validation du Programme avec S7-PLCSIM.....	71
III -7) La visualisation du programme.....	72
IV - Le régulateur PID.....	74
IV-1) Principe de la régulation.....	74
IV -2) Définition de PID.....	75
IV -2-1) Avantage d'un Contrôleur PID	75
IV -3) Le bloc FB41.....	75
IV -3-a) paramètre d'entrée.....	76
IV -3-b) Paramètres de sortie.....	77

SOMMAIRE

IV -4) Régulation de température.....	77
IV -5) Objectif.....	77
V- Conclusion	78

Chapitre 4 : Conception d'une plateforme de supervision

I-Introduction.....	79
II-Définition de la supervision	79
II-1) Avantage de la supervision	79
II-2) Module fonctionnel d'un système de supervision	80
II-3) Présentation du logiciel de supervision.....	80
III)Présentation du logiciel WINCC	80
III-1) Le rôle d'un HMI	81
III-2) Intégration du projet dans SIMATIC Step7	82
IV) Plateforme de supervision de la station (synoptique).....	82
IV-a) Vue d'accueil	83
IV-b) Vue de la salle de contrôle	83
IV -c) Vue help.....	84
IV-d) Vue globale.....	84
IV-e) Vue alarme.....	86
IV-f) Vue tableau de commande et vue lampe d'indication.....	87
IV-g) Vues alimentation bac de dosage HCl et NaOH.....	89
V)-Conclusion	90

Conclusion Générale	91
----------------------------------	-----------

Références bibliographiques

ANNEXE

Liste des figures

CHAPITRE 01 : Description et étude du fonctionnement de la station

Figure I-1 : Schéma synoptique de la station de déminéralisation d'eau.....	08
Figure I-2 : schéma illustrant la vidange de la colonne de cations.....	12
Figure I -3 : schéma illustrant la vidange de la colonne d'anions.....	13
Figure I-4 : Illustration du processus de production d'eau déminéralisée.....	13
Figure I -5 : Illustration du processus de circulation.....	14
Figure I-6 : illustration du processus du nettoyage du filtre à charbon actif	15
Figure I -7 : Rinçage du filtre à charbon actif.....	15
Figure I8 : Lesson des deniveau.....	20
Figure I -9 : Exemple d'une sonde de niveau (Pt100).....	21
Figure I-10 : schéma d'une cellule de mesure de conductivité.....	22
Figure I-11 : Débitmètre électromagnétique.....	23
Figure I -12 : illustration d'un manomètre métallique.....	23
Figure I -13 : Présentation d'un groupe électropompe.....	25
Figure I-14 : Pompe centrifuge protégé par un clapet de non-retour.....	26
Figure I -15 : Différent type de clapet de non-retour.....	26
Figure I -16 : Moteur Asynchrone.....	28
Figure I -17 : démarrage directe d'un moteur triphasé.....	29
Figure I -18 : Armoire de commande.....	30

CHAPITRE 02 : Modélisation Du Processus Par L'outil GRAFCET

Figure II-1 : Transition et Réceptivité.....	36
Figure II -2 : Les éléments du GRAFCET.....	36

Liste des figures

Figure II -3 : Représentation graphique d'une séquence unique.....	38
Figure II -4 : Représentation graphique d'une séquence simultanée <ET>.....	39
Figure II -5 : Représentation graphique d'une sélection de séquences <OU>.....	39
Figure II -6 : (a) Saut de phase en avant / (b) Saut de phase en arrière.....	40
Figure II -7 : Exemple GRAFCET « NIVEAU 1 ».....	41
Figure II -8 : Exemple GRAFCET « NIVEAU 2 ».....	41
Figure II -9 : Exemple GRAFCET « NIVEAU 3 ».....	42

CHAPITRE 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau.

Figure III -1 : Environnement d'un système automatisé de production.....	57
Figure III -2 : Structure d'un système automatisé.....	58
Figure III- 3 : Structure du S7-300.....	61
Figure III- 4 : Schémas à contact.....	64
Figure III-5 : Schémas logigramme.....	65
Figure III-6 : Structure symbolique du programme de la station.....	67
Figure III-7 : Configuration matérielle de l'automate.....	69
Figure III-8 : une partie de la table mnémonique.....	70
Figure III-9 : Exemple d'une mise à l'échelle d'un capteur.....	71
Figure III-10 : Interface de simulation PLCSIM.....	72
Figure III-11 : Visualisation de la simulation de bloc fb1.....	73
Figure III-12 : Visualisation de démarrage du cycle.....	73
Figure III-13 : Visualisation de bloc de remplissage les bacs de dosage.....	74
Figure III-14 : Schéma fonctionnel du régulateur FB41.....	76

Liste des figures

CHAPITRE 04 : Conception d'une plateforme de supervision

Figure IV-1 : Vue d'accueil de la station de déminéralisation d'eau ENIEM.....	83
Figure IV-2 : vue salle de contrôle.....	84
Figure IV-3 : vue help.....	84
Figure IV-4 : vue de la station.....	85
Figure IV-5 : suite de la station 1.....	85
Figure IV-6 : suite de la station 2.....	86
Figure IV-7 : Vue des différentes alarmes.....	86
Figure IV-8 : Lampes d'indication des alarmes.....	87
Figure IV-9 : Tableau de commande.....	88
Figure IV-10 : les lampes d'indication (action effectuer)	88
Figure IV-11 : Vue alimentation bac de dosage HCl.....	89
Figure IV-12 : Vue alimentation bac de dosage NaOH.....	89

Préface

1. Présentation de l'entreprise

ENIEM (Entreprise Nationale des Industries de l'Électro Ménager) est une entreprise publique de droit Algérien constituée le 2 Janvier 1983 mais qui existe depuis 1974 sous tutelle de l'entreprise SONELEC (société nationale de fabrication et de montage de matériel électronique et électrique). Son siège social se situe au chef-lieu de la wilaya de Tizi-Ouzou. Les unités de production Froid, cuisson, et climatisation sont implantées à la zone industrielle Aissat-Idire de Oued-Aissi, distante de 7Km du chef-lieu de wilaya. L'unité sanitaire est installée à Miliana, wilaya d'Ain Defla et la filiale Lampa à Mohammedia, wilaya de Mascara. L'ENIEM a été transformée juridiquement en société par action le 8 Octobre 1989.

En 1987, l'ENIEM a commencé l'automatisation grâce à TOSHIBA par la mise en place de la chaîne de production réfrigérateur (R1) complètement automatique.

2. Les objectifs de l'ENIEM

Parmi ces principaux objectifs, nous citons :

- Améliorer le chiffre d'affaire.
- L'augmentation de la production.
- L'amélioration de la qualité du produit.
- La maîtrise des coûts de production, et la recherche d'autres sources de revenue.
- La valorisation des ressources humaines.
- L'augmentation des capacités d'étude et du développement.
- L'augmentation des taux d'intégration.
- L'augmentation de la maintenance des installations et des équipements de productions.
- Mettre en place un système de management environnemental.
- Développer la formation et la communication.

Préface

3. Les différents types d'unité de l'entreprise ENIEM

- ❖ **Unité froid** : elle possède des bâtiments industriels de stockage, et des moyens de soutien adéquats à son exploitation. Elle est composée de trois lignes de productions.
 - Une ligne de réfrigérateurs table top.
 - Une ligne de réfrigérateurs grands modèles.
 - Une ligne de congélateurs et réfrigérateurs de 520 litres.

- ❖ **Unité cuisson** : cette unité est équipée de moyens de production répartis en quatre ateliers.
 - Un atelier mécanique pour la fabrication de composant d'alimentation en gaz, des grilles de cuisinières et des pièces en tôles.
 - Un atelier e traitement de revêtement de surface.
 - Un atelier d'assemblage.
 - Un laboratoire d'essai.

- ❖ **Unité climatisation** : elle est équipée de moyens de production répartis en quatre ateliers
 - Un atelier de peinture par électrostatique.
 - Un atelier de montage final avec deux chaînes d'assemblage de climatiseurs, une chaîne d'assemblage de chauffe-bain et des équipements pour la fabrication de pièces en tôle.
 - Un atelier de montage de centrale autonome de climatisation.
 - Un atelier de montage de radiateur à gaz.

- ❖ **Unité prestation technique** : Elle assure les fonctions de soutien aux unités de production. Ses activités se répartissent comme suit :
 - Réparation des outils et moules.
 - Fabrication de pièces de rechanges mécanique.
 - Conception et réalisation d'outillage.
 - Gestion des énergies et fluides.
 - Bureau d'étude et de conception.

Préface

- Gestion informatique.

❖ **Unité commerciale** : Ses activités sont comme suit :

- La distribution et l'exportation des produits ENIEM.
- La vente et le service après-vente, plus de 2000 agents à travers le territoire nationale.

Grace a une expérience de plus de 30 ans, aux moyens et aux employées l'ENIEM est à la fois le leader et le fabriquant le plus important dans le domaine de l'électroménager sur le marché algérien.

Cette position est maintenue grâce à :

- La qualité de ses produits.
- La compétition des pris appliqué.
- La garantie effective de ces produits (24 mois).
- Son réseau de vente et de service après-vente, implanté à travers tout le territoire national permettant la prise en charge des réparations des produits.

4. Certification

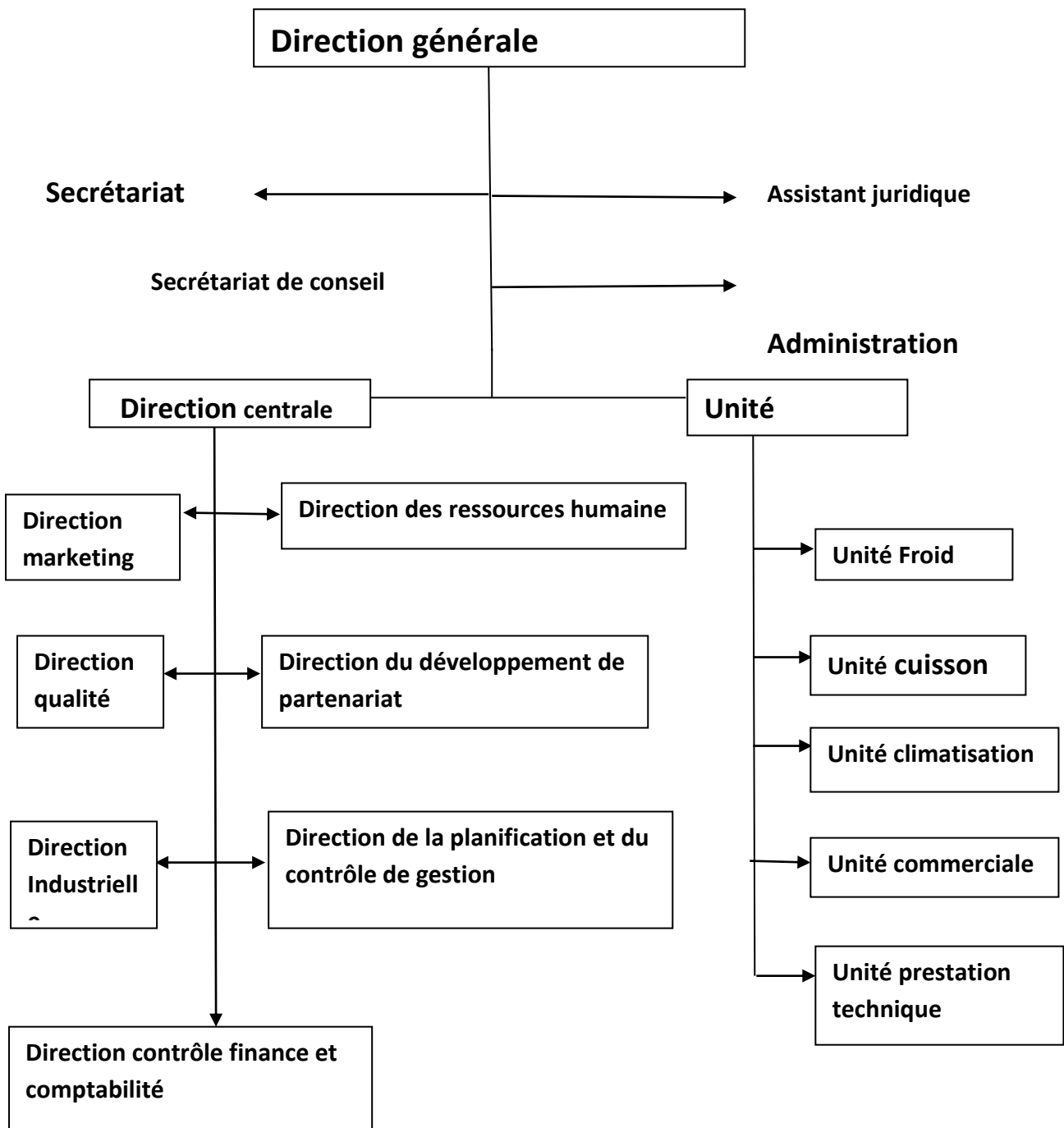
L'ENIEM est certifiée ISO 9001-version 2000 depuis 1998 ; elle a par ailleurs, obtenu la certification de conformité à la norme CE pour les cuisinières de modèles 6400 et 8200, en juin 2005. Les résultats de ce dispositif de management de la qualité sont probants : les rebuts de fabrication sont faibles (1,8 % en 2005 et 1,7 % en 2006). Les produits ENIEM sont réputés de bonne qualité.

5. Ressource humaine

ENIEM employait 2524 dont 460 travailleurs temporaires. 79% du personnel sont âgés de plus de 40 ans.

Préface

6. Organigramme de l'ENIEM



Introduction général

La technologie moderne a permis le développement des sciences, parmi ces sciences en pleine expansions et intégrant l'apport des technologies modernes, on compte l'automatique.

L'automatisme dans le secteur industriel fait appel à plusieurs technologies ainsi qu'à plusieurs compétences, il permet de mettre au point des processus de production sans l'intervention humaine.

L'automatisation de toutes unités de production augmente la productivité et améliore la qualité du produit. Les automates programmables industriels représentent l'élément important de la chaîne automatisée, car il nous permet d'avoir de bonnes performances, une meilleure flexibilité et il assure l'adaptation à des contextes particuliers tel que les environnements hostiles pour l'homme (milieu toxique, dangereux nucléaire...), adaptation à des tâches physiques ou intellectuelles pénibles pour l'homme (manipulation de lourdes charges, tâches répétitives parallélisées...).

Dans ce contexte et dans le cadre de notre projet de fin d'étude nous avons fait l'étude et l'automatisation et l'amélioration du fonctionnement de la partie commande d'une installation de déminéralisation d'eau au sein de l'Entreprise Nationale des Industries de l'Électro Ménager (ENIEM). La station de purification d'eau se trouve au sein de l'atelier peinture de l'unité « froid ». L'eau déminéralisée est utilisée pour le nettoyage des tôles d'acier avant leur utilisation car ces derniers sont la matière première utilisée dans la fabrication des armoires frigorifiques. L'eau brute passe par plusieurs étapes pour être à la fin traitée et prête à être utilisée.

Notre station d'étude se base sur la production d'eau pure qui transforme l'eau brute en eau déminéralisée avec la présence des produits chimiques. L'eau purifiée produite est utilisée pour le nettoyage des tôles d'acier avant qu'elles ne soient peintes. Ces derniers sont utilisés dans la fabrication des armoires frigorifiques. Actuellement cette station fonctionne sous la commande d'un séquenceur (une technologie ancienne) qui est un programmeur à clavier, ce dernier étant limité en ressources c'est-à-dire ne peut gérer que 42 entrées et 32 sorties, programmable en langage logique sans graphique qui est un outil indispensable pour la maintenance.

Pour remédier à ce problème, il nous a été proposé dans le cadre de notre mémoire de fin d'étude de changer la technologie de la commande de la station par un automate

Introduction général

programmable SIMATIC S7-300 de type SIEMENS qui prend en considération toutes les conditions de fonctionnement du processus, ainsi que les contraintes imposées, pour faciliter aux maximum la conduite afin d'améliorer la fiabilité, d'augmenter la productivité et d'assurer la sécurité tout en réduisant le taux de pollution, ce qui agit positivement sur l'économie du pays et son environnement. Avant de réaliser la commande, nous allons modéliser le système par l'outil grafcet. Notre travail consiste aussi à l'automatisation et le développement d'une plateforme de supervision, pour cela nous allons commencer par une étude fonctionnelle de toute la station, par la suite nous allons élaborer un modèle Grafcet décrivant le fonctionnement de cette station, par la suite nous allons proposer une solution de commande en logique programmée qui assure son fonctionnement à l'aide du logiciel STEP7.

Nous allons aussi procédé à la régulation de température. Le régulateur à utiliser est régulateur PID pour but de maintenir la température intérieure voulue à l'intérieur du réservoir de l'NaOH, et ce qu'elles que soit les variateurs extérieurs.

En fin nous allons construire une station de supervision pour notre station avec le logiciel WINCC (Windows Control Center) qui est la première interface homme machine (HMI) développé par SIEMENS. Ce logiciel permet à l'opérateur de commander et visualiser le fonctionnement de la machine en temps réel. En cas d'erreur, l'opérateur est directement informé sur l'origine de cette dernière ainsi il pourra intervenir rapidement.

Pour mener à bien notre travail, ce manuscrit s'articule autour de quatre chapitres. Après une introduction générale, le premier chapitre présente la description et étude du fonctionnement de la station. Le deuxième chapitre est consacré à la modélisation du processus par l'outil GRAFCET. Le troisième chapitre est réservé au développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau, et le dernier chapitre est dédié à la conception d'une plateforme de supervision HMI (Home Machine Interface). Enfin, Ce manuscrit se termine par une conclusion générale.

Chapitre 01 :
Description et etude du
fonctionnement de la station

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

I. Introduction

La station de déminéralisation d'eau est implantée au sein de l'atelier peinture de l'unité froid de l'E.N.I.E.M. L'eau filtrée est utilisée pour le nettoyage des tôles métalliques qui sont la matière première pour la production des armoires frigorifique afin d'éliminer les déchets organiques, fixation des sels.....etc.

Le traitement des eaux a pour objectif de garantir et donner une qualité physico-chimique et bactériologique de l'eau au niveau des différents points d'utilisation en éliminant les matières minérales dissoutes, notamment par l'emploi d'échangeurs d'ions. Généralement elle est obtenue par trois techniques :

- Par passage sur les résines échangeuses d'ions (cationique et anionique), ce procédé est limité à des eaux relativement de faible salinité.
- Par distillation, procédé applicable sur des grande variétés de salinité.
- Par osmose inverse, il est réservé soit à des applications de laboratoire, soit industrielle à partir d'eau de mer.

Dans notre cas, c'est le premier procédé qui est utilisé au sein de la station de déminéralisation d'eau (passage par résine échangeuse d'ion) dont le schéma synoptique est donné par la **figure I-1**.

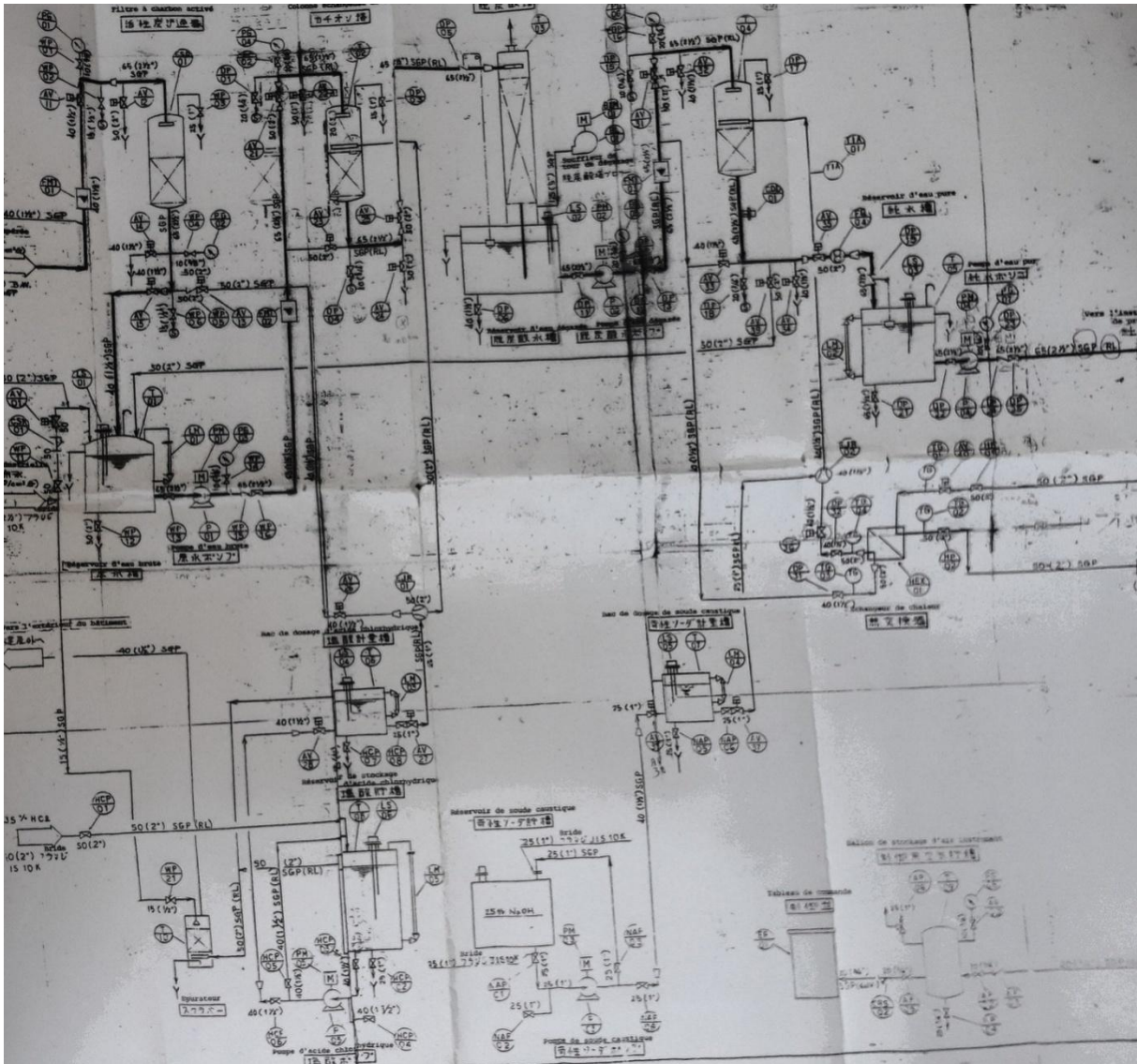


Figure I-1 : Schéma synoptique de la station de déminéralisation d'eau [1].

II- Fonctionnement de la station

II -1- Les éléments constituent la station

La station est composée des éléments suivants :

II-1-a) Pompe de récupération

C'est un moteur électrique à turbine qui dispose de la force nécessaire pour aspirer puis refouler l'eau. La turbine est également équipée d'une grille qui permet de filtrer les impuretés de l'eau.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

II-1-b) Filtre à charbon actif

Les filtres à charbon actifs sont des petits morceaux de charbon, généralement sous forme de granulé ou de bloc en poudre, qui ont été traités pour être extrêmement poreux. Leur utilisation présente de nombreux avantages. Dans le secteur de l'eau potable, la hauteur de ce filtre doit être au minimum de 1,20 m pour avoir une capacité d'adsorption assez importante des composés organiques nocifs (matière organique ; pesticides ; PFAS ; hydrogène). L'eau pure récupérée après utilisation est réinjectée dans le réservoir d'eau brute. Avant de mettre cela dedans, il doit être traité par le filtre afin d'éliminer les déchets. Ce charbon est particulièrement recommandé pour tout procédé en phase liquide d'épuration, de purification ou séparation. Le lit de charbon actif doit être nettoyé en fonction des différences de pression entre l'entrée et la sortie du filtre. Le nettoyage s'effectue à contre-courant avec l'eau de la cuve d'eau brute et avec une faible pression d'air comprimé.

II-1-c) Réservoir d'eau brute

Un réservoir à eau brute sert au stockage intermédiaire de l'eau avant sa purification. Ce réservoir contient la matière de travail à traiter et il est alimenté par deux sources. D'une part dans l'eau du robinet, d'autre part des eaux recyclées après utilisation. L'eau brute est utilisée dans toute les opérations réalisées dans la station, que ce soit pour produire de l'eau pure (prise d'eau), Nettoyage à contre-courant des canalisations après le passage du fluide chimique, la régénération

II-1-d) Colonne échangeuse d'anions

L'échange d'ions sur résine est un procédé dans lequel les ions contenus dans une solution sont fixés sur un matériau solide, qui libère à son tour une quantité équivalente en ions de même signe vers la solution. Dans notre station la colonne contient les résines anioniques, ces échangeurs sont caractérisés par l'omniprésence sur leurs molécules de radicaux à fonction basique susceptible de fixer les anions minéraux ou organique entre les échangeurs ou bien les échangeurs avec l'ion oxydohydrile OH^- de l'eau (cycle OH^-). A force d'être utilisé, la couche de résine s'épuise au fur et à mesure du coup le traitement de l'eau diminue d'efficacité. La

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

colonne est équipé d'un capteur de conductivité qui contrôle l'état de saturation des résines à travers la résistivité ou la conductivité de l'eau traitée.

II-1-e) Colonne échangeuse de cation

La colonne cationique contient les résines cationiques. Ces échangeurs se caractérisent par la présence de radicaux libres avec des groupes fonctionnels acides dans leurs molécules, qui ont la propriété de fixer des cations minéraux ou organiques et de les échanger entre eux, ou encore de les échanger avec des ions hydrogène H^+ dans l'eau (cycle H^+)

II-1-f) Tour de dégazage

L'eau naturelle et l'eau potable sont en équilibre avec l'air et contiennent par conséquent des gaz dissous tels que l'azote, l'oxygène et le dioxyde de carbone. Le dégazage est l'élimination des gaz dissous des liquides, en particulier de l'eau, des solutions aqueuses ou organiques. Il existe de nombreuses méthodes possibles pour éliminer les gaz des liquides. La solubilité des gaz diminue avec la température par conséquent le dégazage d'eau se fait en la réchauffant. Le dégazeur fonctionne à la vapeur, c'est le contact eau vapeur qui le fait dégazer, on utilise une unité de dégazage en complément d'une déminéralisation. On ajoute généralement des réducteurs d'oxygène pour s'assurer qu'aucune trace d'oxygène n'a réussi à rester dans l'eau. Ce sont des molécules qui captent l'oxygène dissout.

II-1-g) Réservoir d'eau dégazé

Le réservoir stocke l'eau issue de la tour de dégazage qui est injectée par la suite dans la colonne échangeuse d'anions.[5]

II-1-h) Réservoir d'eau pure

Le réservoir sert à emmagasiner l'eau déminéralisée produite, laquelle servira au nettoyage des tôles métalliques. Une fois la citerne orientale remplie, le robinet d'entrée d'eau se ferme et le processus de circulation s'enclenche.[5]

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

II-1-i) Réservoir de stockage de soude caustique (NAOH)

La soude caustique est préparée au sein de la station à 25%, elle est injectée dans le bac de dosage de soude caustique, elle est ainsi utilisée au cours du processus de régénération.

II-1-j) Réservoir de stockage d'acide chlorhydrique (HCL)

Le réservoir de stockage reçoit le Hcl à 35%. Le remplissage se fait manuellement, le Hcl n'est pas préparé sur place, il arrive déjà prêt dans des bacs. Il est utilisé lors de la régénération des résines. Il est injecté dans des bacs de dosage d'acide chlorhydrique.

II-1-k) Epurateur

Le purificateur d'eau permet d'obtenir l'eau purifiée à partir de l'eau de procédé. L'eau brute dans cet équipement absorbe de la vapeur Hcl produite dans le réservoir de stockage et dans le bac de dosage d'Hcl. Dans l'épurateur, on fait écouler en permanence de l'eau brute (eau industrielle) pour éviter le dégagement de vapeur Hcl. Le débit d'eau doit être augmenté quand le Hcl est chargé dans le réservoir de stockage, puisque à ce moment-là, la vapeur d'Hcl atteignent en quantité le maximum.

II-1-l) Bac de dosage d'acide chlorhydrique

L'alimentation en acide chlorhydrique du bac de dosage se fait au cours du processus de régénération. Le bac contient la quantité nécessaire d'Hcl à envoyer dans la colonne échangeuse de cations.

II-1-m) Bac de dosage de soude caustique (NaOH)

L'alimentation en soude caustique dans le bac se fait automatiquement au cours du processus de régénération, le bac contient également la quantité nécessaire de NaOH à envoyer dans la colonne échangeuse d'anion.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

II-1-n) Ballon de stockage d'air

Le ballon de stockage contient l'air de commande des actionneurs pneumatiques de la station. L'air de 5,0 Kg/cm² est introduit dans le ballon de stockage d'air d'instrument en ouvrant la soupape AP-02. Le tableau de commande est alimenté avec une pression comprise entre 4 à 6 Kg/cm².

II -2) Fonctionnement de la station

Au sein de notre station on a deux types de fonctionnement qui se réalise :

- ❖ Le fonctionnement dans le cas d'une bonne conductivité qui consiste à la production d'eau pure.
- ❖ Le fonctionnement dans le cas d'une mauvaise conductivité consistant le processus de régénération.

A chaque démarrage de la station, les vidanges de fluide chimique de la colonne échangeuse de cations (durée 4 MIN) et celle de la colonne échangeuse d'anions (durée 11 Min) sont exécutées. Ces opérations ont pour but de connaître l'état des différentes résines car à la fin de cette vidange un test de conductivité est effectué. La vidange consiste à envoyer de l'eau brute par écoulement descendant dans la colonne de cations puis vers celle d'anions.

On représente ces opérations par les schémas suivant :

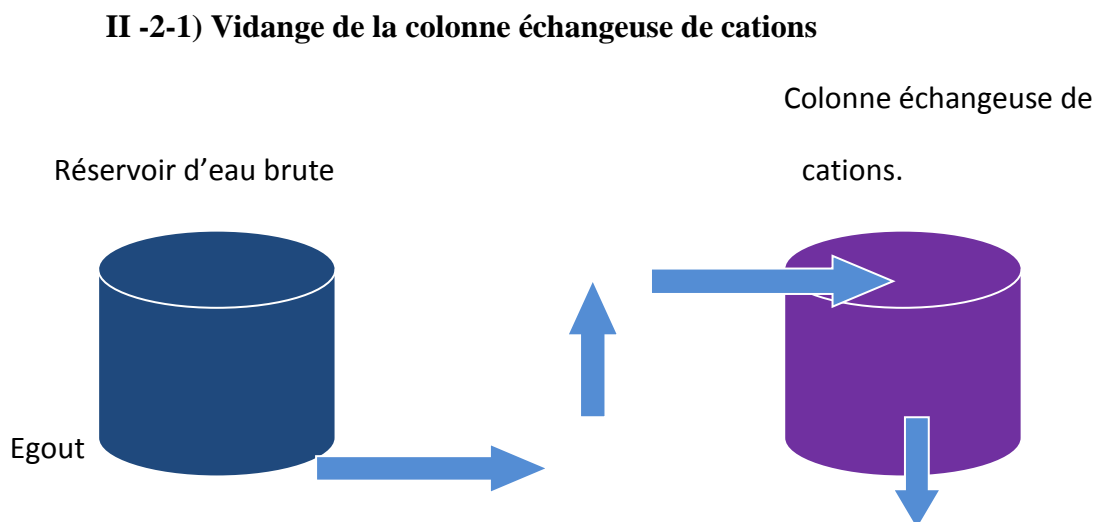


Figure I -2 : schéma illustrant la vidange de la colonne de cations.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

II -2-2) Vidange de la colonne échangeuse d'anions

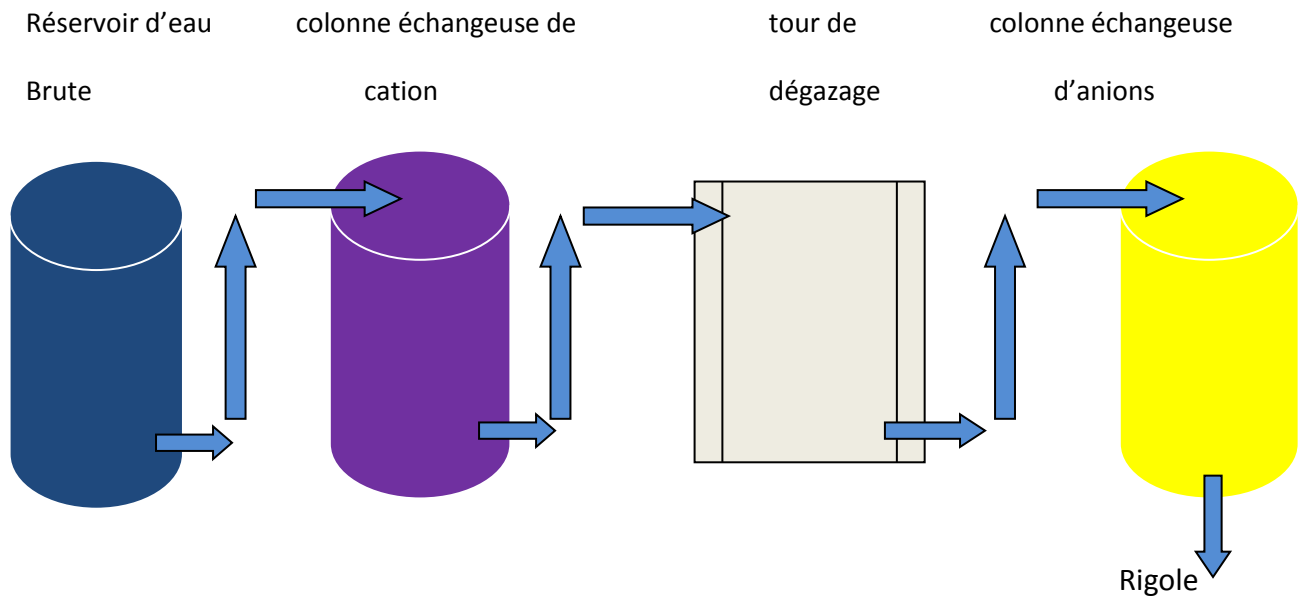


Figure I -3 : schéma illustrant la vidange de la colonne d'anions.

Une fois la vidange terminée, si le test de conductivité est bon la production d'eau pure est enclenchée.

II -3) Fonctionnement en cas de bonne conductivité [2]

Consiste à la production de l'eau pure. La figure suivante (figure I -4) nous montre les différents éléments interviennent dans sa production.

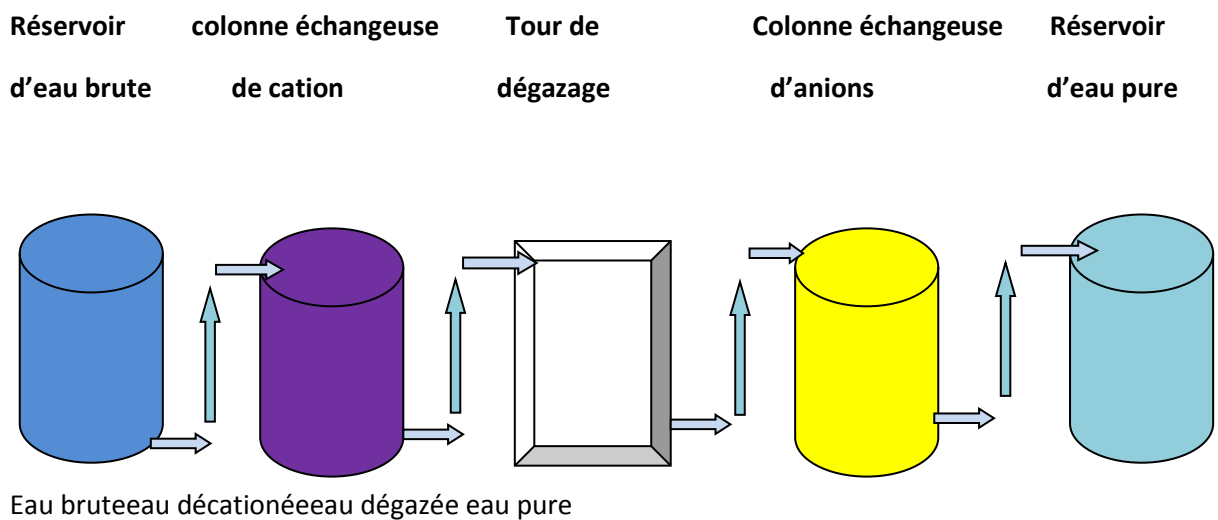


Figure I -4 : Illustration du processus de production d'eau déminéralisée.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

Si durant la production d'eau pure, le capteur du réservoir d'eau pure indique le niveau haut, la circulation est commencée, si le niveau baisse la production d'eau pure est relancée.

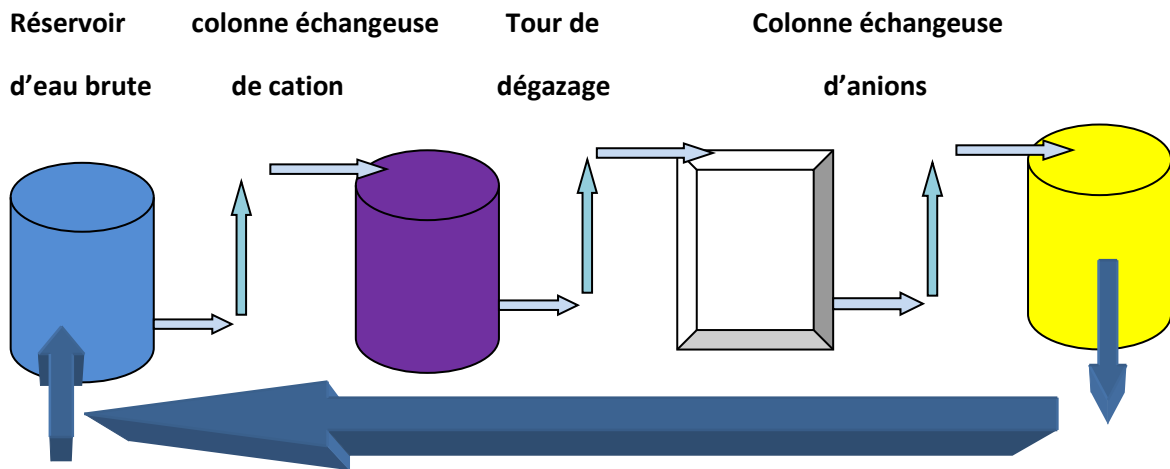


Figure I -5 : Illustration du processus de circulation.

- Si pendant la production, la conductivité de l'eau à la sortie de la colonne échangeuse de cations est mauvaise, le nettoyage au sens inverse dans le filtre à charbon actif est lancé, puis La régénération a lieu dans des installations d'eau purifiée

II -4) Fonctionnement en cas de mauvaise conductivité

Les opérations à effectuer dans son cas sont :

II -4-1) Nettoyage par contre-courant du filtre à charbon actif

Au cours de la production d'eau les substances fines colloïdales en suspension s'adhèrent sur le charbon actif, ces substances sont donc évacuées par le contre-courant vers l'extérieur de la colonne, donc un nettoyage doit être fait. La durée prévue est de 8mn.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

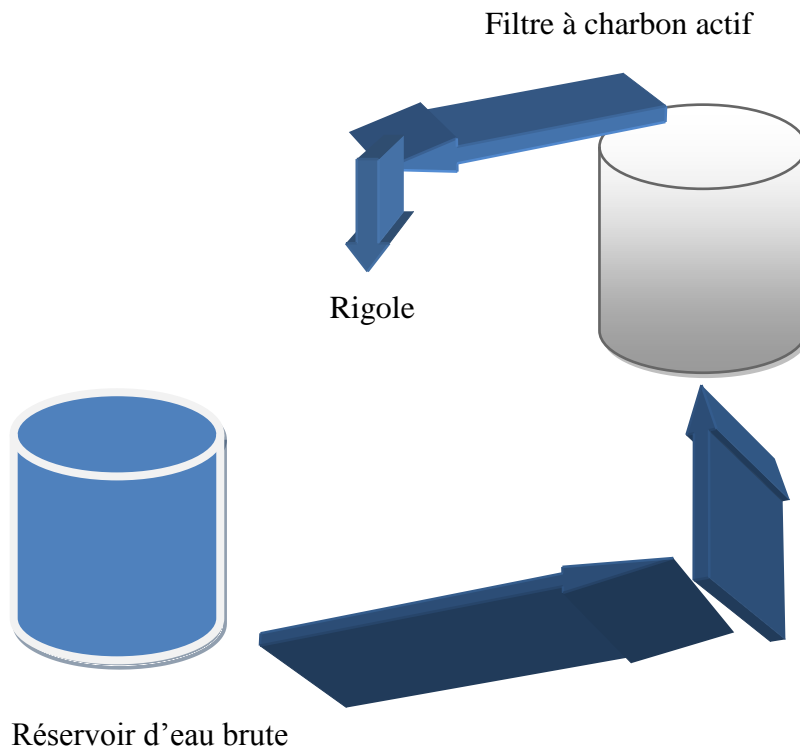


Figure I -6 : illustration du processus du nettoyage du filtre à charbon actif.

Après le nettoyage par contre-courant, l'eau récupéré est utilisée pour le rinçage par écoulement descendant dans le réservoir du charbon actif avec un débit $6,5\text{m}^3/\text{h}$ pour une durée de 10 min. On le représente par la figure qui suit :

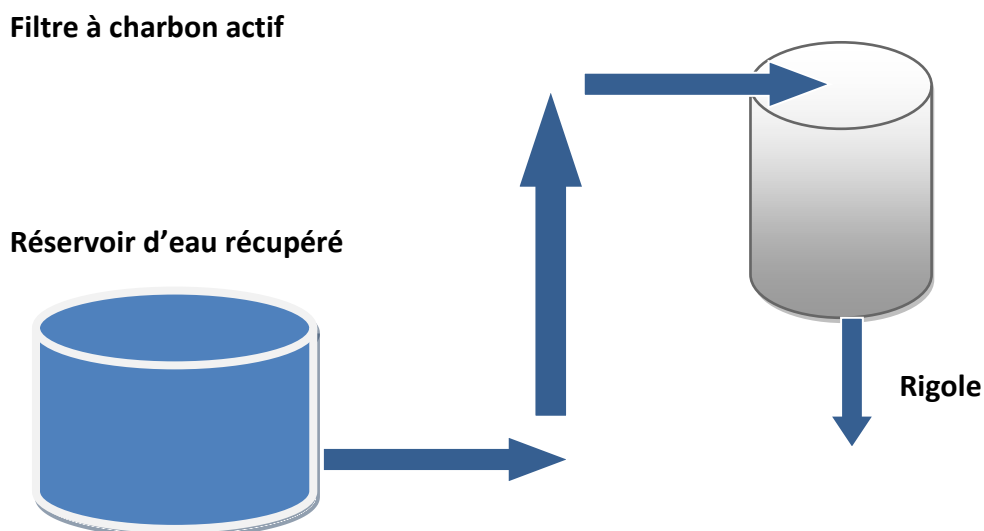


Figure I -7 : Rinçage du filtre à charbon actif

A la fin du rinçage, le processus de régénération peut commencer.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

II -4-2) Régénération dans l'installation d'eau pure

Les résines deviennent incapables d'effectuer le traitement de l'eau efficacement à force d'éliminer les impuretés durant la production d'eau pure, une régénération est donc nécessaire mais elle ne s'enclenche que si les conditions suivantes sont satisfaites :

- Le niveau dans le réservoir d'eau brute est supérieur au niveau bas
- Le bac de dosage d'acide chlorhydrique et de soude caustique rempli de liquide correspond au niveau spécifié (niveau élevé) de produits chimiques.

Durant le processus de régénération plusieurs opérations sont effectuées.

II -4-2-1) Nettoyage par contre-courant de la colonne échangeuse d'anions

Pour ce nettoyage, l'eau douce acide traitée dans la colonne cationique provient du bas de la colonne échangeuse d'anions.

Ce nettoyage à contre-courant a pour but de perturber les particules de résine dans la couche de compression lors de l'extraction de l'eau d'une part, et de l'autre évacuer les substances disposées sur la couche de résine vers l'extérieur de la colonne.

Si l'eau rinçage est sale, le temps de rinçage doit être prolongé jusqu'à ce que l'eau drainée devienne pure. Le débit d'eau nécessaire à ce nettoyage est d'environ 11 m³/h pour une durée de 5 min.

II -4-2-2) Nettoyage par contre-courant de la colonne échangeuse de cations

L'eau brute est utilisée pour ce nettoyage. D'une manière générale, il y a plus de salissure dans la colonne échangeuse de cation par rapport à celle d'échangeuse d'anions, les colonnes échangeuses de cations doivent garantir qu'à la fin de chaque lavage à contre-courant, l'eau tirée du lavage est suffisamment pure.

La quantité d'eau nécessaire au nettoyage est d'environ 18 m³/h pendant 15 minutes.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

II -4-2-3) Décantation

En faisant descendre les particules de résines flottant après le nettoyage par contre-courant, la surface de couche de résine est plane.

Si on commençait l'alimentation en fluide chimique avant que les particules de résines flottantes ne soient complètement descendues, l'agent de régénération passerait rapidement à travers la couche de résine, ce qui pourrait dégrader le rendement de régénération.

La décantation dure plus longtemps dans la colonne échangeuse d'anions, c'est-à-dire que la décantation y dure pendant que les deux procédés (nettoyage par contre-courant+ décantation) sont effectués dans la colonne échangeuse de cations.

La durée prévue de la décantation est de 5 minutes.

II-4-2-4) Alimentation en fluide chimique de la colonne échangeuse de cations

L'acide chlorhydrique y est amené sous pression négative à partir du bac de dosage, lorsque l'éjecteur d'acide chlorhydrique est alimenté en eau brute. L'acide dilué avec de l'eau brute est répartie par le distributeur de fluide chimique, uniformément dans la couche de résine.

Le débit d'alimentation en fluide chimique est réglé pour que l'alimentation de la quantité spécifiée soit terminée au bout de la durée prévue. Exécuter ce réglage en surveillant la vitesse de descente du niveau de fluide dans le bac de dosage.

La soude caustique est chauffée pour dissoudre la silice captée par la résine échangeuse d'anions.

Le chauffage est réalisé par échange thermique avec de l'eau chaude. La température de repère de la soude caustique est de 35°C. Si la température de la soude est à 40°C ou plus, alors le chauffage est arrêté. Si la température s'abaisse à moins de 40°C le chauffage est donc relancé.

S'agissant des autres phases de fonctionnement, la description donnée sur l'alimentation en fluide chimique de la colonne échangeuse de cations s'applique également au cas de la colonne échangeuse d'anions.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

Le débit nécessaire pour l'alimentation en fluide de la colonne échangeuse d'anions est d'environ 3,5 m³/h et la durée prévue de l'alimentation en NaOH est de 30 minutes.

II-4-2-5) Evacuation d'un fluide chimique de la colonne échangeuse d'anions

Lorsque la quantité prévue de soude caustique a été aspirée, la soude caustique reste encore dans la tuyauterie et dans la couche de résine.

La soude résiduelle est évacuée en faisant l'alimentation en eau au débit égale à celui d'alimentation en fluide chimique, cette alimentation dure jusqu'à ce que la soude résiduelle atteigne le bas de la couche de résine. Le chauffage d'eau chaude est fait également dans cette phase comme la phase d'alimentation en fluide chimique.

Dès le début de ce procédé d'évacuation, l'agent de régénération est amené à partir de chacun des réservoirs de stockage (de soude caustique, d'acide chlorhydrique) jusqu'à chacun des bacs de dosages.

Le débit nécessaire d'évacuation est d'environ 3.5 m³/h et le temps prévu est de 25 minutes.

II-4-2-6) Rinçage de fluide chimique de la colonne échangeuse d'anions

La soude caustique restant dans la tour après l'alimentation en liquide chimique est enlevée par ce rinçage.

Le débit estimé est d'environ 11 m³/h, le temps de rinçage estimé est de 10 minutes.

II-4-2-7) Circulation

Après le rinçage de la colonne échangeuse d'anions, une circulation d'une durée de 30 minutes est effectuée et à la fin un test de conductivité est fait :

- Si la conductivité est bonne, la prise d'eau commence.
- Si la conductivité est mauvaise l'alarme « Anormale conductivité » est émise et une deuxième circulation est enclenchée.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

Dans le cas où la propriété d'eau est améliorée au cours de la circulation supplémentaire, la prise d'eau commence. Si une telle amélioration n'est pas réalisée les installations se mettent à l'arrêt. Dans un tel cas, établir la cause si on peut juger que la cause en réside dans la mauvaise régénération de la résine, reprendre le procédé de régénération.

Voici donc les différentes opérations se déroulant au sein de la station lors du processus de régénération [3].

III) Instrumentation

III-1) Le capteur

Lorsqu'on veut contrôler un système ou un processus physique on doit, à un certain stade effectuer des opérations, mesure et surveiller certaines grandeurs physiques dépendantes directement du processus. Ces opérations sont assurées par les capteurs.

On distingue principalement trois types de capteurs :

- ❖ **Les capteurs TOR** : Ce sont des capteurs très utilisés en industrie, ils permettent de détecter un événement ou un objet à l'endroit où il est placé et d'en informer le système. Ils servent donc à acquérir des informations.
Cette détection se fait en langage binaire (0 ou 1), c'est le langage qu'utilisent souvent les machines.
- ❖ **Les capteurs Analogique** : les capteurs analogiques servent à transformer une grandeur physique en un autre type de variation d'impédance, de capacité, d'inductance ou de tension évoluant continuellement entre deux valeurs limites.
- ❖ **Les capteurs Numérique** : permettent de transmettre des valeurs numériques précisant des positions des pressions pouvant être lues sur 8, 16 ou 32 bits. Ils donnent en sortie une valeur finie.

Les capteurs utilisés au sein de notre station et qui seront décrits dans ce qui suit sont des capteurs **TOR**.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

III-1-1) Sonde de niveau ou électrode de niveau

C'est l'un des outils de mesure de niveau les plus utilisés, il s'agit d'une détection de niveau simple pour les liquides conducteurs en émettant un signal continu de 4 à 20mA. Il offre un grand nombre de possibilités grâce à la détection multipoints. Il est connecté aux séquenceurs, du fait il assure la mise en marche et l'arrêt des pompes, ainsi que la protection contre le niveau trop plein des bacs et la marche à vides des pompes.

- **Principe de fonctionnement**

Le fonctionnement des détecteurs de niveau à électrodes est basé sur le principe de la conductibilité et n'est assuré que dans des liquides conducteurs de l'électricité. Il se repose sur la variation des résistances, mesurées entre les électrodes plongées dans le liquide.

Par la conductivité de l'eau, un courant se crée entre une sonde de référence selon le niveau d'eau dans le bac.

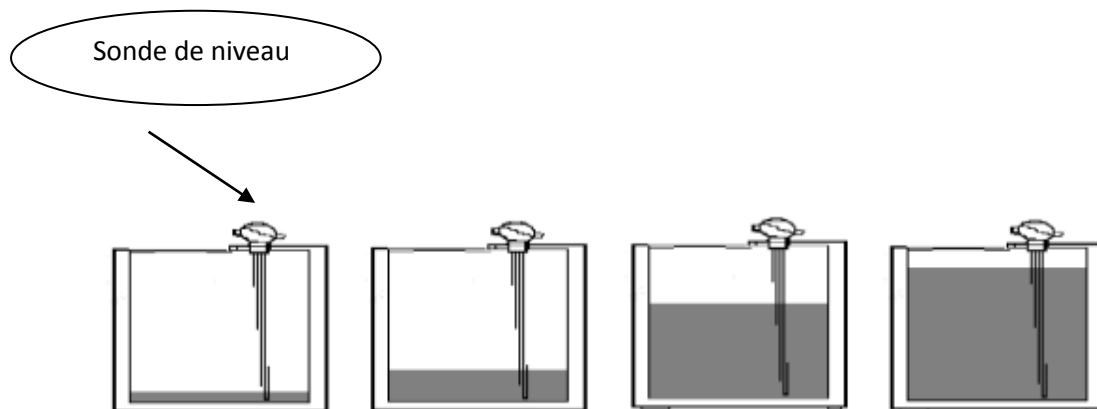


Figure I -8 : Les sondes de niveau.

Tous les réservoirs constituant la station disposent des sondes de niveau afin de mesurer le niveau de l'eau. Ce type se trouve à l'intérieur d'un flotteur à deux lamelles connectées au séquenceur. Selon le niveau de l'eau un contact est provoqué avec la lamelle intérieure ou supérieure tout en délivrant une information au séquenceur pour un traitement adéquat. On a donc :

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

- ✚ Réservoir d'eau brute et Réservoir d'eau pure, une sonde à 4 niveaux : **B**, **M**, **H** et **HH**.
 - ✚ Réservoir de stockage de NaOH et Hcl, une sonde à 3 niveaux : **B**, **M**, et **H**.
 - ✚ Bac de dosage de Hcl et NaOH, une sonde à 2 niveaux : **B** et **H**.
 - ✚ Réservoir d'eau dégazé, une sonde à 2 niveaux : **B** et **H**.
- ❖ **B** : Niveau bas.
 - ❖ **M** : Niveau moyen.
 - ❖ **H** : haut niveau.
 - ❖ **HH** : Niveau trop haut.

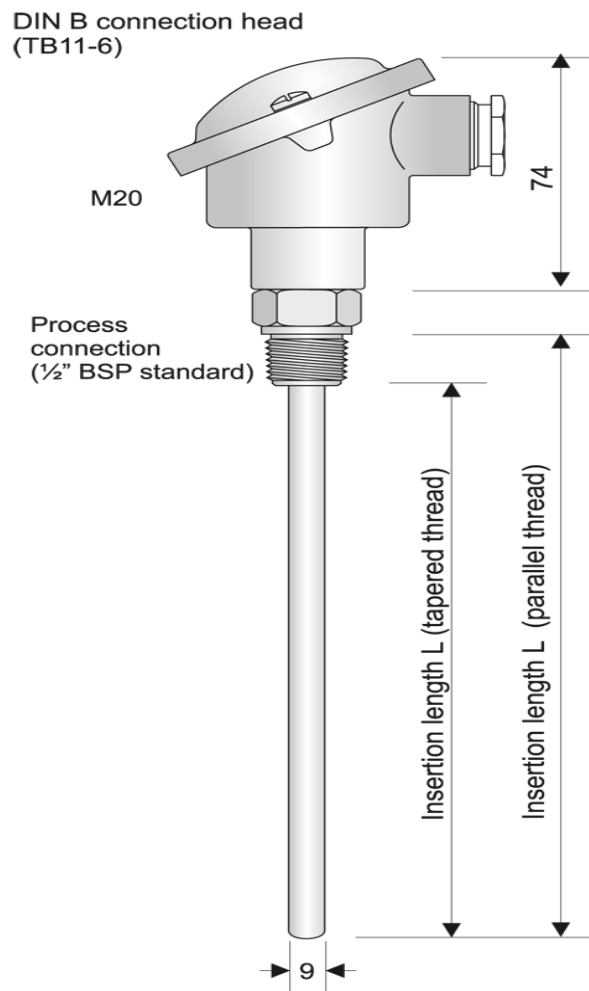


Figure I -9 : Exemple d'une sonde de niveau (Pt100).

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

III-1-2) Conductivimètre

Un conductivimètre est un appareil permettant de mesurer une propriété de conductivité, il est alimenté en courant alternatif et il est constitué de deux électrodes carrées en platine. Son principe de base est le même dans toute les méthodes, l'appareil de mesure applique une tension électrique entre les deux plaques à la solution à mesurer ce qui engendre un champ électrique entre ces plaques que l'on supposera uniforme. Un courant électrique circule en fonction de la conductivité. Suivant la méthode ou l'application, l'appareil de mesure impose une tension constante et enregistre la variation du courant électrique, ou bien l'appareil de mesure impose un courant constant et évalue la variation de tension.

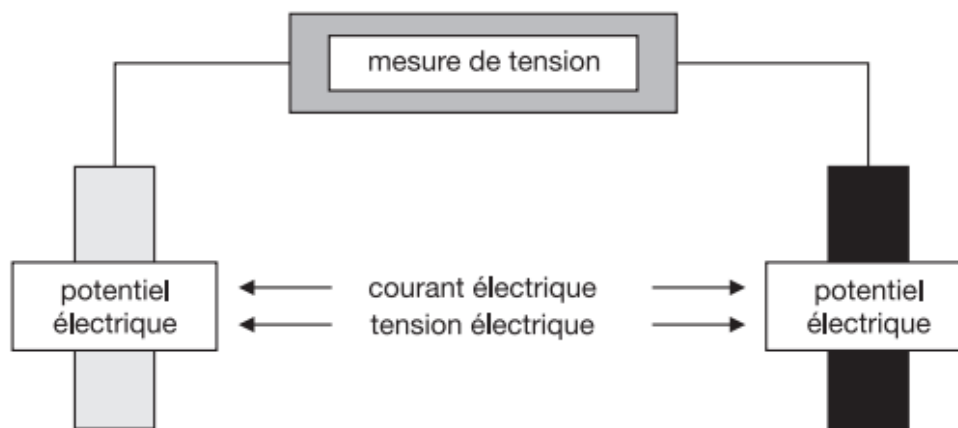


Figure I -10 : schéma d'une cellule de mesure de conductivité.

III-1-3) Les débitmètres

Un débitmètre est un instrument utilisé pour mesurer le débit linéaire, non linéaire, massique ou volumétrique d'un liquide ou d'un gaz.

En ce qui concerne notre station on mesure le débit en fonction de la pression, pour ceci il faut provoquer une chute de pression en étranglant la conduite. La vitesse varie en fonction du débit, la baisse de pression augmente la vitesse du fluide vue que c'est la même quantité de matière qui passe en aval et en amont de l'étranglement. Un débit plus élevé amènera une plus grande différence de pression en amont et en aval de l'étranglement. Nous pouvons ainsi déterminer le débit en mesurant la pression différentielle de part et d'autre de l'étranglement. La partie de l'appareil permettant de rétrécir la conduite s'appelle l'organe déprimogène.



Figure I -11 : Débitmètre électromagnétique.

III-1-4) Manomètre métallique

C'est un instrument destiné à mesurer la différence de pression entre l'environnement intérieur d'une enceinte et l'atmosphère. Les manomètres les plus répandus dans l'industrie sont les manomètres de **BOURDON**, dans le cas de faible pression on utilise d'autre manomètre métallique où l'élément sensible peut être :

- Une membrane.
- Un souffleur associé à un ressort ou à une lame d'acier... etc.



Figure I -12 : illustration d'un manomètre métallique.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

III-1-5) Thermomètre

C'est un appareil servant à mesurer et à afficher la valeur de la température. Ceux utilisés au sein de notre station sont des thermomètres à vapeur.

Ils sont constitués de :

- D'un tube placé à l'endroit de la mesure de température.
- D'un capillaire très fin.
- D'un dispositif de mesure de pression qui règne dans l'ensemble bulbe-capillaire.

Toutes ces pièces sont regroupées dans un seul appareil qui est alors rempli sous pression avec le liquide thermométrique. Ce dernier s'évapore en fonction de la température.

III-1-6) Souffleur

Sert à envoyer l'air dans le réservoir, qui son action a plusieurs utilités. Il va :

- Renouveler l'oxygène présent dans les eaux traitées.
- Permettre aux bactéries de réaliser leurs purifications.
- Favoriser le brassage de l'eau contenue à l'intérieur de réservoir.

La quantité d'air injectée dans le réservoir doit être évalué et dépendra de la quantité d'eau à traiter.

III-2) Les actionneurs

Les actionneurs utilisés au sein de la station sont les suivant :

III-2-1) Vannes pneumatiques TOR

Les vannes TOR permettent la circulation des fluides dans les différents réservoirs et bacs constituant la station, son fonctionnement est tout ou rien il ne prend que deux position ouvert ou fermé par manque d'air.

III-2-2) Le groupe électropompe

Le groupe électropompe se compose essentiellement d'une pompe accouplée à un moteur asynchrone. Il est composé d'un

- Moteur asynchrone.
- Ensemble mécanique.
- Corps de doseur.
- Boite à clapet.
- Raccordement.

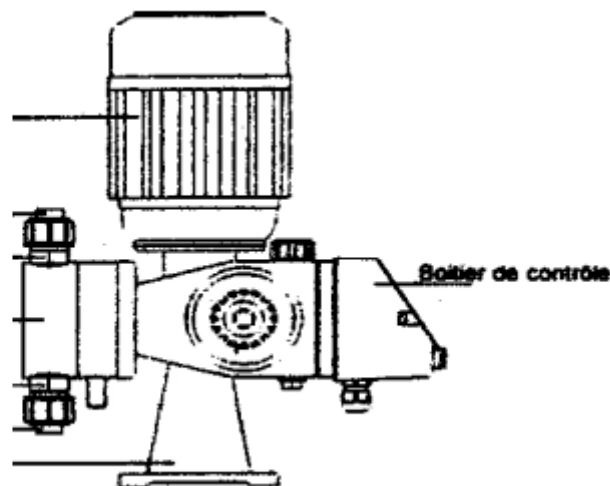


Figure I -13 : Présentation d'un groupe électropompe.

III-2-2-1) Pompe

La pompe est un dispositif destiné pour aspirer puis refouler des fluides. Transforment ainsi une énergie mécanique (couple et vitesse de rotation de l'arbre) en énergie hydraulique (débit et pression). Dans notre cas on utilise la pompe centrifuge car elle s'accouple directement avec le moteur asynchrone et elle est équipée de plusieurs organes comme présentés sur la figure suivante :

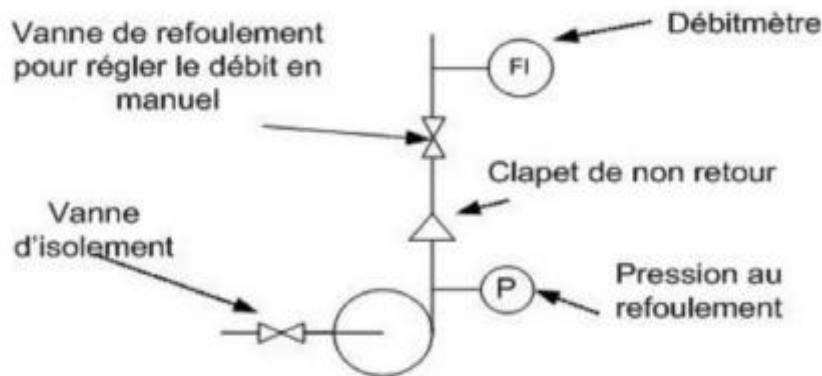


Figure I -14 : Pompe centrifuge protégé par un clapet de non-retour.

✚ Clapet de non-retour :

C'est un organe de protection installé sur la tuyauterie permettant de contrôler le sens de circulation d'un fluide quelconque. Le fluide peut donc circuler dans un certain sens, mais son flux est bloqué si ce sens s'inverse, son fonctionnement doit se faire son provoque un coup de bélier. On a deux méthodes de fonctionnement :

- Clapet à inertie très faible, qui se ferme dès que la vitesse de circulation du fluide s'annule au droit de l'appareil.
- Clapet qui se ferme de façon lente dès que la circulation du fluide a changé de sens.

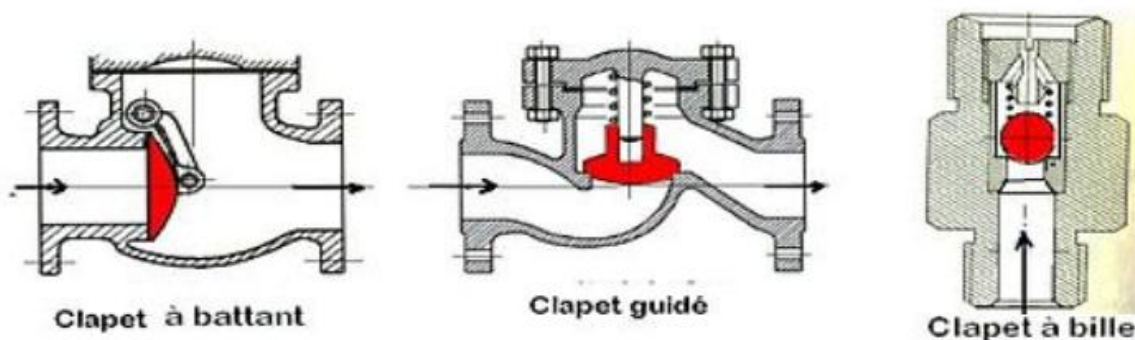


Figure I -15 : Différent type de clapet de non-retour.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

La station est équipée de 5 pompes centrifuges dont les caractéristiques sont données ci-dessous : [5]

- ❖ **Pompe d'eau brute** : de capacité 28 m³/h pour une hauteur de 20 mH équipé d'un moteur dont les caractéristiques sont les suivantes :
 - Type : moteur asynchrone triphasé à un seul sens de rotation.
 - Puissance sur l'arbre : 5,5 kW.
 - Nombre de rotation : 1440 rpm.
 - Température d'emploi : RTh.
- ❖ **Pompe de soude caustique** : de capacité 8,2 l/min pour une hauteur de 10 mH équipé d'un moteur dont les caractéristiques sont les suivantes :
 - Type : moteur asynchrone triphasé à un seul sens de rotation.
 - Puissance sur l'arbre : 0,4 kW.
 - Température d'emploi : RTh.
- ❖ **Pompe d'acide chlorhydrique** : de capacité 16,4 l/min pour une hauteur de 10 mH équipé d'un moteur dont les caractéristiques sont les suivantes :
 - Type : moteur asynchrone triphasé à un seul sens de rotation.
 - Puissance sur l'arbre : 0,75 kW.
 - Température d'emploi : RTh.
- ❖ **Pompe d'eau dégazée** : de capacité 19 m³/h pour une hauteur de 25 mH équipé d'un moteur dont les caractéristiques sont les suivantes :
 - Type : moteur asynchrone triphasé à un seul sens de rotation.
 - Puissance sur l'arbre : 3,7 kW.
 - Nombre de rotation : 1420 rpm.
 - Température d'emploi : RTh.
- ❖ **Pompe d'eau pure** : De capacité 19 m³/h pour une hauteur de 25 mH équipé d'un moteur dont les caractéristiques sont les suivantes :
 - Type : moteur asynchrone triphasé à un seul sens de rotation
 - Puissance sur l'arbre : 3,7 kW.
 - Nombre de rotation : 1420 rpm.
 - Température d'emploi : RTh.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

III-2-2-2) Moteur asynchrone

Le moteur asynchrone triphasé est largement le plus utilisé dans l'industrie, la simplicité de sa construction en fait un matériel très fiable demandant peu d'entretien. Il est constitué de deux parties essentielles, une partie fixe le stator et une partie mobile le rotor, il a la particularité de fonctionner par un champ tournant. On distingue 2 catégories de moteurs asynchrones en fonction du type de rotor :

- Les moteurs asynchrones à rotor en court-circuit, de faible puissance.
- Les moteurs asynchrones à rotor bobiné à bagues dans lesquelles l'enroulement du rotor aboutit à des bagues par l'intermédiaire desquelles on peut insérer des résistances. Ils sont de grande puissance.

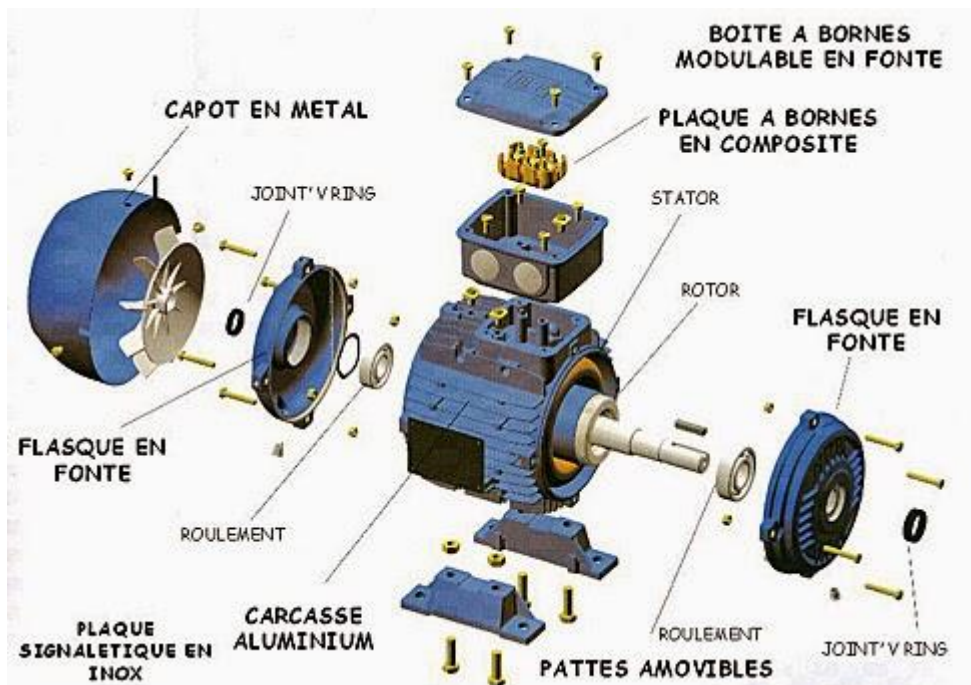


Figure I -16 : Moteur Asynchrone.

Pour le pilotage de ces moteurs, il est impératif de séparer la tension de commande de la tension de puissance. La tension de commande doit être en très basse tension 24 Volts puisqu'un opérateur humain sera amené à intervenir et la tension de puissance sera en basse tension 380 v. Il sera donc nécessaire de différencier physiquement sur un circuit ces deux tensions. Le moteur est relié au réseau par deux dispositifs de sécurité : relai thermique, sectionneur.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

- Démarrage d'un moteur asynchrone

Dans ce cas les enroulements du stator sont couplés directement sur le réseau, le moteur démarre et atteint sa vitesse nominale.

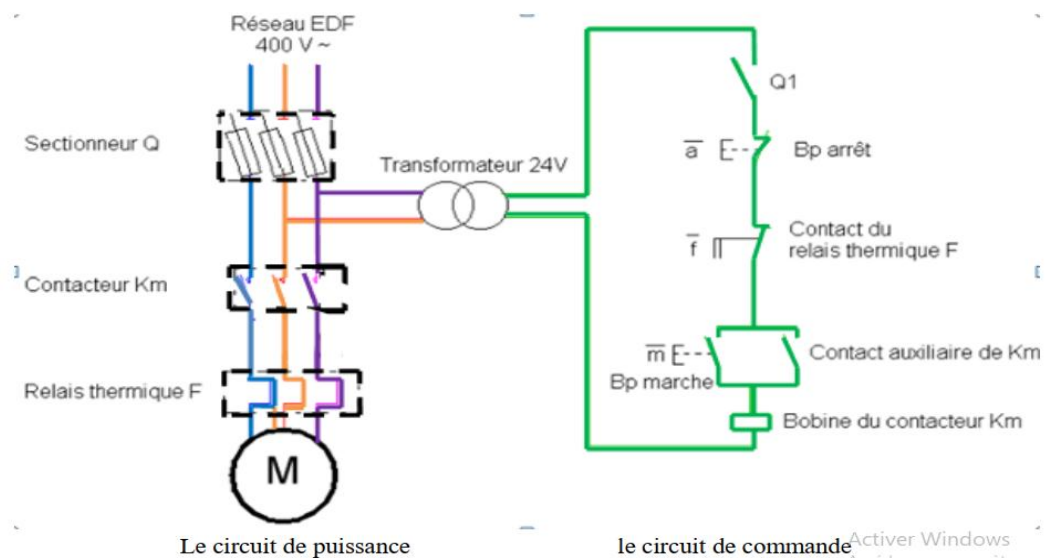


Figure I -17: démarrage direct d'un moteur triphasé.

Après avoir fermé le sectionneur Q, l'action sur BP marche excite la bobine du contacteur Km qui s'autoalimente par le contact auxiliaire de Km.

- ✓ **Le sectionneur (Q) :**

Il permet de déconnecter le moteur du réseau pour des opérations de maintenance, protège également le dispositif en aval des risques de court-circuit grâce aux fusibles.

- ✓ **Le relais thermique (F) :**

Protège le circuit contre les surcharges de courant, l'intensité maximale est réglable. Son action différentielle permet de détecter une différence du courant entre les phases en cas de coupure d'une liaison par exemple.

- ✓ **Le contacteur (Km) :**

Permet d'alimenter le moteur avec une commande manuelle ou automatique avec un automate programmable.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

III-2-3) Ejecteur

C'est un assemblage mécanique exploitant la dépression créée par l'effet Venturi et permettant à l'aide d'un premier fluide pressurisé, de comprimer un second fluide en les mélangeant. Appareil à fonctionnement statique permettant d'obtenir le vide dans une enceinte, ce dernier correspond à la pression d'aspiration de la vapeur ou du gaz exigé par les besoins du procédé la pression d'aspiration est obtenue grâce aux lois de la thermodynamique et de la mécanique des fluides. A la sortie de la tuyère l'énergie potentielle du fluide moteur est transformée en énergie cinétique.

III-3) Armoire de commande

L'armoire de commande est équipée par un séquenceur de la firme Toshiba qui est le Programmeur à clavier PLK-2. Il peut gérer jusqu'à 42 entrées et 32 sorties. Il est compact. Sur la façade de cette armoire se trouve un tableau de commande constitué de plusieurs lampes, boutons poussoirs, etc.



Figure I -18 : Armoire de commande.

Chapitre 01 : Description et étude du fonctionnement de la station.

IV- Conclusion

Ce chapitre a été consacré à la description des éléments de la station et à l'étude de son cycle de fonctionnement, et l'explication du procédé d'épuration d'eau de manière bien détaillé afin de faciliter la modélisation qui sera présenté dans le chapitre suivant.

Chapitre 02 :
Modélisation du processus par
l'outil GRAFCET

I-Introduction

Pour la communication analytique et la compréhension, le fonctionnement d'un système automatisé doit être modélisé. Selon le cycle de vie du système, le modèle variera pour répondre à des besoins spécifiques et différents (schémas mécaniques, algorithmes, etc.).

Bien que l'utilisateur qui doit comprendre ou modifier le modèle initial à des fins de conduite et/ou de maintenance à des objectifs différents de ceux du concepteur, il est souvent incapable de découvrir et de comprendre le fonctionnement du système. Automatiser uniquement à partir de la documentation produite lors de la conception. Ainsi, les méthodes et outils utilisés doivent pouvoir véhiculer les informations développées tout au long du cycle de vie du système. Les opérations d'un système automatisé peuvent être représentées par une collection appelée GRAFCET.

À l'heure actuelle le GRAFCET est devenu plus qu'un outil de description, c'est un langage de programmation. Il est considéré comme un outil simple, permettant de modéliser parfaitement le système en tenant compte des contraintes physique et logique du fonctionnement.

II-Modélisation

II-1) Définition du GRAFCET [4]

Le Grafcet est un diagramme fonctionnel, Il permet de représenter par un graphe le fonctionnement d'un système automatisé, dont le but est de décrire graphiquement, les différents comportements et l'évolution d'un automatisme séquentiel (en tout ou rien), suivant un cahier des charges.

Il est simple à utiliser et constitue un outil de dialogue entre toutes les personnes collaborant à la conception, à l'utilisation et à la maintenance de la machine à automatiser.

C'est un langage universel ; qui peut se câbler par séquenceur, être programmé sur automate ou sur ordinateur.

Le Grafcet passe du langage de spécification au langage d'implémentation utilisé pour la réalisation de l'automatisme.

Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

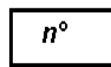
Ce système est composé par trois parties essentielles qui sont : Partie pupitre ; Partie commande ; Partie opérative.

❖ SIGNIFICATION

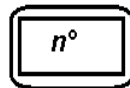
Au choix : **GR**aphe de l'**AF**CET ou **GR**aphe**F**onctionnel de **C**ommande **E**tape **T**ransition.

II-1-1) Normalisation (Symbolisation du Grafcet)

1). Les étapes sont représentées par des carrés.



2). Les étapes initiales sont représentées par des carrés doubles



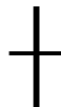
3). Les liaisons orientées de haut en bas ne sont pas fléchées.



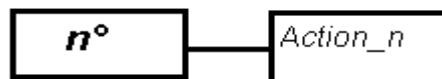
4). Les liaisons orientées de bas en haut sont fléchées.



5). Les transitions sont représentées par des segments orthogonaux aux liaisons orientées.



6). Les actions s'écrivent à droite des étapes.



7). Les réceptivités s'écrivent à droite des transitions.

II-1-2) Les éléments de base du GRAFCET

Le Grafcet correspond à une succession alternée d'étapes et de transitions, qui relie avec des liaisons.

Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

II-1-2-a/ Les étapes

Les étapes caractérisent un comportement de la partie commande. Elles modélisent l'état du système. Une étape peut être soit active, soit inactive.

La situation d'un automatisme est définie par l'ensemble de toutes les étapes actives.

L'ensemble des étapes actives à un instant donné constitue la situation du Grafcet et les actions associées sont exécutées.

Chaque étape est associée au comportement ou à l'action à obtenir.

II-1-2-b/Etape initiale

Elle représente le système à l'état repos initial, elle est **avivée** au début du cycle.

II-1-2-c/Les actions

A chaque étape est associée une action ou plusieurs. On peut rencontrer aussi une même action associée à plusieurs étapes ou une étape sans action. Les actions associées à une étape ne sont effectives que lorsque l'étape est active.

L'action associées à l'étape peut être de type continue, conditionnelle ou mémorisée.

- **Action continue**



- **Action conditionnelle simple : Type C**



- **Action retardée : type D (Delay)**

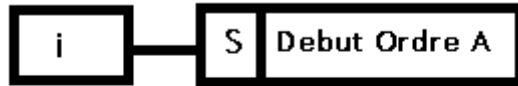


Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

- Action limitée dans le temps : Type L (limited)



- Actions mémorisées



- Action temporisée

Enclenche un temporisateur T (ici T4)

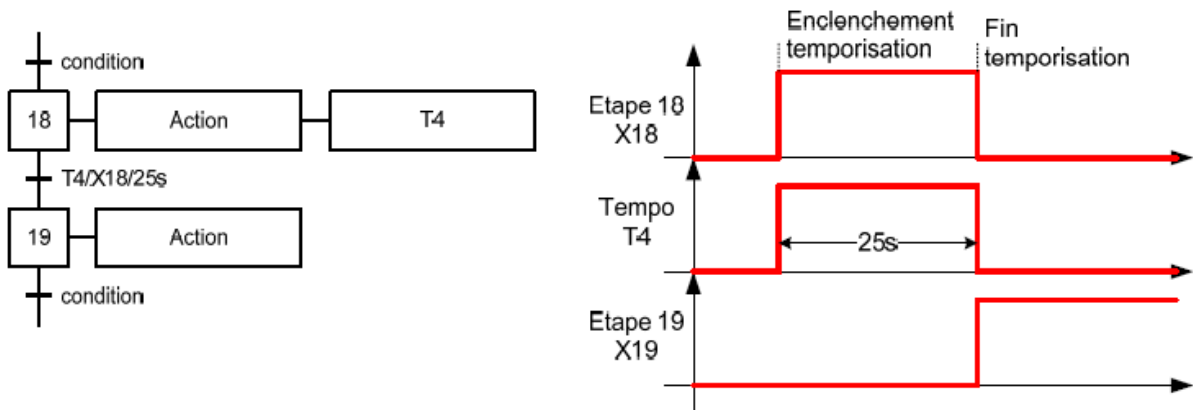
Exemple :

Syntaxe d'une réceptivité : **T4 / X18 /25s**.

T4 : repère du temporisateur, ici n° 4.

X18 : numéro de l'étape qui lance la temporisation.

25s : durée de la temporisation.



II-1-2-d /Les transitions

Une transition est une condition permet le passage d'une étape à une autre. La validation d'une transition si lorsque toutes les étapes immédiatement reliées à cette transition sont actives ou non

Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

validée dans le cas contraire. Elle peut être franchie lorsqu'elle est validée et que la condition logique (réceptivité.) associée à cette transition est vraie.

II-1-2-e/ Réceptivité

Chaque transition est associée à une condition logique appelée réceptivité qui peut être soit vraie ou fausse. Elle peut être en fonction des variables externes (entrées, consignes affichées par l'opérateur) ou internes (compteurs, temporisations, étapes actives ou inactives).

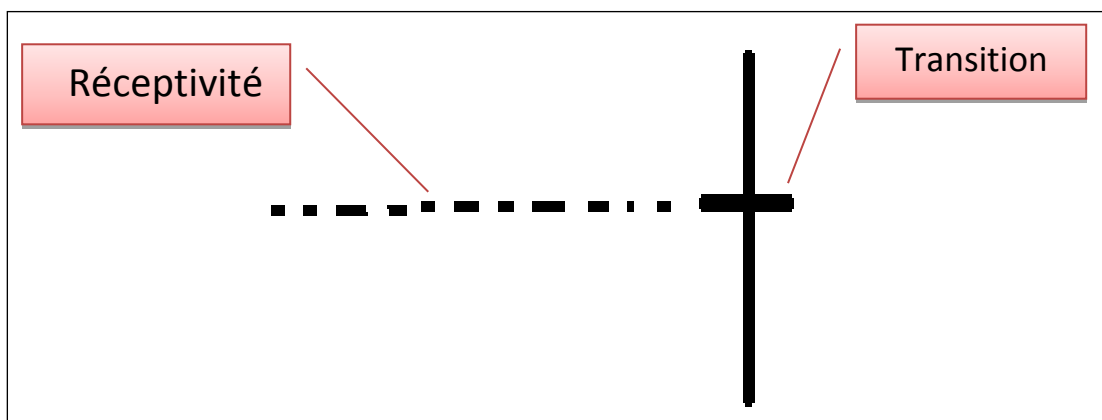


Figure II -1 : Transition et Réceptivité

II-1-2-f/Les liaisons

La liaison est un arc orienté reliant les étapes aux transitions et les transitions aux étapes.

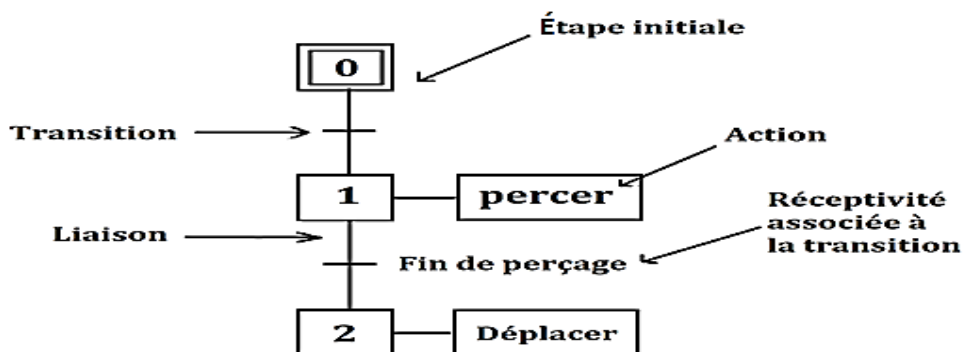


Figure II -2 : Les éléments du GRAFCET

Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

II-1-3) Règles d'évolution d'un GRAFCET

La modification de l'état de l'automatisme est régie par 5 règles :

❖ Règle N°1 : (Initialisation)

Sa situation initiale caractérise le comportement initial de la partie commande vis-à-vis de la partie opérative. Elle correspond aux étapes actives au début du fonctionnement.

❖ Règle N°2 : (Franchissement d'une transition)

Une transition est validée (susceptible d'être franchie) lorsque toutes les étapes précédentes sont actives.

La transition est franchie lorsqu'elle est validée ET lorsque la réceptivité associée est vraie.

- Cette règle donne la condition de l'ACTIVATION de l'étape **n** :

$$C_{ACTIVE} \cdot X_n = X_{n-1} \cdot t_{n-1}$$

❖ Règle N°3 : (Evolution des étapes actives)

Le franchissement d'une transition entraîne l'activation de toutes les étapes immédiatement suivantes et la désactivation de toutes les étapes immédiatement précédentes. (Dans le cas d'un grafcet à une ou plusieurs séquences).

- Cette règle donne la condition de DESACTIVATION de l'étape **n** :

$$C_{DISACTIVE} \cdot X_n = X_n \cdot t_n = X_{n+1}$$

❖ Règle N°4 : (Évolutions simultanées)

Plusieurs transitions simultanément franchissables, sont simultanément franchies.

❖ Règle N°5 : (Activation désactivation simultanées d'une étape) :

Si une même étape doit être activée et désactivée simultanément, elle reste active. (Se rencontre rarement dans la pratique)

II-1-4) Structure de base

✓ Séquence unique :

C'est une suite d'étapes qui peuvent être activées les unes après les autres. Chaque étape n'est suivie que par une seule transition et chacune d'elle n'est validée que par une seule étape.

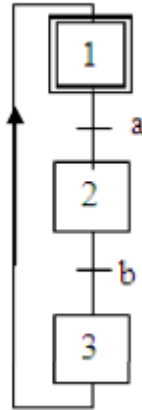


Figure II-3 : Représentation graphique d'une séquence unique.

✓ Séquences simultanées (ET)

C'est lorsque le franchissement d'une transition conduit à activer plusieurs séquences en même temps. Les séquences simultanées débutent toujours sur une réceptivité unique et se terminent toujours sur une réceptivité unique.

Elle est composée d'une seule étape et d'une seule transition en amont qui permet de déclencher simultanément plusieurs séquences d'étape. Après l'activation simultanée de ces séquences, les évolutions des étapes actives dans chacune des séquences deviennent alors indépendantes.

Elle est représentée à l'aide d'un double trait horizontal.

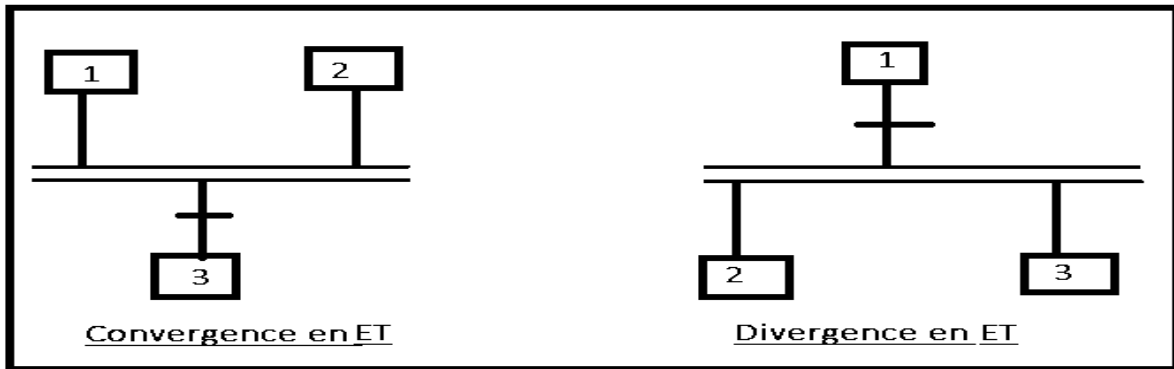


Figure II -4 : Représentation graphique d'une séquence simultanée <ET>

✓ Sélection de séquence (OU)

Cette structure permet de choisir une suite d'étapes plutôt qu'une autre c-à-d Lorsque, à partir d'une étape, on peut effectuer un choix entre plusieurs séquences possibles conditionnées par plusieurs réceptivités exclusives. Elle est composée d'une seule étape en amont et de plusieurs transitions en aval qui permettront le choix de la séquence.

Elle est représentée à l'aide d'un simple trait horizontal

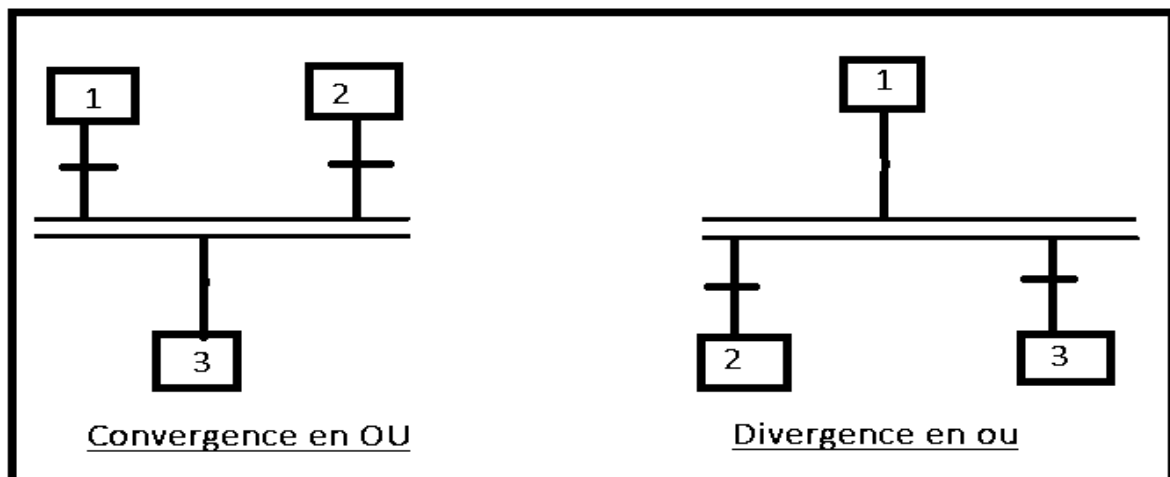


Figure II - 5 : Représentation graphique d'une sélection de séquences <OU>

✓ Saut en avant

Permet de sauter une ou plusieurs étapes lorsque les actions à réaliser deviennent inutile.

Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

✓ Saut en arrière :

Le saut en arrière permet de reprendre une séquence lorsque les actions à réaliser sont répétitives.

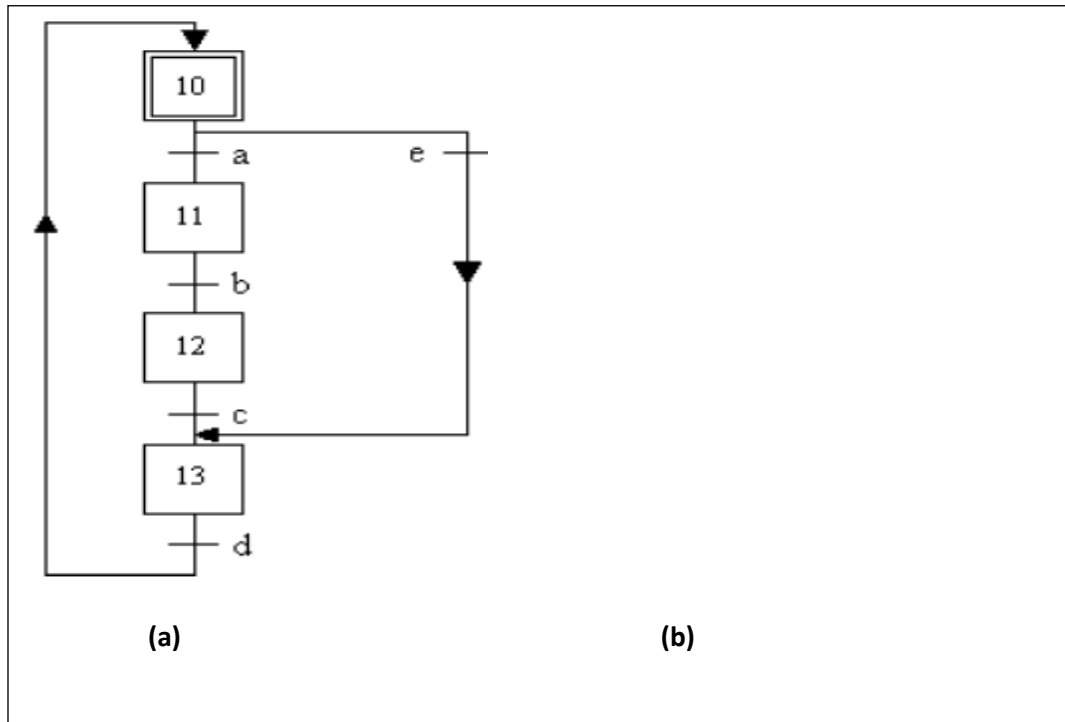


Figure II – 6:(a) Saut de phase en avant / (b) Saut de phase en arrière.

II-1-5) Les niveaux de GRAFCET

✓ GRAFCET du niveau 1

Appelé niveau de la partie commande. C'est une spécification fonctionnelle de la partie opérative.

Le système sera décrit sous forme littérale, sans tenir compte de la technologie utilisée c-à-d les réceptivités sont décrites en mots et non en abréviation. Il est utilisé pour expliquer un système à des non professionnels ou établir un cahier des charges.

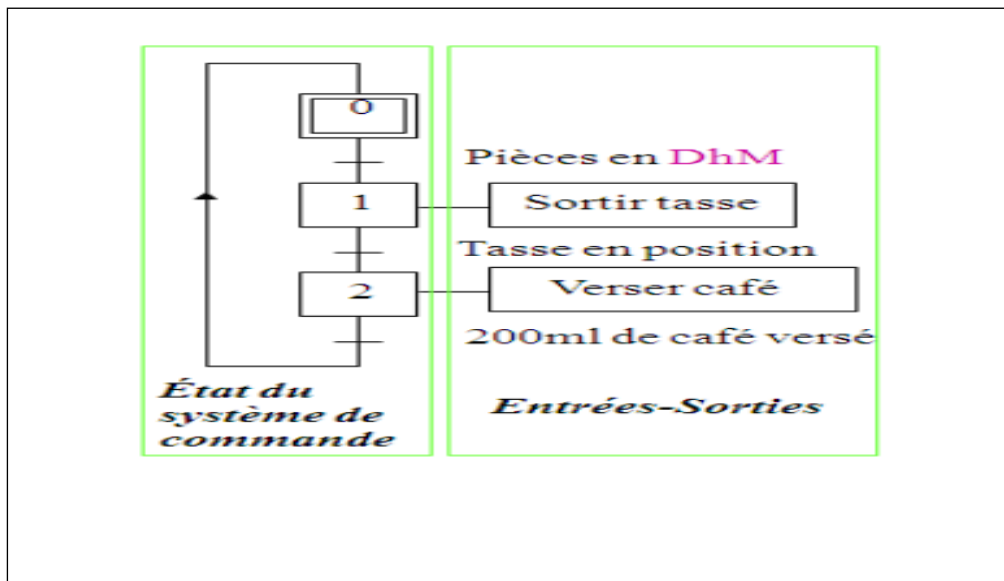


Figure II -7 : Exemple GRAFCET « NIVEAU 1 »

✓ GRAFCET du niveau 2

Appelé niveau de la partie opérative. C'est une spécification technologique. Le langage est codé. Il reçoit des informations et émet des ordres.

Il tient compte de plus de détails des actionneurs, des pré actionneurs et des capteurs. Les mots et les réceptivités sont écrites en abréviation et non en mots. Il est utilisé pour la réalisation ou le dépannage des systèmes automatisés.

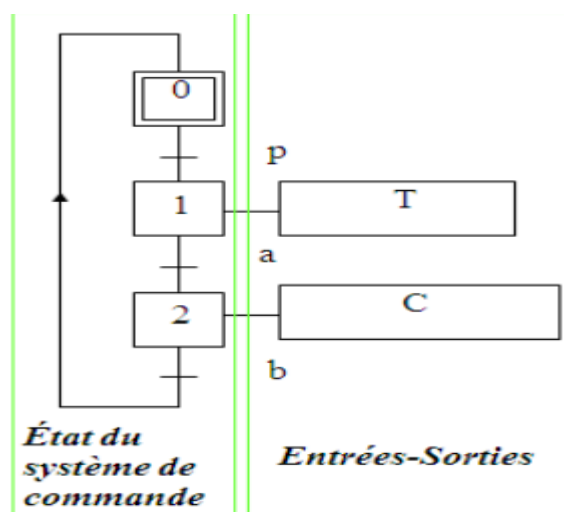


Figure II -8 : Exemple GRAFCET « NIVEAU 2 »

Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

✓ GRAFCET du niveau 3

Dans ce cas on reprend le Grafcet de niveau 2, en affectant les informations aux étiquettes d'entrée de l'automate et les ordres aux étiquettes de sortie de l'automate. Il s'adapte aux caractéristiques de traitement d'un automate programmable industriel donné, de façon à pouvoir élaborer le programme, procéder à la mise en œuvre et assurer son évolution

Pour réaliser ce type de GRAFCET on définit les entrées et les sorties de l'automate programmable. Le **I** désigne l'entrée de l'automate programmable et le **Q** désigne une sortie de l'automate programmable.

Entrées automate programmable		Sorties automate programmable	
Pièce en DHM(Capteur)	I0.0	Sortie de tasse	Q0.0
Tasse en position (Capteur)	I0.1	Verser Café	Q0.1
200ml de café verse (Capteur)	I0.2		

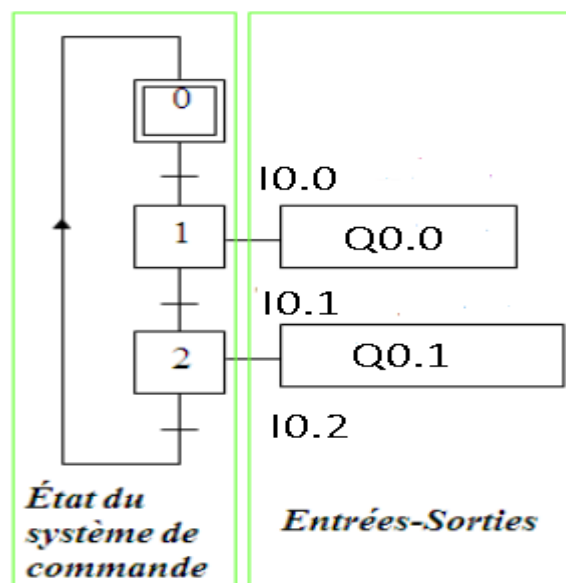


Figure II -9 : Exemple GRAFCET « NIVEAU 3 »

II-1-6) Mise en équation du GRAFCET

Chaque étape du GRAFCET peut être représenté par l'équation suivante :

$$X_n = (X_{n-1} \cdot R_1 + X_n) \cdot \overline{X_{n+1}}$$

L'état d'une étape X_n peut être noté comme suit :

- $X_i = 1$ Si l'étape n est active
- $X_i = 0$ Si l'étape n est inactive

De plus, la réceptivité qui est une variable binaire a pour valeur :

- $t_i = 1$ Si la réceptivité est vraie.
- $t_i = 0$ Si la réceptivité est fausse.

Soit la variable d'arrêt d'urgence dur (AUD) et d'arrêt d'urgence doux (AUd) tel que :

- $AUD = 1$ Désactivation de toutes les étapes.
- $AUd = 1$ Désactivation des actions, les étapes restent actives.

Pour une étape initiale, on définit aussi la variable Init comme suit :

- $Init = 1$ Initialisation du Grafcet (mode d'arrêt)
- $Init = 0$ Déroulement du cycle (mode marche).

II-2) Application du GRAFCET pour modéliser la machine

II-2-1) Liste des capteurs et actionneurs

❖ Réservoir d'eau brute

- 1 moteur (PM01)
- 1 pompe (P01)
- 1 soupape de diaphragme pneumatique (AV01)
- 1 contacteur de niveau à flotteur (LS_01) à 4 niveaux : B, M, H et HH.

❖ Colonne échangeuse de cations

- 5 soupapes de diaphragme pneumatique (AV21, AV22, AV23, AV24, AV25).

Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

❖ Tour de dégazage

- 1 moteur (PM02)
- 1 pompe(P02)
- 1 contacteur de niveau à flotteur (LS_02) à 2 niveaux : B, et H.
- 1 souffleur (BL).
- 1 moteur du souffleur (BLM).

❖ Colonne échangeuse d'anions

- 6 Soupapes de diaphragme pneumatique (AV31, AV32, AV33, AV34, AV35, AV36).
- 1 Conductimètre (CDD).

❖ Tour de réservoir d'eau pure

- 1 Moteur (PM04).
- 1 Pompe(P04).
- 1 Contacteur de niveau à flotteur (LS_03) à 4 niveaux : B, M, H et HH.
- 1 Totalisateur de débit (FO04).

❖ Bac de dosage d'acide chlorhydrique

- 1 Contacteur de niveau à flotteur (LS_04) à 2 niveaux : B, et H
- 3 Soupapes de diaphragme pneumatique (AV26, AV27, AV28).
- 1 Ejecteur (EJR01).

❖ Bac de dosage de soude caustique

- 1 Contacteur de niveau à flotteur (LS_05) à 2 niveaux : B, et H.
- 2 Soupapes de diaphragme pneumatique (AV37, AV38).
- 1 Ejecteur (EJR02).

❖ Réservoir de stockage d'acide chlorhydrique

- 1 moteur (PM05)
- 1 pompe(P05)
- 1 contacteur de niveau à flotteur (LS_06) à 3 niveaux : B, M et H.

❖ Réservoir de stockage de soude caustique

- 1 moteur (PM03)
- 1 pompe(P03)
- 1 contacteur de niveau à flotteur (LS_07) à 3 niveaux : B, M et H.

❖ Filtre à charbon actif :(FSR)

- 5 soupapes de diaphragme pneumatique (AV11, AV12, AV13, AV14, AV15).

❖ Tour d'échangeur de chaleur

Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

- 2 soupapes de diaphragme pneumatique (AV36, AV40).
- 1 thermomètre TG_04.

II-2-2) Additif

❖ Bac de soudage d'eau récupérée

- 1 moteur (PM06)
- 1 pompe(P06)
- 1 contacteur de niveau à flotteur (LS_07) à 2 niveaux : B et H.
- Aux soupapes manuelles d'admission et d'alimentation des différentes pompes sont rajoutées en parallèle des soupapes pneumatiques (SOUP_AV) prioritaires.
- Rajouts de capteur de débit (3) au niveau des pompes P03, P04, P05 pour protéger ces pompes contre le fonctionnement à vide.

II-2-3) Conditions initiales

Les conditions à réaliser avant la mise en marche de la station sont les suivantes :

- ✓ Toutes les vannes manuelles doivent être ouvertes.
- ✓ Le ballon de stockage d'air alimenté.
- ✓ La température de l'eau chauffant la soude caustique est de 60°C à 70 °C.
- ✓ Confirmer la présence de soude caustique à 25% et l'acide chlorhydrique à 35%.

II-2-4) Cahier de charge

Le cahier des charges d'un automate est la description de son comportement en fonction de l'évolution de son environnement.

Le cahier des charges est un document où sont spécifiées toutes les fonctions, toutes les valeurs des grandeurs physiques et tous les modes d'utilisation du matériel.

Notre Cahier de charge :

On dispose d'un pupitre de commande pour lancer la station. Pour commencer

- ❖ On active le bouton disjoncteur ce qui permet l'allumage des LED alimentation principale et celle du tableau de commande.

Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

- ❖ On met les switches sur mode AUTO et en appuyant sur le bouton départ cycle la LED du début de fonctionnement s'allume.

II-2-4-a) Remplissage du réservoir d'eau brute

- ✓ Le niveau bas (N_B_R_O_B) du réservoir d'eau brute enclenchera l'alarme1 (alarme niveau bas eau brute) ainsi que le vibreur qui s'interrompt dès qu'il atteint son niveau moyen.
- ✓ Si le capteur du réservoir d'eau récupéré indique niveau haut alors la pompe B ainsi que les électrovannes AV11 et AV15 s'enclenche et s'arrête dès que le réservoir d'eau brute atteint son niveau haut.
- ✓ Le réservoir peut être rempli de manière manuelle en activant la vanne AV10.

II-2-4-b) Vidange (lavage de la tour anions et cations)

- ✓ Le niveau haut du réservoir d'eau brute déclenche la pompe d'eau brute ainsi que les vannes AV21 et AV24 pour effectuer le lavage de la tour de cations durant 4Min.
- ✓ Une fois le temps achevé la vanne AV24 se ferme et le lavage de la tour d'anions est lancé et la vanne AV25 s'ouvre. Le niveau haut du réservoir d'eau dégazé déclenche la pompe de dégazage ainsi que l'ouverture des vannes AV31 et AV34 ainsi le lavage prend 11 Min une fois le temps écoulé AV34 se ferme.
- ✓ Après que la vidange soit épuisée un test de conductivité est effectué du coup si la conductivité est :
 - Bonne : il effectue la production d'eau pure.
 - Mauvaise : il enclenche le processus de régénération.

II-2-4-c) Fonctionnement en cas de bonne conductivité

- ✓ Si le réservoir d'eau pure affiche niveau haut alors la pompe d'eau pure est enclenchée mais dès qu'il atteint son niveau bas elle s'arrête.
- ✓ Si le capteur affiche niveau très haut alors un processus de circulation est démarré ce qui permet l'ouverture de AV39 et la fermeture de AV35.
- ✓ Dès que le niveau s'abaisse le processus est repris du coup ouverture d'AV35 et fermeture d'AV39.

II-2-4-d) Fonctionnement en cas de mauvaise conductivité : dans ce cas il effectue plusieurs opérations on site :

II-2-4-d-1) nettoyage du filtre

- ✓ Pour que le nettoyage du filtre démarre il faut que le capteur d'eau brute affiche niveau haut ce qui enclenche la pompe d'eau brute et l'ouverture des vannes AV12 et AV13 durant 8 Min
- ✓ Une fois le temps achevé arrêt de la pompe d'eau brute et fermeture des vannes ouvertes précédemment ainsi l'enclenchement de la pompe de récupération
- ✓ Une fois la pompe de récupération démarré les vannes AV11 et AV14 s'ouvrent après ça il fait une temporisation de 10min
- ✓ Une fois les 10 Min terminé il attend 1S puis la pompe de récupération s'arrête et les vannes AV11 et AV14 se ferme et le nettoyage du filtre est terminé.

II-2-4-d-2) remplissage des bacs de dosage

- ✓ Si le capteur affiche niveau haut du réservoir de Hcl alors le démarrage de la pompe de Hcl est activé
- ✓ Une fois la pompe activée la vanne AV28 s'active
- ✓ Dès qu'il atteint son niveau bas la vanne av28 se ferme et la pompe s'arrête.
- ✓ Si le capteur affiche niveau haut du réservoir de NaOH alors le démarrage de la pompe de NaOH est activé
- ✓ Une fois la pompe activée la vanne AV38 s'active
- ✓ Dès qu'il atteint son niveau bas la vanne av38 se ferme et la pompe s'arrête
- ✓

II-2-4-d-3) régénération

- ✓ Une fois les bacs de dosage rempli et le réservoir d'eau brute indique son niveau haut la régénération peut enfin commencer une fois la pompe d'eau brute activé les vannes AV21 et AV25 s'ouvre ainsi le souffleur démarre.
- ✓ Le réservoir d'eau dégazé est à son niveau haut, la pompe de dégazage démarre et AV32et 33 s'ouvre après 5 Min les vanne AV (21, 25, 32, 33) se ferme et les pompe

Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

de dégazage et d'eau pure ainsi que le souffleur s'arrête. Les vannes AV22 et 23 s'ouvre

- ✓ Après un temps de 15 Min les vannes se referment, et une autre temporisation de 5 Min est lancée
- ✓ A la fin de la temporisation la pompe d'eau brute démarre et elle enclenche l'activation des vannes AV24, AV26, AV27.
- ✓ Une fois le capteur du bac de dosage de Hcl indique niveau bas la vanne AV27 se ferme et une temporisation de 20 Min est lancée.
- ✓ Une fois le temps écoulé la vanne AV26 se ferme et AV21 s'ouvre
- ✓ Après 10 Min AV24 se ferme et AV40 s'ouvre et le souffleur démarre.
- ✓ Dès que le niveau haut de l'eau dégazé est indiqué la pompe de dégazage démarre et les vannes AV (34, 36, 37) s'ouvre.
- ✓ Si la température est inférieure à 40 c la vanne av40 s'ouvre et si elle est supérieure elle se ferme
- ✓ Si le capteur indique niveau bas du bac de dosage de NaOH alors les vannes Av 37 et 40 se ferme et une temporisation de 1s est lancée.

II-2-4-d-4) fin de régénération

- ✓ A la fin des 1s une autre temporisation de 25 Min est déclenché, juste après fermeture de AV34 et ouverture de AV 39 et démarrage d'une temporisation de 10Min.
- ✓ Après que le temps soit écoulé fermeture de AV34 et ouverture de AV39 et un processus de circulation est lancé durant 30 Min
- ✓ A la fin de la tempo un test de conductivité est effectué et si elle est mauvaise une alarme anormale conductivité est signalé
- ✓ Le test est refait après 30Min si elle est bonne elle refait le même cycle et si elle est mauvaise elle repart à zéro.

II-3) Grafcet de la station de déminéralisation d'eau

II-3-1) Grafcet production d'eau pure de manière automatique

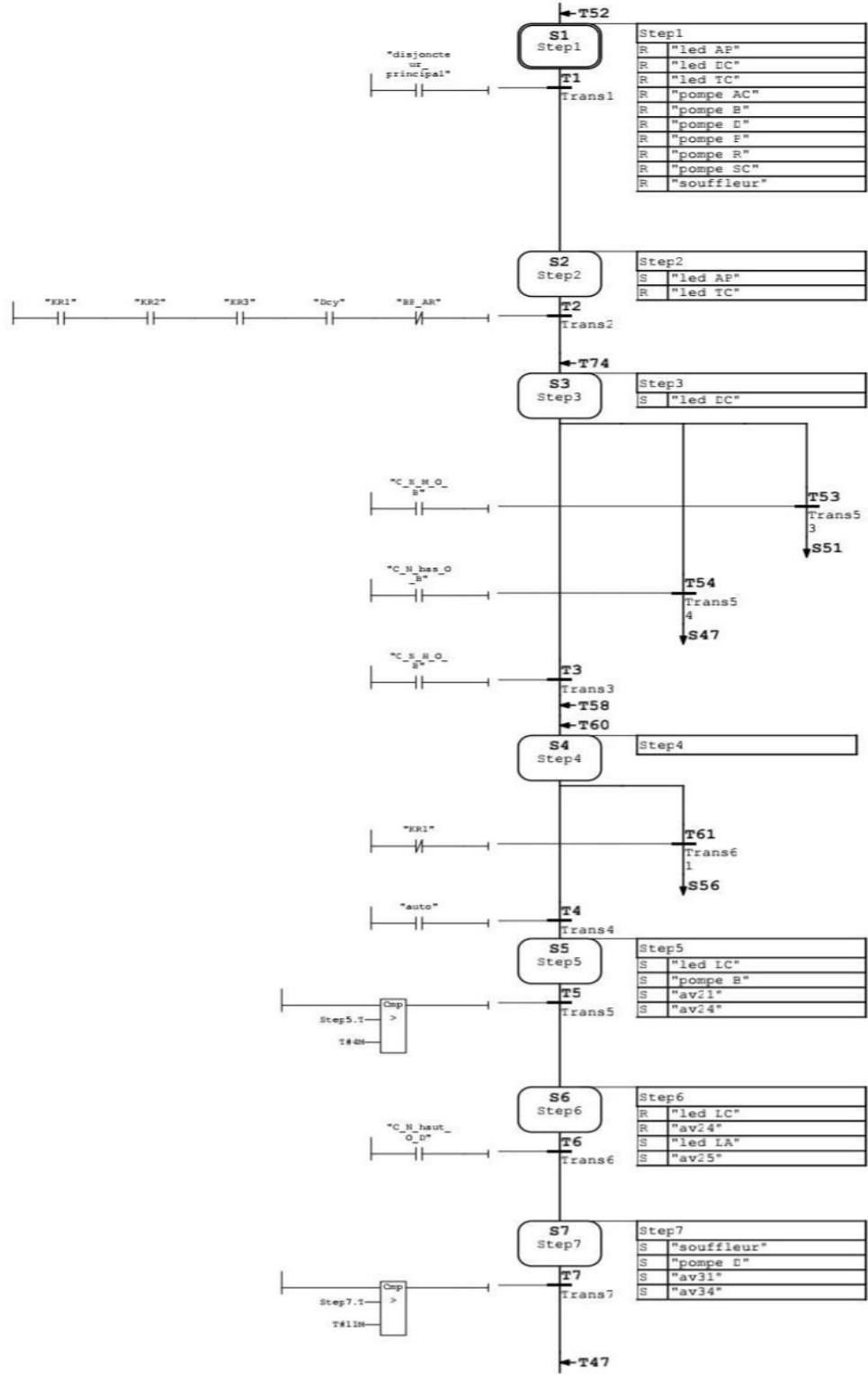
Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

SIMATIC

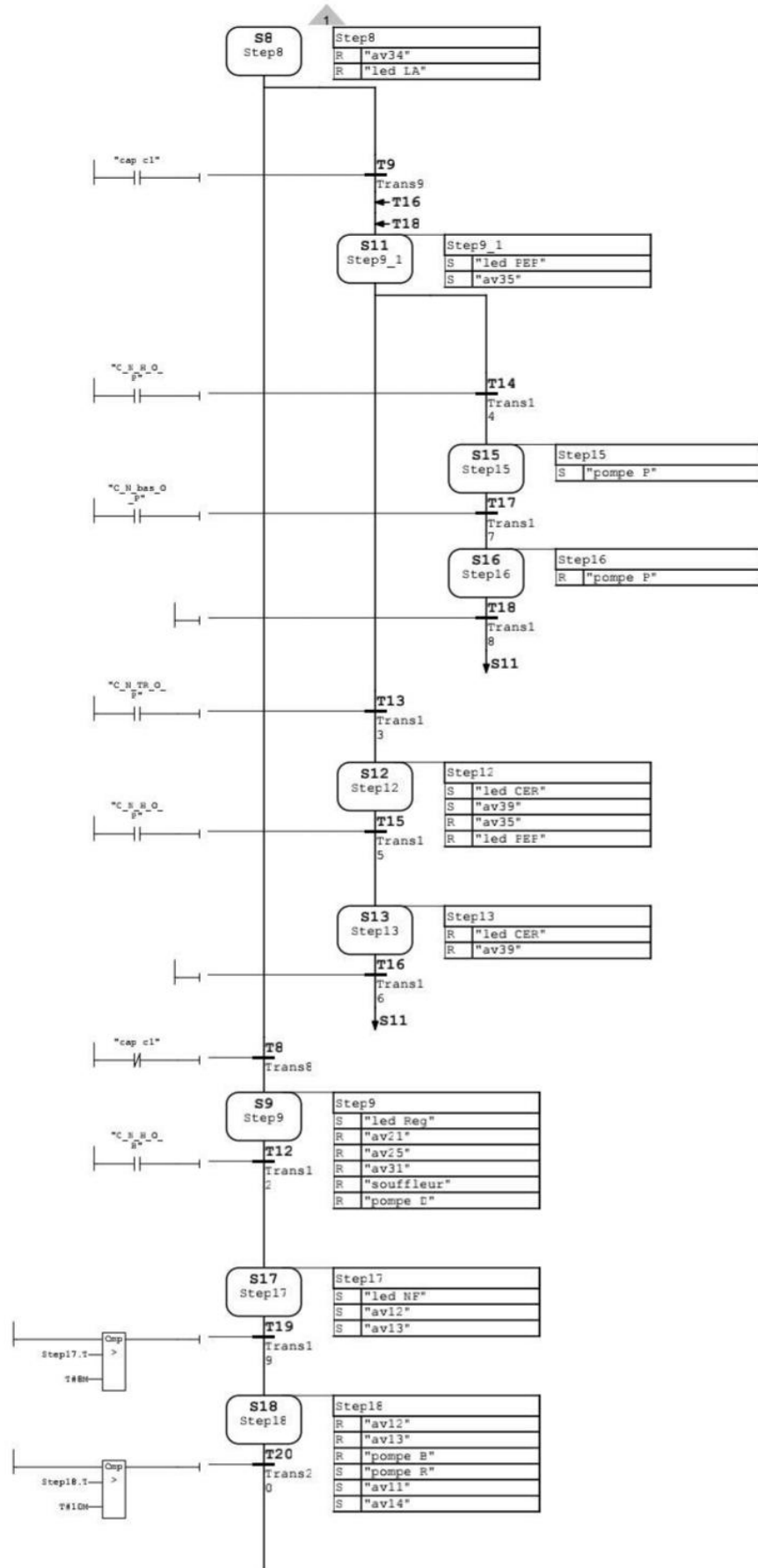
dddddddddddddddd\Station SIMATIC
300\CPU312(1)\...\FB1, DB1 - <Hors ligne>

06,

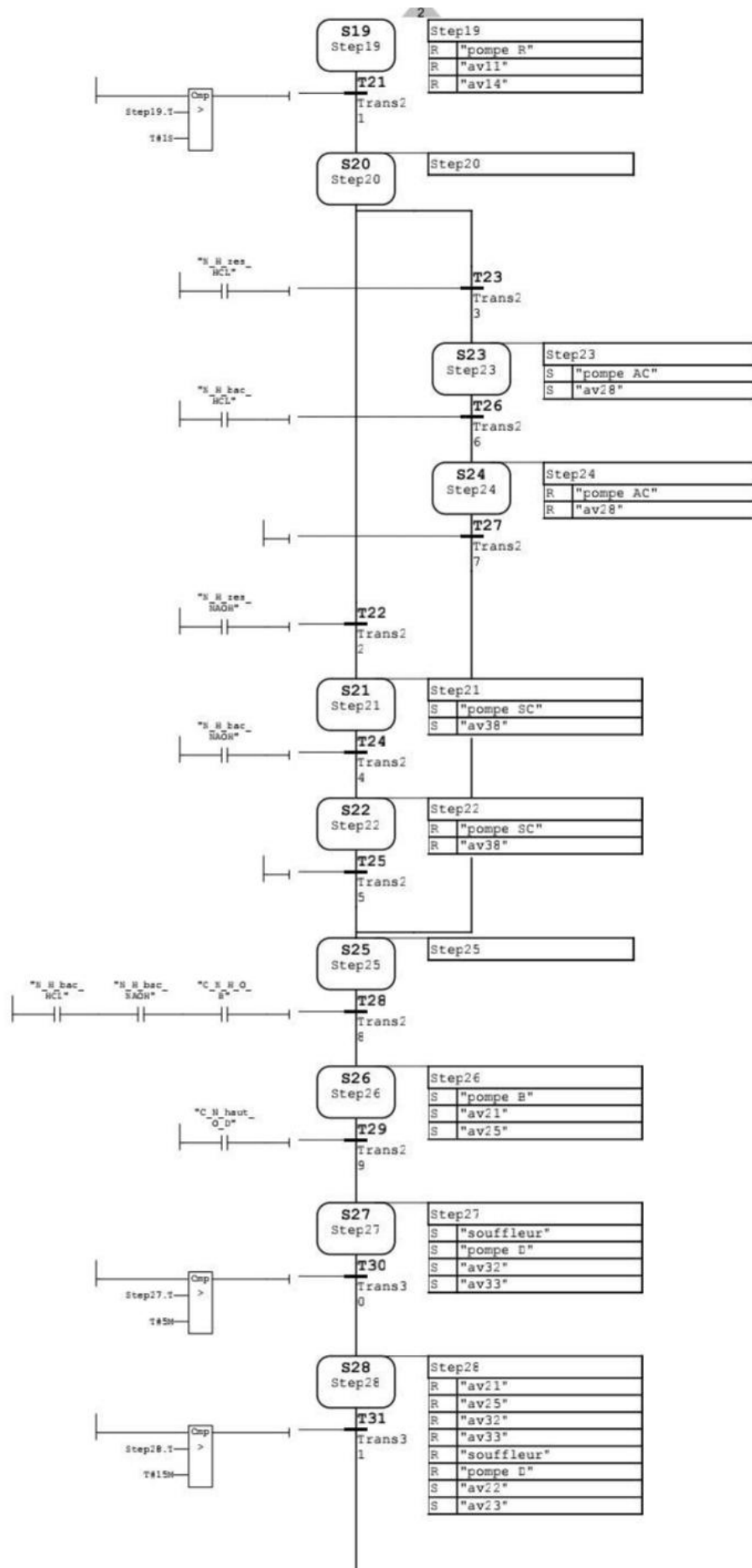
Commentaire de bloc



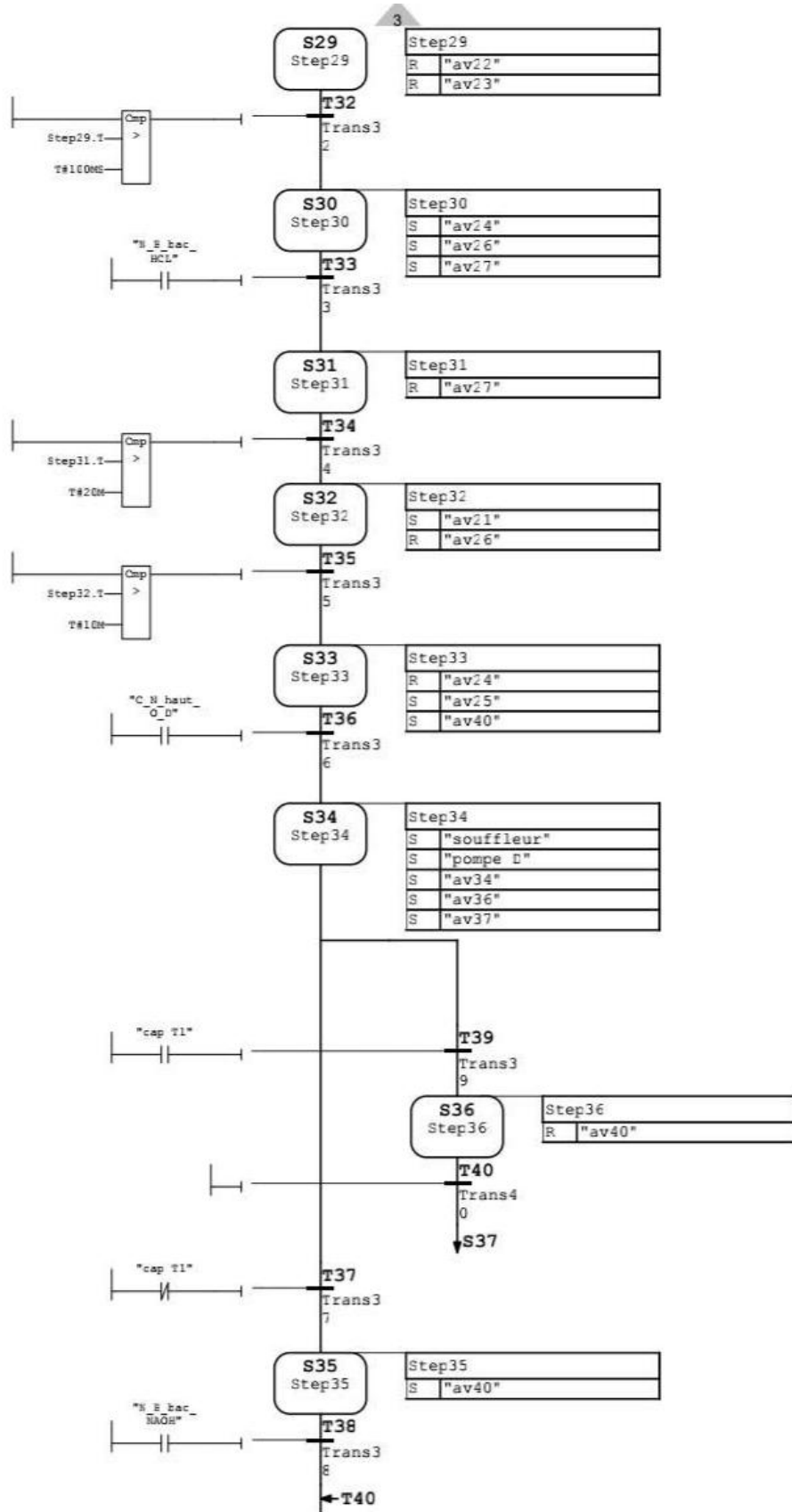
Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET



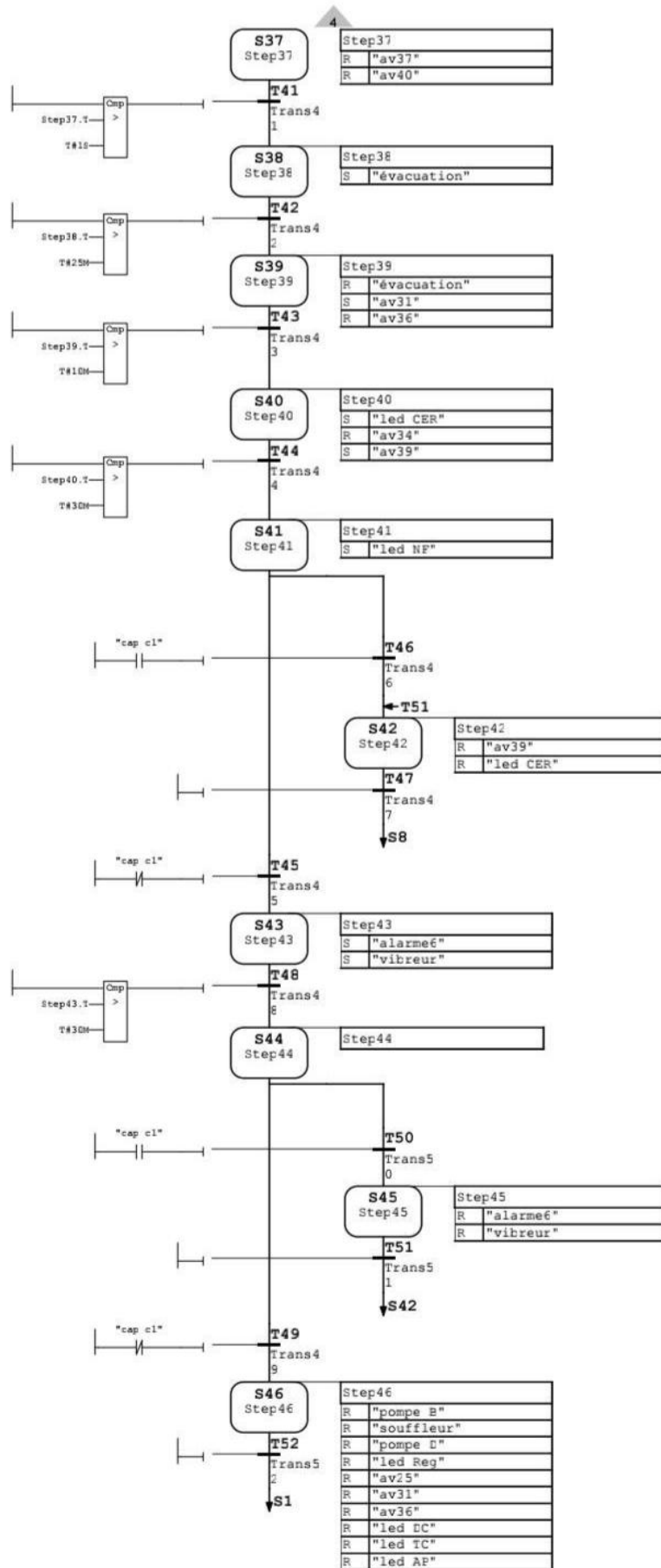
Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET



Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET



Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

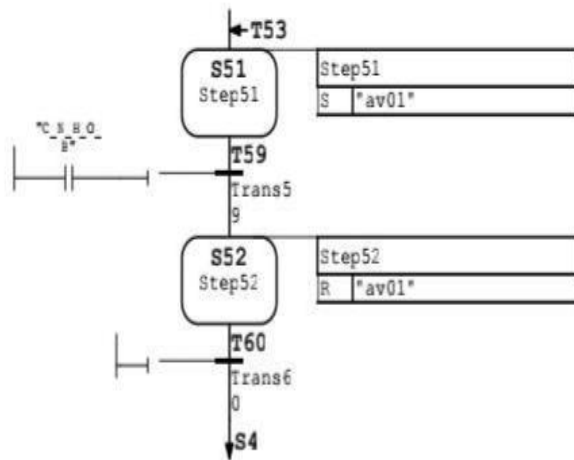


Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

II-3-2) Grafcet remplissage réservoir d'eau brute

Si le niveau du réservoir eau brute (niveau moyen)

SIMATIC dddddddddddddddd\Station SIMATIC
300\CPU312(1)\...\FB1, DB1 - <Hors li



Si le niveau du réservoir eau brute (niveau bas)

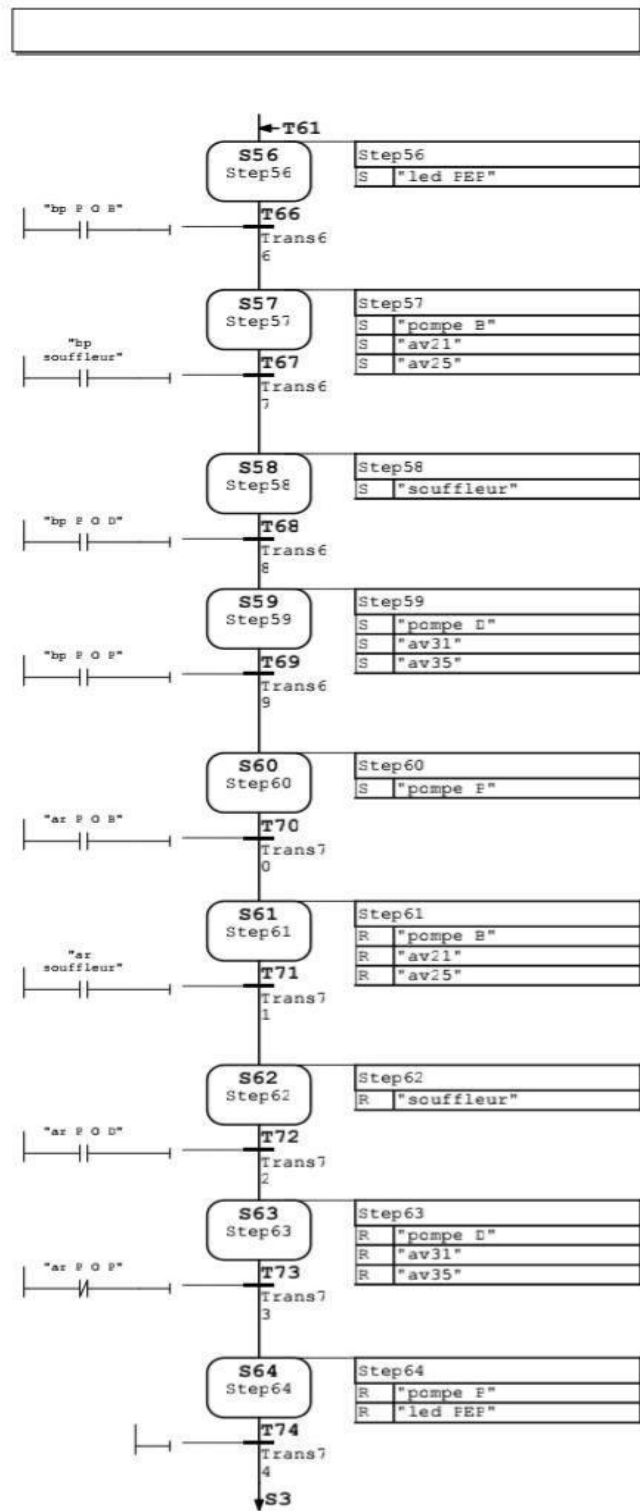
SIMATIC dddddddddddddddd\Station
300\CPU312(1)\...\FB1,



II-3-3) Grafcetproduction d'eau pure de manière manuelle

SIMATIC

dddddddddddddddd\Station
300\CPU312 (1)\...\FB1, DB1 -



Chapitre 02 : Modélisation du processus par l'outil GRAFCET

III - Conclusion

En tenant compte de la complexité et la difficulté du processus ainsi que des contraintes imposées par l'entreprise, nous avons modélisé le procédé de commande à l'aide du **GRAFCET**.

Au terme de ce chapitre nous concluons que le **GRAFCET** est un outil de modélisation qui permet facilement le passage d'un cahier des charges fonctionnel à un langage d'implantation optionnel.

Ainsi, le GRAFCET à faciliter considérablement le passage de la description à la modélisation et nous permettra au chapitre suivant d'aborder la programmation de la partie opérative qui pilotera le procédé et ce à l'aide de STEP7.

Chapitre 03:
**Développement d'une solution
programmable de la station
de déminéralisation d'eau**

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

I-Introduction

Depuis son existence sur terre l'homme n'a jamais cessé de penser, concevoir, et réaliser afin de rendre la science industrielle plus fiable, et plus facile à traiter, cela veut dire que l'homme a bien mis à sa disposition des multiples propositions, pour lui faciliter la tâche de fabriquer un grand nombre d'objet précis tout en gardant l'évidence du temps.

Actuellement, l'API est le constituant le plus répandu des automatismes. On le trouve non seulement dans tous les secteurs de l'industrie, mais aussi dans les services (gestion de parkings, d'accès à des bâtiments) et dans l'agriculture (composition et délivrance de rations alimentaires dans les élevages).

II-Définition d'un système automatisé

Un automatisme est un système qui, par le moyen de dispositifs mécaniques, hydraulique, ou électrique, est capable de remplacer l'être humain pour certaines tâches, simples ou complexes, les systèmes automatisés font partie de l'environnement de l'être humain. Il consiste en l'étude de la commande de systèmes industriels.

Un système automatisé est un système qui réalise des opérations aux quelle l'homme intervient seulement dans la programmation et dans les réglages qui permet aux systèmes de fonctionné avec une intervention humaine réduite au maximum ou sans.

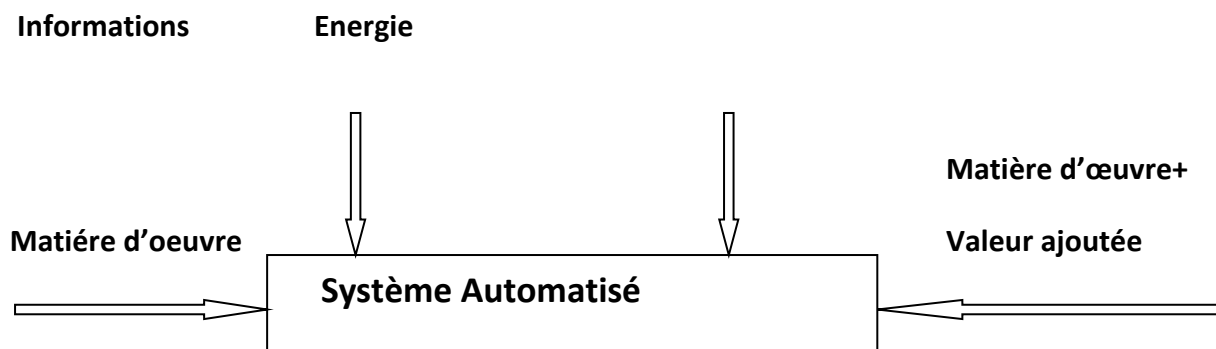
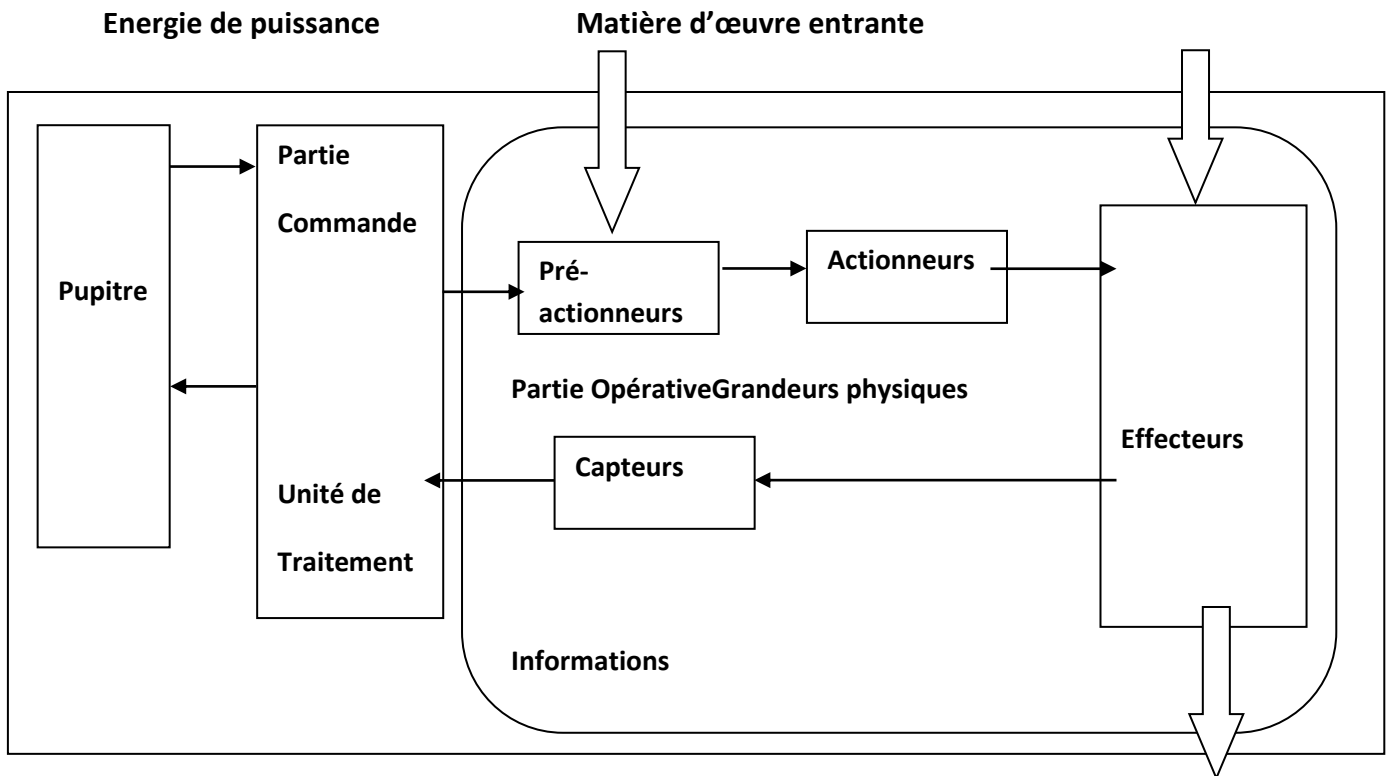


Figure III -1 : Environnement d'un système automatisé de production.

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

II-1) Structure d'un système automatisé

Un système automatisé est un ensemble d'éléments qui effectue des fonctions sans l'intervention de l'utilisateur, son ensemble comprend généralement les trois parties qui suit : partie commande, partie opérative et une partie relation (pupitre) qui permet de relier les deux parties précédentes.



Grandeurs physiques

Figure III-2 : Structure d'un système automatisé.

II-2) Les automates programmables industriels

Un automate programmable industriel est un dispositif électronique programmable par un personnel est destiné à piloter en ambiance industrielle en temps réel. Il est adapté à un maximum d'application d'un point de vue traitement sa programmation et son exploitation sont simple par la structure de son langage souvent symbolique et des moyens de programmation accessibles à l'électricien de maintenance.

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

II-2-a) Caractéristique d'un automate programmable industriel

Les automates programmables industriels sont caractérisés par :

- Compact /modulaire, tension d'alimentation.
- Taille de la mémoire.
- Nombre d'entrées/sorties.
- Langage de programmation.

II-2-b) Critères de choix d'un API

Afin de choisir un API il faut respecter les critères suivants :

- La fiabilité et la robustesse.
- La capacité du traitement du processeur (vitesse, opération, temps réel...).
- Le type et nombre d'entrées/sorties nécessaire.
- Les compétences et l'expérience de l'équipe d'automaticiens en mise en œuvre et en programmation de la gamme d'automate.
- La nature des entrées/sorties (Numériques, analogiques ou logiques).

III. Structure du programme

III -1) Présentation du S7-300

L'automate S7-300 est un automate à extensibilité modulaire, utilisé particulièrement dans l'industrie manufacturière. Il est fabriqué par la famille SIMATIC.

Le SIMATIC S7 désigne un produit de la société SIEMENS. Une vaste gamme de module est disponible. Ces modules peuvent être combinés selon les besoins lors de la conception d'une solution d'automatisation.

Le S7-300 met à la disposition des utilisateurs un logiciel pour la création et l'édition de leur projet.

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

III -1-1) Constitution de l'Automate S7-300

L'automate S7-300 possède :

- Des CPU de différents niveaux de performances
- Des Modules de signaux pour Entrées/Sorties « TOR » et analogique, ainsi que des Modules de fonction pour les différentes fonctions technologiques
- Une possibilité de mise à niveau par MPI
- Une largeur réduite des Modules, permettant un gain de place au montage
- Une structure compacte, lui permettant le placement aux milieux exigus.

III -1-2) Caractéristique de l'automate S7-300

L'automate S7-300 offre les caractéristiques suivantes :

- Une Gamme diversifiée de CPU.
- Une Gamme complète de modules.
- Une Possibilité d'extension jusqu'à 32 modules.
- Bus de fond de panier intégré au module.
- Possibilité de mise en réseau avec MPI PROFIBUS ou INDUSTRIAL ETHERNET.
- Un raccordement central de la console de programmation (PG) avec accès à tous les modules.
- Liberté de montage aux différents emplacements.
- Configuration et paramétrage à l'aide de l'outil configuration matériels.

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

II -1-3) La structure de l'automate S7-300

La structure de l'automate S7-300 est la suivant :

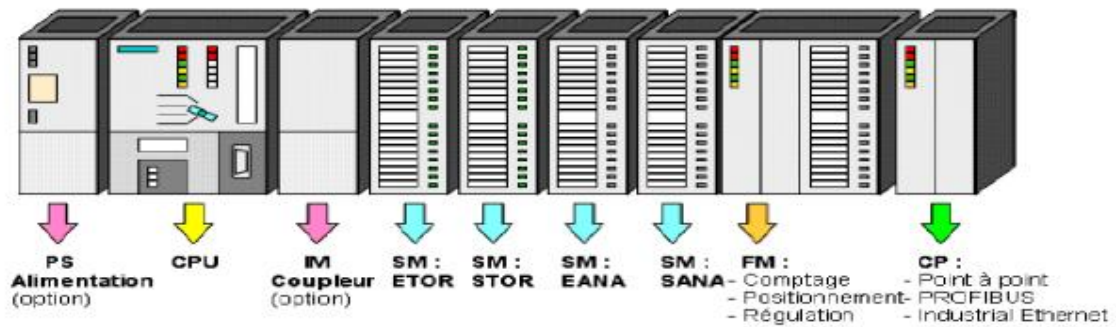


Figure III-3 : Structure du S7-300

III -1-4) Les modules constitutionnels de l'automate S7-300

➤ Module d'alimentation (PS)

Le module d'alimentation convertit la tension secteur 220/380V AC en 24V DC nécessaire pour l'alimentation de l'automate.

➤ Unité centrale (CPU)

La CPU est le cerveau de l'automate. Cette partie traite les données. Elle contient en mémoire le programme et élabore donc les ordres de commande.

Le S7-300 dispose de plusieurs modèles de CPU, offrant ainsi un choix diversifié à l'utilisateur.

Pour notre projet nous avons choisis **la CPU 312** qui offre les caractéristiques suivantes :

- La mémoire de travail de 32 ko.
- La vitesse : 0,2 ms/1000 instructions.
- La configuration sur une rangée pouvant comporter jusqu'à 8 modules.

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

- La communication S7 (FB/FC chargeable)

➤ **Module de coupleur (IM)**

Il est utilisé pour un couplage sur de courtes distances. Il est recommandé d'émettre les signaux via le bus PROFIBUS si le couplage de longue distance.

➤ **Module de fonction (FM)**

Son rôle est basé sur l'exécution de tâches de traitement des signaux du processus à temps critique et nécessitant une importante capacité mémoire comme la carte de comptage rapide. Elle permet d'acquérir des informations de fréquences élevées incompatibles avec le temps de traitement de l'automate.

➤ **Module de communication (CP)**

Les processeurs de communication (CP) permettent d'établir des liaisons hommes-machines, machines-machines qui sont effectuées à l'aide des interfaces de communication :

- Point à point.
- PROFIBUS.
- Industriel Ethernet.

➤ **Module de signaux (SM)**

Les modules de signaux (SM) servent d'interface entre le processus et l'automate. Il existe des modules d'entrées, modules de sorties TOR ainsi que des modules d'entrées et modules de sorties analogiques.

III -2) Programmation avec le SIMATIC STEP7

III -2-1) Définition du logiciel de programmation STEP 7

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

Le logiciel STEP 7 est un outil de base pour la configuration et la programmation des systèmes d'automatisation SIMATIC. Il permet à l'opérateur une utilisation simple et confortable de ses systèmes performants, ainsi que de programmer individuellement un automate. Il existe en plusieurs versions tel que : STEP micro/Dos et STEP7 micro/Win pour les applications S7-300 et S7-400.

Il permet la transformation des données commandés par événement à l'aide de blocs de communication Et de blocs fonctionnels.

III -2-2) Programmation de l'automate S7-300 [6]

La programmation des automates de la famille S7 se fait sur la console de programmation qui est actuellement le PC et sous un environnement **WINDOWS**. Le langage de programmation est le **STEP 7**.

Le logiciel STEP7 offre les possibilités suivantes :

- La configuration et paramétrage du matériel et de la communication.
- La création et gestion des projets
- La gestion des mnémoniques.
- Le test de l'installation d'automatisation.

III -2-3) Langage de programmation

Avec le logiciel Step7, le programme peut être représenté et programmé dans trois modes différents :

- ✓ Langage à contact « CONT ».
- ✓ Langage logique « LOG ».
- ✓ Langage listing « LIST ».

Le langage de programmation CONT, LOG et LIST pour S7-300/400 font partie du logiciel de base STEP 7

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

i. Langage à contact « CONT »

C'est un langage de programmation graphique. Il utilise les symboles tels que : contacts, relais et blocs fonctionnels et s'organise en réseaux (labels). Les entrées sont représentées par des interrupteurs -| |- (ou -|/|- si entrée inversée), les sorties par des bobines -()-.

C'est le plus utilisé car Il permet de suivre facilement le trajet du courant entre les barres d'alimentation en passant par les contacts, les éléments complexes et les bobines.

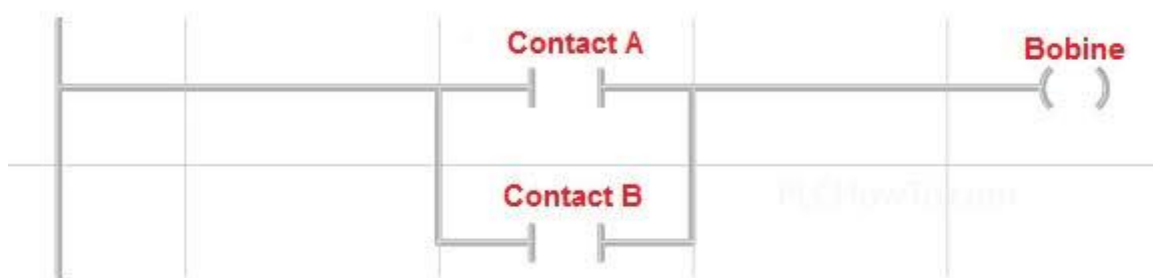


Figure III-4 : Schémas à contact

i. Langage logique « LOG »

Le logigramme est un langage graphique, utilisant les symboles de l'électronique numérique (portes logiques).

Les fonctions sont représentées par des rectangles avec les entrées à gauche et les sorties à droites. Les blocs sont programmés (bibliothèque) ou programmables.

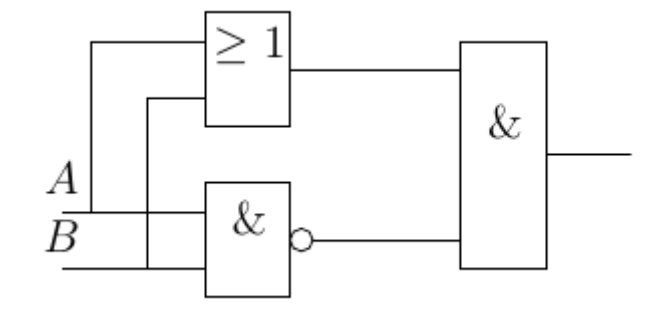


Figure III-5 : Schémas logigramme.

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

ii. Langage listing « LIST »

C'est un langage de programmation littéral proche du comportement interne de l'automate et de même nature que l'assembleur (programmation des microcontrôleurs). Très peu utilisé par les automaticiens, il permet d'obtenir des programmes optimisés en place mémoire et en temps d'exécution.

III -2-4) Structure d'un programme S7

Il existe trois types de structure de programme :

Programme linéaire

Toutes les opérations sont contenues dans le même bloc d'organisation (**OB**), qui traite cycliquement le programme.

Programme segmenté

Les opérations des différentes fonctions sont contenues dans des blocs isolés. L'**OB1** appelle ces blocs l'un après l'autre.

➤ Programme structuré

Les fonctions réutilisables chargées dans différents blocs et l'**OB1** fait appel à ces blocs et délivrent les données correspondantes. On utilise souvent le programme structuré car il simplifie l'organisation et la gestion du programme. Le test du programme peut être exécuté section par section et facilite la mise en service. Nous avons opté pour la programmation structurée.

III -2-5) Les blocs de logiciel step7

Le logiciel STEP7 dans ces différents langages de programmation possède un nombre important de blocs utilisateur, destiné à structurer le programme utilisateur dont on peut citer les blocs importants suivant :

- ❖ Bloc d'organisation (OB).

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

- ❖ Fonction.
- ❖ Bloc fonctionnel (FB).
- ❖ Bloc de données (DB).

➤ **Bloc d'organisation (OB)**

Il est appelé par le système d'exploitation car il constitue l'interface entre le système d'exploitation et le programme utilisateur.

L'OB contient des instructions d'appel de blocs indiquant à l'unité de commande de l'automate l'ordre dans lequel il doit traiter les blocs.

➤ **Blocs fonctionnels (FB)**

Un FB dispose d'un espace mémoire. Un bloc fonctionnel contient un programme qui est exécuté, lorsque ce bloc fonctionnel est appelé par un autre bloc de code. Il facilite la programmation de fonctions complexes.

➤ **Fonction (FC)**

Une FC ne dispose pas d'espace mémoire, les données locales sont perdues après l'exécution de la fonction. D'autres FBs ou FCs peuvent être appelés à l'intérieur d'une FC.

➤ **Bloc de données (DB)**

Les DBs sont employés afin de tenir à disposition de l'espace mémoire pour les variables de données.

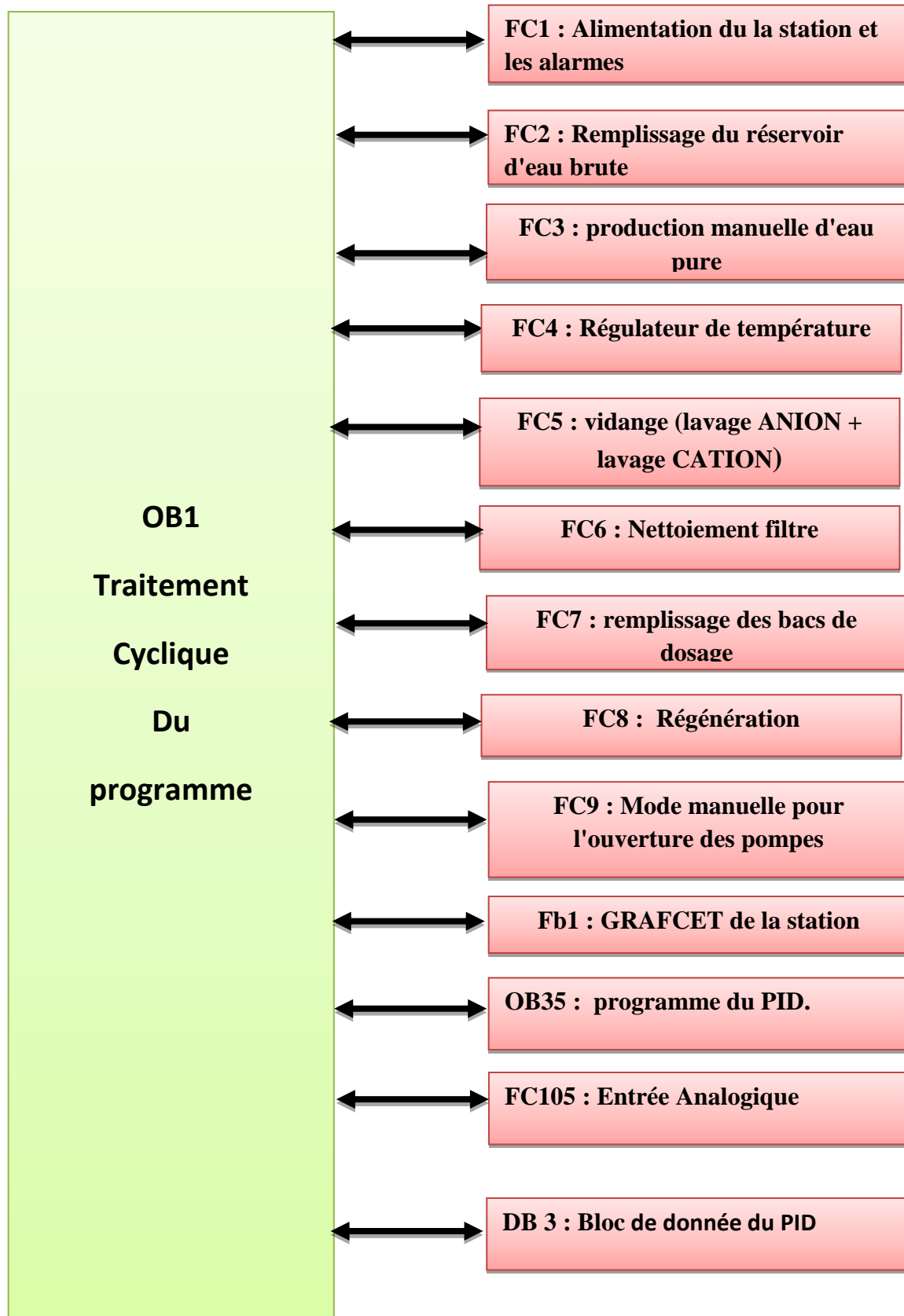
Lors de l'appel d'un FB, un bloc de données (DB) peut lui être alloué, il aura alors accès aux données contenues dans ce DB d'instance local. Plusieurs DBs peuvent être alloués à un même FB.

III -2-6) Les sections de programmes

Dans notre station de nature complexe, on a utilisé des fonction (FC) pour la structure de notre programme car il simplifie l'organisation et la gestion du programme.

Le test du programme peut être exécuté section par section et facilite la mise en service. Nous avons opté pour la programmation structurée qui est représenté par la **figure IV -4**

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau



FigureIII -6 : Structure symbolique du programme de la station.

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

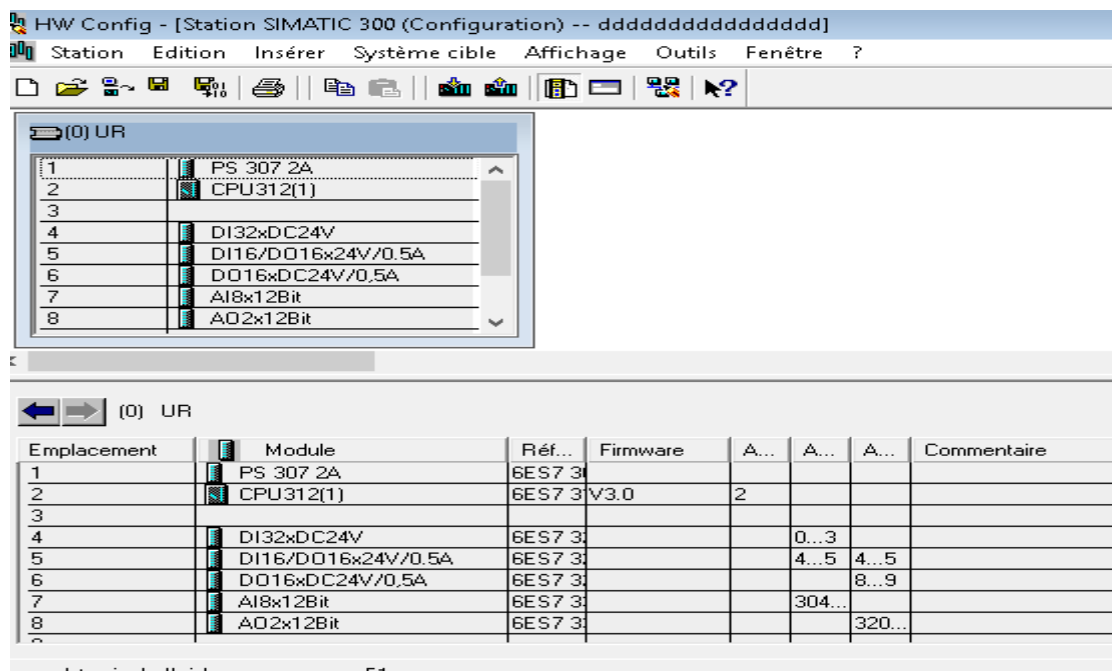
III -3) Configuration matérielle

STEP 7 affecte automatiquement une adresse à chaque module dans la table de configuration. Il est donc possible de modifier l'adressage des modules d'une station à condition que la CPU le permette.

Le choix de notre configuration matériel est justifié par le nombre d'entrées /sorties que possède notre installation.

La configuration matérielle appropriée peut se résumer à un Rack dont les modules empilés sont des modules à entrées analogiques pour les absorptions à évolutions continues comme les niveaux et les débits, des sorties analogiques comme des réponses physiques telles que les ouvertures des vannes analogiques, ainsi des modules d'entrées numériques pour des informations discrètes, et des modules de sorties numériques pour des actions de fournissement en tout ou rien.

Les entités étant gérées par une CPU (Siemens SIMATIC-312) ou le traitement et la programmation est encapsulée, ainsi une alimentation industrielle PS-307 de 2 Ampères qui convient à l'installation.



FigureIII-7 : Configuration matérielle de l'automate

III -4) Les mnémoniques

Une table des mnémoniques est générée pour chaque programme S7, et quel que soit le langage de programmation choisi.

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

La saisie des mnémoniques permet de déclarer les différentes entrées(E) /sorties(S) et mémentos(M) pour les distinguer et faciliter la programmation. Il est destiné à rendre le programme utilisateur lisible, et à se retrouver facilement dans le cas de grands nombres de variables.

On peut aussi ajouter un commentaire décrivant l'action ou l'état de chaque mnémonique.

Notre table de mnémonique est donnée dans la **figure III-8**.

	Etat	Mnemonique	Operande	Type de	Commentaire
1		pompe R	A 0.3	BOOL	pompe de récupération
2		pompe P	A 0.2	BOOL	pompe d'eau pure
3		led DC	A 4.1	BOOL	led démarrage du cycle
4		led TC	A 4.0	BOOL	led alimentation du tableau de commande
5		led AP	A 3.7	BOOL	led alimentation principale
6		av40	A 3.6	BOOL	
7		av39	A 3.5	BOOL	
8		av38	A 3.4	BOOL	
9		av37	A 3.3	BOOL	
10		av36	A 3.2	BOOL	
11		av35	A 3.1	BOOL	
12		av34	A 3.0	BOOL	
13		av33	A 2.7	BOOL	
14		av32	A 2.6	BOOL	
15		av31	A 2.5	BOOL	
16		Man/Aut	M 0.6	BOOL	
17		cap T2	E 5.4	BOOL	température inf a 40
18		cap c2	E 12.0	BOOL	mauvaise conductivite
19		auto	E 12.2	BOOL	
20		cap T1	E 5.3	BOOL	température sup a 40
21		bp souffleur	E 5.1	BOOL	boutton de démarrage du souffleur
22		bp P O B	E 3.5	BOOL	boutton de démarrage de la pompe d'eau brute
23		ar P O B	E 3.6	BOOL	boutton d'arrêt de la pompe d'eau brute
24		bp P O D	E 3.7	BOOL	boutton de démarrage de la pompe d'eau dégazé
25		ar P O D	E 4.0	BOOL	boutton de d'arrêt de la pompe d'eau dégazé
26		bp P NaOH	E 4.1	BOOL	boutton de démarrage de la pompe NaOH
27		INIT	E 0.7	BOOL	Initialisation
28		X24	M 8.5	BOOL	
29		C_N_M_O_P	M 2.5	BOOL	capteur niveau moyen de l'eau pure(50 %)
30		C_N_bas_O_P	M 2.4	BOOL	capteur niveau bas de l'eau pure(0 %)
31		C_N_haut_O_D	M 3.1	BOOL	capteur niveau haut de l'eau dégazé(100%)
32		C_N_bas_O_D	M 3.0	BOOL	capteur niveau bas de l'eau dégazée (10%)
33		C_N_TH_O_B	M 2.3	BOOL	capteur niveau très haut de l'eau brute(100%)
34		C_N_H_O_B	M 2.2	BOOL	capteur niveau haut de l'eau brute(90 %)
35		C_N_M_O_B	M 2.1	BOOL	capteur niveau moyen de l'eau brute(50 %)
36		C_N_bas_O_B	M 2.0	BOOL	capteur niveau bas de l'eau brute(0 %)
37		Dev	E 0.5	BOOL	boutton du depart du cycle

Figure III -8 : une partie de la table mnémonique

III -5) Mise à l'échelle avec le bloc FC105

Le bloc FC105 est une fonction mise à l'échelle (SCALE) qui prend une valeur entière (IN) et la convertit selon l'équation ci-après en une valeur réelle exprimée en unité physique, comprises entre en limite inférieure (LO_LIM) et une limite supérieure (HI_LIM).

Le résultat est écrit dans OUT.

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

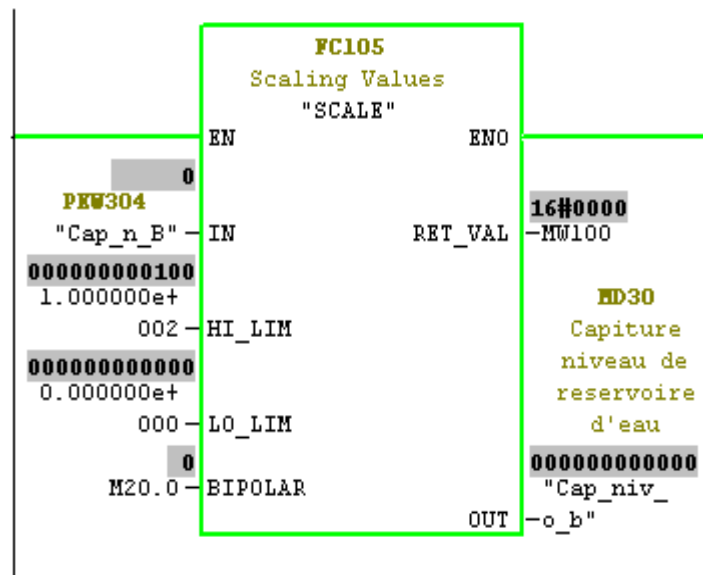
Les valeurs entières d'entrée sont comprises entre deux valeurs K1 et k2. Si la valeur d'entrée est supérieure à K2 la sortie OUT est saturée à la valeur la plus proche de la limite supérieur (HI_LIM) et une erreur est signalée. Si la valeur d'entrée est inférieure à K1, la sortie est saturée à la valeur la plus proche de la limite inférieur (LO_LIM) et une erreur signalée.

Les constantes K1 et K2 sont définies selon que la valeur d'entrée est bipolaire ou unipolaire.

III -5-1) Les paramètre du bloc FC105

- ✓ **EN** : alimentation du module.
- ✓ **IN** : valeur d'entrée à convertir.
- ✓ **LO_LIM** : limite inferieure en unité physique.
- ✓ **HI_LIM** : limite supérieure en unité physique.
- ✓ **Bipolaire** : l'état du signal (1) si la valeur d'entrée est bipolaire, (0) si elle est unipolaire.

☐ Réseau 10 : Cap niv de reservoir d'eau brute



FigureIII -9 : Exemple d'une mise à l'échelle d'un capteur

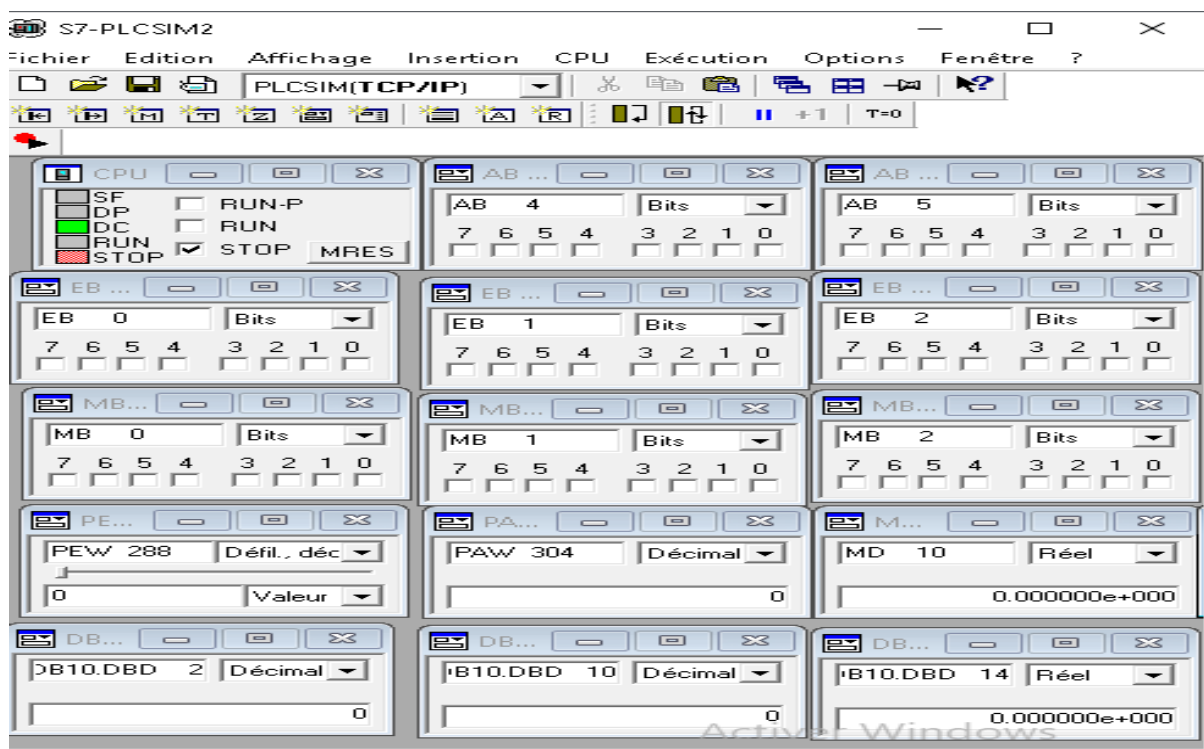
Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

III -6) Simulation et validation du Programme avec S7-PLCSIM

Le logiciel **STEP7** dispose de l'outil **PLCSIM** qui permet de simuler le programme utilisateur

S7-PLCSIM est une application qui permet d'exécuter et de tester le programme développé dans un automate programmable et simuler dans un ordinateur.

Le **PLCSIM** permet de tester des programmes destinés aux CPU S7-300 et de remédier à d'éventuelles erreurs.



FigureIII -10: Interface de simulation PLCSIM

III -7)La visualisation du programme

Après le chargement du programme dans la CPU, et la mise en marche de PLCSIM

Sur (RUN-P), on clique sur l'icône :



Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

Le STEP 7 nous permet de visualiser l'état du programme

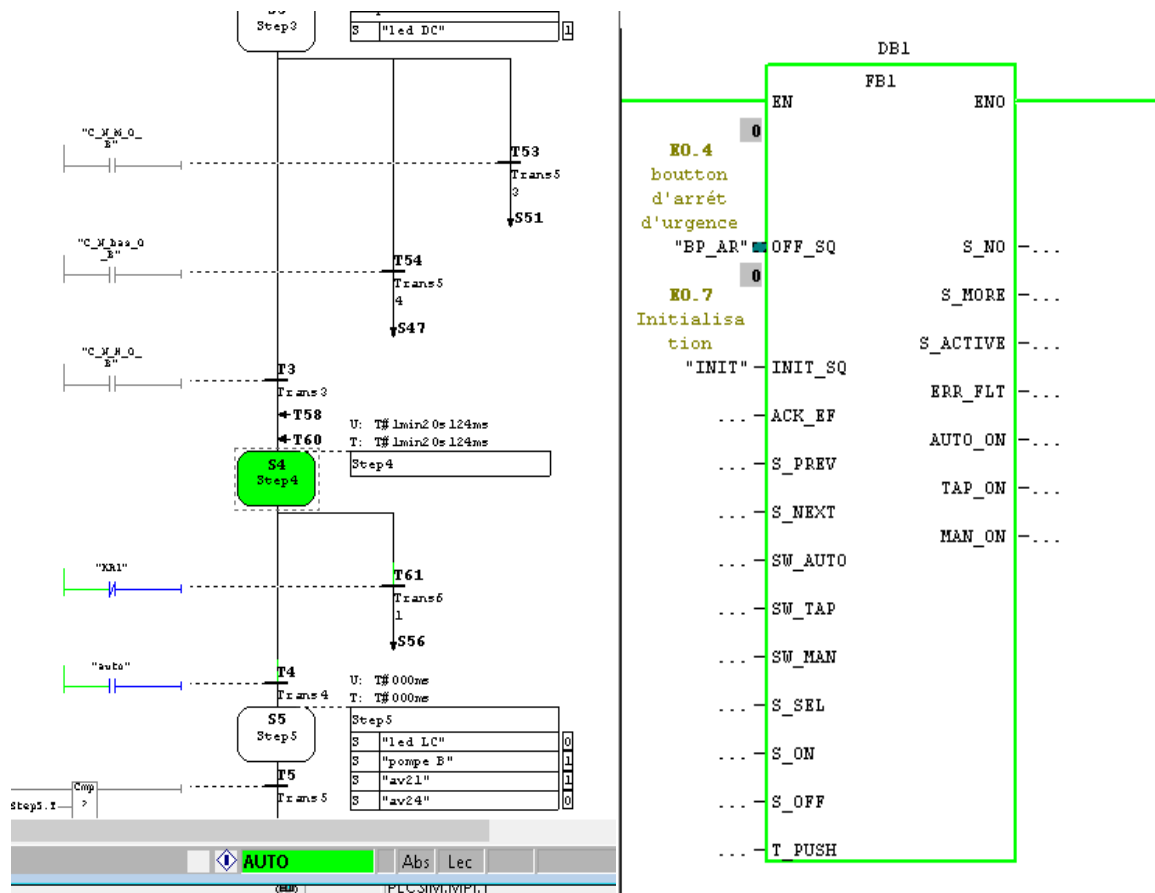


Figure III -11 : Visualisation de la simulation de bloc fb1

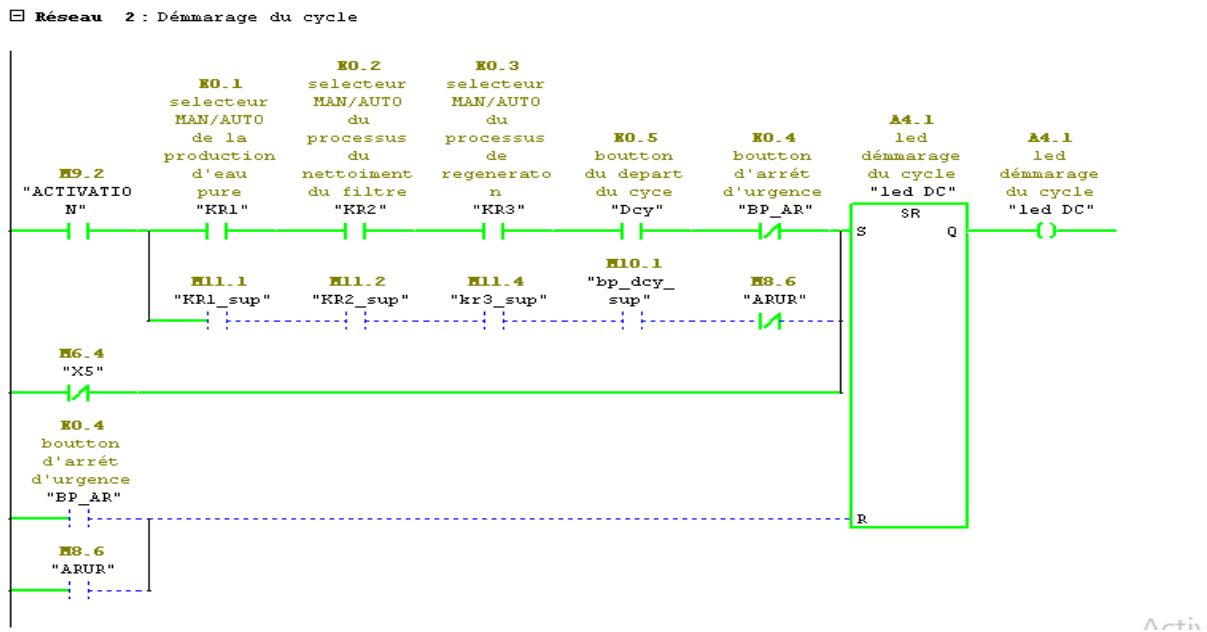
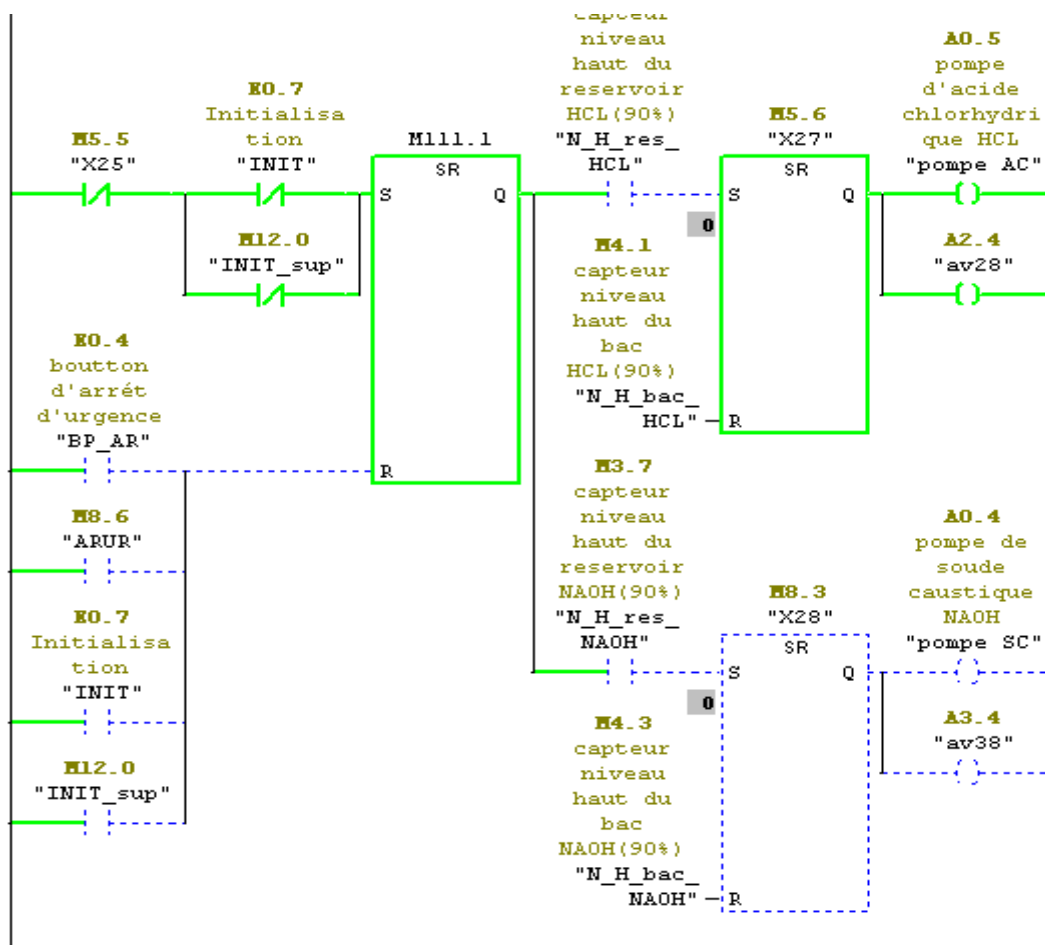


Figure III -12: Visualisation de démarrage du cycle

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau



FigureIII -13: Visualisation de bloc de remplissage les bacs de dosage

IV - Le régulateur PID

IV -1) Principe de la régulation

La régulation regroupe l'ensemble des techniques utilisées visant à contrôler une grandeur physique. Les grandeurs utilisées par un système de régulation sont :

- La grandeur réglée : c'est la grandeur physique que l'on désire régler, elle donne son nom à la régulation.
- La consigne : c'est la valeur que doit prendre la grandeur réglée.
- La grandeur réglante : c'est la grandeur physique qui a été choisie pour le contrôle de la grandeur réglée. Généralement elle n'est pas de même nature que la grandeur réglée.

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

- Les grandeurs perturbatrices : ce sont les grandeurs physiques qui influencent sur la grandeur réglée. Généralement elles ne sont pas de même nature que la grandeur réglée.
- L'organe réglant : c'est l'élément qui agit sur la grandeur réglante.

IV -2) Définition de PID

Le régulateur PID, appelé aussi correcteur PID, c'est un système de contrôle, permettant d'effectuer un asservissement en boucle fermée d'un système industriel C'est le régulateur le plus utilisé dans l'industrie, et il permet de régler un grand nombre de grandeurs physiques.

Le correcteur PID agit de trois manières

- Action proportionnelle : l'erreur est multipliée par un gain.
- Action intégrale : l'erreur est intégrée et divisée par un gain T_i .
- Action dérivée : l'erreur est dérivée et multipliée par un gain T_d .

IV -2-1) Avantage d'un Contrôleur PID

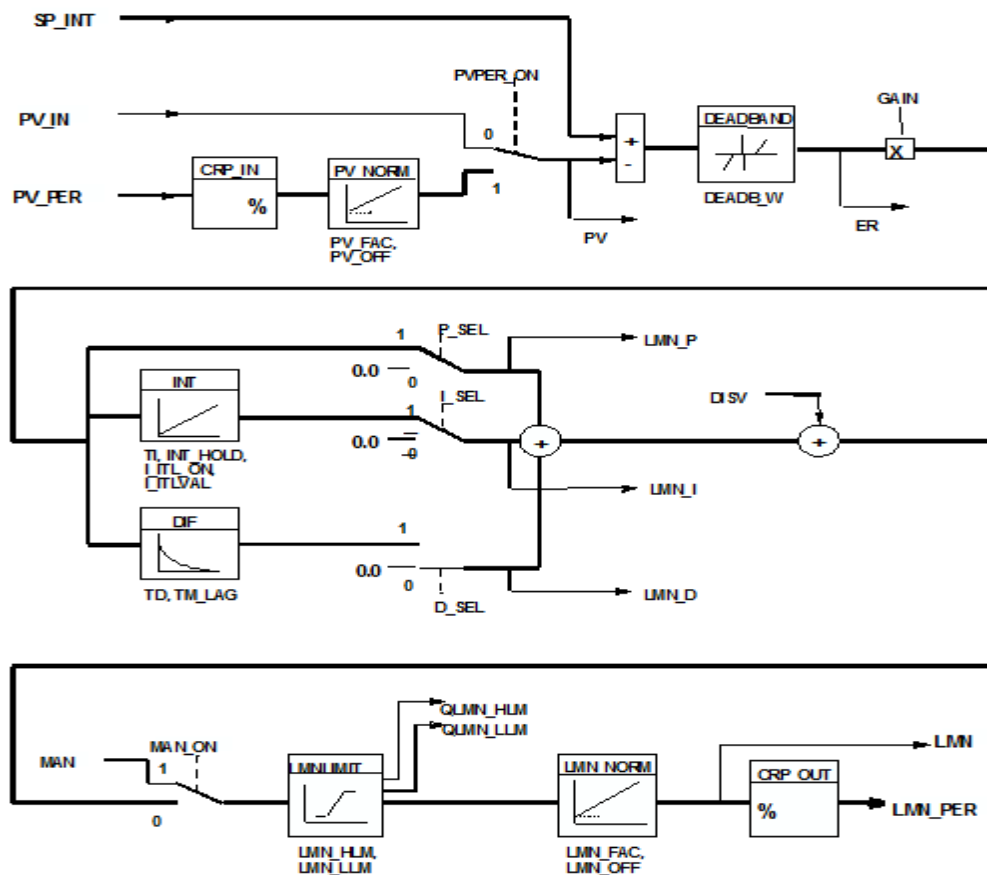
- Simple
- Efficace dans la plupart des cas
- Le plus utilisé dans l'industrie

IV -3) Le bloc FB41 [7]

Le bloc SFB41/FB41 "CONT_C" (continuous Controller) sert à régler des processus industriels à grandeurs d'entrée et de sortie continues sur les automates programmables SIMATIC S7. Le paramétrage vous permet d'activer ou de désactiver des fonctions partielles du régulateur PID et donc d'adapter ce dernier au système réglé.

Figure III -14 représente le schéma du synoptique du fonctionnement interne du régulateur FB41 :

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau



FigureIII -14 : Schéma fonctionnel du régulateur FB41

IV -3-a) paramètre d'entrée

Les paramètres d'entrée sont définis par :

- COM_RST : Le bloc a un sous-programme d'initialisation qui est exécuté quand cette entrée est à 1.
- MAN_ON : Activation du mode manuel.
- PVPER_ON BOOL : Activation de la mesure de périphérie.
- P_SEL : Activation de l'action proportionnelle.
- I_SEL : Activation de l'action par intégration.
- D_SEL : Activation de l'action par dérivation.
- SP_INT : Cette entrée sert introduire une consigne.
- PV_IN : Cette entrée permet de paramétrer une valeur de mise en service de relie une mesure externe en virgule flottante.
- PV_PER : Mesure de périphérie.

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

- LMN_HLM : Limite supérieure de la valeur de réglage.
- LMN_LLM : Limite inférieure de la valeur de réglage.

IV -3-b) Paramètres de sortie

Les paramètres de sortie sont définis par :

- LMN : La valeur de réglage qui agissent réellement.
- LMN_PER : Valeur de réglage de périphérie.
- QLMN_HLM : Limite supérieure de la valeur de réglage atteinte.
- QLMN_LLM : Limite inférieure de la valeur de réglage atteinte.

IV -4) Régulation de température

La régulation de température consiste à comparer deux grandeurs qui sont :

- La température désirée ou consigne
- La température réelle mesurée par le capteur.

Tout écart entre ces deux valeurs est traduit par un ordre sur le modulateur agissant sur la commande de chauffage.

IV -5) objectif

L'objectif Principal de ce régulateur de température est de maintenir la température intérieure voulue à l'intérieur du réservoir de l'NaOH, et ce qu'elles que soit les variateurs extérieurs.

Ce dernier est un dispositif permettant le réglage de la température

Chapitre 03 : Développement d'une solution programmable de la station de déminéralisation d'eau

V- Conclusion

Nous avons parlé des automates programmables industriels. Nous avons évoqué les différents aspects de fonctionnement. Par la suite, on a présenté l'automate S7-300 qui permet de répondre à la complexité de notre chaîne. Il offre des avantages par rapport au séquenceur PLK-2.

Nous avons développé un programme pour la station de déminéralisation d'eau à l'aide du logiciel STEP7.

L'élaboration d'un programme structuré à partir des blocs FC, simplifie l'organisation et la gestion du programme. Le test du programme peut être exécuté section par section facilitant ainsi la mise en service et la compréhension du programme établie.

C'est dans cette optique de faciliter la compréhension et la conduite de la station que nous avons décidé de mettre en place une plateforme de Supervision sous **SIMATIC WINCC**.

Chapitre 04:
Conception d'une plateforme
de supervision

Chapitre 04 : Conception d'une plateforme de supervision

I-Introduction

Dans un contexte de développement et de progression, les entreprises sont obligées d'automatiser de plus en plus leurs installations de production afin d'améliorer la supervision des unités et des machines. Cette supervision est une forme évoluée du dialogue Homme-Machine, qui est une technique de suivi et de pilotage informatique des procédés de fabrication pour les amener à leurs points de fonctionnement optimale.

II-Définition de la supervision

La supervision industrielle consiste à surveiller l'état de fonctionnement d'un procédé pour l'amener à son point de fonctionnement optimal. Le but est de disposer en temps réel d'une visualisation de l'état d'évolution des paramètres du processus, ce qui permet à l'opérateur de prendre rapidement des décisions appropriées à ces objectifs, telles que la cadence de production, qualité des produits et sécurité des biens et des personnes. WinCC flexible constitue une interface homme/machine (IHM) dédié pour des applications à proximité de la machine et du processus dans la construction d'installation des machines. De part sa conception généraliste, WinCC flexible est un logiciel d'ingénierie pour toute les pupitres opérateur SIMATIC HMI, de plus petit micro panel ainsi que d'un logiciel de supervision runtime pour des solutions monoposte basé sur PC et tournant sous WINDOWS de version récente.

II-1) Avantage de la supervision

Un système de supervision donne de l'aide à l'opérateur dans la conduite du processus, ses avantages principaux sont :

- La surveillance complète et la notification en temps réel.
- La détection des défauts.
- Le diagnostic et le traitement des alarmes.

Chapitre 04 : Conception d'une plateforme de supervision

II-2) Module fonctionnel d'un système de supervision

La plupart des systèmes de supervision se compose généralement d'un moteur central (logiciel), auquel se rattachent des données provenant des équipements (automates). Il propose plusieurs modules fonctionnels tel que : éditeur graphique, historique de donnée, rapport de suivis de production, acquisition des informations venantes du procédé par l'intermédiaire d'une unité de commande, archivage et restitution des données pour une analyse ultérieure (maintenance, statistique...etc.), gestion des alarmes et des événements.

II-3) Présentation du logiciel de supervision [8]

En informatique industrielle, la supervision des procédés est un pupitre de commande évoluée, elle permet de surveiller et/ou de contrôler l'exécution des taches du procédé.

Le logiciel de supervision fonctionne généralement sur un ordinateur en communication via un réseau local industriel (MPI, PROFIBUS, ETHERNET...etc.) avec un ou plusieurs équipements électroniques, automates programmable industriels ou d'une commande numérique. Parmi les logiciels de supervision les plus utilisée dans l'industrie :

- Protool.
- WINCC flexibe.
- Vijeo Look.
- In Touch...etc.

Pour l'élaboration de la plateforme de supervision de la station de traitement des eaux, nous avons utilisé le WINCC flexible.

III) Présentation du logiciel WINCC

SIMATIC WinCC est un système de contrôle et d'acquisition de données pour faire simple on le surnomme SCADA qui permet l'automatisation des systèmes d'alimentation utilisés dans de nombreuses industries.

Chapitre 04 : Conception d'une plateforme de supervision

Un SCADA (contrôle et acquisition de données) est un système de contrôle d'automatisation utilisé dans des secteurs tels que l'énergie, le pétrole et le gaz, l'eau, l'énergie et bien d'autres. Un système SCADA fonctionne avec des signaux qui communiquent via des canaux pour fournir à l'utilisateur des commandes à distance de tout équipement dans un système donné. Il implémente également une base de données distribuée ou une base de données de balises contenant des balises ou des points dans l'ensemble de l'usine. Ces points représentent une seule valeur d'entrée ou de sortie surveillée ou contrôlée par le système SCADA dans la salle de contrôle centralisée. Les points sont stockés dans la base de données distribuée en tant que paires valeur-horodatage. Il est très courant de configurer les systèmes SCADA pour acquérir également des métadonnées, telles que les chemins de registre des automates programmables (PLC) et les statistiques des alarmes.

Bien que ces systèmes simplifient une infrastructure donnée, leurs composants sont assez complexes. Il y a cinq parties composant un système SCADA :

- Interface Homme Machine (IHM).
- Système de surveillance.
- Unités terminales distantes (RTU).
- Automates programmables.
- Infrastructures de communication.

Pour développer l'interface homme machine, le développeur a en sa possession deux éléments importants, le cahier de charge à respecter qui sera traduit en un programme Step7 que ça soit en Langage LADDER ou bien en Grafset, ou bien les deux. Le deuxième élément dont le développeur aura besoin de son imagination et de son sens de savoir et de la logique.

III-1) Le rôle d'un HMI

L'interface homme machine est un dispositif qui permet le dialogue entre l'opérateur et la machine. Une HMI réalise deux fonctionnalités :

- a- Présenter des informations à l'opérateur.
- b- Permettre à l'opérateur d'agir sur le système en introduisant des commandes ou des consignes.

Parmi les règles de conception d'une HMI on désigne :

Chapitre 04 : Conception d'une plateforme de supervision

- Les informations le plus fréquemment consultés doivent se trouver dans les zones le plus souvent parcourues par l'œil.
- Signaux sonores de fréquence suffisamment basse.
- Lisibilité suffisante

III-2) Intégration du projet dans SIMATIC Step7

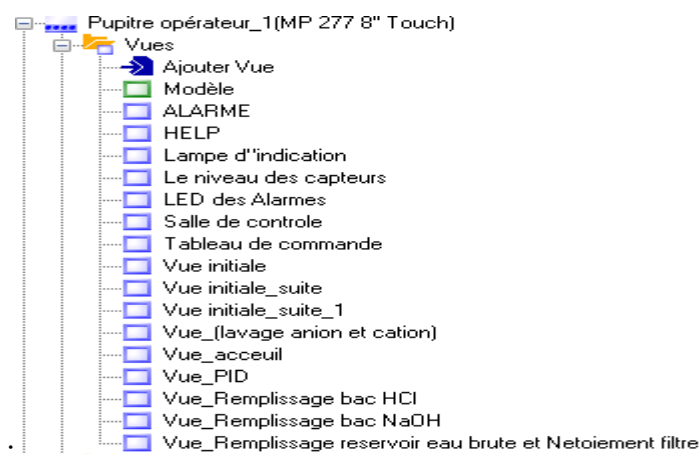
L'intégration dans l'environnement de configuration de SIMATIC Step7 autorise la gestion de projet WinCC flexible à l'intérieur de Step7 et l'utilisation commune des paramètres de communication, variable et message. Il en résulte une réduction de la fréquence d'erreur et par conséquent du travail de configuration.

Pendant la configuration, on accède directement à la table de mnémorique et aux blocs de données Step7 qu'on a définie au moment d'établissement du programme d'automate. Il n'est donc pas nécessaire de définir les variables dans e WinCC.

IV) Plateforme de supervision de la station (synoptique)

Fonction essentielle de la supervision, fournit une représentation dynamique et instantanée de l'ensemble des moyens de production de l'unité. Il permet à l'opérateur d'interagir avec le processus et de visualiser le comportement normal. Il permet de réaliser facilement des interfaces homme-machine.

Pour élaborer la plateforme de supervision qui permet de contrôler et de commander notre station, nous avons créé plusieurs vues qui sont données dans l'explorateur comme le montre la figure suivante :



Chapitre 04 : Conception d'une plateforme de supervision

IV -a) Vue d'accueil

Lorsqu'on démarre Runtime, la vue d'accueil s'affiche. Cette première donne les informations sur le projet et comporte les boutons de navigation vers la salle de contrôle et la vue initiale.

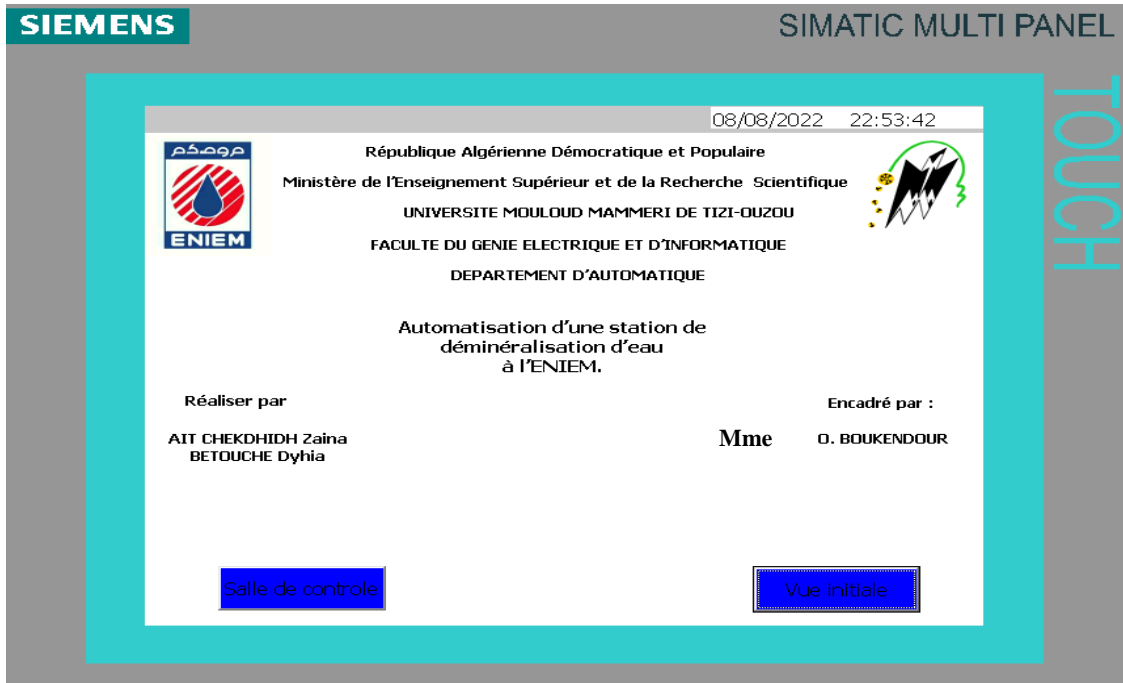


Figure V-1 : Vue d'accueil de la station de déminéralisation d'eau ENIEM

IV-b) Vue de la salle de contrôle

Cette vue contient les différents boutons de navigation vers les vues de supervision de la station de déminéralisation d'eau.

Chapitre 04 : Conception d'une plateforme de supervision

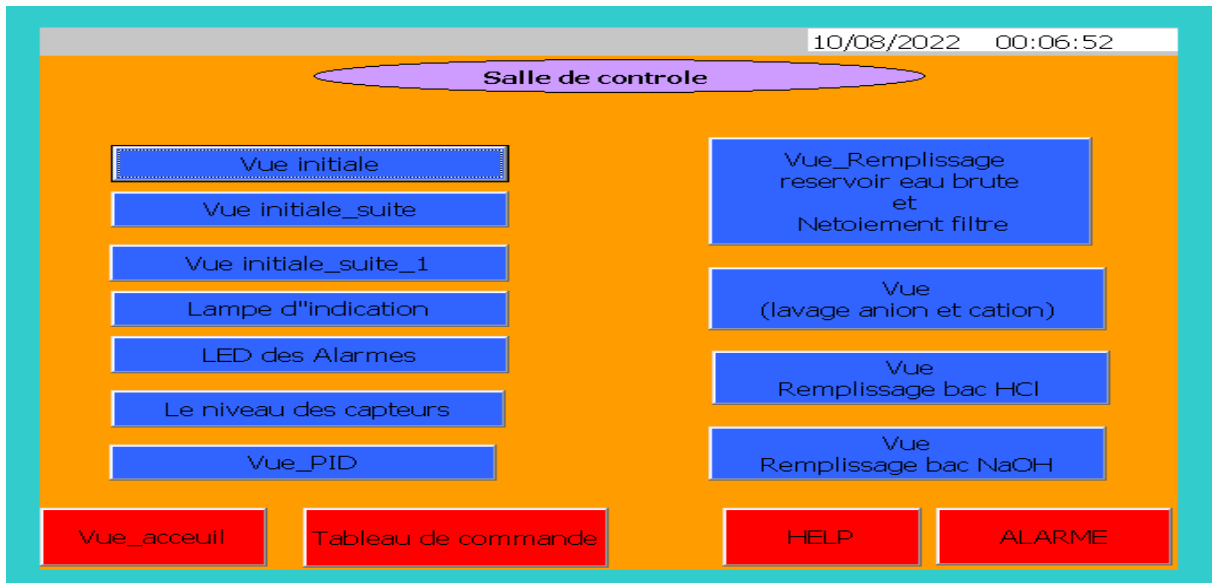


Figure V-2 : vue salle de contrôle

IV -c) Vue help

Cette vue comporte la spécification des tuyaux, lampes, vannes et pompes utilisée dans les différentes vues de la supervision de la station.

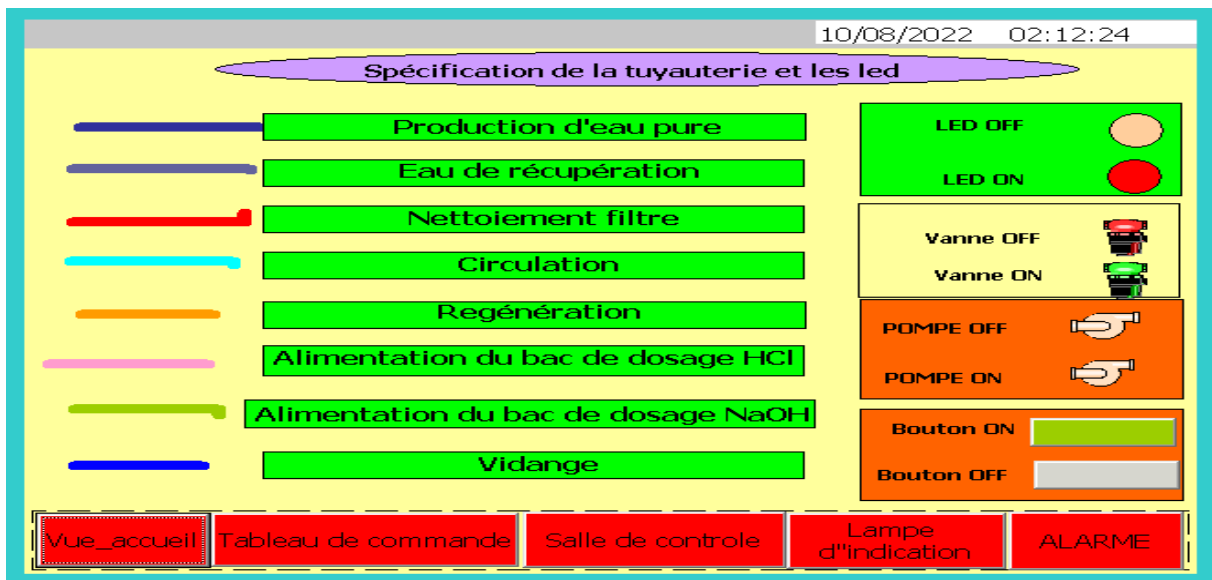


Figure V-3 : vue help

IV-d) Vue globale

Ces trois figures comportent les différents composants contenus (réservoirs, vannes, pompes, lampes.....etc.) ainsi que les différents boutons de navigation qui permettent le passage d'une vue vers une autre.

Chapitre 04 : Conception d'une plateforme de supervision

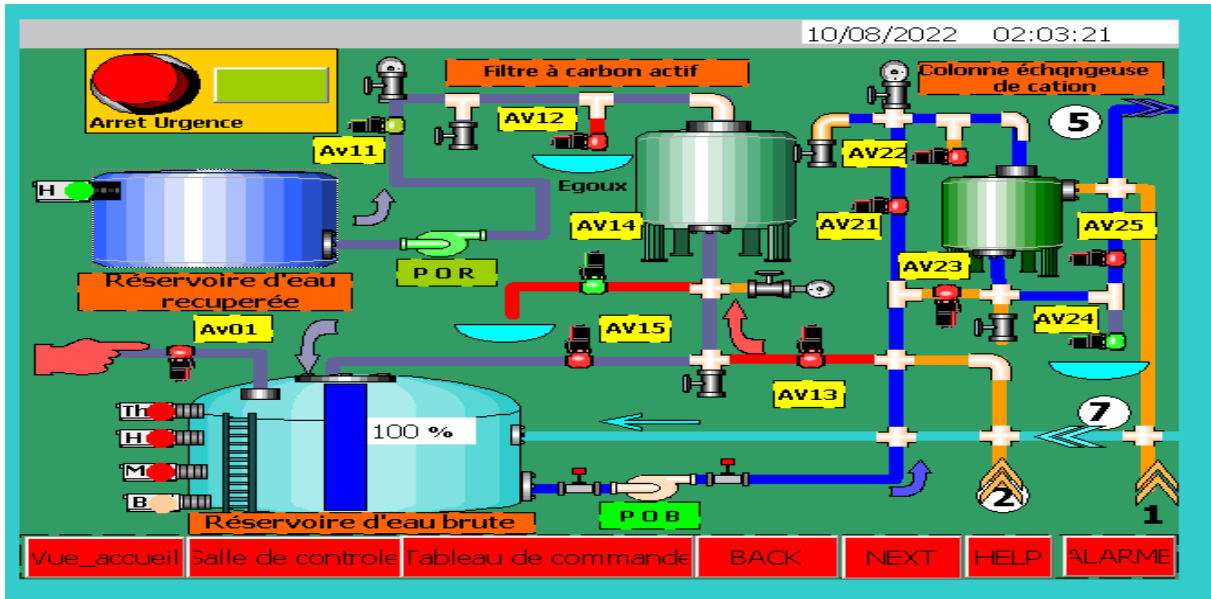


Figure V-4 : vue de la station

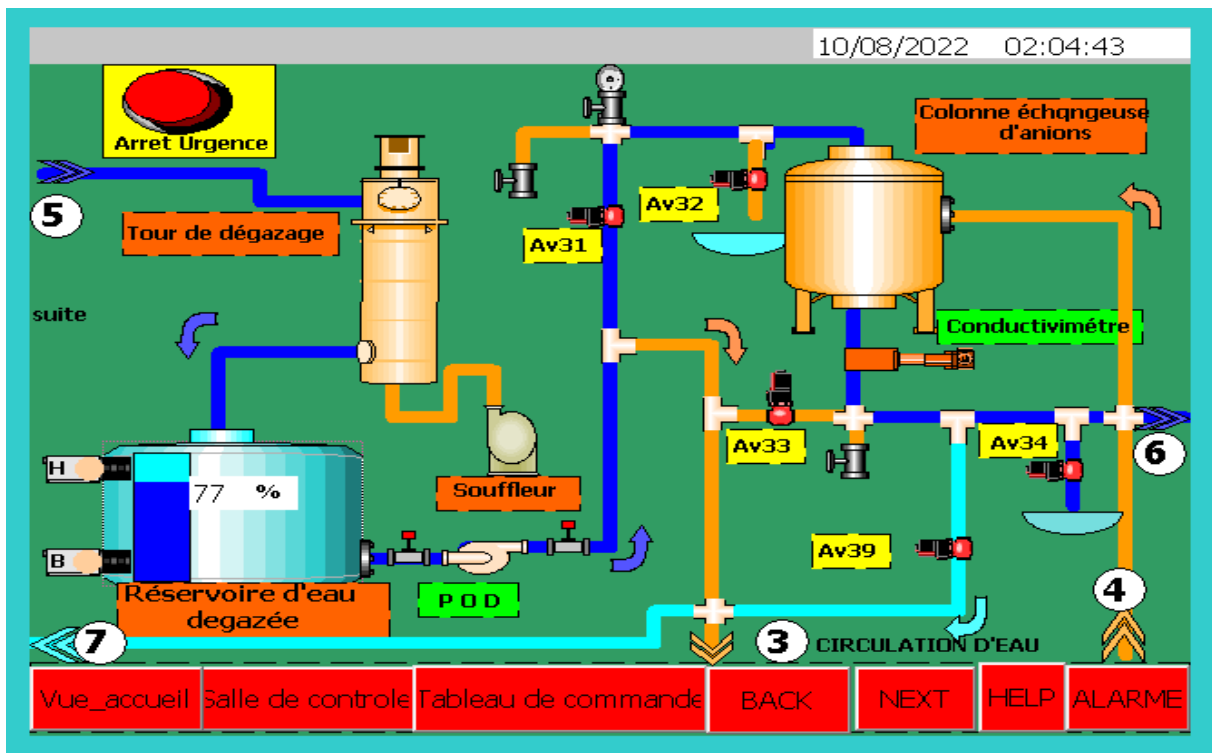


Figure V-5 : suite de la station, Vue « Procès 1 »

Chapitre 04 : Conception d'une plateforme de supervision

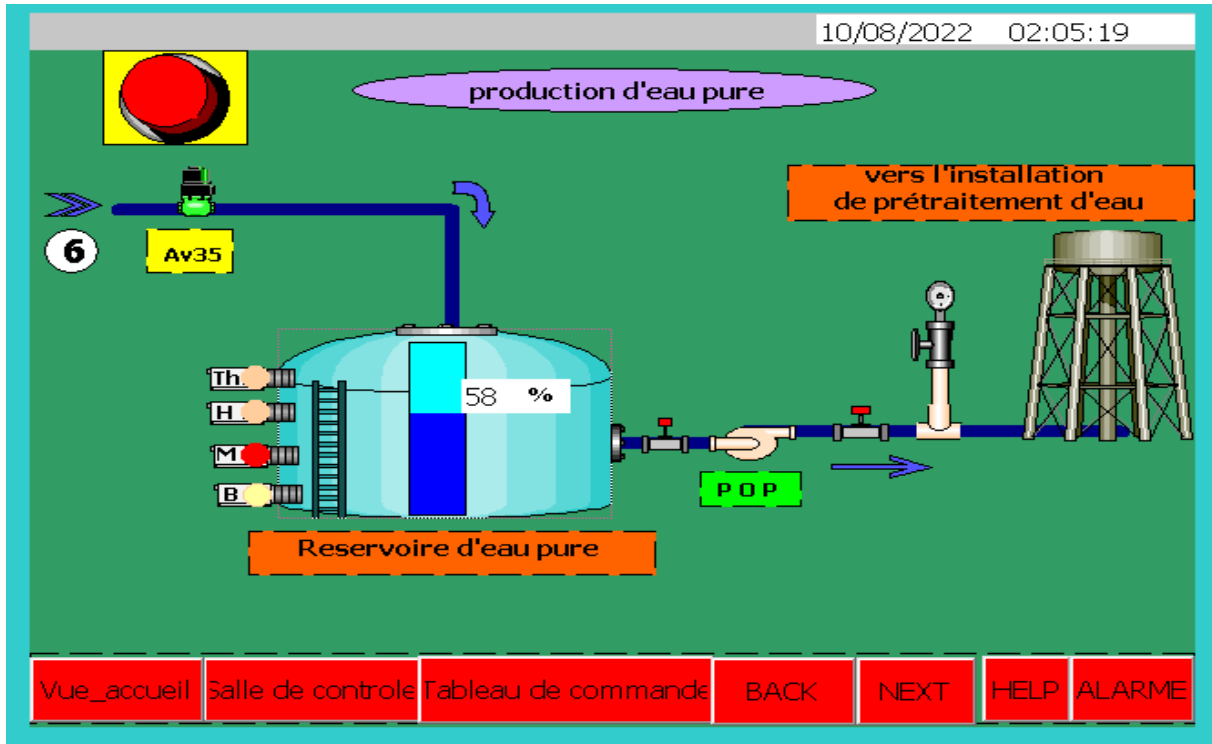


Figure V-6 : suite de la station, Vue « Process2 »

IV- e) Vue alarme

Sur cette vue nous pourrions recueillir des informations sur les différentes alarmes activées, et un bouton pour acquitter ces alarmes.

08/08/2022 22:56:28

Affichage des alarmes et bp d'acquitement

N°	Heure	Date	Etat	Texte	GR
4	22:56:07	08/08/2022	A	NIVEAU BAS EAU degazée	0
2	22:56:07	08/08/2022	A	NIVEAU BAS EAU pure	0
1	22:56:07	08/08/2022	A	NIVEAU BAS EAU BRUTE	0
3	22:56:07	08/08/2022	A	NIVEAU BAS EAU degazée	0
1	22:56:07	08/08/2022	A	Arret d'Urgunce	0

Vue_accueil Salle de controle Tableau de commande HELP LED des Alarmes

Figure V-7 : Vue des différentes alarmes

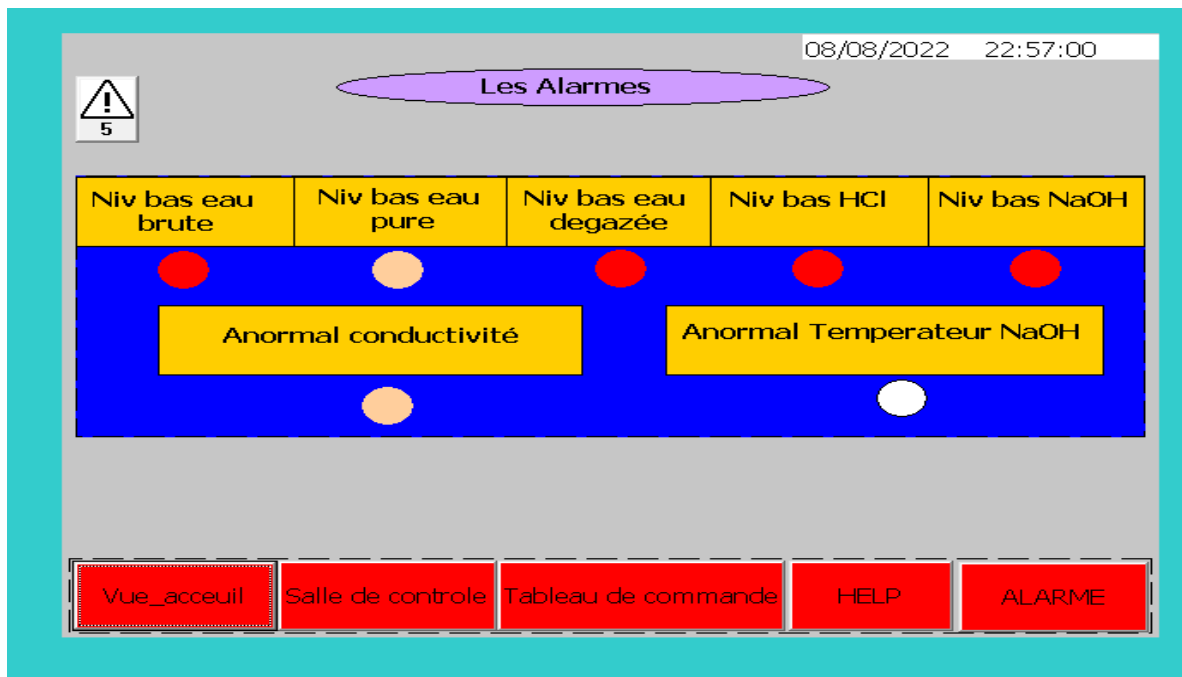


Figure V-8 : Lampes d'indication des alarmes

La **Figure V-8** représente des lampes qui nous permettent de savoir lorsque les réservoirs sont à leur niveau bas ce qui permet le déclenchement des alarmes. Ainsi que lorsque la conductivité est mauvaise et il nous indique aussi lorsque la température du réservoir de la soude caustique dépasse les normes.

IV-f) Vue du tableau de commande et vue lampe d'indication

Cette figure il contient les différents boutons permettant le déclenchement ou l'arrêt de la station ainsi que ces différents composants ainsi que les boutons d'arrêt d'urgence. Il contient aussi différentes lampes qui nous permettent de recueillir des informations pour savoir si les composants sont en marche ou en arrêt son oublier les différents switch (auto /man).

Chapitre 04 : Conception d'une plateforme de supervision

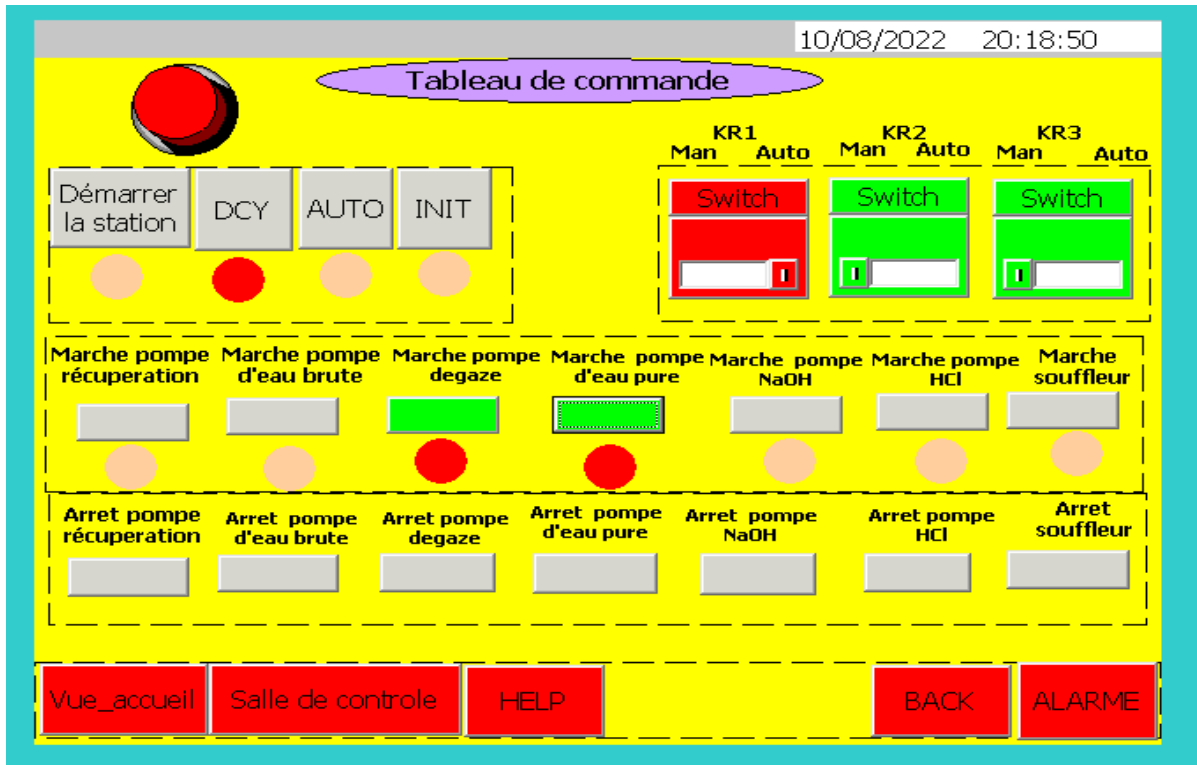


Figure V-9 : Tableau de commande

La **Figure V-10** contient des lampes indiquant les différentes tâches qu'elles effectuent la station.

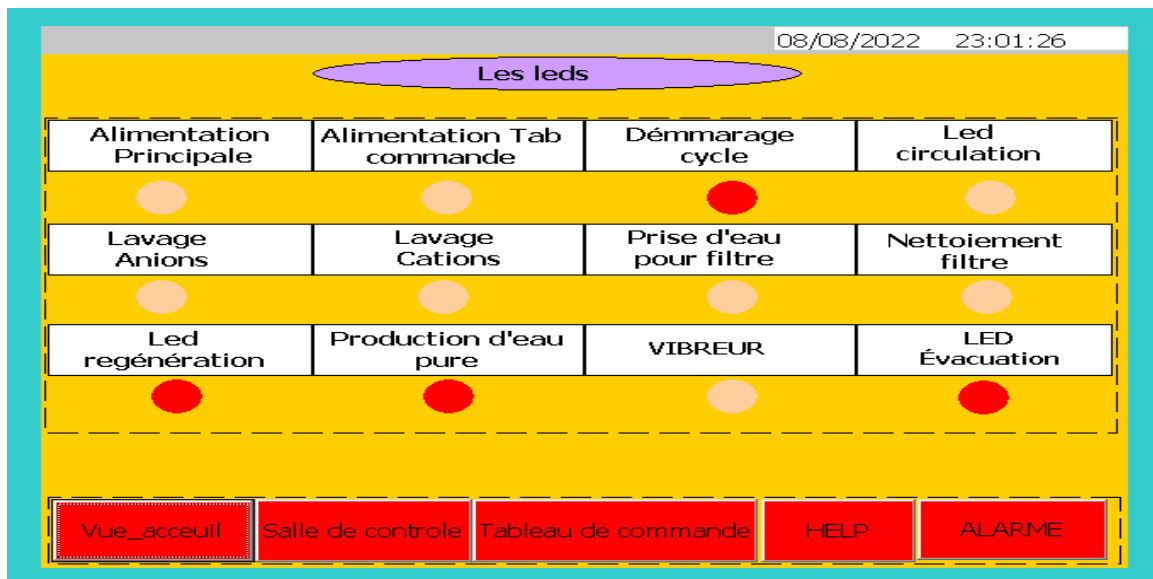


Figure V-10 : les lampes d'indication (action effectuer)

Chapitre 04 : Conception d'une plateforme de supervision

IV- g) Vues alimentation bac de dosage HCl et NaOH

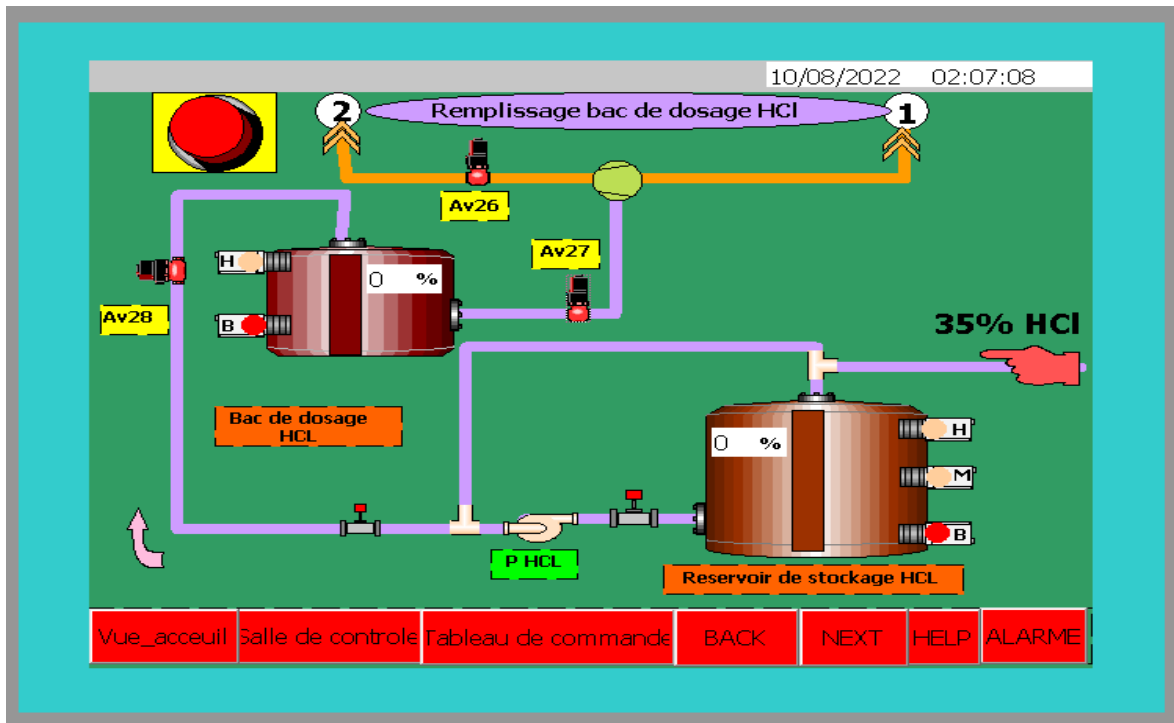


Figure V-11 : Vue alimentation bac de dosage HCl

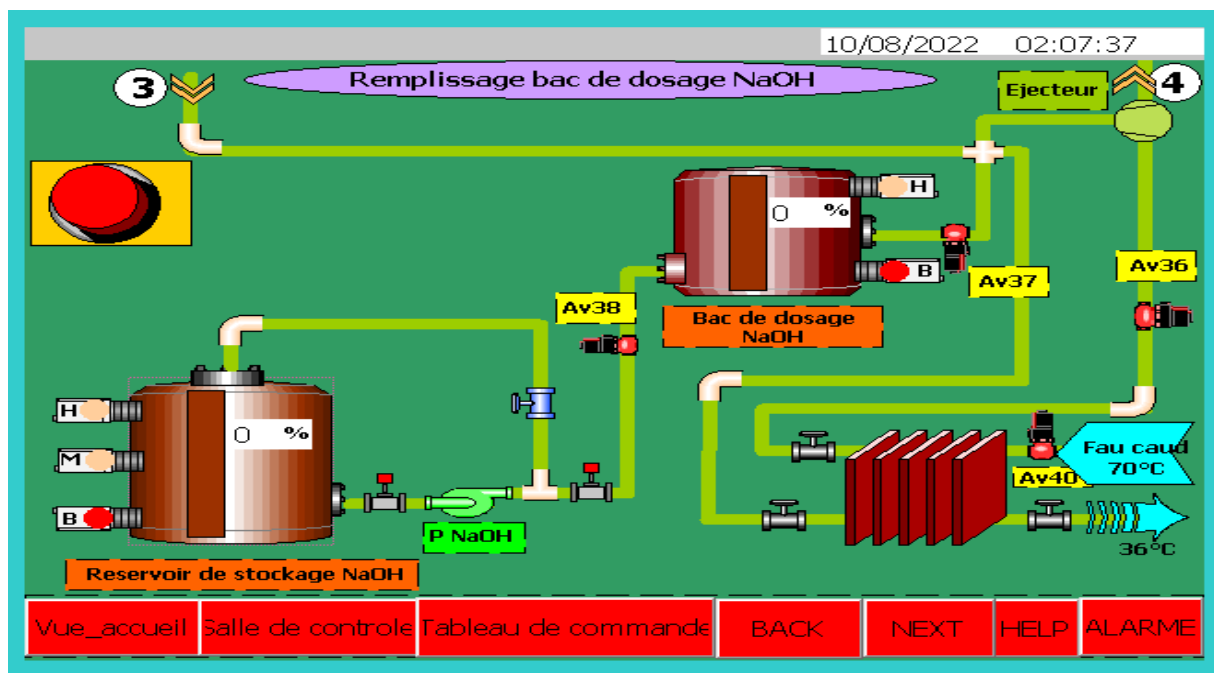


Figure V-12 : Vue alimentation bac de dosage NaOH

Chapitre 04 : Conception d'une plateforme de supervision

V- Conclusion

La supervision est devenue indispensable dans le système d'information. Elle est à la base du bon fonctionnement d'une architecture réseau et permet de réagir rapidement en cas de problèmes ou pannes.

Au cours de ce chapitre, nous avons développé une plateforme de supervision qui permet de suivre l'évolution de procédé en fonction du temps et qui simplifie la tâche de contrôle pour l'opérateur.

Cette plateforme est développée sous le logiciel WinCC flexible, elle est composée de vues qui permettent une visualisation dynamique des entrées/sorties, afin de contrôler le bon fonctionnement de la station.

Conclusion générale

Le travail effectué dans le cadre de projet de fin d'études est la conception d'automatisation de la station de déminéralisation d'eau de l'unité « froid » au sein de l'Entreprise Nationale des Industries de l'Électro Ménager (ENIEM).

Nous avons utilisé un automate programmable industriel de la gamme siemens S7-300. L'objectif principal est d'automatiser la station de contrôle de déminéralisation de l'eau. Cette dernière fait partie des trois sous-stations de l'atelier de peinture. L'eau déminéralisée est utilisée pour le nettoyage des tôles d'acier, qui seront utilisées par la suite dans la fabrication des armoires frigorifique.

Après avoir conçu le cahier des charges en respectant contraintes imposées par l'entreprise nous avons modélisé le procédé de commande à l'aide du l'outil GRAFCET. Cela nous a facilité le développement et l'élaboration d'une solution Programmé à l'aide de l'automate S7-300. Ce qui permet aux opérateurs le contrôle et le suivi lors de l'installation. D'autre part,

Nous avons fait la régulation de température pour maintenir la température voulue à l'intérieur de réservoir NAOH. Puis, Nous avons développé une plate-forme de supervision à l'aide du logiciel WinCC flexible 2008, ce qui permet a l'operateur la surveillance complète et la notification en temps réel, La détection des défauts et faciliter le diagnostic et le traitement des alarmes.

Ce stage nous a été bénéfique à plus d'un titre compte tenu des nombreux avantages qu'il présente. La découverte du monde industriel a été très excitante. Cependant Les inconvénients rencontrés d'une part sont le manque de documentation industrielle fiable et d'autre part, la véritable structure d'encadrement et d'intégration. La mise en application de la théorie acquise lors de notre cursus et l'expérience engrangée lors de notre collaboration avec l'équipe d'ingénieur sont tous des atouts qui nous permettront de suivre sereinement une carrière dans l'industrie.

Ce stage aussi nous a permises d'avoir un aperçu de près sur le domaine industriel en assistant à la planification des interventions avec le service maintenance et bien d'autres unités, et les différentes opérations effectuées lors de notre stage.

Enfin, nous espérons que notre travail verra naitre sa concrétisation sur le plan pratique et que les étudiants à venir puissent en tirer profit.

Bibliographie

[1] Documentation technique ENIEM.

[2] M. DIOMANDE et L. BOUBRED « Automatisation d'une station de déminéralisation d'eau à l'ENIEM », projet de fin d'étude, département automatique, faculté du génie électrique et informatique, UMMTO, 2007.

[3] B. AHMED et B. SAMIR, « Etude de l'automatisation par automate programmable S7-300 de la chaîne de fabrication des armoires frigorifiques de L'ENIEM », projet de fin d'étude, département automatique, faculté du génie électrique et informatique, UMMTO, 2007.

[4] René David, Hassane Alla, « Du grafcet au réseaux de petri » Edition HERMES 14rue, Lantiez 75017, Paris ISBN2-86601-325-5, ISSN 0989-3571.

[5] Alain GONZAGA « [LES AUTOMATES PROGRAMMABLES INDUSTRIELS](#) » (7/11/2004)

[6] Documentation technique SIEMENS, STEP7.

[7] Guide de l'utilisateur : SIMATIC S7, Régulation standard /352/ J. Gißler, M. Schmid : Vom

[8] Documentation technique SIEMENS, WinnCC-control.

ANNEXE

I. Principe de la déminéralisation

Ce procédé met en œuvre des résines sur les quelles sont fixées, de fabrication, des ions mobiles. Mises en contact avec l'eau, ces résines fixent certains ions de l'eau et cèdent en échange les ions mobiles qu'elles portaient.

Les résines échangeuse d'ions se présentent sous forme de fines billes à structure poreuse, dont le diamètre est généralement compris entre 0.3 et 1.5 mm.

Deux grandes catégories de résines sont utilisées :

- Les résines échangeuse de cations dites : cationiques
- Les résines échangeuse d'anions dites : anioniques

a. les résines cationiques :

Porteuses d'ions mobiles H^+ , elles sont capables de fixer tout ou une partie des cations contenus dans l'eau.

▪ Résines cationiques fortes (CF) :

Elles sont capables de fixer tous les cations de l'eau (y compris les cations monovalents tels que Na^+ et K^+) et de céder en échange de cations H^+ , transformant ainsi les sels en acide correspondant.

▪ Résines cationiques faibles (Cf) :

Ces résines de type carboxylique dotées d'ions mobiles H^+ sont capables de fixer les cations bivalents de l'eau présentés sous forme de bicarbonates. Les hydrogénocarbonates HCO_3^- sont transformés en acide carbonique H_2CO_3 , élément très instable qui se décompose en H_2O et CO_2 . Le passage de l'eau sur une telle résine se traduit à la fois par un adoucissement et par une décarbonatation.

b. les résines anioniques :

Porteuses d'ions mobiles OH^- , ces résines sont capables de fixer tout ou en partie des anions de l'eau et de céder en échange des ions OH^- dont elles sont dotées.

▪ Résines anioniques fortes (AF) :

Elles sont capables de fixer tous les anions de l'eau ainsi que le CO_2 et la silice dissoute, libérant en échange l'ion OH^- . Elles fixent également une grande partie des matières organiques dissoutes présentes dans l'eau.

ANNEXE

- **Résines anioniques faibles (Af) :**

Elles fixent la totalité des anions des acides forts : Cl^- , SO_4^- , PO_4^- , NO_3^- et une faible partie d'acides faibles : HNO_3^- , CO_2 la dissout et silice dissoute.

c. Déminéralisation totale :

En faisant percoler l'eau successivement à travers un lit de résine cationique puis un lit de résine anionique, il est possible de fixer les cations puis anions de l'eau et de les permuter avec les ions H^+ et OH^- , eux-mêmes constitutifs de l'eau.

II. Principe de la Régénération

II.1 Saturation :

Les ions mobiles (H^+ et OH^-) fixés à la surface des résines et de leurs micropores (trous très petit), occupent un certain volume. De ce fait, il n'est possible de fixer qu'une quantité limitée sur un volume donné de résines.

Une fois les ions mobiles échangés par permutations avec les ions de l'eau brute, l'échange ne peut avoir lieu, la résine est dite saturées et l'eau qui percole alors ne subit plus de modification de sa décomposition.

II.2 Régénération :

Réversibles. Elles peuvent s'inverser lorsque la résine saturée est mise en contact avec une solution très riche en ions H^+ ou OH^- suivant le type de résine considérée. Il est donc possible d'éliminer de la résine, les ions précédemment fixés et de la permuter avec les ions H^+ ou OH^- , rendant ainsi aux résines leur forme d'origine, on parle alors de « régénération ». La solution riche en ions H^+ ou OH^- est dite « solution régénérante ».

La régénération est presque toujours :

- Un acide fort : acide chlorhydrique pour les résines cationiques dont l'ion mobile H^+ , l'acide sulfurique peut être utilisé mais il nécessite des précautions supplémentaires pour éviter la précipitation sur la résine de sulfate de calcium insoluble c'est-à-dire : dépôt sur la résine de corps solide de sulfate de calcium et qui ne se dissout pas. On

ANNEXE

fait donc passer de l'acide sur la résine cationique saturée. Celle-ci relargue son Na^+ contre un proton de l'acide.

La forte concentration de l'acide fait que la résine accepte un proton.

- Une base forte : la soude caustique pour les résines anioniques. On fait donc passer de la soude (NaOH) sur la résine anionique saturée et celle-ci relargue le chlore contre un OH .

La régénération comprend plusieurs étapes, qui sont les suivantes :

- Dé-tassage des résines cationiques : on fait passer de l'eau brute à courant ascendant pour soulever les résines cationiques puis elle sera déchargée vers égout.
- Passage d'acide chlorhydrique dilué sur les résines cationiques à courant ascendant
- Rinçage lent des résines cationiques à l'eau seule.
- Dé-tassage des résines anioniques : on fait passer de l'eau brute à contre-courant ascendant pour soulever les résines anioniques puis elle sera déchargée vers l'égout.
- Passage de lessive de soude diluée sur les résines anioniques.
- Rinçage lent des anions.
- Classement résines anioniques.
- Rinçage rapide à l'égout.
- Rinçage rapide bouclé.

Résumé

La station de purification d'eau se trouve au sein de l'atelier peinture de l'unité froid de l'entreprise E.N.I.E.M. L'eau déminéralisée est utilisée pour le nettoyage des tôles d'acier avant leur utilisation car ces derniers sont la matière première utilisée dans la fabrication des armoires frigorifiques. L'eau brute passe par plusieurs étapes pour être à la fin traitée et prête à être utilisée (eau pure). La tâche qui nous a été confiée consiste à l'automatisation de la station d'eau en modélisant le cycle de fonctionnement de la station par l'outil Grafset qui nous permettra de la commander par un API. Le modèle présenté ne prend en compte que le modèle automatique en changeant le séquenceur PLK_2 pneumatique par un automate programmable. Dans notre travail, nous avons modélisé notre station à l'aide de l'outil Grafset ainsi que le programme ladder. Une plateforme de supervision a été développée à l'aide du logiciel WINCC flexible. Ce qui nous permet de surveiller le fonctionnement du procédé et d'aider l'opérateur dans la conduite du processus. Nous avons aussi fait la régulation de température de température est de maintenir la température intérieure voulue à l'intérieur du réservoir de l'NaOH, et ce qu'elles que soit les variateurs extérieurs.